پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دورهٔ ۴۸، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۵
ص. ۴۶۳-۴۵۱

تخمین دبی لبالبی بر اساس ویژگی‌های کانال رود در حوضهٔ گرمابدشت، استان گلستان

رضا اسماعیلی* ـ دکتری ژئومورفولوژی، استادیار گروه جغرافیای دانشگاه مازندران، بابلسر
قاسم لرستانی ـ دکتری ژئومورفولوژی، استادیار گروه جغرافیای دانشگاه مازندران، بابلسر
فاطمه رحیمی‌نژاد ـ کارشناس‌ارشد ژئومورفولوژی دانشگاه مازندران، بابلسر

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱/۱۵ تأیید نهایی: ۱۳۹۴/۱۲/۲۶

چکیده

دبی لبالبی جریانی است که کانال رود را پُر می‌کند بدون اینکه از کرانهٔ کانال سرریز شود. در این تحقیق، دبی لبالبی بر اساس ویژگی‌های کانال رود در حوضهٔ گرمابدشت استان گلستان تخمین زده شد. برای اجرای این پژوهش، حوضهٔ گرمابدشت به چندین زیرحوضه تقسیم و بازه‌هایی برای مطالعه انتخاب شد. با عملیات میدانی، در هر بازه محدودهٔ کانال لبالبی شناسایی شد و ویژگی‌های مورفومتری کانال رود- شامل عرض و عمق لبالبی، مساحت مقطع عرضی در تراز لبالبی، و شیب کانال ـ و همچنین قطر رسوبات بستر اندازه‌گیری شد. روابط رگرسیونی میان متغیرهای کانال رود و مساحت حوضهٔ آبریز نشان می‌دهد متغیرهای عرض، عمق، و مساحت مقطع عرضی در حالت لبالبی همبستگی خوبی با مساحت حوضه دارند و به صورت معادلات توانی پیش‌بینی‌شدنی‌اند. تنش برشی رود و قدرت رود هم با مساحت حوضه رابطهٔ معناداری را نشان می‌دهد و پیش‌بینی‌شدنی است. با استفاده از توزیع آماری لوگ پیرسون تیپ ۳، دورهٔ بازگشت دبی لبالبی در این رودخانه دو سال محاسبه شد. با توجه به معادلات رگرسیونی محاسبه‌شده، مقدار دبی لبالبی برای سایر رودخانه‌های فاقد ایستگاه هیدرومتری در حوضه پیش‌بینی‌شدنی است.

کلیدواژه‌ها: استان گلستان، حوضهٔ گرمابدشت، دبی لبالبی، مورفومتری کانال رود.

مقدمه

دبی لبالبی حداکثر آبی است که کانال رود را پُر می‌کند بدون اینکه از کرانه‌ها خارج شود. دبی لبالبی معمولاً جریانی است که هر یک تا دو و نیم سال رخ می‌دهد (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۰: ۵۰) و اغلب فرض می‌شود که شکل کانال آبرفتی را کنترل می‌کند. این دبی بیشترین بار رسوبی را در طی زمان حمل می‌کند (امت و ولمن، ۲۰۰۱: ۱۳۶۹).

دبی لبالبی شاخص مهمی در مطالعهٔ مورفولوژی رود، مدیریت سیلاب، و اثرهای اکولوژیکی در رودخانه است. بنابراین، مطالعهٔ دبی لبالبی مورد توجه ژئومورفولوژیست‌ها، مهندسان هیدرولیک، اکولوژیست‌ها، و سازمان‌های مدیریت مخاطرات سیلاب قرار دارد (زیا و همکاران، ۲۰۱۰: ۶۶). در ژئومورفولوژی رودخانه‌ای دبی لبالبی (به منزلهٔ مؤثرترین جریان برای جابه‌جایی رسوبات)، تشکیل یا جابه‌جایی موانع درون کانالی، تشکیل و تغییر خمیدگی‌های پیچان رود، و

نویسندهٔ مسئول: ۰۹۱۱۱۲۰۸۲۲۵
* E- mail: r.esmaili@umz.ac.ir

ویژگی‌های مورفولوژیکی کانال رود مورد توجه است (مولویهیل و همکاران، ۲۰۱۰: ۲). دبی لبالبی همچون یک شاخص مورفولوژیکی می‌تواند در مهندسی رود به‌کار رود.

دبی لبالبی فقط ارتفاع جریان رود است و معمولاً می‌توان آن را بر روی زمین شناسایی کرد. به سبب تعاریف متعددِ تراز لبالبی در ادبیات علمی و پیچیدگی‌های روی زمین، شناساییِ درستِ تراز لبالبی در روی زمین مشکل است. ویلیامز (۱۹۷۸) برای شناسایی کانال لبالبی یازده تعریف مختلف را بر اساس موارد زیر طبقه‌بندی کرد (اشنایدر و همکاران، ۲۰۱۱: ۲۳۶):

ـ اشکال ژئومورفیک مانند بالای کرانهٔ رود یا شکستگی در شیب کرانه؛

ـ اشکال ژئومتریک مانند ترازی از جریان که نسبت عرض به عمق مقطع عرضی به حداقل برسد؛

ـ اشکال مرزی (مرز کانال و کرانه) مانند تغییردر ترکیب گیاهان یا رسوبات.

پیچیدگی‌های روی زمین‌ـ از جمله ۱. تغییر در ارتفاع رأس کرانه؛ ۲. عدم وضوح شکستگی شیب بین کانال و دشت سیلابی؛ ۳. وجود اَشکالی مانند سکوهای آبرفتی و پادگانه‌هاـ شناسایی ارتفاع لبالبی را در مناطق کوهستانی با مشکل روبه‌رو می‌سازد.

دو روش رایج برای تعیین دبی لبالبی در سایت‌های بدون ایستگاه هیدرومتری وجود دارد:

۱. مدل‌های بارش– رواناب که از داده‌های بارش و ویژگی‌های حوضهٔ آبریز برای تخمین جریان‌ها استفاده می‌کنند و اغلب زمان‌بر و پُرهزینه‌اند.

۲. روش‌های رگرسیونی که معمولاً ارتباط دبی اوج با یک دورهٔ بازگشت دوساله را با ویژگی‌های مختلف حوضه مانند مساحت زهکشی، عوارض توپوگرافی، خاک‌ها، و ویژگی‌های اقلیمی برقرار می‌سازند (جانسن و پادمانابهان، ۲۰۱۰: ۱۱۸). البته، معادله‌های رگرسیونی برای ژئومتری کانال لبالبی با جریان‌ها هم پیشنهاد شده‌اند که روابط بین دبی لبالبی و متغیرهای مستقلی که ابعاد کانال را کنترل می‌کنند تشریح می‌نمایند.

تاکنون محققان کارهای متعددی در سطح جهان انجام داده‌اند؛ در اینجا، با توجه به موضوع پژوهش حاضر، به برخی از موارد در زمینهٔ روابط میان دبی لبالبی و متغیرهای مستقل کنترل‌کنندهٔ ابعاد کانال اشاره می‌شود.

پتیت و پاوکوات (۱۹۹۷) دورهٔ بازگشت دبی لبالبی و ژئومتری کانال را در رودخانه‌هایی با بستر گراولی ارزیابی کردند. جانسن (۲۰۰۳) از روش‌های رگرسیون خطی برای تعیین روابط میان مساحت زهکشی و پارامترهای ژئومتری کانال استفاده کرد تا بر اساس آن‌ها بتوان دبی لبالبی را در رودخانه‌های فاقد ایستگاهِ اندازه‌گیری تخمین زد. ویانلو و دآگوستینو (۲۰۰۷) عرض کانال لبالبی را در اشکال مورفولوژیکی بستر رود در شمال ایتالیا بررسی کردند. بهات و تایواری (۲۰۰۸) چندین معادلهٔ رگرسیونی را برای روابط بین دبی جریان لبالبی با عرض و عمق کانال و مساحت مقطع عرضی ایجاد کردند. فاوستینی و همکاران (۲۰۰۹) ژئومتری کانال لبالبی و تغییرات عرض کانال رود را در نتیجهٔ آشفتگی‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی در امریکا مطالعه کردند. جانسن و پادمانابهان (۲۰۱۰)، بر اساس روابط رگرسیونی میان

ویژگی‌های حوضهٔ آبریز و ژئومتری کانال، دبی لبالبی را در مناطق فاقد ایستگاه هیدرومتری پیش‌بینی کردند. تایفور و سینگ (۲۰۱۱) دبی لبالبی را بر اساس مساحت مقطع عرضی کانال و با استفاده از روش‌های رگرسیون غیرخطی، منطق فازی، شبکه‌های عصبی مصنوعی، و الگوریتم ژنتیک پیش‌بینی کردند. پیتسچ و نانسون (۲۰۱۱) ژئومتری کانال لبالبی را در پوشش گیاهی درون کانالی و نقش آن‌ها را در تغییرات دبی و قدرت رود در جنوب استرالیا مطالعه کردند. مولویهیل و بالدیگو (۲۰۱۲) روابط ژئومتری کانال با دبی لبالبی را به صورت منطقه‌ای در ایالت نیویورک محاسبه کردند. مدریک و جورجاکاکاس (۲۰۱۴) چند رابطهٔ منطقه‌ای را در عرض کانال لبالبی، عمق هیدرولیک، و مساحت مقطع عرضی کانال در کالیفرنیای جنوبی توسعه دادند. شیباتا و ایتو (۲۰۱۴) روابطی را در عرض کانال لبالبی و پارامترهای دبی با استفاده از داده‌های هیدرولوژیکی و ژئومورفولوژیکی در جزایر ژاپن ارائه دادند.

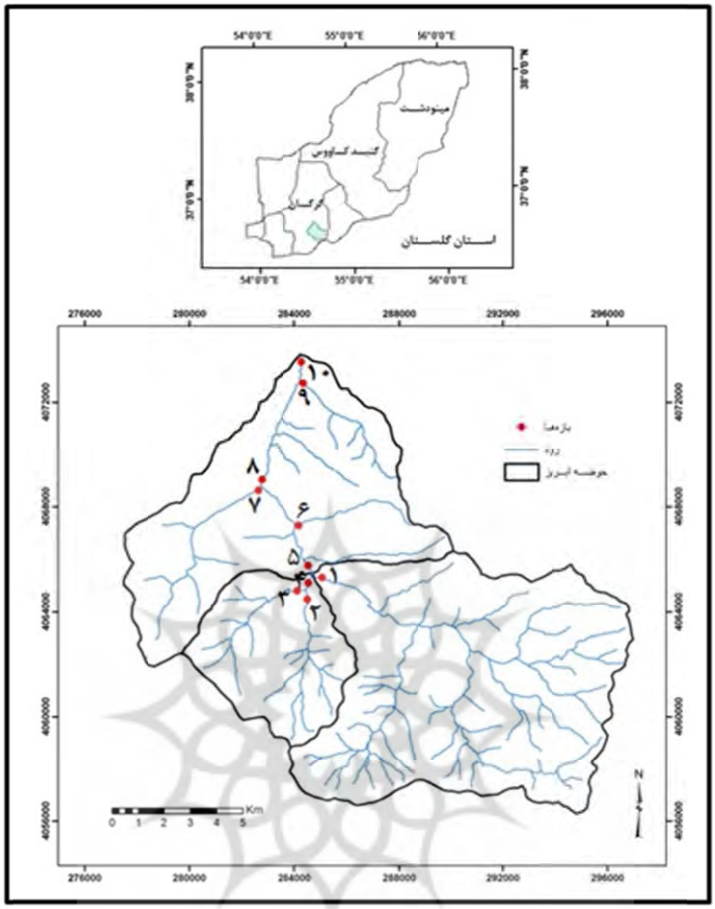
متولی و همکاران (۱۳۹۲) ارتباط دبی لبالبی را با واحدهای ژئومورفیک کانال در حوضهٔ لاویج رود استان مازندران بررسی کردند.

روابط ژئومتری هیدرولیک در مناطق مختلف با تغییر هیدرولوژی، خاک‌ها، و کاربری اراضی متغیر است (جانسن و پادمانابهان، ۲۰۱۰: ۱۱۷). از این رو، اهداف تحقیق حاضر عبارت است از: ۱. بررسی روابط بین ویژگی‌های مورفولوژیکی کانال رود و دبی لبالبی در حوضهٔ گرمابدشت استان گلستان؛ ۲. تعیین مقدار دبی لبالبی و فواصل دورهٔ بازگشت آن‌ها.

منطقهٔ مورد مطالعه

حوضهٔ آبریز گرمابدشت جزئی از حوضهٔ آبریز قره‌سو است؛ این حوضه با مساحت ۱۹۱ کیلومتر مربع در استان گلستان و جنوب شرقی شهر گرگان واقع شده است (شکل ۱). این حوضه بین طول‌های جغرافیایی ''۱۱ '۳۲ °۵۴ تا ''۵۴ '۴۴ °۵۴ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ''۵۱ '۴۳ °۳۶ تا ''۴۳ '۳۷ °۳۶ ۳۷ ۳۶ شمالی قرار دارد. محدودهٔ مورد مطالعه کوهستانی است و حداقل و حداکثر ارتفاع حوضه به‌ترتیب ۴۰۰ و ۳۴۰۰ متر و میانگین آن ۱۸۶۷ متر است.

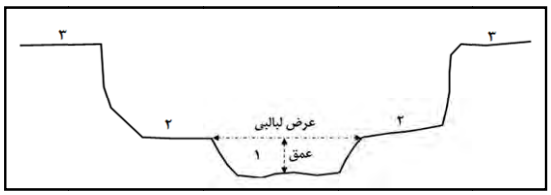
میانگین دمای سالانهٔ حوضه، با روش منحنی هم‌دما، ۹٫۵ درجهٔ سلسیوس محاسبه شد. میانگین بارش سالانهٔ حوضه در بخش خروجی حوضه (ایستگاه پل اردوگاه) ۷۰۲ میلی‌متر و در ارتفاعات جنوب شرقی حوضه با روش منحنی هم‌بارش ۴۰۰ میلی‌متر محاسبه شد. میانگین دبی سالانه در ایستگاه پل اردوگاه (در خروجی حوضه) در یک دورهٔ سی‌ساله (۱۳۵۴ ـ ۱۳۸۴) ۰٫۵۸ متر مکعب در ثانیه محاسبه شد. حداکثر و حداقل آب‌دهی رودهای حوضه به‌ترتیب در فصل‌های بهار و زمستان است.



شکل ۱. موقعیت حوضهٔ آبریز گرمابدشت و بازه‌های مورد مطالعه در کشور ایران و استان گلستان (ایستگاه هیدرومتری حوضه در بازهٔ ده‌ساله قرار گرفته است)

مواد و روش‌ها

برای مطالعهٔ ژئومتری کانال لبالبی نخست محدودهٔ حوضهٔ گرمابدشت از نقشهٔ توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری مشخص و به زیرحوضه‌هایی تقسیم شد. با توجه به مساحت حوضهٔ آبریز، ده بازهٔ رودخانه‌ای برای شناسایی کانال لبالبی بررسی شد (شکل ۱). در هر بازه با استفاده از شاخص‌های مورفولوژیکی کانال لبالبی، شامل شکستگی شیب کرانه و سطوح فرسایشی در کرانه، سطح کانال لبالبی شناسایی شد. متغیرهای متعددی برای تشریح ژئومتری کانال رود به‌کار می‌رود؛ در اینجا از عرض، عمق، و مساحت مقطع عرضی به منزلهٔ شاخص‌های تشریح‌کنندهٔ کانال رود در تراز لبالبی استفاده شد (شکل ۲). برای تعیین عرض و عمق کانال لبالبی حداقل سه اندازه‌گیری در هر بازه انجام شد و میانگین آن‌ها به عنوان معیار در نظر گرفته شد. برای محاسبهٔ مقدار دبی لبالبی یک مقطع عرضی نمونه از هر بازه نقشه‌برداری شد.



شکل ۲. ژئومتری کانال لبالبی (عرض و عمق کانال لبالبی) اعداد روی شکل نشان‌دهندهٔ کانال لبالبی، دشت سیلابی، و پادگانهٔ آبرفتی است.

سپس، با اندازه‌گیری شیب کانال و کاربردِ روش مانینگ، مقدار دبی لبالبی تعیین شد. ضریب زبری مانینگ با توجه به اندازهٔ ذرات بستر در بازهٔ مورد مطالعه از کتب هیدرولوژی استخراج شد. مقادیر تنش برشی بستر و قدرت کل رود برای هر مقطع عرضی به‌ترتیب از رابطه‌های ۱ و ۲ محاسبه شد.

رابطهٔ ۱ $$\tau = \gamma RS$$

رابطهٔ ۲ $$\Omega = \gamma Q_b S$$

که τ تنش برشی مرزی (N/m^2)، γ وزن مخصوص آب، R شعاع هیدرولیک به متر، S شیب بستر بر حسب متر بر متر، Ω قدرت کل رود (W/m)، و Q_b دبی رود در تراز لبالبی است.

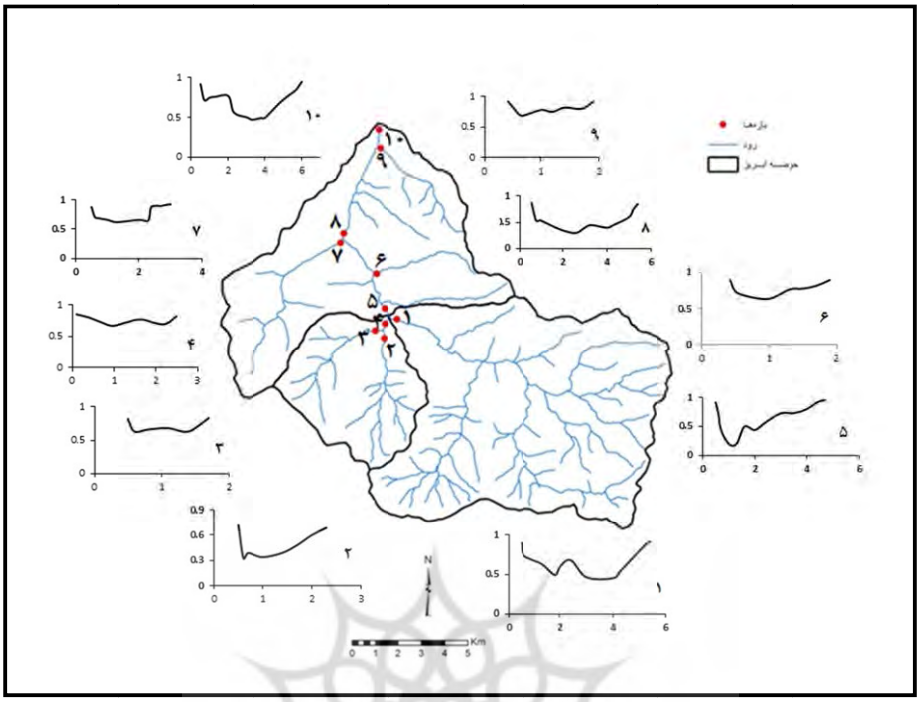
برای اندازه‌گیری قطر رسوبات سطحی از روش شمارش سنگ ولمن استفاده شد. در هر بازه حداقل صد نمونه سنگ اندازه‌گیری شد و با ترسیم نمودار فراوانی تجمعی آن‌ها صدک ۱۶، ۵۰، و ۸۴ قطر ذرات تعیین شد. روابط رگرسیونی میان پارامترهای فوق در نرم‌افزار SPSS محاسبه و تحلیل و بررسی شد.

برای تعیین دورهٔ بازگشت دبی لبالبی از داده‌های حداکثر دبی سالانهٔ ایستگاه هیدرومتری گرمابدشت، که در محل خروجی حوضه قرار دارد، استفاده شد. برای اجرای این کار، روش سری حداکثر سالانه[1] (AMS) در نرم‌افزار Hydrognomon با توزیع‌های مختلف بررسی شد.

یافته‌های پژوهش

ده بازه در منطقهٔ مورد مطالعه بررسی شد. شکل ۳ موقعیت این بازه‌ها و مقاطع عرضی کانال رود را نشان می‌دهد. همچنین، جدول ۱ خلاصهٔ داده‌های اندازه‌گیری‌شده و محاسبه‌شدهٔ بازه‌های مختلف- شامل داده‌های ژئومتری کانال، تخمین دبی، قدرت رود، و اندازهٔ قطر رسوبات بستر- را نشان می‌دهد. مساحت بالادست بازه‌ها از ۵/۷ تا ۱۹۱ کیلومتر مربع متغیر بود و سایر پارامترهای کانال رود، مانند عرض و عمق لبالبی و مقدار دبی لبالبی، به تبع مساحت تغییر کرد. در ادامهٔ مباحث، ارتباط این متغیرها بررسی می‌شود.

1. Annual Maximum Series



شکل ۳. موقعیت بازه‌های مورد مطالعه و مقاطع عرضی رود

جدول ۱. خلاصهٔ اندازه‌گیری‌ها و محاسبات بازه‌های مورد مطالعه

بازه	مساحت بالادست	عرض لبالبی	عمق	شیب کانال	دبی لبالبی	تنش برشی	قدرت رود	D_{16}	D_{50}	D_{84}
۱	۹۵٫۵	۵٫۳	۰٫۴۸	۰٫۰۷	۲٫۰۳	۲۶۷٫۸	۲۶۳	۳۰	۷۹	۱۵۶
۲	۱۵٫۹	۲٫۰۸	۰٫۲۶	۰٫۰۷	۰٫۱۴	۵۸٫۴	۴۶٫۲	۱۵	۴۲	۱۳۲
۳	۱۲٫۵	۱٫۹	۰٫۲۴	۰٫۰۵	۰٫۱۴	۵۸٫۹۵	۳۶٫۱۴	۹	۲۶	۸۲
۴	۲۸٫۸	۳	۰٫۵۴	۰٫۰۸	۰٫۶۴	۱۴۹٫۱	۱۶۷٫۴	۱۰	۲۱	۵۱
۵	۱۲۴٫۳	۵٫۱۶	۰٫۶۱	۰٫۱	۳٫۱	۲۹۴٫۳	۵۹۰٫۱	۱۱	۳۰	۸۲
۶	۵٫۷	۱٫۶۶	۰٫۲۸	۰٫۱	۰٫۳۷	۱۴۷٫۱	۲۱۹٫۸	۱۱	۳۰	۶۱
۷	۲۲٫۸	۲٫۷۳	۰٫۳	۰٫۰۷	۱٫۱۳	۱۶۴٫۸	۲۸۳٫۷	۱	۹	۲۰
۸	۱۶۶٫۸	۶٫۳۳	۰٫۷۴	۰٫۰۵	۳٫۰۴	۱۸۱٫۵	۲۳۵٫۵	۲۹	۹۰	۱۹۰
۹	۸٫۹	۱٫۹	۰٫۲	۰٫۰۷	۰٫۲۸۸	۹۶٫۱۴	۱۰۴	–	–	–
۱۰	۱۹۱٫۳	۶٫۵	۰٫۶۹	۰٫۰۵	۳٫۸۸	۱۸۶٫۴	۲۹۲٫۸	۲۰	۷۲	۱۴۰

مساحت بالادست به کیلومتر مربع، عرض و عمق لبالبی به متر، شیب کانال بر حسب متر بر متر، دبی لبالبی به متر مکعب در ثانیه، تنش برشی بستر بر حسب نیوتن بر متر مربع، قدرت رود به وات بر متر، اندازهٔ ذرات در صدک‌های ۱۶، ۵۰، و ۸۴ بر حسب میلی‌متر

ژئومتری کانال

در حوضهٔ گرمابدشت، پارامترهای مورفولوژیکی کانال لبالبی- شامل عرض و عمق کانال لبالبی- نسبت مستقیمی را با مساحت حوضهٔ زهکشی نشان می‌دهند (شکل ۴). رابطهٔ عرض و عمق با مساحت حوضه به صورت رگرسیون توانی بیان شده است (رابطه‌های ۳ و ۴). طبق این رابطه، افزایش عرض کانال با مساحت حوضه سریع‌تر از افزایش عمق کانال با مساحت حوضه است (۰٫۴۲ > ۰٫۳۴).

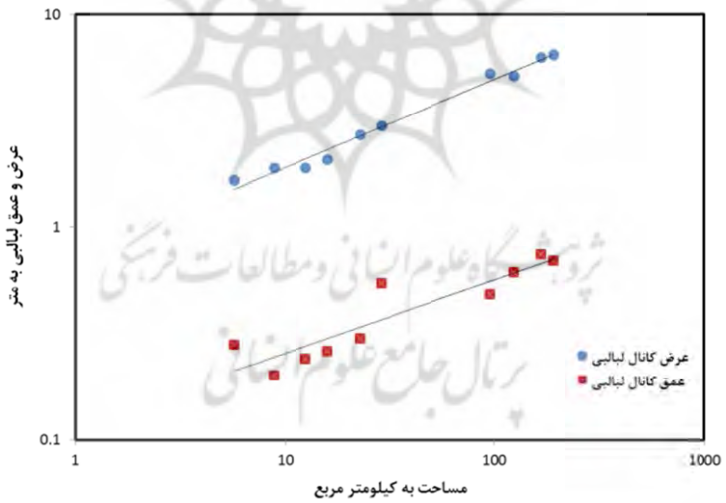
رابطهٔ ۳ $W = ۰٫۷۳\ A^{۰٫۴۲}$ $R^۲ = ۰٫۹۸$

رابطهٔ ۴ $Y = ۰٫۱۱۶\ A^{۰٫۳۴}$ $R^۲ = ۰٫۸۳$

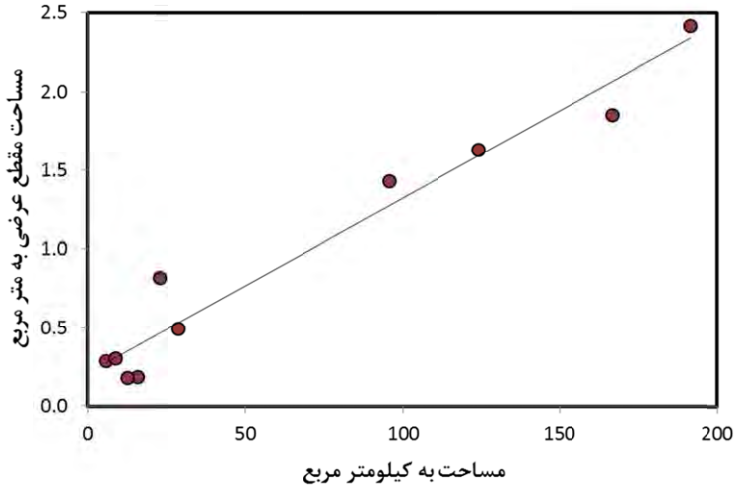
که W عرض کانال لبالبی به متر، Y عمق کانال لبالبی به متر، C_A مساحت مقطع عرضی به متر مربع، و A مساحت حوضهٔ آبریز به کیلومتر مربع است.

مساحت مقاطع عرض کانال در تراز لبالبی هم رابطهٔ مستقیمی با مساحت حوضه دارد (شکل ۵) و به صورت رگرسیون خطی (رابطهٔ ۵) پیش‌بینی‌شدنی است.

رابطهٔ ۵ $C_A = ۰٫۰۱۱\ \mathrm{A} + ۰٫۲۱۲$ $R^۲ = ۰٫۹۵$



شکل ۴. نمودار لگاریتمی مساحت حوضه در مقابل عرض و عمق لبالبی حوضهٔ گرمابدشت



شکل ۵. نمودار مساحت حوضهٔ آبریز در مقابل مساحت مقطع عرضی کانال لبالبی حوضهٔ گرمابدشت

دبی لبالبی، تنش برشی، و قدرت رود

دبی محاسبه‌شده برای مقاطع عرضی لبالبی در بازه‌های مختلف رابطهٔ مستقیمی با مساحت حوضهٔ زهکشی دارد (شکل ۶) و به صورت رگرسیون خطی پیش‌بینی‌شدنی است (رابطهٔ ۶).

رابطهٔ ۶ $R^2 = ۰/۹۵$ $Q_b = ۰/۰۱۹۵\ A + ۰/۱۶۶$

که Q_b مقدار دبی لبالبی به متر مکعب در ثانیه است.

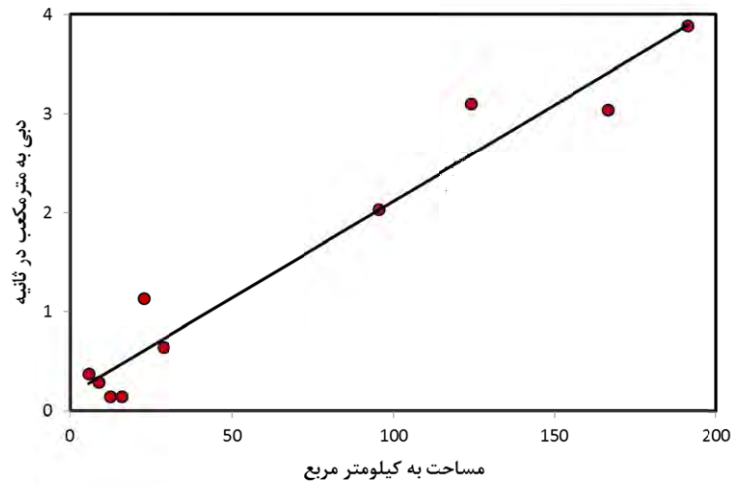
مقادیر تنش برشی دبی لبالبی و قدرت کل رود به‌ترتیب از رابطه‌های ۱ و ۲ محاسبه شد. این مقادیر رابطهٔ مستقیمی با مساحت حوضه دارد (شکل ۷) و به صورت رگرسیون توانی و در سطح اطمینان ۰/۰۵ معنی‌دار است (رابطه‌های ۷ و ۸).

رابطهٔ ۷ $\tau = ۴۸/۴\ A^{۰/۳}$ $R^2 = ۰/۴۵$ sig: ۰/۰۳

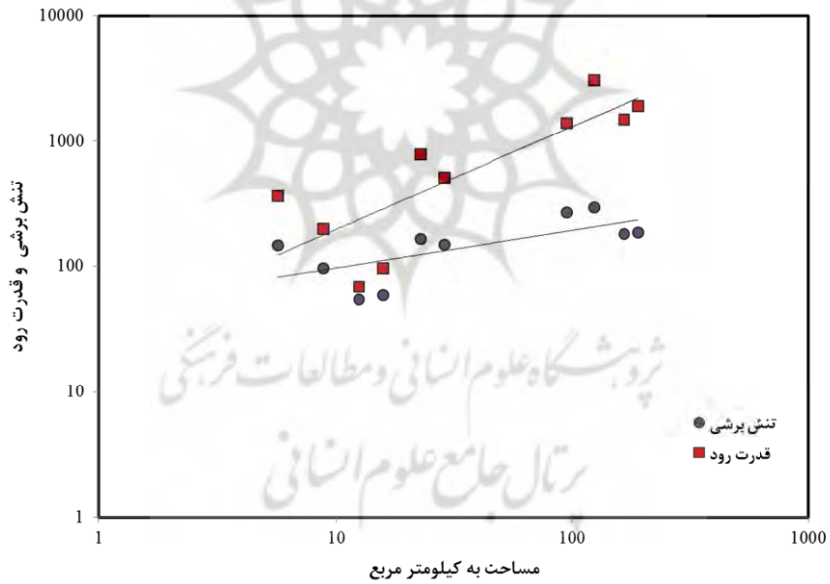
رابطهٔ ۸ $\Omega = ۲۹/۶۸\ A^{۰/۸۲}$ $R^2 = ۰/۶۷$ sig: ۰/۰۰۴

طبق این رابطه‌ها، با افزایش مساحت حوضه مقادیر تنش برشی و قدرت کل رود به صورت توانی افزایش می‌یابد. افزایش رو به پایین‌دست (افزایش مساحت) قدرت کل رود با افزایش دبی لبالبی منطبق است. همان طور که عرض کانال لبالبی با مساحت زهکشی افزایش می‌یابد (رابطهٔ ۳)، روند افزایشی مشابهی هم با قدرت کل رود دارد (رابطهٔ ۹).

رابطهٔ ۹ $W = ۰/۳۳\ \Omega^{۰/۳۶}$ $R^2 = ۰/۷۴$ sig: ۰۰



شکل ۶. نمودار رگرسیونی مساحت حوضهٔ آبریز در مقابل دبی لبالبی حوضهٔ گرمابدشت



شکل ۷. نمودار لگاریتمی مساحت حوضه در مقابل تنش برشی بستر (نیوتن بر متر مربع) و قدرت کل رود (وات بر متر)

رسوبات

جدول ۲ قطر رسوبات اندازه‌گیری‌شده در صدک‌های D_{16}، D_{50} و D_{84} را نشان می‌دهد. معادلات تجربی روابطی را بین مساحت حوضه و قطر ذرات رسوبی (به متر) نشان می‌دهند که به صورت تابع زیر (رابطهٔ ۱۰) است:

$$D_i = c\,A^d$$ رابطهٔ ۱۰

که رابطه‌های D_i قطر ذرات رسوبی در صدک‌های مختلف ۱۶، ۵۰، و ۸۴ است. اگرچه متغیرهای یادشده به‌ظاهر با مساحت حوضهٔ آبریز و عرض کانال رابطهٔ مثبتی دارند، در سطح اطمینان ۰/۰۵ رابطهٔ معناداری را نشان نمی‌دهند (جدول ۲). به‌نظر می‌رسد علت این مسئله بزرگی حوضهٔ مورد مطالعه و گستردگی متغیرهای مؤثر، مانند لیتولوژی، پوشش گیاهی، و تفاوت در عناصر اقلیمی، باشد.

جدول ۲. روابط رگرسیونی اندازهٔ ذرات با مساحت حوضه و عرض کانال لبالبی

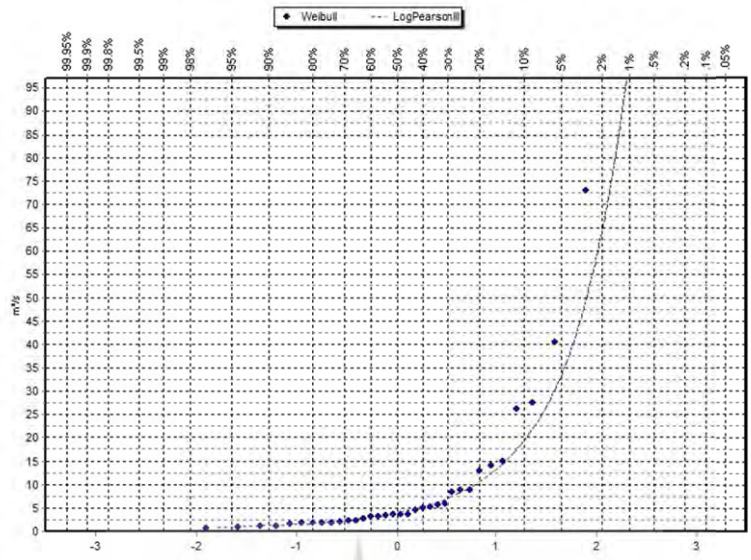
متغیر مستقل	متغیر وابسته	رابطهٔ رگرسیونی	R^2	Sig
A	D_{16}	$۰/۰۰۶A^{۰/۲۴}$	۰/۴۳	۰/۰۶۹
A	D_{50}	$۰/۰۱۵\ A^{۰/۲۸}$	۰/۴۵	۰/۰۷۶
A	D_{84}	$۰/۰۴۵\ A^{۰/۲۲}$	۰/۳۸	۰/۱
D_{16}	W	$۰/۰۰۷\ D_{۱۶}^{۰/۵۹}$	۰/۴۹	۰/۰۵۴
D_{50}	W	$۰/۰۱۸\ D_{۵۰}^{۰/۶۹}$	۰/۴۹	۰/۰۵۴
D_{84}	W	$۰/۰۵۴\ D_{۸۴}^{۰/۵}$	۰/۳۶	۰/۱۱

A مساحت حوضه به کیلومتر مربع، W عرض کانال لبالبی، D قطر ذرات رسوبی، اندازهٔ قطر ذرات رسوبی به متر است.

فراوانی وقوع دبی لبالبی

برای ارزیابی فراوانی وقوع دبی لبالبی از توزیع‌های آماری گوناگونی استفاده شد؛ از میان توزیع‌های گوناگون آماری، روش لوگ پیرسون تیپ ۳ با اطمینان ۹۹ درصد بیشترین برازش را با داده‌های مشاهده‌ای دبی حداکثر سالانه داشت (شکل ۸). بر اساس این توزیع، دورهٔ بازگشت دبی لبالبی در خروجی حوضه دو سال بوده است. این بدین معنی است که دبی شکل‌دهندهٔ کانال به طور میانگین هر دو سال یک بار تکرار می‌شود و بیشترین تأثیر را در کانال رود می‌گذارد.

بررسی دبی‌های روزانه در طی سال‌های آماری و تفکیک دبی‌های بیش از مقدار لبالبی نشان می‌دهد که بیشترین وقوع این سیلاب‌ها در فصول بهار، تابستان، و پاییز به‌ترتیب ۸۵، ۱۳، و ۲ درصد بوده است. در فصل بهار هم ماه‌های فروردین و اردیبهشت بیشترین وقوع سیلاب لبالبی را داشته‌اند؛ با توجه به ارتفاع بالای حوضه (میانگین ۱۸۶۷ متر)، می‌توان آن را به رژیم برفی- بارانی حوضه نسبت داد. اگرچه بیشترین مقادیر دبی میانگین سالانه هم در همین ماه‌ها مشاهده شده و مقادیر آن‌ها تقریباً سه برابر میانگین ماه‌های سرد سال (پاییز و زمستان) است.



شکل ۸. برازش مقادیر حداکثر دبی سالانه با توزیع لوگ پیرسون تیپ ۳ در ایستگاه گرمابدشت

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج تحلیل رگرسیون نشان می‌دهد مساحت حوضه به طور معناداری با پارامترهای ژئومتری کانال، مانند عرض، عمق، و مساحت مقطع عرضی، مرتبط است. نتایج تحلیل تغییرات عرض کانال با افزایش مساحت حوضه در رودخانهٔ گرمابدشت با مطالعات سایر محققان نیز انطباق دارد. توان معادلهٔ تغییرات عرض کانال لبالبی با مساحت در منطقهٔ مورد مطالعه ۰٫۴۳ به‌دست آمد. مقدار این توان در مطالعات هارمن و همکاران (۱۹۹۹) برای رودخانه‌های کارولینای شمالی بین ۰٫۳۶ تا ۰٫۴۳ محاسبه شد. مونتگمری و گرن (۲۰۰۱) مقدار توان را بین ۰٫۳ تا ۰٫۶ برای رودخانه‌های آبرفتی و سنگ بستری معرفی کردند.

مطالعات وایت (۲۰۰۱) و سینتو (۲۰۰۳) نشان می‌دهد دبی لبالبی رابطهٔ بسیار خوبی با مساحت زهکشی دارد. در بیشتر تحقیقات دبی لبالبی با مساحت حوضه به صورت یک رابطهٔ توانی پیش‌بینی‌شدنی است. این رابطه در حوضهٔ گرمابدشت با استفاده از رگرسیون توانی دارای R^2 = ۰٫۷۹ و با رگرسیون خطی دارای R^2 = ۰٫۹۵ محاسبه شد؛ بر این اساس، رابطهٔ دوم با دقت بیشتری و با توجه به مساحت حوضه قابلیت پیش‌بینی دبی لبالبی را خواهد داشت.

در حوضهٔ مورد مطالعه قدرت رود با مساحت افزایش می‌یابد و مقدار دبی در آن تأثیرگذار است. وینالو و داگوستینو (۲۰۰۷) توان ۰٫۳ را برای رابطهٔ عرض کانال و قدرت رود محاسبه کردند. در مطالعهٔ حاضر توان ۰٫۳۶ به‌دست آمد.

محاسبات وینالو و داگوستینو (۲۰۰۷) رابطهٔ معناداری را برای حوضه‌های کوچک‌تر از ده کیلومتر مربع نشان می‌دهد. در حوضهٔ مورد مطالعه، به سبب تنوع متغیرهای مؤثر در تغذیهٔ رسوب- مانند لیتولوژی و پوشش گیاهی- رابطهٔ میان قطر ذرات و مساحت و عرض کانال به صورت معنادار نبود.

در مجموع، هم‌چنان‌که جانسن و پادمانابهان (۲۰۱۰) هم به آن اشاره کردند، معادلات رگرسیونی ژئومتری لبالبی

برای پیش‌بینی جریان در رودهای فاقد ایستگاه هیدرومتری در مقایسه با سایر روش‌های سنتی ابزار مفیدتری فراهم می‌آورند؛ این موضوع برای منطقهٔ مورد مطالعه نیز مصداق دارد.

نتایج پژوهش‌ها دربارهٔ دورهٔ بازگشت دبی لبالبی گوناگون است. اسویت و گراتز (۲۰۰۳) دورهٔ بازگشت دبی لبالبی را در مناطق ساحلی کارولینای شمالی کمتر از یک سال ارزیابی کردند. دورهٔ بازگشت تعدادی از رودهای اروپا بین یک تا دو سال با متوسط ۱٫۵ سال تخمین زده شد (اشنایدر و همکاران، ۲۰۱۱). مودریک و جئورکاکیس (۲۰۱۴) متوسط دورهٔ بازگشت دبی لبالبی را در کوهستان‌های کالیفرنیای جنوبی کمتر از یک سال و در کوهستان‌های پنین سولار بیش از یک سال محاسبه کردند. هیت‌مولر و همکاران (۲۰۱۵) میانگین دورهٔ بازگشت دبی لبالبی را در تگزاس بین ۱٫۵ تا ۳ سال تخمین زدند. با وجود این، دورهٔ بازگشت دبی لبالبی در منطقهٔ مورد مطالعه، که دو سال تخمین زده شد، در محدودهٔ تحقیقات انجام‌شده قرار دارد.

آنالیزِ رگرسیون ارتباطِ میان ویژگی‌های مورفولوژی کانال و مساحت زهکشی و دبی لبالبی با مساحت زهکشی را در حوضهٔ گرمابدشت تأیید می‌کند. از این رو، می‌توان از آن همچون ابزاری برای تخمین مورفولوژی کانال و دبی لبالبی در مناطق فاقد ایستگاه هیدرومتری استفاده کرد.

منابع

اسماعیلی، ر.؛ حسین‌زاده، م.م. و متولی، ص. (۱۳۹۰). *تکنیک‌های میدانی در ژئومورفولوژی رودخانه‌ای*، تهران: لاهوت.

متولی، ص.؛ حسین‌زاده، م.م. و اسماعیلی، ر. (۱۳۹۲). ارتباط دبی لبالبی با واحدهای ژئومورفیک در رودخانه‌های کوهستانی، مطالعهٔ موردی: رودخانهٔ لاویج در دامنهٔ شمالی البرز مرکزی، *پژوهش‌های دانش زمین*، ۴(۱۴): ۱۷ ـ ۳۳.

Bhatt, V.K. and Tiwari, A.K. (2008). **Estimation of peak streamflows through channel geometry**, *Hydrol Sci J*, 53(2):401-408.

Cinotto, P.J. (2003). **Development of regional curves of bankfull-channel geometry and discharge for streams in the non-urban,** *Piedmont Physiographic Province, Pennsylvania and Maryland: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 03-4014*, 33 p.

Emmett, W.W. and Wolman, M.G. (2001). **Effective discharge and gravel-bed rivers,** *Earth Surface Processes and Landforms*, **26**: 1369-1380.

Esmaili, R.; Hosseinzadeh, M.M. and Motevalli, S. (2011). *Field technique in fluvial geomorphology***,** Lahut, Tehran (In Persian).

Faustini, J.M.; Kaufmann, F.R. and Herlihy, A.T. (2009). **Downstream variation in bankfull width of wadeable streams across the conterminous United States,** *Geomorphology*, 108: 292-311.

Heitmuller, F.T.; Hudson, P.F. and Asquith, W.H. (2015). **Lithologic and hydrologic controls of mixed alluvial–bedrock channels in flood-prone fluvial systems: Bankfull and macrochannels in the Llano River watershed, central Texas, USA,** ***Geomorphology***, 232: 1-19.

Harman, W.A.; Jennings, G.D.; Patterson, J.M.; Clinton, D.R.; Slate, L.O.; Jessup, A.G.; Everhart, J.R. and Smith, R.E. (1999). **Bankfull hydraulic geometry relationships for North Carolina streams.** In: Olsen, D.S., Potyondy, J.P. (Eds.), *Wildland Hydrology, AWRA Symposium Proceedings*, American Water Resources Association, Bozeman, MT, pp. 401-408.

Johnson, M.H. (2003). **Development of a Regional Curve to Relate Discharge and Drainage Area to Hydraulic Geometry for the Red River of the North Basin,** University of North Dakota, Grand Forks, ND, Master's Thesis.

Johnson, B.H. and Padmanabhan, G. (2010). **Regression estimates of design flows for ungaged sites using bankfull geometry and flashiness,** *Catena*, 81: 117-125.

Modrick, T.M. and Georgakakos, K.P. (2014). **Regional bankfull geometry relationships for southern California mountain streams and hydrologic applications,** *Geomorphology*, 221: 242-260.

Montgomery, D.R. and Gran, K.B. (2001). **Downstream variations in the width of bedrock channels,** *Water Resources Research*, 37(6): 1841-1846.

Mulvihill, C.I. and Baldigo, B.P. (2012). **Optimizing bankfull discharge and hydraulic geometry relations for streams in New York State,** *Journal of the American water resources association*, 48(3).

Mulvihill, C.I.; Baldigo, B.P.; Miller, S.J.; DeKoskie, D. and DuBois, J. (2010). **Bankfull discharge and channel characteristics of streams in New York Stat**e, *Scientific Investigations Report 2009-5144*, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, pp 51.

Motevalli, S.; Hosseinzadeh, M.M. and Esmaili, R. (2013). **Relation of bankfull width with morphological units in mountain stream: Case study**, *Lavij River in north slope of Central Alborz***,** 14: 17-33 (In Persian).

Petit, F. and Pauquet, A. (1997). **Bankfull discharge recurrence interval in** *gravel-bed rivers, earth surfaces processes and landforms*, 22: 685-693.

Pietsch, T.J. and Nanson, G.C. (2011). **Bankfull hydraulic geometry; the role of in-channel vegetation and downstream declining discharges in the anabranching and distributary channels of the Gwydir distributive fluvial system, southeastern Australia,** *Geomorphology*, 129: 152-165.

Schneider, C.; Flörke, M.; Eisner, S. and Voss, F. (2011). **Large scale modelling of bankfull flow: An example for Europe,** *Journal of Hydrology*, 408: 235-245.

Shibata, K. and Ito, M. (2014). **Relationships of bankfull channel width and discharge parameters for modern fluvial systems in the Japanese Islands,** *Geomorphology*, 214: 97-113.

Sweet, W.V. and Geratz, G.W. (2003). **Bankfull hydraulic geometery relationships and recurrence intervals for north Carolina's coastal plain,** *Journal of the American Water Resources Association*, 39(4): 861-871.

Tayfur, G. and Singh, V.P. (2011). **Predicting Mean and Bankfull Discharge from Channel Cross-Sectional Area by Expert and Regression Methods,** *Water Resour Manage*, 25: 1253-1267.

Vianello, A. and D'Agostino, V. (2007). **Bankfull width and morphological units in an alpine stream of the dolomites (Northern Italy),** *Geomorphology*, 83: 266-281.

White, K.E. (2001). **Regional curve development and selection of a reference reach in** *the non-urban lowland sections of the Piedmont Physiographic Province, Pennsylvania and Maryland: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 01-4146*, 20 p.

Williams, G.P. (1978). **Bankfull discharge of rivers,** *Water Resour. Res.*, 14(6): 1141-1153.

Wu, B.; Wang, G.; Xia, J.; Fu, X. and Zhang, Y. (2008). **Response of bankfull discharge to discharge and sediment load in the Lower Yellow River,** *Geomorphology*, 100: 366-376.

Xia, J.; Wu, B.; Wang, G. and Wang, Y. (2010). **Estimation of bankfull discharge in the Lower Yellow River using different approaches,** *Geomorphology*, 117: 66-77.