

مقدمه

مونتگومری و بافینگتون [۹] بر این باورند که اصولاً برقراری رابطه بین مورفولوژی و فرآیندهای صورت گرفته در رودخانه، پژوهشگران را در درک صحیح و همچنین پیش بینی واکنش های ناشی از فعالیت های انسانی و عوامل طبیعی در رودخانه، کمک خواهد کرد. بازه های کوهستانی عمدتاً دارای مورفولوژی متنوعی هستند که به منظور پژوهش و بررسی در این زمینه نیاز به داشتن طبقه بندی تقریباً کاملی است. این دو پژوهشگر بیان داشتند که از ترکیب طبقه بندی مبتنی بر فرآیند رودخانه ای و نگرش مکانی از اتصالات رودخانه ای درون حوضه ی آبریز می توان به این نتیجه رسید که چگونه دستکاری های بخشی از حوضه به کل حوضه انتشار می یابد. همچنین در نهایت طبقه بندی تقریباً جامعی را در این زمینه ارائه دادند. آنها به لحاظ مورفولوژیکی، سه نوع بازه را در رودخانه های کوهستانی شناسایی کردند که عبارتند از: بستر سنگی، آبرفتی و واریزه ای. بازه های آبرفتی خود دارای پنج نوع مورفولوژی مشخص هستند که به ترتیب از بالادست به پایین دست عبارتند از: آبخاری، پله- گوداب (پلکانی)، بستر صاف، گوداب- خیزاب و دیون-ریپل.

چن [۶] اظهار می دارد که بازه های پله- گوداب دسته ای مهم از بازه های کوهستانی هستند که عمدتاً دارای شیبی تند (بین ۰/۲ متر در متر تا ۰/۲ متر در متر) و در مسیر خود دارای توالی هایی از پله های تخته سنگ، تنه شکسته درخت و یا پلکان های سنگی (همراه با گوداب هایی در بین پله ها) می باشند. این بازه ها بر اساس پله هایی که در امتداد مسیر رودخانه قرار داشته اند، مورد شناسایی قرار می گیرند. بر پایه ی باور داکسون و داکسون [۸] پله های یاد شده از تجمع سنگ های بزرگ که عمود بر مسیر جریان هستند، تشکیل شده اند و گوداب ها در بین این پله ها با دانه بندی مواد ریزتر به وجود می آیند. به باور زیمرمان و چرچ [۱۵] پله ها سازه های پایداری هستند که در نتیجه ی به هم قفل شدن سنگ های بزرگ تر پدید می آیند. آنها باور دارند که این پله ها به صورت تقریباً تصادفی در طول رودخانه تشکیل شده اند و وجود یکسری سنگ های کلیدی در شکل گیری آنها نقشی مهم دارند. این نوع مورفولوژی معمولاً در مواقع وقوع جریان های رسوبی واریزه ای و یا ریزش کناره ها در بستر رودخانه پدید می آیند.

آنچه که تاکنون توجه پژوهشگران را در زمینه ی مطالعه روی بازه های پله- گوداب جلب نموده است، توالی موزون پله ها و

بررسی صحرایی روابط هیدرولیکی و مورفولوژیکی در بازه ی پله- گوداب

فرید عباسی^۱ و محمدرضا مجدزاده طباطبایی^۲
تاریخ دریافت: ۸۷/۸/۱۵ تاریخ پذیرش: ۸۸/۶/۲۱

چکیده

مطالعه ی صورت گرفته در امتداد یکی از بازه های بالادست حوضه ی امامه واقع در حوضه ی آبریز رودخانه ی جاجرود نشان دهنده ی یکسری ویژگی های خاص هیدرولیکی و مورفولوژیکی است. طول بازه ی منتخب به منظور انجام مطالعات در حدود ۱۴۵ متر بوده که بر اساس طبقه بندی ارائه شده به وسیله ی مونتگومری و بافینگتون دارای مورفولوژی پله- گوداب می باشد.

مطالعات نشان می دهد که وجود پله در مسیر رودخانه تأثیر محسوسی بر الگوی جریان خواهد داشت. به بیان دیگر نتایج حاکی از آن است که در طیف جریان های کم تا زیاد، ۴۰ تا تقریباً ۸۰ درصد از ضریب زبری کل مسیر رودخانه ناشی از وجود عوارض پلکانی مانند است، همچنین باعث خواهد شد تا نیمرخ آب با وجود شیب زیاد (بیش از ۱۰ درصد) به صورت رژیم زیر بحرانی باشد. از سوی دیگر، وجود انعطاف پذیری مورفولوژی رودخانه با شرایط هیدرولیکی حاکم قابل مشاهده است. به گونه ای که مطالعات بازگو کننده ی این موضوع است که با افزایش فاصله بین پله ها، عمق گود افتادگی در فاصله ی بین دو پله ی متوالی به منظور کاهش بیش تر انرژی آب افزایش خواهد یافت، همچنین می توان به دوزنقه ای شکل بودن گوداب ها در این بازه اشاره نمود که ضلع عریض و پهن آن در ابتدای مسیر آب و پای پله قرار داشته و باعث به وجود آوردن حوضچه ی استغراق برای سقوط جت آب از بالای پله به درون آن و رخداد جهش هیدرولیکی مستغرق می گردد.

واژه های کلیدی: مورفولوژی، پله- گوداب، حوضه امامه، بازه ی پرشیب و مقاومت جریان

۱- نویسنده مسئول و کارشناس ارشد عمران- مهندسی رودخانه شرکت مهندسی مشاور ارکان رهاب farid_sep@yahoo.com
۲- استادیار دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور) mrmtatababai@pwut.ac.ir

است. همچنین بازه‌های گوناگون و واحدهای رودخانه‌ای^۱ در آن به خوبی قابل شناسایی است. حوضه‌ی امامه که بین عرض‌های جغرافیایی ۳۵°۵۷'۰۲" و ۳۵°۵۴'۱۴" شمالی و طول‌های جغرافیایی ۵۱°۳۴'۳۴" و ۵۱°۳۸'۳۹" شرقی واقع شده است، یکی از زیر حوضه‌های جاجرود به شمار می‌رود و با توجه به وضعیت طبیعی،

گوداب‌ها است برای مثال به وسیله‌ی چن [۷]، چانسون [۵] و ول و تامپسون [۱۳] الگوی سه بعدی جریان در ناحیه‌ی پلکانی، وایت‌اگر و جایگی [۱۱] چگونگی پیدایش عوارض پلکانی در مسیر رودخانه و مسایلی در زمینه‌ی بار معلق و بستر به وسیله‌ی ول و همکاران [۱۲] می‌باشد. در خلال موضوعات مطرح شده در این مقاله سعی شده است که به بررسی پارامترهای هیدرولیکی نظیر مولفه‌های مقاومت جریان، بررسی وضعیت تغییرات عدد فرود در طول مسیر رودخانه‌ی پر شیب مورد مطالعه و نیز پژوهش روی برخی مولفه‌های مورفولوژیکی نظیر روابط بین عرض مقطع پر در مقاطع گوناگون پرداخته شود.

مواد و روش‌ها

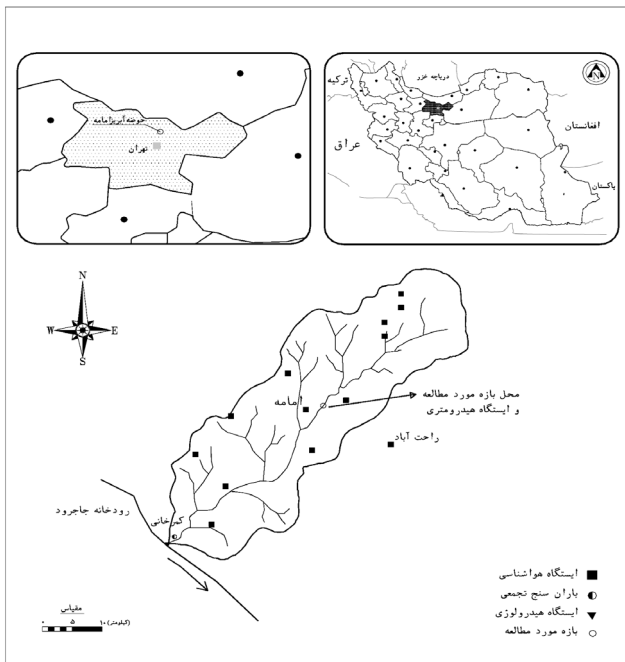
۱- فیزیوگرافی منطقه و بازه‌ی مورد مطالعه

۱-۱- حوضه‌ی مورد مطالعه

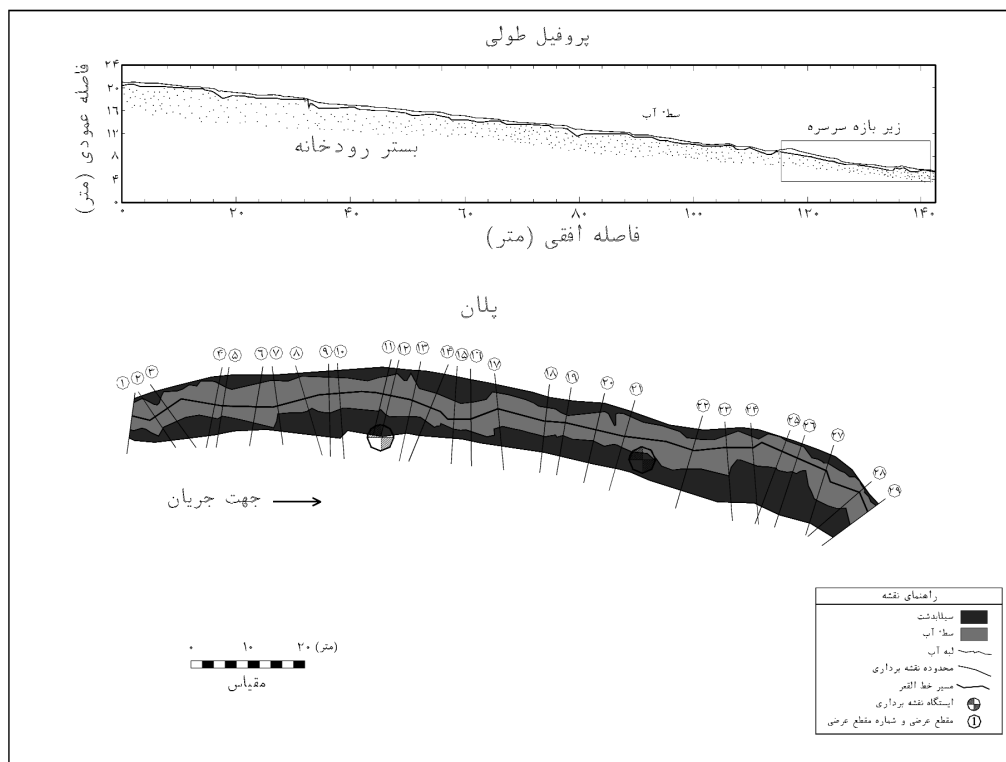
بازه‌ی مورد مطالعه واقع در سر شاخه‌های حوضه‌ی رودخانه‌ی امامه در شمال شهرستان تهران قرار دارد. حوضه‌ی یاد شده به این دلیل انتخاب شد که بازه‌های پله-گوداب در آن به خوبی توسعه یافته

جدول ۱- مقادیر سیل با دوره‌ی بازگشت‌های گوناگون

دوره‌ی بازگشت (سال)	۲	۵	۱۰	۲۵
دبی پیک (مترمکعب بر ثانیه)	۲/۳۵	۵/۸۹	۶/۵۱	۱۰/۰۸



شکل ۱- موقعیت بازه مورد مطالعه



شکل ۲- پلان و نیمرخ بازه‌ی مورد مطالعه

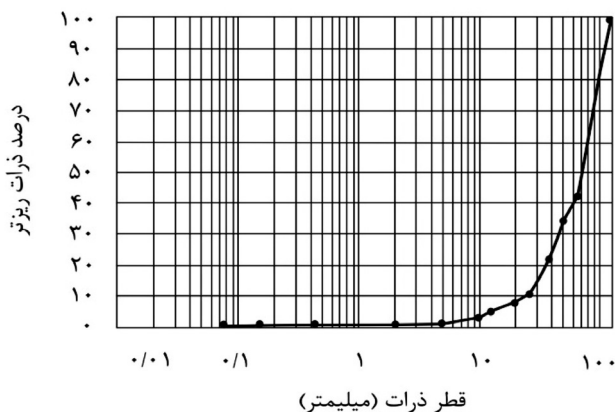
1- River Unit

۲-۲- اندازه گیری دبی جریان

با توجه به دوره‌ی محدود مطالعاتی سعی شد تا انجام مطالعات در دوره‌ی شاخص صورت پذیرد. به بیان دیگر بر اساس پژوهش صورت گرفته به وسیله‌ی نحوی [۳] در خصوص آبدهی ماهانه‌ی رودخانه‌ی امامه، دوره‌ی شاخص از اوایل بهار (فصل پرآبی) تا میانه‌های تابستان (فصل کم آبی) انتخاب گردید. بنابراین اندازه‌گیری دبی جریان در سه نوبت پایان فروردین، میانه‌های خرداد و پایان مرداد صورت گرفت. وضعیت ناهموار مسیر رودخانه و وجود سنگ‌ها در طول بازه، باعث گردید تا اقدام به انتخاب دو مقطع پایدار به لحاظ فرسایش و تغییر عمق شود. سپس با استفاده از مولینه کالیبره شده‌ی دبی جریان در دو مقطع به فاصله‌ی تقریباً ۶۰ متر از یک دیگر برای هر سه نوبت اندازه‌گیری شد.

۲-۳- برداشت نمونه‌های رسوبی

با توجه به چگونگی توزیع ذرات بستر در محدوده‌ی پله‌ها و همچنین فاصل‌های بین پله‌ها و این که اندازه‌ی ذرات مابین پله‌ها ریزتر و در مقابل ابعاد تخته‌سنگ‌های تشکیل دهنده‌ی پله‌ها بزرگ‌تر است، بنابراین برداشت نمونه‌های رسوبی بستر با استفاده از سه روش انجام گردید. به منظور برداشت نمونه از لایه‌ی سطحی از روش ۱۰۰ ذره^۱ که به وسیله‌ی ولمن [۱۴] ارایه شده، استفاده گردیده است. همچنین برای نمونه برداری از لایه‌ی سطحی در زمان‌هایی که جریان آب زیاد است، از روش نمونه برداری حجمی^۲ با استفاده از بشکه‌ی CSU که به وسیله‌ی بوته و آبوت [۴] بیان شده، بهره گرفته شد. در نهایت، بر اساس روش دیگر ارایه شده به وسیله‌ی بوته و آبوت [۴] که به صورت نمونه برداری در محل^۳ با استفاده از متر نواری است، برای اندازه‌گیری ابعاد تخته‌سنگ‌ها در محل پله‌ها استفاده گردید. نتایج دانه بندی مربوط به فاصله‌های بین پله‌ها در نمودار (۱) آمده است.



نمودار ۱- منحنی دانه بندی مربوط به فاصله‌های بین پله‌ها

- 1- Wolman Count 100 Grains
- 2- Bulk Sampling
- 3- In situ Sampling

هواشناسی و زمین‌شناسی معرف محدوده‌ای گسترده از دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی می‌باشد. مساحت حوضه تا محل اتصال به رودخانه‌ی جاجرود برابر $37/2$ کیلومتر مربع بوده و بین ارتفاعات ۱۹۰۰ تا ۳۸۷۰ متر قرار گرفته است، همچنین مساحت این حوضه تا محل خروجی رودخانه در ایستگاه امامه برابر $15/1$ کیلومتر مربع می‌باشد. میانگین دبی سالانه‌ی این حوضه در محل ایستگاه هیدرومتری امامه برابر $0/42$ متر مکعب بر ثانیه بوده است. بنابر مطالعات انجام شده به وسیله‌ی نحوی [۳] مقادیر سیل به ازای دوره‌ی بازگشت‌های گوناگون در جدول (۱) آورده شده است. شکل (۱) موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

۲-۱- بازه‌ی مورد مطالعه

طول بازه‌ی مورد مطالعه در حدود ۱۴۰ متر و همچنین دارای شیبی برابر با $10/53$ درصد است. با الگوگیری از مطالعه‌ی انجام شده به وسیله‌ی چن [۷]، در مناطقی که کاهش کف رودخانه $0/5$ متر یا بیش‌تر بود، چیدمان سنگ‌ها به گونه‌ای بود که یک پله‌ی مشخص تشکیل دهد به عنوان پله انتخاب گردید. در این صورت با توجه به داده‌های به دست آمده ۱۱ پله مجزا و مشخص انتخاب گردید تا بتوان ادامه‌ی مطالعات بر روی آنها انجام شود. شکل (۲) پلان و نیمرخ بازه‌ی ذکر شده را نشان داده است.

۲- جمع‌آوری داده‌ها

عملیات صحرائی در ابتدا از راه شناسایی و تشخیص بازه برای انجام مطالعات آغاز و سپس با جمع‌آوری داده‌ها و انجام نمونه برداری‌ها ادامه یافت. این عملیات در قالب برداشت کروکی از منطقه، برداشت توپوگرافی محدوده‌ی مطالعاتی، گردآوری نمونه‌های رسوبی به منظور دستیابی به دانه بندی از بستر و کناره‌های رودخانه، تعیین مقطع مشخص برای برداشت داده‌های دبی جریان، تعیین دبی در مقاطع مشخص شده و عکس برداری از منطقه از زوایای گوناگون خلاصه گردید.

۲-۱- روش نقشه برداری

عملیات برداشت توپوگرافی برای دو سطح زمین و سطح آب با دقت بالایی صورت گرفت، بنابراین با داشتن دو سطح آب و زمین می‌توان عمق جریان در هر نقطه را مشخص و اندازه‌گیری نمود. عملیات ذکر شده در طول مسیر رودخانه بدین گونه انجام شد که در مناطقی دارای ناهمواری‌های زیاد زمین و همچنین تغییرات ناگهانی سطح آب، فاصله‌ی نقاط برداشت شده نزدیک به ۲۰ سانتی متر نیز رسید. به منظور کاهش و سرشکن نمودن خطای داده‌های ارتفاعی در طول ۱۲۰ متر بازه مورد مطالعه، ۲ ایستگاه در داخل محدوده تعیین گردید، بنابراین بیش‌ترین فاصله‌ی خوانده شده در حدود ۳۰ متر بوده است.

همچنین میانگین اندازه‌ی تخته سنگ‌ها^۱ (مصالح تشکیل دهنده پله‌ها) در حدود ۴۸۶ میلی‌متر بوده است.

۳- مبانی هیدرولیکی

پترسون و موهانتی [۱۰] اظهار می‌دارند که بستر بازه‌های کوهستانی به دلیل شیب زیاد به گونه‌ای سازماندهی می‌شوند که انرژی جریان را تا حد امکان کمینه کنند. از سوی دیگر وجود عوارض اعوجاج گونه در امتداد طولی رودخانه باعث گردیده است تا نگرشی نوین بر روابط هیدرولیکی حاکم در این نوع بازه‌ها معطوف گردد که در ادامه بدان پرداخته شده است.

۳-۱- مقاومت جریان

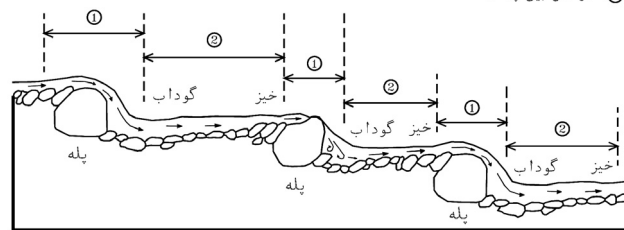
اصولاً عامل‌های موثر در کاهش انرژی آب در بازه‌های پله-گوداب عبارت است از: مقاومت ناشی از زبری ذرات بستر، مقاومت ناشی از وجود پله در مسیر جریان، وجود قوس‌ها در امتداد جریان رودخانه و وجود تنه‌های درخت (در ابعاد بزرگ و کوچک). از بین عامل‌های ذکر شده دو مورد اولی از اهمیتی بیش‌تر برخوردار است. بدین منظور برای رسیدن به هدف‌های این پژوهش، بازه‌ی مورد مطالعه به گونه‌ای انتخاب شد که تقریباً بدون قوس و تنه‌های درخت باشد (شکل (۲)).

با توجه به این که درصد زیادی از کاهش سطح آب در طول مسیر رودخانه برای این نوع بازه‌ها بیش‌تر در ناحیه‌ی پله‌ها رخ می‌دهد، بنابراین لزوم بررسی مقاومت جریان و سهم پله‌ها در تأثیرگذاری بر مقاومت کلی جریان دارای اهمیت خواهد بود. در این خصوص نویسنده پیشنهاد نموده است تا مقاومت جریان در دو بخش مانند شکل (۳) محاسبه گردد.

از موضوع‌های قابل بحث در زمینه‌ی نحوه محاسبه‌ی مقاومت ناشی از وجود پله و همچنین مقاومت ناشی از فاصله‌های بین پله‌ها، انتخاب روابط مربوطه خواهد بود. چانسون [۱] در مورد درستی و یا وجود اشکال در زمینه‌ی استفاده از فرمول‌های یاد شده، نظیر معادله داریسی- وایسباخ، چنین بیان داشته است:

کاظمی پور و آپلت در سال ۱۹۸۳ تأکید کرده‌اند که "تلاش برای

- ① محدوده پله‌ها
② فواصل بین پله‌ها



شکل ۳- تقسیم‌بندی مسیر رودخانه به منظور محاسبه‌ی میزان سهم هر یک از عوارض در ضریب زبری

محاسبه‌ی کاهش‌های ناشی از پله با فرمول مانینگ یا داریسی- وایسباخ نتیجه‌ی چندان رضایت‌بخشی ندارد. با این حال، این کار هنوز هم در عمل برای تمام جریان‌ها صورت می‌گیرد. "از سوی دیگر عاملی که در این چنین بازه‌هایی نقش تعیین‌کننده دارد، زبری و اندازه‌ی قطر ذرات بستر خواهد بود. مقصودی و کوچک‌زاده [۲] در این خصوص رابطه‌ی زبری مطلق با ضرایب زبری داریسی- وایسباخ و مانینگ روابط (۱) و (۲) را ارائه نموده‌اند:

$$f \propto k_s \frac{1}{3} \quad (1)$$

$$n \propto k_s \frac{1}{6} \quad (2)$$

که در آن f ضریب زبری داریسی- وایسباخ، n ضریب زبری مانینگ و k_s زبری مطلق (معادل با قطر ذرات) است. بر اساس روابط یاد شده ملاحظه می‌شود که تأثیرگذاری قطر ذرات بر ضریب زبری داریسی- وایسباخ بیش‌تر از ضریب زبری مانینگ خواهد بود. به بیان دیگر آهنگ تغییرات ضریب زبری داریسی- وایسباخ نسبت به زبری مطلق دو برابر ضریب زبری مانینگ می‌باشد، بنابراین تحلیل‌های مربوطه با استفاده از معادله‌ی داریسی- وایسباخ صورت گرفته است.

۳-۲- عدد فرود

بر اساس این که توپوگرافی سطح آب و همچنین کف بستر رودخانه به ازای دبی‌های گوناگون موجود است، بنابراین با استفاده از رابطه‌ی (۳)، عدد فرود در مقاطع گوناگون عرضی که در شکل (۲) مشاهده می‌گردد، قابل محاسبه خواهد بود.

$$F = \sqrt{V/gA/B} \quad (3)$$

که در آن F عدد فرود، V سرعت مبه وسیله‌ی در مقطع عرضی مربوطه، g شتاب ثقل، A مساحت مقطع عرضی و B عرض بالای سطح آب خواهد بود.

۴- مبانی مورفولوژیکی

به منظور کمی‌سازی مورفولوژی بازه‌های پله- گوداب و همچنین برای سهولت در فهم دقیق روابط به دست آمده از بررسی پژوهشگران لازم است ابتدا به معرفی و تعریف پارامترهای مورد نظر در این زمینه پرداخته شود. برای این منظور شکل (۴) پارامترهای مورفولوژیکی بازه‌های پله- گوداب را نشان می‌دهد.

شکل (۴) نیمرخ طولی یک زیر بازه پله- گوداب^۱ را نشان می‌دهد که کمیت‌های اصلی آن به وسیله‌ی بسیاری از پژوهشگران در اندازه‌گیری‌ها ملاحظه می‌شود، لذا بر اساس این شکل داریم: L طول موج (طول "تاج به تاج" یا "گوداب به گوداب")، H کاهش کلی (بستر) بین گوداب‌های متوالی، H_S ارتفاع پله، L_S طول پله و L_p طول گوداب می‌باشد.

1- Step unit

1- b-Axis (Intermediate Dimension)

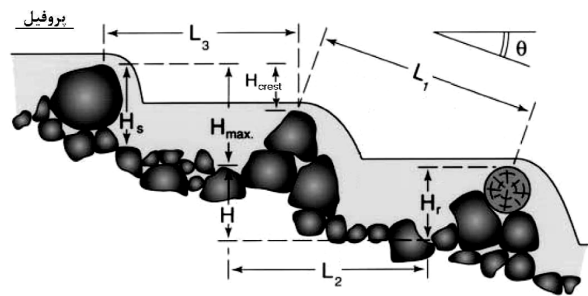
بر اساس داده‌های به دست آمده از عملیات صحرائی، مقاومت هیدرولیکی جریان برای فاصله‌های بین پله‌ها و محدوده‌ی پله‌ها با استفاده از معادله‌ی دارسی- وایسباخ محاسبه گردید که نتایج آن در جدول (۲) آورده شده است.

عموماً در بیش تر رودخانه‌ها با کاهش دبی جریان، ضریب زبری افزایش می‌یابد زیرا هرچه عمق جریان کم تر باشد، تأثیر زبری بستر بر جریان رودخانه محسوس تر است و بر عکس. وایت اگر و جایگی [۱۱] بر این باورند که در رودخانه‌های کوهستانی و به ویژه در بازه‌های پله- گوداب و آبشاری نقش زبری بستر بیش تر در جریان‌های با دبی کم با اهمیت تر از حالت سیلابی و پر آبی خواهد بود زیرا بیش تر اندازه‌ی ذرات بستر درشت دانه است.

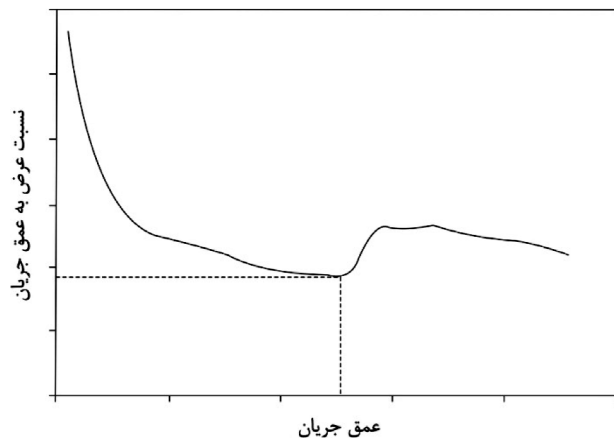
بر اساس جدول (۲) ضریب زبری کلی در دبی ۰/۰۵۶ متر مکعب در ثانیه بیش ترین مقدار است. جریان در این حالت از لابه لای تخته سنگ‌ها و قلوه سنگ‌ها عبور کرده و انرژی قابل ملاحظه‌ای از آن گرفته می‌شود. عبور رشته‌های جریان در مسیر رودخانه در دبی‌های بالاتر کم تر شده و لایه‌های زیرین جریان به صورت لایه‌ای ضخیم و نرم روی زبری‌های بستر پوشیده شده و ضریب زبری جریان کم تر می‌شود. چنانچه ملاحظه می‌گردد، ضریب زبری در دبی‌های ۰/۴۶ و ۱/۱۵ متر مکعب بر ثانیه کم تر از دبی ۰/۰۵۶ متر مکعب در ثانیه است.

بر اساس نمودار (۳) آنچه که در زمینه‌ی کاهش ضریب زبری ناشی از وجود پله‌ها در مسیر بازه پله- گوداب می‌توان گفت این است که هر چه عمق جریان در محدوده‌ی پله افزایش یابد، رژیم جریان از نوع تیغه‌ای به رژیم تبدیلی نزدیک می‌شود. چانسون [۱] بیان می‌دارد که با افزایش دبی جریان (عمق آب) چرخش دوباره‌ی جریان در پاشنه‌ی پله افزایش می‌یابد و همچنین احتمال حبس هوا در محل مزبور بیش تر می‌گردد. همچنین بر اساس نظریات این پژوهشگر کاهش نیروی کششی همراه با چرخش دوباره‌ی جریان و نیز حبس هوا موجب کاهش استهلاک انرژی در بالای پله‌ها و همچنین کاهش راندمان آن می‌گردد، اما دلیل افزایش ضریب زبری دارسی- وایسباخ از دبی ۰/۴۶ متر مکعب در ثانیه تا ۱/۱۵ متر مکعب در ثانیه به دلایل زیر است:

- افزایش زبری نسبی (d_{50}/D): با افزایش عمق جریان به ازای



شکل ۴- ویژگی‌های مورفولوژیکی بازه‌های پله- گوداب (زیمرمان و چرچ، ۲۰۰۱) (با کمی تغییرات)



نمودار ۲- نمودار تعیین عرض مقطع پر

آنچه که علاوه بر پارامترهای ذکر شده مورد بررسی قرار خواهد گرفت، عرض مقطع پر در موقعیت‌های گوناگون بازه‌ی مورد مطالعه خواهد بود. به منظور تعیین عرض مقطع پر از روش ارایه شده به وسیله‌ی ولمن [۱۴] استفاده گردید. ولمن در سال ۱۹۵۶ بیان می‌دارد که در نمودار نسبت عرض به عمق در مقابل عمق برای مقطع عرضی، جایی که به کم ترین مقدار خود می‌رسد، مقطع پر مشخص خواهد شد. نمودار (۲) نحوه محاسبه‌ی عمق مقطع پر را با این روش نشان داده است.

نتایج و بحث

۱- مقاومت جریان

جدول ۲- مقادیر ضریب زبری دارسی- وایسباخ برای سه دبی گوناگون در بازه‌ی مورد مطالعه

تاریخ نمونه برداری	۸۶/۵/۲۶	۸۶/۳/۱۴	۸۶/۱/۳۰
دبی (متر مکعب بر ثانیه)	۰/۰۵۸	۱/۱۵	۰/۴۶
ضریب زبری			
کل بازه	۴۲/۴۷	۱۳/۲۸	۹/۶۴
فاصله‌های بین پله‌ها	۲۵/۴۱	۳/۹۱	۲/۴۱
محدوده‌ی پله‌ها	۱۷/۰۶	۹/۳۷	۷/۳۳

افزایش دبی باعث می‌شود تا جریان از مقطع اصلی به سمت سیلابدشت لبریز شده که در نتیجه میانگین عمق جریان (D) کاهش یافته و در نهایت زبری نسبی افزایش خواهد یافت.

- وجود خطا در داده‌ها: نظیر خطای ناشی از وسایل، نمونه بردار و همچنین خطای ناشی از معادله‌های استفاده شده باعث بروز نوسانات برای تحلیل صورت گرفته خواهد شد.

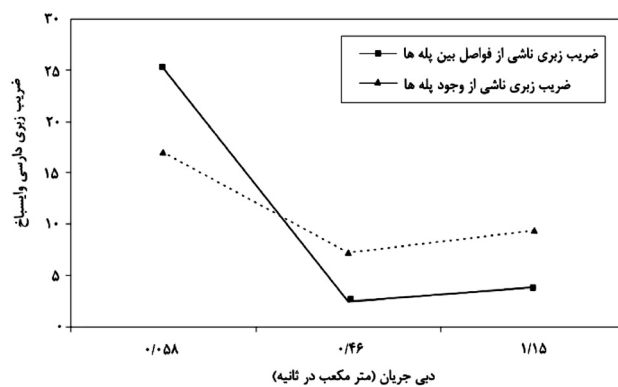
همچنین نمودار (۴) سهم هر یک از عامل‌های دخیل در ضریب زبری را که بر اساس داده‌های به دست آمده از تحلیل‌های هیدرولیکی تعیین شده است، نشان می‌دهد.

۲- عدد فرود

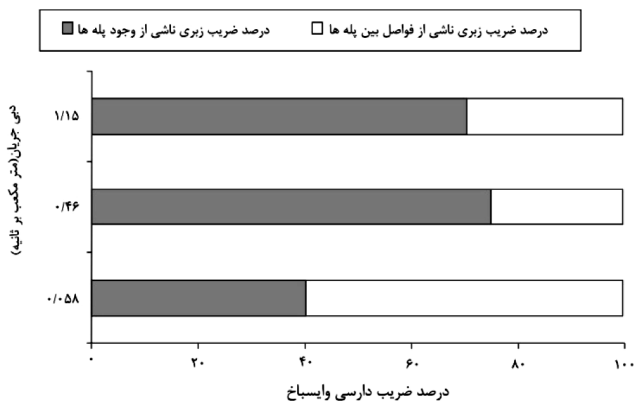
داده‌های به دست آمده از بازه‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد که در بیش تر نقاط واقع در مسیر جریان رودخانه عدد فرود کم تر از یک است، البته بر اساس مشاهدات صحرایی که به وسیله‌ی پترسون و موهانتی [۱۰] صورت گرفته است، در مناطقی که جریان آب از اطراف تخته سنگ‌ها به سمت پایین جاری می‌شود، امکان افزایش عدد فرود به بیش از یک وجود دارد، ولی باید پذیرفت که این رخدادها موضعی خواهند بود. البته مقادیر عدد فرود در طول دوره‌های گوناگون که دبی تغییر می‌کند، متغیر است. در ادامه به بحث در مورد این تغییرات پرداخته خواهد شد.

نمودار (۵) توزیع اعداد فرود در طول بازه‌ی مورد مطالعه را برای ۲۴ مقطع عرضی نشان داده است. همان گونه که می‌توان ملاحظه کرد، هیچ کدام از اعداد فرود بیش تر از یک نمی‌باشند.

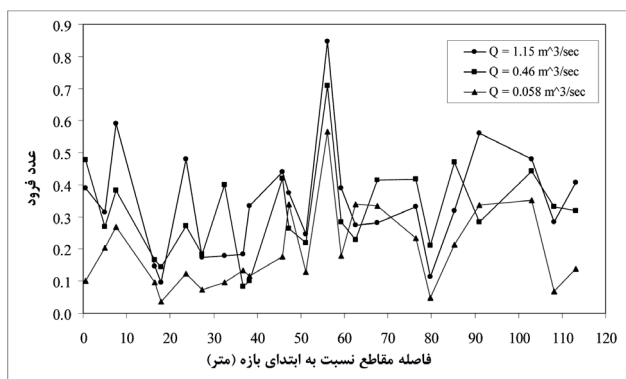
با وجود نوسان‌های زیاد عدد فرود در مسیر جریان، می‌توان مشاهده کرد که همه‌ی اعداد فرود در مقاطع عرضی کم تر از یک می‌باشند. همان گونه که در نمودار (۵) ملاحظه می‌گردد، عموماً اعداد فرود مربوط به دبی ۱/۱۵ متر مکعب در ثانیه بیش تر از دبی ۰/۴۶ و ۰/۰۵۶ متر مکعب در ثانیه می‌باشند. از دلایل این که اعداد فرود در یک مقطع مشخص برای دبی‌های به ترتیب ۰/۰۵۶، ۰/۴۶ و ۱/۱۵ متر مکعب در ثانیه سیر کاملاً صعودی ندارد، نوسان سطح آب و وجود خطا در حین خواندن سطح آب و همچنین خطاهای محاسبه‌ی عمق آب و سرعت خواهد بود. به بیان دیگر



نمودار ۳- تغییرات ضرایب زبری در دبی‌های گوناگون



نمودار ۴- سهم هر یک از عامل‌های موثر در مقاومت جریان



نمودار ۵- توزیع اعداد فرود در طول بازه‌ی مورد مطالعه

برداشت سطح آب در حین نوسان آب همراه با خطایی است که لازم است برای کاهش چنین مشکلی نوک شاخص نقشه برداری را در ارتفاعی قرار داد تا میانگینی از رقوم سطح آب باشد. گفتنی است که وجود چنین اشتباهی در حین عملیات نقشه برداری سبب خواهد شد تا عمق واقعی و در پی آن سرعت آب در آن محل واقعی نباشند که در نهایت باعث بروز رفتار غیر طبیعی برای تغییرات عدد فرود در مقابل افزایش دبی می‌شود. همچنین جدول (۳) تغییرات مربوط به عدد فرود را برای دبی‌های گوناگون نشان می‌دهد.

با تأمل در جدول (۳) می‌توان بیان کرد که با افزایش دبی جریان مقدار انحراف معیار مربوط به عدد فرود افزایش می‌یابد. دلیل این امر افزایش مقدار نوسان‌های سرعت و سطح مقطع جریان است. البته با وجود نوسان‌های عدد فرود در طول مسیر رودخانه، میانگین عدد فرود با افزایش دبی جریان بیش تر می‌شود.

۳- روابط مورفولوژیکی

۳-۱- پارامترهای مرتبط با نیمرخ طولی بازه

توپوگرافی بازه‌ی مورد مطالعه با دقت بسیار بالایی برداشت گردید که با تکیه بر آن پارامترهای مورفولوژیکی این بخش از رودخانه استخراج شد. در جدول ۴ مقادیر میانگین پارامترهای مورفولوژیکی آورده شده است.

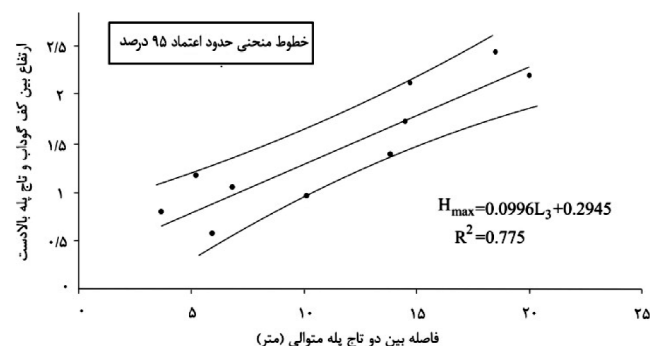
جدول ۳- مقادیر میانگین و انحراف معیار عدد فرود

تاریخ نمونه برداری	دبی جریان (متر مکعب در ثانیه)	مقادیر میانگین عدد فرود	انحراف معیار
۸۶/۱/۳۰	۰/۴۶	۰/۳۱	۰/۱۴
۸۶/۳/۱۴	۱/۱۵	۰/۳۴	۰/۱۹
۸۶/۵/۲۶	۰/۰۵۸	۰/۲۰	۰/۱۳

جدول ۴- مقادیر میانگین پارامترهای مورفولوژیکی مربوط به نیمرخ طولی بازه

پارامتر	طول
ارتفاع پله (Hs)	۰/۵۷
فاصله ی افقی بین دو تاج پله ی متوالی (L3)	۱۱/۳۷
فاصله ی مایل بین دو تاج پله ی متوالی (L1)	۱۱/۵۴
فاصله ی افقی بین دو گوداب متوالی (L2)	۱۱/۴۷
ارتفاع بین کف گوداب و تاج پله ی بالا دست (Hmax)	۱/۳۰
ارتفاع بین کف گوداب و تاج پله ی همان زیربازه (Hr)	۰/۲۶
ارتفاع بین دو تاج متوالی (Hcrest)	۱/۰۷
ارتفاع بین کف گوداب پایین دست و گوداب بالادست (H)	۱/۰۹

روابط بین پارامترهای ارتفاعی (H و Hs، Hcrest) و پارامترهای فاصله (L1، L2 و L3) بازگو کننده ی شیب طولی بستر رودخانه است، بنابراین در مطالعات ساماندهی رودخانه برای بازه های کوهستانی باید به این نکته توجه داشت که مقدار افت ارتفاعی بستر در محل پله ها بر مبنای شیب طولی مسیر رودخانه خواهد بود، اما نکته ی قابل توجه آن است که پارامتر Hmax (ارتفاع بین کف گوداب و تاج پله بالادست) ارتباط منطقی با L3 (فاصله افقی بین دو تاج پله



نمودار ۶- رابطه ی بین فاصله بین دو تاج متوالی با اختلاف ارتفاع بین کف گوداب و تاج پله بالادست

متوالی) دارد. نمودار (۶) بیان کننده ی این موضوع است.

بر اساس نمودار (۶) می توان بیان نمود که هر چه طول زیر بازه زیاد باشد، عمق گوداب افتادگی در فاصله ی بین دو پله متوالی زیاد خواهد بود. در این حالت شکل گود افتادگی به صورت یک حوضچه ی آرامش^۱ عمل خواهد کرد، بنابراین با افزایش طول گوداب (در نتیجه افزایش فاصله بین دو پله متوالی)، سهم کاهش هیدرولیکی مربوط به فاصله های بین پله افزایش خواهد یافت.

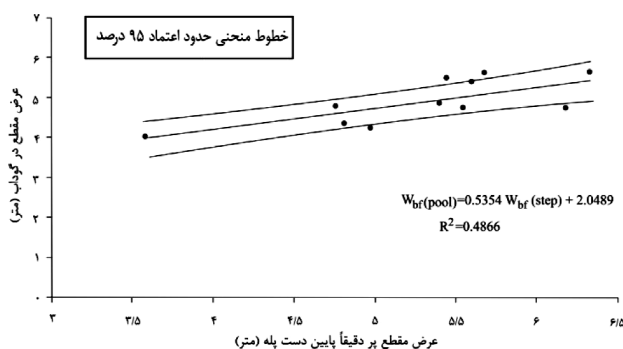
۳-۲- تراز، عرض و عمق مقطع پر^۲

با کمی تأمل می توان چنین اظهار داشت که احتمال وجود رابطه بین برخی از پارامترهای مورفولوژیکی و پارامترهای مقطع پر وجود دارد. بر اساس مشاهده های صحرائی و همچنین استفاده از روش ولمن مشخص گردید که سطح آب مربوط به دبی ۱/۱۵ متر مکعب در ثانیه بوده که در تاریخ چهاردهم خرداد سال ۸۶ برداشت شده بود، همان تراز مقطع پر رودخانه است.

همچنین گفتنی است که با توجه به دانه بندی بستر در مقاطع واقع در بین پله ها و با استفاده از نمودار شیلدز ذرات بستر در آستانه ی حرکت قرار گرفته اند. این معیار نیز در جهت تأیید رخداد دبی مقطع پر در بازه ی مورد مطالعه در زمان انجام مطالعات صحرائی می باشد. بر اساس این پژوهش مقدار متوسط عرض مقطع پر به دست آمده برابر ۴/۸۸ متر خواهد بود، بنابراین فاصله بین تاج های متوالی (طول موج^۳) ۲/۳۳ برابر عرض مقطع پر است که این نسبت در محدوده ای قرار دارد که مونتگومری و بافینگتون [۹] و همچنین چن [۷] برای بازه های پله- گوداب بیان داشته اند.

عرض رودخانه در طول بازه دارای تغییرات زیادی است. به بیان دیگر این تغییرات در پای پله و همچنین گوداب پایین دست آن دیده می شود. نمودار (۷) تغییرات عرض مقطع پر گوداب ها در مقابل عرض مقطع پر در پای پله ها را نشان داده است.

رابطه ی به دست آمده از نمودار (۷)، رابطه ی بین (عرض مقطع



نمودار ۷- رابطه ی بین عرض مقطع پر در گوداب و پای پله

1- Stilling Basin

2- Bankfull Level, Width and Depth

3- Wave Length

ses in sediment transport, hydraulics, and stream-bed monitoring: U.S. Department of Agriculture Forest Service Rocky Mountain Research Station General Technical Report RMRS-GTR-74, 428 p.

5- Chanson, H. 1995a. Hydraulic Design of Stepped Cascade, Channels, Weirs and Spillway. Pergamon, Oxford.

6- Chin, A. 1989. Step-pools in stream channels. Progress in Physical Geography 13 (3), 391-408

7- Chin, A. 1999b. On the origin of step-pool sequences in mountain streams. Geophysical Research Letters 26(2): 231-234

8- Duckson, D.W. and Duckson, L.J. 1995. Morphology of bedrock step pool systems. Water Resources Bulletin 31 (1), 43- 51

9- Montgomery, D.R. and Buffington, J.M. 1997. Channel-reach morphology in mountain drainage basins. Geological Society of America Bulletin, 109(5): 596-611

10- Peterson, DF. and Mohanty, PK. 1960. Flume studies of flow in steep, rough channels, Journal of the Hydraulics Division ASCE 86: 55-76

11- Whittaker, JG. and Jaeggi, MNR. 1982. Origin of step pool system in mountain streams, Journal of the Hydraulics Division ASCE 108: 758-773

12- Wohl, EE., Madsen, S. and MacDonald, L. 1997. Characteristics of log and clast bed-steps in step pool streams of northwestern Montana, USA, Geomorphology 20: 1-10

13- Wohl, EE. And Thompson, DM. 2000. Velocity characteristics along a small step-pool channel, Earth Surface Processes and Landforms 25: 353-367

14- Wolman, M.G. 1954. A method of sampling coarse river-bed material: Transactions of American Geophysical Union, 35 (6), pp 951-956

15- Zimmermann, A. and Church, M. 2001. Channel morphology, gradient profiles and bed stresses during flood in a step-pool channel, Geomorphology 40, 311 - 327.

پر دقیقاً در پای پله) و (عرض مقطع پر در گوداب) می باشد. این رابطه گویای شکل گوداب می باشد، یعنی عرض مقطع پر در پایین پله بیش از درون گوداب است. به بیان دیگر شکل گوداب تقریباً به حالت ذوزنقه است که ضلع عریض و پهن آن در ابتدای مسیر آب قرار دارد.

نتیجه گیری

در این پژوهش به بررسی مطالعات انجام شده در مورد مقاومت جریان و نقش پله در کاهش انرژی آب و همچنین روابط حاکم بر ویژگی های مورفولوژیکی (فاکتورهای موجود در نیمرخ و پلان) رودخانه پرداخته شده است. بررسی ها نشان می دهد که نقش پله در مقدار ضریب زبری به ویژه در جریان های متوسط و پرآبی کاملاً چشمگیر بوده است. چنانچه نتایج حاکی از آن است که در طیف جریان های کم تا زیاد، ۴۰ تا تقریباً ۸۰ درصد از ضریب زبری کل مسیر رودخانه ناشی از وجود عوارض پلکانی مانند است. همچنین مطالعات نشان می دهد که بازه های پله-گوداب در طول زمان به گونه ای سازماندهی می شوند که جریان در آن ها زیر بحرانی می باشد. در ادامه بررسی بر روی فاکتورهای موجود در خصوص نیمرخ طولی بازه پله-گوداب ملاحظه می گردد که با افزایش فاصله بین پله ها، عمق گود افتادگی در این طول به منظور کاهش بیشتر انرژی آب افزایش خواهد یافت. همچنین مطالعه روی پلان رودخانه نشان می دهد که شکل گوداب تقریباً به حالت ذوزنقه است که ضلع عریض و پهن آن در ابتدای مسیر آب قرار دارد.

مطالعه ای انجام شده ی اخیر با تأکید بر لزوم توجه به چنین بازه هایی و همچنین مشخص نمودن زمینه های پژوهش بیشتر، سعی در گام نهادن در جهت شکل دهی به مطالعات مهندسی رودخانه در بازه های کوهستانی نموده است.

سپاسگزاری

این مقاله بخشی از یک طرح پژوهشی است که اعتبارات مالی آن به وسیله ی سازمان مدیریت منابع آب تأمین شده که بدین وسیله مراتب تشکر و قدردانی اعلام می گردد.

منابع

[۱] چانسون، ه. ۱۳۸۱. ترجمه دکتر ابوالفضل شمسایی، هیدرولیک شوت ها و سرریزهای پلکانی، انتشارات دانشگاه شریف [۲] مقصودی، ن. و کوچک زاده، ص. ۱۳۸۱. چاپ چهارم، هیدرولیک کانال ها، انتشارات دانشگاه تهران

[۳] نحوی، ح. ۱۳۷۲. برآورد CN در حوضه ی آبریز امامه، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران

4- Bunte, K. and S.R. Abt. 2001. Sampling surface and sub-surface particle-size distributions in wadable gravel and cobble-bed streams for analy-