ارزیابی پتانسیل برداشت شن و ماسه از بستر رودخانهٔ قره‌چای

رضوان شاه‌حیدری: *دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه اراک*
جواد مظفری*: *دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه اراک*

نوع مقاله: پژوهشی
تاریخچهٔ مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۰۹)

چکیده

در این پژوهش، بررسی وضعیت رسوب‌گذاری رودخانهٔ قره‌چای واقع در استان مرکزی و امکان برداشت شن و ماسه در محدودهٔ سیلاب‌دشت آن مطالعه شد. برای این کار با شبیه‌سازی جریان رودخانه، میزان فرسایش و رسوب‌گذاری در بازه‌ای به طول ۲۹/۸ کیلومتر در نزدیکی شهرستان خنداب محاسبه شد. پس از تهیهٔ اطلاعات هیدرولیکی مورد نیاز و اطلاعات مربوط به مواد رسوبی و دانه‌بندی رسوبات، آورد رسوبی رودخانه و نحوهٔ توزیع آن در طول مسیر رودخانه با استفاده از مدل HEC-RAS بررسی شد. پس از واسنجی مدل، رابطهٔ انتقال رسوب ویلکاک با شش درصد اختلاف با مقادیر اندازه‌گیری شده در ایستگاه هیدرومتری به عنوان مناسب‌ترین رابطهٔ برآورد دبی رسوب شناسایی شد. بر این اساس، میزان تغییرات در تراز کف هر یک از مقاطع رودخانه، میزان رسوب عبوری و تغییرات پروفیل طولی رودخانه طی دورهٔ ده ساله شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد که در طول ده سال، به طور متوسط سیزده سانتی‌متر فرسایش در طول بازهٔ مورد بررسی وجود داشت. متوسط فرسایش در بازه‌های شش کیلومتری از بالادست به پایین‌دست به ترتیب ۱۸، ۲۱، ۱۴، ۸ و ۳/۲ سانتی‌متر بود؛ بنابراین، امکان برداشت مصالح رودخانه‌ای در این بازه وجود نداشت. همچنین ایجاد گودال برداشت به طول شش کیلومتر، عرض پنجاه متر و عمق بیست و پنجاه سانتی‌متر، از عمیق‌ترین نقطهٔ کف رودخانه در شش کیلومتر پایین‌دست نشان داد که این گودال‌ها پس از ده سال در شرایط خود باقی می‌ماند و به حالت اولیهٔ قبل از برداشت برنمی‌گردد. بنابراین، تنها در صورت لزوم در شش کیلومتر انتهایی ـــ که میزان فرسایش به کمترین حد خود رسیده‌است ـ امکان برداشت وجود خواهد داشت.

واژگان کلیدی: بستر رودخانه، برداشت شن و ماسه، مدل HEC-RAS، مصالح رودخانه‌ای.

۱ـ مقدمه

برداشت مصالح رودخانه‌ای می‌تواند به فروافتادگی آبراه و ناپایداری جانبی رودخانه منجر شود. رسوبات جریان خروجی از حوضچهٔ حفاری شده، بسیار کمتر از ظرفیت حمل رسوب جریان رودخانه است و این امر به برهم خوردن تعادل و توازن عمومی رودخانه می‌انجامد و پارامترهای مختلف هیدرولیکی آن مانند عمق جریان، شیب بستر و بار رسوبی جریان، دستخوش تغییر خواهد شد.

* نویسندهٔ مسئول: Javad_370@yahoo.com

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.9.3]

Kim و همکاران (2011)،به بررسی رودخلنهٔ مانجیونگ‌به طول ۷۷ کیلومتر در کشور کرهٔ جنوبی پرداختند. رودخانهٔ مانجیونگ با نرم‌افزار HEC-RAS شبیه‌سازی شد و از روابط موجود در مدل، رابطهٔ انگلوند ـــ هانسن نزدیک‌ترین جواب‌ها را با داده‌های آماری داشت که از سال ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۹، میانگین تراز بستر در حدود دو متر کاهش یافت. Hoseini و همکاران (2012) با بررسی بستر و کناره‌های رودخانهٔ خررود در استان قزوین نشان دادند که مناسب‌ترین دورهٔ زمانی برداشت رسوب از این رودخانه عمدتاً به ماه‌های دی تا اردیبهشت محدود می‌شود. Esmaeili Varaki و همکاران (2013)، برداشت شن ماسه و تأثیر آن در تغییرات مورفولوژی و آب‌دهی رودخانهٔ لیسار در استان گیلان را بررسی کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که میزان برداشت مصالح رودخانه‌ای بسیار بیش از حد مجاز است و این امر به تغییرات پروفیل طولی در جهت افزایش عمق بستر و تغییرات هیدرولیکی در مشخصه‌های جریان منجر می‌شود. Rahimi far And Ghobadian (2016)، روند فرسایش و رسوب‌گذاری رودخانهٔ قره‌سو در استان کرمانشاه را در بازه‌ای به طول هیجده کیلومتر مطالعه کردند. آنها نشان دادند که پروفیل‌های بستر محاسبه شده به مدت ده سال، در هر دو مدل با ضریب همبستگی بالای ۹۹ درصد بر هم منطبق بود. Teo و همکاران (2017) با مطالعه و تحقیق بر شرایط هیدرولیکی رودخانه‌های مودا، لانگات و کاروآ در کشور مالزی توانستند ظرفیت بهینهٔ برداشت و استخراج شن و ماسه را در این رودخانه‌ها تعیین کنند. تجزیه و تحلیل این داده‌ها نشان داد که معادلات یانگ و انگلوند ـــ هانسن روند انتقال رسوب را در این رودخانه‌ها به بهترین شکل پیش‌بینی می‌کند. مرادی و همکاران (2018) برداشت شن و ماسه از رودخانهٔ قورچای در استان گلستان را در بازهٔ شش کیلومتر ارزیابی کردند. آنها نتیجه گرفتند که بهترین منطقه برای برداشت مصالح، ۷۲۰ متر انتهایی رودخانه است که به دلیل شیب و شکل مقطع، سرعت جریان کاهش می‌یابد. در پژوهشی دیگر، Agus و همکاران (2020) میزان آبشستگی اطراف پایه‌های پل رودخانهٔ باتانگ کالو در کشور چین را با نرم‌افزار HEC-RAS بررسی کردند. نتایج شبیه‌سازی در این رودخانه نشان داد که افزایش آبشستگی در اطراف پایه‌های پل، همیشه به دلیل وقوع سیل و افزایش سرعت جریان آب نبوده و بسیار متأثر از افزایش شیب بستر بالادست به دلیل افزایش عمق رودخانه در اثر برداشت مصالح رودخانه‌ای است. Chehreghani و همکاران (2020) با بررسی تأثیرات برداشت شن و ماسه از رودخلنهٔ نازلو واقع در ارومیه بیان کردند که‌با وجود اثرات مثبت این امر در فراهم‌سازی خدمات و زیرساخت‌ها در منطقه، پیامدهای مخرب محیط‌زیستی نیز به همراه خواهد داشت؛ مانند رسوبات معلق و آثار آن بر آبزیان، افزایش غلظت مواد رسوبی در آب رودخانه، فرسایش بستر و ساحل رودخانه، تخریب اجتماعات گیاهی وجانوری و کاهش ظرفیت خودپالایی رودخلنه. Sathya و همکاران (2021) تحقیقاتی بر رودخلنهٔ چالیار در حوضه آبریز کرالای کشور هند انجام دادند و با استفاده از شبیه‌سازی جریان رودخانه و مقایسهٔ محاسبات مدل‌سازی با مقادیر واقعی ثابت کردند که نرم‌افزار HEC-RAS به خوبی می‌تواند جریان رودخانه را شبیه‌سازی و حجم رسوبات انتقالی را برآورد کند. Zolghadr و همکاران (2021) با بررسی گودال‌های حاصل از برداشت شن و ماسه و تأثیر آن بر مورفولوژی رودخانه نشان دادند که بین معادلات تجربی و عددی در شبیه‌سازی جریان رودخانه، نتایج قابل قبولی با درصد خطای کمتر از ده درصد وجود دارد. در استان مرکزی نیز به علت روند رو به افزایش پروژه‌های عمرانی، نیاز روزافزون به مصالح رودخانه‌ای احساس می‌شود. از سوی دیگر، ظرفیت برداشت شن و ماسه از درون

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.9.3]

آبراهه‌ها رو به پایان است؛ از این رو، بررسی پتانسیل برداشت شن و ماسه و مصالح رودخانه‌ای امری ضروری محسوب می‌شود. بنابراین، هدف این پژوهش بررسی پتانسیل برداشت مصالح رودخانه‌ای در رودخانهٔ قره‌چای است.

۲ـ منطقهٔ مورد مطالعه

حوضه آبخیز قره‌چای در استان‌های مرکزی، همدان و قم واقع است و با مساحت ۱۷۵۰/۹۲ کیلومتر مربع، در بین عرض جغرافیایی ´۴۵ و °۳۳تا ´۱۱ و °۳۴ طول ´۰۷ و °۴۹تا ´۵۰ و °۴۹ قرار دارد. رودخلنهٔ قره‌چای از شهرستان‌های آستانه، شازند، اراک، همدان، تفرش، ساوه و قم می‌گذرد و مهم‌ترین رودخانهٔ این حوضه به شمار می‌رود. به دلیل گستردگی این حوضه آبخیز، دامنهٔ تغییرات آب و هوایی در آن زیاد و ریزش‌های سالانه کمتر از ۱۵۰ میلی‌متر تا ۴۵۰ میلی‌متر متغیر است. همچنین در طول رودخانهٔ قره‌چای هفت ایستگاه هیدرومتری وجود دارد که به ترتیب از بالادست به پایین‌دست عبارتند از: ایستگاه پل دو آب، خنداب (جوشیران)، خماجین، جلایر، سد ساوه، پل عسگرآباد و مزلقان. شکل ۱، تصویر کلی این رودخانه را در استان مرکزی و بازهٔ مورد مطالعه نشان می‌دهد.



شکل ۱: شمای کلی رودخانهٔ قره‌چای و بازهٔ مورد مطالعه

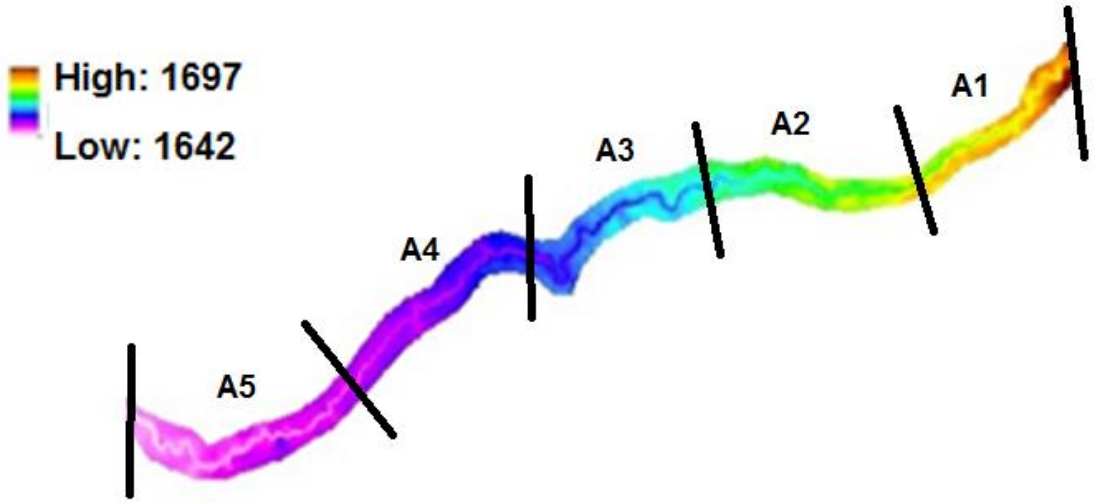
۳ـ مواد و روش

در این پژوهش برای شبیه‌سازی هیدرولیکی از نرم‌افزار HEC-RAS، اکستنشن HEC-GeoRAS و ArcGIS استفاده شد. اطلاعات پایهٔ مورد نیاز در برآورد رسوب رودخانه نیز با استفاده از مدل ریاضی HEC- RAS به دو بخش تقسیم شد:

الف) شکل هندسی رودخانه و ضرایب زبری مقاطع مختلف

شکل هندسی رودخانه و ضرایب زبری مقاطع مختلف شامل مقاطع عرضی رودخانه، طول بازه‌ها و مقادیر ضرایب مانینگ رودخانه است. شکل ۲، تصویر ماهواره‌ای و TIN بازهٔ مورد مطالعه را نشان می‌دهد. رودخانه به پنج بازه A1 تا A5 با طول‌های شش کیلومتری تقسیم شد تا میزان فرسایش بازه‌ها به صورت جداگانه بررسی شود.

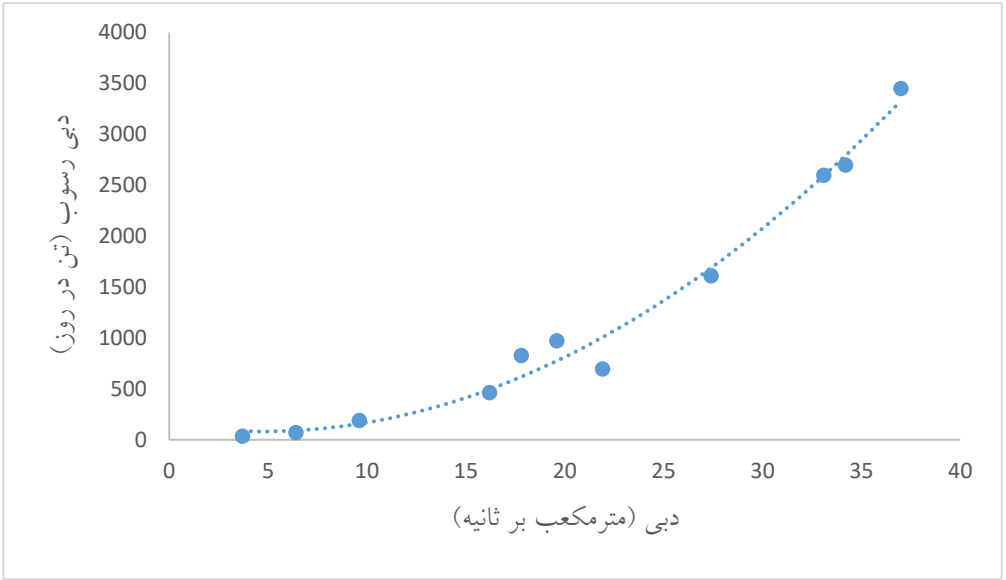
[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.9.3]



شکل ۲: تصویر ماهواره‌ای و TIN بازهٔ مورد مطالعه

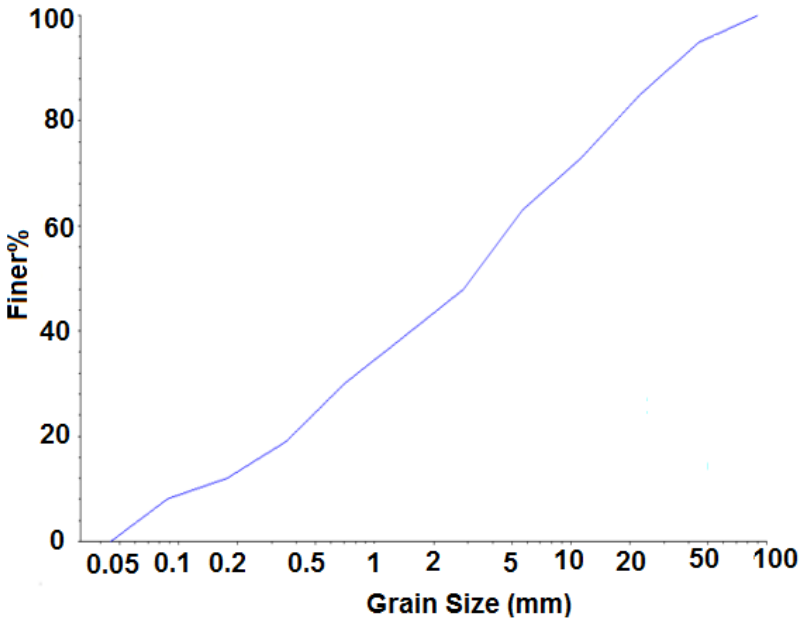
ب) مواد رسوبی (دانه‌بندی رسوبات معلق و بستر رودخانه)

شرایط مرزی در این بخش به‌صورت یک منحنی Rating curve ـــــ که ارتباط بین دبی جریان و دبی رسوب را نشان می‌دهد ـــــ به مدل معرفی شد (شکل ۳). به‌منظور ورود اطلاعات مربوط به مواد رسوبی رودخانه، از نتایج آزمایش‌های مصالح بستر رودخانهٔ قره‌چای و مقادیر دانه‌بندی ذرات بستر رودخانه استفاده شد (شکل ۴). نمونه‌برداری برای دانه‌بندی تا عمق بیست سانتی‌متر از بستر اصلی، در دو نقطه از بستر در فاصلهٔ ده و بیست کیلومتری از بالادست بازهٔ مورد مطالعه انجام شد. به دلیل نزدیکی دانه‌بندی نمونه‌ها به یکدیگر از میانگین آنها استفاده شد. با توجه به اینکه تفاوت اصلی فرمول‌های سرعت سقوط ذرات به میزان ذرات ریزدانه، میزان چسبندگی و کلوئیدی بودن آن ذرات بازمی‌گردد، از رابطهٔ Ruby برای تعیین سرعت سقوط و درنهایت انتقال رسوبات استفاده شد (Yang, 1996).



شکل ۳: منحنی سنجه

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.9.3]



شکل ۴: منحنی دانه‌بندی بستر رودخانه

برای تعیین ضـریب زبری از میان روش‌های موجود در برآورد ضـریب زبری مانینگ، روش معروف کاون[1] نقش چندین عامل را در محاسـبات خود وارد می‌کند و به همین دلیل، در مطالعات هیدرولیک رودخانهٔ قره‌چای به عنوان روش پایهٔ برآورد ضریب زبری مانینگ برگزیده شد (حسینی و ابریشمی، ۱۳۸۰). نحوهٔ برآورد ضریب این زبری در این روش با رابطهٔ زیر بیان می‌شود:

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \times m$$ رابطهٔ ۱

در این رابطه عوامل معادله به ترتیب عبارتند از: n ضـریب زبری مانینگ ترکیبی، n_b ضـریب زبری پایه با توجه به جنس بستر و دانه‌بندی مصالح کف رودخانه در حالت رودخانهٔ صاف، n_1 ضـریب زبری مربوط به نامنظمی در سطح بستر رودخانه، n_2 ضـریب زبری مربوط به تغییرات سطح مقطع رودخانه، n_3 ضـریب زبری مربوط به وجود موانع در مسیر رودخانه، n_4 ضریب زبری مربوط به وضعیت پوشش گیاهی و m ضریب زبری مربوط به درجهٔ پیچ و خم مسیر رودخانه.

به منظور انتخاب ضریب زبری، ابتدا پس از اجرای بازدید صحرایی از کف رودخانه نمونه‌برداری شد، سپس درصد ذرات تشکیل‌دهندهٔ بستر در آزمایشگاه مکانیک خاک مشخص شد. با توجه به جدول ۱، ضریب مانینگ این قسمت از رودخانه با استفاده از روش کاون برای بستر رودخانه ۰/۰۳۵ و برای دشت سیلابی ۰/۰۴۵ در نظر گرفته شد.

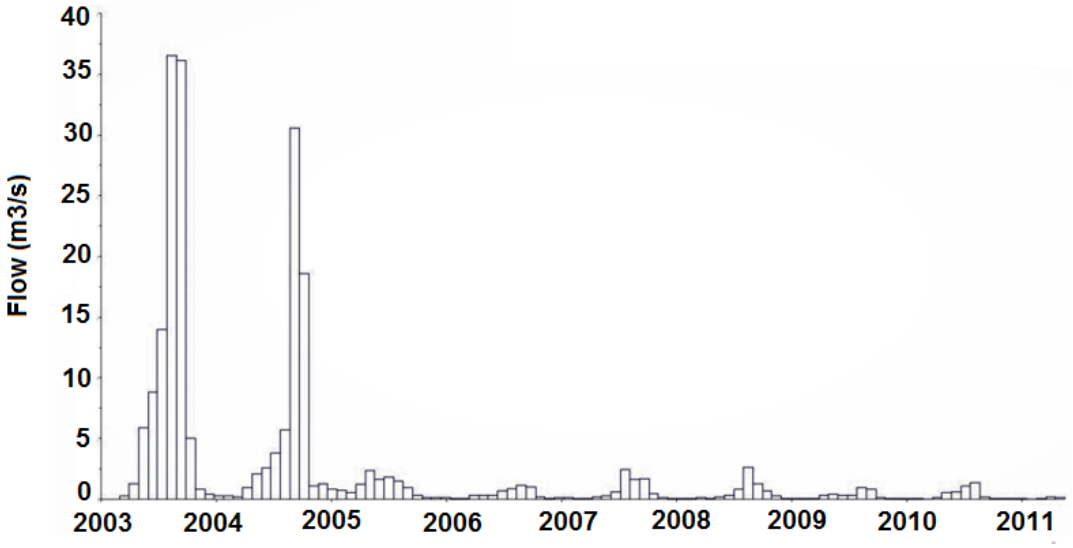
[1] Cowen

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.9.3]

جدول ۱: مقادیر ضریب زبری مانینگ بازه‌های مختلف رودخانهٔ قره‌چای در محدودهٔ مورد مطالعه

محل مورد نظر	ضریب مربوط به دانه‌بندی	درجهٔ ناهمواری در سطح بستر	ضریب تغییرات مقطع	ضریب موانع موجود	ضریب مربوط به پوشش گیاهی	ضریب مربوط به انحنای مسیر	ضریب مانینگ
بستر	۰/۰۱۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰	۰/۰۱	۱/۰	۰/۰۳۵
کناره	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰	۰/۰۱	۱/۰	۰/۰۴۵

در گام بعد برای به دست آوردن دبی عبوری رودخانه، از مقادیر ماهانهٔ دبی ـــــ اشل ایستگاه هیدرمتری پل دو آب در بالادست بازهٔ مورد بررسی با مدت ده سال استفاده شد. شکل ۵، هیدروگراف دبی سالانهٔ رودخانهٔ قره‌چای را در سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۱ نشان می‌دهد.



شکل ۵: هیدروگراف دبی سالانهٔ رودخانهٔ قره‌چای در سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۰۳

برای واسنجی و صحت‌سنجی مدل، مقادیر رسوب آن از داده‌های منحنی سنجهٔ رسوب در ایستگاه جوشیروان استخراج و هفت رابطهٔ برآورد رسوب موجود در مدل HEC- RAS با مقادیر اندازه‌گیری‌شده مقایسه شد. برای واسنجی نیز از داده‌های اندازه‌گیری شده در سال‌های فرد ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۱ و برای صحت‌سنجی، از داده‌های سال‌های زوج ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۰ استفاده شد. از رابطهٔ ۲ نیز برای محاسبهٔ خطای مقادیر پیش‌بینی شده بر حسب درصد استفاده شد. بر طبق این رابطه:

$$\mathbf{E\%} = \frac{\Sigma|\mathbf{p_i}-\mathbf{o_i}|}{\Sigma\,\mathbf{o_i}}$$ رابطهٔ ۲

در این رابطه، p_i مقدار پیش‌بینی شده و o_i مقدار اندازه‌گیری‌شده است.

در نهایت، برای بررسی تأثیر گودال‌های مصنوعی برداشت مصالح از بستر رودخانهٔ قره‌چای، دو سناریوی برداشت بیست سانتی‌متر و پنجاه سانتی‌متر برای شش کیلومتر پایین‌دست بازه و با عرض پنجاه متر بررسی شد. یادآوری این امر لازم است که در سناریوهای پیشین، فرض بر این است که برداشت تا مسافت زیادی در پایین‌دست ادامه داشته باشد. با

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.9.3]

توجه به سناریوهای مذکور، مدل برای هیدروگراف ده سالهٔ موجود اجرا شد و متوسط تغییرات به وجود آمده در مشخصات جریان در محدوده گودال‌ها به دست آمد.

۴ـ یافته‌ها (نتایج)

نتایج حاصل از اجرای هر یک از مدل‌های انتقال رسوب با نتایج رسوبات اندازه‌گیری شده در محل ایستگاه جوشیروان مقایسه شد تا رابطهٔ مناسب انتخاب شود. با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۲، از رابطهٔ ویلکاک به عنوان مناسب‌ترین رابطه در برآورد رسوب استفاده شد.

جدول ۲: مقایسهٔ درصد خطای پیش‌بینی شده در واسنجی

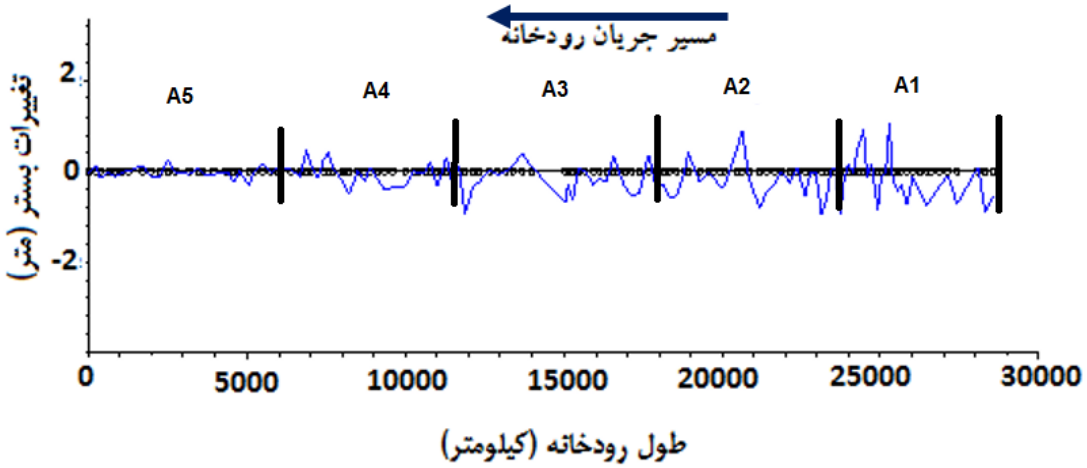
مدل	یانگ	انگلوند هانسن	لارسن	میرپیتر مولر	ویلکاک	ایکرز وایت	توفالتی	MPM توفالتی
E%	٪۵۳	٪۳۲	٪۴۹	٪۶۲	٪۱۱	٪۵۸	٪۵۴	٪۲۷

فرمول یانگ، ۵۳ درصد خطا و فرسایش را در بیشتر مقاطع رودخانه نشان می‌دهد. متوسط فرسایش ایجاد شده با استفاده از این مدل، ۴۱/۷ سانتی‌متر است. این فرمول برای دانه‌بندی ۰/۱۵ تا ۷ میلی‌متر است که در حدود ۵۵٪ از دانه‌بندی مورد آزمایش را پوشش می‌دهد. به هر حال، فرمول یانگ با آمار ایستگاه هیدرومتری اختلاف زیادی نشان می‌دهد. از مدل ایکرز وایت نیز برای دانه‌بندی بین ۰/۰۴ تا ۷ میلی‌متر استفاده می‌شود که نزدیک به ۶۵٪ از دانه‌بندی را پوشش می‌دهد. این مدل، ۵۸ درصد اختلاف را با مقادیر اندازه‌گیری‌شده نشان می‌دهد و پس از مدل میرپیتر، بیشترین اختلاف رابا مقادیر واقعی دارد. در این روش نیز تقریباً فرسایش در تمامی رودخلنه دیده می‌شود که‌با واقعیت‌های میدانی موجود همخوانی ندارد. مقدار متوسط فرسایش، برابر با ۵۲/۸ سانتی‌متر است. مدل انگلند هانسن برای دانه‌بندی ۰/۱۹ تا ۰/۹۳ میلی‌متر است و ۳۲ درصد اختلاف را با مقادیر واقعی نشان می‌دهد. این مدل به صورت آزمایشگاهی توسعه یافته، ولی به هر حال پاسخ مناسب‌تری را ارئه کرده‌است. در این روش به غیر از محدودهٔ چهار کیلومتری در بازهٔ انتهایی رودخانه، بقیهٔ بازه‌ها فرسایش را نشان می‌دهد. متوسط فرسایش در این روش برابر با ۴۲/۴ سانتی‌متر است. مدل لارسن برای دانه‌بندی ۰/۰۸ تا ۲۹ میلی‌متر توسعه داده شده‌است و در حدود ۸۵٪ از دانه‌بندی را پوشش می‌دهد. این مدل، حدود ۴۹ درصد برآورد بیشتر نسبت به مقادیر واقعی دارد و مقدار متوسط فرسایش ۳۵/۴ سانتی‌متر است. مدل میرپیتر مولر برای دانه‌بندی ۰/۴ تا ۲۹ میلی‌متر ارائه شده‌است و ۶۵ درصد از دانه‌بندی را پوشش می‌دهد. این مدل نیز نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده، ۶۲ درصد خطا نشان می‌دهد. بیشتر بازه‌ها نیز فرسایشی و مقدار متوسط فرسایش برابر با ۳۱/۱ سانتی‌متر است. رابطهٔ توفالتی برای دانه‌بندی ۰/۰۶ تا ۴ میلی‌متر ارائه شده‌است و نسبت به میزان واقعی، ۵۴ درصد خطا دارد. این مدل نیز در بیشتر بازه‌ها فرسایش را نشان می‌دهد و مقدار متوسط فرسایش به دست آمده برابر با ۴۳/۳ سانتی‌متر است. روش توفالتی MPM نیز برای دانه‌بندی شبیه توفالتی ارائه می‌شود و با مقادیر واقعی تنها ۲۷ درصد اختلاف دارد، اما پروفیل طولی به دست آمده در بیشتر نقاط، فرسایش را نشان می‌دهد. رابطهٔ ویلکاک برای رودخانه‌های درشت‌دانه و دانه‌بندی تا دویست میلی‌متر ارائه شده‌است و تمام دانه‌بندی را پوشش می‌دهد. این مدل در حدود یازده درصد برآوردی بیش از مقدار واقعی دارد و به مقادیر اندازه‌گیری شده بسیار نزدیک است. پروفیل طولی به دست آمده از این مدل نیز علاوه بر فرسایش در بازه‌های ابتدایی، در بازه‌های انتهایی نیز رسوب‌گذاری دارد. متوسط فرسایش در این بازه برابر با

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.9.3]

سیزده سانتی‌متر ــ کمترین میزان در بین مدل‌های مورد استفاده ــ است و نشان می‌دهد که رودخانه تقریباً حالت تعادلی داشته‌است (شکل ۶).

بررسی‌پوشش دانه‌بندی و شرایط استفادهٔ مدل‌ها نشان می‌دهد که به صورت دقیق نمی‌توان یکی از آنها را انتخاب کرد و بهترین راه، استفاده از ایستگاه هیدرومتری است. بنابراین، از مدل ویلکاک با نزدیک‌ترین تخمین استفاده شد. البته اجرای مدل‌های دیگر برای ده سال نیز فرسایش بسیار زیادی را نشان داد که از واقعیت‌های میدانی بسیار دور بود. برای بررسی صحت مدل ویلکاک، مقادیر پیش‌بینی این مدل برای سال‌های زوج ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۰ بررسی شد. بررسی خطای مدل ویلکاک برای سال‌های مورد بررسی نیز نشان داد که بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده اختلاف هیجده درصدی وجود دارد. بنابراین، اختلاف پیش‌بینی مدل با مقادیر اندازه‌گیری شده برای برآورد رسوب مناسب به نظر می‌رسد.

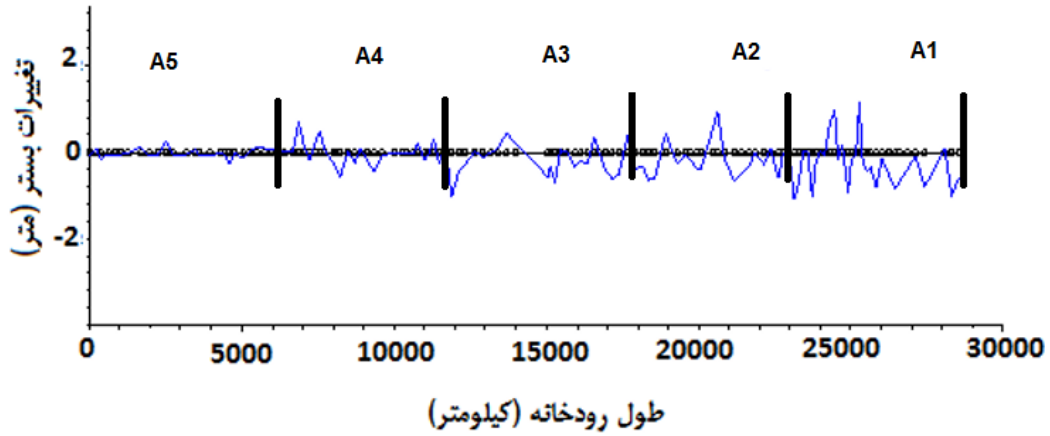


شکل ۶: تغییرات بستر رودخانه در سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۰۳ بر اساس رابطهٔ ویلکاک

۴-۱- بررسی تغییرات بستر رودخانه در بازهٔ مورد مطالعه

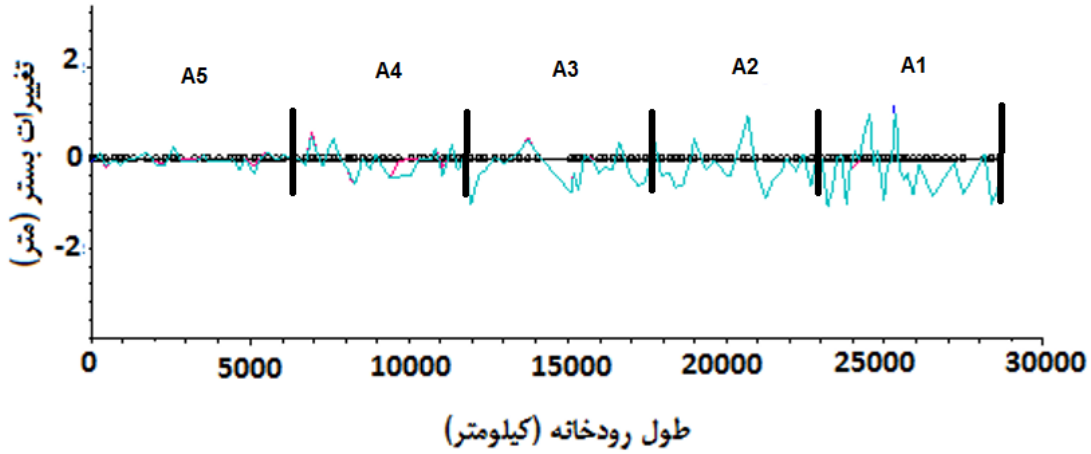
بر اساس نتایج مدل ویلکاک، حداکثر تغییرات در رقوم بستر این رودخانه طی یک دورهٔ شبیه‌سازی ده ساله استخراج شد. روند تغییرات رقوم بستر رودخانه در بازهٔ ابتدایی زمانی دو ساله در شکل ۷ نشان داده شده‌است. برای بررسی بهتر، پنج بازهٔ شش کیلومتری (A1 تا A5) در نظر گرفته شد. با توجه به شکل، در بخش اول A1 تا پنجم A5 از بالادست به سمت پایین‌دست به ترتیب متوسط فرسایش ۱۸، ۱۹، ۱۳، ۳ و ۰/۹ سانتی‌متر است. بیشترین دبی ثبت شده در ده سال مورد بررسی، در این دورهٔ زمانی و در سال ۲۰۰۴ به میزان ۳۶ مترمکعب بر ثانیه رخ داده‌است. با توجه به میزان بالای دبی در این دوره، می‌توان آن را دلیل ایجاد تغییرات شدید بستر دانست. همچنین میزان متوسط فرسایش پس از دو سال، برابر با ده سانتی‌متر بود؛ بنابراین، از سیزده سانتی‌متر فرسایش به وجود آمده در طی ده سال، ده سانتی‌متر آن در این سال ــ که بیشترین دبی را دارد ــ رخ داده‌است.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.9.3]



شکل ۷: تغییرات بستر رودخانه در سال‌های ۲۰۰۵-۲۰۰۳

شکل ۸، تغییرات نهایی بستر رودخانه را در دورهٔ شبیه‌سازی نشان می‌دهد. در این شکل، متوسط فرسایش در بازه‌های شش کیلومتری به ترتیب عبارت است از: ۱۸، ۲۱، ۱۴، ۸ و ۳/۲ سانتی‌متر. در این بازهٔ زمانی در شش کیلومتر چهارم A4، فرسایش تا حدود سه سانتی‌متر ایجاد شد. میزان متوسط فرسایش در طول مورد بررسی برابر با سیزده سانتی‌متر است.



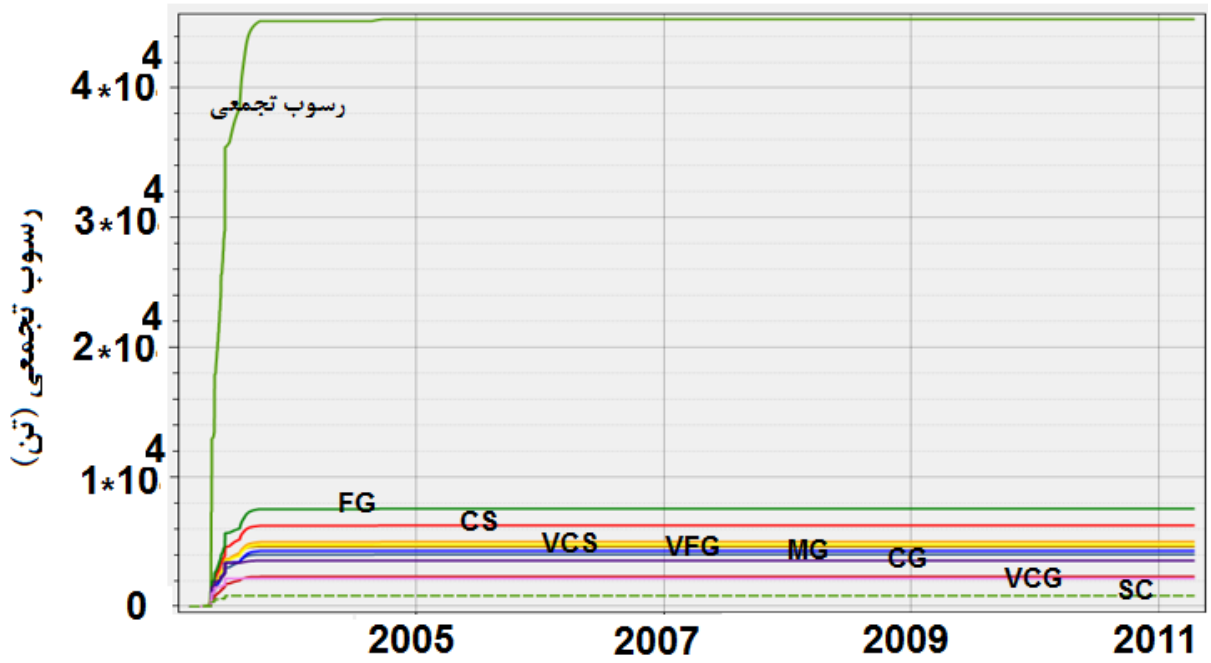
شکل ۸: تغییرات بستر رودخانه در سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۰۹

دبی اوج هیدروگراف در سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۱ برابر با حداکثر سه متر مکعب در ثانیه گزارش شد. با وجود کم بودن دبی در این دوره نسبت به دوره‌های قبل، همچنان فرسایش در اکثر نقاط به وجود آمده‌است که البته مقدار متوسط آن تنها یک سانتی‌متر می‌باشد. بنابراین، بیشتر مقدار فرسایش (ده سانتی‌متر) در دو سال اول رخ داده‌است و بقیهٔ فرسایش (۳ سانتی‌متر) نیز در سال‌های آتی به وجود آمده و بیانگر این است که در دبی‌های کم نیز رودخانه حالت فرسایشی دارد و در بازهٔ سی کیلومتری مورد بررسی فاقد قابلیت برداشت شن و ماسه است. شکل ۹، میزان کل رسوب‌گذاری تجمعی به همراه نوع دانه‌بندی رسوبات مقطع عرضی در فاصلهٔ چهار کیلومتری از بالادست بازهٔ مورد بررسی (در بازهٔ **A1**) را نشان می‌دهد. حجم کل رسوب ورودی، ۴۵۳۰۰ تن است و دانه‌بندی گروه **FG**[1] (دو تا چهار

[1] Fine Gravel

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.9.3]

میلی‌متر) به میزان ۷۵۴۱ تن (۱۶/۶٪)، بیشترین ترکیب مواد رسوبی را تشکیل می‌دهد. پس از آن دانه‌بندی CS [1] (۰/۲۵– ۰/۵ میلی‌متر)، بیشترین حجم رسوبی را دارد. حجم کل رسوب خروجی از این مقطع در دورهٔ شبیه‌سازی نیز ۵۴۱۱۱ تن برآورد شد. بنابراین، با توجه به مقادیر ذکر شده و بالاتر بودن حجم رسوب خروجی نسبت به رسوب ورودی به میزان ۸۸۱۱ تن، در این مقطع فرسایش ایجاد شده‌است.

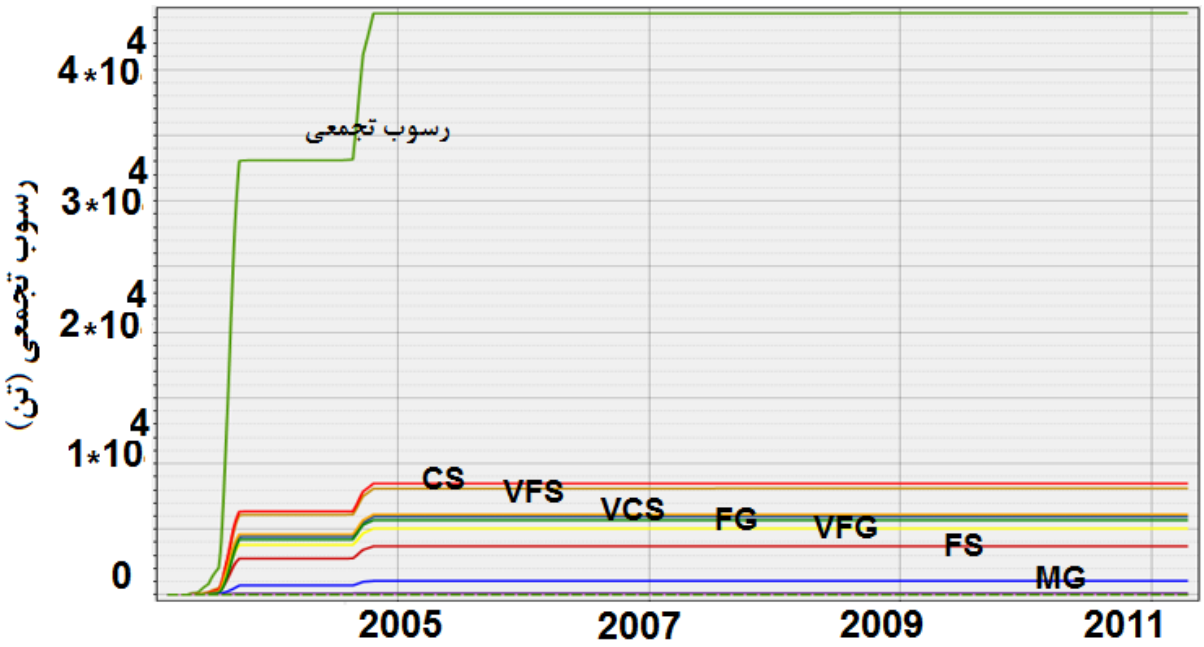


شکل ۹: مشخصات رسوبات ورودی برای دانه‌بندی‌های مختلف در مقطع عرضی شمارهٔ ۲۵۸۷۸/۲۹

شکل ۱۰، میزان کل رسوب‌گذاری به همراه نوع دانه‌بندی رسوبات این مقطع را در ۲۸ کیلومتری از بالادست (دو کیلومتری از انتهای بازه) نشان می‌دهد. حجم کل رسوب ورودی در این بازهٔ زمانی، ۴۴۳۰۴ تن است که دانه‌بندی گروه CS (۰/۲۵– ۰/۵ میلی‌متر) به میزان ۸۴۸۹ تن (۱۹/۱٪) بیشترین ترکیب مواد رسوبی را تشکیل می‌دهد. حجم کل رسوب خروجی از این مقطع در دورهٔ شبیه‌سازی به میزان ۴۳۶۷۷ تن برآورد شد. بنابراین، با توجه به مقادیر ذکر شده و بالاتر بودن حجم رسوب ورودی نسبت به رسوب خروجی به میزان ۶۲۷ تن، در این مقطع رسوب‌گذاری رخ داده‌است. در این مقطع عرضی با توجه به کاهش شیب رودخانه، توانایی جابه‌جایی دانه‌بندی بزرگ‌تر کاهش می‌یابد و بیشترین مقدار ترکیب رسوبی را رسوبات CS تشکیل می‌دهد. مقایسهٔ شکل‌های ۹ و ۱۰ نشان می‌دهد که دانه‌بندی‌های در حال انتقال در شکل ۹ ــ که در بازهٔ بالادست قرار دارد ــ سنگین‌تر و در شکل ۱۰ ــ که در بازهٔ پایین قرار دارد ــ بسیار سبک‌تر است که کاهش شیب و قدرت انتقال رسوب در بازه‌های پایین‌تر را نشان می‌دهد. البته مقدار رسوب‌گذاری و فرسایش در شش کیلومتر انتهای مورد بررسی، تقریباً برابر است و رودخانه در حالت تعادلی قرار دارد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در این بازه، شیب تعادلی رودخانه به دست آمده‌است.

[1] Coarse Sand

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.9.3]

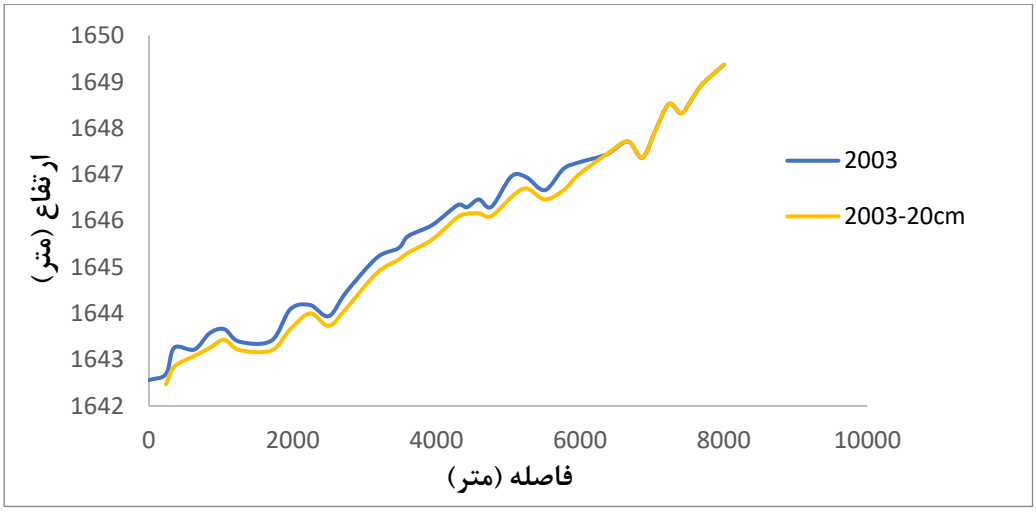


شکل ۱۰: مشخصات رسوبات ورودی برای دانه‌بندی‌های مختلف در مقطع عرضی شمارهٔ ۲۰۰۲/۶۸۶

۴-۲- بررسی نتایج مدل‌سازی چاله‌های مصنوعی برداشت شن و ماسه

۴-۲-۱- سناریوی اول: برداشت مصالح رودخانه به عمق بیست سانتی‌متر

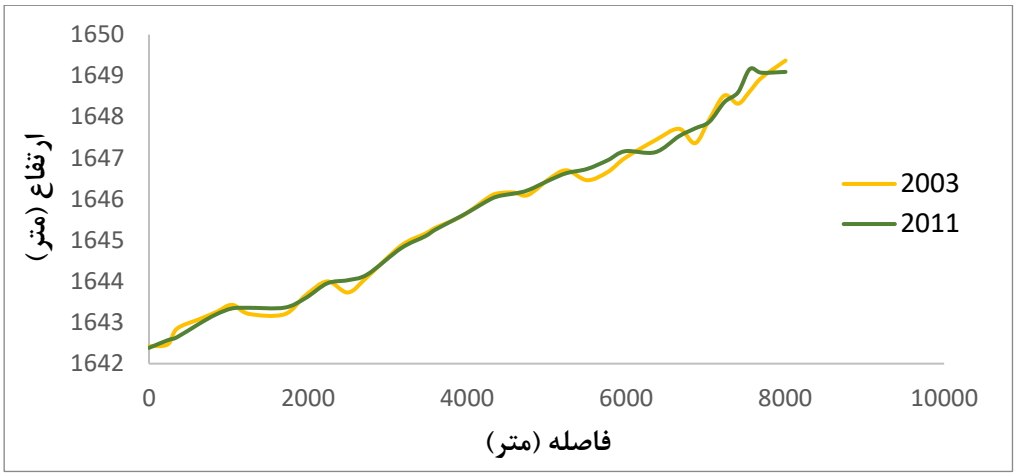
در این سناریو برداشت مصالح رودخانه‌ای به عمق بیست سانتی‌متر و عرض پنجاه متر در شش کیلومتر انتهای بازهٔ مورد مطالعه، مدل‌سازی و اجرا و نتایج آن برای دورهٔ ده ساله بررسی شد. شکل ۱۱، پروفیل طولی بستر رودخانه را در سال ۲۰۰۳ در حالت اولیه (بدون برداشت مصالح) با رنگ آبی نشان می‌دهد و پروفیل طولی پس از برداشت مصالح به عمق بیست سانتی‌متر را با رنگ زرد.



شکل ۱۱: تغییرات بستر رودخانه در سال ۲۰۰۳، قبل و پس از برداشت بیست سانتی‌متر شن و ماسه

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.9.3]

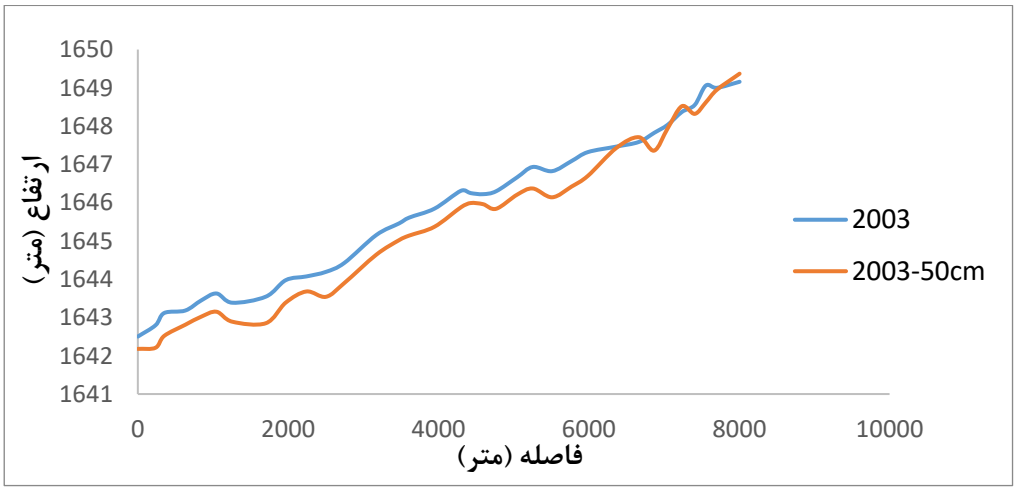
در شکل ۱۲، تغییرات پروفیل طولی با شبیه‌سازی جریان پس از دورهٔ ده ساله نشان داده شده‌است. این نمودار بیانگر کاهش پستی بلندی کف رودخانه و ادامهٔ فرایند فرسایش است. در ابتدای مسیر، حفاری گودال‌های ایجاد شده با رسوبات بالادست پر شده‌است، اما در ادامه مسیر رودخانه می‌تواند به حالت اولیه بازگردد.



شکل ۱۲: تغییرات بستر رودخانه در سال ۲۰۱۱ پس از برداشت بیست سانتی‌متر شن و ماسه

۴-۲-۲- دوم: برداشت مصالح رودخانه به عمق پنجاه سانتی‌متر

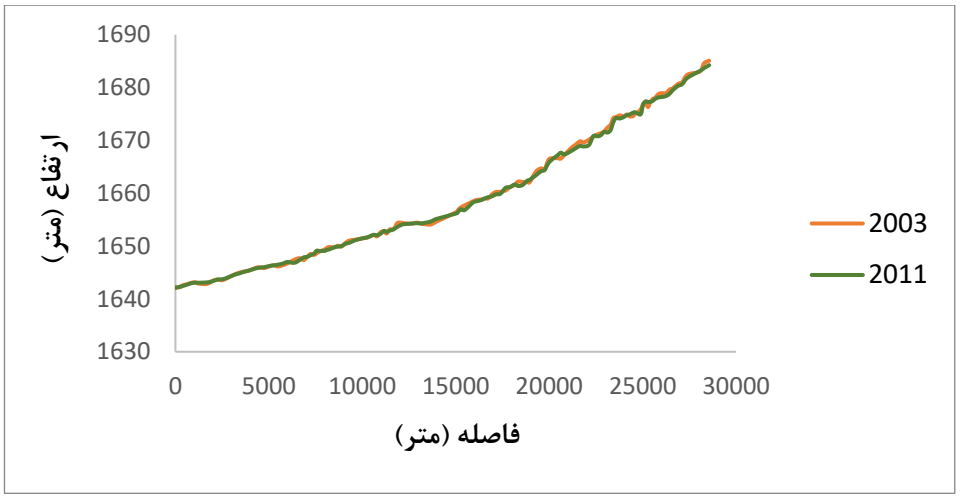
در سناریوی دوم، برداشت مصالح رودخانه‌ای به عمق پنجاه سانتی‌متر و به عرض پنجاه متر در همان بازهٔ سناریوی اول، (شش کیلومتر انتهای منطقهٔ مورد مطالعه) مدل‌سازی و اجرا و نتایج آن برای دورهٔ ده ساله بررسی شد. شکل ۱۳، پروفیل طولی بستر رودخانه را در سال ۲۰۰۳ در حالت اولیه (بدون برداشت مصالح) با رنگ آبی نشان می‌دهد و پروفیل طولی پس از برداشت مصالح به عمق پنجاه سانتی‌متر را با رنگ نارنجی.



شکل ۱۳: تغییرات بستر رودخانه در سال ۲۰۰۳ پس از برداشت پنجاه سانتی‌متر شن و ماسه

در شکل ۱۴، تغییرات پروفیل طولی با شبیه‌سازی جریان با فرض پنجاه سانتی‌متر برداشت مصالح پس از دورهٔ ده ساله نشان داده شده‌است. این نمودار نیز نشان می‌دهد که پس از برداشت مصالح، امکان بازگشت رودخانه به حالت اولیه وجود نخواهد داشت.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.9.3]



شکل ۱۴: تغییرات بستر رودخانه در سال ۲۰۱۱ پس از برداشت پنجاه سانتی‌متر شن و ماسه

۵ ـ بحث و نتیجه‌گیری

بررسی چگونگی حرکت و جابه‌جایی مواد رسوبی در رودخانه‌ها و توزیع دانه‌بندی مواد بستر، همواره از چالش‌های مهندسان رودخانه است. در این تحقیق از مدل Hec-RAS برای شبیه‌سازی جریان در بازه‌ای به طول ۲۹/۸ کیلومتر از رودخانهٔ قره‌چای استفاده شد. بر اساس پژوهش‌های Azizpanah and Yasi (2006) و Sathya و همکاران (2021)، نرم‌افزار HEC-RAS به خوبی می‌تواند جریان رودخانه را شبیه‌سازی کند و حجم رسوبات انتقالی را برآورد سازد. همچنین Roshun و همکاران (2013) با پژوهش بر روی رودخانهٔ بشار واقع در استان کهگیلویه و بویراحمد نتیجه گرفتند که مدل HEC-RAS می‌تواند مقادیر عددی مناسبی برای مطالعهٔ خصوصیات هیدرولیکی جریان در رودخانه و پهنه‌بندی سیلاب را با دقت بالا ارائه دهد. بنابراین، برای بررسی و ارزیابی وضعیت رسوب‌گذاری رودخانهٔ مورد مطالعه از مدل HEC-RAS انتخاب شد. کالیبره رسوبی مدل نشان داد که معادلهٔ انتقال رسوب ویلکاک بیشترین تطابق را با واقعیت دارد و می‌توان از آن برای پیش‌بینی روند تغییرات این رودخانه استفاده کرد. روندیابی رسوبی و هیدرولیکی نیز نشان داد که کمترین میزان فرسایش در شش کیلومتری انتهایی بازهٔ مورد بررسی رخ می‌دهد که مطابق با پژوهش انجام شده توسط Moradi و همکاران (2018) است. آنها در پژوهش انجام شده بیان کردند که مقدار فرسایش با شیب بستر رودخانه رابطهٔ مستقیم دارد و با کاهش شیب، میزان فرسایش نیز کاهش می‌یابد. در این پژوهش بهترین منطقه برای برداشت مصالح، ۷۲۰ متر انتهایی بازهٔ مورد بررسی است که مانند این پژوهش، شیب و سرعت جریان کاهش یافته‌است. در این پژوهش، متوسط فرسایش در بازه‌های شش کیلومتری از بالادست به پایین‌دست به ترتیب ۱۸، ۲۱، ۱۴، ۸ و ۳/۲ سانتی‌متر است و در طول ده سال به طور متوسط، سیزده سانتی‌متر فرسایش در طول بازهٔ مورد بررسی وجود دارد. بررسی‌ها نشان داد حتی در سال‌هایی که دبی رودخلنه‌به حدلقل مقدار خود می‌رسد، رودخلنه در حللت فرسایش‌پذیر باقی مانده است؛ بنابراین، در حالت کلی از هیچ بخشی نمی‌توان شن و ماسه برداشت کرد. البته در طول سال‌های مورد بررسی، فرسایش در مقاطعی خاص تا حداکثر یک متر رسیده‌است. Kim و همکاران (2011) نیز در بررسی رودخانهٔ مانجیونگ در یک بازهٔ هشتاد کیلومتری در کشور کرهٔ جنوبی نشان دادند که از سال ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۹، میانگین تراز بستر در حدود دو متر کاهش یافته‌است که نشان می‌دهد در طول بازه‌های فرسایش‌پذیر در رودخانه، امکان ایجاد فرسایش با مقادیر زیاد وجود دارد. شبیه‌سازی گودال برداشت به طول شش کیلومتر، عرض پنجاه متر،

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.9.3]

عمق بیست و پنجاه سانتی‌متر از عمیق‌ترین نقطهٔ کف رودخانه در شش کیلومتر پایین‌دست نشان داد که این گودال‌ها پس از ده سال در شرایط خود باقی خواهد ماند و به حالت اولیهٔ پیش از برداشت برنخواهد گشت. در نهایت در صورت نیاز به برداشت شن و ماسه، امکان برداشت آن تنها در شش کیلومتری پایین‌دست بازهٔ مورد بررسی ـــ که تقریباً در حالت تعادل است ـــ وجود خواهد داشت؛ به هر حال، در بخش‌های پایین‌دست بازهٔ مورد بررسی ممکن است با کاهش شیب، رودخانه حالت رسوب‌گذاری یابد و تا حدودی قابلیت برداشت داشته باشد که می‌توان این امر را بررسی کرد.

منابع

1. Agus, I.; Alwys, M.; Sadtim, D.; & N. Yolanda, 2020. Numerical Modeling with HEC RAS and Scour Empiric Equation to Estimating Scour Depth on Abutment (Batang Kalu River Bridge Case), International Conference on Applied Sciences, Information and Technology, Padang, Indonesia.

2. Chehreghani, S.; Hosseinzadeh, H.; & A. Abedi, 2020. Investigation of Destructive effects and Environmental Solutions of Sand and Gravel Extraction from Urmia Nazlouchay River, Journal of Water and Sustainable Development, 7(2), 63-72. (in Persian).

3. Esmaili Varki, M.; Hassannejad Sharifi, F.; & S. Saadati, 2013. Investigating the effect of harvesting materials (sand) from river beds, case study: Lisar River in Gilan Province, 12th Iranian Hydraulic Conference. Karaj,Iran. . (in Persian).

4. Ghobadian, R., & H. Rahimifar., (2016). Numerical Modeling of Erosion and Sedimentation Patterns in Alluvial River (Case Study: Gharasoo River in Kermanshah province), *Water and Soil Science Journal*, 26(3), 35-49 .(in Persian).

5. Hosseini, S.; Javaheri, N.; & M. Habibi, 2012. Development of technical methods to locate the appropriate reaches for river sand mining, *Watershed Engineering and Management*, 4(2), 84-93. (in Persian).

6. Kim, J.; Julien, P. Y.; Ji, U.; & Kang, 2011. Journal of the Environmental Sciences, DOI: 10.5322/ JES. 2011. 20.5.555.

7. Moradi, A.; Seyedian, M.; Kahe, M.; & A. Heshmatpour, 2018. Determination of sand and gravel mine locations using HEC-RAS model (case study: Qurchay River in Golestan Province), *Irrigation and Water Engineering Journal*, 9(1), 76-88. (in Persian).

8. Roshun, H.; Vahabzadeh, G.; Solaimani, K.; & R. Farhadi, 2013. Simulation of River Hydraulics Behavior Using HEC-RAS Model in GIS Environment (Case Study: Beshar River, Kohgiloyeh and Boyerahmad Province), *Journal of Watershed Management Research*, 4(7), 70-84. (in Persian).

9. Sathya, A.; Thampi, S. G.; & N. R. Chithra, 2021. Development of a framework for sand auditing of the Chaliyar River basin, Kerala, India using HECHMS and HEC-RAS model coupling, *International Journal of River Basin Management*.

10. Teo, F. Y.; Noh, N.; Ab Ghani, A.; Zakaria, N. A.; & C. K. Chang, 2017. River sand mining capacity in Malaysia. In 37th IAHR World Congress. Kuala Lumpur.

11. Yasi, M., & B. Azizpanah., (2007). Comparison of Flow Characteristics in a Physical Model with 1D, Quasi-2D, and 2D Numerical Models in a River Reach. *Iran-Water Resources Research Journal*. 2(3), 78-89. (in Persian).

12. Yang, C. T., 1996. Sediment Transport: Theory and Practice. McGraw-Hill Companies, Inc., New York, NY.

13. Zolghadr, M.; Zomorodian, S. M. A.; Shbani, R.; & H. MD. Azamatulla, 2021. Migration of sand mining pit in rivers: An experimental, numerical and case study, *Measurement Journal*, 172, 108944.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.9.3]

Investigation of sand mining potential from the Qarechai river bed

Rezvan Shahheidari: *MSc Student in Irrigation & Drainage, Water Science & Engineering Department, Arak University*
Javad Mozaffari[1]: *Associate professor, Water Science & Engineering Department, Arak University*

Article History (Received: 2022/07/15 Accepted: 2022/10/01)

Extended abstract

1- Introduction

River sand that has been exposed to water is a good source of materials, because their weak and loose materials have been removed, and well-circulated sand with appropriate grain size is left. Also, the availability, proximity to the road and no need for further processing has led to the increasing use of these valuable resources. But as a result of high harvesting, many unfavorable morphological and environmental effects are imposed on the rivers. Therefore, scientific extraction of sand from rivers is needed. In this study, the sedimentation process in QareChai River (located in Markazi province) and the possibility of sand mining and construction activities in the margin and floodplain areas was evaluated.

2- Methodology

The watershed of the Qarechai River is located in the provinces of Markazi, Hamadan and Qom. In this research, a stretch of the river with a length of 29.8 km has been studied. . In this river, the monthly discharge-stage values of the Pole Do Ab hydrometry station for 10 years were used for the discharge of the river, and the daily sediment values of the Joshirvan station located on the study route were used to calibrate the results. After preparing the required and basic information and data related to bed materials and sediment gradations, the river sediment flux along the river were investigated using the HEC-RAS model. Cowen's method, which includes various factors in its calculations, has been chosen as the basic method for estimating Manning's roughness coefficient. After calibrating the model, Wilcock sediment transport formula was selected as the most appropriate equation for estimating sediment discharge with an error of 6% in comparison with the values measured at the hydrometric station. Accordingly, the amount of bed changes in the level of each river section, the amount of sediment and the changes in the longitudinal profile of the river over a 10-year period were simulated. Finally, in order to investigate the impact of artificial trench on harvesting materials from the Qarachai River bed, two harvesting scenarios of 20 cm and 50 cm were investigated for 6 km downstream of the section and with a width of 50 meters.

3- Results

The results showed that during 10 years, there was an average of 13 cm of erosion. The average erosion in the intervals of 6 km from upstream to downstream is 18, 21, 14.8 and 3.2 cm, respectively.

[1] **Corresponding Author: Javad_370@yahoo.com**

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.9.3]

Investigations showed that even in the years when the river discharge reaches its minimum value, the river remains in an eroding state. Therefore, in general, no part has the ability to remove sand In the higher ranges of the FG gradation (2 to 4 mm), the largest composition of sedimentary materials is formed, but with the decrease of the river slope, the ability to transport heavier materials has decreased, and the largest amount of sedimentary composition is CS sediments (0.25 -0.5 mm) forms. In addition, the creation of a trench with a length of 6 km, a wide of 50 m, and depths of 20 and 50 cm from the deepest point of the river at a distance of 6 km

downstream showed that these trenches will remain constant after 10 years and will not return to their original conditions before mining.

4- Discussion & Conclusions

Based on the researches of Yasi and Azizpanah (2006) and Sathya et al. (2021), HEC-RAS software is well capable of simulating river flow and estimating the sediment transport. Therefore, HEC-RAS model was chosen to investigate the sedimentation status of the studied river. Sedimentary and hydraulic trending showed that the lowest amount of erosion occurs in the last 6 km, which is in accordance with the research done by Moradi et al. (2018). This problem shows that by reducing the slope, the ability to harvest sand increases. The simulation of the harvesting trench showed that these trenches will remain in their condition after 10 years. Chehreghani et al. (2020) also studied the effects of sand harvesting from the Nazlu River in Urmia and stated that despite the positive effects on employment, exploitation of river materials will have harmful environmental consequences on aquatic and plant and animal communities and the self-purification capacity of the river. Finally, if it is necessary to harvest sand, it will be possible to harvest only 6 kilometers downstream of the studied area, which is almost in equilibrium.

Key Words: Riverbed; Sand Mining; HEC-RAS Model; River Material.

[DOR: 20.1001.1.22517812.1402.13.2.9.3]