



محاسبه‌ی میزان انتقال بار کل رسوب رودخانه‌ی قره آغاج در مقطع کوار با استفاده از روش‌های هیدرولیک رسوب

محمّد بهرامی^{۱*} و علی رمیمی^۲

(۱) دانشگاه پیام نور شیراز Mbahrami@spnu.ac.ir

(۲) مهندسین مشاور آسماری rahimi@asmari.ir

^{*)} عهده‌دار مکاتبات

چکیده

حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی قره آغاج از سرچشمه تا مقطع کوار دارای وسعتی در حدود ۱۶۰۰ کیلومتر مربع بوده و در این فاصله از جنوب باختری تا جنوب خاوری شیراز جریان دارد. در این تحقیق بار کل رسوب رودخانه‌ی قره آغاج تا مقطع یادشده با استفاده از خصوصیات هیدرولیکی و رسوب شناسی محاسبه شده است. این خصوصیات شامل عمق جریان، شیب کانال رودخانه، عرض رودخانه، سرعت جریان آب، آبدهی، زاویه‌ی قرار ذرات رسوبی و اندازه‌ی مشخصه‌ی ذرات (d_{10} , d_{30} , d_{60} , d_{90}) هستند. به علاوه، با اندازه‌گیری دمای آب رودخانه، لزجت کینماتیکی آب به واسطه‌ی تأثیر آن در حرکت مواد رسوبی مشخص شده است. نرخ بار معلق رودخانه با استفاده از روش پیشنهادی یانگ (۷۶۵۰۴۰ تن در سال) برآورد شده است. این تحقیق نشان می‌دهد که میزان بار بستر براساس روش میر-پیتز و مولر حدود ۲۱ درصد بار معلق رودخانه را تشکیل می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: رودخانه‌ی قره آغاج، بار بستری، بار معلق، کوار، میر-پیتز و مولر.

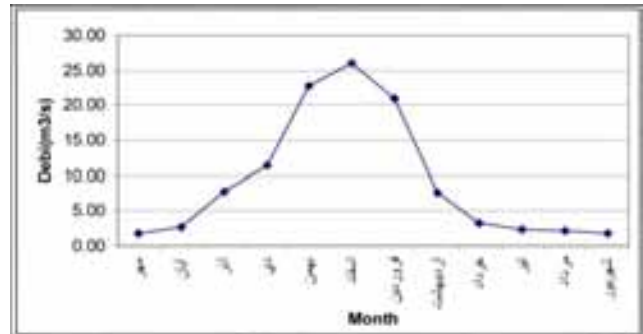
۱- مقدمه

۳/۵ و حداکثر ۴۳ مترمکعب در ثانیه گزارش شده است. سد مخزنی سلمان فارسی در این تنگ بر روی رودخانه‌ی قره آغاج احداث شده است. دبی متوسط رودخانه در ایستگاه دبی سنجی بند تاریخی بهمن (تصویر ۲) واقع در ۱/۵ کیلومتری پائین دست محل سد میرزای شیرازی، حدود ۹/۲۳ مترمکعب بر ثانیه گزارش گردیده است (تصویر ۳). از آنجا که زیان‌های وارد توسط رسوبات رودخانه‌ای به سازه‌های آبی ساخته شده بر روی رودخانه‌ها یا در کنار آن‌ها بسیار گسترده است، شناخت دقیق مقدار آن از اهداف مهم مهندسان سازه‌های هیدرولیکی می‌باشد. برای جلوگیری و یا کاستن از زیان‌های وارده باید سه فرایند فرسایش، انتقال و ته‌نشینی مواد رسوبی مورد بررسی قرار گیرند. هدف از انجام این تحقیق بررسی و برآورد میزان انتقال بار کل رسوب رودخانه، با استفاده از خصوصیات هیدرولیکی و رسوب شناسی است.

منطقه‌ی مورد بررسی بخشی از حوضه آبریز رودخانه‌ی قره آغاج، از سرچشمه تا محل سد مخزنی در شرف احداث میرزای شیرازی کوار در استان فارس می‌باشد. این منطقه در حدود ۵۰ کیلومتری جنوب خاوری شیراز قرار دارد (تصویر ۱). وسعت حوضه تا محل سد مخزنی کوار حدود ۱۶۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد و در داخل این حوضه، رودخانه‌ی قره آغاج با روند جنوب باختری - جنوب خاوری جریان دارد. این رودخانه از روستای زنگنه (حدود ۳۰ کیلومتری شمال خاوری شهرستان کازرون) سرچشمه می‌گیرد و پس از عبور از روستاهای چهل چشمه، خان زنیان، حسین آباد، خانه خمیس، قنات، کوار و ... به تنگ کارزین می‌رسد (مهندسین مشاور دزآب ۱۳۷۶). دبی متوسط سالیانه‌ی این رودخانه در ایستگاه اندازه‌گیری دبی در تنگ کارزین ۱۸ متر مکعب در ثانیه می‌باشد. حداقل دبی در این ایستگاه



تصویر ۵- نمایی از محل محور سد میرزای شیرازی (کوار) در پال شمالی کوه دالو سفیدار (سازندهای آسماری - جهرم)



تصویر ۳ نمودار متوسط دبی ماهانه در ایستگاه دبی سنجی بند بهمن

۲- موقعیت زمین شناختی

سد میرزای شیرازی در دره‌ی بین تاقدیس‌های کارستی سبزپوشان (ساحل سمت چپ) و دالو - سفیدار (ساحل سمت راست) قرار دارد (تصویرهای ۴ و ۵). رخنمون این تاقدیس‌ها عمدتاً سنگ‌های کربناته سازندهای آسماری - جهرم از قبیل سنگ آهک و دولومیت می‌باشد. سازندهای آسماری - جهرم توسط سازندهای ناتراوای پایده - گورپی در زیر (مهندسین مشاور دزآب ۱۳۷۶) و رازک (تصویرهای ۶ و ۷) یا آبرفت‌های عهد حاضر در رو محصور شده است.

بررسی تاریخی‌چاهی زمین‌شناسی دره‌ی کوار و نتایج حاصل از حفاری‌های اکتشافی در محلی که برای ایجاد سد خاکی کوار در نظر گرفته شده است نشان می‌دهد که سطح ایستابی (آب زیرزمینی) کمی پایین‌تر از سطح آب رودخانه‌ی قره آغاج قرار دارد و آب رودخانه از دو طرف و از کف به درون آب زیرزمینی تراوش می‌کند. ساختار اصلی جایگاه سد کوار را ناودیسی نامتقارن با روند شمال باختری - جنوب خاوری تشکیل می‌دهد. عملکرد نیروهای تکتونیکی در محدوده‌ی طرح با چین‌خوردگی شدید پال‌های ناودیس، تشکیل گسل و برگشتگی لایه‌ها همراه بوده است (تصویر ۴).



تصویر ۶- نمایی از سازند پایده که از مارن با میان لایه‌های آهکی تشکیل شده است

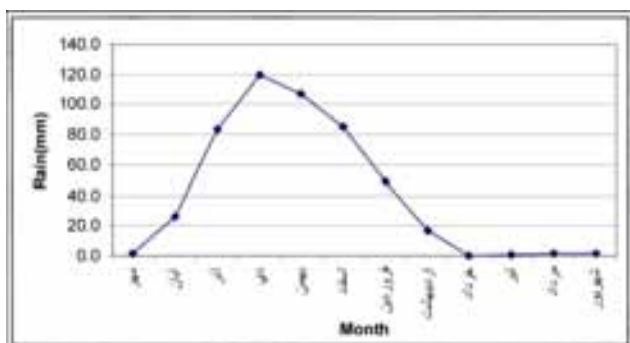


تصویر ۷- نمایی از رخنمون سازند رازک در حوضه‌ی آبریز سد میرزای شیرازی



تصویر ۴- نمایی از مسیل اصلی (دره گسلی) در پایین دست سد میرزای شیرازی منتهی به بند بهمن (گسل سفیدار و گسل کوار)

منابع مختلف معرفی شده‌اند (Simon & Senturk 1992, Julien 1995, Yang 1996) بار معلّق و بستری جداگانه محاسبه و از مجموع آنها بار کل رسوب رودخانه برآورد گردید.



تصویر ۸- نمودار متوسط بارندگی ماهانه در ایستگاه باران سنجی بند بهمن

۴- بررسی مسایل مربوط به حرکت رسوب

مواد رسوبی ناشی از رودخانه‌ها مشکلات زیادی را به وجود می‌آورند که از جمله‌ی آنها رسوبگذاری در بستر رودخانه‌ها (تصویرهای ۱۰ و ۱۱)، تخریب پل (تصویر ۱۲)، ایجاد سدها یا جزایر، رسوبگذاری در محل ورود رودخانه به دریا، رسوبگذاری در مخازن سدها که باعث کاهش ظرفیت آنها می‌گردد و مشکلات متعدّد دیگر می‌باشد. موارد فوق به هنگام سیلابی شدن رودخانه‌ها، که گاهی قدرت آنها را ده‌ها برابر افزایش می‌دهد، تشدید می‌شوند (تصویرهای ۱۳ و ۱۴). برای رویارویی با این مشکلات باید طبیعت و سازوکار حرکت رسوب و عوامل مؤثر در فرسایش، شناسایی و میزان مواد رسوبی حمل شده محاسبه گردد؛ از این موارد در طراحی سازه‌های آبی استفاده می‌شود (شفاعی بجستان ۱۳۸۴). زمانی که شرایط جریان، حدّ آستانه‌ی حرکت را برقرار کند یا از آن تجاوز نماید ذرات رسوب در طول یک بستر شروع به حرکت خواهند کرد. اگر حرکت ذرات رسوب در طول این بستر به صورت غلتیدن، لغزیدن یا جهیدن باشد، آن را بار بستری می‌نامند. نرخ انتقال بار بستری در رودخانه‌ها حدود ۵ تا ۲۵ درصد باری است که به صورت بار معلّق منتقل می‌شود (Yang 1996).

برای بررسی مسائل مربوط به حرکت رسوب، شناسایی ویژگی‌های آب و اندازه‌ی ذرات ضروری است (Yang 1996) که در زیر به‌طور خلاصه شرح داده می‌شوند:

نتایج حاصل از حفاری‌ها گویای آن است که شیب لایه‌ها در اعماق کم، قائم تا برگشته است. فشارهای وارده به یال‌های ناودیس منجر به تشکیل گسل‌های متعدّدی شده که آثار آنها در رخنمون‌ها به‌صورت آینه‌های گسلی، خش لغزش، خردشدگی و برشی بودن لایه‌ها دیده می‌شود. گسل‌ها عمدتاً از نوع فشارشی هستند. طول قابل تشخیص گسل‌های اصلی منطقه که راستای شمال باختری - جنوب خاوری و یا تقریباً شمالی - جنوبی دارند ۳ تا ۲۵ کیلومتر است. بر اساس بررسی‌های انجام شده گسل‌های مذکور فعال نیستند. چین خوردگی شدید و رخداد گسل‌های مختلف باعث خردشدگی و دگرشکلی و ایجاد درزه‌های فراوان در جایگاه سد شده است. این خردشدگی معمولاً تا عمق ۵۰ متری دیده می‌شود و در عمق‌های بیشتر، از شدت آن کاسته می‌شود. سطوح درزه‌ها صاف تا ناهموار و مواد پرکننده‌ی آنها عمدتاً رس می‌باشد. متوسط طول درزه‌ها ۲ تا ۴ متر، متوسط فاصله‌ی آنها ۰/۲ تا ۰/۳ متر و اندازه‌ی دهانه‌ی آنها از ۲ تا ۶ میلیمتر تغییر می‌کند (قبادی و ملک ۱۳۸۴). کم بودن فاصله‌ی درزه‌ها و خردشدگی سنگ‌ها باعث بالا رفتن تراوایی سنگ به‌ویژه در بخش‌های آهکی گردیده است.

۳- روش کار

برای انجام این تحقیق، علاوه بر استفاده از میانگین بارش ۲۵ ساله‌ی منطقه (تصویر ۸) و آبدهی متوسط ماهانه و سالانه در طول ۳۰ سال (از ۱۳۵۰ تا ۱۳۸۰) در ایستگاه بند بهمن، سرعت متوسط آب ودبی رودخانه نیز با استفاده از دستگاه مولینه اندازه‌گیری شد. این اندازه‌گیری به روش یک نقطه‌ای، دو نقطه‌ای، سه نقطه‌ای و پنج نقطه‌ای با توجه به شرایط موجود (علیزاده ۱۳۸۱، Raghunath 2006) در طی سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ در طول فصول مختلف انجام شد. همچنین سطح مقطع جریان رودخانه، سرعت جریان و دمای آب اندازه‌گیری گردید. با استفاده از دمای آب و به‌کارگیری فرمول پیشنهادی جولین (Julien 1995) لزجت کینماتیکی آب محاسبه شد. برای تعیین درصد قطر اندازه‌ی ذرات در هریک از گروه‌های دانه‌بندی بار بستر رودخانه، در محل اندازه‌گیری آبدهی، نمونه برداری از بستر رودخانه صورت گرفت. نمونه‌ها پس از آماده‌سازی به روش خشک و مرطوب (Tucker 1989, Lewis & McConchie 1994) دانه‌سنجی و با استفاده از منحنی دانه‌بندی، اندازه‌ی مؤثر ذرات به دست آمد (تصویر ۹). برای تعیین زاویه‌ی قرار ذرات رسوبی از روش جولین (Julien 1995) استفاده گردید. با استفاده از روش‌های انتقال رسوب که در

۱۴-۱- ویژگی‌های آب

شناسایی ویژگی‌های آب، از جمله لزجت کینماتیکی آن به منظور مطالعه‌ی انتقال رسوب، اهمیت اساسی دارد. حالت یا طرز عمل جریان در یک کانال به وسیله‌ی اثر لزجت و نیروی ثقل نسبت به نیروهای اینرسی مشخص می‌شود. وضعیت جریان از لحاظ تأثیر نیروهای برشی ناشی از لزجت در برگرنده‌ی سه نوع جریان ورقه‌ای، آشفته و انتقالی است. لزجت کینماتیکی آب را می‌توان علاوه بر جداول ارائه شده

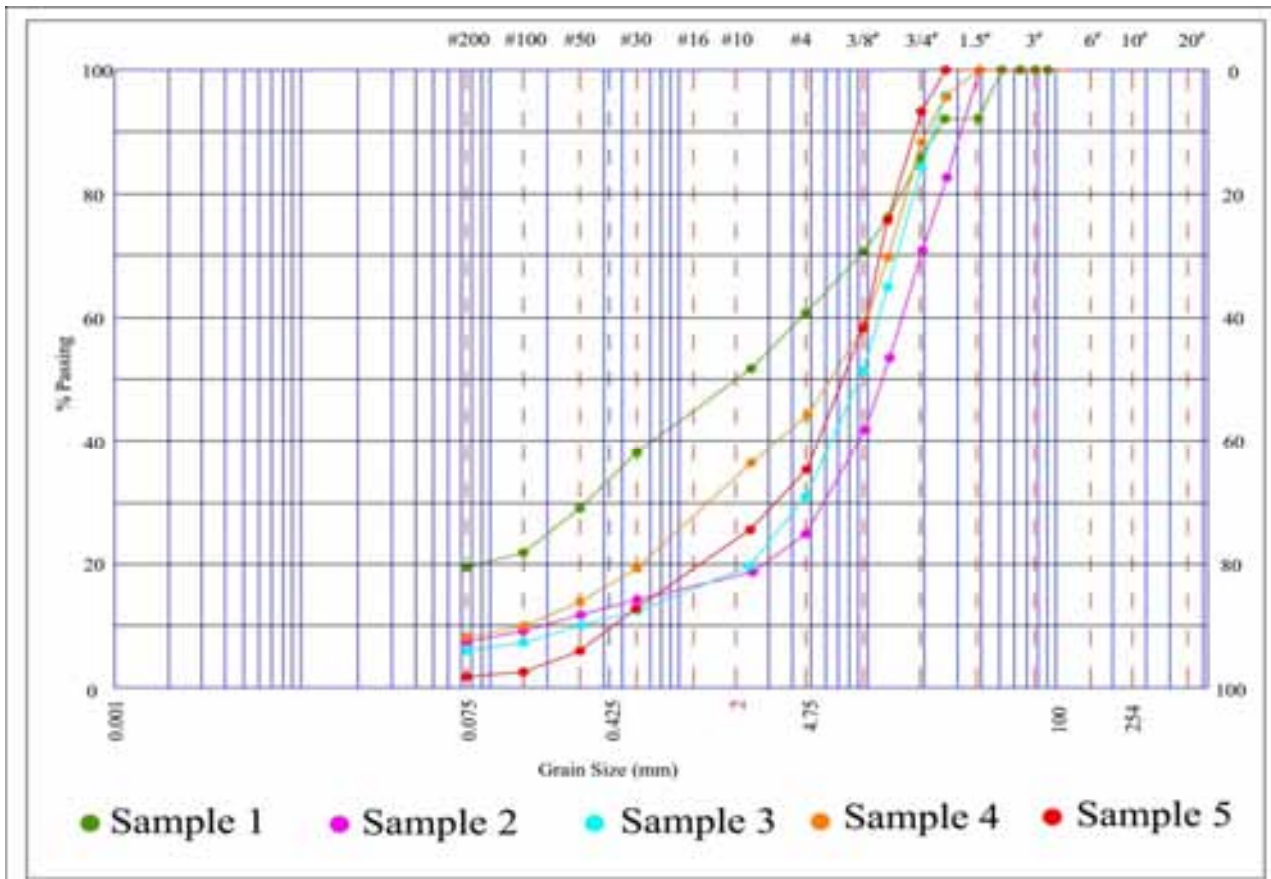
توسط لینزلی و همکاران (Linsley et al. 1982)، از رابطه‌ی

زیر نیز به دست آورد (Julien 1995).

(۱)

$$1.14 \times 10^{-6} (15)^2 (0.00068) (15) (0.031)$$

که در آن، لزجت کینماتیکی آب $(\frac{2}{\rho})$ و ρ ، دمای آب برحسب درجه‌ی سانتیگراد است. جدول ۱ لزجت کینماتیکی آب رودخانه‌ی قره آغاج را براساس متوسط دمای آب در محل سد میرزای شیرازی نشان می‌دهد.



تصویر ۹- منحنی‌های دانه‌بندی رسوب رودخانه



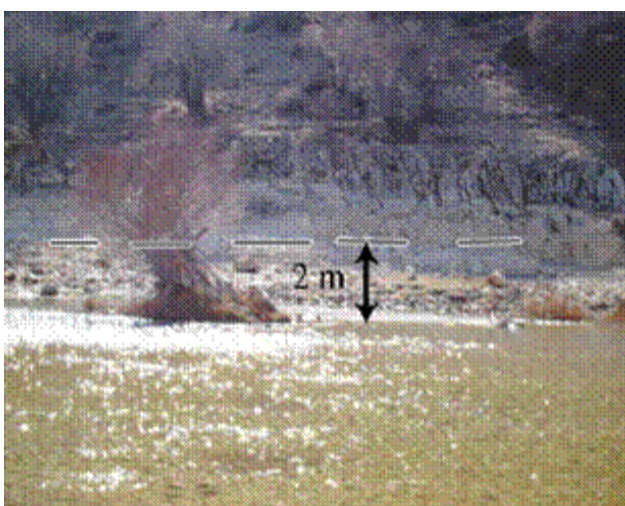
تصویر ۱۱- نمایی از دانه‌بندی رسوب در کف مسیل منتهی به سد میرزای شیرازی



تصویر ۱۰- نمایی از وضعیت تجمع رسوب در محل محور سد میرزای شیرازی



تصویر ۱۲- نمایی از پل تخریب شده توسط سیلاب‌های رودخانه‌ی قره آغاج



تصویر ۱۴- نمایی از ارتفاع داغاب مسیل منتهی به محور سد (به ارتفاع ۲ متر از کف مسیل اصلی)



تصویر ۱۳- تراز سیلاب در مسیل اصلی منتهی به محل محور سد (حدود ۲ متر از کف مسیل)

جدول ۱- لزجت کینماتیکی آب رودخانه‌ی قره آغاج براساس متوسط دمای ماهانه

ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
میانگین دما	۱۱/۹	۱۶/۷	۲۰/۵	۲۳/۶	۲۴/۳	۲۰/۷
	1.2E-06	1/1E-06	9.35E-06	8.2E-06	7.93E-07	9.4E-07
ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
میانگین دما	۱۶/۷	۱۱/۰	۷/۱	۵/۱	۵/۰	۷/۷
	1.1E-06	1.3E-06	1.3E-06	1.4E-06	1.4E-06	1.3E-06

۴-۲- اندازه‌ی ذره و زاویه‌ی ایستایی

مختلفی استفاده می‌شود. با این حال، روشی مناسب‌تر است که رفتار هیدرودینامیکی ذرات را در آب در نظر بگیرد. از جمله خواص مهم ذرات رسوبی اندازه‌های و

اندازه‌ی ذرات رسوب بهترین و اصلی‌ترین خصوصیتی است که مورد توجه قرار می‌گیرد و برای تعیین آن از روش‌های

بستر ارائه شد. پس از ۱۴ سال تحقیق و بررسی میر-پیتر با همکاری مولر در سال ۱۹۴۸ توانستند شکل کامل تری از فرمول مورد بحث خود را ارائه دهند (Yang 1996). شکل تکمیل شده‌ی این فرمول، که معمولاً توسط سازمان احیاء اراضی آمریکا (United States Bureau of Reclamation - USBR) مورد استفاده قرار می‌گیرد، به وسیله‌ی (Julien 1995) به صورت زیر ارائه گردید:

(۲)

$$0.0076 \left(\frac{1}{90} \right)^{1.5} - 0.0661 \left(\frac{1}{90} \right)^{0.5} \left(\frac{1}{90} \right)^{1.5}$$

که در این رابطه،

، بار بستر (وزن در واحد زمان در واحد عرض رودخانه)؛

g، شتاب حرکت زمین؛

، دبی جریان که حمل و نقل مواد بستر را تعیین می‌کند؛

، دبی کل جریان؛

، عمق متوسط کانال؛

، شیب خط انرژی (شیب مسیل اصلی)؛

، قطر متوسط ذرات؛

، ضریب زبری بستر که برای کانال‌های مستطیل از رابطه‌ی زیر

محاسبه می‌گردد:

$$\left\{ 1 - \frac{2}{1} \left(\frac{1}{90} \right)^{1.5} \right\}^{2/3} \quad (3)$$

که در آن،

d، عمق متوسط کانال (۱/۲ متر)؛

B، عرض متوسط کانال در مقاطع مختلف (۷۰ متر)؛

n، ضریب زبری کل مقطع؛

n_w، ضریب زبری بدنه‌ی رودخانه؛

در محاسبات انتقال رسوب مورد استفاده قرار می‌گیرند (Simons & Senturk 1994). زاویه‌ی ایستایی عبارت از زاویه‌ی شیبی است که مصالح ریخته شده در آب را به خود می‌گیرد و از آن در روابط پایداری مصالح استفاده می‌شود. زاویه‌ی ایستایی تابعی از اندازه و شکل ذرات می‌باشد و برای محاسبه آن یک سری معادلات رگرسیونی ارائه شده است (Julien 1995).

۵- محاسبه‌ی میزان انتقال بار کل رسوب در ممل سده

میزان شیرازی

در حالت کلی دو روش برای تعیین بار کل رسوب رودخانه وجود دارد. روش اول عبارت از محاسبه‌ی جداگانه‌ی بار بستری و معلق و سپس جمع نمودن آنها برای به دست آوردن بار کل می‌باشد. در روش دوم از تعیین بار کل به طور مستقیم و بدون تقسیم آن به بار بستری و معلق استفاده می‌شود (Yang 1996). در این تحقیق برای محاسبه‌ی میزان بار کل رسوب از روش اول استفاده شده است.

بر اساس مطالعات انجام شده توسط انجمن مهندسان عمران آمریکا (American Society of Civil Engineers-ASCE) در سال ۱۹۸۲، فرمول میر-پیتر و مولر در برآورد بار بستر رسوب رودخانه‌ها از دقت خوبی برخوردار است (Yang 1996). این فرمول هرچند دارای پیچیدگی خاصی است ولی از بهترین فرمول‌های موجود برای تعیین بار بستر رودخانه‌ها می‌باشد (شفاعی بجستان، ۱۳۸۴). فرمول فوق که به ام پی ام (MPM, Meyer-Peter & Muller 1948) معروف است اولین بار در سال ۱۹۳۴ توسط میر-پیتر با مطالعات آزمایشگاهی جامع بر روی انتقال رسوب به منظور محاسبه‌ی بار

جدول ۲- پارامترهای درگیر در برآورد بار بستر سالیانه‌ی رودخانه‌ی قره آغاج (کوار) بر اساس فرم تکمیل شده رابطه‌ی میر-پیتر و مولر

ردیف	پارامتر	واحد	علامت اختصاری	مقدار
۱	ضریب زبری بستر	-		0.039
۲	دبی جریان که حمل و نقل مواد بستر را تعیین می‌کند به دبی کل جریان	-		0.939
۳	اندازه‌ی میانه‌ی ذرات	mm		6.9
۴	اندازه‌ی ذره‌ای که ۹۰ درصد ذرات کوچکتر از آن می‌باشند	mm	D ₉₀	22.6
۵	عمق متوسط کانال	m	d	1.2
۶	شیب خط انرژی (شیب مسیل اصلی)	%	s	0.97
۷	بار بستر	ton/year		162 751.93

در این رابطه مقدار S شیب حوضه (0.97 %)، R شعاع هیدرولیکی مسیل اصلی (1.160 m) و g شتاب حرکت زمین (9.81 m/s^2) می‌باشد.

در رابطه‌ی ۵، F_g عدد حرکت می‌باشد که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$F_g = \frac{1}{\left[\frac{1}{\left(\frac{1}{1} \right)^{0.5}} \sqrt{32 \log(10 / \dots)} \right]^1} \quad (7)$$

D_g که پارامتر بی بعد قطر ذره است و برای محاسبه‌ی ضرائب n ، C ، A و m استفاده می‌شود به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$D_g = \left[\frac{1}{2} \right]^{1/3} \quad (8)$$

که در آن،

D_m ، اندازه‌ی میانه‌ی ذرات (6.9 mm)؛

v ، لزجت کینماتیکی آب در دمای ۱۴/۲ درجه‌ی سانتیگراد برابر $(1.16 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})$ ؛

چگالی دانه‌های رسوب (2650 Kg/m^3)؛

چگالی آب (1000 Kg/m^3) می‌باشد.

بر اساس رابطه‌ی ۵، بار کل رسوب (Q_t) با توجه به دبی متوسط ($9.23 \text{ m}^3/\text{s}$)، ۹۲۷۷۹۲ تن در سال می‌باشد که با توجه به بار کف به دست آمده بر اساس فرم تکمیل شده رابطه‌ی میر - پیترو و مولر مقدار بار معلق آن محاسبه و در جدول شماره‌ی ۴ ارائه شده است.

و نسبت — برای کانال‌های مستطیل شکل توسط سازمان احیاء اراضی آمریکا به صورت زیر ارائه گردیده است:

$$\frac{Q}{Q} = \frac{1}{1 (2 /) (/)^{1.5}} \quad (4)$$

بر اساس مقادیر عددی پارامترهای درگیر در این روابط مقدار بار بستر رودخانه‌ی قره آغاج در محل محور سده میرزای شیرازی به صورت کل محاسبه شده است (جدول ۲).

بار کل رسوب در این حوضه نیز از حاصل جمع بار بستری و معلق به روش (Acker-White 1973) محاسبه شده است که بر مبنای جمع آوری ۱۰۰۰ داده‌ی آزمایشگاهی با ذرات بزرگتر از ۰/۴ میلیمتر بوده است. رابطه‌ی Acker-White بعداً توسط (Prasuhn 1994) کالیبره و به صورت زیر ارائه گردید:

$$\dots = \dots \left(\frac{\dots}{\dots} \right) \left(\dots - 1 \right) \quad (5)$$

مقادیر ضرائب n ، C ، A و m ضرائب ثابتی هستند که بر اساس پارامتر بی بعد قطر ذره (D_g) محاسبه شده (رابطه‌ی ۸) و در جدول شماره ۳ ارائه گردیده است. u^* سرعت برشی کف آبراهه است که از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌گردد:

$$u^* = \sqrt{\dots} \quad (6)$$

جدول ۳- محاسبه‌ی ضرائب n ، C ، A و m مربوط به رابطه‌ی آیکر - وایت

1 < D _g < 60		محدوده	ردیف
حوضه آبریز سده میرزای شیرازی		ضریب D _g	
0.001	روابط 2.86 () ² 3.53	C	۱
0.929	1 0.56 log	n	۲
0.339	0.23 0.14 √	A	۳
8.565	9.66 1.34	m	۴

در این تحقیق، علاوه بر روش میر - پیترو و مولر (Julien 1995)، از روش‌های شوکلچ، اینشتین، اینشتین - برون و وانونی - بروکس نیز برای محاسبه‌ی میزان انتقال بار بستر رودخانه استفاده شده است. داده‌هایی که برای محاسبه‌ی این روش‌ها استفاده شده‌اند عبارتند از: دبی جریان آب، سرعت متوسط جریان، عرض متوسط رودخانه، عمق متوسط جریان، شیب طولی مسیر، لزجت کینماتیکی آب، دمای آب،

جدول ۴- مقادیر بار معلق و بار کف در حوضه‌ی آبریز سده میرزای شیرازی

حوضه آبریز	بار کف (Ton/year)	بار معلق (Ton/year)	مجموع (Ton/year)
سده میرزای شیرازی	162752	765040	927792

علیزاده، ا.، ۱۳۸۱، "اصول هیدرولوژی کاربردی"،

عندلیبی، م. ج. و یوسفی، ط.، ۱۳۸۳، "نقشه زمین شناسی کوار، مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰"،

قبادی، م. ح. و ملک، ل.، ۱۳۸۴، "نوع کارست و مسئله آب بندی سد میرزای شیرازی"،

مهندسین مشاور دزآب، ۱۳۷۶، "گزارش مطالعات مرحله اول و دوم طرح سد مخزنی وتاسیسات وابسته میرزای شیرازی (کوار)"،

Ackers, P. & White, W. R., 1973, "Sediment Transport; A New Approach and Analysis",

Brown, C. B., 1950, "Sediment Transportation",

Einstein, H. A., 1941, "Formulas for the transportation of bed load",

Einstein, H. A., 1942, "Formulas for the transportation of bed load", 107 575-577.

Einstein, H. A., 1950, "The Bed-Load Function for Sediment Transportation in Open Channel Flows",

Julien, P., 1995, "Erosion and Sedimentation",

Lewis, D. W. & McConchie, D. M., 1994, "Analytical Sedimentology",

Linsley, R. K., Jr. & Kohler, M. A., 1982, "Hydrology for Engineers",

Meyer-Peter, E. & Muller R., 1948, "Formula for bed-load transport",

Prasuhn A. L., 1994, "Modification of the Ackers-White Procedure to Calculate Sediment Transport by Size Fractions",

Raghunath, H. M., 2006, "Hydrology: Principles, Analysis, Design",

Schoklitsch, A., 1934, "Der geschiebetrieb und die geschiebefracht",

Simons, D. B. & Senturk, F., 1992, "Sediment Transport Technology: Water and sediment dynamics",

Tucker, M., 1989, "Techniques in Sedimentology",

درصد دانه‌های موجود در هر گروه از رسوبات تشکیل دهنده‌ی بستر و خصوصیات دانه بستر. بار بستر رودخانه‌ی قره آغاج در محل سد کوار براساس روش‌های مذکور محاسبه و نتایج به‌طور خلاصه در جدول ۵ آمده است (Simons & Senturk 1995, Yang1994).

جدول ۵- نتایج محاسبات بار بستر رودخانه‌ی قره آغاج در محل سد به روش‌های مختلف

مقدار میانگین بار بستر (q_b)		روش‌ها
$q_b\%$	تن در روز q_b	
۲۱	۴۴۵/۹	میر- پیتر و مولر (Meyer, Peter & Muller, 1948)
۱۷	۳۶۶/۹	شوکلچ (Schoklitsch 1934)
۱۸	۳۸۵/۷	اینشتین (Einstein 1942)
۱۶	۳۴۲/۸	اینشتین- براون (Einstein 1950, Brown 1950)
۱۸	۳۷۶/۸	وانونی- بروکس (Vanoni & Brooks 1957)
۱۸	۳۸۳/۶	ارزش میانگین

۴- نتیجه گیری

مقایسه‌ی نتایج حاصل از روش‌های محاسبه‌ی بار بستر (جدول ۵) نشان می‌دهد که همه این روش‌ها نسبتاً مقادیر مشابهی را به نمایش می‌گذارند. از طرف دیگر چون در حالت کلی بار بستر حدود ۵ تا ۲۵ درصد باری است که به‌صورت معلق منتقل می‌شود و این نیز با ارقام موجود در جدول (۱۶) تا (۲۱٪) همخوانی دارد، خود گویای درستی این روش‌ها می‌باشد. رابطه‌ی میر- پیتر و مولر توسط سازمان احیاء اراضی آمریکا علاوه بر کانال‌های مستطیل شکل برای کانال‌های دوزنقه‌ای نیز به‌کار گرفته شده است. این رابطه همچنین برای حالت‌هایی که فرم بستر وجود ندارد و کانال هم پهن می‌باشد کاربرد دارد. بنابراین با توجه به فاکتورهای مختلفی که در روش میر-پیتر و مولر (MPM) درگیر هستند و نیز جدید بودن آن نسبت به روش‌های دیگر، گفته می‌شود که این روش از دقت و اهمیت بیشتری برخوردار است.

مراجع

شفاعی بجستان، م.، ۱۳۸۴، "هیدرولیک رسوب"،

Vanoni, V. A., & Brooks, N. H., 1957, “Laboratory studies of the roughness and suspended load of alluvial streams”,

Yang, C. T., 1996, “Sediment Transport: Theory and Practice”,