ارزیابی پنج روش برآورد رسوب در رودخانه جگین در استان هرمزگان

حسین رستگار[1]، کارشناس مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان هرمزگان
مهدی حبیبی، دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۰۵/۲۱ **پذیرش مقاله:** ۱۳۸۹/۰۹/۱۱

چکیده

تولید رسوب یکی از مهم‌ترین مشکلات مطرح در مدیریت حوزه‌های آبخیز است. ویژگی‌های تشکیلات زمین‌شناختی هر حوزه از عواملی است که نقش مهمی در میزان بار رسوبی آن حوزه دارد. از سویی روابط موجود، تحت شرایط خاصی توسعه یافته است و استفاده از آن‌ها در شرایطی دیگر، نیازمند بررسی و مقایسه نتایج با ارقام اندازه‌گیری شده است. در این تحقیق برای ارزیابی روش‌های مختلف برآورد بار رسوبی، به‌دلیل تشابه حوزه جگین با سایر حوزه‌های استان هرمزگان، از آمار و اطلاعات ایستگاه آب‌سنجی جگین-پنهان استفاده شده است. روش‌های مورد استفاده شامل معادله اصلاح شده اینشتین، انگلوند-هانسن، یانگ، حبیبی و فان-راین است. آمار و اطلاعات آب‌سنجی مورد نیاز از طریق شرکت آب منطقه‌ای استان هرمزگان تهیه شده است. غلظت نمونه‌های گرفته شده از سیلاب در طول دوره آماری، ملاک بررسی بوده و در مقایسه با نتایج محاسبه شده، مورد استفاده قرار گرفته است. پس از کنترل درستی آمار جمع‌آوری شده، عوامل مورد نیاز در محاسبات، با استفاده از هر کدام از روش‌های فوق، مورد سنجش قرار گرفت. نتایج نشان‌داد که در مجموع متوسط نسبت بار معلق محاسباتی به مشاهده‌ای در روش اینشتین و متوسط نسبت بار کل محاسباتی به مقادیر اندازه‌گیری شده در روش انگلوند-هانسن به یک نزدیک‌تر است. میزان پراکندگی داده‌ها نیز در برآورد بار معلق به‌ترتیب در روش‌های حبیبی، اینشتین و فان-راین افزایش می‌یابد. با توجه به‌نتایج حاصله و بررسی‌های به‌عمل آمده، استفاده از روش‌های پنج‌گانه فوق و مقایسه این نتایج با مقادیر اندازه‌گیری شده، معادله اصلاح شده اینشتین پاسخ واقعی‌تری را به‌دست داده است.

واژه‌های کلیدی: انتقال رسوب، رسوب‌گذاری، روش اینشتین، منحنی سنجه رسوب، بار بستر

مقدمه

برنامه‌ریزی منابع آب، در توسعه کشاورزی در هر منطقه به‌ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک عاملی اصلی و تعیین کننده است. حوزه آبخیز رودخانه جگین یکی از حوزه‌های آبخیز مهم دریای عمان، در خاور استان هرمزگان، دارای مساحتی در حدود ۶۲۰۰ کیلومترمربع تا ایستگاه آب‌سنجی پنهان است. سرشاخه‌های فرعی رودخانه جگین از دامنه‌های جنوبی کوه‌های مکران و بشاگرد سرچشمه می‌گیرد. یکی از مشکلات اساسی در حوزه جگین وجود تشکیلات زمین‌شناختی زودفرسای زون مکران و خصوصیت رسوب‌زایی زیاد آن است. قسمت عمده سازندهای موجود، از جنس تشکیلات سست و سنگ‌های آلتره است که نقش به‌سزایی در رسوب‌زایی دارند (شفاعی‌بجستان، ۱۳۸۳; شرکت مشاور ستیران، ۱۳۷۰).

حبیبی (۱۳۷۴) برآوردهای حاصل از روش‌های مختلف نیمه‌تجربی تخمین بار رسوبی آبراهه‌ای بر روی برخی رودخانه‌های کشور را با هم بسیار متفاوت ارزیابی کرد و ضمن توصیه به اندازه‌گیری‌های صحرایی و قضاوت مهندسی

[1] rastegar_47@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

در ارزیابی نتایج حاصل از این روش‌ها، پیشنهادهایی به این شرح ارائه نمود. اول آن‌که با توجه به‌وجود اختلاف بسیار زیاد بین مقادیر دبی رسوبی تخمین زده شده به‌وسیله روش‌های مختلف، لازم است برای برخی از رودخانه‌های معرف ایران این روش‌ها واسنجی شده و در صورت امکان اصلاح گردد و مناسب‌ترین آن‌ها برای شرایط مختلف هیدرولیکی و رسوبی توصیه شود. دوم این که تخمین‌های حاصل از روش‌های برآورد بار رسوبی، پیش از کاربرد در طرح، حتماً با اندازه‌گیری‌های صحرایی و قضاوت مهندسی محک زده شوند.

سامانی (۱۳۶۷) با مقایسه چهار روش برآورد انتقال رسوب، رابطه‌ای را ارائه کرده است که حاوی عوامل وزن مخصوص سیال، عمق بحرانی و زاویه شیب طولی رودخانه بوده که به رژیم جریان و خصوصیات رسوب در حال انتقال بستگی داشته و اندازه آن‌ها را می‌توان برای هر رودخانه که دارای آمار و اطلاعات دقیق رسوب باشد از طریق روش‌های بهینه‌سازی تعیین نمود. این رابطه برای تدوین مدل‌های ریاضی انتقال رسوب حوزه آبخیز، به‌راحتی قابل استفاده خواهد بود (رستگار و حبیبی، ۱۳۸۲).

بابایان و طالب‌بیدختی (۱۳۶۷) با استفاده از معادله‌های بار بستر (Schoklitsch)، (مایر-پیتر و مولر، MPM)، (Van Rijn)، (Einstein) برای بازه‌های مختلف در رودخانه OAK Greek در آمریکا، رودخانه Rhine در سوئیس و رودخانه فهلیان در نورآباد ممسنی استان فارس در ایران اظهار داشتند که تنها روشی که برای هر سه رودخانه، مقدار بار رسوبی را به‌دقت نشان می‌دهد، روش مایر- پیتر و مولر است.

استادعلی‌عسکری (۱۳۷۷) بر روی رودخانه کارون و کرخه با بهره‌گیری از روش اصلاح شده اینشتین دریافت که این روش می‌تواند میزان بار بستر را با دقت خوبی پیش‌بینی کند. نتایج این مطالعه عمل‌کرد این روش را در مورد برآورد بار بستر و بار کل رسوبات رودخانه‌های عمیق نیز قابل قبول ارزیابی می‌کند. در نهایت، چنین نتیجه‌گیری شد که روش مزبور می‌تواند برای رودخانه‌های ایران نیز با اصلاحاتی به‌کار رود. همچنین توصیه نمودند، نمونه‌گیری از مواد بستر در لااقل سه نقطه از بستر رودخانه انجام گیرد. نمونه‌برداری به‌منظور تعیین غلظت مواد رسوبی معلق با استفاده از نمونه‌بردار وزنه‌ای، انجام شود تا بتوان زون نمونه‌برداری را مشخص نمود. دانه‌بندی مواد رسوبی معلق نیز به‌صورت ماهانه تعیین شود. در هنگام تعیین دانه‌بندی مواد معلق ذرات درشت‌تر از ۰/۰۵ میلی‌متر و در مورد دانه‌بندی مواد بار بستر ذرات ریزتر از ۰/۰۶۲۵ میلی‌متر نیز تحلیل شوند. برآورد دبی رسوب رودخانه با در نظر گرفتن بار بستر به‌صورت درصدی از بار معلق مناسب نیست. لذا، استفاده از روش اصلاح شده اینشتین که به‌وسیله استاندارد صنعت آب کشور نیز توصیه شده است، قویاً پیشنهاد می‌شود. نتایج این مطالعه عمل‌کرد این روش را در مورد برآورد بار بستر و بار کل رسوبات رودخانه‌های عمیق نیز مناسب ارزیابی می‌کند.

عرب‌خدری (۱۳۷۷) با مطالعه رودخانه‌های حوزه دریاچه ارومیه، گزارش کرد که رسوب‌دهی به‌دست آمده با منحنی تداوم جریان ۷۹ تا ۹۰ درصد مقدار محاسبه شده با روش دبی متوسط روزانه است. تخمین کم‌تر رسوب‌دهی در روش منحنی تداوم جریان به تأثیر عمل متوسط‌گیری مربوط است. صرف نظر از ایراداتی که به استفاده از منحنی تداوم جریان وارد است، اصولاً استفاده از آن در شرایط فن‌آوری موجود مورد سؤال است. برآورد رسوب‌دهی سالانه با روش متکی بر محاسبه رسوب‌دهی روزانه، هم از نظر افزایش میزان دقت و هم کاهش زمان، مناسب‌تر از روش منحنی تداوم جریان است. به‌منظور اصلاح روش‌های برآورد رسوب‌دهی پیشنهاد شده است دفتر استانداردهای وزارت نیرو نسبت به تجدید نظر در روش متداول برآورد رسوب‌دهی سالانه اقدام کند و برای واسنجی دقیق‌تر روش‌های مختلف، دستگاه‌ها و تجهیزات مخصوص اندازه‌گیری مداوم غلظت، در چند ایستگاه نصب شود و برای مدت لااقل یک سال، آمار گل‌آلودگی با فواصل زمانی بسیار کوتاه ثبت شود (شرکت مشاور مهاب قدس، ۱۳۷۰).

در تحقیقی، Lane and Nichols (**۲۰۰۰**) بر روی رودخانه Niobrara در نبراسکا برای حوزه‌های آبخیز کوچک در آریزونا گزارش کردند که به‌وسیله روش هیدرولوژیکی در حدود ۹۹ درصد بار رسوبی محاسبه شده، مشاهده شده می‌باشد.

در طراحی بسیاری از سازه‌های آبی و ابنیه‌های فنی مورد نیاز در عملیات آبخیزداری، به‌خصوص شاخه مهندسی رودخانه، داشتن اطلاعات صحیح از آورد رسوبی رودخانه‌ها و دبی جریان، از اهمیت خاصی برخوردار است. هر چند با

www.SID.ir
Archive of SID

وجود مطالعات و تحقیقات زیادی که تاکنون بر روی محاسبه دبی رسوبات رودخانه‌ای به‌عمل آمده، برآورد دقیقی ارائه نشده است. بنابراین، در این تحقیق سعی شده است تا با استفاده از تعدادی از این معادله‌های تجربی و نیمه‌تجربی ارائه شده، شامل معادله‌های اصلاح شده اینشتین، انگلوند-هانسن، یانگ، حبیبی و فان-راین و مقایسه نتایج آن‌ها با یک‌دیگر، برآورد دقیق‌تری از آورد رسوبی رودخانه جگین در منطقه هرمزگان ارائه شود.

مواد و روش‌ها

حوزه جگین یکی از حوزه‌های آبخیز مهم دریای عمان و در خاور استان هرمزگان با مختصات جغرافیایی ´۳۵ °۲۵ تا ´۰۰ °۲۷ عرض شمالی و ´۳۰ °۵۷ تا ´۱۶ °۵۸ طول خاوری، دارای مساحتی بالغ بر ۶۲۰۰ کیلومترمربع تا ایستگاه آب‌سنجی پنهان (محل اجرای طرح) است. سرشاخه‌های فرعی رودخانه جگین از دامنه‌های جنوبی کوه‌های مکران و بشاگرد سرچشمه می‌گیرد. طول آبراهه اصلی آن ۳۴۴ کیلومتر با شیب متوسط ۰/۵۴ درصد تا دریا و بر اساس روش Chow دارای زمان تمرکز ۳۹/۵ ساعت است. اختلاف ارتفاع پست‌ترین نقطه در کنار دریا تا بلندترین نقطه‌ی حوزه در بخش شمالی، در حدود ۲۱۸۵ متر است. این رودخانه دارای رژیم سیلابی بوده و شاخه‌های فرعی آن، هنگام ریزش‌های جوی رگباری طغیان می‌نمایند. در ترسالی‌ها دارای مقداری آب‌دهی پایه است و آب آن از نظر کیفیت شیمیایی مناسب شرب و کشاورزی است.

در این تحقیق، رودخانه جگین که یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های استان هرمزگان است و از نظر تولید رسوب در درجه اول اهمیت قرار دارد، انتخاب شده است تا پنج روش از روش‌های برآورد میزان بار رسوبی بر روی آن آزمون شود. برای انجام این بررسی، پس از تهیه آمار و اطلاعات آب‌سنجی، ضمن نمونه‌گیری از رسوبات سیلاب، پروفیل طولی و عرضی رودخانه در محل ایستگاه آب‌سنجی محدوده مورد مطالعه، برداشت و ترسیم شد. بعد از تکمیل اطلاعات مورد نیاز برنامه Sedload (حبیبی ۱۹۹۷)، میزان بار معلق رسوبی رودخانه جگین در ایستگاه پنهان محاسبه و با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه شد. برآورد بار کل رسوب با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد.

$$Q_t = Q_b + Q_s \qquad (۱)$$

که در آن، Q_b بار بستر و Q_s بار معلق رودخانه مورد مطالعه است. در این روش برای محاسبه بار بستر و بار معلق می‌توان از روابط زیر استفاده نمود (حبیبی ۱۳۷۷ و ۱۹۹۳).

$$Q_b = q_b.B \qquad (۲)$$

$$q_b = \lambda \frac{SDu_*^{\,2}}{\Delta k \omega_b} \qquad (۳)$$

$$Q_s = q_s.B \qquad (۴)$$

$$q_s = \beta \frac{SDV^2}{2\Delta\omega}[1 + (\frac{u_*}{kv})^2] \qquad (۵)$$

که در آن‌ها، S شیب خط انرژی، D عمق متوسط جریان، u_* سرعت برشی، K ثابت فن کارمن، Δ چگالی نسبی ذرات، رسوب $(\rho_s/\rho_w - 1)$، ω_b سرعت سقوط d_{90} رسوبات کف، ω سرعت سقوط d_{50} رسوبات معلق، B عرض مقطع، و V سرعت متوسط جریان است.

ایستگاه پنهان بر روی رودخانه جگین، از نوع درجه یک و از سال آبی ۶۵-۱۳۶۴ تا ۸۰-۱۳۷۹ دارای آمار و اطلاعات آب‌سنجی است. پس از کنترل آمار و اطلاعات جمع‌آوری شده و حذف موارد مشکوک و تشکیل فایل ورودی، اطلاعات مورد نیاز هر یک از روش‌های مورد استفاده، برای برآورد میزان مواد رسوبی رودخانه جگین، در برنامه Sedload وارد شد. جدول ۱ خلاصه داده‌های مورد استفاده در محاسبات را نشان می‌دهد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- خلاصه داده‌های مورد استفاده در محاسبات بار کل رسوب رودخانه جگین در ایستگاه پنهان

ردیف (۱)	تاریخ (۲)	دبی لحظه‌ای (m^3/s) (۳)	عرض مقطع (m) (۴)	سرعت (m/s) (۵)	عمق (m) (۶)	مساحت مقطع (m^2) (۷)	متوسط غلظت (miligr/lit) (۸)	دبی رسوب (t/day) (۹)	شیب خط انرژی (m/m) (۱۰)	شعاع هیدرولیکی کانال (m) (۱۱)
۱	۷۹/۷/۱	۴/۶۶۱	۸۲/۵۵	۰/۳۳	۰/۳۹	۱۴/۰۹	۷۵۴۹/۸۰	۳۰۴۰/۳۸	۰/۰۰۰۴۶۵	۰/۱۶۹
۲	۷۸/۱۰/۲۸	۲۶۵/۱۸	۱۲۰/۵۵	۱/۳۲	۲/۰۰	۲۰۰/۳۷	۳۷۱۰۷/۲۵	۸۵۰۱۸۴/۶۹	۰/۰۰۰۳۶۱	۱/۶۰۹
۳	۷۷/۱۲/۱۳	۷۳/۷۴	۱۱۶/۹	۰/۷۶	۱/۱۴	۹۷/۳۴	۱۰۰۷۸/۰۳	۶۴۲۰۸/۵۰	۰/۰۰۰۲۹۶	۰/۸۱۷
۴	۷۶/۱۰/۱۴	۷۷۱/۱۶	۱۲۲/۷۳	۲/۰۸	۳/۴	۳۷۰/۷۴	۲۷۱۳۰/۶۰	۱۸۰۷۶۶۳/۶۹	۰/۰۰۰۴۰۹	۲/۸۶۲
۵	۷۵/۱۱/۷	۴۶۵/۵۵	۱۲۱/۸۲	۱/۶۵	۲/۶۸	۲۸۱/۷۴	۱۸۲۶۳/۲۵	۷۳۴۶۱۲/۲۰	۰/۰۰۰۳۶۵	۲/۲۱۵
۶	۷۴/۹/۲۰	۴۵/۴۸	۱۱۶/۳۸	۰/۶	۰/۹۵	۷۵/۴۲	۴۳۸۹۲/۲۰	۱۷۲۴۸۳/۱۷	۰/۰۰۰۲۶۲	۰/۶۳۸
۷	۷۲/۱۱/۵	۱۵۰	۱۱۸/۱۹	۱/۰۴	۱/۵۴	۱۴۴/۲۹	۱۹۱۲۹/۶۶	۲۴۷۹۲۰/۳۹	۰/۰۰۰۳۳۶	۱/۱۹۰
۸	۶۹/۱۲/۲۷	۴۸/۵۷	۱۱۶/۴۴	۰/۶۲	۰/۹۷	۷۸/۰۳	۵۹۴۴/۱۸	۲۴۹۴۴/۴۲	۰/۰۰۰۲۶۷	۰/۶۵۹
۹	۶۸/۱۱/۲۲	۱۵۸/۷	۱۱۸/۴۳	۱/۰۷	۱/۵۷	۱۴۸/۹۶	۲۸۲۲۰/۰۰	۳۸۶۹۴۳/۶۱	۰/۰۰۰۳۳۹	۱/۲۲۵
۱۰	۶۷/۱۲/۲۸	۱۷۹	۱۱۸/۹۸	۱/۱۲	۱/۶۶	۱۵۹/۵۱	۵۳۰۷۲/۹۰	۸۲۰۸۰۴/۲۴	۰/۰۰۰۳۴۵	۱/۳۰۴

در این جدول ستون‌های ۱ تا ۳ و ۸ و ۹ اطلاعاتی است که از طریق شرکت آب منطقه‌ای جمع‌آوری شده است. ستون‌های ۴ و ۵ و ۷ و ۱۰ براساس اجرای مدل HEC-RAS با توجه به اطلاعات موجود محاسبه شده است. ستون ۶ عمق جریان آب در رودخانه برای دبی‌های مختلف است که از اختلاف تراز سطح آب و تراز کف رودخانه در مقطع آب‌سنجی (مقطع شماره ۶) حاصل شده است. ستون ۱۱ شعاع هیدرولیکی کانال در مقطع آب‌سنجی از تقسیم مساحت مقطع بر محیط تر شده حاصل از اجرای مدل به‌دست آمده است. در این راستا، سرعت سقوط ذرات نیز برابر $۸/۹۰۴۷\times۱۰^{(-۷)}$ میلی‌متر بر ثانیه محاسبه شده است (سامانی، ۱۳۶۷). در ستون ۹ فقط درستی دبی رسوب، کنترل شده و موارد مشکوک حذف شده است. مقادیر به‌دست آمده نیز بر اساس رابطه زیر محاسبه شده است.

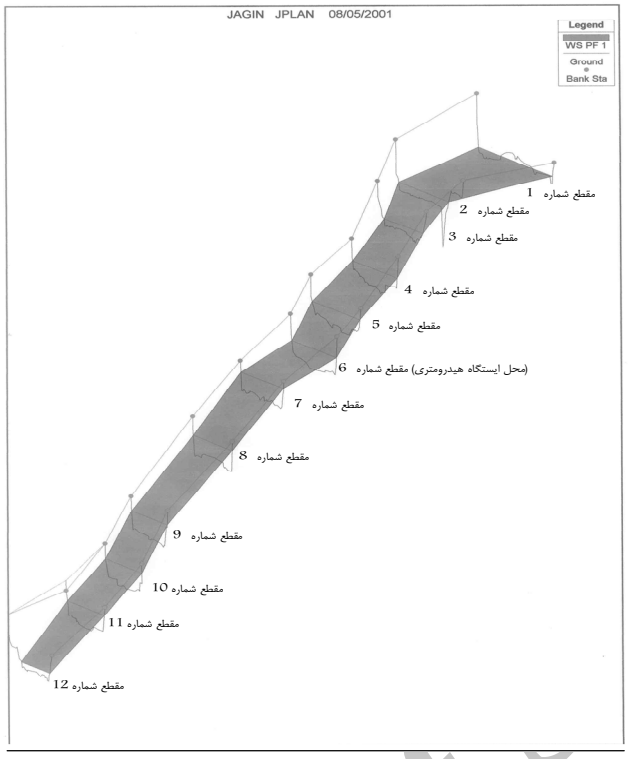
$$Q_s = Q_w \times C_m \times 0.0864 \qquad (۳)$$

که در آن، Q_s دبی رسوب (کیلوگرم بر ثانیه)، Q_w دبی جریان (متر مکعب بر ثانیه) و $\mathbf{C_m}$ متوسط غلظت رسوب گرفته شده از سیلاب (میلی‌گرم در لیتر) می‌باشد. با توجه به این‌که برای محاسبه و برآورد میزان رسوب، اطلاعات مربوط به وضعیت هندسی و هیدرولیکی رودخانه لازم و ضروری است، مشخصات تعداد ۱۲ مقطع عرضی از رودخانه جگین و پروفیل طولی آن در پایین‌دست و بالادست ایستگاه آب‌سنجی پنهان، در محدوده مورد بررسی، برداشت و خصوصیات کلی آن ثبت شده است.

پروفیل مقاطع طولی و عرضی رودخانه پس از ثبت اطلاعات برداشت شده و انجام محاسبات مربوطه ترسیم شد. شکل ۱ مقاطع مورد نظر در محدوده ایستگاه آب‌سنجی در رودخانه جگین را نشان می‌دهد. تعداد هشت نمونه رسوب، از مصالح بستر در محل مقاطع برداشت‌شده از نقاط مختلف رودخانه، در نیمه اول بهمن ماه ۱۳۷۹ نمونه‌برداری شد. شکل ۲ منحنی دانه‌بندی متوسط رسوبات بستر و رسوبات معلق برای سیل‌های مختلف جاری شده در رودخانه جگین در محدوده ایستگاه آب‌سنجی پنهان را نشان می‌دهد. لازم به‌توضیح است که نمونه‌برداری از مصالح بستر رودخانه بدین صورت انجام پذیرفت که از مقطع شماره ۲ تا ۹ از هر مقطع دو نمونه تقریباً سه کیلویی انتخاب و پس از مخلوط کردن باهم در محل، یک‌چهارم نمونه جهت انجام آزمایش دانه‌بندی به آزمایشگاه ارسال شد. به‌دلیل خشکسالی‌های چندساله اخیر و نیز عدم امکان حضور به‌موقع در زمان وقوع سیلاب، به‌دلیل بعد مسافت، نمونه‌گیری بار معلق از آب سیلاب‌ها انجام نشده است. چهار نمونه اخذ شده مربوط به رسوبات به‌جا مانده از سیلاب در گودال‌هایی است که در محدوده ایستگاه آب‌سنجی جگین-پنهان قرار داشته و پس از فروکش کردن سیلاب در روز بعد نمونه‌برداری شده است. برای دانه‌بندی مصالح بستر از الک‌های استاندارد و برای دانه‌بندی نمونه‌های بار معلق از روش آب‌سنجی استفاده شده است. بار کل رسوب عبارت از حاصل جمع بار بستر و بار معلق و یا حاصل جمع بار مواد بستری و بار آبرفتی است.

Archive of SID

www.SID.ir



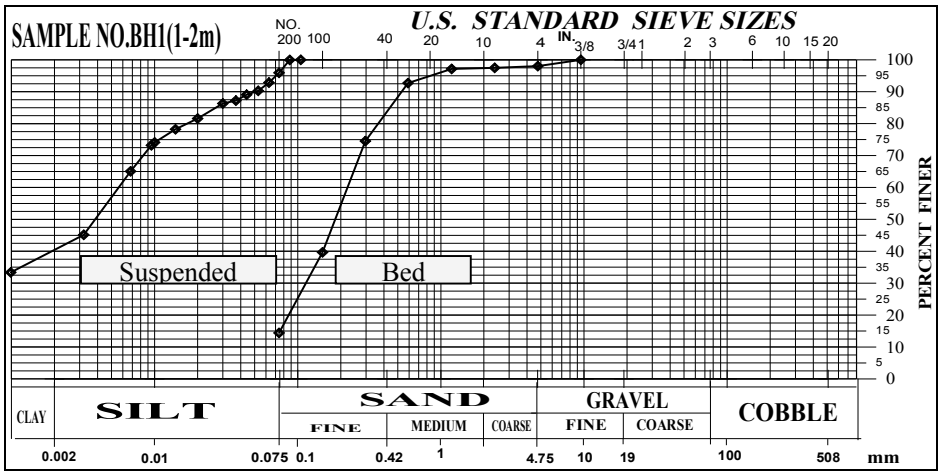
شکل ۱- موقعیت مقاطع عرضی نقشه‌برداری شده رودخانه جگین در محدوده ایستگاه آب‌سنجی پنهان

بار شسته (Wash Load) معمولاً با استفاده از روابط هیدرولیکی موجود قابل پیش‌بینی نیست، زیرا این مصالح به‌وسیله جریان‌های سطحی از سطح حوزه شسته شده و به رودخانه ریخته می‌شوند و همراه با جریان آب حمل می‌گردند؛ در حالی‌که بار مواد بستری که حاصل جمع بار بستر و بار معلق آبراهه‌ای می‌باشد از روش‌های هیدرولیکی قابل محاسبه و پیش‌بینی است.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از محاسبات برآورد رسوب رودخانه جگین در ایستگاه آب‌سنجی پنهان با روش‌های پنج‌گانه برای دبی‌های اندازه‌گیری شده در طول دوره آماری، در جدول ۲ درج شده است. ستون اول شماره ردیف و ستون دوم دبی‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه آب‌سنجی پنهان بر حسب مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. ستون سوم جدول، نتایج محاسبات برآورد دبی کل رسوب را در طول دوره آماری، با استفاده از روش Yang (۱۹۸۴) بر حسب کیلوگرم بر ثانیه نشان می‌دهد. ستون چهارم دبی کل رسوبی با استفاده از روش (انگلوند- هانسن، ۱۹۶۷) را نشان می‌دهد. در ستون پنجم نتایج محاسبات بار معلق، بار بستر و بار کل رسوبی با استفاده از روش (اینشتین، ۱۹۵۰) ارائه شده است. ستون ششم جدول اختصاص به نتایج محاسبات بار معلق، بار بستر و بار کل رسوبی با استفاده از روش حبیبی دارد. ستون هفتم مربوط به نتایج محاسبات بار معلق، بار بستر و بار کل رسوبی با استفاده از روش فان-راین (۱۹۸۴) است. جدول ۳ مقایسه میانگین بار رسوب را با استفاده از آمار اندازه‌گیری شده و روش‌های مختلف نشان می‌دهد. مطابق شکل‌های ۴ و ۵ روش حبیبی (۱۹۹۳) در برآورد بار معلق و بار کل رسوب بر اساس نسبت بار معلق محاسباتی به مشاهده‌ای و نیز بار کل محاسباتی به مشاهده‌ای، کم‌ترین میزان پراکندگی را نشان می‌دهد. در مجموع متوسط نسبت بار معلق محاسباتی به مشاهده‌ای در روش اینشتین به یک نزدیک‌تر است. متوسط نسبت بار کل محاسباتی به مقادیر اندازه‌گیری شده نیز در روش انگلوند- هانسن به یک نزدیک‌تر است. میزان پراکندگی داده‌ها نیز در برآورد بار معلق به‌ترتیب در روش‌های حبیبی، اینشتین و فان-راین افزایش می‌یابد.

www.SID.ir



شکل ۲- نمودار دانه‌بندی متوسط مصالح بستر و مواد معلق در رودخانه جگین ایستگاه پنهان

اغلب معادلات انتقال رسوب با این فرض به‌دست آمده‌اند که نرخ انتقال رسوب را می‌توان به‌وسیله یک یا چند متغیر غالب تعیین نمود. با این حال به‌سبب عدم عمومیت فرضیات به‌کار رفته، سازگاری چنین معادلاتی برای شرایط دیگری از جریان ضعیف می‌باشد. نتایج حاصل از معادلات مختلف انتقال رسوب، غالباً با یک‌دیگر و با اندازه‌گیری‌ها تفاوت زیادی دارد.

جدول۲- نتایج محاسبات برآورد رسوب (کیلوگرم برثانیه) رودخانه جگین در ایستگاه پنهان با استفاده از روش‌های مختلف

ردیف	دبی آب (m^3/s)	یانگ	انگلوند- هانسن	اینشتین			حبیبی			فن- راین		
		دبی بار کل رسوب	دبی بار کل رسوب	بار معلق	بار بستر	بار کل	بار معلق	بار بستر	بار کل	بار معلق	بار بستر	بار کل
۱	۲	۳	۴	۵			۶			۷		
۱	۰/۲	۴/۲۷۹	۷/۱۱۴	۵/۹۴۲	۲/۸۸۴	۸/۸۲۶	۱/۵۶۰	۰/۳۳۲	۱/۸۹۲	۹/۰۸۸	۱۶/۷۷۳	۲۵/۸۶۱
۲	۰/۲	۴/۲۷۹	۷/۱۱۴	۵/۹۴۲	۲/۸۸۴	۸/۸۲۶	۱/۵۶۰	۰/۳۳۲	۱/۸۹۲	۹/۰۸۸	۱۶/۷۷۳	۲۵/۸۶۱
۳	۰/۲	۴/۲۷۹	۷/۱۱۴	۵/۹۴۲	۲/۸۸۴	۸/۸۲۶	۱/۵۶۰	۰/۳۳۲	۱/۸۹۲	۹/۰۸۸	۱۶/۷۷۳	۲۵/۸۶۱
۴	۰/۲	۴/۲۷۹	۷/۱۱۴	۵/۹۴۲	۲/۸۸۴	۸/۸۲۶	۱/۵۶۰	۰/۳۳۲	۱/۸۹۲	۹/۰۸۸	۱۶/۷۷۳	۲۵/۸۶۱
۵	۰/۳	۲/۶۱۴	۲/۸۵۸	۰/۹۷۳	۳/۹۴۴	۷/۹۱۶	۰/۹۶۲	۰/۴۹۷	۱/۴۵۹	۲/۱۶۸	۲/۰۳۲	۴/۲۰۰
۶	۰/۴	۰/۹۶۲	۰/۹۰۱	۲/۶۲۶	۴/۳۶۵	۶/۹۹۱	۰/۴۵۷	۰/۳۰۵	۰/۷۶۲	۰/۸۵۰	۰/۶۶۱	۱/۵۱۱
۷	۰/۸	۰/۳۵۶	۰/۲۲۵	۲/۱۰۴	۶/۴۲۳	۸/۵۲۶	۰/۲۴۵	۰/۲۲۵	۰/۴۷۰	۰/۳۴۹	۰/۱۹۴	۰/۵۴۴
۸	۰/۸	۰/۳۱۳	۰/۱۸۳	۲/۰۶۰	۶/۷۹۰	۸/۸۵۱	۰/۲۲۰	۰/۲۲۳	۰/۴۴۳	۰/۲۳۹	۰/۱۳۶	۰/۳۷۵
۹	۱/۲	۰/۳۶۹	۰/۲۱۳	۲/۲۳۹	۷/۲۲۵	۹/۴۶۴	۰/۲۶۹	۰/۲۳۳	۰/۵۰۲	۰/۳۸۲	۰/۲۰۶	۰/۵۸۸
۱۰	۱/۲	۰/۳۵۵	۰/۱۹۹	۲/۲۳۲	۷/۳۸۷	۹/۶۱۹	۰/۲۶۰	۰/۲۳۴	۰/۴۹۳	۰/۳۳۳	۰/۱۸۱	۰/۵۱۴

جدول ۳- مقایسه میانگین بار رسوب با استفاده از آمار اندازه‌گیری شده و روش‌های مختلف برآورد بار رسوب

روش‌های محاسباتی	میانگین بار رسوب دوره آماری	نسبت بار معلق محاسباتی به مشاهداتی با بار شسته شده	نسبت بار معلق محاسباتی به مشاهداتی بدون بار شسته شده	نسبت میانگین بار رسوب محاسباتی به مشاهداتی با کسر بار شسته شده
حبیبی	۹۳۵/۹۱۹	۰/۰۵۷	۰/۱۵۱	۰/۲۰۷
یانگ	۲۶۶۸/۴۱۳	---	---	۰/۳۷۰
انگلوند – هانسن	۱۲۴۴/۹۳۶	---	---	۰/۵۳۳
فان – راین	۳۱۳۴/۲۱۴	۰/۲۵۵	۰/۶۷۱	۱/۸۲۵
اینشتین	۲۸۲۷/۸۵۱	۰/۲۷۰	۰/۷۰۹	۱/۹۰۹

Archive of SID

www.SID.ir

در مهندسی هیدرولیک رسوب، اغلب قطر ۰/۰۶۳ میلی‌متر که مرز میان ماسه ولای است، به‌عنوان مرز میان بار رسوب حوزه‌ای (بار شسته) و بار رسوب آبراهه‌ای فرض می‌شود (حبیبی، ۱۳۷۴). به‌عبارت دیگر، به ذرات رسوبی با قطر ریزتر از ۰/۰۶۳ میلی‌متر بار حوزه‌ای و به ذرات بزرگ‌تر بار آبراهه‌ای اطلاق می‌شود. با این وجود از آنجا که مرز میان بار معلق و بار بستر به‌روشنی قابل تشخیص نیست و اصولاً این مرز تابع انرژی جنبشی جریان است، نمی‌توان قطر خاصی را برای تمایز بار معلق حوزه‌ای از بار آبراهه‌ای تعیین نمود. ذرات خاصی که در یک جریان با انرژی، دبی، سرعت و عمق به خصوص به‌صورت بار بستر حمل می‌شوند، ممکن است با افزایش انرژی جنبشی جریان به فاز تعلیق وارد شده و به‌صورت معلق منتقل شوند. از این رو برای تشخیص بار رسوبی حوزه‌ای، منطقی‌تر است ذرات با قطر کوچک‌تر از ۰/۰۷۵ میلی‌متر، که در مواد تشکیل دهنده بستر رودخانه جگین استان هرمزگان وجود ندارند، در حالی که ۹۵ درصد از ذرات تشکیل دهنده بار معلق را تشکیل می‌دهند، به‌عنوان مرز میان رسوبات حوزه‌ای و رسوبات آبراهه‌ای تعیین گردد. از این‌رو رقم ۰/۰۷۵ میلی‌متر در این تحقیق به‌عنوان مرز میان رسوبات حوزه‌ای و رسوبات آبراهه‌ای تعیین شد.

براساس نمودار منحنی دانه‌بندی مواد معلق و مواد بستر رودخانه جگین در ایستگاه پنهان و با در نظر گرفتن ریزترین ذراتی که در بار بستر رودخانه جگین مشاهده شده است، ملاحظه می‌گردد که ذرات ریزتر از ۰/۰۷۵ میلی‌متر، که در این آزمایش مرز میان رسوبات حوزه‌ای و رسوبات آبراهه‌ای را تشکیل می‌دهند، ۹۵ درصد بار معلق را شامل می‌شوند. با توجه به دانه‌بندی رسوبات بار معلق، ذراتی که قطری کوچک‌تر از مرز رسوبات آبراهه‌ای و رسوبات حوزه‌ای دارند حدود ۶۲ درصد از رسوبات بار معلق را شامل می‌شوند. پس از کسر بار حوزه‌ای یا بار شسته از مقادیر اندازه‌گیری شده، ارقام به‌دست آمده ملاک و معیار مقایسه با مقادیر محاسبه شده از طریق معادله‌های مختلف قرار گرفته است.

در این تحقیق با توجه به محاسبات انجام شده بر مبنای اطلاعات جمع‌آوری شده از ایستگاه موجود و استفاده از معادله‌های اصلاح شده اینشتین، انگلوند-هانسن، یانگ، حبیبی و فان-راین در برآورد میزان رسوب کل رودخانه‌ای، نسبت بار بستر رودخانه جگین به بار کل آن، به‌طور متوسط به تفکیک روش‌های اینشتین ۰/۷۱۸ با انحراف معیار ۰/۱۴۲، حبیبی ۰/۳۶۱ با انحراف معیار ۰/۱۱۵ و فان-راین ۰/۳۲۵ با انحراف معیار ۰/۰۶۳ است. نسبت دبی بار معلق به بار کل مواد رسوبی به‌طور متوسط به تفکیک روش‌های اینشتین ۰/۲۸۲ با انحراف معیار ۰/۱۴۲، حبیبی ۰/۶۳۹ با انحراف معیار ۰/۱۱۵ و فان-راین ۰/۶۷۵ با انحراف معیار ۰/۰۶۳ است. این نسبت برای دبی‌های سیلابی بالاتر و برای دبی‌های کم رودخانه، کم‌تر به‌دست آمده است. با توجه به افزایش این نسبت در دبی‌های سیلابی می‌توان میزان متوسط این نسبت را پذیرفت. رابطه بین دبی کل مواد رسوبی با دبی مواد معلق رودخانه جگین به قرار زیر است.

$$Q_T = 2.2278 Q_s^{0.2707} \qquad (۴)$$

این رابطه بر اساس برآورد انجام شده با استفاده از معادله اینشتین بین دبی مواد معلق برحسب کیلوگرم بر ثانیه پس از کسر بار شسته شده و میزان بار کل رسوب برآورد شده برحسب کیلوگرم بر ثانیه، به‌وسیله آن معادله محاسبه و ارائه شده است. در مقایسه مقادیر محاسبه شده بار معلق رودخانه جگین به‌تفکیک هر روش با داده‌های اندازه‌گیری شده آن، مشاهده شد که برآورد بار معلق با استفاده از روش اصلاح شده اینشتین به واقعیت نزدیک‌تر است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود براساس نمودارهای ترسیم شده مطابق شکل ۳ بین بار معلق محاسبه شده و اندازه‌گیری شده و برازش معادله خط آن به‌نظر می‌رسد که برآورد روش اینشتین با ضریب همبستگی R=۰/۸۱ و معادله (۵) بالاترین همبستگی را دارد. در این حوزه با توجه به شرایط خاص زمین‌شناختی و سازندهای موجود در آن، قسمت عمده این تفاوت از بار شسته ناشی از سطح حوزه است که معادله‌های پنج‌گانه، قادر به برآورد آن نیستند. برای حوزه جگین در ایستگاه پنهان رابطه (۵) و (۶) بین دبی بار معلق، برحسب کیلوگرم بر ثانیه و دبی جریان، برحسب متر مکعب بر ثانیه، با ضریب همبستگی R =۰/۹۳ به‌دست آمده است.

$$Q_s = 1.3728 Q_w^{1.3513} \qquad (۵)$$

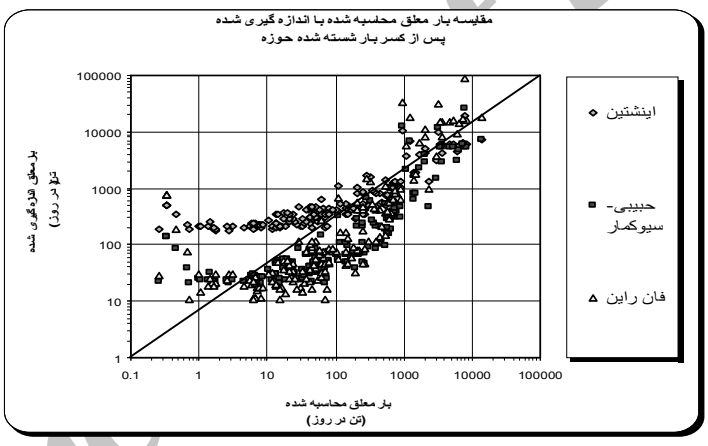
$$Q_s = 226.19 Q_w^{1.3277} \qquad (۶)$$

Archive of SID

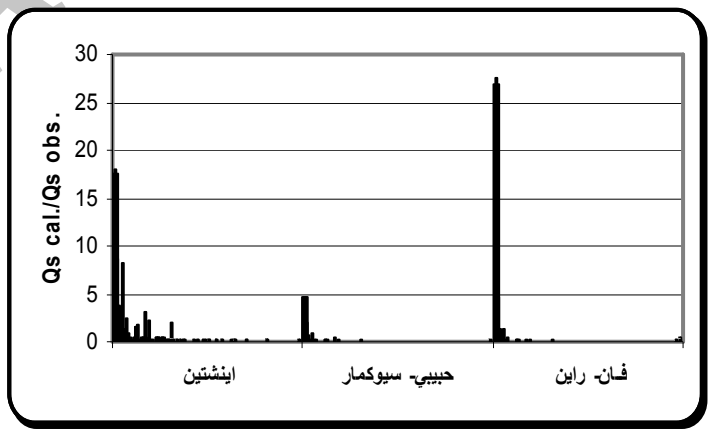
www.SID.ir

در برآورد بار معلق با استفاده از روش‌های پنج‌گانه، با توجه به نسبت دبی رسوب معلق محاسباتی در مقایسه با دبی رسوب معلق مشاهده‌ای طبق شکل ۴ ملاحظه می‌گردد که روش حبیبی دارای کم‌ترین تغییرات است، یعنی دامنه تغییرات نسبت دبی رسوب معلق محاسباتی، به دبی رسوب معلق مشاهده‌ای دارای محدوده تغییرات کم‌تری است. روش فن-راین در این مقایسه بیش‌ترین تغییرات را دارا می‌باشد. در مقایسه برآورد بار کل رسوب با استفاده از روش‌های فوق‌الذکر بر اساس شکل ۵، دامنه تغییرات در روش‌های حبیبی، یانگ، انگلوند-هانسن، روش اصلاح شده اینشتین و فان-راین به‌ترتیب افزایش می‌یابد. روش حبیبی دارای کم‌ترین تغییرات و روش-فان راین دارای بیش‌ترین تغییرات در نسبت رسوب معلق محاسباتی به دبی رسوب معلق مشاهده‌ای است.

نسبت تغییرات دبی رسوب محاسباتی به مشاهده‌ای بر اساس دبی جریان در روش حبیبی دارای کم‌ترین میزان تغییرات است ولی در روش اصلاح شده اینشتین داده‌ها از هم‌گنی بهتری برخوردارند، بدین معنی که پراکندگی داده‌ها حول محور یک، دارای تعادل بهتری است. همچنین نسبت دبی رسوب محاسباتی به مشاهده‌ای بر اساس عمق جریان حول محور یک، از پراکندگی مناسب‌تری برخوردار است. در مجموع با عنایت به سابقه تحقیق و بررسی به‌عمل آمده چنین استنباط می‌گردد که با توجه به شرایط زمین شناختی حوزه و وضعیت هندسی و هیدرولیکی رودخانه جگین در محدوده ایستگاه آب‌سنجی پنهان و نیز وضعیت دانه‌بندی مصالح بستر و مواد معلق سیلاب، شرایط رودخانه به‌گونه‌ای است که عمل‌کرد معادله اصلاح شده اینشتین در ایستگاه آب‌سنجی پنهان با توجه به‌عمق رودخانه و نوع مصالح بستر و مواد محموله سیلاب و نیز نتایج محاسبات انجام شده، منطقی‌تر به‌نظر می‌رسد.

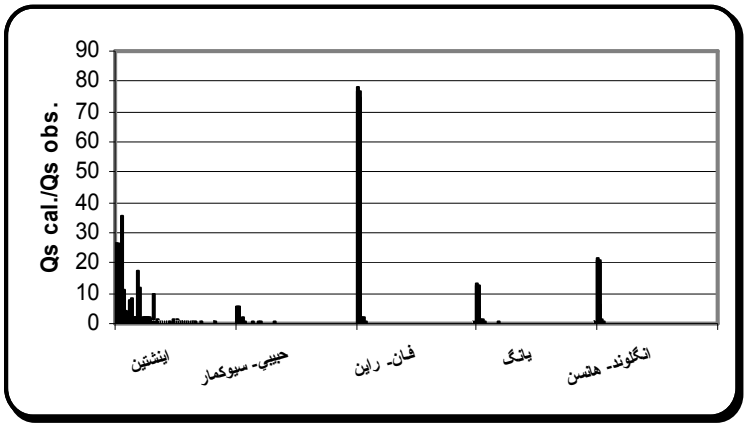


شکل ۳- بار معلق اندازه‌گیری و محاسبه شده رودخانه جگین در ایستگاه آب‌سنجی پنهان



شکل ۴- مقایسه روش‌های برآورد بار معلق با توجه به نسبت برآورد بار معلق محاسباتی به مشاهده‌ای

www.SID.ir



شکل ۵- مقایسه روش‌های برآورد بار کل رسوب با توجه به نسبت برآورد بار کل محاسباتی به مشاهده‌ای

منابع مورد استفاده

۱. استادعلی‌عسکری، م. ۱۳۷۷. برآورد بار بستر و بار رسوب کل رودخانه‌های کارون و کرخه با روش اصلاح‌شده انیشتین. پنجمین سمینار مهندسی رودخانه، دانشکده شهید چمران اهواز.

۲. بابائیان، ک. و ن. طالب‌بیدختی. ۱۳۶۷. انتخاب معادله یا معادله‌های مناسب برای محاسبه مقدار بار کف. مجموعه مقالات هیدرولوژی، دانشگاه شیراز، بخش زمین شناسی.

۳. حبیبی، م. ۱۳۷۴. کاربرد روش‌های محاسبه بار معلق در رودخانه‌های منتخب کشور. اولین سمینار ملی فرسایش و رسوب، دانشگاه تربیت مدرس، نور.

۴. حبیبی، م. ۱۳۷۷. پیشنهاد یک رابطه نیمه تجربی برای برآورد دبی رسوبات معلق رودخانه‌ها. نشریه دانشکده فنی، جلد ۳۱، شماره ۲، آذرماه ۱۳۷۷ .

۵. رستگار، ح. و م. حبیبی. ۱۳۸۲. بررسی روش‌های مختلف برآورد رسوب در رودخانه جگین به‌منظور معرفی مناسب‌ترین روش. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، تابستان۱۳۸۲، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران.

۶. سامانی، ن. ۱۳۶۷. معادله عمومی‌انتقال رسوب. مجموعه مقالات هیدرولوژی، دانشگاه شیراز، بخش زمین‌شناسی.

۷. شفاعی‌بجستان، م. ۱۳۸۳. هیدرولیک رسوب. چاپ سوم، اهواز، انتشارات دانشکده شهید چمران.

۸. شرکت مشاور ستیران. ۱۳۷۰. مطالعات هیدرولوژی حوزه جگین. شرکت آب منطقه‌ای استان هرمزگان.

۹. شرکت مشاور مهاب قدس.۱۳۷۰. مطالعات هیدرولوژی حوزه جگین. شرکت آب منطقه‌ای استان هرمزگان.

۱۰. عرب‌خدری، م. ۱۳۷۷. ضرورت تجدید نظر در روش متداول برآورد بار معلق رودخانه‌ها. پنجمین سمینار مهندسی رودخانه، دانشکده شهید چمران اهواز.

11. Einstein, H. A. (1950). The Bed-Load Function for Sediment Transportation in Open Channel Flows. USDA, Tech. Bull. No. 1026, September.
12. Engelund, F. and Hansen, E. (1967). A Monograph on Sediment Transport in Alluvial Streams. Technical University of Denmark, Hydraulic Laboratory.
13. Habibi, M. 1993. Sediment transport estimation methods in river systems. Ph.D. Thesis, Wollongong University, Wollongong, NSW, Australia.
14. Habibi, M. (1997). Calculating Sediment Load Using a Developed Computer Package. Proc. 8th International Conference on Rainwater Catchment Systems, April 25-29, Tehran, Iran, pp. 854-862.
15. Lane L.J. and M.H. Nichols. 2000. A hydrologic method for sediment transport and yield. USDA-ARS South-west Watershed Research Center.
16. Rijn, L. C. van (1984a). Sediment Transport, Part I: Bed Load Transport. J. of Hydr. Engrg., ASCE, Vol. 110, No. 10, pp. 1431-1456.
17. Rijn, L. C. van (1984b). Sediment Transport, Part II: Suspended Load Transport. J. of Hydr. Engrg., ASCE, Vol. 110, No. 11, pp. 1613-1641.
18. Yang, C. T. (1984). Unit Stream Power Equation for Gravel. J. Hydr. Engrg., ASCE, Vol. 110, No. 12, pp. 1783-1797.

Archive of SID

www.SID.ir