

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی عمران و معماری

گروه عمران

بررسی میزان انتقال رسوب در رودخانه های با بستر

شنی

دانشجو: میلاد نقیبی نیشابوری

استاد راهنما

دکتر سید فضل اله ساغروانی

استاد مشاور

دکتر امیر اظهري

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

تیرماه سال ۱۳۹۰

تقدیم به پدر و مادر عزیزم که در تمامی صحنه های زندگی یار و یاور و

پشتیبان من بوده اند

با تشکر از زحمات پدران و بی شائبه جناب آقای دکتر ساغروانی و
راهنمایی های ارزنده جناب آقای دکتر اظهري که بی شک بدون زحمات
ایشان این اثر بی ثمر می ماند.

چکیده فارسی

رودخانه های موجود در طبیعت را می توان با توجه به اندازه ذرات سطح بستر به دو دسته شنی و ماسه ای تقسیم کرد. با توجه به غیر یکنواخت بودن ذرات در رودخانه های شنی برای بررسی میزان انتقال رسوب در آنها با چالش های بیشتری در مقایسه با رودخانه های ماسه ای روبرو هستیم. همچنین با توجه به خصوصیات جریان نیز رودخانه ها را به دو گروه فصلی و دائمی طبقه بندی می کنند. رودخانه های دائمی عموماً در مناطق مرطوب وجود داشته و آب معمولاً در تمام طول سال در آنها جریان دارد. تنش برشی و دبی عبوری از آنها کم و میزان بار بستر منتقل شده در آنها پایین است. یکی از خصوصیات بارز این رودخانه ها وجود لایه درشت دانه بر روی لایه زیرین می باشد که به لایه پوششی موسوم است. این لایه درشت دانه از مصالح بستر در مقابل شستگی محافظت می کند. در رودخانه های فصلی که در مناطق خشک و نیمه خشک به وجود می آیند، شاهد تعداد کمی سیلاب در طول سال هستیم. این سیلاب ها در مدت زمان کوتاهی با دبی بالا اتفاق افتاده و تنش برشی بالایی را در بستر ایجاد می کند. بنابر این میزان بار بستر منتقل شده در این رودخانه ها بالاست. تا کنون روابط زیاد و معروفی برای تخمین میزان انتقال رسوب در رودخانه های شنی ارائه شده که همگی یا دارای خطای زیادی بوده و یا از جامعیت برخوردار نیستند. همچنین بیشتر محققین برای از میانگین قطر ذرات بستر به عنوان نماینده ذرات بستر رودخانه در تمامی لحظات استفاده کرده اند که به نظر دارای خطای زیادی خواهد بود. در این تحقیق از اطلاعات به دست آمده از رودخانه های اوک کریک و نهال یاتیر برای تخمین میزان انتقال رسوب در رودخانه های با بستر شنی استفاده شده. این روابط به صورت بی بعد و با استفاده از رگرسیون غیر خطی به دست آمده است. رودخانه اوک کریک یک رودخانه دائمی و دارای تنش برشی کم و رودخانه نهال یاتیر رودخانه ای فصلی دارای تنش برشی بالا می باشد که مجموعاً رنج وسیعی از تنش برشی را در بر می گیرد و دارای جامعیت قابل قبولی می باشد. در این روابط برای بی بعد کردن تنش برشی و بار بستر از میانگین ذرات

موثر در هر لحظه استفاده شده است. در این تحقیق رابطه ای ارائه شده که در هر لحظه اندازه قطر میانگین ذرات بستر را نشان می دهد. در ادامه خطای رابطه پیشنهادی با استفاده از روش خطای میانگین محاسبه شده است. روابط معروف انتقال رسوب نیز مورد بررسی قرار گرفته است و با خطای آنها نیز با همان روش به دست آمده است. در نهایت مقایسه ای بین روابط معروف انتقال رسوب و رابطه پیشنهادی خطای کم و کارایی رابطه پیشنهادی را نشان می دهد.

کلمات کلیدی: بار بستر ، انتقال رسوب ، تنش برشی ، دبی عبوری ، لایه پوششی ، لایه زیرین ،

رگرسیون غیر خطی

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه :

۱- نقش تنش برشی در شکل گیری لایه محافظ رودخانه ها -هفتمین کنفرانس زمین

شناسی مهندسی و محیط زیست ایران ، شهریور ۱۳۹۰ دانشگاه صنعتی شاهرود

فهرست مطالب

۱	فصل ۱: مقدمه
۳	۱-۱ اهداف
۳	۲-۱ ساختار تحقیق
۵	فصل ۲: ساختار بستر رودخانه و نحوه انتقال بار بستر
۸	۲-۲ ساختار بستر رودخانه
۸	۲-۲-۱ لایه پوششی در رودخانه های دائمی
۱۲	۲-۲-۲ جداشدگی دانه ها در رودخانه های فصلی
۱۸	۲-۲-۳ قدرت جریان و ساختار بستر رودخانه
۲۰	۳-۲ انتقال رسوب بستر
۲۰	۳-۲-۱ تغییرات اندازه میانگین دانه بندی رسوبات
۲۲	۳-۲-۲ معادله عمومی انتقال رسوبات بستر
۲۳	۳-۲-۳ راندمان انتقال رسوبات بستر
۳۲	۴-۲ نتیجه گیری
۳۵	فصل ۳: ارایه رابطه ی جدید برای برآورد میزان انتقال رسوب
۳۶	۳-۱ مقدمه
۳۶	۳-۲ روش های استخراج روابط انتقال رسوب

۳۷	۳-۲-۱ روش اول استفاده از آنالیز ابعادی
۴۳	۳-۲-۲ روش دوم استفاده از اطلاعات به دست آمده از رودخانه های مختلف
۴۹	۳-۳ استفاده از اطلاعات رودخانه های اوک کریک و نهال یاتیر
۵۲	۳-۳-۱ یک رابطه ی کلی برای تمام رودخانه ها اعم از دائمی و فصلی
۵۲	۳-۳-۱-۱ پارامترهای موثر
۵۴	۳-۳-۱-۱-۱ آنالیز ابعادی به روش پی-باکینگهام برای شناسایی پارامتر های بی بعد موثر
۵۶	۳-۳-۱-۲ رودخانه اوک کریک
۵۷	۳-۳-۱-۳ رودخانه نهال یاتیر
۵۸	۳-۳-۱-۴ رابطه نهایی
۵۸	۳-۴ معرفی پارامتر جدید قطر متوسط موثر (D_{50e})
۶۱	۳-۵ میزان لایه پوششی بستر با توجه به روابط رودخانه های نهال یاتیر و اوک کریک
۶۴	۳-۶ تطبیق رابطه بدست آمده برای انتقال رسوب با سایر رودخانه ها
۶۵	۳-۶-۱ جمع بندی روش ارایه شده و تطبیق آن با سایر رودخانه ها
۶۸	۳-۶-۲ بررسی خطای رابطه پیشنهادی
۷۲	فصل ۴: بررسی برخی نگرش ها در برآورد میزان انتقال رسوب
۷۳	۴-۱ بررسی نگرش ها
۷۳	۴-۱-۱ روش اول
۷۴	۴-۱-۲ روش دوم
۷۶	۴-۲ بررسی خطا ها

۷۷	فصل ۵: نتایج و پیشنهادات
۷۸	۵-۱ نتایج
۸۱	۵-۲ پیشنهادات
۸۲	منابع

فهرست اشکال

- ۹ شکل (۱-۲)- ساختار بستر در رودخانه‌های با بستر شنی دائمی و موقتی
- ۱۱ شکل (۲-۲)- مدل مفهومی توصیف کننده تغییرات شکل بستر رودخانه ها
- ۱۷ شکل (۳-۲)- (A) رودخانه Nahal Herbon (B) رودخانه Nahal Og
- ۲۱ شکل (۴-۲) تغییرات $D_{50\ sub} / D_{50\ L}$ نسبت به تنش شیلدز نرمال شده، ϕ_{50}
- ۲۴ شکل (۵-۲)- بار بستر منتقل شده بر حسب قدرت جریان
- ۲۷ شکل (۶-۲)- بار بستر منتقل شده بر حسب قدرت جریان در رودخانه های مختلف
- ۳۲ شکل (۷-۲)- نمودار تنش برشی بی بعد بر حسب بار بستر بی بعد منتقل شده
مربوط به شش رودخانه
- ۴۰ شکل (۱-۳)- نمودار رابطه m_i با D_i / D_{50}
- ۴۱ شکل (۲-۳)- نمودار w_i^* بر حسب $\tau_i^* (\frac{D_i}{D_{50}})^{3214}$
- ۴۲ شکل (۳-۳)- نمودار w_i^* بر حسب $\phi_i^* (\frac{D_i}{D_{50}})^{3214}$
- ۴۶ شکل (۴-۳)- پنج ایستگاه مورد بررسی امت
- ۴۸ شکل (۵-۳)- بار بستر منتقل شده بر حسب دبی عبوری از رودخانه برای پنج ایستگاه ذکر شده-
امت
- ۴۹ شکل (۶-۳)- تنش برشی بر حسب بار بستر منتقل شده برای دو رودخانه اوک کریک و نهال
یاتیر
- ۵۲ شکل (۷-۳)- بار بستر بر حسب زمان در رودخانه اوک کریک
- ۵۲ شکل (۸-۳)- دبی جریان بر حسب زمان در رودخانه اوک کریک

شکل (۳-۹) - بار بستر بر حسب زمان در رودخانه نهال یاتیر ۵۳

شکل (۳-۱۰) - دبی جریان بر حسب زمان در رودخانه نهال یاتیر ۵۳

شکل (۳-۱۱) - تنش برشی بی بعد بر حسب رسوبات منتقل شده بی بعد در رودخانه اوک کریک ۵۶

شکل (۳-۱۲) - تنش برشی بی بعد بر حسب رسوبات منتقل شده بی بعد در رودخانه نهال یاتیر ۵۷

شکل (۳-۱۳) - بار بستر بی بعد بر حسب میانگین اندازه ذرات بی بعد رودخانه های اوک کریک ۶۱

و نهال یاتیر

شکل (۳-۱۴) - بار بستر منتقل شده بر حسب اندازه میانگین موثر ذرات مربوط به رودخانه ساژن ۶۶

کریک

شکل (۳-۱۵) - بار بستر منتقل شده بر حسب اندازه میانگین موثر ذرات مربوط به رودخانه البو ۶۶

ریور

شکل (۳-۱۶) - بار بستر منتقل شده بر حسب اندازه میانگین موثر ذرات مربوط به رودخانه ۶۷

جاکوبی ریور

شکل (۳-۱۷) - بار بستر محاسبه شده با استفاده از رابطه پیشنهادی و آزمایشات بر حسب تنش ۶۸

برشی در حالت بعد دار

شکل (۴-۱) - D_{50e}^* بر حسب رسوبات منتقل شده بی بعد در رودخانه اوک کریک ۷۵

فهرست جداول

- جدول (۱-۲) ویژگی های رودخانه های با بستر شنی ۱۳
- جدول (۲-۲) خصوصیات رودخانه های نهال هربد و نهال اگ ۱۶
- جدول (۳-۲) مشخصات رودخانه های مقایسه شده توسط *Larrone* و *Reid* در سال ۱۹۹۵ ۲۹
- جدول (۱-۳) پارامتر های ارایه شده توسط پارکر و پارامتر های اصلاحی دیپلاس ۳۹
- جدول (۲-۳) مشخصات مربوط به ایستگاه های آزمایش شده توسط امت در سال ۲۰۰۰ ۴۴
- جدول (۳-۳) جدول ضرایب رابطه ی امت برای پنج ایستگاه آزمایش شده ۴۷
- جدول (۴-۳) مشخصات برخی از رودخانه های آزمایش شده که میزان لایه پوششی بستر آنها ۵۱
را نشان میدهد
- جدول (۵-۳) ابعاد پارامتر های مهم در انتقال رسوب ۵۴
- جدول (۶-۳) مشخصات رودخانه های سازن کریک، البو ریور و جاکوبی ریور ۶۵
- جدول (۱-۴) مشخصات رودخانه های آزمایش شده ۷۶
- جدول (۱-۵) خطاهای روابط معروف انتقال رسوب و رابطه پیشنهادی (کلیه خطا ها از روش ۸۰
خطای میانگین به دست آمده است)

فصل اول

مقدمه

رودخانه‌های با بستر شنی ویژگی‌هایی دارند که آنها را از رودخانه‌های ماسه‌ای متمایز کرده و باعث ایجاد مسائل و چالش‌هایی در تحلیل آنها می‌شود. یکی از مهمترین این ویژگیها، نوع مصالح موجود در بستر رودخانه‌های شنی است. در رودخانه‌های ماسه‌ای، مصالح بستر یکنواخت هستند در حالیکه در رودخانه‌های شنی عموماً یک لایه درشت‌دانه روی لایه‌های ریزدانه زیرین را می‌پوشاند. اگرچه این لایه سطحی دربرگیرنده تمامی اندازه‌های موجود در مصالح لایه زیرین است اما وجود دانه‌های بزرگتر با نسبت‌های بالاتر مشهود است. رودخانه‌های شنی، اعم از دایمی و هم فصلی، را می‌توان با خصوصیات جریان یا با مصالح موجود در بستر آنها طبقه‌بندی نمود. رودخانه‌های دائمی، آب را معمولاً با دبی‌های کم در طول سال حمل می‌کنند، در حالیکه رودخانه‌های فصلی، که عموماً در شرایط آب و هوایی خشک و نیمه خشک یافت می‌شوند، دارای دبی‌های بسیار بالا در طول گذر سیلابها هستند. از نظر مصالح موجود در بستر رودخانه‌های شنی نیز این رودخانه‌ها به دو شکل رودخانه‌های با مصالح بستر تک‌مدی و دومی تقسیم می‌شوند. رودخانه‌های با مصالح بستر تک‌مدی دارای توزیع دانه‌بندی با تنها یک مد هستند ولی در رودخانه‌های با مصالح بستر دو مدی، دو مد مشهود است، یکی برای قسمت ماسه‌ای و دیگری برای قسمت شنی.

متغیر بودن رودخانه‌های شنی، پیش بینی نرخ انتقال رسوبات بستر را با مشکل روبرو می‌سازد. علی‌رغم وجود روابط فراوان برای انتقال بار بستر، هنوز مباحث فراوان و قابل ملاحظه‌ای درباره عملکرد آنها وجود دارد. برای مثال، مسأله وجود پارامتر اندازه دانه‌بندی در روابط انتقال رسوب بستر شنی هنوز یکی از مسائل مورد بحث و مناظره بین محققین است. استفاده از پارامتر اندازه میانگین ذرات یا هر پارامتر دیگر آماری در روابط استفاده شود به نحوی که هیچگونه تفاوتی بین مصالح سطح و زیر سطحی قایل نشود به نوعی سؤال برانگیز است. توزیع دو مدی که در برخی مصالح دیده می‌شود نیز باعث پیچیدگی بیشتر

مسأله می‌شود زیرا توجیه تحلیل عملکرد دو نوع دانه بندی مجزای ماسه و شن، بوسیله یک مقدار واحد برای دانه بندی کار موجهی نمی تواند باشد.

این تحقیق روی انتقال بار بستر در رودخانه‌های با بستر شنی متمرکز گردیده است و در آن به بررسی رفتار مصالح انتقال یافته روی بستر شنی در شرایط آستانه حرکت از یک دبی پایین، که عموماً در رودخانه‌های دائمی وجود دارد، به سمت دبی‌های بالاتر، که در مواقع سیلابی اتفاق می‌افتد و در رودخانه‌های فصلی متداول است، پرداخته می‌شود. در این تحقیق انتقال رسوب رودخانه‌های با بستر شنی دارای رسوبات تک‌مدی مورد بررسی قرار گرفته است .

۱-۱ اهداف

اهداف اصلی این تحقیق عبارتند از:

۱. بررسی انتقال بار بستر در رودخانه‌های شنی دائمی و موقتی، ارائه یک روش توصیفی در مورد تفاوت‌های آنها و تلاش جهت یکسان‌سازی چگونگی استفاده از اطلاعات انتقال بار کلی بستر آنها.
۲. بیان و ارزیابی چند نگرش جدید در بدست آوردن روابط حاکم بر انتقال رسوب.
۳. بیان یک رابطه ی نهایی و جدید برای رودخانه‌های شنی با رسوبات تک‌مدی.
۴. مقایسه این رابطه با روابط معروف انتقال رسوب.

۲-۱ ساختار تحقیق

این نوشتار به سه بخش عمده تقسیم می‌شود. در بخش اول (فصل دوم: ساختار بستر رودخانه و انتقال رسوب)، تفاوت‌های آشکار بین رودخانه‌های شنی دائمی و فصلی به دو شکل بوسیله ساختار جریان بستر و راندمان انتقال رسوبات بستر کلاسه بندی می‌شوند. ساختار مصالح بستر رودخانه‌های دائمی بوسیله اندازه دانه‌های آنها به دو بخش سطحی (درشت دانه‌تر) و زیرین(ریز دانه‌تر) تقسیم‌بندی می‌شود در حالیکه در برخی از رودخانه‌های فصلی ممکن است پدیده‌ای بر عکس اتفاق بیفتد، یعنی لایه‌ای با مصالح ریزدانه به

عنوان یک لایه پوششی روی رسوبات درشت دانه قرار گیرد. چگونگی شکل‌گیری لایه سطحی ریزتر با مراجعه به پروسه مکانیکی آن توصیف خواهد شد. از طرفی، سری اطلاعات و داده‌های موجود درباره انتقال بار بستر نشان‌دهنده آنست که این دو نوع رودخانه دارای راندمان‌های متفاوت انتقال رسوب هستند که به اختلاف موجود در بستر کانال نسبت داده می‌شوند. علی‌رغم این، این تحقیق نشان می‌دهد که با ارائه به شکل بی‌بعد تنش‌های برشی و بار بستر منتقل شده، بعضی از پارامترها برای مقادیر کوچکتر جریان در رودخانه‌های فصلی با مقادیر بزرگتر جریان در رودخانه‌های دائمی همپوشانی دارد. بنابراین نشان داده می‌شود که داده‌های انتقال بار بستر هر دو نوع رودخانه ممکن است یک زنجیره را تشکیل داده و رابطه‌ای واحد برای هر دوی آنها دور از ذهن نیست.

در بخش دوم (فصل سوم: انتقال رسوب در رودخانه‌های با بستر شنی دارای رسوبات تک‌مدی)، یک رابطه تجربی برای رودخانه‌های با بستر شنی پیشنهاد خواهد شد. در این قسمت می‌خواهیم از اندازه میانگین موثر ذرات به عنوان نماینده آنها استفاده می‌شود. از مجموعه‌ای از اطلاعات بار بستر موجود رودخانه‌های شنی با رسوبات تک مدی برای آزمایش دقت روابط استفاده خواهد شد. ضمناً مقایسه‌ای نیز بین سایر روابط انتقال بار بستر، که معمولاً برای رودخانه‌های شنی مورد استفاده قرار می‌گیرند، با فرمول پیشنهادی ارائه می‌گردد.

سومین بخش در فصل چهارم تحلیل مختصری از برخی نگرش‌ها که در تحلیل میزان انتقال رسوب در رودخانه‌های با بستر شنی قابل طرح است، انجام گرفته است. در این فصل نگرش تک رودخانه‌ای و استفاده از مد ذرات به عنوان نماینده آنها مختصری شرح داده شده است و خطاهای آنها نیز مورد بررسی قرار گرفته است. در واقع این نگرش‌ها پایه و پلی است برای رسیدن به نگرش اصلی که در فصل سوم به صورت مفصل به آن پرداخته خواهد شد.

فصل دوم

ساختار بستر رودخانه و نحوه انتقال بار بستر:

دیدگاهی واحد در رودخانه های با بسترشنی

دائمی و فصلی

رودخانه‌های شنی دائمی عموماً دارای یک لایه سطحی هستند که درشت دانه‌تر از لایه زیرین خود هستند (Parker and Klingeman, 1982). اگرچه این لایه سطحی درشت‌دانه دارای تمامی اندازه‌های موجود در لایه زیرین است ولی عمدتاً درصد وزنی دانه‌های بزرگتر بیشتر از ریز دانه‌ها می‌باشد (Diplas, 1982; Parker et al., 1987). این تفکیک و تغییر در راستای قائم در اندازه ذرات باعث ایجاد پیچیدگی‌ها و مشکلاتی در انتخاب لایه مناسب به عنوان لایه اصلی برای استفاده در روابط انتقال رسوب و محاسبه نرخ انتقال آن ایجاد می‌کند (Parker, 1990). مشاهدات اخیر از رودخانه‌های شنی فصلی، که عموماً در نواحی خشک و نیمه‌خشک یافت می‌شوند الگوی پیچیده‌ای را نشان می‌دهد. در بعضی موارد پدیده‌ای معکوس اتفاق می‌افتد، یعنی لایه‌ای ریزتر به عنوان پوشش برای رسوبات درشت‌دانه‌تر عمل می‌کند (Reid et al, 1994; Laronne et al, 1995). شدت زیاد و مدت کوتاه سیلاب اغلب منجر به ایجاد رواناب سریع و کوتاه‌مدت در این مناطق می‌شود (Wheater et al, 1991). از آنجا که سطح آب زیرزمینی پایین‌تر از کف رودخانه است، این رودخانه‌ها بوسیله منابع آب زیرزمینی تغذیه نمی‌شوند. همچنین پدیده‌های نفوذ و افت آب در آن‌ها اتفاق می‌افتد. در نتیجه، رودخانه‌های فصلی به جز برای دوره زمانی کوتاه مدت سیلاب‌ها، خشک باقی می‌مانند. محققین زیادی بر تفاوت‌های بین رودخانه‌های شنی دائمی و فصلی تأکید کرده‌اند و اظهار داشته‌اند که این دو رفتار متفاوتی از خود نشان می‌دهند (Laronne & Reid, 1995). آنها در سال ۱۹۹۵ مشاهده نمودند که تحت شرایط یکسان جریان رودخانه‌های فصلی عمدتاً دارای نرخ انتقال رسوب واحد بالاتری هستند. ریید و همکارانش (Reid et. al., 1995) تعداد زیادی از معادلات انتقال رسوب بستر را مورد مقایسه قرار دادند. آنها عمدتاً از داده‌ها و اطلاعات رودخانه‌های دائمی و نتایج آزمایشگاهی استفاده کردند، اما یک سری از داده‌ها و اطلاعات میدانی را در طول یک دوره سیلاب سریع

و زودگذر در رودخانه نهال یاتیر^۱ (رودخانه ای فصلی در غرب خاورمیانه) جمع آوری نمودند. آنها برخی از روابط ارایه شده که بیشتر مورد توجه مهندسان و مورفولوژیست ها بود را با استناد به اطلاعات به دست آمده از همین رودخانه مشخص گردید که رابطه پیشنهادی میر- پیتر و مولر پاسخ های رضایت بخشی در مقایسه با سایر روابط ارایه می کند.

اگر C مقادیر رسوب محاسبه شده و O مقادیر رسوب اندازه گیری شده باشند بر اساس آن ابتدا رابطه میر-پیتر و مولر ($\frac{C}{O} = 1.18$) بعد از آن رابطه ی پارکر ($\frac{C}{O} = .78$) قرار دارد که مقداری کم میزان رسوب را تخمین میزند در آخر نیز رابطه بگنولد (*Bagnold, 1973*) است که میزان رسوب را به میزان قابل توجهی پایین تخمین زده است ($\frac{C}{O} = .44$).

شاید یکی از دلایل کارکرد مناسب رابطه میر-پیتر و مولر این است که این رابطه در فلوام آزمایشگاهی بدست آمده و رسوبات کف آن یکنواخت و تا حدودی شبیه رسوبات رودخانه نهال یاتیر می باشد. در کل این روابط نیز در دبی های اندازه گیری شده قابل استناد هستند و از جامعیت برخوردار نمی باشند.

بالتر بودن نرخ انتقال رسوب در رودخانه های فصلی مربوط است به فراوانی ظاهری رسوبات که نوعاً در سیستم رودخانه های فصلی دیده می شود. ریید و همکارانش (*Reid et. al., 1996*) و نیز پاوول و همکارانش (*Powell et.al., 1998*) اظهار داشتند که افزایش قدرت حمل رسوب در رودخانه های فصلی باعث تضعیف شکل گیری لایه محافظ پوششی^۲ شده و در عوض باعث ریزدانه شدن مصالح لایه سطحی بستر می شوند. در رودخانه های دایمی، درشت دانه تر شدن لایه سطحی ناشی از عدم تعادل موضعی بین رسوبات ورودی و توانایی رودخانه در انتقال بیشتر مقادیر بار بستر می باشد (*Dietrich et al, 1989*). با دانستن شرایط هیدرولوژیکی متفاوت شکل گیری این دو نوع رودخانه، می توان انتظار داشت که

¹ Nahal yatir

² Armoured layer

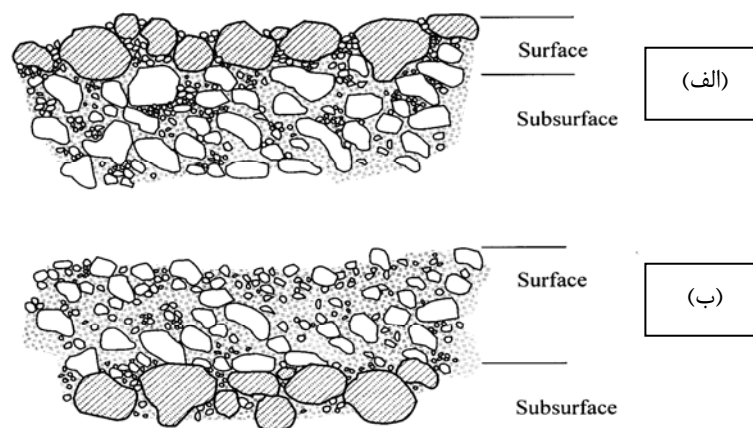
فرآیندهای تشکیل لایه ریزدانه سطحی در رودخانه های فصلی مشابه با فرآیندهای درشت دانه شدن لایه سطحی در رودخانه های دائمی نباشند.

این تحقیق به بررسی دقیق تر تفاوت های ظاهری ساختار بستر رودخانه و انتقال رسوبات بین رودخانه های شنی دائمی و فصلی می پردازد. ساختار بستر رودخانه با معرفی یک عبارت بی بعد برای توان رودخانه بررسی می شود و انتقال رسوب با استفاده از تنش برشی بی بعد مورد بررسی قرار خواهد گرفت. همچنین نوع لایه پوششی بستر رودخانه ها نیز با استفاده از تنش برشی بی بعد مبنا مورد بررسی قرار گرفته است. توضیحی در مورد چگونگی شکل گیری لایه سطحی ریزدانه در رودخانه های فصلی با توجه به فرآیند مکانیکی دانه بندی و تفکیک ذرات ارائه می شود. این تحقیق همچنین نشان خواهد داد که با استفاده از پارامترهای بی بعد، اطلاعات بار بستر هر دو نوع رودخانه ممکن است بخش هایی از یک منحنی کلی مشابه مربوط به نرخ انتقال بار بستر با افزایش تنش برشی بستر باشد. تغییر در پارامترهای بی بعد نظیر توان رودخانه و تنش برشی، دلیل وجود تفاوت های مشاهدات میدانی می باشد.

۲-۲- ساختار بستر رودخانه

۲-۲-۱- لایه پوششی در رودخانه های دائمی

مشاهدات میدانی و تحقیقات آزمایشگاهی نشان می دهد که لایه پوششی در رودخانه های با بستر شنی دائمی عمدتاً دارای ضخامت برابر با D_{90} هستند (شکل ۲-۱)، (Petrie and Diplas, 2000).



شکل (۱-۲)- ساختار بستر در رودخانه‌های با بستر شنی دائمی و موقتی . (الف) تفکیک ذرات در رودخانه‌های شنی دائمی (ب) تفکیک ذرات در رودخانه‌های شنی فصلی (*Petrie and Diplas, 2000*)

به دلیل بالا بودن اینرسی در رودخانه‌های دایمی، دانه‌های درشت در لایه سطحی از مصالح زیرین در برابر تنش‌های برشی کم تا متوسط محافظت می‌کند. در بعضی موارد نیز دانه‌های درشت لایه سطحی به شکل انبوه در می‌آیند و این امر باعث ایجاد پایداری بیشتر در لایه سطحی می‌شود و در نتیجه محافظت بهتری از مصالح لایه زیرسطحی ایجاد می‌کند (*Brayshaw et al., 1983*). زمانیکه تنش برشی افزایش می‌یابد، دانه‌های درشت‌تر در لایه سطحی به حرکت در می‌آیند و در مقادیر بزرگ تنش برشی، عاقبت ترکیب لایه سطحی به ترکیب مصالح لایه زیرسطحی نزدیک می‌شود (*Diplas, 1992*). اگرچه تنش‌های برشی در رودخانه‌های دایمی با بستر شنی غالباً به مقدار بحرانی نمی‌رسند (*Parker et al., 1982*). در اثر سیلاب‌های با دوره بازگشت طولانی امکان دارد که تنش‌های برشی به دو یا سه برابر مقدار بحرانی خود در بستر کانال برسد (*Parker et al., 1982*).

دو مکانسیم عمده در شکل‌گیری لایه محافظ رودخانه‌های با بستر شنی دائمی وجود دارد: یکی تفکیک

و توزیع قائم ذرات^۳ و دیگری انتقال گزینشی ذرات^۴ (Parker et. al., 1982). توزیع قائم ذرات مکانیسمی برای تفکیک ذرات ریزدانه موجود در لایه سطحی است که بوسیله فرآیندهایی نظیر افتادن و قرارگیری در درزها و شکافهای موجود در بین ذرات لایه پوششی، داخل لایه زیر سطحی انجام می شود. (Parker et. al., 1982; Diplas & Parker, 1992). این فرآیند مکانیسمی مشابه با لرزش و ارتعاش مکانیکی یک سطح پر از مصالح با اندازه دانه‌های متفاوت است و به آن اصطلاحاً اثر دانه برزلی^۵ گویند (Rosato et al., 1987). در این مرحله دانه‌های درشت‌تر در بالا قرار می‌گیرند و دانه‌های ریزتر مسیر خود را به سمت پایین پیدا می‌کنند.

انتقال گزینشی ذرات یکی از دلایل عدم توازن موجود بین ورود رسوبات از بالادست و ظرفیت انتقال رسوب رودخانه است (Dietrich et al., 1989). اگر رسوب ورودی کمتر از مقدار توان رودخانه برای حمل رسوبات بستر باشد، بار رسوب برای توازن باید از خود سطح بستر تأمین شود. بدلیل غیر یکنواخت بودن مصالح بستر، برای تنش‌های کم تا متوسط، ذرات ریزدانه‌تر بیشتر از درشت‌دانه‌ها جابجا می‌گردند (Parker et. al., 1982; Diplas, 1987). این فرآیند باعث افزایش مقدار درشت‌دانه‌ها در روی سطح شده و در نتیجه لایه پوششی درشت‌دانه‌تر از لایه زیر سطحی تشکیل می‌شود. زمانیکه تغذیه رسوب از بالادست رودخانه در حال کاهش باشد، لایه پوششی محافظ درشت‌دانه‌تر شده و سرانجام به مقدار نهایی اندازه خود می‌رسد. این مقدار حدی بوسیله سین (chin, 1985) پیشنهاد شد. او نشان داد که اندازه درشت‌دانه‌شدن مصالح سطحی دارای مقدار حدی برابر با $\frac{D_{max}}{D_{50s}} = 1.8$ است. D_{max} اندازه بزرگترین ذره لایه سطحی و D_{50s} اندازه میانگین دانه‌های سطحی است. در تنش‌های برشی بالا که قدرت حمل ذرات و درشت‌دانه‌ها افزایش می‌یابد، لایه پوششی محافظ ریزدانه‌تر می‌شود. بر اساس مدل پیشنهادی دیتریخت

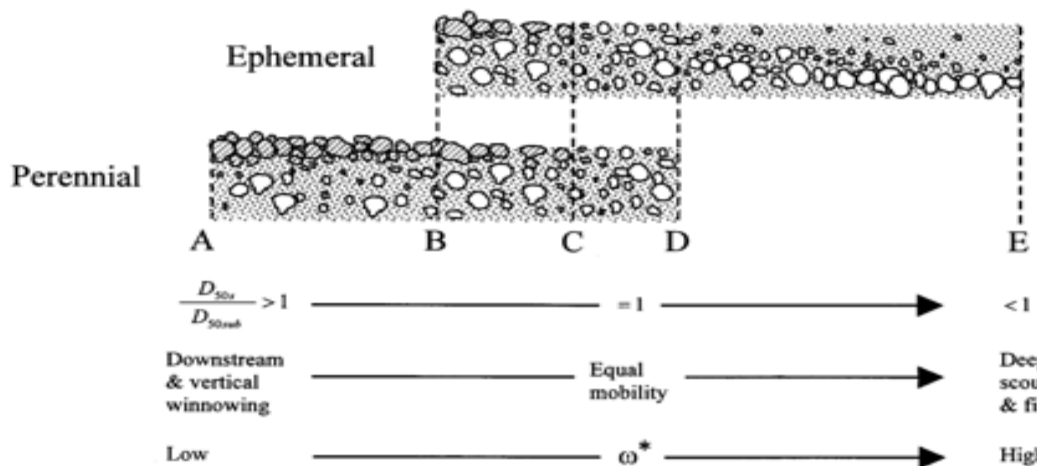
³ Vertical winnowing

⁴ Selective transport of particles

⁵ Brazil nuts effect

و همکارانش (Dietrich et. al., 1989)، ریزترین حالت ممکن مصالح سطحی زمانی به دست می آید که

$$\frac{D_{50s}}{D_{50sub}} = 1 \text{ باشد (شکل ۲-۲).}$$



شکل (۲-۲) - مدل مفهومی توصیف کننده تغییرات شکل بستر رودخانه های با بستر شنی دائمی و موقتی با استفاده از پارامتر بی بعد قدرت مخصوص جریان ، ω^* (Dietrich et.al.1989)

D_{50sub} اندازه میانگین ذرات لایه زیرسطحی است. حالت حدی برابر با یک به معنی مقادیر بالای انتقال رسوب بستر یا به عبارتی زمانی که قدرت جریان برای حمل رسوبات به مقدار کافی ایجاد شده است، می باشد. (شرایطی که تمامی ذرات متناسب با مقدار خود در مصالح بستر جابجا می شوند (Parker et al., 1982; Diplas, 1992). این حالت در رودخانه های شنی دائمی یک حالت حدی دیگر است که در طی عبور سیلاب های کمیاب رخ می دهد.

یک مثال از رودخانه های دائمی دارای لایه پوششی محافظ خوب شکل گرفته، رودخانه اوک کریک^۱ در Oregon است (Milhouse, 1973) که رودخانه ای کوچک با شیب تند و مقدار D_{50s}/D_{50sub} برابر با ۲/۷

¹Oak Creek

است. نکته جالب توجه آنکه که از بین ۶۶ گزارش اندازه گیری میدانی مقادیر انتقال رسوب گزارش شده بوسیله میله‌هاوس، فقط چند عدد از آنها دارای مقدار تنش برشی بی بعد بالاتر از ۰/۰۳ هستند. کمتر از این مقدار، فرآیند انتقال گزینشی ذرات غالب می شود یعنی ذرات ریزدانه ورودی در مقادیر بالاتری انتقال می‌یابند (Diplas, 1987).

۲-۲-۲- جداسازی دانه ها در رودخانه های فصلی

مشاهدات میدانی از بعضی رودخانه‌های فصلی شنی نشان می‌دهد که توزیع ذرات مصالح بستر در راستای قائم در آنها برعکس رودخانه‌های شنی دائمی است، یعنی رسوبات درشت‌دانه در زیر یک لایه سطحی ریزدانه قرار می‌گیرند (شکل ۲-۱.ب). برای مثال در رودخانه نهال یاتیر، که دارای حوضه آبریز به مساحت ۱۹ کیلومتر مربع است (Reid et al., 1995)، مقدار $\frac{D_{50s}}{D_{50sub}}$ برابر با ۰/۶ می باشد. جدول (۲-۱) مشخصات دو رودخانه فصلی (نهال یاتیر) و دائمی (اوک کریک) را نشان می دهد. تحقیقاتی برای توصیف وجود یک لایه سطحی ریزدانه توسط توسعه مدل دیتریخت و همکارانش انجام شده است (Powell et al., 1998). می توان از اصل بقای جرم (پیوستگی) به منظور تشریح این مطلب استفاده کرد که آیا چنین فرآیندی نیازی به دانه‌های درشت‌تر بیشتر از مقدار موجود در مصالح بستر دارند یا خیر. این الگوی انتقال رسوبات بستر شرط کنونی برای حرکت برابر رسوبات در خلال تنشهای بسیار بالای برشی را نقض می‌کند (Parker et al., 1982; Diplas, 1987).

تفاوت دیگر بین رودخانه‌های فصلی و دائمی در ضخامت لایه بالایی مصالح بستر است. در رودخانه‌های دائمی، ضخامت لایه سطحی درشت‌دانه‌تر عموماً برابر با D_{90s} است در حالیکه ضخامت لایه سطحی ریزدانه موجود در بعضی از رودخانه‌های فصلی با عمق ماکزیمم آب‌شستگی سطح بستر سنجیده می‌شود. برای مثال، ضخامت اندازه‌گیری‌شده لایه سطحی در رودخانه نهال یاتیر حدود $3D_{90}$ گزارش شده است. این ضخامت با مقدار عمق ماکزیمم آب‌شستگی سطح بستر برابر است (Reid et al., 1995). در نتیجه،

گمان می‌رود که ساختار بستر رودخانه‌های شنی فصلی در نتیجه مکانیسم‌هایی غیر از مکانیسم‌های ایجادکننده لایه‌های پوششی رودخانه‌های دائمی تشکیل می‌شود.

جدول (۱-۲) ویژگی‌های رودخانه‌های با بستر شنی

مشخصات	<i>Oak Creek</i>	<i>Nahal Yatir</i>
نوع رودخانه	دائمی	فصلی
تعداد نمونه‌ها	۶۶	۷۴
اندازه میانگین ذرات لایه سطحی (میلیمتر)	۵۴	۶
اندازه میانگین ذرات لایه زیرسطحی (میلیمتر)	۲۰	۱۰
شیب (S)	۰/۰۰۸۳ – ۰/۰۱۰۸	۰/۰۰۷ – ۰/۰۱۰۱
عمق جریان d (متر)	۰/۱۱ – ۰/۴۵	۰/۱۰ – ۰/۴۷
تنش برشی τ_0 (نیوتن بر مترمربع) (رابطه ۵.۲)	۸/۹۳ – ۴۳/۲۲	۸/۶۷ – ۳۶/۹۲
تنش شیلدز τ^*	۰/۰۰۸۷۷ – ۰/۰۴۲۴	۰/۰۹۲ – ۰/۳۹
نرخ انتقال رسوب بستر q_B (کیلوگرم بر متربرثانیه)	$۱/۲۶ \times ۱۰^{-۷}$ – ۰/۱۱۵	۰/۲۰ – ۷/۰۵
عدد فرود	۰/۲۸ – ۰/۶۶	۰/۷۵ – ۱/۳۰
قدرت مخصوص جریان ω (کیلوگرم بر توان سوم ثانیه) (رابطه ۱.۲)	۳/۵۴ – ۹۳/۷۷	۷/۱۵ – ۱۰۵/۷۵
قدرت مخصوص جریان بی بعد ω^* (رابطه ۲.۲)	$۲/۱۹ \times ۱۰^{-۳}$ – ۰/۰۵۸	۰/۱۵۸ – ۲/۳۳۶
راندمان انتقال بار بستر e_B (رابطه ۶.۲)	$۱/۳۷ \times ۱۰^{-۵}$ – ۱/۰۷	۷/۳۰ – ۵۷/۷۹

مناسب ترین توضیح برای این مورد را می توان با مکانیسم دیگری از تفکیک ذرات بیان نمود. همانطور که پیشتر ذکر گردید، وقتی که مصالحی با اندازه ذرات متفاوت لرزانده می شود، ذرات درشت دانه در سطح و نزدیکی آن قرار می گیرند در حالیکه ذرات ریزدانه در نزدیکی کف قرار می گیرند. در مقابل اگر به سادگی مصالح را به شکل یک توده بریزیم لایه بندی عکسی اتفاق می افتد (Makse et al., 1997). در این مورد، ذرات ریزدانه در نزدیکی بالای توده قرار می گیرند در حالیکه مصالح درشت تر بیشتر در کف تجمع می یابند. همانطور که توسط ماکس و همکارانش (Makse et al., 1997) گزارش شده است، این مکانیسم جداسازی ذرات بوسیله زاویه قرار گیری دانه های رسوب بر روی یکدیگر کنترل می شود. ذرات با زاویه قرارگیری (بر روی ذرات زیرین) بزرگتر تمایل به استقرار در نزدیکی بستر را خواهند داشت.

مکانیسم مشابهی باعث ایجاد ساختار دیگری که در بستر بعضی از رودخانه های شنی فصلی مشاهده شده است می باشد. در طول سیلاب ها، دبی سیلاب به سرعت افزایش می یابد و سپس به سرعت کاهش می یابد. برای مثال بر اساس گزارش ریید و همکاران (Reid et. al., 1995) در رودخانه نهال اشتما⁷، در غرب خاورمیانه گودال سیلاب ناشی از بارندگی در زمانی حدود ۳ دقیقه به عمق ۰/۹ متر رسید و سپس به مدت حدود یک ساعت عمق گودال کاهش یافت و پس از آن عمق جریان به شکل عجیبی با نرخ ۰/۲۵ متر بر دقیقه به ۲/۵ متر رسید. تنش های برشی بالا منجر به انتقال حجم زیاد رسوب گردیده و آبشستگی و پرشدگی قابل توجهی نیز در بستر رودخانه دیده شد. همچنین مشاهده گردیده است که آبشستگی عمدتاً در قسمت بالارونده هیدروگراف و پرشدگی در قسمت پایین رونده آن رخ می دهد. این فرآیند مشابه حمل و انباشتن مقدار زیادی از مصالح بستر است. با دانستن اینکه ذرات رسوب در بستر یک رودخانه طبیعی شکل تقریباً مشابهی دارند (Bagnold, 1973)، می توان انتظار داشت که اندازه ذرات باعث ایجاد فرآیند تفکیک و جداسازی دانه های درشت تر مستقر در نزدیکی کف لایه شود.

⁷ Nahal Eshtema

مکانیسم جداشدگی ذرات را می توان بوسیله قدرت جریان مورد بررسی قرار داد:

$$\omega = \frac{\rho Q S}{B} = \tau_0 u \quad (1-2)$$

در معادله فوق ω قدرت مخصوص جریان ، ρ چگالی ، g شتاب ثقل ، Q دبی رودخانه ، S شیب انرژی ، B عرض کانال ، τ_0 تنش برشی بستر و u سرعت میانگین است.

زمانیکه تنش برشی، سرعت جریان یا هر دو افزایش می یابد، انرژی بیشتری برای شکل دهی مجدد مصالح بستر کانال در دسترس خواهد بود. این امر بر روی مقدار مصالح جدا شده در بستر کانال و عمق تدفین و قرار گیری دانه های درشت تأثیر زیادی دارد.

حسن در سال ۱۹۹۰ از ذرات درشت دانه مغناطیسی برچسب دار با اندازه ذرات در محدوده ۴۵ تا ۱۸۰ میلیمتر در رودخانه نهال هرین^۸ و نهال اوجی^۹ (جدول ۲-۲)، دو رودخانه فصلی و دائمی با بستر شنی در خاورمیانه، استفاده نمود و به ردگیری محل آنها در طول وقوع چندین سیلاب پرداخت. به ترتیب در رودخانه های دائمی و فصلی ذرات برچسب دار بزرگتر و درشت تر از مقدار میانگین اندازه ذرات، در لایه سطحی و لایه زیر سطحی بدست آمد.

^۸ Nahal Herbon

^۹ Nahal Og

جدول (۲-۲) خصوصیات رودخانه‌های Nahal Herbon و Nahal Og (Hassan, 1990)

<i>Nahal Og</i>	<i>Nahal Herbon</i>	مشخصات
دائمی	فصلی	نوع رودخانه
۲۵۰	۲۸۲	تعداد نمونه‌ها
۴۵ - ۱۸۰	۴۵ - ۱۸۰	اندازه میانگین ذرات نمونه‌گیری شده (میلیمتر)
۰/۰۱۴	۰/۰۱۶	شیب میانگین بستر (S)
۵ - ۱۲	۳ - ۵	عرض کانال B (متر)
۱/۴ - ۱۶/۶	۳/۹ - ۱۵/۲	تنش برشی τ_0 بستر (نیوتن بر مترمربع) (معادله ۵.۲)
۱۵/۷ - ۱۴۴۰	۲۱۵/۸ - ۱۹۵۴	قدرت مخصوص جریان Q (کیلوگرم بر توان سوم ثانیه) (معادله ۱-۲)



شکل (۲-۳) رودخانه Nahal Herbon (A) رودخانه Nahal Og (B)

و این نتیجه گرفته شد که زمانیکه قدرت جریان افزایش می‌یابد، درصد ذرات مدفون به ترتیب تا مقدار ۷۰ و ۹۰ درصد ذرات برچسب‌دار در رودخانه‌های نهال هرین و نهال اوجی می‌رسد. هر چند، اگر قدرت جریان نسبتاً پایین باشد، دانه‌های درشت‌تر در سطح باقی می‌مانند.

شایان ذکر است که میانگین اندازه ذرات مصالح سطحی، نظیر لایه زیرسطحی، تقریباً در این دو رودخانه یکسان است (Hassan, 1990). این حقیقت که مصالح سطحی بستر در رودخانه Nahal Herbon به صورت یکنواخت دانه‌بندی شده است، در مقابل ذرات غیر یکنواخت دانه بندی شده رودخانه Nahal Og، این امکان را می دهد که راحت تر دچار آبشستگی گردد و ذرات ضعیف وریزدانه‌ها از دانه‌های درشت‌تر مستقر در نزدیکی کف لایه ورودی تفکیک گردند. این آزمایش ها نشان دهنده ی اثر قدرت جریان روی عمق مدفون ذرات ردیابی شده در رودخانه Nahal Og است. همینطور نتیجه شد که، عمق مدفون تخمین مناسبی برای اعماق آبشستگی و پر شدگی در بستر است.

۲-۳- قدرت جریان و ساختار بستر رودخانه

مشاهدات و اندازه‌گیری‌های عمق آبشستگی در رودخانه‌های فصلی مورد بحث در بخش پیشین نشان دهنده آن است که از قدرت جریان می توان به عنوان پارامتری در تشریح ساختار بستر رودخانه‌ها استفاده نمود. همچنین می‌توان از اطلاعات رودخانه‌های اوک کریک که دارای لایه پوششی و نهال یاتیر که فاقد لایه پوششی هستند برای انجام مقایسه استفاده نمود. زیرا این دو به خوبی معرف حالات قدرت جریان کم و زیاد هستند (Reid & Laronne, 1995). با استفاده از معادله (۱-۲) محدوده قدرت جریان برای Oak Creek بین ۳/۵۴ تا ۹۳/۷۷ کیلوگرم بر توان سوم ثانیه و برای Nahal Yatir بین ۷/۱۵ تا ۱۰۵/۷۵ کیلوگرم بر توان سوم ثانیه تخمین زده می شود. قدرت جریان پارامتر اساسی برای مقایسه دو رودخانه دارای مصالح بستر مشابه است. لذا برای مقایسه شرایط رودخانه‌های دارای مصالح متفاوت، حالت بدون بعد این پارامتر که شامل اندازه و وزن مخصوص ذرات باشد مناسب تر خواهد بود. یک روش برای بیان چنین پارامتر بی‌بعدی به صورت زیر است:

$$\omega^* = \frac{\tau_0 u}{\gamma_s \sqrt{R_s g D_{50s}^3}} = \frac{\omega}{\gamma_s \sqrt{R_s g D_{50s}^3}} \quad (2-2)$$

ω^* قدرت جریان بی‌بعد شده، γ_s وزن مخصوص رسوبات و R_s وزن مخصوص مستغرق رسوبات است. همچنین می‌توان از عبارات ساده‌تری در مخرج کسر برای بی‌بعدسازی استفاده نمود نظیر $(\gamma_s - \gamma)\sqrt{gD_{50s}^3}$ ، اما عبارت موجود در رابطه (۲-۲) در یکسان‌سازی اطلاعات در شکل‌های متفاوت قدرت جریان مناسب‌تر است. محدوده قدرت جریان بی‌بعد برای اوک کریک بین ۰/۰۰۲۱۸۸ تا ۰/۰۵۸ و برای نهال یاتیر بین ۰/۱۵۸ تا ۲/۳۳۶ خواهد بود. این نتایج نشان می‌دهد که سیلاب‌های زودگذر در بعضی از رودخانه‌های فصلی مانند نهال یاتیر باعث ایجاد مقادیر بسیار بزرگتری از قدرت جریان بی‌بعد در مقایسه با اکثر رودخانه‌های دائمی مانند اوک کریک می‌شوند.

بر اساس اطلاعات موجود (هر چند این اطلاعات محدود هستند)، یک مدل مفهومی تشریح‌کننده تغییرات ساختاری بستر رودخانه‌های شنی موقتی و دائمی بر اساس ω^* پیشنهاد می‌شود (شکل ۲-۲). همانطور که مشاهده می‌شود، مقدار زیادی از ذرات درشت‌دانه زمانیکه ω^* بسیار کوچک است (یعنی زمانیکه ورود رسوب از بالادست محدود است). بر روی لایه سطحی جمع می‌شود و در نتیجه خواهیم داشت: $\frac{D_{50s}}{D_{50sub}} > 1$ (از A تا C). زمانیکه ω^* افزایش می‌یابد، دانه‌های درشت‌تر خارج شده و به حرکت در می‌آیند و مصالح سطحی ریزتر می‌شوند. به‌رحال در رودخانه‌های دائمی، انتظار نمی‌رود که D_{50s} از D_{50sub} کوچکتر باشد. در حالت $\frac{D_{50s}}{D_{50sub}} = 1$ مقدار D_{50s} به حداقل مقدار خود می‌رسد (از C تا D). در بعضی از رودخانه‌های فصلی با بستر شنی قبل از وقوع آب‌شستگی قابل ملاحظه، همانطور که در محدوده B تا D برای $\frac{D_{50s}}{D_{50sub}} \geq 1$ دیده می‌شود اندازه ذرات لایه سطحی به لایه زیرسطحی بسیار نزدیک می‌شود (Powell et al., 2001). با افزایش ω^* عمق آب‌شستگی افزایش می‌یابد و دانه‌های درشت‌تر جابجا شده و مجدداً در بستر کانال تجمع می‌یابند. این امر به تفکیک ذرات در لایه زیرسطحی منجر می‌شود و در نتیجه مقدار $\frac{D_{50s}}{D_{50sub}}$ کاهش می‌یابد و به مقدار کمتر از یک می‌رسد (از D تا E). درحین افزایش عمق آب‌شستگی دانه‌های درشت‌تر در اعماق بیشتری در بستر کانال تجمع می‌یابند.

۲-۳- انتقال رسوب بستر

زمانیکه بستر یک رودخانه دارای لایه پوششی باشد، تا زمانیکه این لایه پوششی از بین نرود مصالح لایه زیرین از جابجاشدن بوسیله جریان در امان می‌مانند. در این فرآیند، لایه پوششی بر مقدار و تجمیع ذرات جابجا شده اثر می‌گذارد. در این بخش یک تحلیل از پیچیدگی واکنش و رفتار مصالح پوششی برای تغییر شرایط هیدرولیکی در طول فرایند ارائه می‌شود.

۲-۳-۱- تغییرات اندازه میانگین دانه بندی رسوبات بستر

اثر مصالح لایه پوششی در انتقال رسوب با در نظر گرفتن اندازه میانگین ذرات رسوبات بستر، D_{L50} ، در محدوده وسیعی از تنش شیلدز مورد بررسی قرار می‌گیرد. تنش شیلدز بر اساس قطر میانگین مصالح لایه زیرسطحی، τ_{50}^* ، از معادله معروف زیر بدست می‌آید:

$$\tau_{50}^* = \frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma)D_{50sub}} \quad \text{رابطه (۲-۳)}$$

γ وزن مخصوص آب است و با تقسیم τ_{50}^* بر تنش شیلدز مرجع به شکل زیر نرمالیزه می‌شود:

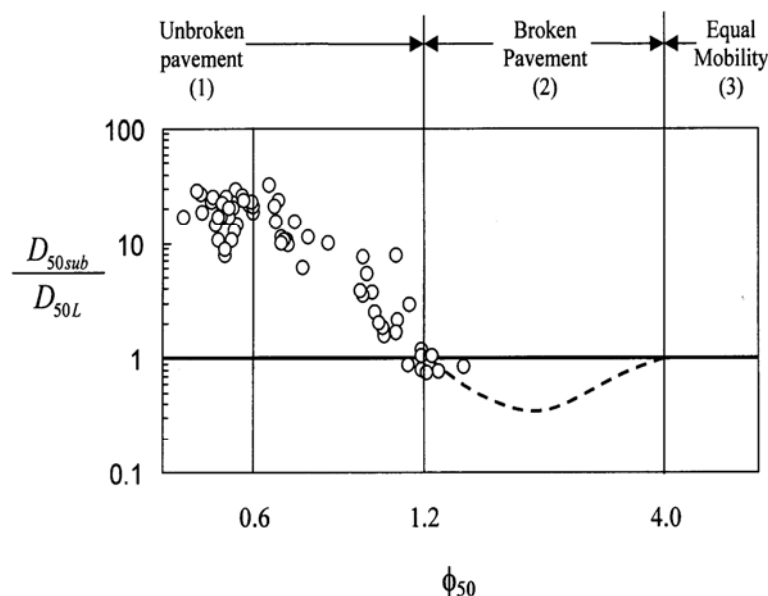
$$\phi_{50} = \frac{\tau_{50}^*}{\tau_{r50}^*} \quad \text{رابطه (۲-۴)}$$

ϕ_{50} تنش شیلدز نرمالیزه شده است و داریم $\tau_{r50}^* = \tau_r / (\gamma_s - \gamma)D_{50sub}$ که در آن τ_r تنش برشی مرجع است و τ_{r50}^* متناظر است با نرخ ویژه انتقال رسوب. کمتر از این مقدار نرخ انتقال رسوبات بستر دارای اهمیت عملی نمی‌باشد (Parker et al., 1982).

از اطلاعات رسوبات بستر رودخانه اوک کریک که توسط میله‌هاوس (millhouse, 1973) جمع آوری شده برای بررسی تغییرات D_{L50} با ϕ_{50} استفاده می‌شود. در مورد این سری از داده ها دیپلاس (Diplas, 1987) پیشنهاد کرد که $\tau_{r50}^* = 0.0873$ در نظر گرفته شود. در شکل (۲-۴) اندازه میانگین ذرات در

مصالح لایه زیرسطحی رودخانه اوک کریک که عددی ثابت است، بر مقدار میانگین ذرات بار بستر تقسیم

می‌شود، $\frac{D_{50sub}}{D_{50L}}$ ، و به عنوان تابعی از تنش شیلدز نرمالیزه شده ترسیم شده است.



شکل (۲-۴) تغییرات D_{50sub} / D_{50L} نسبت به تنش شیلدز نرمال شده، ϕ_{50} . نقاط دایره ای بیانگر ۶۶ عدد اندازه گیری در رودخانه Oak Creek هستند (Milhouse, 1973). خط منقطع بیانگر نمودار پیشنهادی Diplas در سال ۱۹۸۷ برای $1.2 < \phi_{50} < 4.0$ است.

همانطور که ملاحظه می‌شود هنگامیکه تنش شیلدز نرمالیزه شده از 0.6 کمتر است مصالح لایه پوششی در محل باقی می‌ماند و رسوبات انتقال یافته بیشتر ریزدانه هستند. در نتیجه اندازه میانگین ذرات و رسوبات بستر تقریباً ثابت هستند و به مقدار قابل ملاحظه ای کمتر از مقدار اندازه میانگین مصالح لایه زیر سطحی است. در ϕ_{50} تقریباً برابر با 0.6 مصالح پوششی شروع به جدا شدن نموده و D_{50L} به تدریج درشت‌دانه‌تر می‌شود تا سرانجام به مقدار D_{50sub} در ϕ_{50} برابر با $1/2$ برسد. در این حالت شرایط قابلیت حرکت برابر برای هر دو لایه ی سطحی و زیر سطحی با توجه به مصالح لایه زیرسطحی بدست می‌آید. بدلیل فقدان اطلاعات میدانی، دانستن چگونگی رفتار D_{50L} برای مقادیر بالای ϕ_{50} مشکل است. بر اساس

مدل فرضی دیپلاس^{۱۰} در سال ۱۹۸۷ اگر تنش شیلدز نرمالیزه شده از ۱/۲ بیشتر شود آنگاه D_{50L} از D_{50sub} بزرگتر خواهد شد. در D_{50L} به بیشترین مقدار خود خواهد رسید و سپس به تدریج کاهش می یابد تا به مقدار لایه زیرسطحی برای $\phi_{50} \geq 4$ برسد. در اینجا انتظار می رود که لایه پوششی سطحی بکلی شسته شده و D_{50L} دوباره برابر با مقدار D_{50sub} و D_{50s} گردد، به عبارت دیگر همان شرایط قابلیت حرکت برابر با توجه به هر دو مصالح موجود در لایه سطحی و لایه زیرسطحی برقرار است. همچنین این امر اشاره دارد قبل از اینکه ϕ_{50} بسیار زیاد شود لایه پوششی محافظ از بین خواهد رفت.

در بعضی از رودخانه‌های شنی فصلی، مقادیر تنش شیلدز در هنگام سیلاب به شدت افزایش می یابد و این نشان دهنده حد بالایی از قابلیت حرکت است ($\phi_{50} = 4$). بر اساس مدل پیشنهادی شکل (۲.۲)، در لایه زیرسطحی دانه‌های درشت‌تر در اعماق بیشتر تجمع می یابند و دانه‌های ریزتر در لایه سطحی نمایان خواهند شد. همچنین مصالح ریزدانه‌تر لایه سطحی با راندمان بیشتری به پایین دست انتقال می یابند و D_{50L} برابر با D_{50s} خواهد بود. در رودخانه نهال یاتیر ریید و همکارانش (*Reid et. al., 1995*) متوجه شدند که توزیع ذرات رسوبات بستر در خلال عبور ۴ سیلاب مؤثر تغییر چندانی نداشت و D_{50L} دقیقاً برابر با مقدار آن در مصالح لایه سطحی بود.

۲-۳-۲- معادله عمومی انتقال رسوبات بستر

مقایسه‌ای بین داده‌های دو رودخانه اوک کریک و نهال یاتیر، اثرات وجود لایه محافظ پوششی را در نرخ انتقال رسوبات بستر بیشتر آشکار می سازد. میزان تنش برشی بستر را می توان با توجه به رابطه زیر بدست آورد.

$$\tau_0 = \gamma RS \quad (۲-۵)$$

¹⁰ *Diplas*

در اینجا R شعاع هیدرولیکی است. با توجه به اطلاعات به دست آمده از این دو رودخانه ملاحظه می شود که در محدوده مشابهی از تنشهای برشی، رودخانه نهال یاتیر دارای مقدار انتقال رسوب بالاتری نسبت به رودخانه اوک کریک است. اگرچه، در رودخانه اوک کریک، نرخ تغییرات انتقال بار بستر با افزایش تنش برشی بسیار بیشتر از مقدار آن در رودخانه نهال یاتیر است. پس این دو رودخانه رفتار کاملاً متفاوتی دارند که با نظر محققین زیادی تطابق دارد (Reid & Laronne, 1995; Powell et al., 2001). به هرحال با دانستن شکل ساختار رسوبات بستر به نظر می رسد که انجام مقایسه بر اساس پارامترهای بی بعد مقدار بار بستر و تنش برشی باعث می شود تا نتایج بهتری حاصل گردد.

۲-۳-۳- راندمان انتقال رسوبات بستر

با دانستن مقدار انتقال رسوبات بستر و مقادیر قدرت جریان، مقدار راندمان انتقال بار بستر، e_b ، در هر دو رودخانه اوک کریک و نهال یاتیر قابل اندازه گیری است. این امر فرصتی فراهم می سازد تا بتوان داده ها و اطلاعات بار بستر را با استفاده از پارامتر بی بعد قدرت جریان، ω^* ، بررسی نمود (رابطه ۲.۲). راندمان انتقال با استفاده از معادله بگنولد (Bagnold, 1973) به شکل زیر محاسبه می شود:

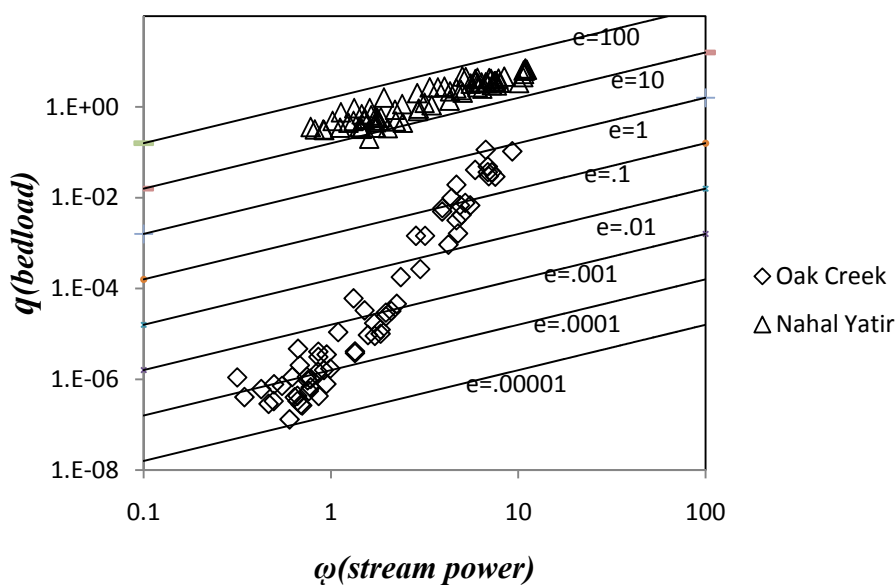
$$e_b = \frac{100q_B}{\left(\frac{\omega}{\tan \alpha}\right)} \quad (۲-۶)$$

در این معادله q_B و ω عبارات جرم واحد عرض و جرم واحد زمان هستند و α زاویه اصطکاک داخلی است. علی رغم این که لی و کومار (Komar and Li, 1986) به صورت تجربی نشان دادند که شکل ذرات در تعیین محور زاویه اصطکاک داخلی مهم می باشد و بوفینگتن و همکارانش (Buffington et al., 1992) نشان داد که میزان α در بسترهای طبیعی جریان بایستی به عنوان یک تابع احتمال در نظر گرفته شوند، $\tan \alpha$ مقدار ثابت ۰/۶۳ فرض میشود (Bagnold, 1973).

این معادله را می‌توان با استفاده از پارامترهای بی بعد q_B^* و ω^* به شکل زیر بازنویسی نمود
(Dietrich et.al., 1989).

$$e_b = \frac{100 \frac{q_B}{\sqrt{R_s g D_{50s}^3}}}{(\omega / \tan \alpha)} = \frac{100 q_B^*}{(\omega^* / \tan \alpha)} \quad (7-2)$$

شکل (۵-۲) نشان دهنده اطلاعات بار بستر هر دو رودخانه در غالب عبارات ω و q_B است، این نمودار مشابه با روشی است که بوسیله ریید و لارون (Reid and Laronne, 1995) ارائه شده است. به طور آشکار، این نمودار محدوده های مقادیر راندمان و کارایی رودخانه‌های نهال یاتیرو اوک کریک را نشان می‌دهند و می‌توان ملاحظه کرد که نهال یاتیر دارای راندمان بیشتری در حمل رسوبات نسبت به رودخانه اوک کریک است (جدول ۱-۲). به هر حال، شکل (۵-۲) نشان دهنده آن است که هر دو رودخانه دارای رفتار کاملاً متفاوتی هستند.



شکل (۵.۲) - بار بستر منتقل شده بر حسب قدرت جریان

رید و همکارانش (Reid et.al., 1995) با توجه به روابط ذکر شده چندین رودخانه را مورد بررسی قرار دادند. آنها آزمایشات فراوانی روی رودخانه نهال یاتیر انجام دادند و با چندین رودخانه ی دیگر مقایسه های ارزشمندی را انجام دادند. در این بخش به مقایسه های انجام شده توسط محققین مختلف بین رودخانه نهال یاتیر و برخی رودخانه های فصلی و دایمی می پردازیم.

ورود سیلاب به داخل رود موقتی مانند نهال یاتیر در اولین دقایق که باعث پر شدن نمونه بردار از آب می شود بدین معناست که درباره شروع انتقال رسوب این گونه جریان ها نسبت به جریان دائمی اطمینان کمتری می باشد. در حالتی که دو سیلاب همزمان در نهال یاتیر در حال اتفاق باشد، هر دو با هم به نمونه بردار رسیده و نمونه بردار بار بستر منتقل شده را کم نشان می دهند (به دلیل پر شدن ظرفیت آن). در این موارد، در هنگام برداشت نمونه ها زمانیکه که عمق آب به $0/13$ متر در شاخه اصلی برسد، در شاخه های فرعی عمق آب به میزان $0/12$ متر خواهد رسید. آزمایشات نشان داده است که در این حالت ترتیب مقدار تنش های برشی متوسط بستر شاخه ها به میزان $10 \frac{N}{m^2}$ و $13 \frac{N}{m^2}$ خواهند رسید. این داده ها رابطه عکس با عمق آب که دلیل اختلاف در شیب سطح آب می باشد را نشان می - دهند (Reid and

Larrone, 1995)

تحقیقات انجام شده نشان می دهند، صعود اولیه هیدروگراف بر تنش های برشی $15 \frac{N}{m^2}$ و $11 \frac{N}{m^2}$ منطبق است. سیلاب های مذکور در تنش های برشی $23 \frac{N}{m^2}$ و $8 \frac{N}{m^2}$ باعث حرکت اولیه رسوبات می شود. بالاترین آستانه در شش سیلاب ($23 \frac{N}{m^2}$) مربوط است به هیدروگرافی که صعود بسیار کوتاهی از لحاظ زمانی دارد. دبی در فاصله ۷ دقیقه از عبور جریان به ماکزیمم مقدار خود می رسد. از آن جایی که شرایط هیدرولیکی در این رویداد به سرعت تغییر می کنند و نرخ شدت بار بستر با دوره زمانی ۱ دقیقه ای محاسبه شده، ممکن است که مقدار تنش برشی بحرانی کمی زیاده از حد واقعی آن بدست آمده باشد.

رودخانه تورکی بروک^{۱۱} که رودخانه ای دائمی است دارای بستری محکم تر با آستانه حرکت رسوبات بالاتر می باشد (Reid and Larrone, 1995) که گمان می رود تحکیم فصل تابستان در این موضوع نقش داشته باشد (Reid و Hassan ۱۹۹۲). باید توجه داشت در رود نهال یاتیر، هر مقاومت اضافه ای ممکن است ناشی از سیمانی شدن در اثر خشکی شدید در تابستان پیشین باشد.

سیمون ریید و همکارانش (Simone C. Reid et al, 2007) آزمایشاتی را در دره یورک شایر^{۱۲} انجام دادند. آنها به این نتیجه رسیدند که در این رودخانه انتقال رسوب به شرایط اصلی ریخت شناسی و ژئومورفولوژی بستر رودخانه بستگی دارد. همچنین شاخه های درجه پایین تر این رودخانه به میزان رسوب تغذیه شده از رودخانه اصلی وابسته بوده و نرخ انتقال رسوب آن را تحت تاثیر قرار می دهد.

نرخ شدت بار بستر در رودخانه نهال یاتیر در آغاز انتقال رسوب در مقایسه با رودخانه های دائمی بالاتر می باشد. مقدار متوسط، برای نمونه برداری که تقریباً اولین واکنش در آن دیده می شود $0.4 \frac{kg}{s \cdot m}$ می باشد و مقدار متوسط رسوب منتقل شده زمانی که سه نمونه گیر با هم در عرض آبراهه کار می کنند $0.95 \frac{kg}{s \cdot m}$ گزارش شده است. رودخانه تورکی بروک دارای ابعاد آبراهه مشابه با نهال یاتیر بوده، ولی

رسوب بستر سطحی آن درشت دانه تر ($D_{50} = 0.02 mm$) می باشد. تنش برشی متوسط در لحظه شروع انتقال رسوب در این رودخانه اندکی بالاتر از نهال یاتیر ($22 \frac{N}{m^2}$) است. میزان رسوب منتقل شده در آن

لحظه به مقدار $0.03 \frac{kg}{s \cdot m}$ رسیده که پایین تر از نهال یاتیر می باشد. رود فصلی گودوون کریک^{۱۳}

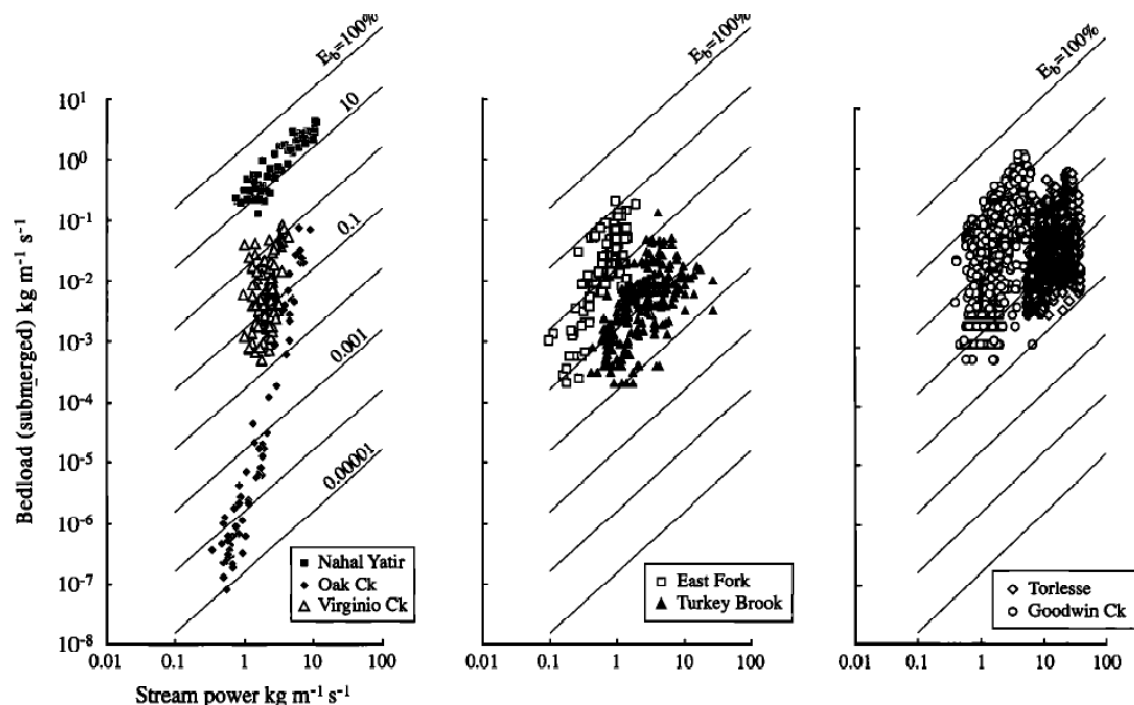
مجدداً با ابعاد آبراهه مشابه ولی با مصالح بستر کمی درشت دانه تر از نهال یاتیر ($D_{50} = 0.009 mm$) می باشد که نرخ انتقال رسوب اولیه متوسطی معادل $0.04 \frac{N}{m^2}$ ایجاد کرده است (شکل ۲-۶). در رودخانه نهال

¹¹ Turkey Brook

¹² Yorkshire

¹³ Goodwin Creek

یاتی‌ر بیشینه نرخ انتقال رسوب که در آبراهه اندازه گیری شده $\frac{kg}{s\ m}$ ۶/۵ را نشان می‌دهد. این نرخ از تمامی نرخ‌های ثبت شده طی برنامه‌های نمونه برداری، به استثنای نرخ‌های به دست آمده از رود نوریس فورک^{۱۴} که از میان بستر خاکستر قابل فرسایش و جدید ناشی از فوران سال ۱۹۸۰ آتشفشان سنت هلن^{۱۵} عبور می‌کند، بالاتر می‌باشد. رودخانه لینگز دالسلوا^{۱۶} نیز نرخ شدت بار بستر بالایی به صورتی که رسوبات محدود به منابع نبوده، تولید می‌کنند (Reid and Larrone, 1995).



شکل (۶-۲) - بار بستر منتقل شده بر حسب قدرت جریان (معادله ۲) در رودخانه‌های مختلف. در این نمودار خطوط مایل راندمان انتقال رسوب (رابطه ۶-۲) را نشان می‌دهند (Reid and Larrone 1995).

به هر حال، با وجود فراهم بودن و متحرک بودن مصالح بستر، مقدار بیشینه ثبت شده $(\frac{kg}{s\ m})$ تنها یک سوم مقادیر مشابه نهال یاتی‌ر در تنش برشی تقریباً برابر می‌باشد.

¹⁴ North Fork Toutle

¹⁵ Mt St Helens

¹⁶ Lyngsdalselva

بار بستر بر حسب قدرت جریان در رودخانه نهال یاتیر به خوبی قابل برآورد می باشد. در واقع روند تعمیم دادن واضح بوده و پراکندگی به طور قابل ملاحظه ای کم می باشد اما مقدار کمی انحراف در نمودار رسم شده نمایان است، خصوصیتی که در برخی مجموعه داده های بستر دیگر نیز دیده می شود.

ویژگی هیدرولیک سیلاب های ناگهانی و فقدان تسلیحات در آبراهه هایی همانند نهال یاتیر، مقایسه ای با آبراهه هایی که رژیم جریان فصلی و یا دائمی دارند را طلب می کند. برای اجتناب از اختلاف در کارایی نمونه بردار ها، تنها آن هایی را که با استفاده از نمونه بردار شیاری بستر^{۱۷} جمع آوری شده اند، انتخاب شده است (Reid and Laronne, 1995). مجموعه داده های رود گودوون کریک (Kuhnle, 1992) و رود تورکی بروک مشابه رود نهال یاتیر توسط دستگاه های توزین اتوماتیک^{۱۸} مدل بریک بک^{۱۹} به دست آمده اند. داده های رودخانه های اوک کریک، تورلس^{۲۰} و ویرجینو کریک^{۲۱} با استفاده از نمونه های دایره ای به دست آمده اند (Reid and Larrone, 1995). در حالی که داده های ایست فورک^{۲۲} با نمونه بردار تسمه نقاله ای^{۲۳}، که تعدادی شیار داشته که می توانند طی فرآیند باز یا بسته باشند، به دست آمده اند. علاوه بر روش های ذکر شده روش های دیگری مانند روش PBIS (استفاده از سنسور های الکترونیکی (Richenmam et al, 2007) و برچسب های مغناطیسی (Hassan, 1990) نیز وجود دارند که همگی رابطه انتقال رسوب را با پارامتر های اصلی بیان شده را تصدیق می نمایند.

رژیم های سیلاب سالانه رودها نیز متغیر می باشند: نهال یاتیر یک رود موقتی است، ایست فورک (دارای بستر ماسه ای)، اوک کریک، تورلس و تورکی بروک دائمی هستند، ویرجینو کریک نیز، اگر چه در سال های خشک، فقدان جریان پایه ممکن است آبراهه را در تابستان بدون آب کند، یک رود دائمی محسوب

¹⁷ Bed slot

¹⁸ Automatic Weighting

¹⁹ Birkbeck

²⁰ Torlesse

²¹ Virgino Creek

²² East Fork

²³ Conveyor Belt Sampler

می شود. رودخانه گودووین کریک فصلی است. به علاوه برخی از رودخانه ها (نهال یاتیر، گودووین کریک ، تورلس، تورکی بروک و اوک کریک) عرض مشابهی دارند (جدول ۲-۳) (Reid and Larrone, 1995).

جدول (۲-۳) - مشخصات رودخانه های مقایسه شده توسط Reid و Larrone در سال ۱۹۹۵

مشخصات	اوک کریک	ویرجینو کریک	تورکی بروک	تورلس	ایست فورک	گودووین کریک	نهال یاتیر
رژیم روان آب سالانه	دایمی	دایمی	دایمی	دایمی	دایمی	فصلی	فصلی
شیب طولی (mm^{-1})	۰/۰۱۴	۰/۰۰۸	۰/۰۰۹	۰/۰۶۷	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۸	۰/۰۰۸۸
عرض کانال (متر)	۳/۷	۱۲	۲/۹	۳	۱۴/۶	۳/۴	۳/۵
میانگین قطر ذرات سطحی (میلیمتر)	۶۰	۲۸	۲۲	۱۵	۱/۴	۸/۵	۶
میانگین قطر ذرات زیر سطحی (میلیمتر)	۲۰	۱۳	۱۶	-	-	۵/۹	۱۰
نسبت قطر میانگین ذرات سطحی به قطر میانگین ذرات زیر سطحی	۳	۲/۱	۱/۴	-	-	۱/۴	۰/۶
متوسط راندمان انتقال رسوب	۰/۰۵	۰/۳۴	۰/۱۵	۰/۳۵	۲/۴۲	۲/۱۰	۱۷/۲۵

همچنین در شیب طولی رود های نهال یاتیر ، تورکی بروک، گودووین کریک، اوک کریک و ویرجینو کریک مشابهتی وجود دارد. اطلاعات دست آمده در مورد رسوب بستر همیشه جامع نمی باشد، اما محدوده

و اندازه میانه ذرات و درجه مسلح بودن سطح را آشکار می سازد. این مشخصات هستند که توضیحی برای تفاوت ها در انتقال رسوب را ارائه می دهند.

نرخ واحد شدت بار بستر برای رودخانه ای با بستر ماسه ای و شش رودخانه با بستر شنی که توسط ریید و لارون (*Reid and Laronne, 1995*) به دست آمد، برحسب قدرت جریان در شکل (۲-۶) ارائه شده است. یکی از عواملی که در زمان ارزیابی کارایی جریان ها بایستی به آن توجه شود، این است که داده های انتقال با چه فواصل زمانی به دست می آیند مثلاً در مورد رود های اوک کریک و تورلس فاصله زمانی نمونه برداری در محدوده ای از ۱ دقیقه تا ۹۴ ساعت متغیر است. اما متأسفانه هیچ روشی جهت استاندارد کردن فاصله زمانی نمونه برداری وجود ندارد. نمودارهای به دست آمده توسط ریید و همکارانش با صرفه نظر کردن از فواصل زمانی و یکنواخت در نظر گرفتن جریان در هنگام برداشت اطلاعات از رودخانه های مذکور بدست آمده اند.

رودخانه اوک کریک با همبستگی ۰/۹۷ رابطه بین نرخ شدت بار بستر واحد در حالت لگاریتمی و قدرت جریان را نشان می دهد. بخشی از علت همبستگی نزدیک به کامل، ناشی از محدوده وسیع نرخ شدت بار بستر می باشد.

نهال یاتیر با همبستگی ۰/۹۳ این رابطه را نشان می دهد. در هر حال، بدون شک مساله قابل اهمیت در این مورد منبع نامحدود مصالح قابل انتقال در بستر غیر مسلح رودخانه و جایگزینی این مصالح با مقادیر زیادی از رسوب که به وسیله سیلاب ها به سیستم می رسند، می باشد.

بستر ماسه ای ایست فولک $r=0/81$ را ایجاد می کند، (r' ضریب همبستگی می باشد) (*Reid and Larrone, 1995*). جریان های موجود بیشتر توسط ذوب برف ایجاد شده اند تا سیلاب های کوتاه مدت ناشی از طوفانها (*Emmett and Leopold, 1976*). به علاوه، حرکات موج های بزرگ ماسه ای نرخ های شدت بار بستر را تحت تاثیر قرار می دهند (*Andrews, 1979*).

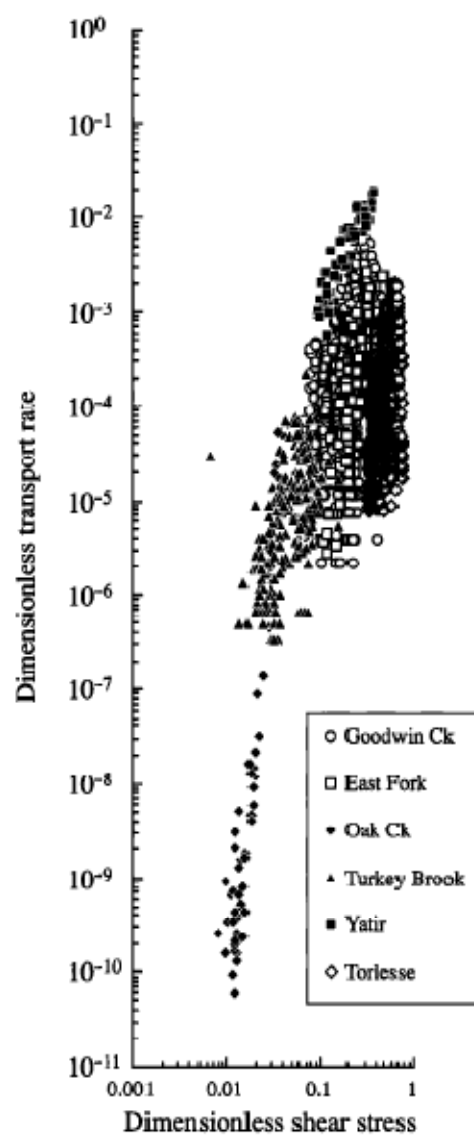
در سایر رودخانه ها ضرایب همبستگی کمتری را مشاهده می کنیم (تورکی بروک $r=0/61$) ، ورجینو کریک $r=0/41$ و تورلس $r=0/43$ (Reid and Laronne, 1995). هایوارد (Hayward, 1979) به ذخیره و آزاد کردن رسوب در حوضچه های پلکانی آبراهه بالای تورلس و طبیعت همراه با شیب های تند جانبی دره اشاره کرد.

با در نظر گرفتن هفت رود اشاره شده، به نظر می رسد که نهال یاتیر و اوک کریک رفتار عادی تری را نسبت به بقیه از خود نشان می دهند. شیه و کومار (Komar and Shih, 1990) توزیع دانه بندی بار بستر با تغییرات شدت جریان نشان دادند. این مطلب آزاد سازی مقدار زیادی از مصالح که فرض شده است توسط لایه مسلح کنترل می شود را توجیه می کند. در مورد نهال یاتیر غیر مسلح، هیچ تنظیم کننده از نوع مشابه وجود ندارد.

با توجه به اطلاعات موجود اشورس و فرگوسن (Ferguson and Ashworth, 1986)، وابستگی میزان انتقال رسوب رودخانه مسلح و با بستر شنی لینگزدالسلوا را در محدوده بزرگی از قدرت جریان به تراز آب نشان دادند.

برای رود های تورلس و ورجینو کریک محدوده وسیعی از کارایی دیده میشود. حالت مشابهی برای رود تورکی بروک و گودووین کریک اتفاق می افتد (Reid and Larrone, 1995). در واقع از هفت رودی که در این جا با یکدیگر مقایسه شده اند، تنها اوک کریک وابستگی واضحی به تراز را در راندمان انتقال اش نشان می دهد.

در شکل (۷-۲) می توان تنش برشی بی بعد بر حسب بار بستر منتقل شده بی بعد را برای این ۶ رودخانه در یک نمودار مشاهده کنیم. این نمودار توسط ریید و همکارانش (Reid et. el., 1995) به دست آمده. این نمودار نشان می دهد که رودخانه های اوک کریک و نهال یاتیر علاوه بر خواص منحصر به فردی که در این فصل ذکر شد به ترتیب ابتدا و انتهای نمودار انتقال رسوب واقع شده اند.



شکل (۷-۲) - نمودار تنش برشی بی بعد ($\tau^* = \frac{\tau}{g(\rho_s - \rho)D_{50}^3}$) بر حسب بار بستر بی بعد منتقل

شده ($q^* = \frac{q}{\rho_s [gD_{50}^3(\rho_s - \rho) / \rho]^{0.5}}$) مربوط به شش رودخانه

۴-۲- نتیجه گیری

از اطلاعات موجود در رودخانه‌های با بستر شنی دائمی و فصلی جهت بارزترکردن اختلافات بین آن دو

و ارائه پیشنهاد و توضیحاتی بر اساس خواص مکانیکی رودخانه‌ها استفاده شد. این تحقیق به بحث درباره دو اختلاف اساسی پرداخته است، یکی ساختار بستر رودخانه و دیگری مقدار انتقال رسوبات بستر. ساختار بستر در رودخانه‌های با بستر شنی دائمی دارای یک لایه پوششی بر روی یک لایه ریزدانه‌تر است در حالیکه در بعضی از رودخانه‌های فصلی با بستر شنی پدیده‌ای معکوس اتفاق می‌افتد که در آن مصالح درشت‌دانه‌تر زیر رسوبات ریزدانه مدفون می‌شوند. این شکل از توزیع ذرات در رودخانه‌های فصلی ممکن است ناشی از مقادیر قابل ملاحظه آب شستگی و رسوب گذاری گزارش شده در این مناطق باشد. همچنین یک عبارت بی‌بعد برای معرفی قدرت جریات، ω^* ، آورده شده است تا در لحاظ این تفاوتها مورد استفاده قرار گیرد.

با مقایسه نرخ‌های انتقال رسوبات بستر رودخانه‌های نهال یاتیر و اوک کریک ملاحظه شد که این دو نوع رودخانه نشان دهنده راندمان انتقال رسوب بستر متفاوتی هستند که به شکل و ساختار بستر رودخانه نسبت داده می‌شود. علی‌رغم این، عنوان شده که این دو دسته از اطلاعات و داده‌ها ممکن است بخش‌هایی از یک منحنی کلی مشابه نرخ انتقال بار بستر نسبت به افزایش تنش برشی بستر باشد. ملاحظات دیگری باید به اختلافات مقادیر D_{50s}/D_{50sub} در محدوده وسیعی از تنش‌های شیلدز بپردازد.

با توجه به مطالب گفته شده در فصل بعدی رابطه‌ای جدید با استناد بر اطلاعات دو رودخانه فصلی و دایمی نهال یاتیر و اوک کریک ارائه شده است. دلایل انتخاب این دو رودخانه به طور کامل ذکر شد که می‌توان آنها را در موارد زیر خلاصه کرد.

۱- در این دو رودخانه فواصل زمانی برداشت اطلاعات ۱ تا ۱۵ دقیقه می‌باشد.

۲- رودخانه اوک کریک رودخانه‌ای دایمی و رودخانه نهال یاتیر رودخانه‌ای فصلی می‌باشد که روی

هم رفته بیشتر گستره‌ی دبی‌ها را در طبیعت در بر می‌گیرد.

۳-در هر دو رودخانه می توان از الگو های ساده جهت برآورد میزان انتقال رسوب استفاده کرد.

۴-رودخانه های که از آنها اطلاعات برداشت شده اند میزان انتقال رسوبشان بین این دو رودخانه واقع هستند.

۵- اطلاعات به دست آمده از این رودخانه ها در بسیاری از مقالات استفاده شده و پایه ی بسیاری از تحقیقات علمی می باشند بنابراین این داده ها تایید شده بوده و با اطمینان از آنها می توان استفاده نمود.

فصل سوم

ارایه رابطه ی جدید برای برآورد میزان انتقال

رسوب در رودخانه های با بسترشنی

۳-۱- مقدمه

از اواخر دهه ی هشتاد و اوایل دهه ی نود میلادی انتقال رسوب به رودخانه های با بستر شنی مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است، پدیده ای که بر روی دینامیک، مورفولوژی و اکولوژی رودخانه ها تاثیر به سزایی دارد و به طبع شناخت آن می تواند کمک بزرگی به استفاده بهینه ونیز حفظ آنها نماید(Dietrich et al,1989). در طبیعت با توجه به مدت زمان جریان آب در رودخانه ها، آنها را به دو دسته دایمی و فصلی طبقه بندی می کنند. در رودخانه های فصلی مدت زمان کمی از سال آب در آن جریان دارد و بیشتر در مناطق گرم و خشک دیده می شوند اما رودخانه های دایمی آب تقریبا در تمام مدت سال در آن جریان دارد و در بیشتر سال دبی جریان پایین و در حد دبی پایه رودخانه می باشد. (Reid and Laronne,1995). در نوعی دیگر از طبقه بندی می توان با توجه به اندازه مصالح بستر رودخانه ها را به دو دسته عمده شنی و ماسه ای تقسیم کرد. در مقایسه با رودخانه های ماسه ای، در رودخانه های شنی باچالش های بیشتری روبرو هستیم. شکل رسوبات و آرایش آنها در بستر رودخانه های شنی پیچیده بوده و پیوسته در حال تغییر است. همچنین، اندر کنش پیچیده ی آب و مصالح بستر نیز وجود دارد (Reid,1996). اما در رودخانه های ماسه ای رسوبات یکنواخت هستند و پیچیدگی های رودخانه های شنی را ندارند. این چالش ها در رودخانه های شنی به حدی است که باعث شده است تا بسیاری از محققین پارامتر های مهمی از قبیل اندازه ذرات را در محاسباتشان در نظر نگیرند(Ponce,1982).

۳-۲- روش های استخراج روابط انتقال رسوب

تاکنون دانشمندان برای پیش بینی رفتار رسوبات بستر رودخانه های شنی از دو روش عمده استفاده کرده اند.

۳-۲-۱- روش اول استفاده از آنالیز ابعادی:

مهمترین تحلیل ابعادی در سال ۱۹۸۷ توسط دیپلاس ارائه شد. دیپلاس روابط و فرضیات خود را به شکل زیر ارائه کرد:

مصالح بستر به N زیر گروه تقسیم می شود. در این تقسیم بندی q_{Bi} نرخ انتقال رسوب بار بستر از گروه i ام در شاخه اصلی رودخانه با بستر شنی مورد مطالعه است.

فرض می شود مواد با اشکال یکسان و توزیع ابعادی برابر هستند. به نظر می رسد که رسوب منتقل شده با پارامترهای زیر رابطه دارد:

$$q_{Bi} = f(\rho, \mu, D_g, \sigma_g, \rho_s, D_i, \tau_0, d, g, f_i) \quad (1-3)$$

در این رابطه ρ وزن مخصوص آب، μ لزجت آب، D_g میانگین هندسی ذرات، σ_g انحراف معیار استاندارد مصالح بستر، وزن مخصوص مصالح بستر، D_i میانگین اندازه ذرات دسته i ام ذرات، τ_0 تنش برشی مرزی، d عمق جریان، g شتاب جاذبه و f_i فراوانی مصالح دسته i ام ذرات می باشند.

در یک توزیع نیمه لگاریتمی f_i را می توان به صورت تابعی از D_g, σ_g بیان کرد. سپس با انتخاب گروه های مناسب بی بعد معادله (۳-۱) به صورت معادله زیر در می آید:

$$W_i^* = \frac{Rq_{Bi}}{f_i \sqrt{g(d\ s)^{1.5}}} = f(\tau_i^*, R_p, \frac{D_i}{D_g}, \frac{d}{D_g}, R, \sigma_g) \quad (2-3)$$

در این معادله R_p رینولدز ذره، u_* سرعت برشی، τ_i^* تنش شیلدز بدون بعد برای محدوده ذرات i ، D_i میانگین اندازه ذرات دسته i ام ذرات، D_g میانگین هندسی ذرات، d عمق جریان، R وزن مخصوص مستغرق ذرات و σ_g انحراف معیار استاندارد مصالح بستر می باشند. در رابطه (۳-۲) رینولدز ذره و سرعت برشی به ترتیب به شکل معادلات (۳-۳) و (۴-۳) تعریف می شوند.

$$R_p = \frac{\rho u_* D_g}{\mu} \quad (۳-۳)$$

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} \quad (۴-۳)$$

در اینجا f_i نمایانگر پارامتری وابسته برای مرتبط کردن مصالح بستر در دسته i ام به فراوانی آن در لایه زیر سطحی استفاده می شود. همچنین مصالح سطحی بستر به عنوان پایه ای برای مقایسه استفاده می شود. به هر حال برای رودخانه های شنی دارای لایه محافظ انتخاب مصالح زیر سطحی به نظر مناسب تر است زیرا توزیع ابعادی آن از شرایط جریان مستقل است. در حالیکه پارامترهای مصالح سطحی به شرایط جریان وابسته هستند. برای مقادیر بالای رینولدز ذره ($R_p > 1000$)، پارامتر R_p و عمق بی بعد جریان (d / D_g) ارزش خود را در مقایسه با سایر پارامترها از دست داده و به معادله (۵-۳) می رسیم.

$$w_i^* = f\left(\tau_i^*, \frac{D_i}{D_g}, \sigma_g\right) \quad (۵-۳)$$

در این رابطه w_i^* مقدار بار بستر بدون بعد برای محدوده i ام ذرات، τ_i^* تنش شیلدز بدون بعد برای محدوده ذرات i ، D_i میانگین قطر محدود i ام ذرات، D_g میانگین هندسی ذرات زیر سطحی و σ_g انحراف معیار ذرات زیر سطحی می باشند (Diplas, 1987).

اطلاعات رودخانه اوک کریک که به وسیله پارکر و همکارانش (Parker et. al. 1982) استفاده شد برای بدست آوردن رابطه ای به فرم رابطه (۳.۶) مورد استفاده قرار گرفت.

$$w_i^* = \alpha_i \tau_i^{*m_i} \quad (۳-۶)$$

این تحلیل وابستگی بار بستر بی بعد را به بعد دانه ها نشان می دهد. این موضوع به صورت افزایش همسوی مقادیر پارامتر m_i و اندازه ذرات نمایانگر می شود. دیپلاس با استفاده از اندازه ذرات سطحی و داده های رودخانه اوک کریک، بانجام یک رگرسیون لگاریتمی m_i را به شکل رابطه (۷.۳) نشان داد.

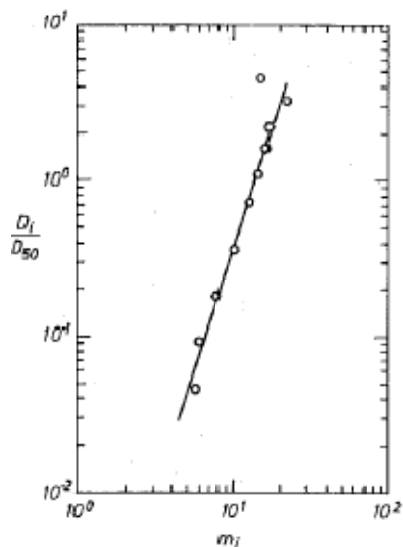
$$m_i = 13.71 \left(\frac{D_i}{D_{50}} \right)^{.3214} \quad (۳-۷)$$

و با استفاده از پارامتری جدید به نام m' تغییرات رابطه پارکر را از ۲۹۰٪ به ۱۶٪ رساند. جدول (۱.۳) افزایش همسوی مقادیر m_i و اندازه ذرات به همراه پارامتر پیشنهادی دیپلاس را نشان میدهد. در واقع m'_i پارامتری است که دیپلاس برای اصلاح رابطه معروف پارکر ارایه کرد و r_i میزان ضرایب همبستگی برای هر رابطه است که مقادیر آنها در جدول (۳-۱) آمده است.

جدول (۳-۱) - پارامتر های ارایه شده توسط پارکر و پارامتر های اصلاحی دیپلاس

D_i (mm) (1)	m_i (2)	m'_i (3)	α_i (4)	r (5)
88.9	15.49	9.59	0.214×10^{24}	0.800
63.5	21.45	14.8	0.121×10^{31}	0.929
44.4	16.81	13.01	0.474×10^{21}	0.905
31.8	15.87	13.67	0.150×10^{18}	0.885
22.2	14.18	13.71	0.158×10^{14}	0.853
14.3	12.28	13.68	0.535×10^9	0.816
7.14	9.85	13.72	0.428×10^4	0.807
3.57	7.49	13.03	0.100×10^1	0.802
1.79	5.95	12.93	0.691×10^{-2}	0.819
0.892	5.51	14.97	0.166×10^{-3}	0.846

در شکل (۱-۳) نمودار m_i بر حسب D_i / D_{50} آمده است که با توجه به اطلاعات رودخانه اوک کریک به دست آورده شده است. از این نمودار رابطه (۷-۳) با همبستگی ۰/۹۹۴ به دست آمده است.



شکل (۱-۳)-نمودار رابطه m_i با D_i / D_{50}

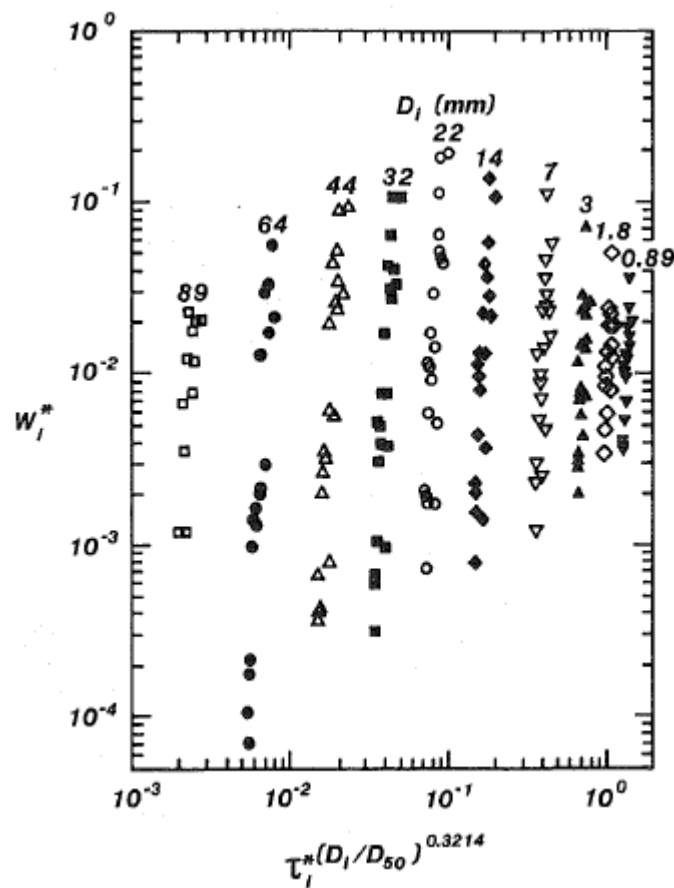
در کل، نتایج به دست آمده از رودخانه اوک کریک نشان داد که پارامتر $\frac{D_i}{D_{50}}$ اطلاعات کافی راجع به

رسوبات بستر را در اختیار قرار می دهد و پارامتری پر اهمیت تر از σ_g خواهد بود.

در نهایت دیپلاس رابطه خود را با استفاده از فرم کلی رابطه (۳-۶) به شکل رابطه (۳-۸) ارائه نمود:

$$w_i^* = \alpha_i [\tau_i^* (D_i/D_{50})^{0.3214}]^{m_i'} \quad (۳-۸)$$

نمودار مربوط به این رابطه را در شکل (۳-۲) می بینیم.



شکل (۳-۲) - نمودار w_i^* بر حسب $\tau_i^* (\frac{D_i}{D_{50}})^{0.3214}$ که دیپلاس ارائه نمود (Diplas, 1987).

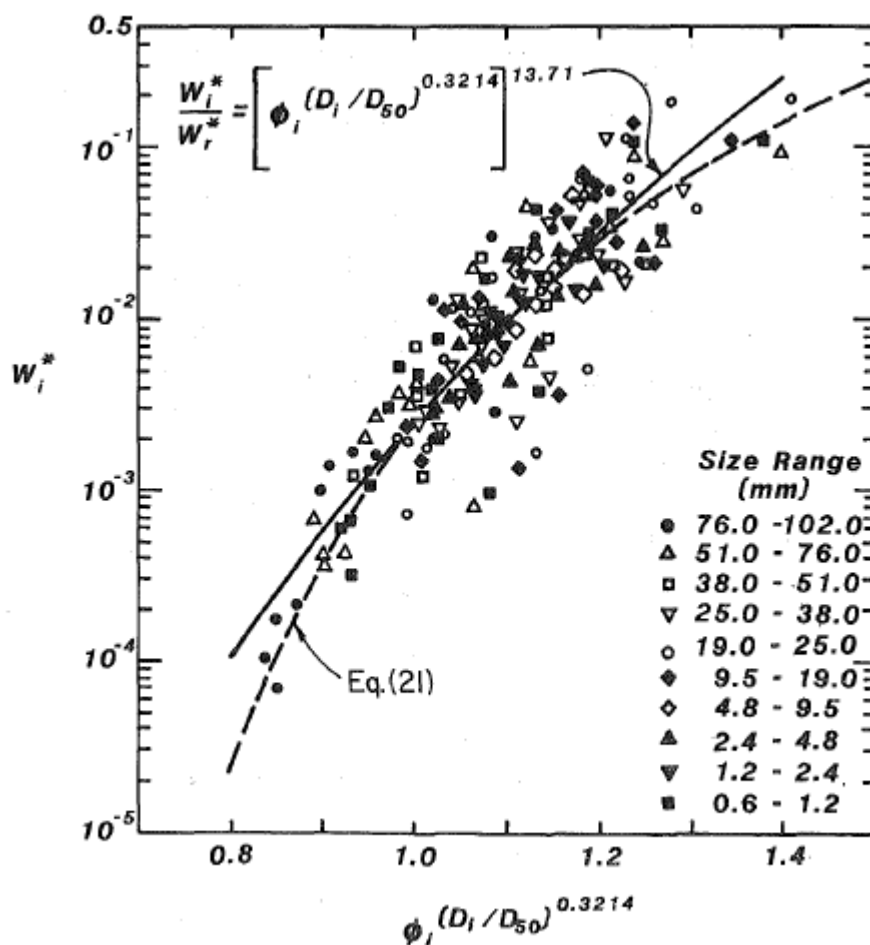
در نهایت رابطه ی نهایی به شکل رابطه (۹-۳) به دست آمد که نمودار آن را در شکل (۳-۳) نشان داده شده است.

$$\frac{w_i^*}{w_r^*} = [\phi_i (\frac{D_i}{D_{50}})^{0.3214}]^{13.71} \quad (9-3)$$

9

$$\phi_i = \frac{\tau_i^*}{\tau_{ri}^*} \quad (10-3)$$

در این روابط w_i^* مقدار بار بستر بدون بعد برای محدوده i ام ذرات، w_r^* مقدار مرجع برای پارامتر بار بستر، ϕ_i تنش شیلدز نرمالیزه شده، τ_i^* تنش شیلدز بدون بعد برای محدوده ذرات i ، τ_{ri}^* تنش شیلدز مبنا محدوده i ام ذرات می باشند. دیپلاس مقدار w_r^* را ۰/۰۰۲۵ پیشنهاد کرد. لازم به ذکر است تنش شیلدز مبنا مقدار تنشی است که قادر به انتقال بار بستر به اندازه ی w_r^* باشد (Diplas, 1987).



شکل (۳-۳)- نمودار W_i^* بر حسب $\phi_i \left(\frac{D_i}{D_{50}}\right)^{0.3214}$ مربوط به رابطه (۹.۳)

یکی از ایراداتی که به این رابطه وارد است این است که این روابط فقط بر اساس اطلاعات به دست آمده از رودخانه اوک کریک که رودخانه ای است دایمی بنا نهاده شده و در گستره کمی از تنش های برشی کاربرد دارد و از جامعیت کافی برخوردار نیست.

۳-۲-۲- روش دوم استفاده از اطلاعات به دست آمده از رودخانه های مختلف:

یکی از افرادی که در این زمینه فعالیت داشته امت^{۲۴} در سال ۲۰۰۰ بوده است. در تحقیقات او دبی بار بستر در پنج نقطه غالب ذوب برف در رود با بستر شنی در شمال کوه های راکی^{۲۵} واقع در ایالت متحده آمریکا اندازه گیری می شود؛ نواحی زهکشی شده سایت محدوده ای بین ۵۵ تا ۴۹۵۰ کیلومتر مربع و دبی لبریزی^{۲۶} (دبی که رودخانه کاملاً پر و آب در تمام مقطع جریان دارد) بین ۶/۵ تا ۶۵۰ متر مکعب در ثانیه دارد. میانگین اندازه ذرات سطح بستر، D_{50} ، محدوده ای بین ۴۰ تا ۱۷۳ میلی متر و D_{90} بین ۱۳۲ تا ۳۱۰ میلی متر دارد. توان های نرخ های بار بستر، شیب رابطه بین دبی بار بستر را نسبت به دبی آب که در محدوده ۲/۳۰ تا ۵/۰۶ می باشد، نشان می دهد. مقادیر این توان ها با مقادیر D_{50} یا D_{90} مصالح سطح بستر مرتبط بوده و تاثیر مصالح سطح بستر را بر نرخ بار بستر نشان می دهد. دبی موثر^{۲۷} برای هر سایت تعیین شده است. نسبت دبی موثر به دبی لبریزی Q_e/Q_b در محدوده ۰/۹۸ تا ۱/۳۱ می باشد. مقادیر Q_e/Q_b با مقادیر توان های نرخ های بار بستر به خوبی مرتبط می باشند. داده ها نشان می دهند که همان گونه که نماینده نرخ بار بستر از حالت معمول به مقادیر با شیب بیشتر افزایش می یابد، دبی موثر (دبی موجود در رودخانه) نیز از مقداری نزدیک به دبی لبریزی تا نزدیک ۱/۳ برابر دبی لبریزی در مطالعه حاضر افزایش می یابد. این مطلب نشان دهنده دو برابر شدن فاصله زمانی دوره بازگشت می باشد. در این تحقیقات، اطلاعات لازم از تقریباً دوازده سایت جریان سنجی از ادارات جنگلداری^{۲۸} و نقشه برداری^{۲۹} آمریکا جمع آوری شده اند، از میان سایت ها دو مورد با کم ترین توان در نرخ بار بستر و دو مورد با بزرگ ترین توان در نرخ بار بستر و یک مورد با مقدار متوسطی بین کمترین و

²⁴ William W. Emmett

²⁵ Rocky Mountains

²⁶ Bankfull Discharge

²⁷ Effective Discharge

²⁸ U.S. Forest Service (USFS)

²⁹ U.S. Geological Survey (USGS)

بیشترین توان انتخاب شدند. برخی از مشخصات آن ها در جدول (۲-۳) لیست شده و شمای کلی آنها در شکل (۴-۳) نشان داده شده است.

جدول (۲-۳)- مشخصات مربوط به ایستگاه های آزمایش شده توسط امت در سال ۲۰۰۰

شماره سایت	شماره اندازه گیرنده	نام ایستگاه	تعداد سالهای برداشت اطلاعات	تعداد اندازه گیری های بار بستر	اندازه حوضه (کیلومتر مربع)
۱	۱۳۰۱۹۴۳۸	<i>Little Granite Creek</i>	۱۰	۲۵۱	۵۴/۶
۲	۱۳۱۸۵۰۰۰	<i>Boise River</i>	۸۶	۸۲	۲۱۵۰
۳	۱۳۲۹۵۰۰۰	<i>Valley Creek</i>	۵۷	۶۴	۳۸۱
۴	۱۳۳۳۶۵۰۰	<i>Selway River</i>	۶۸	۶۶	۴۹۵۰
۵	۱۳۳۴۰۶۰۰	<i>NF Clearwater River</i>	۳۰	۷۰	۳۵۲۰

برای هر سایت بین ۶۴ تا ۲۵۱ اندازه گیری وجود دارد. نرخ های انتقال بار بستر با نمونه بردار بار بستر هلی-اسمیت^{۳۰} مورد اندازه گیری قرار می گیرد، که نمونه برداری با یک رسوب گیر ثابت می باشد. استفاده از نمونه بردار با شیوه ای که اولین بار توسط امت ارائه شد، انجام گرفته و به عنوان روش^{۳۱} (SEWI) شناخته شد. نمونه هایی با ۲۰ فاصله زمانی از هر دو معبر کانال جمع آوری شده است. نمونه گرفته شده از هر معبر خشک، وزن و غربال شده است. نرخ انتقال بار بستر برای هر طبقه از اندازه ذرات تعیین شده است. برای هر یک از پنج سایت، تحلیل های دیگر نشان می دهند که ذرات ریز تر از ۰/۵ میلیمتر ممکن است به عنوان رسوبات معلق منتقل شوند. از این رو، دبی بار بستر کل برای رسوبات با

³⁰ Helley-Smith

³¹ Single Equal-Width Increment

اندازه ای بزرگتر از ۰/۵ میلیمتر بر حسب تن در روز $t \text{ day}^{-1}$ بیان می شود داده های بار بستر اندازه گیری شده در شکل (۳-۵) نشان داده شده اند. نقاط نمایش داده شده نشان گر نرخ انتقال تعیین شده برای هر معبر کانال می باشد. خط توپر یا نرخ بار بستر، یک نمودار است که با روش کمترین مربعات به بهترین حالت بر این اطلاعات منطبق شده است.

(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(a) *Little Granite Creek* (b) *Boise River* (c) *Valley Creek* (d) *Selway River* (e) *North Fork Clearwater River* شکل (۴-۳)-

این رابطه بین دبی بار بستر G_b در واحد $t \text{ day}^{-1}$ برای دانه های بزرگتر از ۵/میلیمتر به عنوان تابعی از دبی آب Q با واحد متر مکعب در ثانیه $m^3 s^{-1}$ می باشد. بهترین رابطه برآورد به شکل تابع نمایی زیر می باشد:

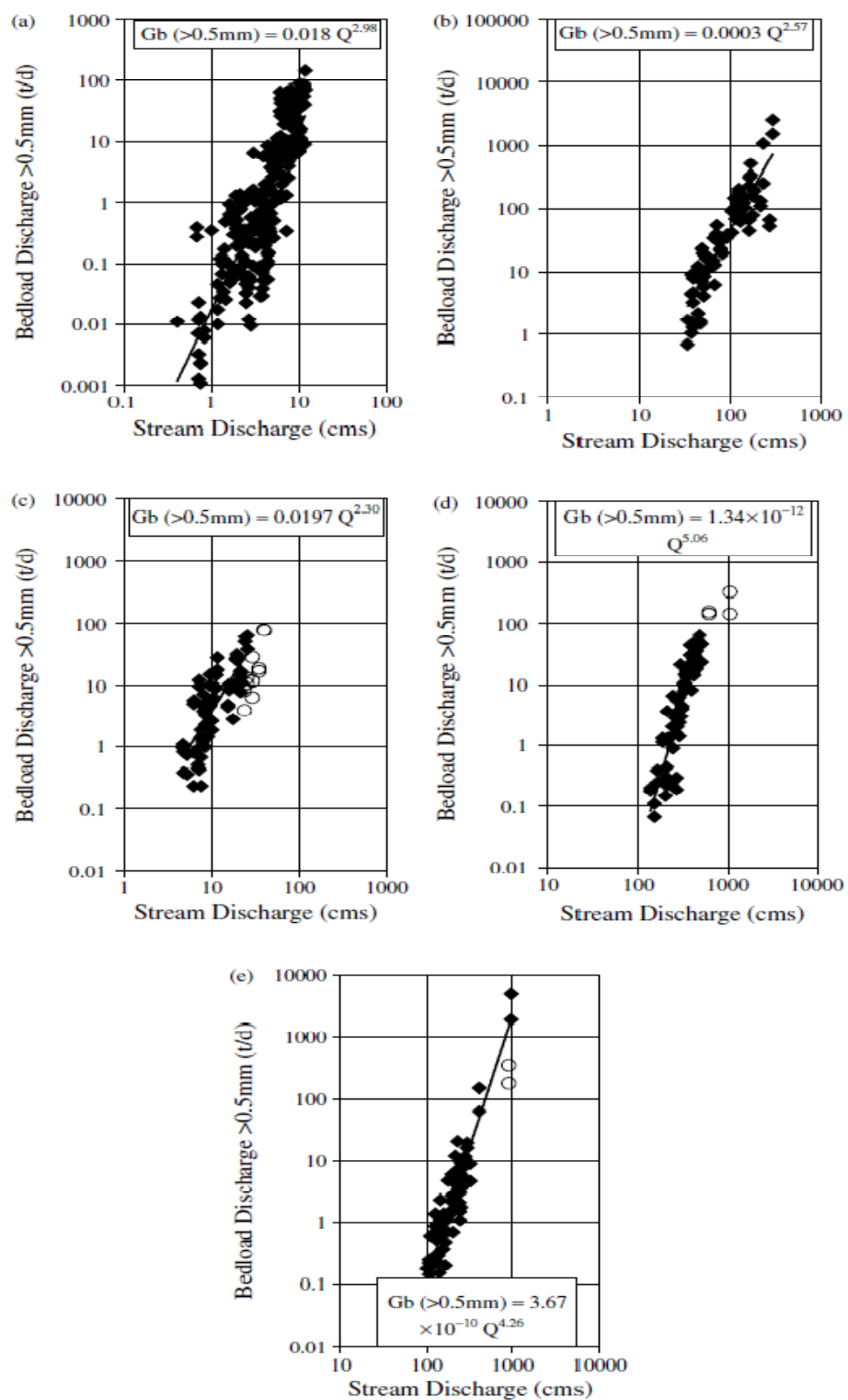
$$G_b = a Q^x \quad (11-3)$$

در رابطه (۱۱-۳) ضریب a و توان x می باشد. مقادیر ضریب و توان نرخ بار بستر در جدول (۳-۳) به صورت لیست آورده شده است که مقادیر توان بین ۲/۳۰ و ۵/۰۶ متغیر می باشند.

در نمودارهای شکل (۵-۳) روابط مربوط به هر رودخانه به همراه نمودار آنها مشاهده می شود.

جدول (۳-۳) - جدول ضرایب رابطه ی امت (رابطه ۱۱.۳) برای پنج ایستگاه آزمایش شده

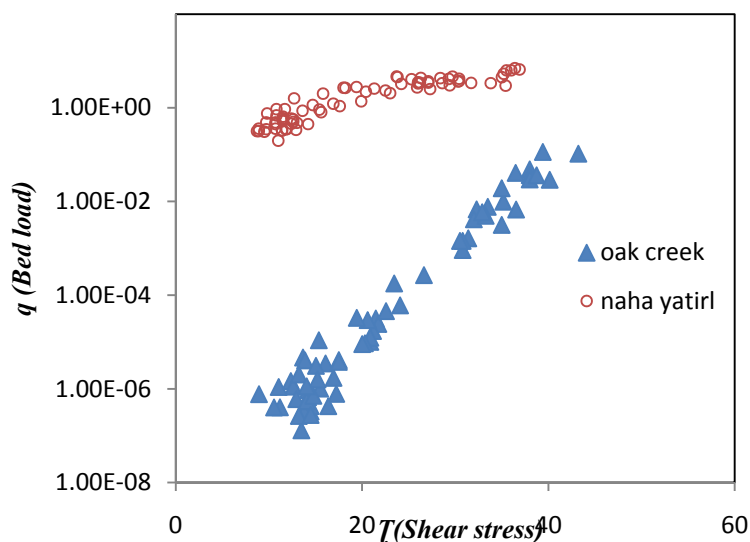
شماره سایت	D ₅₀ (بستر) (میلیمتر)	D ₉₀ (بستر) (میلیمتر)	شیب کانال (mm ⁻¹)	دبی کانال	مدت زمان عبور جریان (سال)	ضریب معادلات	توان معادلات	ضریب همبستگی
۱	۶۰	۱۸۰	۰/۰۱۹۰	۶/۴۹	۱/۶	$۱/۸۰ * ۱۰^{-۲}$	۲/۹۸	۰/۶۹
۲	۷۶	۱۷۴	۰/۰۰۳۸	۱۶۷	۱/۷	$۳/۳۳ * ۱۰^{-۴}$	۲/۵۷	۰/۸۱
۳	۴۰	۱۳۲	۰/۰۰۴۰	۲۴/۱	۱/۶	$۱/۹۷ * ۱۰^{-۲}$	۲/۳۰	۰/۶۲
۴	۱۷۳	۳۱۰	۰/۰۰۲۱	۶۵۱	۱/۷	$۱/۳۴ * ۱۰^{-۱۲}$	۵/۰۶	۰/۸۲
۵	۹۵	۲۸۲	۰/۰۰۰۵	۴۵۳	۱/۵	$۳/۶۷ * ۱۰^{-۱۰}$	۴/۲۶	۰/۸۶



شکل (۳-۵)- بار بستر منتقل شده بر حسب دبی عبوری از رودخانه برای پنج ایستگاه ذکر شده-امت ۲۰۰۰

۳-۳- استفاده از اطلاعات رودخانه های اوک کریک و نهال یاتیر

بسیاری از محققین از اطلاعات به دست آمده از رودخانه نهال یاتیر (رودخانه ی فصلی) و اوک کریک (رودخانه ی دایمی) برای بدست آوردن روابط خود استفاده کرده اند. در شکل (۳-۶) تنش برشی بر حسب رسوبات منتقل شده مربوط به رودخانه نهال یاتیر و اوک کریک که اطلاعات آنها به ترتیب توسط ریید و همکارانش در سال ۱۹۹۵ و میلهاووس در سال ۱۹۷۳ به دست آمده است به صورت لگاریتمی رسم شده است. این نمودار به وضوح نشان میدهد که میزان رسوبات انتقال یافته در رودخانه های فصلی بیشتر از رودخانه های دایمی است در واقع رودخانه های نهال یاتیر و اوک کریک دو انتهای طیف شدت بار بستر می باشد (Reid and Larrone, 1995).



شکل (۳-۶) - تنش برشی بر حسب بار بستر منتقل شده برای دو رودخانه اوک کریک و نهال یاتیر

مهمترین دلیل این امر این است که در رودخانه های دایمی در دبی های غالب آن، ذرات درشت دانه غیر متحرک بوده و ذرات ریز سطحی هستند که به حرکت درمی آیند. این امر باعث درشت دانه شدن سطح این رودخانه ها می شود. این سطح درشت دانه یک لایه محافظ در بستر این رودخانه ها ایجاد می کند. این لایه محافظ علاوه بر گیر انداختن برخی از ذرات ریز دانه، از ذرات زیرین نیز در مقابل شستگی

محافظت می کند و میزان انتقال رسوب را پایین می آورد. در زمان هایی که دبی کمی بالاتر می رود و ذرات درشت تر هم به حرکت در می آیند کم کم لایه محافظ از بین می رود. با از بین رفتن این لایه منابع ایجاد بار بستر آزاد شده و انتقال رسوب شدت می گیرد، در واقع در این حالت محدودیت منابع بار بستر از بین می رود (Garcia et al 1999).

بنابر این میتوان انتقال رسوب در اینگونه رودخانه ها را به دو فاز تقسیم کرد:

فاز اول؛ قبل از به حرکت در آمدن دانه های درشت بستر است که در این حالت دبی و همچنین میزان رسوب انتقال یافته معمولاً پایین است و منابع رسوبات کف درگیر محدودیتی هستند که درشت دانه ها برای آنها فراهم کرده اند و بسیاری از ریز دانه ها را هم در بین خود درگیر کرده اند.

فاز دوم؛ که با افزایش دبی و شروع شدن حرکت درشت دانه ها آغاز می شود. با متحرک شدن درشت دانه ها در واقع محدودیت منابع رسوب از بین رفته و نرخ انتقال رسوب بیش از پیش سرعت می گیرد. این افزایش تا جایی است که در سال ۱۹۹۵ به این نتیجه گرفته شده است که ابعاد، ریخت شناسی و مشخصات رودخانه اصولاً به محدوده کوچکی از دبی ها وابسته است (Emmett et al, 2000).

اما در رودخانه های فصلی این لایه محافظ دیده نمی شود. علت عدم وجود این لایه دبی های بالای گذرنده و شستگی و پر شدن متوالی بستر و نیز بالا بودن نرخ انتقال رسوب از این رودخانه هاست که توانایی به حرکت در آوردن ذرات درشت را فراهم می کند. در این حالت منبع فراوانی از رسوبات وجود خواهند داشت و نرخ انتقال رسوب در مقایسه با رودخانه های دائمی بالاتر می رود. لارون و ریید (Reid and Laronne, 1993) و لارون و همکارانش (Laronne et. al., 1994) عدم وجود لایه محافظ در رودخانه نهال یاتیر را به انتقال شدید بدون گزینش ذرات و نیز رکورد سیل و فقدان کامل دبی پایه (فرق اساسی رودخانه های دائمی و فصلی) نسبت داده اند. آنها بیان داشتند که طبیعت بدون پوشش حوزه آبخیز بیابانی نهال یاتیر منابع وسیعی از رسوبات را با تمام اندازه ها فراهم می آورد و این مطلب به همراه

فروکش سریع هیدروگراف سیلاب های ناگهانی و گسترش مدت زمان فقدان جریان احتمال ایجاد یک لایه محافظ را کاهش می دهد (Reid and Larrone, 1995).

شایان ذکر است لیسل و مجد (Lisle and madje, 1992) عدم وجود لایه مسلح را برای مسیر جریان رودخانه رد وود کریک^{۳۲} که رودخانه ای دایمی در شمال کالیفرنیاست گزارش کردند. کوهن (Kuhnle, 1992) نشان داد که سرشاخه گودووین کریک که رودی فصلی در شمال می سی سی پی است دارای لایه مسلح ضعیفی می باشد. این مشاهدات نشان میدهد که لایه مسلح سطحی فقط در رودخانه های دایمی دیده نمیشود. بر همین اساس به نظر میرسد که دسته ای از رودخانه ها حد فاصل رودخانه های دایمی و فصلی وجود دارند که دانه بندی سطح آنها نیز از لحاظ اندازه بین این رودخانه ها هستند.

جدول (۳-۴)- مشخصات برخی از رودخانه های آزمایش شده که میزان لایه پوششی بستر آنها را نشان میدهد

Goodwin Creek	Jacoby river	Sagehen creek	Nahal yatir	Oak creek	خصوصیات
فصلی	دایمی	دایمی	فصلی	دایمی	نوع رودخانه
۸.۵	۲۲	۵۸	۶	۵۴	اندازه میانگین ذرات سطحی (میلیمتر)
۵.۹	۸	۳۰	۱۰	۲۰	اندازه میانگین ذرات زیر سطحی (میلیمتر)

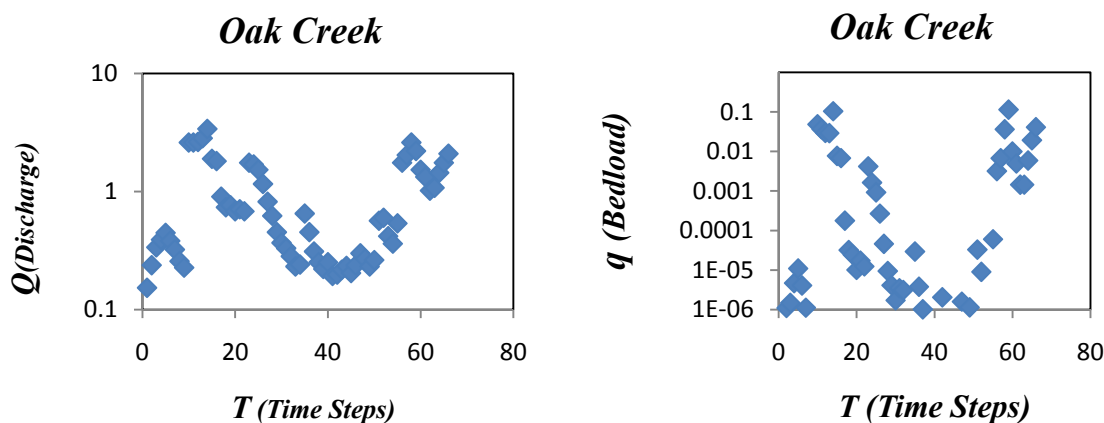
³² Redwood Creek

۳-۳-۱- یک رابطه ی کلی برای تمام رودخانه ها اعم از دایمی و فصلی

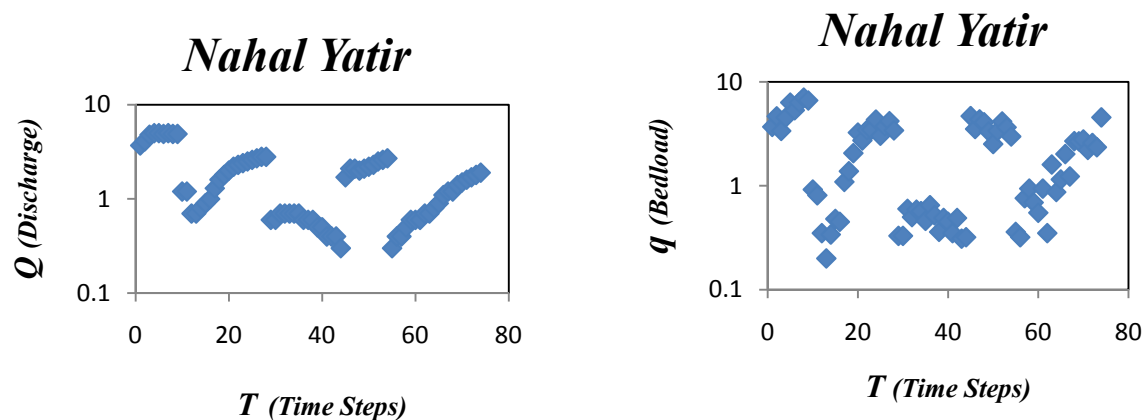
روابطی که تا کنون ارایه شده اند یا بر اساس آنالیز ابعادی بوده یا بر پایه اطلاعات تجربی که در بسیاری از موارد مشخص شده که این روابط از جامعیت کافی برخوردار نیستند. با استفاده از اطلاعات به دست آمده از رودخانه اوک کریک و نهال یاتیر و نیز تلفیق آن با آنالیز ابعادی رابطه ای جدید و مورد استفاده برای تمامی رودخانه ها ارایه خواهد شد. این دو رودخانه همینطور که پیشتر اشاره شد تمام دبی های موجود در طبیعت را در بر می گیرد بعلاوه رودخانه نهال یاتیر فاقد لایه محافظ بوده و اوک کریک دارای لایه محافظ درشت و مستحکمی می باشد که از این نظر رابطه ای که بتواند داده های این دو رودخانه را یکجا پوشش دهد از جامعیت لازم برخوردار خواهد بود.

۳-۳-۱-۱- پارامترهای موثر

در شکل های (۳-۸) و (۳-۱۰) دبی های به دست آمده از دو رودخانه اوک کریک و نهال یاتیر در گام های زمانی مختلف و در شکلهای (۳-۷) و (۳-۹) میزان رسوب منتقل شده در همان گام های زمانی نشان داده شده است.



شکل (۳-۷) - بار بستر بر حسب زمان در رودخانه اوک کریک شکل (۳-۸) - دبی بر حسب زمان در رودخانه اوک کریک



شکل (۳-۹) - بار بستر بر حسب زمان در رودخانه نهال یاتیر شکل (۳-۱۰) - دبی بر حسب زمان در رودخانه نهال یاتیر

نمودار های فوق نشان میدهند رسوب منتقل شده رابطه تنگاتنگی با دبی عبوری و تنش برشی در هر دو رودخانه دارد و شکل کلی حرکت رسوب با سیلاب ورودی کاملاً همخوانی دارد. اما در رودخانه نهال یاتیر این شباهت از لحاظ اندازه بیشتر از شباهت در اوک کریک است. به نظر میرسد دلیل این تفاوت تاثیر پارامتر یا پارامتر های مربوط به مصالح بستر از قبیل اندازه ذرات در انتقال رسوب باشد که تفاوت های عمده ی رودخانه های فصلی و دایمی را شکل می دهند.

برای اینکه بتوان روابط به دست آمده را به تمامی رودخانه ها تعمیم داد با استفاده از روابط معروف پارامتر بی بعد انیشتین (Jaber, 2003) و رابطه ی معروف بی بعد کردن تنش برشی استفاده کرد، بار بستر و تنش برشی را به صورت بی بعد در می آوریم. این روابط عبارتند از:

$$q^* = \frac{q_B}{\sqrt{R_S g D_{50}^3}} \quad (3-12)$$

$$\tau^* = \frac{\tau_0}{g(\rho_s - \rho) D_{50}} \quad (3-13)$$

۳-۱-۱-۳- آنالیز ابعادی به روش پی-باکینگهام برای شناسایی پارامتر های بی بعد

پارامترهای مهم در انتقال رسوب که محققین به آن اشاره و از آن استفاده کرده اند عبارتند از τ ، d ، Q ، R_s ، D_{50e} که به ترتیب عبارتند از دبی جریان، عمق جریان، تنش برشی، وزن مخصوص مستغرق ذرات و قطر میانگین موثر ذرات. پس داریم:

در کل پارامترهای موجود و ابعاد آنها عبارتند از:

q	Q	d	τ	R_s	D_{50e}
$\frac{ML}{T}$	$\frac{L^3}{T}$	L	$\frac{M}{T^2L}$	$\frac{M}{L^3}$	L

 R_s, d, Q

6人

$$\pi \text{ تعداد} = 6 - 3 = 3$$

محاسبه ی π های روش باکینگهام:

$$\pi_1$$

$$\pi_1 = Q^a d^b R_s^c q \quad (15-3)$$

$$\pi_1 = \frac{q}{Q R_s d} \quad (16-3)$$

$$\pi_2$$

$$\pi_2 = Q^a d^b R_s^c \tau \quad (17-3)$$

$$\pi_2 = \frac{d^4 \tau}{Q^2 R_s} \quad (18-3)$$

در آخر برای π_3 :

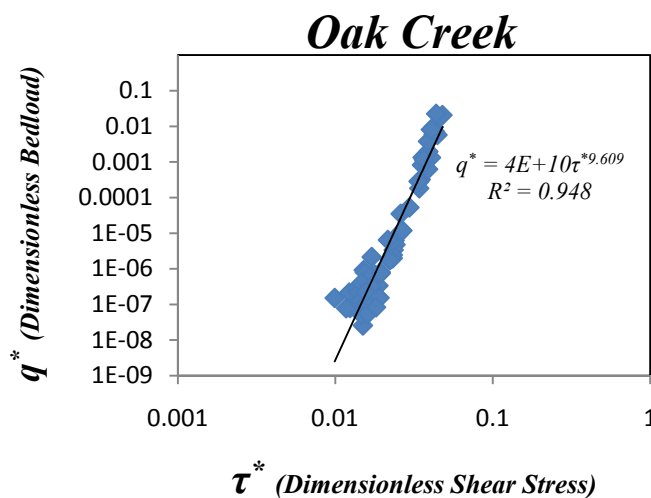
$$\pi_3 = Q^a d^b R_s^c D_{50e} \quad (19-3)$$

$$\pi_3 = \frac{D_e}{d} \quad (20-3)$$

تنش برشی و بار بستر با استفاده از پارامترهای معروف و متداول مربوطه بی بعد شد. با توجه به تحلیل ابعادی پارامتر بی بعد موثر که به خواص مصالح بستر مربوط است π_3 می باشد در واقع این پارامتر نشان میدهد که قطر موثر ذرات تقسیم بر عمق جریان می تواند پارامتری موثر بر انتقال رسوب باشد.

۳-۱-۲- رودخانه اوک کریک

رودخانه اوک کریک رودخانه ای کوچک است که در جنگل های ایالت مکزیک دونالد در ناحیه اورگان قرار دارد. مساحت ناحیه مورد مطالعه در حدود ۶/۶ کیلومتر مربع بوده و آب همواره در آن جریان دارد. در سال ۱۹۷۳ میلهاووس آزمایش های فراوانی روی این رودخانه انجام داد که از اطلاعات به دست آمده محققین زیادی برای اهداف مختلفی استفاده کرده اند. با استفاده از اطلاعات به دست آمده از رودخانه ی اوک کریک می توان تنش برشی بی بعد بر حسب بار بستر منتقل شده بی بعد را به صورت نمودار شکل (۳-۱۱) نمایش داد. در این رودخانه با استفاده از یک رگرسیون غیر خطی رابطه ای با ضریب همبستگی ۰/۹۴۸ بین تنش برشی بی بعد و رسوب منتقل شده بی بعد بدست می آید (رابطه ۳-۲۱)



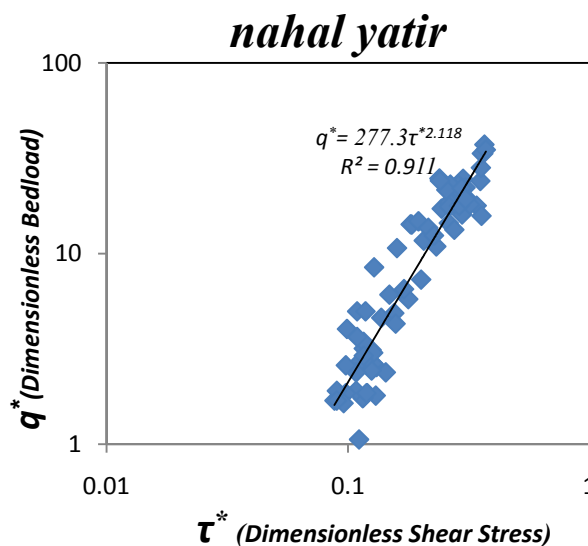
شکل (۳-۱۱)- تنش برشی بی بعد بر حسب رسوبات منتقل شده بی بعد در رودخانه اوک کریک

رابطه ی بین تنش برشی بی بعد و رسوب منتقل شده بی بعد در رودخانه اوک کریک که نمودار آن در شکل (۳-۱۱) نشان داده شده است به صورت رابطه زیر است:

$$q_1^* = 4E(+10)\tau^{*9.609} \quad (۳-۲۱)$$

۳-۱-۳-۳- رودخانه نهال یاتیر

این رودخانه شاخه فرعی کوچک مرتبه چهارم نهال بسر و بخش زهکش جنوبی کوههای هربن در غرب خاور میانه است. بارش سالانه حوضه بین ۲۲۰ تا ۲۸۰ میلیمتر است و سالانه ۵ یا ۶ سیل ناگهانی که زمان اوج آن ۱۰ دقیقه و کل زمان آن تنها چند ساعت به طول می انجامد را تجربه می کند. اطلاعات مربوط به این رودخانه در سال ۱۹۹۵ توسط ریید و همکارانش بدست آمده است (Ian Reid et al, 1995). در شکل (۱۲-۳) شکل بی بعد تنش برشی بر حسب بار بسترمنتقل شده بی بعد رسم شده است.



شکل (۱۲-۳)- تنش برشی بی بعد بر حسب رسوبات منتقل شده بی بعد در رودخانه نهال یاتیر

با رگرسیون غیر خطی میتوان رابطه تنش برشی بی بعد بر حسب بار بستر منتقل شده بی بعد را به شکل زیر نشان داد:

$$q_2^* = 277.3 \tau^{*2.118} \quad (۲۲-۳)$$

در این روابط q^* بار بستر بدون بعد منتقل شده در بستر رودخانه و τ^* تنش برشی بی بعد بستر رودخانه می باشد. این رابطه دارای ضریب همبستگی ۰/۹۱۱ میباشد.

۳-۱-۴- رابطه نهایی

رابطه کلی مربوط به تمامی رودخانه ها را می توان با میانگین گیری هارمونیک از روابط این دو رودخانه به دست آورد. در واقع این روش مدلسازی انتقال رسوب دو رودخانه با استفاده از فنر های موازی است

$$\frac{1}{q_T^*} = \frac{1}{q_1^*} + \frac{1}{q_2^*} \quad (۲۳-۳)$$

بنابر این خواهیم داشت:

$$\frac{1}{q_T^*} = \frac{1}{4E(+10)\tau^{*9.609}} + \frac{1}{277.3\tau^{*2.118}} \quad (۲۴-۳)$$

و در نهایت:

$$q_T^* = \frac{1}{0.003\tau^{*-2.118} + 2.5E(-11)\tau^{*-9.609}} \quad (۲۵-۳)$$

۳-۴- معرفی پارامتر جدید قطر متوسط موثر (D_{50e})

اندازه میانگین ذرات (D_{50}) قطری است که به عنوان نماینده رسوبات توسط اکثر محققین مورد استفاده قرار گرفته است. (روتتر ، یالین ، پارکر ، بگنولد، شیلدز، دیپلاس و...). این معیار به نظر معیار مناسبی برای توزیع لگاریتمی اندازه ذرات است زیرا با میانگین هندسی و در اکثر موارد با اندازه های مود هر دانه بندی مطابقت دارد. از طرفی در تمامی رودخانه ها اعم از دایمی و فصلی جریان پیوسته در حال تغییر است به تبع آن انتقال رسوب نیز در هر لحظه متفاوت خواهد بود. بنابر این در هر لحظه قطر های مختلفی از ذرات منتقل می شوند. به همین دلیل به نظر می رسد که در نظر گرفتن یک D_{50} ثابت برای تمام لحظات و تمام روابط انتقال رسوب همواره به جواب های دقیق که در تمامی رودخانه ها کاربرد داشته باشد نخواهد رسید. پارامتر D_{50e} پارامتری است که به صورتی طراحی می شود تا این تغییر را با توجه به میزان رسوب منتقل شده نشان دهد. در واقع D_{50e} در هر لحظه (برای هر مقدار رسوب اندازه

گیری شده)، D_{50} مصالح بستر، مربوط به آن زمان بخصوص را مشخص می کند. بنابر این D_{50e} مقدار میانگین موثر قطر ذرات را در هر لحظه مشخص می کند.

محاسبه پارامتر D_{50e}

در رابطه (۳-۲۵) که تنش برشی بی بعد بر حسب بار بستر منتقل شده بی بعد را نشان می دهد روابط (۳-۱۲) و (۳-۱۳) را جایگذاری می کنیم. در این صورت خواهیم داشت:

$$q^* = \frac{q_B}{\sqrt{R_s g D_{50}^3}} \quad (۳-۱۲)$$

$$\tau^* = \frac{\tau_0}{g(\rho_s - \rho) D_{50}} \quad (۳-۱۳)$$

$$q_T^* = \frac{1}{.003 \tau^{*-2.118} + 2.5 E(-11) \tau^{*-9.609}} \quad (۳-۲۵)$$

خواهیم داشت: (۳-۲۶)

$$\frac{q_B}{\sqrt{R_s g D_{50e}^3}} = \frac{1}{.003 \left(\frac{\tau_0}{g(\rho_s - \rho) D_{50e}} \right)^{-2.118} + 2.5 E(-11) \left(\frac{\tau_0}{g(\rho_s - \rho) D_{50e}} \right)^{-9.609}}$$

با ساده کردن این رابطه به رابطه (۳-۲۷) می رسیم:

$$\sqrt{R_s g D_{50e}^3} = q_B \left(.003 \left(\frac{\tau_0}{g(\rho_s - \rho) D_{50e}} \right)^{-2.118} + 2.5 E(-11) \left(\frac{\tau_0}{g(\rho_s - \rho) D_{50e}} \right)^{-9.609} \right)$$

در ادامه:

(۲۸-۳)

$$\sqrt{R_s g D_{50e}^3} = \frac{.003 q_B \tau_0^{-2.118}}{(g(\rho_s - \rho))^{-2.118} D_{50e}^{-2.118}} + \frac{2.5 E(-11) q_B \tau_0^{-9.609}}{(g(\rho_s - \rho))^{-9.609} D_{50e}^{-9.609}}$$

با ساده کردن رابطه (۲۸-۳) به معادله (۲۹-۳) بر حسب D_{50e} خواهیم رسید:

$$\sqrt{R_s g} D_{50e}^{1.5} - \frac{.003 q_B \tau_0^{-2.118}}{(g(\rho_s - \rho))^{-2.118}} D_{50e}^{2.118} - \frac{2.5 E(-11) q_B \tau_0^{-9.609}}{(g(\rho_s - \rho))^{-9.609}} D_{50e}^{9.609} = 0 \quad (۲۹-۳)$$

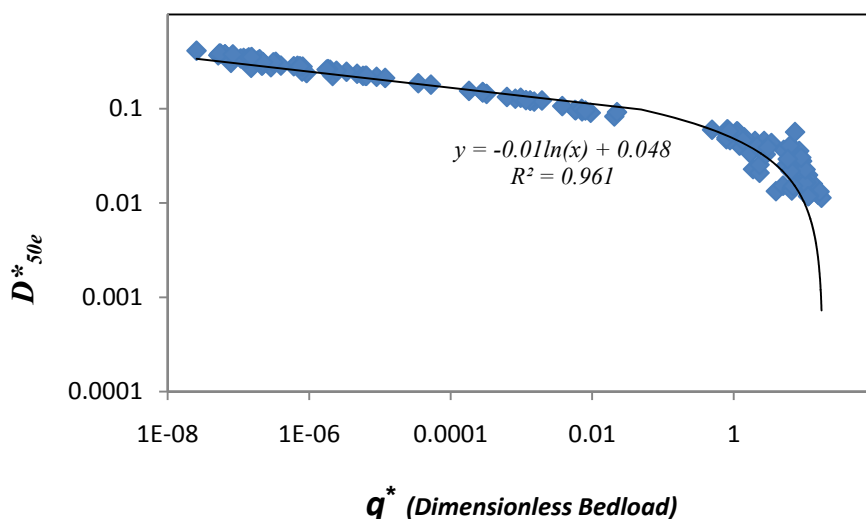
که در این روابط R_s وزن مخصوص مستغرق ذرات، q_B مقدار حجمی انتقال رسوب بستر در واحد عرض کانال، g شتاب جاذبه زمین، τ_0 تنش برشی بستر، ρ و ρ_s به ترتیب چگالی آب و مصالح بستر و D_{50} اندازه میانه ذرات می باشند.

از این رابطه به ازای هر داده از رودخانه های نهال یاتیر و اوک کریک با حل عددی معادله بالا حول میانگین اندازه ذرات رودخانه مربوطه یک D_{50e} به دست می آید. با توجه به پارامتر سوم باکینگهام قطر موثر به دست آمده را بی بعد می کنیم و آن را D_{50e}^* می نامیم.

$$D_{50e}^* = \frac{D_{50e}}{d} \quad (۳۰-۳)$$

در این رابطه D_{50e}^* قطر میانگین موثر بی بعد شده ذرات، d عمق جریان و D_{50e} قطر میانگین موثر ذرات می باشد.

در نمودار شکل (۳-۱۳)، قطر میانگین موثر بی بعد شده ذرات را بر حسب بار بستر منتقل شده بی بعد نشان داده شده است. این نمودار بر اساس داده های رودخانه های اوک کریک و نهال یاتیر به دست آمده است.



شکل (۳-۱۳)- بار بستر بی بعد بر حسب میانگین اندازه ذرات بی بعد رودخانه های اوک کریک و نهال یاتیر

در این نمودار همان طور که روی شکل نیز نشان داده شده است با استفاده از رگرسیون غیر خطی می توان رابطه ی بین قطر میانگین موثر بی بعد شده ذرات و بار بستر بی بعد منتقل شده به شکل رابطه (۳-۳۱) برقرار کرد.

$$D_{50e}^* = -0.01 \ln(q^*) + 0.048 \quad (۳-۳۱)$$

در این رابطه q^* بار بستر بدون بعد منتقل شده و D_{50e}^* قطر میانگین موثر بی بعد شده ذرات می باشند. این رابطه دارای ضریب همبستگی ۰/۹۶۱ می باشد.

همانطور که مشاهده می شود روابط (۳-۲۵) و (۳-۳۱) که از روی اطلاعات مربوط به رودخانه های اوک کریک و نهال یاتیر به دست آمد، همگی به شکل بی بعد هستند، بنابراین می توان این روابط را به سایر رودخانه های موجود در طبیعت نیز تعمیم داد.

۳-۵- میزان لایه پوششی بستر با توجه به روابط رودخانه های نهال یاتیر و اوک کریک

در مرحله قبل روابطی برای پیش بینی نرخ انتقال رسوب بی بعد بر حسب تنش برشی بی بعد برای رودخانه های نهال یاتیر و اوک کریک به طور جداگانه ارائه شد. رودخانه ی اوک کریک یک رودخانه

دایمی دارای لایه محافظ قوی، تنش برشی کم و میزان رسوبات منتقل شده پایین می باشد. بر خلاف آن نهال یاتیر به عنوان رودخانه ای فصلی دارای تنش های برشی زیاد، میزان رسوبات منتقل شده ی بالا و فاقد لایه محافظ در بین محققین شناخته می شود. در طبیعت رودخانه هایی نیز دیده شده اند که علی رغم دایمی بودن، لایه ی محافظ ندارند و همچنین رودخانه هایی وجود دارند که فصلی بوده و دارای لایه محافظ ضعیف می باشد. پس به نظر می رسد که در بین رودخانه های دایمی و فصلی رودخانه هایی وجود دارند که خواص آنها فارغ از دایمی و فصلی بودن آنها از لحاظ تسلیح و رسوب منتقل شده حد فاصل رودخانه های نهال یاتیر و اوک کریک است. اما مهمترین سوال این است که چه معیاری برای تشخیص لایه پوششی بستر (که در میزان رسوب منتقل شده بسیار موثر است) مناسب می باشد. به نظر می رسد تنش برشی بی بعد، پارامتری موثر در میزان مسلح بودن بستر می باشد. برای بدست آوردن حد فاصل بین رودخانه های دایمی و فصلی روابط انتقال رسوب دو رودخانه را با هم قطع می دهیم. در این حالت یک تنش برشی به دست می آید که آن را تنش برشی مبنا می نامیم. پس داریم:

$$q_1^* = q_2^* \quad (32-3)$$

بنابراین داریم:

$$4E(+10)\tau^{*9.609} = 277.3\tau^{*2.118} \quad (33-3)$$

با حل عددی این معادله خواهیم داشت:

$$\tau_{ref}^* = 0.0814 \quad (34-3)$$

این مقدار تنش برشی بی بعد را می توان مرز رودخانه های فصلی و دایمی دانست. رودخانه هایی که محدوده های تنش برشی بی بعد آنها از این مقدار تنش برشی بالاتر می باشد، رودخانه هایی فصلی و

پایین تر از آن رودخانه های دائمی هستند. در واقع هر چه میزان تنش برشی بی بعد زیاد تر می شود در واقع میزان مدت زمان جریان آب در رودخانه افزایش می یابد. در ادامه با توجه به همین پارامتر سه رودخانه ساژن کریک، البو ریور و جاکوبی ریور مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

رودخانه ساژن کریک^{۳۳}: این رودخانه از کناره غربی صحرای نوادا در کالیفرنیا سرچشمه می گیرد. عرض متوسط ورودی در حالت لبریز به ۴/۸۵ متر می رسد و عمق متناظر کانال برابر با ۰/۴۱ متر است. مقادیر بار بستر انتقال یافته توسط دستگاه نمونه گیر هلی-اسمیت^{۳۴} اندازه گیری شده است. اندازه های میانگین ذرات مصالح لایه سطحی و زیر سطحی به ترتیب برابر ۵۸ و ۳۰ میلیمتر است.

رودخانه البو ریور^{۳۵}: این رودخانه در آلبرتا در کشور کانادا واقع شده است. رودخانه دارای عرض متوسط ۴۳/۵ متر و عمق متوسط ۰/۷۵ متر است. نمونه های رسوبات بستر توسط نمونه گیرهای سبیدی شکل سازمان آب کانادا (WSC) در دوره های ذوب برف سال های ۱۹۶۷، ۱۹۶۸ و ۱۹۶۹ جمع آوری شده است. اندازه میانگین ذرات مصالح لایه سطحی و زیر سطحی به ترتیب ۷۶ و ۲۸۰ میلیمتر است.

رودخانه جاکوبی ریور^{۳۶}: این رودخانه در جنگل چوب قرمز^{۳۷} در محدوده شمالی کالیفرنیا واقع است. عرض آن در حالت لبریز برابر با ۱۷/۲ متر و عمق آن ۱ متر است. مقدار نرخ انتقال بستر با استفاده از نمونه گیر هلی-اسمیت اندازه گیری شده است. همچنین مقادیر اندازه میانگین ذرات متناظر با لایه های سطحی و زیر سطحی به ترتیب برابر با ۲۲ و ۸ میلیمتر است.

رودخانه ساژن کریک^{۳۸}: در رودخانه ساژن کریک ماکزیمم تنش برشی بی بعد برابر ۰/۰۴۵ است که نشان می دهد این رودخانه یک رودخانه دائمی می باشد و به دلیل پایین بودن تنش برشی بی بعد آن دارای

³³ Sagehen Creek

³⁴ Helly-Smith

³⁵ Elbow River

³⁶ Jacoby River

³⁷ Redwood

³⁸ Sagehen Creek

لایه محافظ نسبتاً قوی می باشد که در طبیعت نیز همین امر مشاهده می شود. در رودخانه البو ریور نیز با توجه به تنش های برشی این رودخانه نیز دایمی بوده و لایه ی محافظ نسبتاً قوی دارد که در طبیعت نیز همین موضوع مشاهده می شود. اما در رودخانه جاکوبی ریور تنش برشی بی بعد از میزان تنش برشی بی بعد مبنا تجاوز می کند. در این رودخانه اکثر تنش های برشی بی بعد زیر حد مبنا هستند و در نقاط محدودی تنش های برشی بی بعد از میزان ۰/۸۱۴ بیشتر می شود. این موضوع نشان می دهد که این رودخانه دارای خاصیت دایمی است اما در مواردی سیلاب های گذرنده نیز از این رودخانه عبور می کند. این سیلاب ها باعث می شود در این رودخانه درشت دانه ها نیز به حرکت درآیند و از میزان لایه پوششی بستر کاسته شود. که این خود یکی از خواص رودخانه های فصلی به شمار می آید. در نتیجه این رودخانه رودخانه ای است دایمی اما تمام خواص رودخانه های دایمی (اصلی ترین خاصیت این رودخانه ها دارا بودن لایه محافظ قوی می باشد) دارا نیست.

۳-۶- تطبیق رابطه بدست آمده برای انتقال رسوب با سایر رودخانه ها

با استفاده از روابط بدست آمده وضعیت لایه پوششی بستر سه رودخانه ساژن کریک، البو ریور و جاکوبی ریور

معین گردید. همانگونه که در فصل قبلی ذکر شد میزان لایه پوششی بستر با میزان انتقال رسوب رابطه ای عکس دارد. در این مرحله میزان انتقال رسوب برای این سه رودخانه با استفاده از رابطه جدید پیشنهادی محاسبه خواهد شد.

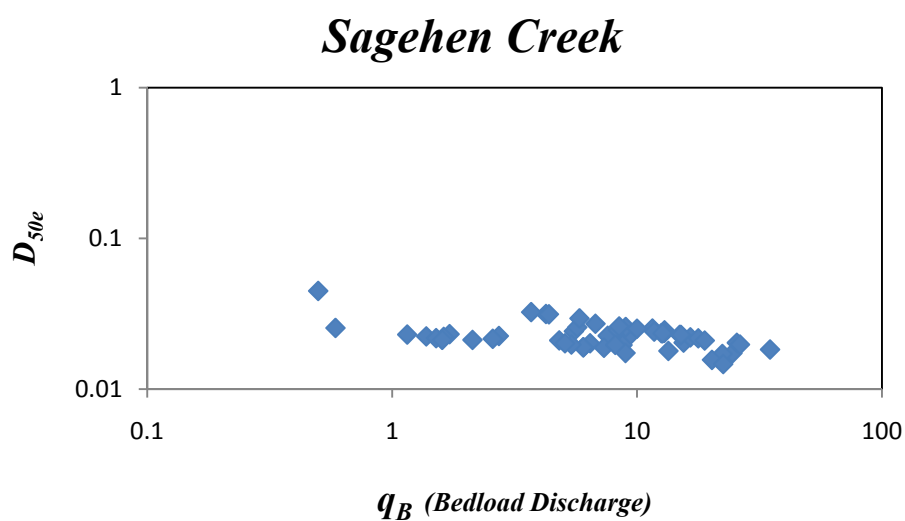
در جدول (۳-۶) مشخصات این رودخانه ها به صورت خلاصه آورده شده است.

جدول (۳-۶)- مشخصات رودخانه های ساژن کریک، البو ریور و جاکوبی ریور (Jaber, 2002)

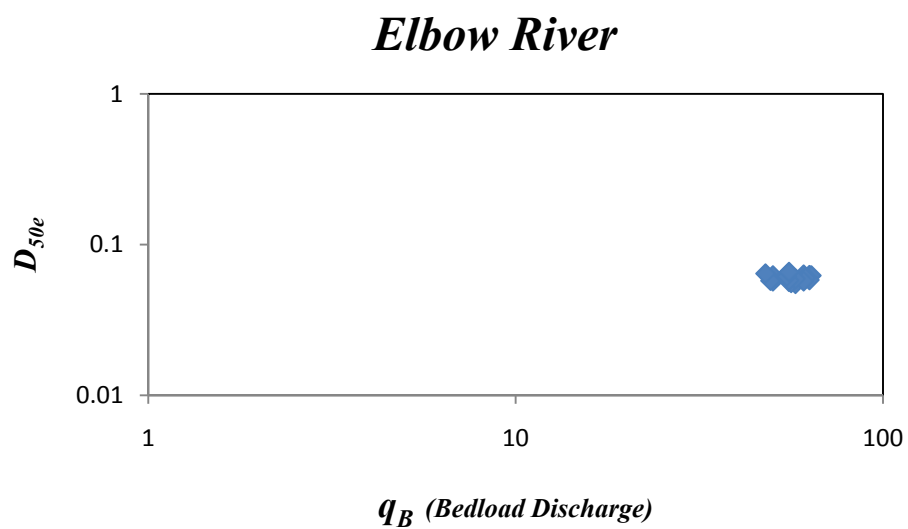
مشخصات رودخانه	ساژن کریک	البو ریور	جاکوبی ریور
نوع رودخانه	دایمی	دایمی	دایمی
نوع لایه محافظ	دارای لایه محافظ	دارای لایه محافظ	دارای لایه محافظ ضعیف
نوع نمونه گیر	<i>Helley-Smith</i>	<i>Water survey of Canada basket</i>	<i>Helley-Smith</i>
سال و محقق مربوطه	اندروو-۱۹۹۴	هالینگش-۱۹۷۱	لیسل-۱۹۸۹
تعداد نمونه	۵۵	۱۹	۱۰۰

۳-۶-۱- جمع بندی روش ارایه شده و تطبیق آن با سایر رودخانه ها

برای بدست آوردن میزان بار بستر منتقل شده در این رودخانه ها با توجه به روابط ارایه شده ابتدا با قرار دادن تنش برشی بی بعد شده توسط رابطه (۳-۱۳) در رابطه کلی انتقال رسوب (رابطه ۳-۲۵) بار بستر منتقل شده بی بعد متناظرش را بدست آورده، با استفاده از رابطه (۳-۳۱) و باربستر منتقل شده بی بعد مرحله قبل قطرمیانگین موثر بی بعد ذرات را محاسبه میکنیم و از روی آن قطرمیانگین موثر ذرات را به دست می آوریم. در نمودارهای زیر قطرمیانگین موثر ذرات بر حسب بار بستر منتقل شده به صورت بعد دار رسم شده است. با استفاده از این نمودارها به ازای هر بار بستر منتقل شده یک قطرمیانگین موثر مختص آن بدست می آید.

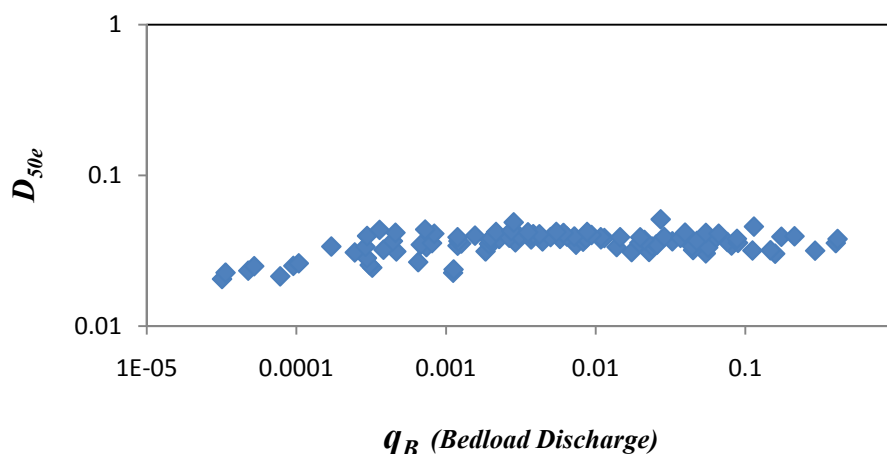


شکل (۳-۱۴) - بار بستر منتقل شده بر حسب اندازه میانگین موثر ذرات مربوط به رودخانه ساژن کریک



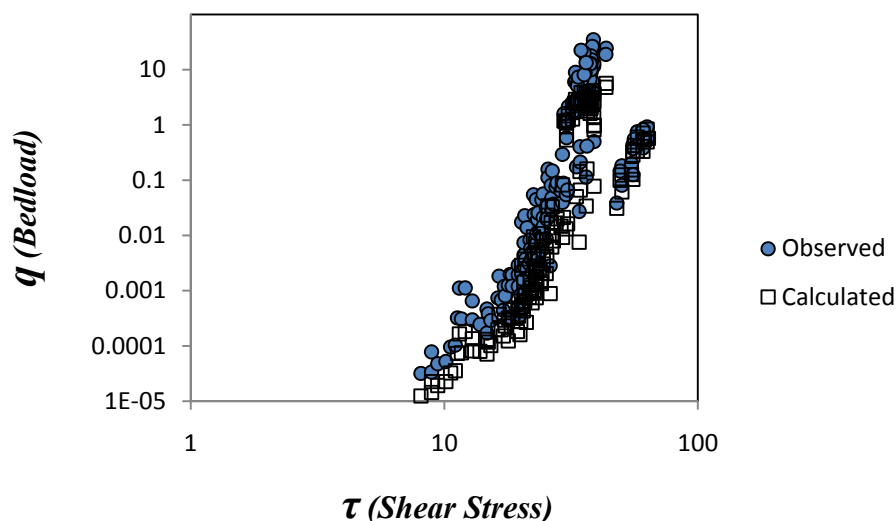
شکل (۳-۱۵) - بار بستر منتقل شده بر حسب اندازه میانگین موثر ذرات مربوط به رودخانه البو ریور

Jacoby River



شکل (۳-۱۶) - بار بستر منتقل شده بر حسب اندازه میانگین موثر ذرات مربوط به رودخانه جاکوبی ریور

این بار با استفاده از این قطر میانگین موثر به دست آمده تنش برشی را بی بعد می‌کنیم در واقع با این کار تنش برشی بی بعد را در هر لحظه با استفاده از میانگین قطر ذرات در آن لحظه اصلاح می‌کنیم و با استفاده از رابطه (۳-۲۵) بار بستر بی بعد مربوط به هر رودخانه را بدست می‌آوریم. و در نهایت بار بستر منتقل شده بی بعد را با استفاده از رابطه (۳-۱۲) به شکل بعد دار تبدیل می‌نماییم. در نمودار زیر بار بستر منتقل شده محاسباتی بر اساس روابط ارایه شده و بار بستر منتقل شده واقعی که از آزمایشات بدست آمده در یک نمودار برای هر سه رودخانه نشان داده شده است.



شکل (۳-۱۷) - بار بستر محاسبه شده با استفاده از رابطه پیشنهادی و آزمایشات بر حسب تنش برشی در حالت بعد دار

با توجه به نمودار مشاهده می شود که روابط بالا با دقت خوبی با آزمایشات همخوانی دارد. باید توجه داشت از آنجا که روش به دست آوردن اطلاعات از سه رودخانه یکسان نبوده است، این رابطه توانسته است بر خطای حاصل از برداشت اطلاعات نیز غلبه کند که خود دلیل قدرت روش است.

۳-۶-۲- بررسی خطای رابطه پیشنهادی

برای بررسی خطا از روش میانگین خطای استاندارد ($MASE$) استفاده شده است. که به صورت زیر بیان می شود. این روش همانطور که از رابطه آن مشهود است کل خطای موجود را به صورت کامل نشان میدهد.

$$MASE = \frac{\sum_{i=1}^n E}{n} \quad (3-35)$$

و در این رابطه داریم:

$$if \ q_{observed} > q_{calculated} \rightarrow E = \frac{q_{observed}}{q_{calculated}} \quad (3-36)$$

$$\text{if } q_{\text{calculated}} > q_{\text{observed}} \rightarrow E = \frac{q_{\text{calculated}}}{q_{\text{observed}}}$$

با محاسبه این خطا برای این سه رودخانه ملاحظه شد که رودخانه ساژن کریک دارای خطای معادل ۳/۷ می باشد در رودخانه ی البو ریور این خطا برابر ۱/۲۴ و برای جاکوبی ریور برابر ۴/۱۲ می باشد.

مقایسه رابطه جدید با سایر روابط مهم

روابط معروف که بیشتر مورد استفاده مهندسان قرار می گیرد عبارتند از: رابطه میر-پیتر-مولر، انشتین-براون، پارکر (۱۹۷۹) و پارکر (۱۹۸۲). این روابط معروف ترین و پر کاربرد ترین روابط در بحث انتقال رسوب هستند و معمولاً از این روابط در برآورد میزان رسوب منتقل شده از آنها استفاده می شود. خطای موجود در این روابط نیز استفاده از روش *MASE* مورد بررسی قرار گرفت.

رابطه میر-پیتر و مولر

این رابطه به عنوان اولین رابطه مهم ارایه شده در بحث انتقال رسوب می باشد و در سال ۱۹۴۸ توسط میر-پیتر و مولر ارایه شد (Parker, 2004).

$$q_B^* = 8(\tau^* - \tau_c^*)^{1.5} \quad \text{و} \quad \tau_c^* = 0.047 \quad (37-3)$$

در این رابطه از پارامتر بی بعد انیشتین برای بی بعد کردن استفاده شده است. با استفاده از روش *MASE* خطای این رابطه برای رودخانه های ساژن کریک و البو ریور به دلیل سخت بودن تشخیص شرایط بحرانی در این رودخانه ها قابل محاسبه نبوده و برای رودخانه و جاکوبی ریور تقریباً برابر ۱۹۰۰ خواهد بود.

رابطه انیشتین-براوون

این رابطه نیز یکی از روابط بسیار مهم محسوب میشود که در سال ۱۹۵۰ توسط انیشتین و براوون عنوان شد (Parker, 2004).

$$\text{if } \tau^* \geq 0.182 \rightarrow q_B^* = 40Y\tau^{*3} \quad (3-38)$$

$$\text{if } \tau^* < 0.182 \rightarrow q_B^* = \frac{Y \exp(\frac{-0.391}{\tau^*})}{0.465}$$

در این رابطه Y از رابطه زیر به دست می آید:

$$Y = \left(\frac{2}{3} + \frac{36v^2}{gD^3R_s}\right)^5 - \left(\frac{36v^2}{gD^3R_s}\right)^5 \quad (3-39)$$

در این رابطه U ویسکوزیته سینماتیکی می باشد.

در این رابطه نیز با استفاده از روش $MASE$ خطای مربوط به رودخانه های سازن کریک، البو ریور و جاکوبی ریور به ترتیب برابر $3/3$ ، $8/6$ و 21 خواهد بود.

رابطه پارکر (۱۹۷۹) و (۱۹۸۲)

پارکر و همکارانش در سال ۱۹۷۹ رابطه ای به شکل رابطه (۴۰.۳) ارائه کردند (Parker, 2004).

$$q_B^* = 11.2 \frac{(\tau^* - 0.03)^{4.5}}{\tau^{*3}} \quad (3-40)$$

در سال ۱۹۸۲ پارکر و همکارانش فرمول جدیدی ارائه کردند که در واقع اصلاح فرمول قدیمی تر آنها بود (Parker, 2004).

(۴۱-۳)

$$if \ .08322 < \tau_{50sub}^* < .1445 \rightarrow q_B^* = .0025 \tau_{50sub}^{*1.5} \exp[14.2(\frac{\tau_{50sub}^*}{.0876} - 1) - 9.28(\frac{\tau_{50sub}^*}{.0876} - 1)^2]$$

$$if \ .1445 < \tau_{50sub}^* \rightarrow q_B^* = 11.2 \tau_{50sub}^{*1.5} (1 - \frac{.072}{\tau_{50sub}^*})^{4.5}$$

خطای این رابطه برای رودخانه های ساژن کریک، البو ریور و جاکوبی ریور به ترتیب ۲۱۸، ۲/۲ و ۱۰۲

می باشد.

فصل چهارم

بررسی برخی نگرش ها در برآورد میزان انتقال

رسوب

بررسی برخی نگرش های جدید برای برآورد میزان انتقال رسوب در رودخانه های با بستر شنی که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت:

۴-۱- بررسی نگرش ها

در فصل سوم روشهای مرسوم بدست آوردن روابط انتقال رسوب به طور کامل با ذکر مثال تشریح شد و نیز نگرش و رابطه ای جدید با خطای پایین ارایه گردید اما این روش ارایه شده حاصل بررسی و تجزیه و تحلیل نگرش های مختلف می باشد که در این فصل سعی می شود به دو روش عمده از آنها اشاره شود. در کلیه روشها با استفاده از رگرسیون غیر خطی از رودخانه های مختلف روابط گوناگونی استخراج شد. سپس برای ارزیابی این روابط حداقل از اطلاعات موجود سه رودخانه دیگر استفاده شد. تمامی داده ها با استفاده از روابط (۳-۱۲) و (۳-۱۳) بی بعد شده اند. در مراحل اولیه نماینده ذرات مختلف مانند D_{50} ، D_{90} و همچنین اطلاعات مربوط به رودخانه های مختلف به تنهایی مورد بررسی قرار گرفت. روش های زیر روش هایی هستند که در مراحل نهایی مورد بررسی قرار گرفتند.

۴-۱-۱- روش اول

این روش نگرشی است که از مد ذرات به عنوان نماینده ذرات استفاده شده است با استفاده از مد ذرات به عنوان نماینده ذرات داریم:

برای اوک کریک داریم:

$$q_o^* = 4E(+10)\tau^{*9.609} \quad (۴-۱)$$

برای نهال یاتیر نیز داریم:

$$q_N^* = 277.3\tau^{*2.118} \quad (۴-۲)$$

و برای فرمول نهایی داریم:

$$q_T^* = \frac{1}{.003\tau^{*-2.118} + 2.5E(-11)\tau^{*-9.609}} \quad (3-4)$$

مد ذرات برای رودخانه های ساژن کریک، البو ریور با آنها برابر است و خطایی برابر آنها ایجاد می کند اما در جاکوبی ریور D_{50} آن برابر ۲۰ میلیمتر و مد آن برابر ۲۸ میلیمتر می باشد.

با قرار دادن D_m در این رابطه برای رودخانه های ساژن کریک، البو ریور و جاکوبی ریور و استفاده از روابط فصل سوم خطاهایی به ترتیب معادل تقریباً ۱۵۰۰ و ۸/۸۳ و ۱۸/۳۸ را مشاهده می شود. با قرار دادن D_m در این رابطه برای رودخانه های ساژن کریک، البو ریور و جاکوبی ریور و استفاده از روابط فصل سوم خطاهایی به ترتیب معادل بیشتر از ۱۵۰۰ و ۸/۸۳ و ۵/۳۵ به دست می آید.

۴-۱-۲- روش دوم

در این روش از D_{50e} به عنوان نماینده ذرات و از اطلاعات رودخانه اوک کریک به تنهایی برای استخراج رابطه اصلی استفاده شده است.

در ابتدا تنش های برشی و رسوبات منتقل شده با استفاده از روابط (۳-۱۲) و (۳-۱۳) به صورت بی بعد در آمدند و با استفاده از یک رگرسیون غیر خطی روی اطلاعات رودخانه اوک کریک به رابطه زیر حاصل می شود:

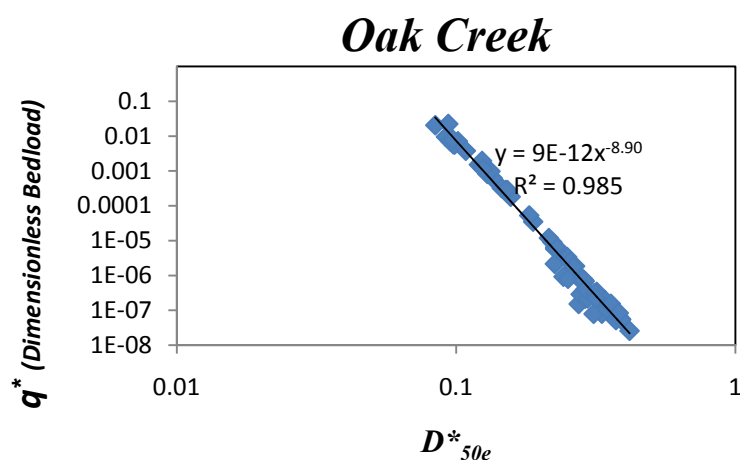
$$q_o^* = 4E(+10)\tau^{*9.609} \quad (4-4)$$

با روش پی باکینگهام پارامتر های موثر معین شدند و سپس با قرار دادن تنش ها و رسوبات بی بعد در این رابطه معادله زیر حاصل شد:

$$\frac{q_B}{\sqrt{R_S g D_{50e}^3}} = 4E(+10) \left(\frac{\tau_0}{g(\rho_s - \rho) D_{50e}} \right)^{9.609} \quad (5-4)$$

که در این رابطه R_s وزن مخصوص مستغرق ذرات، q_B مقدار حجمی انتقال رسوب بستر در واحد عرض کانال، g شتاب جاذبه زمین، τ_0 تنش برشی بستر، ρ و ρ_s به ترتیب چگالی آب و مصالح بستر و D_{50} اندازه میانه ذرات می باشند.

با حل این معادله یک D_{50e} به ازای هر تنش برشی و بار بستر منتقل شده مربوط به آنها به دست می آید. این مقادیر به دست آمده برای D_{50e} در لحظات مختلف با استفاده از رابطه (۳-۳۰) به شکل بی بعد در می آید. با یک رگرسیون غیر خطی می توان یک رابطه کلی D_{50e} بر حسب رسوبات منتقل شده بی بعد بدست آورد.



شکل (۴-۱) D_{50e}^* بر حسب رسوبات منتقل شده بی بعد در رودخانه اوک کریک

۴-۲- بررسی خطا ها

روابط ارایه شده با استفاده از اطلاعات چهار رودخانه نهال یاتیر، ساژن کریک، البو ریور و جاکوبی ریور مورد ارزیابی قرار گرفته است. در جدول (۴-۱) مشخصات این رودخانه ها آورده شده است.

جدول (۴-۱) - مشخصات رودخانه های آزمایش شده

مشخصات رودخانه	نهال یاتیر	ساژن کریک	البو ریور	جاکوبی ریور
نوع رودخانه	فصلی	دایمی	دایمی	دایمی
لایه محافظ	بدون لایه محافظ	دارای لایه محافظ	دارای لایه محافظ	دارای لایه محافظ ضعیف
نوع نمونه گیر	Three slot-samplers of the Brik beck type	Helley-Smith	Water survey of Canada basket	Helley-Smith
سال و محقق مربوطه	رید و همکاران - ۱۹۹۵	اندروو-۱۹۹۴	هالینگش-۱۹۷۱	لیسل-۱۹۸۹
تعداد نمونه	۷۴	۵۵	۱۹	۱۰۰

با استفاده از روابط (۳-۳۵) و (۳-۳۶) خطای این روش محاسبه شد و چون این روش نیز بر پایه D_{50e} بنا نهاده شده است خطاهای کمتری نسبت به سایر روش ها ایجاد کرده و به روش اصلی که در فصل سوم ذکر شد نزدیک تر است.

خطاهای این روش برای رودخانه های نهال یاتیر، ساژن کریک، البو ریور و جاکوبی ریور به ترتیب معادل ۵/۱۴، ۵/۱۵، ۱/۳۳ و ۵/۹۶ می باشند.

فصل پنجم

نتایج و پیشنهادات

۵-۱- نتایج

رودخانه های طبیعت را می توان با توجه به اندازه دانه های بستر به دو دسته شنی و ماسه ای طبقه بندی کرد. همچنین می توان رودخانه ها را از روی مدت زمان جریان داشتن آب در آنها نیز به دو دسته فصلی و دایمی تقسیم کرد. در رودخانه های دایمی آب در تمام طول سال و عمدتاً با دبی پایه در آنها جریان دارد، بلعکس رودخانه های فصلی مدت زمان طولانی خشک بوده و معمولاً در طی سال شاهد چندین سیلاب گذرا در آنها هستیم. معمولاً در رودخانه های دایمی تنش برشی بستر کمتر از رودخانه های فصلی است و در نتیجه میزان انتقال رسوب در رودخانه های فصلی از دایمی بالا تر خواهد بود. عاملی مهم در تعیین میزان انتقال رسوب میزان تسلیح بستر به وسیله درشت دانه ها می باشد. در رودخانه های فصلی به دلیل عبور سیلاب های شدید معمولاً دانه های درشت بستر شسته شده و سطح بستر فاقد دانه درشت و لایه پوششی می باشد. در رودخانه های دایمی به دلیل جریان دبی پایه در اکثر اوقات ریزدانه ها شسته شده و جریان قدرت کافی برای شستن دانه های درشت را ندارد. بنابراین اکثراً در رودخانه های دایمی شاهد لایه مسلح کننده درشت دانه در سطح آنها هستیم. به ندرت برخی از رودخانه ها نیز بین این دو دسته دیده شده است. در واقع در آنها با توجه به دبی گذرنده، لایه مسلح ضعیف دیده می شود که با استفاد از تنش برشی بی بعد مبنا می توان میزان مسلح بودن بستر را پیش بینی کرد. در بین رودخانه ها دو رودخانه نهال یاتیر و اوک کریک که به ترتیب فصلی و دایمی هستند بیشترین و کمترین میزان انتقال رسوب را درگستره وسیعی از تنش های برشی از خود نشان می دهند. با استفاده از اطلاعات این دو رودخانه و رگرسیون غیر خطی رابطه ای جدید (رابطه ۵-۱) برای پیش بینی میزان انتقال رسوب در رودخانه های با بستر شنی ارایه شد. در این رابطه از میانگین موثر ذرات استفاده شده است.

$$q_T^* = \frac{1}{0.003\tau^{*-2.118} + 2.5E(-11)\tau^{*-9.609}} \quad (۵-۱)$$

باید توجه داشت که با عبور جریان از رودخانه ها میزان انتقال رسوب در آنها پیوسته در حال تغییر است. بنابر این اندازه میانگین ذرات بستر نیز در هر لحظه در حال تغییر است. از این رو در نظر گرفتن یک قطر برای تمامی لحظات نامناسب به نظر میرسد. در این تحقیق با استفاده از نگرش ارایه شده هر لحظه می توان اندازه قطر میانگین ذرات را به دست آورد که آنرا قطر میانگین موثر ذرات می نامیم و با استفاده از آن در رابطه ی انتقال رسوب پیشنهادی می توانیم مقدار رسوب انتقال یافته را در رودخانه ها پیش بینی نماییم. در گام بعدی صحت روابط پیشنهادی با اطلاعات سه رودخانه بررسی و تایید شده و در نهایت مقایسه ای بین این رابطه و روابط مهم موجود در بحث انتقال رسوب انجام گرفت که نتایج آن را در جدول (۵-۱) مشاهده می کنیم. در مجموع نکات مهم به دست آمده را می توان در موارد زیر خلاصه کرد:

- ۱- رودخانه ها را می توان با توجه به اندازه ذرات بستر به دو دسته شنی و ماسه ای طبقه بندی کرد.
- ۲- در نوعی دیگر از طبقه بندی می توان با توجه به مدت زمان وجود جریان در رودخانه ها آنها را به دو دسته دایمی و فصلی تقسیم کرد.
- ۳- میزان لایه پوششی بستر در اندازه انتقال رسوب در رودخانه ها مهم است که با توجه به تنش برشی مبنا ارایه شده در این تحقیق می توان به میزان تسلیح بستر پی برد.
- ۴- رودخانه های اوک کریک و نهال یاتیر به ترتیب نمونه هایی از رودخانه های دایمی با رسوب منتقل شده کم و فصلی با رسوب منتقل شده بالا می باشند.
- ۵- با استفاده از اطلاعات رودخانه های اوک کریک و نهال یاتیر رابطه ای جدید برای پیش بینی میزان انتقال رسوب در رودخانه های شنی ارایه شد.
- ۶- در رابطه جدید به جای استفاده از یک قطر ذرات در تمامی لحظاتی که جریان در رودخانه وجود دارد از رابطه ای استفاده شد که در هر لحظه قطر میانگین ذرات بستر متعلق به آن لحظه را میدهد.

۷-صحت رابطه با سه رودخانه دیگر بررسی و خطا ها محاسبه گردید.

۸-رابطه ی جدید با روابط مهم انتقال رسوب مقایسه شد. در جدول (۵-۱) خطا های روابط معروف انتقال رسوب و روابط پیشنهادی آمده است

جدول(۵-۱)- خطاهای روابط معروف انتقال رسوب و رابطه پیشنهادی(کلیه خطا ها از روش خطای میانگین به دست آمده است)

رابطه / رودخانه	سازن کریک	البو ریور	جاکوبی ریور
رابطه انیشتین-براون (۳۸.۳)	۳/۳	۸/۶	۲۱
رابطه میر -پیتز و مولر (۳۷.۳)	-	-	۱۹۰۰
رابطه اصلاح شده پارکر (۴۱.۳)	۲۱۸	۲/۲	۱۰۲
رابطه (۳.۴) - در آن از مد ذرات استفاده شده.	۱۵۰۰	۸/۸۳	۵/۳۵
رابطه(۴.۴) - به دست آمده از اطلاعات اوک کریک که در آن از میانگین موثر ذرات استفاده شده.	۵/۱۵	۱/۳۳	۵/۹۶
رابطه(۲۵.۳) - بدست آمده از اطلاعات اوک کریک و نهال یاتیر که در آن از میانگین موثر ذرات استفاده شده.	۳/۷	۱/۲۴	۴/۱۲

۵-۲- پیشنهادات

۱- با توجه به متمرکز بودن تحقیقات اخیر بر روی حرکت ذرات می توان در آینده از روش دنبال کردن

ذرات به

وسیله سنسورهای الکترونیکی، مغناطیسی و رنگ کردن ذرات بستر حرکات ذرات را در بستر مورد بررسی

قرار داد.

۲- در این تحقیق انتقال رسوب در خاک های غیر چسبنده بررسی شد که می توان همین بررسی ها را بر

روی خاکهای چسبنده انجام داد.

۳- می توان همین اطلاعات را در مقیاس آزمایشگاهی در فلوم هایی با شیب های مختلف انجام داده و نقش

شیب را در تحقیق نشان داد.

Andrews, E. D., Scour and fill in a stream channel, East Fork River, western Wyoming, U.S. Geol. Sum Prof. Pap., 1117, 1979.

Ashworth, P. J., and R. I. Ferguson, Interrelationships of channel processes, changes and sediments in a proglacial braided river, Geogr. Ann., 68A, 361-371, 1986.

Bagnold, R.A., The nature of saltation and of bed-load transport in water, A332, 473-504, 1973.

Brayshaw, A. C., L. E. Frostick, and I. Reid, The hydrodynamics of particle clusters and sediment entrainment in coarse alluvial channels, Sedimentol., 30, 173-143, 1983.

Buffington, J. M., W. E. Dietrich, and J. W. Kirchner, Friction angle Measurements on a naturally formed gravel streambed: Implications for critical boundary shear stress, Water Resour. Res., 28, 411-425, 1992.

Chin C, Stream bed armouring, Dept. Civ. Eng., Univ. of Auckland, New Zealand, 1985.

Dietrich, J. W. Kirchner, H. Ikada, and F. Iseya, Sediment supply and the development of the coarse surface layer in gravel-bedded rivers, Nature 340, 215-217, 1989.

Diplas, P., Bedload transport in gravel-bed streams, J. Hydraulics Eng. 113(3), 277-291, 1987

Diplas, P., Equal mobility versus changing bedload grain sizes in gravel-bed streams, Discussion, in Dynamics of gravel-bed rivers, edited by p. Billi, R. D. Hey, C. R. Thoren, and P. Tacconi, New York, 1992.

Diplas, P., Differential bedload transport rates in a gravel-bed stream: A grain-size distribution approach, Earth surface processes and landforms (17), 629-632, 1992.

Emmett, W. W. and M. Gordon Wolman, Effective discharge and gravel-bed rivers, Earth surface processes and landforms (26), 1369-1380, 2000

Garcia, C. J. B. Laronne, and M. Sala, Variable source areas of bedload in a gravel-bed stream J. of Sedimentary research, VOL69 1999.

Hassan, M. A., Scour, fill, and burial depth of coarse material in gravel bed streams, Earth Surface Processes Landform, 15, 341-356, 1990

Hayward, J. A., Mountain stream sediments, in Physical Hydrology, pp.193-212, edited by D. L. Murray and P. Ackroyd, New Zealand Hydrological Society, Wellington, 1979.

Jaber, A. H. , Bedload Transport in Gravel-Bed Stream under a wide range of shields stresses, Ph.D. thesis, 2002.

Jaber, A. H. and P. Diplas, Bedload Transport in Gravel-Bed Stream with Unimodal Sediment, J. Hydraulic Engineering (ASCE) 0733-9429, 2003.

Kuhnle, R. A., Bedload transport during rising and falling stages on two small streams, Earth Surf. Processes Landforms, 17, 191-197, 1992

Laronne, J. B., I. Reid, Y. Yitshak, and L. E. Frostick, The non-layering of gravel streambeds under ephemeral flood regimes, J. Hydraulics, 159, 353-363, 1994.

Leopold, B., and W. W. Emmett, Bedload measurements, East Fork River, Wyoming, Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A., 73, 1000-1004, 1976.

Li, Z., and P. D. Komar, Laboratory measurements of pivoting angles for applications to selective entrainment of gravel in a current, Sedimentology, 33, 413-423, 1986.

Lisle, T. E., and M. A. Madeg, Spatial variation in Armouring in a channel with high sediment supply, U.S.G.S, 1992.

Maks, H. A., S. Havlin, P. R. King, and H. E. Stanley, Spontaneous stratification in granular mixtures, Nature, 386, 379-382, 1997.

Milhouse, R. T., sediment transport in a gravel-bottomed stream, Ph.D. thesis, Oregon state Univ. 1973.

Parker, G., and P. C. Klingeman, On why gravel bed streams are paved, Water resources, 18(5), 1409-1423, 1982.

Parker, G., P. C. Klingeman, and D. G. McLean, Bedload and size distribution in paved gravel bed streams, J. Hydraulics. 108(HY4), 544-569, 1982.

Parker, G., Surface-based bedload transport relation for gravel rivers, J. Hydraulics. 28(4), 417-436, 1990.

Parker, G., 1D sediment transport morphodynamics with application to rivers and turbidity currents, 2004.

Petrie, J., and P. Diplas, Statistical approach to sediment sampling accuracy, Water resources Res., 36(2), 597-605, 2000.

Ponce, V. M. Discussion By H. R. Hudson "Bedload and Size Distribution In Paved Gravel-Bed Streams, 1982.

Powell, D. M., I. Reid, J. B. Laronne and L. E. Frostick, Cross-stream Variability of bedload flux in narrow and wider ephemeral channels during desert flash floods, in Gravel-Bed rivers in the environment, Water Resources publications, Colorado, 1998.

Powell, D. M., I. Reid, and J. B. Laronne, Evolution of bed load grain size distribution with increasing flow strength and the effect of flow duration on the caliber of bed load sediment yield in ephemeral gravel bed rivers, Water Resources Res., 37(5), 1463-1474, 2001.

Reid, I., and M. A. Hassan, The influence of microform bed roughness elements on flow and sediment transport in gravel bed rivers: A reply, Earth Surface Processes and Landforms, 17, 535-538, 1992.

Reid, I., and J. B. Laronne, Bed load sediment transport in an ephemeral stream and a comparison with seasonal and perennial counterparts, Water resources Res. 31(3), 773-781, 1995.

Reid, I., J. B. Laronne, and D. M. Powell, The Nahal yatir bedload database: sediment dynamics in a gravel-bed ephemeral stream, Earth surface processes and Landforms, 20, 845-857, 1995.

Reid, I., D. M. Powell, and J. B. Laronne, Prediction of bed-load transport by desert flash floods, J. Hydraulics. Eng., 122(3), 170-173, 1996.

Reid, S. C., S. N. Lane, J. M. Berney, J. Holden, The timing and magnitude of coarse sediment transport events within an upland, temperate gravel-bed river, Geomorphology 83, 152-182, 2007.

Rickenmann, D. and B. W. McArdell, continuous measurement of sediment transport in the Erlenbach stream using piezoelectric bedload impact sensor, Earth surface processes and landforms, 32, 362-378, 2007.

Rosato, A., K. J. Strandburg, F. prinz, and R. H. Swendsen, Why the brazil nuts are on top: size segregation of particulate matter by shaking, Res. Let.,58(10),1038-1040, 1987.

Shih, S-M., and P. D. Komar, Hydraulic controls of grain-size distributions of bed load gravels in Oak Creek, Oregon, USA, Sedimentology,37, 367-376, 1990.

Wheater, H. S., A. P. Bultler,E. J. stewart, and G. S. Hamilton,A multivariate spatial-temporal model of rainfall in southwest Saudi Arabia. I. spatial rainfall characteristics and model formulation, J. Hydraulics, 125, 175-199, 1991.

Abstract

In nature, rivers can be divided in two categories: Sand and Gravel bed streams. The main difference is channel bed materials in gravel bed streams materials is typically poor sorted but in sandy streams the bed material is more uniform. More over due to flow characteristics streams can be classified to perennial and ephemeral streams. Perennial rivers which generally found in humid environments and convey water throughout the year, have low discharges and bed shear stress. As a result bed load transport in these streams is not very high. Existing coarser layer on the subsurface material is one of the most important features in perennial streams. This layer called armouring layer. Armoured layer protect bed-material from scouring. While ephemeral streams have commonly seen in arid and semiarid environments, discharge water infrequently during flood events. With a view to estimating bedload transport in gravel bed streams many equations have proposed but most of them make high errors and cannot be used in all rivers. In addition most researchers have used one diameter as indicator of bed materials. In this research a new relation has been proposed for estimating bedload transport in gravel bed streams. In this research a relation has been shown the average diameter for every minute as indicator of bed material. At the end new relation has been compared with other famous relations.