نشریه علمی- پژوهشی

علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management
Science & Engineering

سال هشتم- شماره ۲۶- پاییز ۱۳۹۳

Vol. 8, No. 26, Fall 2014

تاثیر برداشت شن و ماسه بر میزان بار رسوبی و دانه‌بندی بار بستر در رودخانه‌ی کجور

حسین خیرفام[۱] و سیّدحمیدرضا صادقی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۶/۲۳

چکیده

برداشت شن و ماسه از بستر و کناره‌های رودخانه سبب تغییر در شرایط هیدرولیکی، هیدرولوژیکی، تغییر توان حمل جریان و افزایش فرسایش بستر و کناره‌های رودخانه و تخریب سازه‌های موجود در مسیر رودخانه می‌شود. آگاهی از تاثیر برداشت شن و ماسه بر مقدار، کیفیت و نحوه‌ی انتقال رسوبات امری اجتناب‌ناپذیر است. در این پژوهش به منظور بررسی تاثیر برداشت شن و ماسه از رودخانه‌ی کجور در استان مازندران بر میزان انتقال بار معلق و بستر، تغییرات قطر و اندازه‌ی بار بستر انتقالی، به‌ترتیب تعداد ۱۲ و ۳ نمونه رسوب معلق و بستر در شرایط بدون و با برداشت محلی شن و ماسه و دبی از فلوم خروجی مستقر بر رودخانه‌ی کجور در حوزه‌ی آبخیز جنگلی آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرّس برداشت و آنالیزهای مربوطه انجام گردید. نمونه‌برداری بار معلق با استفاده از دبّه‌های نمونه‌بردار و بار بستر با استفاده از تله‌انداز سبدی شکل رسوب بستر انجام شد. دانه‌بندی بار بستر نیز با استفاده از الک‌های استاندارد و آنالیزهای مربوطه در محیط نرم‌افزار GRADISTAT و Excel ۲۰۰۷ انجام گردید. تحلیل نتایج نشان داد که پس از برداشت شن و ماسه از رودخانه، بار معلق بین ۳۰۰ تا ۵۴۷ درصد، بار بستر به طور متوسط ۱۱۳۰ درصد و نسبت بار بستر به معلق به‌طور متوسط ۱۲۰ درصد بیش‌تر از حالت بدون برداشت مصالح بوده است. قطر D_{10} بار بستر برای شرایط با برداشت کم، متوسط و شدید به‌طور متوسط به‌ترتیب ۱۷، ۲۴ و ۳۵ درصد افزایش داشت. قطر D_{50} نیز در شرایط با برداشت کم و متوسط و با دبی کم ۲۱ درصد افزایش و در شرایط با شدت برداشت زیاد در دبی مختلف رفتار پیچیده‌ای داشت. قطر D_{90} هم در شرایط با شدت برداشت کم تغییرات نامحسوسی داشت ولی با شدت برداشت متوسط و زیاد ۱۰۰ تا ۹۰۰ درصد افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: استان مازندران، انتقال رسوب، حوزه‌ی آبخیز جنگلی، نمونه‌برداری بار بستر.

مقدمه

هرساله مقدار زیادی از خاک کشور در اثر فرسایش آبی و بادی انتقال می‌یابد که باعث ایجاد مشکلات اجتماعی و اقتصادی زیادی می‌شود [۲۲] با انتقال رسوبات حاصل از فرسایش آبی به رودخانه‌ها خساراتی به طبیعت، کشاورزی، سازه‌های آبی و رسوب‌گذاری در مخازن سدها وارد می‌شود. از طرفی طراحی و ساخت هر گونه تاسیسات ذخیره‌کننده و انحراف آب و عملکرد خوب آن‌ها، در گرو شناخت کمیّت و کیفیت مواد حمل شده در جریان آب می‌باشد [۳۰]. انتقال ذرات رسوبی به دو شکل بار بستر و معلق صورت می‌گیرد. بار معلق به رسوباتی اطلاق می‌گردد که به واسطه‌ی آشفتگی جریان، به‌مدت قابل توجهی به‌صورت معلق بوده و به‌وسیله‌ی جریان انتقال می‌یابند [۱۳] و اندازه‌گیری آن به‌وسیله‌ی نمونه‌برداری و روش‌های دیگر متداول بوده و در بسیاری از ایستگاه‌ها اندازه‌گیری می‌گردد [۲۹]، حال آن‌که بار بستر قسمتی از رسوبات کل می‌باشد که در تماس با بستر و به‌صورت غلتش، لغزش و گاهی به‌صورت جهش انتقال می‌یابند [۹ و ۱۸].

بر اساس مشاهدات و مطالعات صورت گرفته میزان انتقال بار بستر بسته به شرایط مکانی، زمانی، وضعیت جریان، جنس مواد بستری و دخالت در سیستم طبیعی رودخانه متغیر است [۲، ٦ و ١٤]. از طرفی در عصر حاضر افزایش روز افزون جمعیّت همراه با افزایش برداشت شن و ماسه در مسیر رودخانه‌ها به منظور فعالیّت‌های اقتصادی است که باعث ایجاد مشکلاتی در محیط‌زیست [۱]، تغییر در رفتار دینامیک رودخانه‌ها، الگو و میزان انتقال رسوب توسط جریان می‌شود [۸]. این تغییرات در رفتار هیدرولیکی رودخانه باعث تغییر در میزان انتقال، تغییر در نسبت بین بار بستر و معلق و اندازه‌ی رسوبات انتقالی خواهد بود که اختلال در مدیریت و برنامه‌ریزی را به همراه خواهد داشت [۲۵]. بنابراین با توجه به اهمیّت اندازه‌گیری و تخمین بار انتقالی رودخانه و همراه بودن آن با شرایطی از قبیل برداشت شن و ماسه از مقطع رودخانه و هم‌چنین پایین بودن کارایی

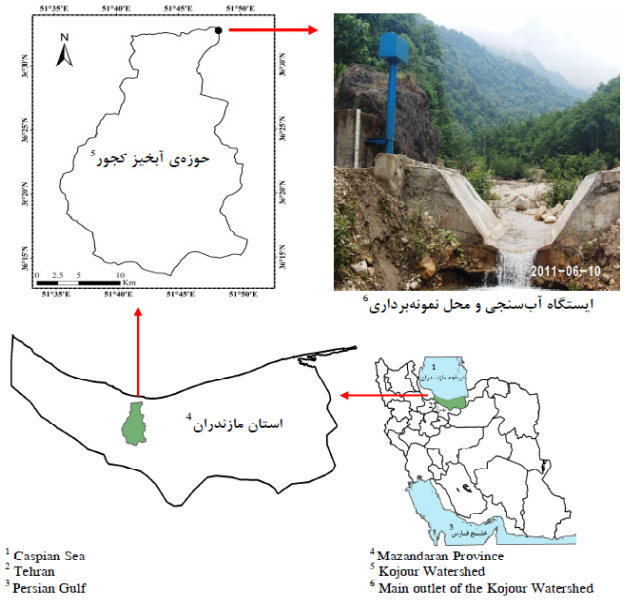
۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرّس، دانشکده منابع طبیعی، مازندران، نور، رایانامه: h.kheirfam@yahoo.com
۲- استاد (نویسنده مسئول) گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرّس، دانشکده منابع طبیعی، مازندران، نور، رایانامه: sadeghi@modares.ac.ir

روش‌های متداول، شناخت میزان، نحوه‌ی انتقال و تغییرپذیری ویژگی‌های ریخت‌سنجی بارهای رسوبی به‌ویژه بار بستر [۱۷] امری ضروری می‌باشد.

در زمینه‌ی اثرات برداشت شن و ماسه روی سیستم و رژیم رودخانه پژوهش‌های متعددی صورت گرفته است. Kondolf [۱۱] با مطالعه تاثیر برداشت شن و ماسه بر رژیم جریان و انتقال بار رسوبی در رودخانه‌ی راین[1] به این نتیجه دست یافت که پس از برداشت طولانی مدت شن و ماسه از مقطع رودخانه، انتقال بار معلق از بالادست افزایش یافته و در پایین دست نیز رسوبات دانه درشت کناره‌ها و بستر رودخانه مستعد فرسایش خواهند بود. Rinaldi و Simon [۱۹] با مطالعه‌ی تاثیر برداشت شن و ماسه در رودخانه‌ی آرنو[2] در ایتالیا، به این نتیجه رسیدند که برداشت شن و ماسه باعث افزایش برداشت رسوبات بستری در پایین‌دست محل برداشت شد. Brown و همکاران [۲] با نمونه‌گیری از قبل و بعد از ۱۰ معدن برداشت شن و ماسه به این نتیجه رسیدند که مقدار گل‌آلودگی و اندازه‌ی رسوبات ریز بعد از محل معادن تغییر کرد. Kinghton [۱۰] تاثیر معدن‌کاوی در رودخانه‌ی رینگاروما[3] نحوه‌ی انتقال رسوبات درشت دانه را مطالعه کردند و به این نتایج دست یافتند که در مناطق پایین‌دست محل معدن، رسوبات دانه درشت چسبیده به دیواره‌های رودخانه توسط جریان برداشت و به‌صورت بار بستر حمل می‌شود. Doyle و Shields [۵] با استفاده از مدل CEM[4] به بررسی تاثیر تغییر مقاطع رودخانه‌ی می‌سی‌سی‌پی[5] ناشی از معدن‌کاوی روی تغییرات زمانی و مکانی دانه‌بندی رسوبات معلق و مواد بستری پرداخته و اعلام نمودند که تغییرات دانه‌بندی مواد بستر و رسوبات دانه درشت حمل شده از یک روند مشخصی پیروی نکرده است. Healy و Wo [۷] با بررسی اثر استخراج شن و ماسه و احداث سد در رودخانه‌ی شنی وای‌کاتو[6] نیوزیلند نشان دادند که یکی از دلایل عمده‌ی ایجاد اختلال در روند تغییرات دانه‌بندی رسوبات بستر رودخانه‌ها، برداشت شن و ماسه می‌باشد که می‌تواند شدّت تغییرات طبیعی پارامترهای دانه‌بندی رسوبات بستر را کاهش داده و در برخی موارد نیز روند آن‌ها را معکوس نماید. Rinaldi و همکاران [۲۵] با بررسی پژوهش‌های انجام شده در زمینه‌ی اثرات برداشت شن و ماسه و تجزیه و تحلیل آن در لهستان و اسپانیا به این نتیجه دست یافتند که تغییر در رفتار پویایی و شکل رودخانه به شدّت برداشت و نوع مواد تشکیل‌دهنده‌ی رودخانه بستگی دارد. Liangwen و همکاران [۱۳] با مطالعه‌ای در رودخانه‌ی دونجیانگ[7] در چین نشان دادند که برداشت شن و ماسه موجب تغییرات معنی‌دار زیادی در مورفولوژی و رژیم رودخانه مذکور شده است. Ashraf و همکاران [۱] با بررسی اثرات محیط زیستی چند معدن شن و ماسه در مالزی و با استفاده از نمونه‌برداری مقاطع و رسوبات رودخانه‌ای و نرم‌افزار HEC-RAS[8]، اعلام نمودند که برداشت شن و ماسه، باربستر در محل برداشت را کاهش و علاوه بر آن قدرت حمل جریان در پایین‌دست را افزایش و فرسایش بالادست و کناره‌ی رودخانه را در پی داشته و میزان گل آلودگی و اندازه و نوع رسوبات انتقالی را نیز تغییر داده است. Chen [٤] با استفاده از دو مدل CCHE۲D[9] و HEC-RAS اقدام به شبیه‌سازی رفتار رودخانه‌ی سالت[10] در آریزونا[11] تحت تأثیر برداشت معدن کرد. نتایج این تحقیق نشان داد که علاوه بر تغییر در رفتار انتقال رسوبات، نوع و میزان رسوبات نیز تغییر یافته است. Sracek و همکاران [۳۱] با استفاده از اندازه‌گیری رسوبات انتقالی جریان و عناصر چسبیده به رسوبات به بررسی تأثیر برداشت معدن شن و ماسه و عناصر قیمتی دیگر در رودخانه‌ی کافوه[12] در زامبیا پرداختند و نتیجه گرفتند که با افزایش برداشت، مقدار رسوبات معلق افزایش یافته و به‌تبع آن نیز عناصر مس، کبالت و منگنز با اثرات سوء محیط زیستی در پایین‌دست افزایش داشته است. در ایران نیز نوحه‌گر و محمودی [۱۷] با مطالعه‌ی تاثیر برداشت شن و ماسه در رودخانه‌ی میناب به این نتیجه دست یافتند که با افزایش برداشت شن و ماسه از رودخانه میزان فرسایش در بالادست محل برداشت افزایش پیدا کرده و دانه‌بندی رسوبات انتقالی به پایین‌دست تغییر کرد. صادقی و خالدی‌درویشان [۲۳] نیز نقش برداشت شن و ماسه بر افزایش توان حمل رسوب در رودخانه واز را معنی‌دار ارزیابی نمودند. صادقی و همکاران [۲٤] با بررسی تأثیر برداشت معدن شن و ماسه روی ریخت‌سنجی رسوبات بستر رودخانه‌ی واز استان مازندران بیان کردند که مقادیر $D_{۱۰}$، $D_{۵۰}$ و $D_{۹۰}$ رسوبات موجود در بستر پس از محل برداشت معدن کاهش یافته است. جباری و فرضی [۸] در بررسی تاثیر برداشت شن و ماسه بر تغییر الگوی رودخانه رازآور استان کردستان اعلام نمودند که بار رسوبی در پایین‌دست محل برداشت تا فاصله ۲۰۰ متری افزایش و اثرات آن تا فاصله‌ی ٦۰۰ متری ادامه داشته است. صادقی و همکاران [۲۲] تغییرپذیری ماهانه‌ی غلظت بار معلق در اثر برداشت شن و ماسه از سه معدن سنتی، نیمه‌صنعتی و صنعتی استان مازندران را بررسی کردند. نتایج حاکی از آن بود که مقدار غلظت بار معلق در شرایط فعالیّت معدن و شدت برداشت، افزایش بیش‌تری نسبت به قبل از معدن داشت. هم‌چنین، دامنه اثر محدود و حداکثر در حدود چند صد متری محل برداشت بر غلظت رسوبات معلق بود.

مطالعه‌ی پژوهش‌های گذشته حاکی از آن است که برداشت شن و ماسه باعث تغییرات متفاوت در الگوی هیدرولیکی رودخانه شده و باعث تغییر در میزان و دانه‌بندی بار رسوب شده است. از این‌رو انجام

1- Rhine
2- Arno
3- Ringarooma
4- Channel Evolution Models
5- Mississippi
6- Waikato
7- Dongjiang
8- Hydrologic Engineering Centers River Analysis System
9- Center for Computational Hydro Science and Engineering 2D
10- salt
11- Arizona
12- Kafue



شکل ۱- موقعیت حوزه‌ی آبخیز کجور و محل نمونه‌برداری

Fig.1. Kojour Watershed location and sampling place

مطالعات گسترده در این زمینه و در رودخانه‌های مختلف کشور برای رفتارسنجی صحیح رسوب‌شناسی[1] آن‌ها تاکید می‌شود. به این دلیل، پژوهش حاضر با هدف بررسی تاثیر برداشت شن و ماسه بر میزان انتقال بار بستر، معلق، نسبت بین بار بستر به معلق و هم‌چنین تغییرات دانه‌بندی بار بستر انتقالی توسط رودخانه‌ی کجور به‌سبب دسترسی و انجام مطالعات پایه و امکان اندازه‌گیری صحرایی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

پژوهش فعلی در محل خروجی حوزه آبخیز جنگلی آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرّس (کجور) واقع در ۳۰ کیلومتری دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس و جنوب شرقی نوشهر با مساحت حدود ۵۰۰۰۰ هکتار انجام گرفت. ارتفاع متوسط منطقه مورد مطالعه حدود ۲۰۰۰ متر و به‌طور عمده در طبقه شیب ٤٠ تا ٦٠ درصد واقع شده است. از نظر زمین‌شناسی به‌طور عمده به دوران دوم زمین‌شناسی تعلق دارد [۲۸]. برداشت شن و ماسه از مقطع رودخانه به سبب تامین نیازهای توسعه‌ای منطقه‌ای به‌صورت مکانیکی و از مناطق کم شیب و قابل دسترس و نزدیک به خروجی حوزه‌ی آبخیز صورت می‌گیرد. موقعیت منطقه مورد مطالعه و محل نمونه‌برداری در شکل ۱ نمایش داده شده است.

روش پژوهش

به‌منظور انجام این پژوهش ابتدا تعداد ۱۵ نمونه بار بستر و بار معلق از تیر تا آذر ۱۳۹۰ در محل فلوم واقع در خروجی آبخیز و به‌منظور بررسی تاثیر برداشت شن و ماسه بر میزان بار رسوبی و هم‌چنین نسبت بین بار بستر به معلق در طولی حدود ۱۵۰ تا۳۰۰ متر و با شدت‌های بهره‌برداری مختلف، برداشت گردید. ۳ عدد از نمونه‌های مذکور پس از عملیات برداشت شن و ماسه صورت گرفت. اندازه‌گیری بار بستر با استفاده از یک تله انداز آهنی رسوب بستر طراحی شده با ابعاد ۱۲۰، ٦٠ و ۷۰ سانتی‌متر، کف‌بند مضرّس و متناسب با ابعاد فلوم احداث شده در محل خروجی حوزه آبخیز و نیز تغییرات ثبت شده در دبی و بر اساس مبانی حاکم بر تله‌های زنبیلی اندازه‌گیری رسوب بستر [۱۵] انجام گردید.

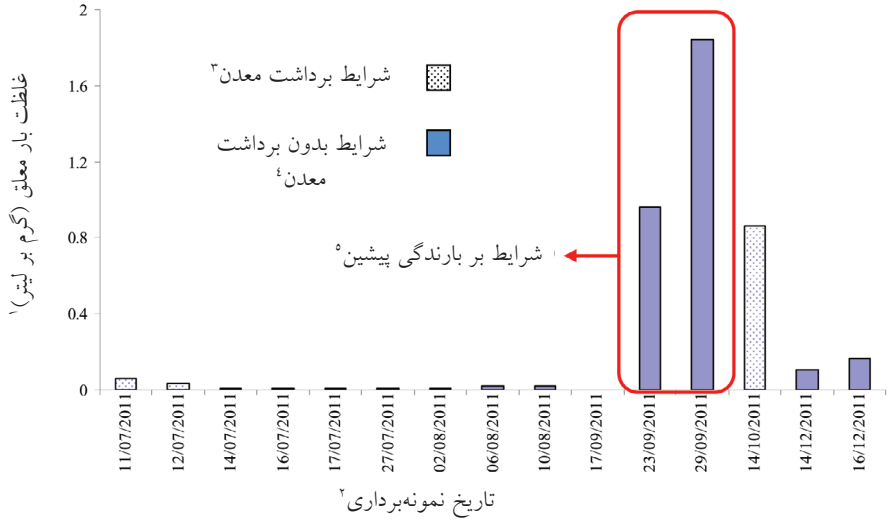
رسوبات بستری به تله انداخته شده به آزمایشگاه منتقل و وزن آن‌ها در هر لیتر بر حسب گرم اندازه‌گیری و با استفاده از الک‌های استاندارد و با بکارگیری صفحه‌ی لرزاننده اقدام به دانه‌بندی رسوبات بستر گردید. وزن رسوبات هر یک از الک‌ها اندازه‌گیری شده و با استفاده از نرم‌افزار GRADISTAT تحلیل شد. هم‌چنین از اندازه‌های D_{10}، D_{50} و D_{90} به‌عنوان معرف‌های خوب برای تشخیص اندازه‌ی رسوبات و تاثیر شرایط مختلف حاکم بر رودخانه و جریان [۱]، به‌عنوان معیار مقایسه و تحلیل پیامد برداشت شن و ماسه بر دانه‌بندی بار بستر استفاده شد. به‌طور هم‌زمان با اندازه‌گیری بار بستر، بار معلق نیز در داخل فلوم با استفاده از بطری‌های نمونه‌برداری بار معلق اندازه‌گیری گردیده و پس از انتقال به آزمایشگاه به مدت ٢٤ ساعت به‌منظور ته‌نشینی کامل بار معلق به صورت ثابت در آزمایشگاه نگهداری گردیده و سپس نمونه‌ی رسوب آبکش شده [۳۲] به مدت ٢٤ ساعت در آون قرار گرفت [۲۱ و ٢٦]. پس از اطمینان از ثابت شدن کاهش وزن بار معلق در فرآیند خشک کردن، نمونه‌ها وزن گردید و مقدار بار معلق نیز بر حسب گرم بر لیتر به‌دست آمد. هم‌چنین همزمان با برداشت نمونه بارهای رسوبی، دبی جریان نیز از اشل موجود در فلوم قرائت و با استفاده از جدول مخصوص فلوم، اندازه‌گیری گردید.

نتایج و بحث

برای انجام این پژوهش ۱۵ نمونه رسوب بار بستر و بار معلق همزمان برداشت و وزن نمونه‌ها بر حسب گرم بر لیتر اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری بار معلق حاکی از افزایش معنی‌دار میزان انتقال بار معلق پس از برداشت شن و ماسه در شرایط با دبی پایه و بدون بارش (تابستان) به‌طور متوسط ۵۰۰ درصد و در فصل پاییز نسبت به شرایط بدون بارش و بدون برداشت شن و ماسه به‌طور متوسط ٥٤٧ درصد بوده است. ولی در شرایطی که چند روز قبل بارندگی رخ داده و حتی برداشت شن و ماسه صورت نگرفته بود، میزان بار معلق نسبت به شرایط برداشت شن و ماسه و بدون بارندگی چند روز قبل، به‌طور متوسط ۱۱۲ درصد و نسبت به شرایط بدون برداشت شن و ماسه تقریباً ۱۰ برابر افزایش داشته است. شکل ۲ نمودار تغییرات میزان بار معلق در هنگام برداشت و عدم برداشت شن و ماسه را نشان می‌دهد.

اندازه‌گیری وزن بار بستر به تله انداخته شده نشان داد که برداشت

1- Fluvial Behaviors



شکل ۲- نمودار میزان انتقال بار معلق در زمان‌های برداشت و عدم برداشت معدن شن و ماسه

Fig.2. The chart of suspended load transport rate in with and without sand and gravel mining conditions

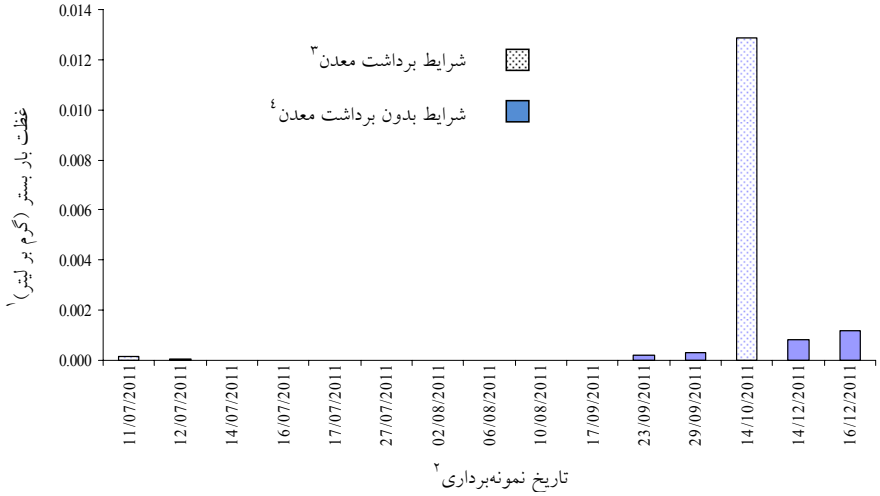
شن و ماسه تاثیر زیادی داشته به‌نحوی که به‌طور متوسط در فصل تابستان و در شرایط با دبی پایه، ۲۳ تا ۸۲ برابر میزان انتقال بار بستر همانند بار معلق توسط جریان رودخانه نسبت به شرایط بدون برداشت شن و ماسه افزایش داشته است. در فصل پاییز و با افزایش دبی، به‌طور متوسط پس از برداشت شن و ماسه میزان انتقال بار بستر ۱۲ برابر بیش‌تر از حالت بدون برداشت را نشان داد. در حالی‌که در شرایط مذکور میزان انتقال بار معلق ٦ برابر افزایش یافت. در کل دوره پژوهشی به‌طور متوسط مقدار بار بستر پس از برداشت شن و ماسه ۱۱۳۰ درصد نسبت به حالت بدون برداشت افزایش یافته است. در دبی‌های کم رودخانه (دبی پایه)، میزان بار بستر بسیار پایین بوده است. به‌هر تقدیر، با توجه به افزایش میزان بار معلق و بستر در اثر برداشت شن و ماسه، بار کل رسوب رودخانه‌ای نیز به‌طور متوسط ۱۲۰ درصد افزایش داشته است. شکل ۳، نمودار تغییرات بار بستر انتقالی رودخانه‌ای در شرایط مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در ادامه، روند تغییرات نسبت بار بستر به معلق و هم‌چنین تاثیر برداشت شن و ماسه بر این نسبت در رودخانه کجور در شکل ٤ نشان داده شده است.

بررسی دقیق شکل‌های ۲ تا ٤ گویای تاثیر زیاد برداشت شن و ماسه بر تغییر مقدار بار رسوبی و هم‌چنین افزایش میزان نسبت بار بستر به معلق می‌باشد که می‌توان نتیجه گرفت که تاثیر برداشت شن و ماسه بر میزان انتقال بار بستر نسبت به میزان انتقال بار معلق زیادتر بوده و منجر به افزایش نسبت بار بستر به معلق به میزان ۱۲۰ درصد شده است. هم‌چنین تاثیر بارندگی چند روز قبل روی مقادیر بار معلق بیش‌تر از تاثیر برداشت شن و ماسه بوده که حاکی از انتقال رسوبات معلق حوضه‌ای توسط رواناب حاصل از بارش به سیستم رودخانه می‌باشد.

هم‌چنین تغییرات دانه‌بندی بار بستر نیز با دقت بیش‌تر و با توجه به روش کار ارائه شده و نیز امکانات اندازه‌گیری قابل دسترس، بررسی و نتایج حاصل از تحلیل مقادیر D_{10}، D_{50} و D_{90} حاصل از دانه‌بندی و استخراج آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار GRADISTAT، در جدول ۱ خلاصه و نمودار تغییرات آن‌ها در شکل ۵ ارائه شده است.

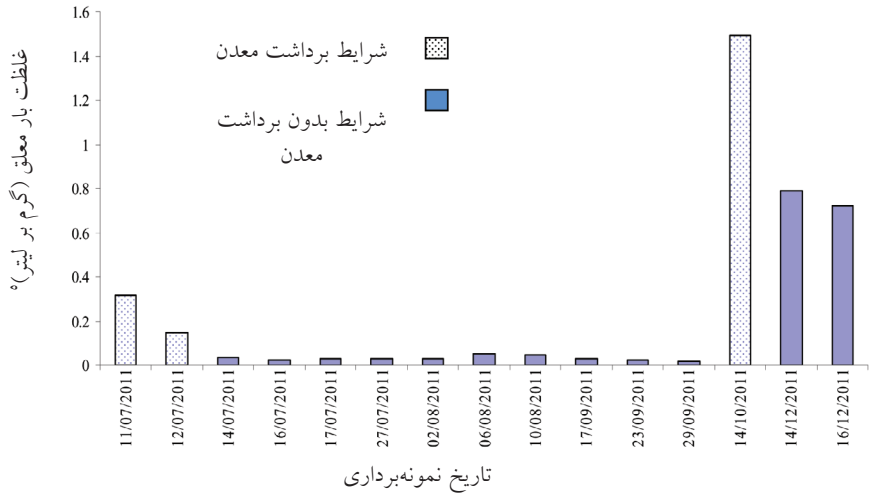
با توجه به نتایج مندرج در جدول ۱ استنباط می‌شود که در نمونه‌ی ۲۱ تیر ۱۳۹۰ و پس از برداشت شن و ماسه با شدت کم، مقادیر قطر D_{50} و D_{90} کاهش و مقدار قطر D_{10} نسبت به شرایط بدون برداشت شن و ماسه تا ۱۷ درصد افزایش یافته که نشان می‌دهد بیش‌ترین سهم بار بستر انتقالی را ذرات ریزتر تشکیل می‌دهند. البته دلیل عدم افزایش زیاد این مقادیر را علاوه بر کم بودن شدت برداشت شن و ماسه به پایین بودن دبی نیز می‌توان نسبت داد که با اظهارات صادقی و خالدی [۲۳] مطابقت دارد. مقادیر قطر D_{10}، D_{50} و D_{90} در نمونه‌ی ۲۰ تیر و مصادف با برداشت شن و ماسه با شدت متوسط و هم‌چنین نزدک به محل نمونه‌برداری و نسبت به مقادیر متناظر خود در شرایط بدون برداشت، و با دبی پایه (تابستان) به ترتیب ۲٤، ۸۵ و ۸٦ درصد افزایش داشته است. البته با توجه به یکسان بودن دبی در دو زمان نمونه‌برداری، افزایش قطرهای مورد نظر در نمونه‌ی ۲۰ تیر نشان از تاثیر بیش‌تر برداشت شن و ماسه با شدت متوسط نسبت به حالت با شدت کم دارد. در نمونه ۲۲ مهر و شرایط تاثیر برداشت شدید شن و ماسه و هم‌چنین دبی بالا و برداشت در فاصله‌ی نزدیک‌تر به محل نمونه‌برداری، قطر D_{10} بار بستر به‌طور متوسط ۳۵ درصد افزایش پیدا کرده است. حال آن‌که مقدار D_{50} نسبت به نمونه‌های ۱ و ۷ مهر ماه افزایش ۵ درصدی داشت که هم‌سو با نتایج صادقی و خالدی‌درویشان [۲۳]

1 Suspended Load Concentration (g/l)
2 Sampling Date
3 With Mining Conditions
4 Without Mining Conditions
5 With the Previous Rainfall Conditions



شکل ۳- نمودار میزان انتقال بار بستر در زمان‌های برداشت و عدم برداشت معدن شن و ماسه

Fig.3. The chart of bed load transport rate in with and without sand and gravel mining conditions



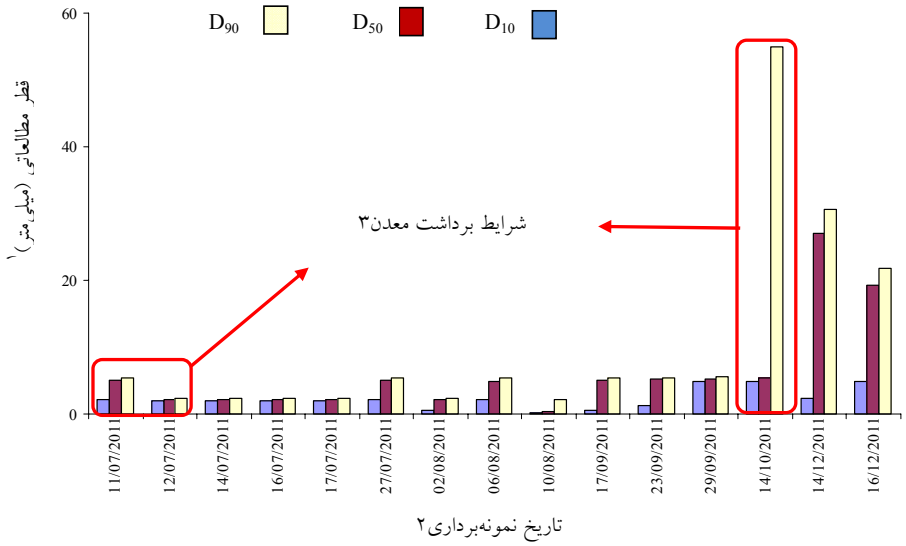
شکل ٤- نمودار میزان نسبت بار بستر به معلق در زمان‌های برداشت و عدم برداشت معدن شن و ماسه

Fig.4. The chart of bed to suspended load ratio in with and without sand and gravel mining conditions[1]

مبنی بر تاثیر برداشت شن و ماسه بر افزایش قطر D_{50} از ۲۶/۴۲ به ۴۱/۱۸ میلی‌متر (۵۵ درصد) برای رسوبات بستر موجود در کف رودخانه‌ی واز می‌باشد. در حالی‌که در قیاس با نمونه‌های ۲۳ و ۲۵ آبان ماه قطر D_{50} کاهش ۳۲۰ درصدی را نشان می‌دهد که با نتایج محمدی و همکاران [۱۶] مبنی با کاهش قطر میانه در اثر برداشت شن و ماسه مطابقت دارد. لذا قطر D_{50} رفتار پیچیده‌ای را در شرایط برداشت شن و ماسه نشان را از خود نشان داده است. هم‌چنین قطر D_{90} برای نمونه‌ی مذکور و پس از برداشت شن و ماسه با شدت زیاد و در فاصله‌ی نزدیک برداشت، افزایش ۱۱۲ درصدی را نشان می‌دهد. از نتایج دیگر این پژوهش نیز می‌توان به تاثیر مقادیر دبی بر تغییرات دانه‌بندی بار بستر انتقالی اشاره نمود که افزایش چند برابری دبی نسبت به دبی پایه باعث افزایش مقدار قطر D_{10}، D_{50} و D_{90} به‌ترتیب حدود ۱۱۰، ۳۱۵ و ٤٤٠ درصد شد. جباری و فرضی [۸] و Ashraf و همکاران [۱] نیز افزایش دبی در افزایش قدرت حمل جریان را معنی‌دار بیان کرده‌اند.

در این پژوهش بررسی اثر برداشت شن و ماسه بر میزان انتقال رسوب معلق توسط جریان نشان از افزایش بار معلق نسبت به حالت بدون برداشت شن و ماسه می‌باشد که با نتایج Brown و همکاران [۲] و جباری و فرضی [۸] هم‌خوانی دارد. در شرایط برداشت شن و ماسه به‌دلیل کاهش پایداری رسوبات بستر و کناره‌ها و هم‌چنین ایجاد چاله‌هایی در بستر رودخانه و امکان ته‌نشینی رسوبات بالادست و افزایش ظرفیت و قدرت حمل جریان پس از چاله [۱۲] انتقال

1- Bed Load Concentration (g/l)
2- Sampling Date
3- With Mining Conditions
4- Without Mining Conditions
5- Bed to Suspended Load Ratio (%)



شکل ۵- نمودار مقادیر D_{10}، D_{50} و D_{90} بار بستر در زمان‌های برداشت و عدم برداشت معدن شن و ماسه

Fig.5. The chart of D_{10}, D_{20} and D_{90} of bed load in with and without sand and gravel mining conditions

جدول ۱- مقادیر D_{10}، D_{50} و D_{90} بار بستر در شرایط با و بدون برداشت شن و ماسه در رودخانه‌ی کجور

Table.1. The rate of D_{10}, D_{50} and D_{90} of bed load in with and without sand and gravel mining conditions

Discharge (l/s)	D_{10} (mm)	D_{50} (mm)	D_{10} (mm)			
شرایط	دبی (لیتر برثانیه)	D_{90} (میلی‌متر)	D_{50} (میلی‌متر)	D_{10} (میلی‌متر)	Date	تاریخ	Conditions
برداشت معدن	۶۰	۵/۴۸۷	۵/۰۵۷	۲/۱۷۸	2011/07/11	۱۳۹۰/۰۴/۲۰	With mining
برداشت معدن	۶۰	۲/۳۲۱	۲/۱۷۲	۲/۰۳۲	2011/07/12	۱۳۹۰/۰۴/۲۱	With mining
بدون برداشت معدن	۶۰	۲/۳۲۰	۲/۱۶۶	۲/۰۲۳	2011/07/14	۱۳۹۰/۰۴/۲۳	Without mining
بدون برداشت معدن	۶۰	۲/۳۱۷	۱/۱۵۵	۲/۰۰۴	2011/07/16	۱۳۹۰/۰۴/۲۵	Without mining
بدون برداشت معدن	۶۰	۲/۳۲۱	۲/۱۷۱	۲/۰۳۱	2011/07/17	۱۳۹۰/۰۴/۲۶	Without mining
بدون برداشت معدن	۶۰	۵/۴۸۰	۵/۰۲۹	۲/۱۲۷	2011/07/27	۱۳۹۰/۰۵/۰۵	Without mining
بدون برداشت معدن	۶۰	۲/۳۱۲	۲/۱۳۲	۰/۵۴۶	2011/08/02	۱۳۹۰/۰۵/۱۱	Without mining
بدون برداشت معدن	۶۸	۵/۴۵۹	۴/۹۳۰	۲/۰۷۲	2011/08/06	۱۳۹۰/۰۵/۱۵	Without mining
بدون برداشت معدن	۶۸	۲/۲۴۷	۰/۲۹۷	۰/۱۲۱	2011/08/10	۱۳۹۰/۰۵/۱۹	Without mining
بدون برداشت معدن	۶۰	۵/۴۷۶	۵/۰۰۹	۰/۵۵۴	2011/09/17	۱۳۹۰/۰۶/۲۶	Without mining
بدون برداشت معدن	۲۰۰	۵/۴۸۰	۵/۲۰۶	۱/۲۹۳	2011/09/23	۱۳۹۰/۰۷/۰۱	Without mining
بدون برداشت معدن	۳۰۰	۵/۵۰۴	۵/۱۳۹	۴/۷۹۸	2011/09/29	۱۳۹۰/۰۷/۰۷	Without mining
برداشت معدن	۳۴۰/۵	۵۵/۴۷۹	۵/۴۵۷	۴/۸۵۱	2011/10/14	۱۳۹۰/۰۷/۲۲	With mining
بدون برداشت معدن	۴۸۰	۳۰/۵۵۲	۲۷/۰۳۸	۲/۳۳۹	2011/12/14	۱۳۹۰/۰۹/۲۳	Without mining
بدون برداشت معدن	۵۲۱/۲۵	۲۱/۷۳۱	۱۹/۲۵۱	۴/۸۲۳	2011/12/16	۱۳۹۰/۰۹/۲۵	Without mining

بار بستر نیز بیش‌تر از مواقع بدون برداشت شن و ماسه بوده و با نتایج پژوهش‌های Warner و Pickup [۳۳] مشابه می‌باشد. هم‌چنین با افزایش میزان بار معلق و بار بستر در اثر برداشت شن و ماسه، میزان بار کل رسوب نیز افزایش یافت. نتایج بررسی تغییرات نسبت بار بستر به معلق در اثر برداشت شن و ماسه حاکی از آن بود که این نسبت در شرایطی که بارندگی چند روز قبل رخ نداده باشد به‌دلیل تاثیرپذیری بیش‌تر بار بستر از برداشت شن و ماسه افزایش قابل توجهی داشت. این در حالی است که با وقوع بارندگی در چند روز قبل شاهد افزایش ناگهانی بار معلق در اثر انتقال بار معلق حوضه‌ای توسط رواناب به سامانه رودخانه شده که نسبت بار بستر به معلق حتی در شرایط با برداشت شن و ماسه نیز افزایش محسوسی نداشت. نسبت بار بستر

1- Studied Diameter (mm)
2 Sampling Date
3 With Mining Conditions

به معلق در شرایطی که برداشت شن و ماسه صورت می‌پذیرد ۰/۱۵ تا ۰/۳۲ درصد برای شرایط با دبی پایه و ۱/۵ درصد برای فصل پاییز و با دبی بیش‌تر بود و در شرایط بدون برداشت این مقدار برای دبی پایه حدود ۰/۰۳ درصد و برای فصل پاییز و دبی‌های بالاتر نسبت به دبی پایه ۰/۷۵ درصد بود که این مقدار کم را می‌توان به کم بودن دبی و قدرت حمل پایین جریان نسبت داد. این نتیجه نشان می‌دهد که استفاده از نسبت ۱۰ تا ۳۰ درصد نسبت بار بستر به معلق مناسب نبوده و خطای تخمین بار بستر را بسیار بالا می‌برد. تحلیل نتایج دانه‌بندی برای بار بستر نیز نشان داد که برداشت شن و ماسه با شدت کم‌تر و دبی پایه باعث افزایش قطر D_{10} و کاهش قطر D_{50} و D_{90} شده که انتقال ذرات ریزتر به‌صورت بار بستر در این شرایط را نشان می‌دهد. حال آن که در صورتی که در همین دبی ولی با شدت برداشت متوسط هر سه قطر مذکور افزایش قابل توجهی را داشته است. با افزایش دبی، شدت برداشت و کاهش فاصله‌ی محل برداشت از محل خروجی جریان رودخانه‌ای از آبخیز، قطر D_{90} رسوبات بستری انتقالی افزایش بسیار بالایی داشت، در صورتی که افزایش قطر D_{10} و D_{50} آن‌چنان محسوس نبوده و این یافته نشان می‌دهد در شرایط ذکر شده اندازه ذرات انتقالی به‌صورت بار بستر بسیار درشت‌تر خواهند بود.

از نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان استنباط نمود که تاثیر برداشت شن و ماسه در مقاطع رودخانه می‌تواند تغییراتی از نظر کیفی و کمّی بر سیستم انتقال رسوب و رفتار هیدرودینامیکی رودخانه داشته باشد. هم‌چنین می‌توان اظهار نمود که نقش برداشت شن و ماسه در افزایش میزان، اندازه و تغییر رفتار رسوبی بستر و معلق رودخانه کجور معنی‌دار بوده و در عین حال از الگوی مشابه سایر رودخانه‌ها تبعیت نمی‌کند. لذا انجام تحقیقات گسترده‌تر در شرایط مختلف هیدرولوژیک، در طول دوره‌ی پژوهشی طولانی‌تر و نهایتاً در سایر رودخانه‌های منطقه به منظور ارائه‌ی جمع‌بندی‌های نهایی پیشنهاد می‌گردد.

منابع

1- Ashraf, M.A. Maah, M.J. Yusoff, I. Wajid, A. and Mahmood, K. 2011. Sand mining effects, causes and concerns: A case study from Bestari Jaya, Selangor, Peninsular Malaysia. Scientific Research and Essays. 6(6): 1216-1231.

2- Brown, A.V. Littly, M.M. and Brown, K.B. 1998. Impacts of gravel mining on gravel bed streams. Transactions of the American Fisheries Society. 127: 979–994.

3- Bathurst, J.C. Graf, W.H. and Cao, H.H. 1987. Bedload discharge equations for steep mountain rivers. In: Thorne C.R., Bathurst J.C., Hey R.D. (Eds.), Sediment Transport in Gravel-Bed Rivers, Wiley, Chichester. 453-491.

4- Chen, D. 2011. Modeling channel response to in stream gravel mining, Sediment Transport-Flow and Morphological Processes. 250 pp.

5- Doyle, M.W. and Shields, F.D. 2000. Incorporation of bed texture into a channel evolution model. Geomorphology. 34: 291-309.

6- Gomi, T. Sidle, R.C. and Swanston, D.N. 2004. Hydrogeomorphic linkages of sediment transport in headwaters streams, Maybeso Experimental Forest, southeast Alaska. Hydrological Processes. 18: 667-683.

7- Healy, T. and Wo, K. 2002. Sediment characteristic and bed level changes in relation to sand extractions and damming of sand-gravel river: the lower Waikato river, New Zealand. Journal of Hydrology (NZ). 41(2): 175-196.

8- Jabbari, E. and Farzi, H. 2010. Sand and gravel production and these results in the changing patterns of Razavr River sediment load. Geographic Research. 93, 145-160. (In Persian)

9- Kabir, M.A. Dutta, D. Hironaka, S. and Pang, A. 2011. Analysis of bed load equations and river bed level variations using basin-scale process-based modelling approach. Water Resource Management. DOI 10.1007/s11269-011-9951-6.

10- Kinghton, A.D. 1999. The gravel-sand transition in a disturbed catchment's. Geomorphology. 27: 325-341.

11- Kondolf, G.M. 1997. Effects of dams and gravel mining on rivers. Environmental Management. 21(4): 533–551.

12- Kondolf, G.M. Smeltzer, M. and Kimball, L. 2002. Freshwater gravel mining and dredging Issues. Herrera Environmental Consultants. 122 pp.

13- Liangwen, J. Zhangren, L. Qingshu, Y. Shuying, O. and Yaping, L. 2007. Impacts of the large amount of sand mining on riverbed morphology and tidal dynamics in lower reaches and delta of the Dongjiang River. Journal of Geographical Sciences. 17: 197-211.

14- Lisle, T.E. Nelson, J.E. Pitlick, J. Madej, M.A. and Barkett, B.L. 2000. Variability of bed mobility in natural gravel-bed channels and adjustments to sediment load at local and reach scales. Water Research. 36: 3743-3755.

15- Mahdavi, M. 2007. Applied hydrology(2nd Ed.). The Tehran University Press, Tehran, 424 p.(In Persian)

16- Mohammadi, A. Firouz S. Mosaedi A. and Bahrami, A.R. 2006. Study of Gorgan Roud River morphological changes. 7th International Conference of River Engineering. Ahvaz, February 13-15, 2007. 8 p.(In Persian)

17- Nohegar, A. and Mahmoudi, F. 2003. Effects of harvesting materials (sand and gravel) on the bed shape and regime of Minab River. Journal of Geographical researches. 45, 45-58.(In Persian)

18- Rahat Talab Nakhjiri, H. Golmaee, H. Yosefi, A. and Oktaee, R. 2004. Comparison and choosing the best methods of estimating rivers bed load (Case study: Zarringol river). Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources. 11(3), 133-144.(In Persian)

19- Rinaldi, M. and Simon, A. 1998. Bed-level adjustments in Arno River, Central Italy. Geomorphology. 22: 57-71.

20- Rinaldi, M. Wyzga, B. and Surian, N. 2005. Sediment mining in alluvial channels: Physical effects and management perspectives. River Research and Applications. 21(7): 805-828.

21- Sadeghi, S.H.R. Aghabeigi Amin, S. Vafakhah, M. Yasrebi, B. and Esmaeili Sari, A. 2006. Suitable drying time for suspended sediment samples, Iran, P 71. International Sediment Initiative Conference, Khartoum, Sudan. Nov. 12-16, 2006: 71.

22- Sadeghi, S.H.R. Gharemahmudli, S. Khaledi Darvishan, A.V. Kheirfam, H. Kiani Harchegani M. and Saeidi, P. 2014. Effect of river sand and gravel mining on monthly changeability of suspended sediment concentration. Journal of Water and Soil Resources Conservation. 3(3), 65-75.(In Persian)

23- Sadeghi, S.H.R. and Khaledi Darvishan, A.V. 2007. Investigate the role of sand and gravel mining on river sediment transport capacity. th International Conference of River Engineering. Ahvaz, February 13-15, 2007. 8 p.(In Persian)

24- Sadeghi, S.H.R. Khaledi Darvishan, A.V. and Gholami, L, 2008. Effects of sand and gravel mining on bed sediment morphometric characteristics. Geology Engineering Journal. 1(2), 75-86.(In Persian)

25- Sadeghi, S.H.R. and Kheirfam, H. 2012. Effect of sand and gravel mining on suspended and bed load in Kojour River. The 5th Conference of Watershed and Soil and Water Resources Management. Kerman, February 28 and 29, 2012. 7 p.(In Persian)

26- Sadeghi, S.H.R. Mizuyama, T. Singh, J.K. and Tofighi, B. 2009. Applicability of instantaneous unit sediment graph model in an Iranian large watershed. International Journal of Ecological Economics & Statistics, USA. 13(9): 30-45.

27- Sadeghi. S.H.R. Najafi, D.A. and Vafakhah M. 2007. Regional Analysis of Suspended Sediment Estimation in Esfahan and Sirjan Watersheds. Iran-Water Resources Research. 2(3), 51-65.(In Persian)

28- Sadeghi, S.H.R. and Saeidi, P. 2010. Reliability of sediment rating curves for a deciduous forest watershed in Iran. Hydrological Sciences Journal. 55(5): 821- 831.

29- Samadin Fard, S. Ghorbani, M.A. Hoseiniler, R. Hosein Zadeh Delir, A. and Farsadi Zadeh, D. 2007. Selection of suitable method to estimate suspended load and bed Load in Ahar Chai River (Upstream of Sattarkhan Dam). Agriculture Research. 7(3), 91-101.(In Persian)

30- Shafaei Bajestan, M. 2005. Sediment hydraulic. The Shahid Chamran University Press, 470 p. (In Persian)

31- Sracek, O. Bohdan, K. Martin, M. Vladimír, M. František, V. Zbyněk, V. and Imasiku, N. 2012. Mining-related contamination of surface water and sediments of the Kafue River drainage system in the Copperbelt district, Zambia: An example of a high neutralization capacity system. Journal of Geochemical Exploration. 112: 174-188.

32- Walling, D.E. Collins, A.L. Sichingabula, H.A. and Leeks, G.J.L. 2001. Integrated assessment of catchment suspended sediment budgets: A Zambian Example. Land Degradation and Development. 12: 387-415.

33- Warner, R.F. and Pickup, G. 1975. Estuary sand dredging: A case study of an environmental problem. New