

تغییرپذیری بار بستر، معلق و نسبت بار بستر به معلق در رودخانه قطورچای

حسین خیرفام^{۱*}، بهزاد خیرفام^۲، یعقوب آزدان^۳ و صالح حسینی^۴

^۱ استادیار، گروه علوم محیط زیست، پژوهشکده آرمیا و مطالعات دریاچه ارومیه، دانشگاه ارومیه، ^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ارومیه و کارشناس امور منابع آب شهرستان میاندوآب، ^۳ دانش‌آموخته دکتری سازه‌های آبی و کارشناس امور منابع آب شهرستان میاندوآب و ^۴ کارشناس ارشد گروه مهندسی عمران-آب و کارشناس امور منابع آب شهرستان میاندوآب

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۲۰

چکیده

تحلیل و تعیین تغییرپذیری رسوبات انتقالی رودخانه در شرایط مختلف زمانی و هیدرولوژیکی از اهمیت ویژه‌ای در علوم مهندسی هیدرولیک و هیدرولوژی برخوردار است. از طرفی اتخاذ تصمیمات مدیریتی برای مهار و کاهش انتقال رسوب در رودخانه‌ها نیازمند به تحلیل و شناخت رفتار سامانه رودخانه در شرایط زمانی مختلف می‌باشد. با وجود این، اطلاعاتی کافی در خصوص نوع و میزان تولید رسوب آبخیزها در شرایط زمانی و هیدرولوژیکی مختلف وجود ندارد. بر همین اساس، در پژوهش حاضر تغییرپذیری زمانی بار بستر، معلق به‌عنوان انواع رسوب رودخانه و نسبت بار بستر به معلق با تغییرات دبی مورد بررسی قرار گرفت. برای انجام پژوهش، داده‌های بار بستر و معلق (گرم بر لیتر) و دبی (مترمکعب بر ثانیه) رودخانه‌ی قطورچای آذربایجان غربی از سال ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۲ ثبت شده در ایستگاه یزدکان به‌وسیله سازمان‌های مربوطه، جمع‌آوری شد و در محیط Excel 2007 با رسم نمودارهای فصلی، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش مقادیر دبی در تمامی فصول بار معلق افزایش محسوسی داشته و نسبت بار بستر به بار معلق کاهش پیدا کرده و کم‌ترین میزان انتقال بار بستر و معلق در زمستان و بیش‌ترین میزان بار معلق و بار بستر در فصل بهار صورت گرفته است. مقادیر حداقل، حداکثر و میانه نسبت بار بستر به معلق در فصل بهار، به‌ترتیب ۵/۰۲، ۵۶۳/۹۹ و ۲۷/۳۴ درصد، در فصل تابستان به‌ترتیب ۰/۷۵، ۲۰۳۴/۹۱ و ۱۳۵/۸۰ درصد، در فصل پاییز به‌ترتیب ۲۸/۳۱، ۶۵۹/۱۵ و ۱۸۴/۹۴ درصد و در فصل زمستان به‌ترتیب با ۲۸/۹۶، ۴۵۷/۶۱ و ۱۶۹ درصد بود. همچنین، نسبت بار بستر به معلق در طی دوره مطالعاتی از ۰/۷ تا ۲۰۳۴ درصد متغیر بوده و به‌سبب رفتار پیچیده تغییرات متغیرهای مورد بررسی به‌ویژه بار بستر و نسبت بار بستر به معلق با دبی جریان، استفاده از روش‌های غیرمستقیم تخمین بار بستر دقیق نبوده و ضرورت تجهیز ایستگاه‌های سنجش بار بستر به‌صورت روزانه اجتناب‌ناپذیر است.

واژه‌های کلیدی: انتقال رسوب، رفتار رسوب، سامانه رودخانه، سلامت آبخیز، هیدرولیک رسوب

مقدمه

کشورهای در حال توسعه، رو به افزایش می‌باشد (Sadeghi و همکاران، ۲۰۰۸). مواد حاصل از فرسایش آبی که به رودخانه‌ها منتهی شده‌اند در صورتی‌که

روند تخریب اراضی و به‌تبع آن پیامدهایی از قبیل سیل و رسوب‌زایی در سطح جهان، به‌ویژه در

* مسئول مکاتبات: h.kheirfam@urmia.ac.ir

شرایط مکانی، زمانی، وضعیت جریان و جنس مواد بستری متغیر است (Gomi و همکاران، ۲۰۰۴؛ Sadeghi و Kheirfam، ۲۰۱۵). لذا، کاربرد این روش به دلیل یکسان در نظر گرفتن نسبت بار بستر به معلق در تمام شرایط، کارایی مناسب نداشته و نتایج متفاوتی ارائه می‌دهد. بررسی و تحلیل تغییرپذیری زمانی نسبت بار بستر به معلق در شرایط زمانی مختلف به منظور مدیریت و برنامه‌ریزی مناسب‌تر امری ضروری می‌باشد.

در این راستا، Shafaei Bajestan و Ostad Asgari (۲۰۰۰) به منظور افزایش دقت و تسریع محاسبات در کاربرد روش تصحیح شده Einstein در برآورد بار بستر و بار کل رسوب، یک مدل ریاضی و برای دبی‌های بالا و پایین به طور جداگانه دو رابطه ارائه نمودند. سپس با استفاده از این روابط اقدام به تخمین بار بستر، معلق و کل کردند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که میزان نسبت بار بستر به معلق در دبی‌های متفاوت ثابت نبوده و این میزان در ایستگاه‌های اهواز و حمیدیه بین صفر تا ۱۱ درصد متغیر بود. از طرفی Metivier و Meunier (۲۰۰۳) به منظور بررسی ارتباط بین حجم دبی ورودی و خروجی با میزان انتقال بار بستر در شرایط آزمایشگاهی، میزان انتقال بار بستر با وضعیت‌های مختلف جریان را مورد بررسی قرار دادند و گزارش نمودند که با تغییر خصوصیات جریان از قبیل سرعت، حجم و تنش برشی و همچنین، خصوصیات کانال از قبیل شیب، میزان انتقال بار بستر نیز تغییر می‌کند. Lana-Renault و Regüés (۲۰۰۷) به منظور بررسی نسبت بار بستر به کل بار رسوبی در یکی از زیرحوضه‌های رودخانه Aragón River اسپانیا، ۱۲ نمونه رسوب معلق و ۱۲ نمونه بار بستر را به طور هم‌زمان با استفاده از سه نوع سبب با ابعاد منافذ پنج، ۱۰ و ۵۰ میلی‌متر و در شرایط سیلابی و غیرسیلابی از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۵ برداشت نمودند. نتایج نشان داد که مقادیر بار معلق از میزان بارندگی و مقادیر بار بستر از دبی‌های مؤثر متأثر بود. همچنین، در این رودخانه هرگز نسبت بار بستر به کل بار رسوبی بیشتر از ۳۰ درصد نبوده که آن را با احتمال زیاد به ویژگی‌های فیزیکی کانال به‌ویژه شیب آن نسبت دادند. Samadianfard و

سرعت جریان به آستانه حرکت ذرات رسوبی برسد، دانه‌های رسوب در طول بستر رسوبی، شروع به حرکت خواهند کرد. انتقال ذرات رسوبی به دو شکل بار بستر و معلق صورت می‌گیرد. بار بستر قسمتی از رسوبات کل خروجی حوزه آبخیز بوده که در تماس با بستر حرکت می‌کند (Wilson، ۱۹۹۶) و بار معلق قسمتی از رسوبات است که به واسطه آشفتگی جریان به حالت غوطه‌ور همراه با جریان آب حرکت می‌کند (Fredson و Deigaard، ۱۹۹۴). از آنجایی که حمل رسوبات به‌وسیله جریان رودخانه‌ای منجر به بروز مشکلاتی از قبیل رسوب‌گذاری در بستر رودخانه‌ها و در نتیجه ایجاد جزایر رسوبی و دلتاها و همچنین، کاهش ظرفیت مخازن سدها می‌شود (Sadeghi و Kheirfam، ۲۰۱۵). لذا، پیش‌بینی حجم رسوبات حمل شده به‌وسیله جریان و تحلیل و بررسی تغییرپذیری مقادیر رسوبات در شرایط مختلف هیدرولوژیکی و زمانی در پروژه‌های مدیریت منابع آب، شناخت و تنظیم تغییرات بستر و کناره رودخانه‌ها، مدیریت تأسیسات پایین‌دست حوزه آبخیز، کاهش سیل و پایداری محیط زیست حائز اهمیت (Hergault و همکاران، ۲۰۱۰). اندازه‌گیری و تخمین میزان رسوبات انتقالی از رودخانه امری ضروری می‌باشد. با توجه به گستردگی و پراکنش نسبتاً مناسب ایستگاه‌های اندازه‌گیری بار معلق در کشور، اندازه‌گیری بار معلق در حد قابل قبولی صورت می‌گیرد (Samadianfard و همکاران، ۲۰۰۷)، در حالی که با توجه به اهمیتی که بار بستر به‌عنوان بخشی از بار کل رسوب انتقالی دارد، به دلیل سختی اندازه‌گیری و هزینه‌بر بودن مورد توجه آن‌چنانی قرار نگرفته است. لذا، پژوهشگران و کارشناسان برای تخمین بار بستر رودخانه‌ها بیش‌تر از روابط تجربی از قبیل Shields (۱۹۳۶)، Meyer-Peter و Muller (۱۹۴۸)، Einstein (۱۹۵۰) و Bagnold (۱۹۸۰) استفاده می‌کنند یا بار بستر را به‌عنوان درصدی از بار معلق در نظر می‌گیرند. این درصد را برای رودخانه‌های فصلی ۲۵ درصد (Reid و همکاران، ۱۹۹۸) و برای رودخانه‌های دائمی پنج الی ۱۰ درصد در نظر می‌گیرند (Esmaeili و همکاران، ۲۰۰۸). همچنین، از آنجایی که بر اساس مشاهدات و مطالعات صورت گرفته میزان انتقال بار بستر بسته به

و همکاران (۲۰۱۶) ضمن بررسی عوامل موثر بر میزان بار بستر، معلق و نسبت بار بستر به معلق، اثر تغییرات رفتاری بار بستر بر رسوب‌گذاری و ریخت‌شناسی دلتاها را شبیه‌سازی کردند. نتایج ایشان نشان داد که رفتار و نسبت انتقال بار بستر و معلق تحت تأثیر هندسه رودخانه‌ها و هم‌چنین، مقیاس زمان و مکان متغیر بود. هم‌چنین، Okada و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از چند روش متداول و نوین تغییرات نسبت بار معلق به بار بستر در دبی‌های جریان متفاوت در چند رودخانه ژاپن و بنگلادش را بررسی کردند. نتایج نشان داد که در جریان‌های سیلابی گل‌آلودگی بیش‌تر شده و نسبت بار معلق به بستر بین ۱۰ تا ۲۵ برابر افزایش می‌یابد.

جمع‌بندی پیشینه پژوهشی حاکی از آن بود که پژوهش‌های اخیر به‌ویژه تحلیل‌های تغییرپذیری زمانی بار بستر، کارایی روش‌های تجربی و تخمین‌های کارشناسی را به چالش کشیده‌اند. از این‌رو تحلیل تغییرات بار بستر و معلق و نسبت بار بستر به معلق در شرایط زمانی نسبتاً طولانی و هیدرولوژیکی با هدف افزایش آگاهی در دستیابی به راهکارها و مدل‌های با کارایی و اعتمادپذیری بالا در تخمین صحیح بار بستر و تغییرات آن نسبت به بار معلق اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. لذا، پژوهش حاضر با هدف بررسی تغییرپذیری مقادیر بار بستر، معلق و نسبت بار بستر به معلق در شرایط زمانی و هم‌چنین، هیدرولوژیکی مختلف و با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده در رودخانه قطورچای آذربایجان غربی در بازه زمانی شش ساله برنامه‌ریزی شد. هم‌چنین، لازم به توضیح است که تحلیل‌های انجام شده و نتایج گزارش شده در پژوهش حاضر صرفاً با تأکید بر مقادیر داده‌های موجود و اندازه‌گیری شده بوده و ممکن است رفتار بار بستر، معلق و نسبت بار بستر به معلق برای مجموعه تمام داده‌ها (در صورت اندازه‌گیری) و شرایط واقعی رودخانه قطورچای متفاوت از پژوهش حاضر باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: رودخانه قطورچای واقع در حوزه آبخیز قطور به‌عنوان یکی از زیرحوزه‌های آبخیز رودخانه ارس بوده و از ارتفاعات کوه بایزید در خاک

همکاران (۲۰۰۷) برای انتخاب بهترین روش برآورد بار بستر و معلق در رودخانه اهرچای آذربایجان شرقی، در یک دوره زمانی سه ساله به تعداد هشت نمونه بار بستر به‌همراه بار معلق و دبی متناظر آن استفاده نموده و از هشت روش برای تخمین بار بستر و چهار روش برای برآورد بار معلق استفاده کردند که روش Meyer-Peter/Muller را برای تخمین بار بستر و روش Chang و همکاران (۱۹۶۷) را برای تخمین بار معلق پیشنهاد نمودند. با بررسی مقادیر بار بستر و معلق برداشت شده، نسبت بار بستر به معلق از ۰/۴۲ تا ۱/۱۶ درصد متغیر بوده و در شرایط سیلابی این روابط، مقادیر بار معلق و بار بستر را به‌ترتیب کم‌تر و بیش‌تر از مقادیر مشاهداتی تخمین زدند. Yu و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی تأثیرپذیری میزان انتقال بار بستر از خصوصیات هیدرولوژیکی و فیزیکی رودخانه Diaoga واقع در مناطق کوهستانی جنوب غربی چین پرداختند. نتایج حکایت از این داشت که میزان انتقال بار بستر متأثر از دبی جریان بوده ولی شیب افزایش انتقال بار بستر نسبت به افزایش دبی جریان ملایم‌تر بوده که آن را با احتمال زیاد به پایین بودن شیب رودخانه نسبت دادند. Radice و همکاران (۲۰۱۰) در شرایط آزمایشگاهی و با استفاده از روش پردازش تصویر و فیلم اقدام به بررسی نحوه حرکت رسوبات بستر نمودند و رابطه‌ای مستقیمی بین غلظت رسوب جریان و سرعت حرکت بار بستر ارائه دادند.

هم‌چنین، Kheirfam و Sadeghi (۲۰۱۴) تأثیرپذیری بار رسوبی از برداشت معدن شن و ماسه در رودخانه کجور استان مازندران را بررسی کردند. نتایج ایشان نشان داد که پس از برداشت شن و ماسه از رودخانه، بار معلق بین ۳۰۰ تا ۵۴۷ درصد، بار بستر به‌طور متوسط ۱۱۳۰ درصد و نسبت بار بستر به معلق به‌طور متوسط ۱۲۰ درصد بیشتر از حالت بدون برداشت شن و ماسه بوده است. هم‌چنین، Sadeghi و Kheirfam (۲۰۱۵) نیز تغییرات زمانی نسبت بار بستر به معلق رودخانه کجور در ایران در بازه زمانی یک ساله را تحلیل کردند. نتایج حاکی از این بود که نسبت بار بستر به معلق در فصول مختلف سال بین ۰/۰۱ تا ۸/۱ درصد متغیر بوده و متوسط این نسبت در طول سال یک درصد گزارش شد. اخیراً نیز Van der Vegt

توسط کارشناس از مقطع رودخانه و در مواقع سیلابی با استفاده از پل تل‌فریک انجام شده است. در نهایت بر اساس آمار موجود دبی، بار بستر و معلق ایستگاه پل یزدکان رودخانه قطورچای آذربایجان غربی از سال پایه آماری مشترک ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۲ انتخاب و به صورت سری زمانی مرتب شد. در مجموع ۹۳ داده برداشت شده در تاریخ‌های مختلف به صورت سری زمانی و به صورت فصلی مرتب شد. تحلیل تغییرپذیری زمانی و هیدرولوژیکی مقادیر بار بستر، معلق و نسبت بار بستر به معلق در محیط Excel 2007 با رسم نمودارهای مربوطه، تحلیل‌های چشمی، محاسبات عددی و همچنین، برقراری همبستگی بین متغیرهای مورد بررسی انجام شد.

نتایج و بحث

به منظور ارزیابی تغییرات میزان بار بستر و معلق با تغییرات دبی در طی دوره مطالعاتی، مقادیر اندازه‌گیری شده متغیرهای مذکور در جدول ۱ ارائه شد. بررسی نتایج ارائه شده در جدول ۱ نشان می‌دهد که مقادیر دبی در بازه زمانی مورد مطالعه و بر اساس داده‌ها در دسترس به ترتیب بین ۰/۴۱ تا ۱۲/۸۰۲ مترمکعب بر ثانیه بود. در حالی که بر اساس دبی‌های روزانه ثبت شده در ایستگاه پل یزدکان واقع در رودخانه مورد مطالعه، بیش‌ترین فراوانی دبی بین ۲۵ تا ۵۰ مترمکعب بر ثانیه بوده که امکان تعمیم نتایج پژوهش حاضر به تمام شرایط هیدرولوژیکی در رودخانه مذکور را با چالش مواجه می‌کند.

در این راستا سخت بودن اندازه‌گیری بار بستر در دبی‌های زیاد می‌تواند یکی از عوامل اصلی فقدان اطلاعات بار بستر در دبی‌های زیاد و شرایط سیلابی باشد. از طرفی مقادیر بار معلق، بار بستر و نسبت بار بستر به معلق به ترتیب بین ۰/۰۱ تا ۲۳/۶۲ گرم بر لیتر، ۰/۱۷۵ تا ۳۱/۷۴۴ گرم بر لیتر و ۰/۷۵ تا ۱۴۷۴۸ درصد متغیر بود. بررسی غلظت‌های حداکثری بار معلق در سایر رودخانه‌های کشور و همچنین، در مجموعه داده‌های کامل رودخانه مورد مطالعه حاکی از آن است که مقادیر حداکثر بار معلق گزارش شده در پژوهش حاضر کم‌تر می‌باشد. زیرا به سبب عدم اندازه‌گیری بار بستر در دبی‌های زیاد و

ترکیه سرچشمه گرفته و بعد از طی مسافتی ۴۰ کیلومتری در ترکیه وارد خاک ایران شده و بعد از طی ۴۵/۵ کیلومتری (ایستگاه یزدکان) از طریق رودخانه ارس به دریای خزر می‌ریزد. آبخیز آن ۱۶۴۷ کیلومترمربع وسعت دارد که ۸۳۷ کیلومترمربع آن در خاک ایران واقع شده است، شکل آبخیز مذکور در ایران به‌عنوان یکی از عوامل تأثیرگذار در رفتار جریان رودخانه‌ای با ضریب گراویلیوس ۱/۴۵ کشیده‌تر بوده و شیب متوسط آن تقریباً ۱۱ درصد محاسبه شده است. همچنین، متوسط دبی ثبت شده در رودخانه قطورچای ۴۸ مترمکعب بر ثانیه بوده و به‌ندرت مقدار آن از ۱۰۰ مترمکعب بر ثانیه تجاوز می‌کند.

روش پژوهش: برای انجام پژوهش حاضر داده‌های دبی (مترمکعب بر ثانیه)، بار بستر (گرم بر لیتر) و بار معلق (گرم بر لیتر) موجود در ایستگاه هیدرومتری یزدکان واقع در رودخانه قطورچای از سازمان‌های مربوطه گردآوری شد. مطابق با دستورالعمل استاندارد شرکت مدیریت منابع آب در رودخانه مورد مطالعه نیز اندازه‌گیری بار معلق در ایستگاه مذکور هم‌زمان با اندازه‌گیری دبی جریان با استفاده از بطری‌های نمونه‌برداری یک لیتری تعبیه شده در دستگاه نمونه‌برداری بار معلق از نوع USP-61-A1، از سه مقطع عرضی رودخانه به‌عنوان متداول‌ترین روش نمونه‌برداری بار معلق انجام شده است. همچنین، برای نمونه‌برداری از بار معلق رودخانه‌ای حداکثر تلاش برای نمونه‌برداری در یک بازه زمانی مناسب و همچنین، عدم برداشت بار بستر به‌عنوان بار معلق صورت گرفته است.

از سویی دیگر هم‌زمان با اندازه‌گیری دبی جریان و نمونه‌برداری بار معلق، برداشت نمونه‌های بار بستر رودخانه‌ای با استفاده از نمونه‌بردار Helley-Smith انجام گرفت. نمونه‌برداری بار بستر رودخانه‌ای دقیقاً از محل مقاطع نمونه‌برداری بار معلق با سه تکرار و در مدت زمان ۱۰ دقیقه انجام شده و از میانگین نمونه‌های برداشت شده به‌عنوان مقدار بار بستر اندازه‌گیری استفاده شد. همچنین، از آنجایی که برداشت نمونه‌های بار معلق و بار بستر در شرایط زمانی و هیدرولوژیکی مختلف انجام شد، لذا در مواقع دبی‌های متوسط و کم نمونه‌برداری به صورت مستقیم

سیلابی و ضرورت استفاده از داده‌های بار معلق متناظر شده در رودخانه قطورچای در مجموعه داده‌های با بار بستر، طبعاً مقادیر بالای غلظت بار معلق حمل پژوهش حاضر مورد توجه قرار نگرفته است.

جدول ۱- مقادیر بار بستر، معلق و دبی در طول دوره مطالعاتی در قطورچای، آذربایجان غربی

تاریخ نمونه‌برداری	دبی جریان (مترمکعب بر ثانیه)	بار بستر (گرم بر لیتر)	بار معلق (گرم بر لیتر)	نسبت بار بستر به معلق	تاریخ نمونه‌برداری	دبی جریان (مترمکعب بر ثانیه)	بار بستر (گرم بر لیتر)	بار معلق (گرم بر لیتر)	نسبت بار بستر به معلق	
۱۳۷۷/۱۲/۲۲	۲/۸۵۰	۱/۳۰۶	۰/۸۱	۱/۶۱۲	۱۳۸۰/۰۵/۲۹	۱۳۸۰/۰۵/۲۹	۰/۴۴۳	۴/۱۰۹	۰/۷۲	۵/۷۰۸
۱۳۷۸/۰۱/۳۱	۲/۵۷۲	۱/۲۳۳	۴/۵۱	-۰/۲۷۳	۱۳۸۰/۰۶/۱۲	۱۳۸۰/۰۶/۱۲	۰/۵۵۲	۳/۴۱۷	۰/۸۸	۳/۸۸۳
۱۳۷۸/۰۲/۱۵	۲/۶۷۶	۰/۷۴۹	۲/۹۲	-۰/۲۵۶	۱۳۸۰/۰۶/۲۵	۱۳۸۰/۰۶/۲۵	۰/۵۷۹	۳/۰۹۴	۰/۸۷	۳/۵۵۶
۱۳۷۸/۰۴/۱۵	۱/۰۹۶	۴/۲۹۳	۲/۰۰	۲/۱۴۶	۱۳۸۰/۰۷/۱۶	۱۳۸۰/۰۷/۱۶	۰/۸۱۷	۱/۱۸۳	۰/۶۲	۱/۹۰۸
۱۳۷۸/۰۴/۳۱	-۰/۹۷۷	۲/۴۰۷	۲/۶۳	-۰/۹۱۵	۱۳۸۰/۰۷/۲۹	۱۳۸۰/۰۷/۲۹	۱/۱۸۴	۴/۱۰۸	۱/۰۱	۴/۰۶۷
۱۳۷۸/۰۵/۰۹	-۰/۸۷۷	۱/۳۱۴	۱/۵۴	-۰/۸۵۳	۱۳۸۰/۰۸/۰۹	۱۳۸۰/۰۸/۰۹	۱/۶۸۶	۲/۶۶۰	۲/۶۵	۱/۰۰۳
۱۳۷۸/۰۵/۳۰	۲/۸۸۷	۱/۱۶۳	۱۰/۹۲	-۰/۱۰۶	۱۳۸۰/۰۸/۲۶	۱۳۸۰/۰۸/۲۶	۱/۷۱۴	۵/۷۴۱	۱/۳۶	۴/۲۲۱
۱۳۷۸/۰۶/۱۴	-۰/۷۷۶	۱/۴۱۴	۲/۰۰	-۰/۷۰۷	۱۳۸۰/۰۹/۱۰	۱۳۸۰/۰۹/۱۰	۱/۶۰۹	۳/۳۲۲	۰/۷۰	۴/۷۴۶
۱۳۷۸/۰۷/۱۲	۱/۰۰۲	۱/۲۶۳	۰/۹۵	۱/۳۲۹	۱۳۸۰/۰۹/۲۰	۱۳۸۰/۰۹/۲۰	۱/۶۰۴	۰/۵۰۸	۰/۳۹	۱/۳۰۴
۱۳۷۸/۰۸/۰۲	۳/۱۰۱	۰/۴۵۵	۰/۹۷	-۰/۴۶۸	۱۳۸۰/۱۰/۰۵	۱۳۸۰/۱۰/۰۵	۱/۷۸۰	۱/۷۳۵	۰/۶۷	۲/۵۹۰
۱۳۷۸/۰۸/۱۸	۲/۳۳۰	۲/۳۸۵	۱/۲۹	۱/۸۴۹	۱۳۸۰/۱۰/۱۷	۱۳۸۰/۱۰/۱۷	۱/۹۲۵	۰/۴۴۷	۰/۶۸	۰/۶۵۸
۱۳۷۸/۰۹/۰۱	۱/۹۶۹	۱/۴۷۴	۱/۰۱	-۰/۴۶۰	۱۳۸۰/۱۱/۱۵	۱۳۸۰/۱۱/۱۵	۱/۲۷۷	۱/۴۵۲	۰/۳۵	۴/۱۵۰
۱۳۷۸/۰۹/۰۹	۱/۸۴۲	۱/۰۸۵	۱/۰۱	۱/۰۷۴	۱۳۸۰/۱۱/۲۵	۱۳۸۰/۱۱/۲۵	۱/۱۸۱۷	۳/۵۹۷	۱/۰۰	۵/۵۹۷
۱۳۷۸/۱۰/۰۵	۱/۸۸۲	۱/۰۸۸	۱/۰۹	-۰/۹۹۸	۱۳۸۰/۱۲/۱۱	۱۳۸۰/۱۲/۱۱	۱/۵۴۰	۱/۴۵۵	۰/۷۰	۲/۰۷۹
۱۳۷۸/۱۰/۲۸	-۰/۹۰۰	۲/۶۷۲	۱/۱۰	۲/۴۲۹	۱۳۸۰/۱۲/۱۶	۱۳۸۰/۱۲/۱۶	۱/۹۳۹	۳/۱۲۴	۰/۷۸	۴/۰۰۵
۱۳۷۸/۱۱/۲۷	۱/۶۲۱	۰/۶۱۷	۰/۳۵	۱/۷۶۴	۱۳۸۱/۰۱/۱۰	۱۳۸۱/۰۱/۱۰	۳/۱۶۸	۰/۲۹۵	۲/۵۹	-۰/۱۱۴
۱۳۷۸/۱۲/۲۶	۲/۱۴۰	۲/۳۳۱	۱/۶۵	۱/۳۵۲	۱۳۸۱/۰۱/۲۵	۱۳۸۱/۰۱/۲۵	۰/۸۱۹	۰/۷۹۹	۷/۴۵	-۰/۱۰۷
۱۳۷۹/۰۱/۰۸	۱/۷۸۲	۱/۹۸۷	۲/۸۸	-۰/۶۹۰	۱۳۸۱/۰۲/۱۰	۱۳۸۱/۰۲/۱۰	۲/۰۱۵	۱/۳۸۹	۱۰/۰۵	-۰/۱۳۸
۱۳۷۹/۰۱/۲۶	۶/۴۸۵	۱/۷۷۴	۱۰/۸۸	-۰/۱۶۳	۱۳۸۱/۰۳/۱۱	۱۳۸۱/۰۳/۱۱	۱۱/۰۱۴	۰/۴۴۹	۸/۲۱	-۰/۰۵۴
۱۳۷۹/۰۲/۱۱	۶/۲۷۳	۱/۹۶۱	۵/۰۵	-۰/۳۸۸	۱۳۸۱/۰۳/۲۵	۱۳۸۱/۰۳/۲۵	۴/۵۴۵	۲/۵۱۳	۲/۵۰	۱/۰۰۵
۱۳۷۹/۰۲/۲۶	۱/۷۴۵	۳/۸۸۸	۱/۰۲	۳/۸۱۲	۱۳۸۱/۰۴/۰۲	۱۳۸۱/۰۴/۰۲	۱/۱۲۲	۳/۱۷۴۴	۱/۵۶	۲۰/۳۵
۱۳۷۹/۰۳/۰۳	۳/۳۲۸	۲/۰۹۰	۰/۶۶	۳/۱۶۶	۱۳۸۱/۰۴/۱۶	۱۳۸۱/۰۴/۱۶	۴/۹۲۰	۰/۴۵۰	۷/۴۹	-۰/۰۶۰
۱۳۷۹/۰۳/۲۳	۲/۵۲۹	۵/۳۳۸	۲/۵۹	۲/۰۶۱	۱۳۸۱/۰۵/۰۵	۱۳۸۱/۰۵/۰۵	۶/۴۹۸	۰/۱۷۸	۲۳/۶۲	-۰/۰۰۷
۱۳۷۹/۰۴/۲۱	۱/۴۵۰	۱/۶۴۳	۱/۲۱	۱/۳۵۸	۱۳۸۱/۰۵/۲۶	۱۳۸۱/۰۵/۲۶	۱/۳۶۵	۰/۵۱۴	۳/۶۷	-۰/۱۴۰
۱۳۷۹/۰۴/۲۹	-۰/۹۲۱	۳/۰۱۸	۱/۶۱	۱/۸۷۵	۱۳۸۱/۰۶/۰۹	۱۳۸۱/۰۶/۰۹	۱/۷۵۰	۰/۸۹۶	۱/۶۹	-۰/۵۳۰
۱۳۷۹/۰۵/۱۹	۲/۳۹۲	۳/۶۳۸	۳/۷۵	-۰/۹۷۰	۱۳۸۱/۰۶/۲۶	۱۳۸۱/۰۶/۲۶	۲/۰۸۰	۳/۳۹۶	۲/۰۰	۱/۶۹۸
۱۳۷۹/۰۵/۳۱	-۰/۷۵۵	۱/۵۵۰	۰/۹۳	۱/۶۶۷	۱۳۸۱/۰۷/۱۷	۱۳۸۱/۰۷/۱۷	۲/۰۸۹	۰/۹۷۹	۳/۴۶	-۰/۲۸۳
۱۳۷۹/۰۶/۱۴	-۰/۹۴۴	۱/۴۲۳	۰/۵۳	۲/۶۸۶	۱۳۸۱/۰۷/۲۵	۱۳۸۱/۰۷/۲۵	۳/۴۷۰	۲/۲۴۱	۲/۵۴	-۰/۸۸۲
۱۳۷۹/۰۶/۳۱	-۰/۸۶۶	۱/۷۴۸	۰/۴۷	۳/۷۱۹	۱۳۸۱/۰۸/۱۳	۱۳۸۱/۰۸/۱۳	۳/۳۳۵	۱/۰۲۹	۲/۷۱	-۰/۳۸۰
۱۳۷۹/۰۷/۱۲	۱/۲۸۳	۱/۴۰۵	۲/۲۷	-۰/۶۱۹	۱۳۸۱/۰۸/۲۷	۱۳۸۱/۰۸/۲۷	۳/۱۱۵	۱/۸۷۰	۰/۷۱	۲/۶۳۴
۱۳۷۹/۰۷/۱۷	۱/۲۲۳	۲/۷۴۴	۰/۷۵	۳/۶۵۸	۱۳۸۱/۰۹/۰۹	۱۳۸۱/۰۹/۰۹	۲/۵۰۱	۱/۴۵۸	۰/۳۹	۳/۷۳۹
۱۳۷۹/۰۸/۱۴	۲/۳۷۰	۲/۲۵۴	۰/۵۳	۴/۲۵۴	۱۳۸۱/۰۹/۲۶	۱۳۸۱/۰۹/۲۶	۲/۳۵۰	۰/۲۴۱	۰/۲۳	۱/۰۴۷

ادامه جدول ۱- مقادیر بار بستر، معلق و دبی در طول دوره مطالعاتی در قطورچای، آذربایجان غربی

تاریخ نمونه برداری	دبی جریان (مترمکعب بر ثانیه)	بار بستر (گرم بر لیتر)	بار معلق (گرم بر لیتر)	نسبت بار بستر به معلق	تاریخ نمونه برداری	دبی جریان (مترمکعب بر ثانیه)	بار بستر (گرم بر لیتر)	بار معلق (گرم بر لیتر)	نسبت بار بستر به معلق
۱۳۷۹/۰۸/۳۰	۱/۹۴۰	۲/۲۳۵	۰/۴۲	۵/۳۲۱	۱۳۸۱/۱۰/۱۳	۲/۶۶۰	۰/۶۲۱	۰/۴۲	۱/۴۷۸
۱۳۷۹/۰۹/۱۵	۱/۹۰۹	۳/۲۱۸	۰/۸۲	۳/۹۲۵	۱۳۸۱/۱۰/۲۹	۲/۲۰۷	۰/۹۵۱	۰/۲۹	۳/۲۸۲
۱۳۷۹/۰۹/۳۰	۱/۵۳۵	۲/۹۶۶	۰/۴۵	۶/۵۹۱	۱۳۸۱/۱۱/۲۶	۲/۳۸۱	۲/۱۶۵	۰/۵۶	۳/۸۶۶
۱۳۷۹/۱۰/۱۵	۱/۹۰۰	۱/۶۴۷	۰/۳۶	۴/۵۷۶	۱۳۸۱/۱۲/۰۷	۲/۵۵۵	۰/۴۰۳	۰/۳۹	۱/۰۳۴
۱۳۷۹/۱۰/۳۰	۱/۸۴۰	۰/۶۴۶	۰/۴۰	۱/۶۱۵	۱۳۸۱/۱۲/۲۵	۳/۶۹۹	۰/۵۳۳	۱/۸۴	۰/۲۸۹
۱۳۷۹/۱۱/۱۲	۱/۹۳۶	۰/۱۷۵	۰/۳۸	۰/۴۶۱	۱۳۸۲/۰۱/۱۴	۴/۳۱۶	۰/۵۵۲	۴/۷۸	۰/۱۱۵
۱۳۷۹/۱۲/۰۲	۱/۶۰۴	۰/۱۹۵	۰/۴۰	۰/۴۸۹	۱۳۸۲/۰۲/۳۰	۱۲/۸۰۲	۰/۲۹۸	۳/۸۰	۰/۰۷۸
۱۳۸۰/۰۱/۲۹	۲/۳۰۲	۳/۵۷۷	۲/۵۹	۱/۳۸۱	۱۳۸۲/۰۳/۱۱	۹/۰۰۳	۱/۰۱۹	۶/۱۲	۰/۱۶۶
۱۳۸۰/۰۲/۱۹	۲/۴۲۶	۵/۴۲۳	۳/۵۰	۱/۵۴۹	۱۳۸۲/۰۳/۲۹	۱۰/۸۸۷	۰/۸۶۷	۱۷/۲۷	۰/۰۵۰
۱۳۸۰/۰۲/۲۷	۱/۷۰۹	۱۱/۵۶۱	۲/۰۵	۵/۶۴۰	۱۳۸۲/۰۴/۱۰	۵/۵۶۳	۱/۸۵۲	۱۱/۲۵	۰/۱۶۴
۱۳۸۰/۰۳/۰۹	۱/۸۲۱	۴/۶۲۴	۱/۵۷	۲/۹۴۵	۱۳۸۲/۰۵/۰۴	۷/۳۴۴	۰/۶۹۹	۱۰/۶۲	۰/۰۶۶
۱۳۸۰/۰۴/۰۶	۰/۸۵۰	۲/۸۴۵	۱/۱۸	۲/۴۱۱	۱۳۸۲/۰۵/۲۶	۳/۱۵۴	۱/۱۱۵	۰/۶۵	۱/۷۱۵
۱۳۸۰/۰۴/۱۷	۰/۴۱۰	۴/۳۱۷	۰/۹۴	۴/۵۹۲	۱۳۸۲/۰۶/۰۶	۳/۵۷۷	۰/۳۷۲	۸/۱۲	۰/۰۴
۱۳۸۰/۰۴/۳۱	۳/۳۵۹	۱/۲۹۶	۱۰/۴۲	۰/۱۲۴	۱۳۸۲/۰۶/۳۱	۳/۳۷۶	۱/۲۳۱	۷/۲۷	۰/۱۶۹
۱۳۸۰/۰۵/۱۵	۰/۵۵۸	۵/۲۲۵	۰/۸۴	۶/۲۲۰					

از این رو، عدم گزارش و تحلیل مقادیر حداکثری دبی و غلظت‌های بار معلق و بار بستر از محدودیت‌های قابل توجه پژوهش حاضر و حتی پژوهش‌های مشابه دیگر می‌تواند باشد. با این حال به منظور تحلیل تغییرپذیری مقادیر بار بستر و معلق در شرایط دبی‌های متفاوت موجود، از دسته‌های مختلف دبی، نمونه‌های انتخاب شده و در شکل ۱ تغییرات آن‌ها نسبت به هم نمایش داده شدند. برای این منظور و برای انتخاب نمونه‌های منتخب سعی شد، دبی‌های جریان به ۱۰ دسته تقسیم شده و در هر دسته نمونه‌های بار بستر و معلق بر اساس دبی میانه آن به صورت نمودار ستونی ارائه شود.

نتایج حاکی از آن بود که در دبی‌های پایین، مقادیر بار معلق نیز پایین بوده و در دبی‌های زیاد، مقدار آن بیش‌تر شده است (جدول ۱ و شکل ۱). لذا، می‌توان تغییرات بار معلق در رودخانه مورد مطالعه بر اساس داده‌های محدود قابل دسترس را تا حدودی تابع تغییرات دبی جریان دانست (Saeidi و Sadeghi, ۲۰۱۰) که نتایج بررسی میزان همبستگی رگرسیونی از بار معلق کل بود.

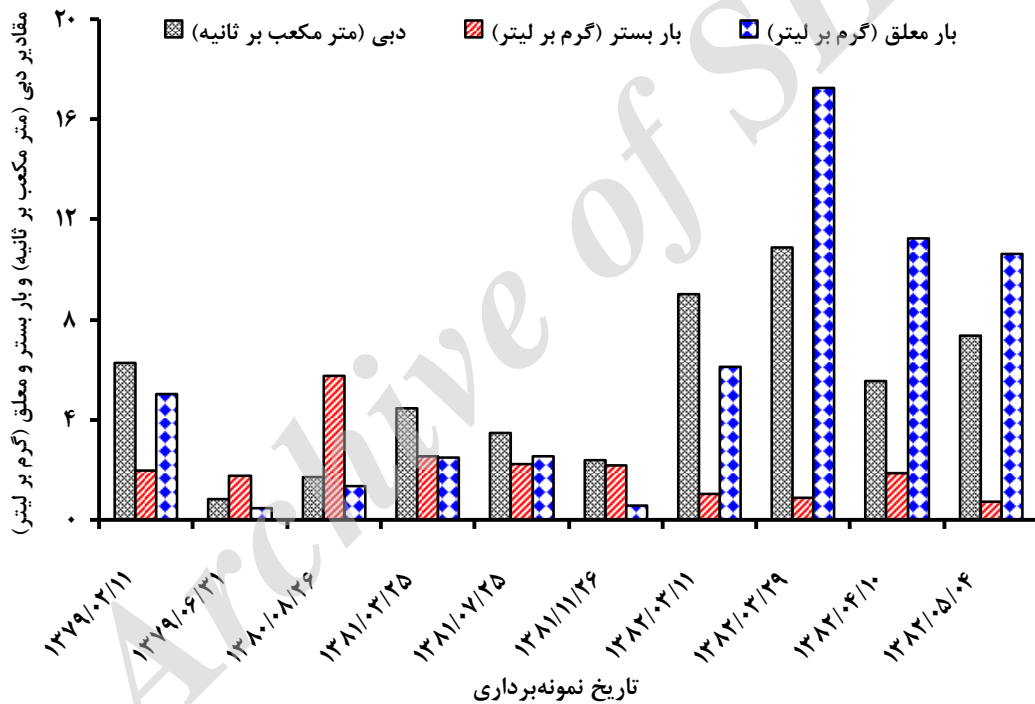
از آن جایی که در روش‌های غیرمستقیم برآورد بار معلق از جمله منحنی‌های سنج رسوب میزان انتقال بار معلق وابسته به تغییرات دبی جریان بوده و از طرفی بارندگی و ویژگی‌های فیزیکی و مدیریتی سطح آبخیزها نقش حداکثری در میزان تولید و انتقال بار معلق حوضه‌ای داشته و دبی جریان کم‌ترین نقش را

از این رو، عدم گزارش و تحلیل مقادیر حداکثری دبی و غلظت‌های بار معلق و بار بستر از محدودیت‌های قابل توجه پژوهش حاضر و حتی پژوهش‌های مشابه دیگر می‌تواند باشد. با این حال به منظور تحلیل تغییرپذیری مقادیر بار بستر و معلق در شرایط دبی‌های متفاوت موجود، از دسته‌های مختلف دبی، نمونه‌های انتخاب شده و در شکل ۱ تغییرات آن‌ها نسبت به هم نمایش داده شدند. برای این منظور و برای انتخاب نمونه‌های منتخب سعی شد، دبی‌های جریان به ۱۰ دسته تقسیم شده و در هر دسته نمونه‌های بار بستر و معلق بر اساس دبی میانه آن به صورت نمودار ستونی ارائه شود.

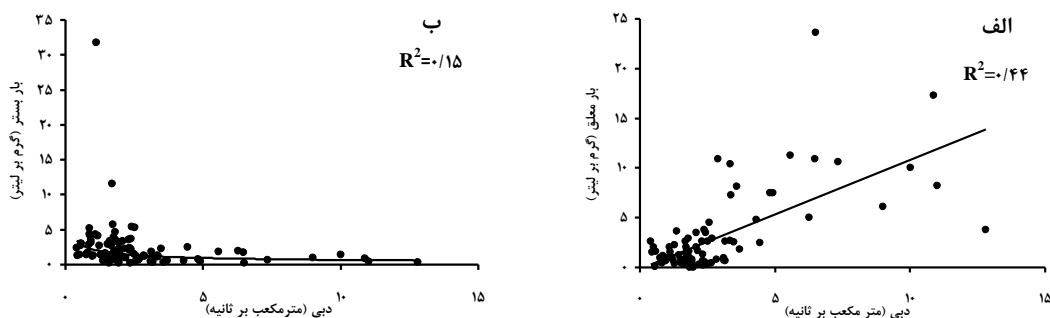
نتایج حاکی از آن بود که در دبی‌های پایین، مقادیر بار معلق نیز پایین بوده و در دبی‌های زیاد، مقدار آن بیش‌تر شده است (جدول ۱ و شکل ۱). لذا، می‌توان تغییرات بار معلق در رودخانه مورد مطالعه بر اساس داده‌های محدود قابل دسترس را تا حدودی تابع تغییرات دبی جریان دانست (Saeidi و Sadeghi, ۲۰۱۰) که نتایج بررسی میزان همبستگی رگرسیونی از بار معلق کل بود.

کمتر با افزایش در مقادیر دبی، افزایش (Martin, ۲۰۰۳؛ Lana-Renault و Regüés, ۲۰۰۷؛ Yu و همکاران, ۲۰۰۹) و در مواقع سیلابی کاهش یافته است که می‌توان به خطا در اندازه‌گیری هم از جانب کارشناس و هم دستگاه‌های اندازه‌گیری به دلیل مشکل بودن اندازه‌گیری بار بستر اشاره کرد (Sadeghi و Kheirfam, ۲۰۱۵). البته برای فصول سرد سال که با یخ‌زدگی کناره‌های رودخانه همراه می‌باشد، می‌توان به‌عنوان عاملی برای کاهش مقدار بار بستر انتقالی در این فصول معرفی کرد که با نتایج Hardy و همکاران (۲۰۱۰) هم‌خوانی دارد.

دارد، لذا، ضرورت بررسی بار معلق به‌صورت مجزا و تحت عنوان بار معلق حوضه‌ای و رودخانه‌ای در راستای ارائه مدل‌های با دقت و صحت بالا اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. از طرفی نتایج بررسی ارتباط مقادیر بار بستر با دبی‌های متناظر نشان داد که مقادیر بار بستر رفتار پیچیده‌ای نسبت به افزایش و کاهش مقادیر دبی در نمونه‌های برداشت شده داشت. از این‌رو ارتباط قابل توجیهی بین مقادیر دبی و بار بستر نمی‌توان برقرار نمود. یافته‌های مذکور نیز بر اساس میزان همبستگی بار بستر با مقدار دبی جریان (۰/۱۵، $p < 0/05$) و ارائه شده در شکل ۲- ب مورد تأیید قرار گرفت. لذا، مقادیر بار بستر در دبی‌های متوسط و



شکل ۱- تغییرات بار بستر و معلق در برخی از دبی‌های منتخب از مجموع نمونه‌های برداشت شده از رودخانه قطورچای آذربایجان غربی



شکل ۲- مقادیر همبستگی بین بار معلق (الف)، بستر (ب) و دبی جریان رودخانه قطورچای آذربایجان غربی

برخلاف سایر فصول که در دبی‌های کم‌تر اتفاق افتاده بود، بیش‌تر در دبی‌های متوسط رخ داده است. اما در فصل زمستان نیز مقادیر حداقل، حداکثر و میانه نسبت بار بستر به معلق به ترتیب با ۲۸/۹۶، ۴۵۷/۶۱ و ۱۶۹ درصد رفتاری بسیار مشابه با فصل پاییز داشته و در این فصل نیز نسبت بار بستر به معلق رفتار مشخصی با تغییرات دبی نداشته ولی در مجموع در دبی‌های متوسط این نسبت بیش‌تر شده که با نتایج Kheirfam و Sadeghi (۲۰۱۵) هم‌خوانی دارد.

در مجموع با تجزیه و تحلیل داده‌های قابل دسترس و موجود مورد مطالعه، مقادیر بار بستر، معلق و نسبت بین بار بستر به معلق در فصول و شرایط زمانی مختلف و حذف شرایط نامعقول می‌توان بیان کرد که بیش‌ترین میزان دبی با متوسط مقدار پنج مترمکعب بر ثانیه در فصل بهار و کم‌ترین آن با متوسط دو متر مکعب بر ثانیه در فصل زمستان و صرفاً برای نمونه‌های مورد بررسی بود. البته کم‌ترین میزان مقدار بار معلق برای نمونه‌های مورد مطالعه نیز با متوسط ۰/۷ گرم بر لیتر در همین فصل بوده که می‌توان به نوع بارش منطقه اشاره کرد که در فصل زمستان بیش‌تر به صورت برف بوده که در ارتفاعات و سطوح دامنه و بدون ذوب تجمع می‌یابد (Sadeghi و Kheirfam، ۲۰۱۵). هم‌چنین، بیش‌ترین میزان انتقال بار معلق در بازه زمانی و داده‌های مورد مطالعه نیز در فصل بهار رخ داده که می‌توان ذوب برف و انتقال رسوبات معلق حوضه‌ای به سامانه رودخانه را عامل اصلی افزایش مقادیر بار معلق و کاهش نسبت بار بستر به معلق در این فصل دانست که Torizzo و Pitlick (۲۰۰۴) نیز در مناطق کوهستانی کلرادو به نتایج مشابهی دست یافتند. هر چند Sadeghi و Saeidi (۲۰۱۰)، Kheirfam و Sadeghi (۲۰۱۵) و Zaker (۲۰۱۵) بیش‌ترین غلظت بار معلق در فصول پاییز و زمستان را ورود رسوبات حوضه‌ای و کاهش پوشش گیاهی معرفی کرده‌اند. با این حال برای دستیابی به نتایج و تحلیل‌های دقیق و کامل‌تر ضرورت بهره‌گیری از مجموعه داده‌های طولانی مدت و با تعداد بیش‌تر اجتناب‌ناپذیر است.

بالا بودن غلظت بار معلق علاوه بر بارندگی و ورود رسوبات حوضه‌ای، می‌تواند متأثر از شرایط

با توجه به نتایج تغییرات و همبستگی بار معلق و بار بستر با دبی جریان که از رفتار کاملاً ثابتی تبعیت نمی‌کرد، لذا، به نظر می‌رسد، بررسی ارتباط مقادیر بار بستر و معلق و هم‌چنین، نسبت بار بستر به معلق در بازه‌های زمانی متفاوت با شرایط محیطی، اقلیمی و هیدرولوژیکی متفاوت امکان دستیابی به تحلیل‌های مناسب‌تر را فراهم آورد. از این‌رو، رفتار بار بستر، معلق و نسبت بار بستر به معلق در فصول مختلف سال نیز به سبب برخورداری از شرایط اقلیمی و هیدرولوژیکی همگن‌تر مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج تحلیل‌های فصلی بیش‌ترین میزان انتقال بار معلق برای رودخانه قطورچای و در بازه زمانی و تعداد داده‌های موجود از اواخر زمستان تا اواخر خرداد بوده و کم‌ترین میزان آن در فصول خشک و یا با بارش کم‌تر بوده که طبق یافته‌های Sayer و همکاران (۲۰۰۶) می‌توان به کاهش سهم بار معلق حوضه‌ای در بار معلق کل اشاره کرد (Sadeghi و Zaker، ۲۰۱۵). این در حالی است که مقادیر بار بستر از روند خاصی پیروی نکرده است. در پژوهش حاضر هم‌چنین، تغییرات نسبت بار بستر به معلق در شرایط زمانی (فصول) مختلف مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت.

با بررسی و تحلیل داده‌های جدول ۱ در مجموع می‌توان این‌گونه بیان کرد که در فصل بهار در رودخانه مذکور مقادیر حداقل، حداکثر و میانه نسبت بار بستر به معلق در رودخانه‌ی قطورچای به ترتیب ۵/۰۲، ۵۶۳/۹۹ و ۲۷/۳۴ درصد بوده و کم‌ترین مقادیر نسبت بار بستر به معلق در شرایط سیلابی ثبت شده است. برای فصل تابستان نیز مقادیر حداقل، حداکثر و میانه نسبت بار بستر به معلق به ترتیب ۰/۷۵، ۲۰۳۴/۹۱ و ۱۳۵/۸۰ درصد بوده و همانند فصل بهار بیش‌ترین میزان بار بستر و نسبت آن به بار معلق در دبی‌های حداقل می‌باشد. هم‌چنین، در این فصل به دلیل کاهش بارندگی و خشکی، فراوانی مقادیر کم بار معلق در این فصل بیش‌تر مشاهده شد. مقادیر حداقل، حداکثر و میانه نسبت بار بستر به معلق در فصل پاییز به ترتیب با ۲۸/۳۱، ۶۵۹/۱۵ و ۱۸۴/۹۴ درصد حاکی از آن بود که حتی در شرایطی که مقادیر بار بستر نسبت به بار معلق کم‌تر بود ولی باز هم حدود ۰/۳ بار معلق می‌باشد و کم‌ترین میزان نسبت بار بستر به معلق

دلایل چنین مقدار گزارش شده‌ای باشد، با این حال Ashraf و همکاران (۲۰۰۱)، Jabari و Farzi (۲۰۰۹) و Sadeghi و Kheirfam (۲۰۱۵) افزایش قدرت حمل جریان در اثر دخالت‌های انسانی از قبیل برداشت شن و ماسه را از دلایل اصلی افزایش انتقال بار بستر رودخانه‌ای دانسته‌اند.

از طرفی، در طول دوره آماری مورد بررسی، نسبت بار بستر به معلق از ۰/۷ تا ۲۴۳۴ درصد متغیر بوده و میان آن نیز ۱۳۸/۱۳ درصد محاسبه شد. در صورتی که Nikkami و همکاران (۲۰۱۴) میانگین نسبت بار بستر به معلق اندازه‌گیری شده در این رودخانه (ایستگاه یزدکان) و دو رودخانه الوندچای (ایستگاه بدلان) و بارون‌چای (ایستگاه مزرعه) استان آذربایجان غربی را به ترتیب ۷۹، ۴۹ و ۱۳ درصد (برای دوره آماری ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۰) را گزارش کرده که حاکی از تغییرپذیری بالای این نسبت در یک ایستگاه حتی در بازه‌های زمانی مختلف نیز می‌باشد. لذا مقایسه مقادیر نسبت بار بستر به معلق در برخی از رودخانه‌های کشور امکان دستیابی به جمع‌بندی کامل‌تر و مناسب‌تر برای ارائه راهکارهای علمی در مطالعات و تخمین بار بستر رودخانه‌ای را فراهم خواهد آورد. از این‌رو مروری بر پژوهش‌های پیشین حاکی از آن است که نسبت بار بستر به معلق رودخانه‌ای توسط Bahadori Khosroshahi (۱۹۹۵) برای مناطق دشتی ۲۸ درصد و برای مناطق کوهستانی (رودخانه کرج) ۳۴۹ درصد، Zirak-e-Javanmard (۱۹۹۵) برای رودخانه الوند آذربایجان غربی شش تا ۱۰۵۳ درصد، Shafaei Bajestan و Ostad Asgari (۲۰۰۰) برای ایستگاه‌های اهواز و حمیدیه شش تا ۱۱ درصد، Samadianfard و همکاران (۲۰۰۷) برای رودخانه اهرچای آذربایجان شرقی ۰/۴۲ تا ۱/۱۶ درصد، Kazemi (۲۰۰۸) برای رودخانه طالقان ۱۴/۷ درصد و برای رودخانه جاجرود ۳۷۶ درصد و Sadeghi و Kheirfam (۲۰۱۵) و Sadeghi و Zakeri (۲۰۱۵) برای رودخانه جنگلی کجور ۰/۱ تا ۸/۱ درصد گزارش شده است.

در نهایت رفتار متفاوت بار بستر با تغییرات دبی در تمام رودخانه‌ها یکسان نبوده و همان‌طور که نتایج تحلیل و بررسی در رودخانه‌ی قطورچای نشان داد، در

هیدرولوژیکی رودخانه (Sadeghi و Kheirfam, ۲۰۱۵) باشد. هر چند Sadeghi و Kheirfam (۲۰۱۴)، Sadeghi و Kheirfam (۲۰۱۵) و هم‌چنین Sadeghi و Zakeri (۲۰۱۵) دخالت‌های انسانی از قبیل برداشت شن و ماسه را یکی از دلایل اصلی افزایش مقدار بار معلق و بستر رودخانه آبخیز جنگلی کجور معرفی کرده‌اند. در این راستا یافته‌های این پژوهش با نتایج پژوهش‌های Sadeghi و Saeidi (۲۰۱۰)، Sracek و همکاران (۲۰۱۲)، Jabbari و Farzi (۲۰۱۰)، Sadeghi و Saeidi (۲۰۱۰)، Sadeghi و Kheirfam (۲۰۱۵) مطابقت دارد. از طرفی فراوانی مقادیر بالای بار بستر در فصل بهار مشاهده شده و کم‌ترین فراوانی آن هم در فصل زمستان مشاهده شد. از این‌رو می‌توان عامل دبی را می‌توان مؤثر بر این امر دانست. این یافته با نتایج Martin (۲۰۰۳)، Torizzo و Pitlick (۲۰۰۴)، Lana-Renault و Regüés (۲۰۰۷)، Yu و همکاران (۲۰۰۹)، Radice و همکاران (۲۰۱۰) نیز تأیید شد. در صورتی‌که تحلیل داده به داده حاکی از رفتار پیچیده تغییرات بار بستر با دبی می‌باشد. در طی دوره مطالعاتی، بیش‌ترین میزان انتقال بار بستر با مقدار ۳۱/۴۷ گرم بر لیتر و با دبی و بار معلق متناظر به ترتیب ۱/۱۲۲ مترمکعب بر ثانیه و ۱/۵۶ گرم بر لیتر مربوط به دوم تیرماه سال ۱۳۸۱ بوده و به تبع آن افزایش نسبت بار بستر به معلق تا ۲۰/۳۴ (۲۰۳۴ درصد) بود.

بررسی‌های زیادی برای علت وقوع چنین درصدی از بار بستر به معلق صورت گرفت. با این حال دلیل قانع‌کننده که نشان‌دهنده تأثیر عوامل طبیعی محیطی بر وقوع این مقدار از نسبت بار بستر به معلق باشد، یافت نشد. لذا، بر اساس نتایج پژوهش‌های پیشین Kheirfam و Sadeghi (۲۰۱۴) و Sadeghi و Kheirfam (۲۰۱۵) و شواهد عینی مبنی بر برداشت شن و ماسه از بستر رودخانه مورد مطالعه، امکان بروز چنین مقداری را ابتدا می‌توان به دست‌کاری‌های انسانی نسبت داد. اما از آنجایی که انتظار می‌رود دست‌کاری‌های انسانی در بستر رودخانه باعث افزایش مقدار غلظت بار معلق هم شود ولی این‌چنین نشده است، از این‌رو احتمال خطای انسانی در فرایند اندازه‌گیری و یا ثبت مقادیر داده‌ها می‌تواند یکی از

میزان بار بستر رودخانه‌ای مناسب ارزیابی نشد. هر چند به سبب تعداد کم داده‌های اندازه‌گیری بار بستر و عدم نمونه‌برداری از بار بستر در دبی‌های زیاد و شرایط سیلابی، بی‌شک تعمیم نتایج و تحلیل‌ها به شرایط واقعی سامانه را با محدودیت مواجه خواهد کرد، ولی همبستگی ضعیف بین متغیرهای رسوب و دبی بر اساس اطلاعات موجود نیز خود گویای رفتار پیچیده سامانه آبخیزها در تولید رسوب می‌باشد. لذا علاوه بر انجام پژوهش‌های گسترده‌تر در شرایط مختلف هیدرولوژیک، در طول دوره پژوهشی طولانی‌تر و نهایتاً در سایر رودخانه‌های کشور امکان دستیابی به نتایج مکمل و دقیق‌تر، تجهیز رودخانه‌های کشور به ایستگاه‌های سنجش بار معلق و به‌ویژه بار بستر با اندازه‌گیری‌های روزانه در راستای دستیابی به بانک اطلاعاتی قابل اعتماد پیشنهاد شده و بر ضرورت اجرای آن تأکید می‌شود.

بیش‌تر مواقع بین مقادیر دبی و بار بستر و نسبت بار بستر به معلق رابطه عکس وجود دارد. از طرفی هم رفتار بار بستر در شرایط هیدرولوژیکی، زمانی و فصول مختلف بسیار متغیر بود.

نتیجه‌گیری

بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر و در راستای پژوهش‌های پیشین تخمین تولید رسوب در آبخیزها با استفاده از روش‌های تجربی و حتی اندازه‌گیری‌ها با فاصله‌های زمانی طولانی نتایج دقیق و قابل اتکا برای اقدامات اجرایی و مدیریتی را ارائه نخواهد داد. رفتار پیچیده بار بستر رودخانه‌ای با مقادیر دبی متناظر در رودخانه مورد مطالعه در پژوهش حاضر دقت پایین منحنی‌های سنجه رسوب (بار بستر) را تأیید کرد. همچنین، بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر و در راستای پژوهش‌های مشابه پیشین استفاده از نسبت ۱۰ تا ۳۰ درصد نسبت بار بستر به معلق برای تخمین

منابع مورد استفاده

1. Ashraf, M.A., M.J. Maah, I. Yusoff, A. Wajid and K. Mahmood. 2001. Sand mining effects, causes and concerns, case study: Bestari Jaya, Selangor, Peninsular Malaysia. *Scientific Research and Essays*, 6(6): 1216-1231.
2. Bagnold, R.A. 1980. An empirical correlation of bedload transport rates in flumes and natural rivers. *Proceedings of the Royal Society of London*, 372(A): 453-473.
3. Bahadori Khosroshahi, F. 1995. Investigation of bed load to suspended load ratio in Iran Rivers. *Soil Erosion and Sediment National Seminar, Iran, Noor, May, 14 to 17, 1995*, 161-178 (in Persian).
4. Chang, F.M., D.B. Simons and E.V. Richardson. 1967. Total bed material discharge in alluvial channels. In: *Proc. 20th Conference of the International Association for Hydraulic Research, Fort Collins, Colorado, USA*. pp. 132- 139.
5. Einstein, H. 1950. The bed-load function for sediment transportation in open channel flow. *United States Department of Agriculture, Washington, DC, Technical Bulletin No. 1026*, 78 pages.
6. Esmaili, K., M. Shafai Bajestan and M. Kashefipour. 2008. A model for predicting the bed load in ephemeral rivers. *Journal of Water and Soil*, 22(2): 240-250 (in Persian).
7. Fredson, J. and R. Deigaard. 1994. *Mechanics of coastal sediment transport*. World Scientific Publication, 392 pages.
8. Gomi, T., R.C. Sidle and D.N. Swanston. 2004. Hydrogeomorphic linkages of sediment transport in headwaters streams. *Maybeso Experimental Forest, Southeast Alaska, Hydrological Processes*, 18: 667-683.
9. Hardy, F., L. Bariteau, S. Lorrain, I. Thériault, G. Gagnon, D. Messier and J.F. Rougerie. 2010. Geochemical tracing and spatial evolution of the sediment bed load of the Romaine River, Québec Canada. *Catena*, 81: 66-76.
10. Hergault, V., Ph. Frey and F. Ois Metivier. 2010. Image processing for the study of bedload transport of two-size spherical particles in a supercritical flow. *Experiments in Fluids*, 49: 1095-1107.
11. Jabbari, E. and H. Farzi. 2010. Sand and gravel production and these results in the changing patterns of Razavr River sediment load. *Geographic Research*, 93: 145-160 (in Persian).
12. Kazemi, Y. 2008. Estimation of bed load to suspended load ratio in Central Alborz Rivers, case study: Jajrood and Taleghan Rivers. *MSc Thesis, Tehran University*, 109 pages (in Persian).
13. Kheirfam, H. and S.H.R. Sadeghi. 2012. Modelling of hydrometeorological behavior of Aq qala watershed. In: *National Conference on Water Flow and Pollution, University of Tehran, 23-24 May 2012, Tehran*, 8 pages (in Persian).

14. Kheirfam, H. and S.H.R. Sadeghi. 2014. Effect of sand and gravel mining on among of sediment load and bed load granulometry in Kojour River. *Watershed Management Science and Engineering*, 8(26): 27-34 (in Persian).
15. Lana-Renault, N. and D. Regüés. 2007. Bedload transport under different flow conditions in a human-disturbed catchment in the Central Spanish Pyrenees. *Catena*, 71: 155-163.
16. Martin, Y. 2003. Evaluation of bed load transport formulae using field evidence from the Vedder River, British Columbia. *Geomorphology*, 53: 75-95.
17. Metivier, F. and P. Meunier. 2003. Input and output mass flux correlations in an experimental braided stream Implications on the dynamics of bed load transport. *Journal of Hydrology*, 271: 22-38.
18. Meyer-Peter, E. and R. Muller. 1948. Formulas for bed-load transport. In: Report on the 2nd Meeting International Association Hydraulic Structure Research. Stockholm, Sweden, 39-64.
19. Nikkami, D., R. Sokouti Oskuee, E. Brooshkeh and F. Heshmati. 2014. Investigating sediment loads of Iranian rivers, case study: Western Azerbaijan. *Watershed Engineering and Management*, 5(4): 266-274 (in Persian).
20. Okada, S., A. Yorozyua, H. Koseki, S. Kudo and K. Muraoka. 2017. Comprehensive measurement techniques of water flow, bedload and suspended sediment in large river using Acoustic Doppler Current Profiler. Taylor and Francis Group, London, ISBN 978-1-138-02945-3.
21. Radice, A., F. Ballio and V. Nikora. 2010. Statistics and characteristic scales for bed load in a channel flow with sidewall effects. *Acta Geophysica*, 5(6): 1072-1093.
22. Reid, I., J.B. Laronne and M. Powell. 1998. Prediction of bed-load transport by desert flash floods. *Journal of Hydraulic Engineering*, 122(3): 170-173.
23. Sadeghi, S.H.R and H. Kheirfam. 2015. Temporal variation of bed load to suspended load ratio in Kojour River, Iran. *Clean-Soil, Air, Water*, 43(10): 1366-1374.
24. Sadeghi, S.H.R., T. Mizuyama, S. Miyata, T. Gomi, K. Kosugi, T. Fukushima, S. Mizugaki and Y. Onda. 2008. Determinant factors of sediment graphs and rating loops in a reforested watershed. *Journal of Hydrology*, 356: 271-282.
25. Sadeghi, S.H.R and P. Saeidi. 2010. Reliability of sediment rating curves for a deciduous forest watershed in Iran. *Hydrological Sciences Journal*, 55(5): 821-831.
26. Sadeghi, S.H.R and M.A. Zakeri. 2015. Partitioning and analyzing temporal variability of wash and bed material loads in a forest watershed in Iran. *Journal of Earth System Science*, 124(7): 1503-1515.
27. Samadianfard, S., M.A. Ghorbani, R. Hoseiniler, A. Hosseinzadeh Delir and D. Farsadizadeh. 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).
28. Sayer, A.M., R.P.D. Walsh and K. Bidin. 2006. Pipeflow suspended sediment dynamics and their contribution to stream sediment budgets in small rainforest catchments, Sabah, Malaysia. *Forest Ecology and Management*, 224: 119-130.
29. Shafaei Bajestan, M. and M. Ostad Asgari. 2000. A mathematical model to evaluate the bed and total load by the modified the Einstein procedure. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 4(2): 29-41 (in Persian).
30. Shields, A. 1936. Applications of similarity principles and turbulence research to bed-load movement. W.M. Keck Laboratory of Hydraulics and Water Resources, California Institute of Technology, 43 pages.
31. Sracek, O., K. Bohdan, M. Martin, M. Vladimír, V. František, V. Zbyněk and N. Imasiku. 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. Torizzo, M. and J. Pitlick. 2004. Magnitude-frequency of bedload transport in mountain streams in Colorado. *Journal of Hydrology*, 290: 137-151.
33. Van der Vegt, H., J.E.A. Storms, D.J.R. Walstra and N.C. Howes. 2016. Can bed load transport drive varying depositional behavior in river delta environments? *Sedimentary Geology*, 345: 19-32.
34. Wilson, K. 1996. Bed-load transport at high shear stress. *Journal of Hydraulic Engineering*, 92(11): 49-59.
35. Yu, G., Zh.Y. Wang, K. Zhang, T.Ch. Chang and H. Liu. 2009. Effect of incoming sediment on the transport rate of bed load in mountain streams. *International Journal of Sediment Research*, 24: 260-273.
36. Zirak-e-Javanmard, K. 1995. Assessment of bed load of Aland River using the pit sampler equipped with a evacuation system. *Soil Erosion and Sediment National Seminar*, Iran, Noor, May, 14 to 17, 1995, 209-238 (in Persian).

Variability of bed and suspended load and bed to suspended load ratio in QotourChay River

Hossein Kheirfam¹, Behzad Kheirfam², Yaaghoub Azhdan³ and Saleh Hosseini⁴

¹ Assistant Professor, Department of Environmental Science, Artemia and Urmia Lake Research Institute, Urmia University, Iran, ² MSc Student, Faculty of Civil Engineering-Hydraulic Structures, Urmia University, Iran and Expert of Water Resources in Miandoab Township Office, ³ PhD in Water Structure Engineering and Expert of Water Resources in Miandoab Township Office and ⁴ MSc, Faculty of Civil Engineering, Azad Islamic University, Mahabad Branch, Iran and Expert of Water Resources in Miandoab Township Office

Received: 09 June 2016

Accepted: 14 February 2017

Abstract

Variability analysis of river sediment transport in different temporal and hydrological conditions is important in hydraulics and hydrological science and engineering. Otherwise, behavior analyzing of the riverian systems at the different temporal conditions is necessary in managerial decisions to control and reduce sediment transport. However, knowledge about the type and amount of sediment in watersheds in various temporal and hydrological conditions is limited. Therefore, this study aimed to investigate the variability of bed and suspended load and bed to suspended load ratio. The 6-years period (1998-2003) data of bed and suspended load (g l^{-1}) and discharge ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) were collected from Yazdekan station of Qotour Chay River. The analyses also were carried out in Excel 2007 software. The results indicate that discharge increasing caused that the suspended load was increased and the bed to suspended load ratio was decreased at all seasons. As well, the lowest and highest bed and suspended load transport were occurred at the winter and spring, respectively. Amounts of minimum, maximum and median bed to suspended load ratio at spring, summer, autumn and winter were 5.02, 563.99 and 27.34%; and 0.075, 2034.91 and 135.80%; and 28.31, 659.15 and 184.94%; and 28.96, 457.61 and 169%, respectively. Also, during the study period the bed to suspended load ratio was varied about 0.7 up to 2034%. Therefore, using indirect methods to estimate sediment is not accurate because of complex behavior of sediment particularly bed load and bed to suspended load ratio with discharge. By and large, it is necessary that daily bed load measuring in sediment gauges.

Key words: River system, Sediment behavior, Sediment hydraulic, Sediment transport, Watershed health

* Corresponding author: h.kheirfam@urmia.ac.ir