

تحلیل فرایندهای درون‌رگباری تحویل رسوب معلق تعدادی از زیرحوضه‌های دریاچه زریوار به کمک الگوی حلقه‌های رسوبی

- ❖ سید حمیدرضا صادقی*؛ استاد گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس
- ❖ شیرکو ابراهیمی محمدی؛ دانش‌آموخته دکترای آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه کردستان
- ❖ کامران چپی؛ استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان

چکیده

رفتار رسوب معلق در طول رگبارها نه تنها تابعی از شرایط انرژی از قبیل ذخیره رسوبات در دبی‌های کم و حمل آن در دبی‌های زیاد است، بلکه با تغییرات تولید رسوب و کاهش آن نیز مرتبط است. تغییرات موجودیت رسوب باعث ایجاد اثری به نام الگوی حلقه رسوبی می‌شود. تحلیل الگوهای حلقه‌های رسوبی اهمیت فراوانی در مطالعات رسوب حوضه‌های آبخیز دارد؛ حال آنکه به تحلیل آن‌ها کمتر توجه شده است. بنابراین، در این مطالعه، بر اساس داده‌های دبی و غلظت رسوب معلق ۸ واقعه بارندگی اتفاق افتاده از فروردین ۱۳۹۰ تا اردیبهشت ۱۳۹۱، تغییرات درون‌رگباری غلظت رسوب معلق ۶ زیرحوضه دریاچه زریوار در قالب الگوهای حلقه‌های رسوبی به دست آمد. بر اساس تحلیل نتایج، حلقه‌های رسوبی به دست آمده دارای ۱۶ الگوی ساعت‌گرد، ۱۳ الگوی بی‌نظم، ۱۱ الگوی پیچیده، و ۶ الگوی پادساعت‌گرد بود. زیرحوضه‌های کوچک آبخیز دریاچه زریوار پاسخ‌های سریعی به تغییرات شدت رگبارها نشان داد و اکثر آب‌نمودهای ثبت شده از رگبارهای مختلف دارای چند دبی اوج و، به تبع آن، تغییرات فراوان غلظت رسوب معلق بود. که خود باعث ایجاد الگوهای متفاوت حلقه رسوبی شد. تنوع الگوهای حلقه‌های رسوبی نه تنها بیانگر پیچیدگی حمل رسوب در درون وقایع رگباری بود، بلکه از رگباری به رگبار دیگر نیز تغییر کرد. برقراری رابطه معنی‌دار آماری ($p < 0.01$) بین آورد کل رسوب و دبی اوج وقایع رگباری هر نقطه نمونه‌برداری بیانگر این واقعیت بود که، به‌رغم تفاوت‌های تغییرات درون‌رگباری غلظت رسوب معلق، می‌توان اثر کلی همه وقایع را در هر نقطه نمونه‌برداری با یک معادله ساده رگرسیونی توصیف کرد.

واژگان کلیدی: تغییرات زمانی رسوب، تولید رسوب، دبی اوج، رسوب معلق، رسوب نمود.

مقدمه

هم‌زمان نیست؛ به طوری که یک منحنی سنجۀ رسوب^۲ برای توصیف رابطه دبی و رسوب برای یک واقعه کافی نیست [۴۰، ۴۲]. این موضوع با استفاده از شناسایی الگوهای حلقه رسوبی^۳ مطالعه می‌شود که طی آن فرایندهای فیزیکی حمل رسوب معلق به طور کیفی از طریق شناسایی جهت حلقه‌های رسوبی تشخیص داده می‌شود [۵، ۴۳]. تفسیر الگوهای حلقه دبی- رسوب شکل گرفته در وقایع مختلف اطلاعات مفیدی از تعامل پیچیده تغییرات تولید و حمل رسوب در زمان، شدت و مدت بارش، و پاسخ دبی به این تغییرات در اختیار قرار می‌دهد. حلقه‌های رسوبی معمولاً روشی برای محاسبه بار رسوب تلقی نمی‌شوند، اما شکل آن‌ها شاخصی مهم برای تفسیر فرایندهای مختلف رواناب، موقعیت منابع تولید، و حمل رسوب محسوب می‌شود [۱۷، ۳۷، ۳۹، ۴۳].

بر اساس یک طبقه‌بندی سیستماتیک، الگوهای حلقه رسوبی دارای پنج شکل اصلی است: خطی^۴، ساعت‌گرد^۵، پادساعت‌گرد^۶، خطی با یک حلقه^۷، و 8 شکل^۸ [۴۳]. سه نوع ساعت‌گرد، پادساعت‌گرد، و 8 شکل قاعدتاً در آبخیزهای مختلف مشاهده شده است [۱، ۳، ۱۲، ۱۵، ۲۸، ۳۰، ۳۵، ۳۷]. گرچه شکل‌های پیچیده‌تر و گاهی بی‌نظم^۹ آن‌ها نیز گزارش شده است [۵، ۱۱، ۳۸].

ساده‌ترین الگوی حلقه رسوبی الگوی خطی است که برای هر مقدار دبی یکسان در شاخه‌های

یکی از مشخصه‌های اصلی آبراهه‌ها در حوضه‌های آبخیز کشاورزی بالابودن میزان رسوبات معلق است؛ بالابودن میزان رسوبات معلق بر کیفیت آب تأثیر چشمگیری دارد. این امر در آبخیزهای دریاچه‌ای با تأثیر بر کدورت آب و جلوگیری از ورود نور و فتوسنتز گیاهان کفزی، آورد آلاینده‌های ذره‌ای^۱، و کاهش حجم مفید دریاچه‌ها بسیار مشهود است [۳۱]. بنابراین، آگاهی از میزان آورد و تغییرات زمانی مکانی رسوبات معلق برای اعمال مدیریت صحیح در آبخیزها و انتخاب راهکار مناسب مهار فرسایش و رسوب ضروری است. از آنجا که بیشترین میزان خروج رسوبات از آبخیزها در زمان وقوع رگبارها اتفاق می‌افتد [۲۶]، مطالعه و بررسی تغییرات درون‌رگباری دبی و غلظت رسوبات معلق کمک شایانی به درک تعامل بین آن‌ها می‌کند.

تفسیر فرایندهای مؤثر بر حمل رسوب معلق در آبخیزها کاری دشوار و نیازمند پایش مداوم دبی و غلظت رسوب معلق است. تغییرات رسوب معلق در طول یک رگبار به فرایندهای مختلف حمل آن از حوضه آبخیز طی یک واقعه هیدرولوژی اشاره می‌کند [۱۰]. میزان رواناب و غلظت رسوب معلق در درون وقایع هیدرولوژی بسیار متغیر است. این تغییرات با معادلات تجربی بین غلظت رسوب معلق و دبی مشخص می‌شود که عموماً نسبت به زمان یکنواخت نیستند و در نتیجه، باعث تعداد زیادی جفت داده پراکنده دبی- رسوب می‌شوند. از طرفی، در طول هر واقعه تغییرات غلظت رسوب معلق اغلب با دبی آب

2. Sediment Rating Curve (SRC)
3. hysteresis pattern
4. single-valued line
5. clockwise loop
6. counterclockwise loop
7. single Line plus a loop
8. figure eight
9. random

1. particulate pollutants

نشان‌دهنده تولید رسوب کافی از شیب‌های بالادست حوضه، معلق شدن تأخیری رسوبات داخل آبراهه‌ها بر اثر شکستن لایه‌های نازک زیستی^۴، منابع مازاد رسوب از کناره‌های آبراهه‌ها یا سرشاخه‌ها، و در نهایت، الگوهای متغیر بارندگی است [۹، ۱۹، ۲۳، ۲۴]. الگوی نادر رسوبی خطی با یک حلقه زمانی به وجود می‌آید که برای محدوده‌ای از داده‌های دبی رابطه خطی بین دبی و غلظت رسوب معلق و برای محدوده پس از آن رابطه غیرخطی برقرار باشد.

همچنین، حلقه‌های رسوبی ۸ شکل ترکیبی از هر دو حالت ساعت‌گرد و پادساعت‌گرد است که در رواناب‌های کم، شدت متوسط بارش و میزان رطوبت متوسط خاک اتفاق می‌افتد. همه وقایع با الگوهای رسوبی ۸ شکل دارای حلقه ساعت‌گرد در دبی‌های کم و به دنبال آن یک حلقه پادساعت‌گرد است [۳۷]. این پدیده را می‌توان با تخلیه رسوب از کناره‌ها و کف بستر جریان، مشارکت تأخیری زیرحوضه‌ها، ذخیره رسوبات در چاله‌ها و مشارکت تأخیری آن‌ها یا تأثیر شبکه‌های زه‌کشی تفسیر کرد.

این الگوها بر اساس آبنمود تک‌اوج شناسایی شده‌اند [۴۳]، حال آنکه در واقعیت اگر بارش طولانی مدت یا با شدت‌های متغیر اتفاق افتد، آبنمود با چندین اوج مختلف به وجود خواهد آمد [۳۳، ۳۷]. چنین آبنمودهایی الگوهای حلقه رسوبی پیچیده‌تری علاوه بر سه نوع توصیف شده قبلی ایجاد می‌کنند [۲۰] که نشان‌دهنده فرایندهای حمل پیچیده‌تر در این وقایع است. الگوی حلقه رسوبی پیچیده^۵ شامل دو یا چند حلقه ساعت‌گرد و ۸ شکل

صعودی و نزولی نسبت غلظت رسوب معلق به دبی برابر است. این الگو به سه زیرالگوی خط مستقیم^۱، منحنی خم‌شونده به سمت بالا^۲، و منحنی خم‌شونده به سمت پایین^۳ تقسیم می‌شود. حلقه ساعت‌گرد معمول‌ترین حلقه رسوبی است که در شرایط غلظت کم رسوب معلق و رواناب سطحی زیاد به وجود می‌آید. هنگامی که اوج غلظت رسوب معلق پیش از اوج دبی رخ دهد یا غلظت رسوب معلق دارای کاهش قابل ملاحظه‌ای در طول شاخه نزولی آبنمود نسبت به شاخه صعودی باشد این حلقه‌ها ظاهر می‌شوند [۱۵، ۱۶، ۲۲، ۳۶، ۴۳]. دلایل زیادی برای وقوع حلقه‌های رسوبی ساعت‌گرد بیان شده است، از جمله طول مدت واقعه رگباری [۴۵]، شدت‌های زیاد بارش در ابتدای واقعه رگباری [۱۴]، مشارکت رسوبات ناشی از آبکندها [۴]، کاهش فرساینده‌گی باران و افزایش میزان آب پایه پس از دبی اوج [۴۵]، وجود منبع رسوبات نزدیک خروجی آبخیز [۱۵] و توزیع رسوبات در آبراهه‌های فرعی و ذخیره آن در آبراهه اصلی، و، در نهایت، حمل آن‌ها در مواقع سیلابی با ظرفیت حمل مناسب [۲۷]. در حلقه رسوبی پادساعت‌گرد، اوج غلظت رسوب معلق پس از دبی اوج رخ می‌دهد که خود نشانه وجود منبع رسوب از بالادست حوضه است. وقوع چنین حلقه‌هایی به سه علت نسبت داده می‌شود: اختلاف سرعت موج سیل و سرعت متوسط جریان حامل رسوبات معلق؛ فرسایش‌پذیری زیاد خاک در ترکیب با فرایند طولانی مدت فرسایش در طول رگبار؛ توزیع فصلی تولید رسوب در آبخیز [۴۳]. این حلقه‌ها

1. straight line
2. curve bending upward
3. curve bending downward

4. biofilms
5. complicated

تغییرات درون‌رگباری آن تحقیقی صورت نگرفته است. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف تحلیل و درک رسوب‌نمودها و الگوهای حلقه‌های رسوبی ۶ زیرحوضه دریاچه زریوار بر اساس رگبارهای اتفاق افتاده از فروردین ۱۳۹۰ تا اردیبهشت ۱۳۹۱ انجام پذیرفت.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. منطقه مورد مطالعه

آبخیز دریاچه زریوار در غرب شهرستان مریوان در استان کردستان در محدوده جغرافیایی طول شمالی $30^{\circ} 52' 03''$ تا $46^{\circ} 47' 10''$ و عرض شرقی $31^{\circ} 31' 35''$ تا $37^{\circ} 06' 35''$ است. این منطقه شامل یک آبخیز داخلی است که زه‌کش ارتفاعات اطراف وارد دریاچه‌ای در مرکز به نام زریوار می‌شود و در صورت فزونی حجم رواناب از ظرفیت دریاچه به طور طبیعی مازاد آن از بخش جنوبی دریاچه تخلیه می‌شود.

دریاچه زریوار با مساحت $2441/1$ هکتار و محیط $27/1$ کیلومتر در بخش مرکزی آبخیز با امتداد تقریباً شمالی- جنوبی قرار گرفته و طول آن حدود 8590 متر و عرض آن در بخش مرکزی دریاچه در حدود 2556 متر برآورد شده است. در نگاه کلی به آبخیز، اراضی زراعی به‌ویژه به دلیل وجود اراضی مسطح با خاک عمیق و مناسب از دریاچه به سمت ارتفاعات گسترش یافته‌اند. این اراضی در مناطق کم‌شیب به دلیل دسترسی به آب دریاچه به صورت آبی و در مناطق دیگر به سمت ارتفاعات به دلیل ریزش‌های جوی مناسب در منطقه به صورت دیم

یا توالی از حلقه‌های ساعت‌گرد و پادساعت‌گرد است که با توجه به شکل و ترکیب حلقه‌ها تفسیرهای متفاوتی برای آن‌ها وجود دارد [۳۸].

در آبخیزهایی با مساحت کوچک‌تر از 10 کیلومتر مربع حلقه‌های رسوبی به عوامل ویژه‌ای از جمله شرایط رطوبت خاک، تفاوت بین رواناب‌های زیرقشری^۱ و رواناب سطحی یا فرسایش آبکندی، و کناره‌های کانال ارتباط داده می‌شود [۱۸، ۲۱، ۳۴، ۳۷، ۳۸]. با افزایش سطح حوضه، عوامل فیزیکی بیشتری در فرایند حمل رسوب از جمله رواناب‌های سطحی^۲ و جریان‌های زیرسطحی^۳ و شرایط محیطی مختلف مانند نوع خاک، الگوهای کاربری اراضی، پوشش زمین، و توپوگرافی تأثیر خواهند داشت. بنابراین، الگوی حلقه رسوبی در هر واقعه نتیجه چندین فرایند است و به‌سختی می‌توان آن را فقط به یک عامل نسبت داد [۱۰].

جمع‌بندی سوابق تحقیق در زمینه مطالعه الگوهای حلقه‌های رسوبی بیانگر نقش ارزنده آن‌ها در مطالعه فرایند تحویل رسوب به‌رغم تنوع و تغییرپذیری عوامل مؤثر بر شکل آن‌هاست. همچنین، در اغلب مطالعات بر ضرورت مطالعات گسترده به منظور تحلیل عوامل مؤثر آن‌ها تأکید شده است. دریاچه زریوار یک واحد اکولوژیک و اکوسیستمی منحصربه‌فرد در استان کردستان است و از لحاظ گردشگری و شیلات اهمیت خاصی دارد و در شرف ثبت به عنوان یک تالاب بین‌المللی در کنوانسیون رامسر است؛ به‌رغم مطالعات محدود مبنی بر ورود رسوبات معلق از طریق زیرحوضه‌های متعدد آن [۲، ۴۴]، درباره

1. through flow
2. overland flow
3. subsurface flow

ثابت، نقطه ۱ روی سرریز یک سد رسوب‌گیر قدیمی قرار گرفت، اما دیگر نقاط در محل پل‌ها روی جاده آسفالتی اصلی دور تا دور دریاچه انتخاب شد. همچنین، آبراهه‌های مورد نظر ترجیحاً دائمی یا حداقل فصلی است تا امکان ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی در آن‌ها میسر باشد. شکل ۱ موقعیت حوضه آبخیز دریاچه زریوار و نقاط نمونه‌برداری آن و جدول ۱ خصوصیات فیزیوگرافی ورودی‌ها را نشان می‌دهد.

۲.۲. نمونه‌برداری و اندازه‌گیری غلظت

رسوب

نمونه‌برداری در مقیاس رگبارهای اتفاق افتاده طی فروردین ۱۳۹۰ تا اردیبهشت ۱۳۹۱ انجام شد. در هشت نقطه نمونه‌برداری، دبی با قرائت ارتفاع آب از اشل در هر بار نمونه‌برداری و با استفاده از فرمول محاسبه دبی سرریز مستطیلی لبه‌پهن [۲۵] محاسبه شد. نمونه‌برداری و ثبت دبی به محض شروع بارش، آغاز، و تا پایان بارش و قطع رواناب در ورودی‌های فصلی و رسیدن ارتفاع جریان آب به ارتفاع اولیه قبل از بارش در آبراهه‌های دائمی ادامه یافت. نمونه‌های متوالی رواناب و رسوب در آبراهه‌ها توسط ظروف پلاستیکی یک‌لیتری با فاصله زمانی یک ساعت [۷، ۳۲] جمع‌آوری شد. غلظت رسوبات معلق از روش برجاگذاری و تخلیه آب^۱ [۴۱] محاسبه شد.

۳.۰۲. ترسیم حلقه‌های رسوبی

کلیه داده‌های دبی و غلظت رسوب معلق هفت ورودی دریاچه زریوار طی ۸ رگبار اتفاق افتاده در

کشت می‌شوند. به دلیل حجم ریزش‌های جوئی مناسب، تفکیک مرز زراعت آبی و دیم تا حدودی مشکل است، ولی حدود آن تقریباً محدود به جاده آسفالتی پیرامون دریاچه است؛ بدین شکل که تقریباً همه اراضی واقع بین جاده دسترسی پیرامون دریاچه و سطح دریاچه زیر کشت آبی‌اند و در بقیه آن با اندکی اختلاف به صورت دیم کشت و کار می‌شود. ارتفاعات منطقه پوشیده از درختان جنگلی بلوط ایرانی با تراکم‌های متفاوت است. این اراضی جنگلی به دلیل بهره‌برداری نادرست و شرایط خاک، سازند، و توپوگرافی در برخی دامنه‌ها بسیار تنک شده‌اند. در سرتاسر محدوده مطالعاتی حدود نه روستای مهم وجود دارد که همگی پیرامون دریاچه و در دامنه ارتفاعات تقریباً به طور یکنواخت پراکنده شده‌اند.

اگرچه ورودی‌های دریاچه متعدد است، فقط ۸ نقطه نمونه‌برداری به شرح نمایش داده شده در شکل ۱ به دلایل خاصی انتخاب شد. نقاط ۱ و ۲ به ترتیب در بالادست و پایین‌دست روستای دره‌تفی است؛ رودخانه دائمی آن از وسط روستا عبور می‌کند و ضمن انتقال رسوبات در فصل بارش، فاضلاب بخش اعظمی از خانه‌های روستایی را نیز مستقیماً به دریاچه حمل می‌کند. نقاط نمونه‌برداری ۳، ۴، ۵، ۷، و ۸ در آبراهه‌هایی انتخاب شده‌اند که مستقیماً وارد دریاچه می‌شوند. نقطه نمونه‌برداری ۶ نیز روی کانال جدا شده از بند انحرافی قزلچه‌سو قرار دارد. این کانال رواناب فصلی یک آبخیز بزرگ شامل چندین روستا را به دریاچه می‌ریزد. در ضمن، برای رعایت نکات لازم برای نمونه‌برداری از قبیل دسترسی آسان به نقاط نمونه‌برداری و همچنین محاسبه دبی در مقاطع

1. decantation

رسوبی یا به عبارتی دارای الگوی رسوبی بی‌نظم بودند. در نتیجه، مجموعاً ۳۳ الگوی رسوبی مشخص به‌دست آمد. بررسی جدول ۳ نشان داد از مجموع ۴۶ الگوی متفاوت حلقه رسوبی تهیه شده برای رگبارهای اتفاق افتاده، ۱۶ الگو ساعت‌گرد، ۱۳ الگو بی‌نظم، ۱۱ الگو پیچیده، و ۶ الگو پادساعت‌گرد بود. زیرحوضه‌های کوچک آبخیز دریاچه زریوار پاسخ‌های سریعی به تغییرات شدت رگبارها نشان داد و اکثر آب‌نمودهای ثبت شده از رگبارهای مختلف دارای چند دبی اوج و، به تبع آن، تغییرات فراوان غلظت رسوب معلق بودند که خود باعث ایجاد الگوهای متفاوت رسوبی شدند.

اولین رگبار در ۱۳۹۰/۱/۲۰ با شدت متوسط و حداکثر بارش به ترتیب ۰/۶۱ و ۳۶ میلی‌متر در ساعت رخ داد و در نقاط ۱ و ۲ باعث ایجاد دو اوج متوالی در آب‌نمود و رسوب‌نمود شد که در هر دو مورد اوج‌های غلظت رسوب معلق قبل از اوج‌های دبی رخ دادند. چنین ارتباطی بین دبی و رسوب باعث ایجاد جفت زیرحلقه‌های رسوبی ساعت‌گرد متوالی شد که سهم بیشتر تخلیه رسوب ناشی از اوج اول و کوچک‌تر دبی بود. وقوع دو بارش ۱۰ میلی‌متری پیش از این بارش در تاریخ‌های ۴ و ۱۳۹۰/۱/۱۵ باعث فرسایش محدود و ذخیره رسوبات در نزدیک آبراهه بدون ایجاد رواناب در داخل آبراهه اصلی شد که طی بارش ۱۳۹۰/۱/۲۰ مجدداً توسط رواناب معلق می‌شوند و پیش از دبی اوج به خروجی زیرحوضه می‌رسند.

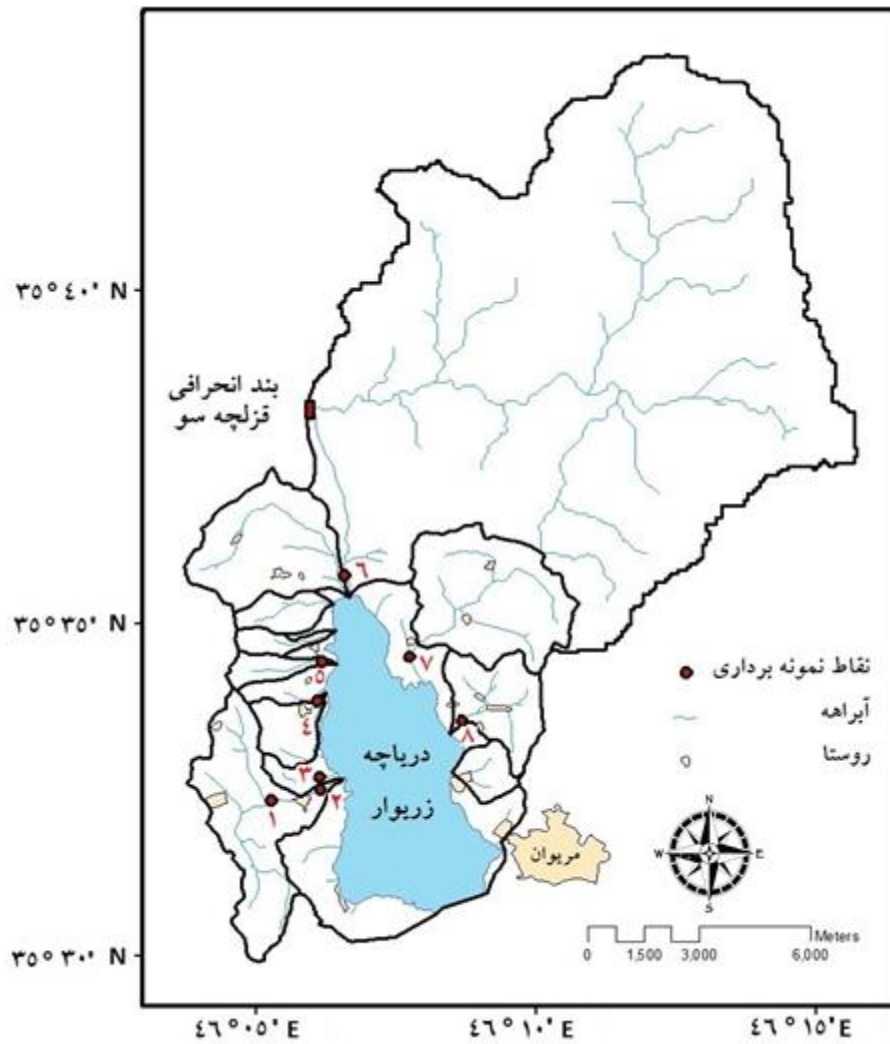
دوره نمونه‌برداری جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل شد. برای هر رگبار با رسم داده‌های دبی در محور X و داده‌های غلظت رسوب معلق در محور Y روی محور مختصات تغییرات غلظت رسوب معلق نسبت به تغییرات دبی طی رگبارهای مختلف تفسیر شد و شکل حلقه‌های رسوبی به‌دست آمده و ارتباط آن با منابع تولید رسوب در زمان هر رگبار بررسی شد. سپس، با بررسی ارتباط داده‌های دبی اوج با میزان کل آورد رسوب معلق هر رگبار در هر ورودی رابطه رگرسیونی آن‌ها نیز با استفاده از برازش بهترین معادلات حاکم بر آن‌ها به‌دست آمد.

۳. نتایج و بحث

۱.۳. الگوهای رسوبی نقاط طی وقایع

رگباری

در دوره مطالعاتی، فقط ۸ رگبار به تولید رواناب در تاریخ‌های ۲۰ و ۲۳ فروردین، ۱، ۶، و ۱۱ اردیبهشت، ۲۷ بهمن و ۲۶ اسفند ۱۳۹۰ و ۸ فروردین ۱۳۹۱ ثبت شد (جدول ۲). نتایج پایش هفت ورودی دریاچه زریوار حاکی از پاسخ‌های متفاوت آن‌ها از لحاظ تولید رواناب و آورد رسوب در رگبارهای یکسان بود؛ به نحوی که رواناب نقاط ۱ و ۲ به دلیل قرارگیری روی رودخانه دره تفی دائمی بوده، نقاط ۶ و ۷ فصلی (بهار و زمستان)، و دیگر نقاط بسته به شرایط فیزیوگرافی، رطوبت پیشین خاک، و همچنین شدت و مدت بارش‌های اتفاق افتاده فقط در طی بارش‌ها دارای رواناب و رسوب بودند. با توجه به موارد فوق، از مجموع ۴۶ آب‌نمود ۱۳ آب‌نمود فاقد رابطه قابل توصیف در قالب الگوهای حلقه‌های



شکل ۱. موقعیت حوضه آبخیز دریاچه زریوار و نقاط نمونه‌برداری

جدول ۱. خصوصیات فیزیوگرافی زیرحوضه‌های مورد مطالعه دریاچه زریوار

ضریب شکل هورتون	زمان تمرکز (دقیقه)	طول آبراهه اصلی (متر)	حداکثر ارتفاع (متر)	شیب متوسط وزنی (درصد)	مساحت (هکتار)	نقاط نمونه‌برداری	زیر حوضه
۰,۳۸	۳۱,۳	۷۷۲۹	۱۹۸۶,۸۳	۳۱,۹۸	۱۱۹۲,۸۲	۱	اول
۰,۳۸	۳۱,۵	۸۳۳۰	۱۹۸۶,۸۳	۳۱,۹۴	۱۱۹۴,۰۱	۲	
۰,۴۸	۱۷,۳	۳۶۸۵,۶	۱۷۷۷,۸۲	۳۱,۱۲	۲۷۴,۱۳	۴	دوم
۰,۱۷	۱۴,۸	۳۰۷۳	۱۸۸۳,۸۲	۳۱	۱۵۵,۱۲	۵	سوم
۰,۱۹	۸۳,۴۸	۲۷۵۸۸,۷۲	۲۴۷۳,۴۱	۲۸,۱۴	۱۵۰۷۵,۵۶	۶	چهارم
۰,۶۶	۳۰,۵	۶۶۱۰,۱	۱۸۷۴,۹۹	۲۲,۰۷	۱۳۱۲,۵۹	۷	پنجم
۰,۶۴	۱۴,۶	۳۰۶۴,۹	۱۸۴۳,۱۸	۳۲,۴۰	۵۷۱,۷۶	۸	ششم

جدول ۲. خصوصیات بارش‌های اتفاق افتاده در دوره مطالعاتی

تاریخ بارش	مدت کل بارش (ساعت)	وقفه‌های بارشی (ساعت)	ارتفاع بارش (میلی‌متر)	شدت متوسط (میلی‌متر در ساعت)	حداکثر شدت در پایه زمانی ۵ دقیقه (میلی‌متر در ساعت)
۱۳۹۰/۱/۲۰	۲۰	۵	۱۲٫۳	۰٫۶۱	۳۶
۱۳۹۰/۱/۲۳	۲۹	۸	۲۰٫۹	۰٫۷۲	۲۶٫۴
۱۳۹۰/۲/۱	۵۰	۱۶	۵۹٫۳	۱٫۱۹	۶۰
۱۳۹۰/۲/۶	۲۵	۱۵	۱۹٫۵	۰٫۷۸	۵۶٫۴
۱۳۹۰/۲/۱۱	۱۷	۹	۱۰٫۵	۰٫۶۳	۵۵٫۲
۱۳۹۰/۱۱/۲۷	۳۲	۳	۲۶٫۷	۰٫۸۳	۳۶
۱۳۹۰/۱۲/۲۶	۵۲	۹	۵۵٫۳	۱٫۰۶	۳۰
۱۳۹۱/۱/۸	۱۹	۸	۱۶	۱	۶۰

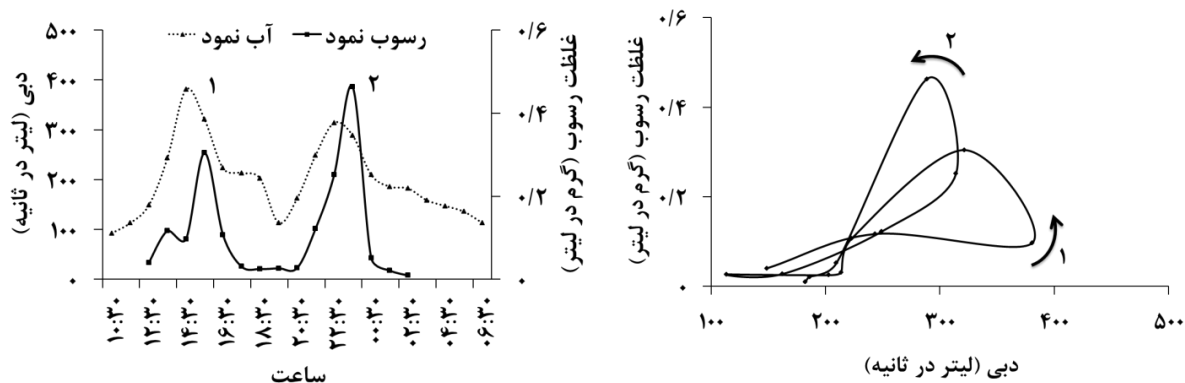
جدول ۳. الگوهای حلقه‌های رسوبی ورودی‌های مختلف طی رگبارهای اتفاق افتاده در دوره مطالعاتی

نقاط نمونه برداری	۱۳۹۰/۱/۲۰	۱۳۹۰/۱/۲۳	۱۳۹۰/۲/۱	۱۳۹۰/۲/۶	۱۳۹۰/۲/۱۱	۱۳۹۰/۱۱/۲۷	۱۳۹۰/۱۲/۲۶	۱۳۹۱/۱/۸
۱	ساعت گرد	پادساعت گرد	بی نظم	پیچیده	پیچیده	پادساعت گرد	ساعت گرد	پیچیده
۲	ساعت گرد	ساعت گرد	بی نظم	پیچیده	پیچیده	پادساعت گرد	ساعت گرد	بی نظم
۴	*	*	بی نظم	*	ساعت گرد	پیچیده	بی نظم	پادساعت گرد
۵	*	*	بی نظم	*	پیچیده	ساعت گرد	بی نظم	پیچیده
۶	*	ساعت گرد	بی نظم	بی نظم	پیچیده	پادساعت گرد	ساعت گرد	پادساعت گرد
۷	*	ساعت گرد	بی نظم	ساعت گرد	پیچیده	ساعت گرد	ساعت گرد	بی نظم
۸	*	*	بی نظم	ساعت گرد	بی نظم	ساعت گرد	ساعت گرد	پیچیده

* فاقد رواناب

آبراهه طی بارش ۱۳۹۰/۱/۲۰ دارای الگوی رسوبی جفت زیرحلقه پادساعت گرد بود (شکل ۲). حلقه پادساعت گرد نشان‌دهنده تولید رسوب کافی از شیب‌های بالادست حوضه، معلق شدن تأخیری رسوبات داخل آبراهه‌ها بر اثر شکستن لایه‌های نازک زیستی، منابع مازاد رسوب از کناره‌های آبراهه‌ها یا سرشاخه‌ها، و، در نهایت، الگوهای متغیر بارندگی است [۹، ۱۹، ۲۳، ۲۴].

در رگبار ۱۳۹۰/۱/۲۳ در نقطه ۲ به دلیل تجمع مازاد فضولات دامی و گاهی اوقات خاک و مصالح ساختمانی و همچنین نقاط ۶ و ۷ به دلیل عدم تولید رواناب در بارش ۱۳۹۰/۱/۲۰ و تجمع رسوبات در طول آبراهه آن‌ها اوج رسوب نمود پیش از اوج آب‌نمود رخ داد و دارای حلقه رسوبی ساعت گرد بودند؛ در حالی که نقطه ۱ به دلیل قراردادن در بالادست روستا و تخلیه رسوبات موجود در داخل



شکل ۲. آب‌نمود و رسوب‌نمود واقعه ۱۳۹۰/۱/۲۳ نقطه ۱ و جفت الگوی حلقه رسوبی پادساعت‌گرد آن

نشان می‌دهد. حلقه رسوبی پیچیده در نقطه ۱ طی واقعه ۱۳۹۰/۲/۶ دارای افزایش ناگهانی غلظت رسوب معلق با شروع شاخه صعودی آب‌نمود بر اثر افزایش ناگهانی دبی است. به دلیل آنکه اوج رسوب بعد از اوج دبی اتفاق افتاده، منبع رسوبات معلق باید از بالادست حوضه بوده باشد. به دنبال این افزایش ناگهانی، وقوع یک حلقه ساعت‌گرد نشان داد که منشأ رسوبات بعدی مناطق نزدیک خروجی بوده که شاید ناشی از وقوع فرسایش‌های آبکندی کوچک در طول آبراهه یا نزدیک خروجی باشد و، در نهایت، کاهش غلظت رسوبات معلق در انتهای شاخه نزولی نشان‌دهنده اثر تخلیه رسوبات بود (شکل ۴).

نتیجه اوج اول آب‌نمود واقعه ۱۳۹۰/۲/۶ در نقطه ۲ زیر حلقه ساعت‌گردی بود که بیانگر اثر تخلیه رسوب در انتهای شاخه نزولی اول است، در حالی که نتیجه اوج دوم آب‌نمود زیر حلقه ۸ شکل پادساعت‌گردی بود که نشان‌دهنده محدودیت تولید رسوب از بالادست حوضه است، زیرا مقادیر غلظت رسوب معلق در انتهای دومین شاخه نزولی رو به کاهش بود (شکل ۴). کاهش تدریجی غلظت رسوب معلق در انتهای شاخه نزولی اکثر رگبارها بیانگر

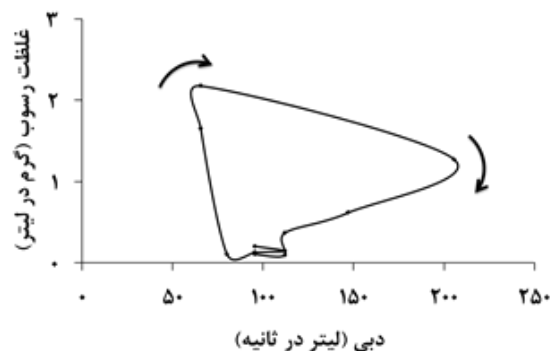
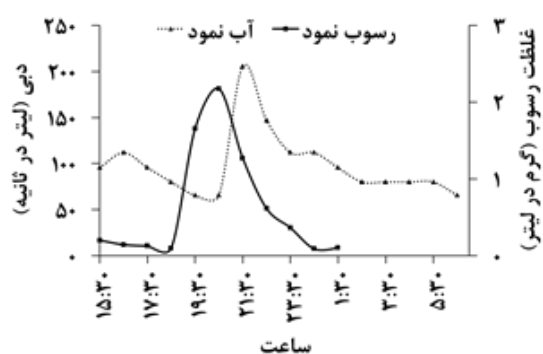
رگبار ۱۳۹۰/۲/۱ به مدت پنجاه ساعت با شدت متوسط و حداکثر بارش به ترتیب برابر با ۱/۱۹ و ۶۰ میلی‌متر در ساعت و مقدار کل بارش ۵۹/۳ میلی‌متر باعث واکنش سریع ورودی‌ها از لحاظ تولید رواناب و حمل رسوب معلق و وقوع اوج‌های متعدد غلظت رسوب معلق بدون ارتباط مشخص با اوج‌های دبی شد. چنین ارتباطی بین دبی و رسوب باعث به‌وجود آمدن الگوهای رسوبی بی‌نظم و تفسیرناپذیر می‌شود [۳۸].

رگبار ۱۳۹۰/۲/۶ با مقدار کل بارش ۱۹/۵ میلی‌متر و متوسط و حداکثر شدت به ترتیب ۰/۷۸ و ۵۶/۴ میلی‌متر در ساعت باعث تولید رواناب در نقاط ۱، ۲، ۶، ۷ و ۸ شد. وجود وقفه‌های بارشی کوچک و فراوان در این رگبار باعث چنداوج شدن آب‌نمودها و، در نتیجه، پاسخ متفاوت ورودی‌ها در آورد دبی و غلظت رسوب معلق شد؛ به نحوی که نقطه ۱ دارای حلقه پیچیده شامل یک جفت حلقه به ترتیب پادساعت‌گرد و ساعت‌گرد، نقاط ۲، ۷ و ۸ حلقه رسوبی ساعت‌گرد، و نقطه ۶ دارای الگوی رسوبی بی‌نظم بود. شکل ۳ آب‌نمود و رسوب‌نمود به همراه حلقه رسوبی ساعت‌گرد نقطه ۷ را به عنوان نمونه

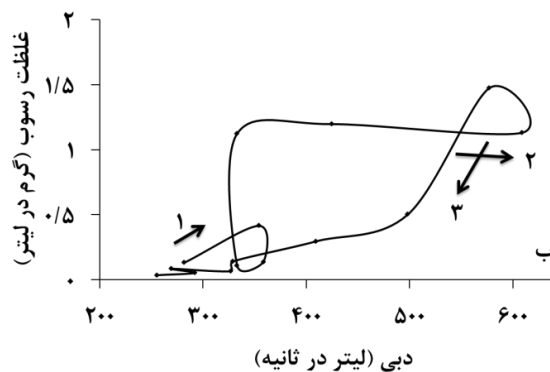
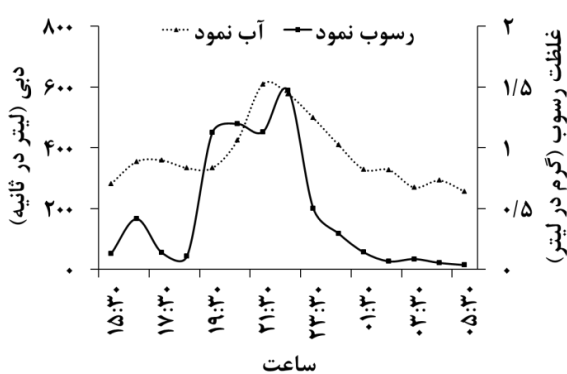
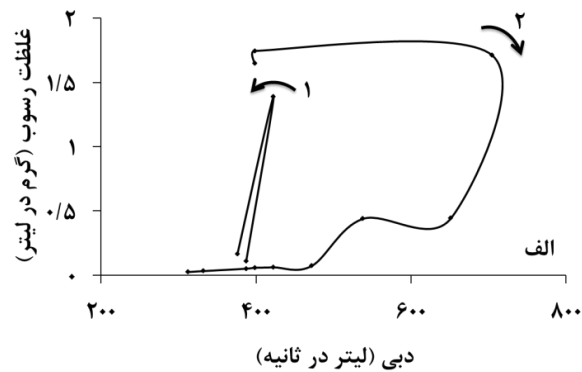
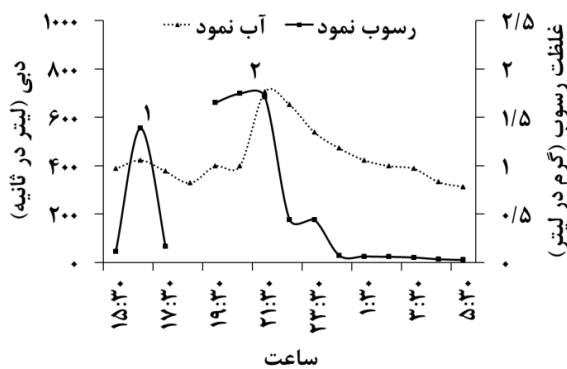
برابر با ۵۵٫۲ میلی‌متر در ساعت، در نقاط ۱، ۲، ۵، ۶، ۷ و آب‌نمود با دو اوج پیاپی تشکیل شد که نتیجه آن ایجاد الگوی رسوبی پیچیده یا به عبارتی ترکیبی از حلقه‌های رسوبی با شکل‌های مختلف بود. در نقطه ۴ با وقوع دو اوج رسوب‌نمود قبل از دو اوج دبی الگوی رسوبی به‌دست‌آمده ساعت‌گرد تشخیص داده شد.

محدودیت تولید رسوب یا کاهش فرساینده‌گی رگبار بود [۱۱، ۱۳]. وجود حلقه‌های ساعت‌گرد در نقاط ۲، ۷ و ۸ بیانگر کفایت میزان رسوبات در دسترس برای حمل بود، در حالی که بی‌نظم‌بودن الگوی رسوبی نقطه ۶ نشان‌دهنده پیچیدگی رابطه بین دبی و غلظت رسوب معلق بود.

در رگبار ۱۳۹۰/۲/۱۱ به علت رطوبت ناشی از بارش قبلی در خاک و بالا بودن حداکثر شدت رگبار



شکل ۳. آب‌نمود و رسوب‌نمود واقعه ۱۳۹۰/۲/۶ نقطه ۷ و حلقه رسوبی ساعت‌گرد



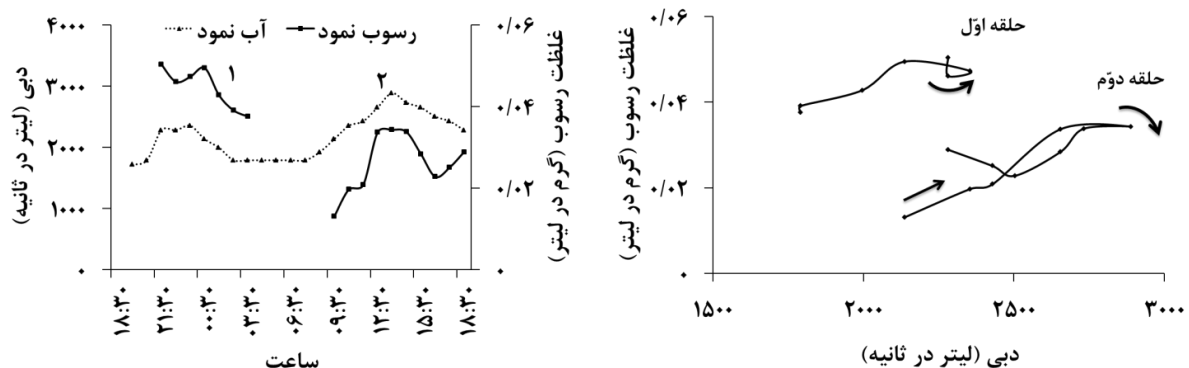
شکل ۴. آب‌نمود، رسوب‌نمود، و الگوی رسوبی واقعه ۱۳۹۰/۲/۶ نقطه ۱ (الف) و نقطه ۲ (ب)

می‌افتد که فرصت رسوب‌گذاری و ذخیره رسوبات در رگبارهای پیشین در کانال فراهم نمی‌شود [۱۰]. نقاط ۵، ۷ و ۸ دارای حلقه‌های ساعت‌گرد و نقطه ۴ دارای الگوی رسوبی پیچیده به‌ترتیب با زیرحلقه‌های ساعت‌گرد و پادساعت‌گرد بود.

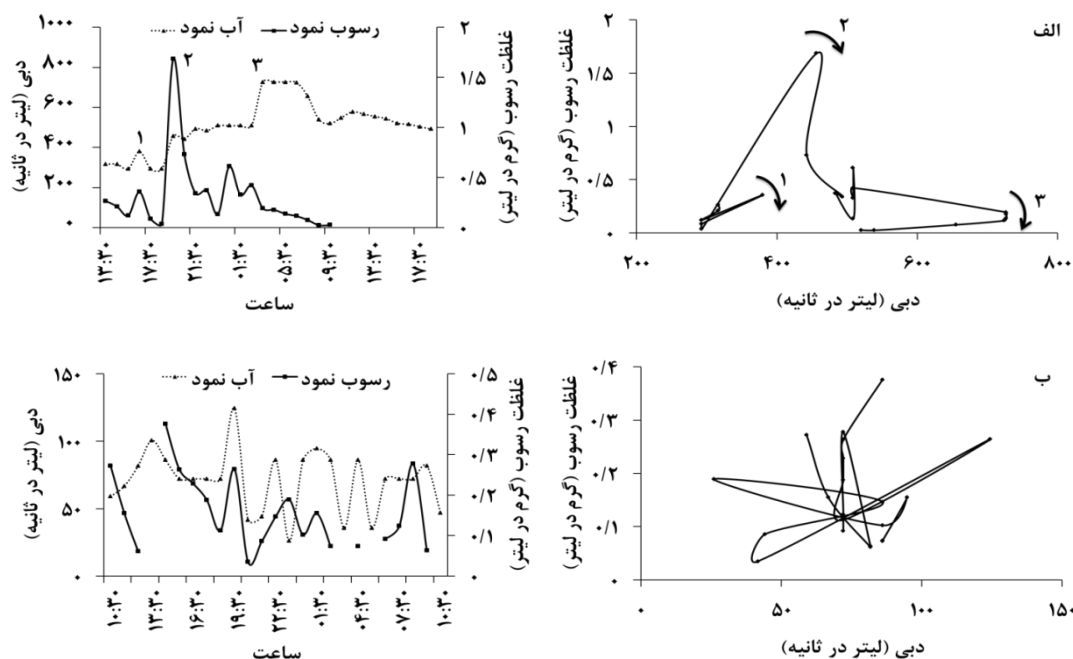
وقایع رگباری همراه با ذوب برف با حلقه‌های رسوبی ساعت‌گرد مشخص می‌شود که نشان‌دهنده منشأ اصلی رسوبات از کانال آبراهه است (بارش زمستانه ۱۳۹۰/۱۲/۲۶ در نقاط ۱، ۲، ۶، ۷ و ۸). در زمستان بالادست حوضه با برف پوشیده می‌شود و به‌سختی رسوب قابل ملاحظه‌ای تولید خواهد کرد، بنابراین، منشأ رسوبات از داخل آبراهه است. در بعضی از این وقایع غلظت رسوبات معلق در شاخه نزولی آب‌نمود کاهش می‌یابد که فارغ از نوع الگوی رسوبی بیانگر محدودیت تولید رسوب در این وقایع است. شکل ۶ آب‌نمود، رسوب‌نمود، و الگوی حلقه رسوبی ساعت‌گرد نقطه ۱ مرکب از ۳ زیرحلقه ساعت‌گرد و همچنین آب‌نمود، رسوب‌نمود، و الگوی رسوبی بی‌نظم نقطه ۵ طی این رگبار را نشان می‌دهد.

در نقطه ۸ رابطه منطقی بین دبی و غلظت رسوب برقرار نشد و الگوی رسوبی بی‌نظم تشکیل شد. افزایش غلظت رسوب معلق در انتهای شاخه نزولی آب‌نمود نقطه ۶ طی واقعه ۱۳۹۰/۲/۱۱ نشان‌دهنده وجود منابع رسوبی محلی نزدیک نقطه نمونه‌برداری بود (شکل ۵).

اولین رگبار منجر به تولید رواناب در فصل زمستان پس از تقریباً هشت ماه بدون بارش مؤثر در تاریخ ۱۳۹۰/۱۱/۲۷ با ارتفاع کل بارش ۲۶/۷ میلی‌متر و شدت متوسط و حداکثر به‌ترتیب ۰/۸۳ و ۳۶ میلی‌متر در ساعت رخ داد. طی این رگبار نقاط ۱ و ۲ روی رودخانه دائمی دره‌تفی به دلیل عدم ذخیره رسوبات در مسیر آبراهه و نقطه ۶ به دلیل بزرگ‌بودن زیرحوضه دارای حلقه پادساعت‌گرد بودند که نشانه کم‌تر بودن غلظت رسوب معلق در طول شاخه صعودی آب‌نمود نسبت به شاخه نزولی است. این حلقه نشان‌دهنده حمل رسوبات معلق از بالادست این زیرحوضه‌ها بوده و نیازمند زمان طولانی‌تری بوده تا به خروجی حوضه برسد. حلقه‌های پادساعت‌گرد در حوضه‌هایی با مساحت بزرگ یا شیب زیاد کانال اتفاق



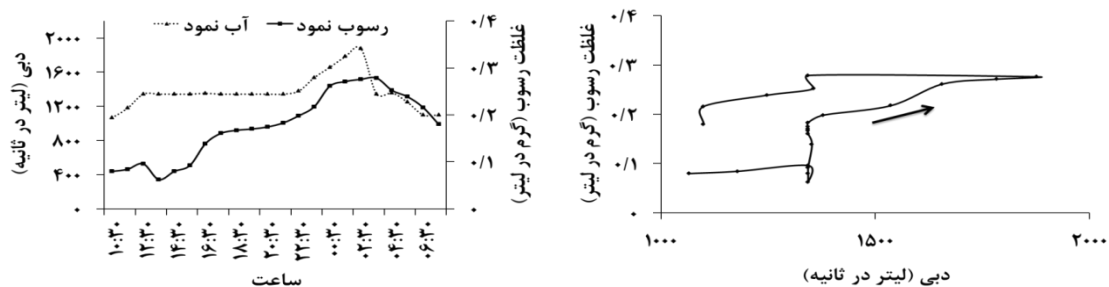
شکل ۵. آب‌نمود و رسوب‌نمود واقعه ۱۳۹۰/۲/۱۱ نقطه ۶ و حلقه رسوبی پیچیده آن مرکب از زیرحلقه پادساعت‌گرد اول و زیرحلقه ۸ شکل ساعت‌گرد دوم



شکل ۶. آب‌نمود، رسوب‌نمود، و الگوهای حلقه رسوبی واقعه ۱۳۹۰/۱۲/۲۶ نقطه ۱ (الف) و نقطه ۵ (ب)

تاخیر اوج غلظت رسوب نسبت به اوج دبی و حمل رسوبات از بالادست منطقه با ادامه رگبار شده است. سایر محققان نقش کنترل‌کنندگی رگبارهای پیشین را در کاهش غلظت رسوبات معلق رگبارهای متوالی در حوضه‌های آبخیز مختلف تأیید کرده‌اند [۳۴، ۳۵، ۳۶]. نقطه ۲ به دلیل تجمع مازاد فضولات دامی ساکنان روستای دره تفتی در داخل رودخانه، حد فاصل نقاط ۱ و ۲ که در ابتدای بهار دارای دبی محدود است، دارای الگوی پیچیده مرکب از سه زیرحلقه متفاوت بود.

اولین بارش بهاره سال ۱۳۹۱ در تاریخ ۱۳۹۱/۱/۸ با ارتفاع بارش ۱۶ میلی‌متر، متوسط و حداکثر شدت بارش ۱ و ۶۰ میلی‌متر در ساعت رخ داد و باعث غالب شدن الگوی پادساعت‌گرد در بیشتر نقاط شد؛ به طوری که نقاط ۴، ۶، و ۷ الگوی پادساعت‌گرد و نقاط ۱، ۵، و ۸ دارای الگوی رسوبی پیچیده مرکب از دو زیرحلقه به ترتیب پادساعت‌گرد و ساعت‌گرد بودند. دلیل این امر انتقال بخش عمده‌ای از رسوبات موجود در زیرحوضه‌ها به وسیله بارش ۱۳۹۰/۱۲/۲۶ و در نتیجه کاهش موجودیت رسوب در کل آبخیز دریاچه زریوار بوده که باعث



شکل ۷. آب‌نمود و رسوب‌نمود واقعه ۱۳۹۱/۱/۸ نقطه ۶ و حلقه رسوبی پادساعت‌گرد آن

هر واقعه برای همه نقاط نمونه‌برداری به‌دست آمد (شکل ۸). بالاترین ضرایب همبستگی پیرسون در سطح معنی‌داری یک درصد مربوط به نقاط ۵، ۱، و ۲ به‌ترتیب برابر با 0.997 ($p=0$)، 0.985 ($p=0$)، و 0.970 ($p=0$) و پس از آن‌ها نقاط ۴ و ۷ به‌ترتیب برابر با 0.994 ($p=0.001$) و 0.887 ($p=0.008$) بود. برقراری روابط معنی‌دار آماری این نقاط بیانگر این واقعیت بود که، به‌رغم تفاوت‌های تغییرات درون‌رگباری غلظت رسوب معلق بین وقایع مختلف در قالب الگوهای حلقه‌های رسوبی و حتی شکل‌های متغیر الگوهای یکسان، می‌توان اثر کلی هر واقعه را در یک معادله ساده حمل خلاصه کرد. در دهه اخیر، برخی محققان نیز به بررسی ارتباط مقدار کل آورد رسوب و دبی اوج وقایع رگباری توجه کرده‌اند [۶، ۱۰، ۲۹]. با توجه به سهولت اندازه‌گیری دبی نسبت به غلظت رسوب معلق و آورد کل رسوب رگبارها، از روابط به‌دست‌آمده در همه نقاط به‌جز ۶ و ۸ می‌توان، به منزله ابزاری مهم برای پیش‌بینی تقریبی میزان آورد ورودی‌های دریاچه زریوار، در رگبارهای مختلف استفاده کرد.

تفاوت ضرایب همبستگی و شکل معادلات سنجه دبی و میزان کل آورد رسوب ورودی‌ها با فرض توزیع یکسان رگبارها در کل آبخیز دریاچه زریوار بیانگر تفاوت موجودیت رسوب در هر یک از ورودی‌هاست که خود تابعی از وضعیت فیزیوگرافی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، و فرسایش‌پذیری خاک زیرحوضه‌هاست.

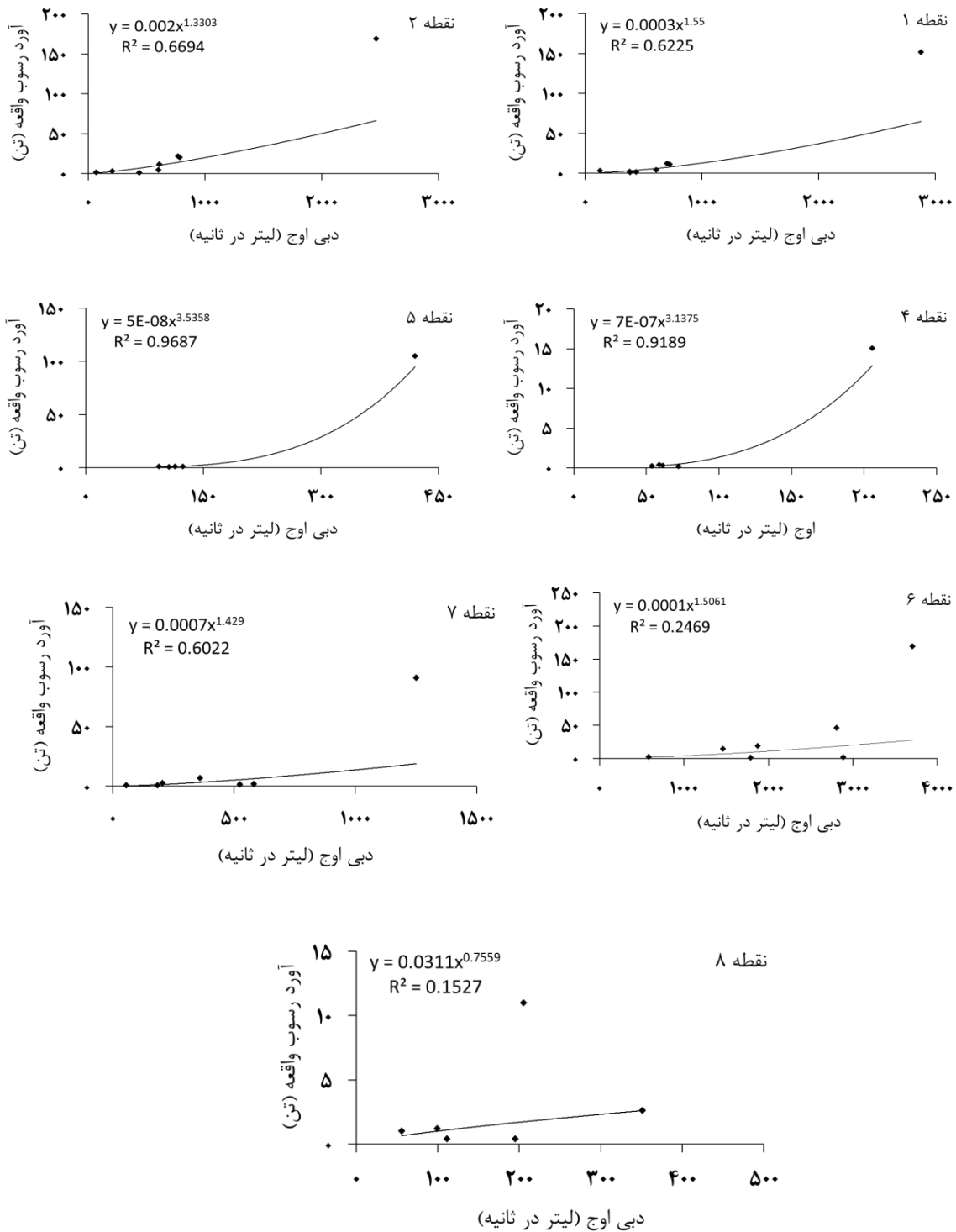
شکل ۷ روابط آب‌نمود و رسوب‌نمود رگبار $1391/1/8$ نقطه ۶ به همراه الگوی رسوبی پادساعت‌گرد آن را نشان می‌دهد.

۲.۳. رابطه دبی اوج و میزان آورد کل وقایع رگباری

مقدار کل آورد رسوب رگبارها تابعی از انرژی رگبار و دبی اوج است. انرژی رگبار مرتبط با شدت بارش عامل اولیه برای جداسازی ذرات خاک^۱ است. عوامل دیگر مانند پوشش گیاهی، چسبندگی ذرات خاک، و کاربری اراضی به‌جز تغییرات فصلی و هنگام دخالت‌های انسانی در قالب تغییر پوشش گیاهی ثابت‌اند. بنابراین، بیشترین تغییرپذیری آورد کل رسوب هر رگبار نتیجه تغییرات انرژی رگبار است. از طرفی، میزان دبی اوج ناشی از یک رگبار در یک آبراهه تابعی از شدت و حجم بارش است. برای حجم‌های یکسان بارش شدت بیشتر رگبار به دبی اوج بزرگ‌تری منجر خواهد شد. بنابراین، برای هر آبخیز رابطه‌ای بین مقدار کل آورد رسوب رگبار و دبی اوج ناشی از آن وجود دارد، زیرا هر دو تابعی از انرژی رگبارند [۲۹].

در این مطالعه میزان کل آورد رسوب ورودی‌های دریاچه زریوار طی ۸ واقعه رگباری بر اساس حاصل ضرب دبی‌های لحظه‌ای و غلظت‌های لحظه‌ای متناظر رسوب معلق محاسبه شد [۸]. سپس، تابع توانی رگرسیون^۲ بین دبی اوج و مقدار کل آورد رسوب

1. soil particle detachment
2. power function regression



شکل ۸. روابط دبی اوج و میزان کل آورد رسوب معلق هر یک از نقاط نمونه‌برداری طی ۸ واقعه رگباری دوره تحقیق

۴. نتیجه‌گیری

حرکت رواناب و حمل رسوب در طول وقایع هیدرولوژی است. اهمیت هیدرولیکی این تفاوت در

اساساً الگوهای حلقه‌های رسوبی بیانگر تفاوت بین

۶، حلقه رسوبی واقعه ۱۳۹۰/۱۲/۲۶ ساعت‌گرد و واقعه ۱۳۹۱/۱/۸ پادساعت‌گرد). همه وقایع، صرف‌نظر از الگوی خاص رسوبی خود، دارای اشتراکاتی نیز بودند، از جمله اینکه اکثر آن‌ها با اثر تخلیه رسوب مواجه بودند که بیانگر محدودیت تولید رسوب در حوضه مورد مطالعه بود.

اگرچه وقایع مختلف دارای الگوهای حلقه‌های رسوبی متفاوت بودند، مقادیر دبی اوج و آورد کل رسوب وقایع در هر نقطه نمونه‌برداری با یک رابطه ساده رگرسیونی قابل توصیف بود. مقدار کل آورد رسوب هر واقعه بیانگر اثر کلی همه فرایندهای حمل رسوب طی آن رگبار است. برقراری یک رابطه کلی بین دبی اوج و آورد کل رسوب هر واقعه در هر ورودی نشان داد که فرایندهای پیچیده درون‌رگباری حمل رسوب معلق تحت کنترل دبی اوج رگبار بود. این روابط ابزاری مهم برای مدیران حوضه آبخیز مورد مطالعه و سایر حوضه‌ها با شرایط یکسان جهت برآورد مقدار کل آورد رسوب وقایع است.

نتایج تحقیق حاضر- مبنی بر پیچیدگی روابط دبی و رسوب معلق ورودی‌های مختلف حوضه آبخیز دریاچه زریوار در طی رگبارها - بر لزوم نمونه‌برداری‌های طولانی‌تر دبی و رسوب از نقاط مختلف در شرایط متفاوت هیدرولوژیکی و اجرای تحقیقات گسترده درباره ارتباط فرسایش‌های بالادست و درون‌آبراه‌ای با میزان رسوب خروجی برای دستیابی به نتایج بهتر و به منظور شناخت منابع تولید رسوب و جلوگیری از انتقال آن‌ها به دریاچه تأکید دارد.

این است که رسوبات معلق کاملاً تحت کنترل هیدرولیک جریان نیستند. این پدیده را می‌توان به تغییرات زمانی و مکانی تولید رسوب از شیب‌های بالادست و آبراه‌ها و همچنین کم‌تر بودن میزان حمل رسوبات در مقایسه با ظرفیت حمل جریان نسبت داد. بنابراین، تحلیل الگوهای حلقه‌های رسوبی راهکاری مناسب برای تشخیص فرایندهای مختلف مؤثر بر تغییرات غلظت رسوب معلق در ارتباط با دبی جریان است. بر این اساس، در این مطالعه تغییرات درون‌رگباری غلظت رسوب معلق ۷ ورودی اصلی دریاچه زریوار طی ۸ رگبار از فروردین ۱۳۹۰ تا اردیبهشت ۱۳۹۱ در قالب الگوهای حلقه‌های رسوبی بررسی شد. با توجه به بررسی ۴۶ الگوی به‌دست‌آمده، ۳۵ درصد وقایع دارای الگوی ساعت‌گرد و بیانگر نزدیک‌بودن منبع رسوبات به خروجی زیرحوضه‌ها، ۲۸ درصد بی‌نظم و نشان‌دهنده ناشناخته‌بودن منبع رسوبات، ۲۴ درصد مرکب از دو یا چند حلقه متفاوت رسوبی و بیانگر مشارکت کل حوضه در تأمین رسوبات، و ۱۳ درصد دارای الگوی پادساعت‌گرد و نشان‌دهنده اهمیت بالادست حوضه به عنوان منشأ رسوبات بودند. پیچیدگی تغییرات غلظت رسوب معلق در پایه رگبار نه تنها با تنوع الگوهای حلقه‌های رسوبی، بلکه با عدم تداوم بین این الگوها و دبی‌های مربوطه در وقایع پیاپی مشخص شد. مثلاً، وقایع با مقادیر متفاوت دبی حلقه‌های رسوبی مشابهی ایجاد کردند (حلقه‌های رسوبی ساعت‌گرد نقطه ۷، در هر دو واقعه ۱۳۹۰/۱/۲۳ و ۱۳۹۰/۲/۶)؛ در حالی که وقایع با دبی یکسان حلقه‌های رسوبی متفاوت ایجاد کردند (نقطه

References

- [1] Asselman, N.E.M. (1999). Suspended sediment dynamics in a large drainage basin: the River Rhine, *Hydrological Processes* 13, 1437-1450.
- [2] Bayat, R., Ghermez cheshme, B. and Khaledian, H. (2013). Investigation of relationship between meteorological characteristics and soil erosion of Zarivar lake, *1st Conference of Semi-arid Zone Hydrology, April 23-25, Kurdistan, Sanandaj, Iran*, 5 p (in Persian).
- [3] Brasington, J. and Richards, K. (2000). Turbidity and suspended sediment dynamics in small catchments in the Nepal Middle Hills, *Hydrological Processes* 14, 2559-2574.
- [4] di Cenzo, P.D. and Luk, S. (1997). Gully erosion and sediment transport in a small subtropical catchment, South China, *Catena*, 29, 161-176.
- [5] de Boer, D.H. and Campbell, I.A. (1989). Spatial scale dependence of sediment dynamics in a semi-arid badland drainage basin, *Caten*, 16, 277-290.
- [6] Duvert, C., Nord, G., Gratiot, N., Navratil, O., Nadal-Romero, E., Mathys, N., Némery, J., Regüés, D., García-Ruiz, J.M., Gallart, F. and Esteves, M. (2012). Towards prediction of suspended sediment yield from peak discharge in small erodible mountainous catchments (0.45-22 km²) of France, Mexico and Spain, *Journal of Hydrology*, 454-455, 42- 55.
- [7] Ebrahimi Mohammadi, Sh., Sadeghi, S.H.R. and Chapi, K. (2013). Runoff and suspended sediment load from main tributaries into the Zarivar Lake, *1st International Conference on Environmental Crisis and its Solutions, February 13-14, Kish Island, Iran*, 5 p.
- [8] Ebrahimi Mohammadi, Sh., Sadeghi, S.H.R. and Chapi, K. (2012). Analysis of runoff, suspended sediment and nutrient yield from different tributaries to Zarivar lake in event and base flows, *Journal of Soil and Water Resources Conservation*, 2(1), 61-75.
- [9] Gao, P. (2008). Understanding watershed suspended sediment transport, *Progress in Physical Geography*, 32, 243-263.
- [10] Gao, P. and Josefson, M. (2012). Event-based suspended sediment dynamics in a central New York watershed, *Geomorphology*, 139-140, 425-437.
- [11] Gao, P. and Pasternack, G. (2007). Dynamics of suspended sediment transport at field-scale drain channels of irrigation-dominated watersheds in the Sonoran Desert, southeastern California, *Hydrological Processes*, 21, 2081-2092.
- [12] Ghorbani, M.A., Moradi Zadeh, F. and Nikmehr, S. (2010). Analysis of hysteresis curves of suspended sediment in the Lighvan River, *Water and Soil Sciences* 20, 1(3), 171-184 (in Persian).
- [13] Jansson, M.B. (2002). Determining sediment source areas in a tropical river basin, Costa Rica, *Catena*, 47, 63-84.
- [14] Jeje, L.K., Ogunkoya, O.O. and Oluwatimilehin, J.M. (1991). Variation in suspended sediment concentration during storm discharges in three small streams in upper Osun basin, central western Nigeria, *Hydrological Processes*, 5, 361-369.
- [15] Klein, M. (1984). Anti-clockwise hysteresis in suspended sediment concentration during individual storms, *Catena*, 11, 251-257.
- [16] Kronvang, B., Laubel, A. and Grant, R. (1997). Suspended sediment and particulate phosphorus transport and delivery pathways in an arable catchment, Gelbaek stream, Denmark, *Hydrological Processes*, 11, 627-642.
- [17] Krueger, T., Quinton, J.N., Freer, J., Macleod, C.J.A., Bilotta, G.S., Brazier, R.E., Butler, P. and

- Haygarth, P.M. (2009). Uncertainties in data and models to describe event dynamics of agricultural sediment and phosphorus transfer, *Journal of Environmental Quality*, 38(3), 1137-1148.
- [18] Langlois, J.L., Johnson, D.W. and Mehuys, G.R. (2005). Suspended sediment dynamics associated with snowmelt runoff in a small mountain stream of Lake Tahoe (Nevada), *Hydrological Processes*, 19, 3569-3580.
- [19] Lawler, D.M., Petts, G.E., Foster, I.D.L. and Harper, S. (2006). Turbidity dynamics during spring storm events in an urban headwater river system: the Upper Tame, West Midlands, UK. *Science of the Total Environment*, 360, 109-126.
- [20] Lecce, S.A., Pease, P.P., Gares, P.A. and Wang, J. (2006). Seasonal controls on sediment delivery in a small coastal plain watershed, North Carolina, USA, *Geomorphology*, 73, 246-260.
- [21] Lefrancois, J., Grimaldi, C., Gascuel-Oudou, C. and Gilliet, N. (2007). Suspended sediment and discharge relationships to identify bank degradation as a main sediment source on small agricultural catchments, *Hydrological Processes*, 21, 2923-2933.
- [22] Lenzi, M.A. and Marchi, L. (2000). Suspended sediment load during floods in a small stream of the dolomites (Northeastern Italy), *Catena*, 39, 267-282.
- [23] Lopez-Tarazon, J.A., Batalla, R.J., Vericat, D. and Francke, T. (2009). Suspended sediment transport in a highly erodible catchment: the River Isábena (southern Pyrenees), *Geomorphology*, 109, 210-221.
- [24] Mano, V., Nemery, J., Belleudy, P. and Poirel, A. (2009). Assessment of suspended sediment transport in four alpine watersheds (France): influence of the climatic regime, *Hydrological Processes*, 23, 777-792.
- [25] May, R.W.P., Bromwich, B.C., Gasowski, Y. and Rickard, C.E. (2003). *Hydraulic design of side weirs*, Thomas Telford Publishing, London. 59 p.
- [26] Nu-Fang, F., Zhi-Hua, Sh., Lu, L. and Cheng, J. (2011). Rainfall, runoff, and suspended sediment delivery relationships in a small agricultural watershed of the Three Gorges area, China, *Geomorphology*, 135, 158-166.
- [27] Oeurng, C., Sauvage, S. and Sánchez-Pérez, J.M. (2010). Dynamics of suspended sediment transport and yield in a large agricultural catchment, southwest France, *Earth Surface Processes and Landforms*, 35, 1289-1301.
- [28] Park, j. (1992). *Suspended sediment transport in a mountainous catchment*, *The Science Report of the Institute of Geoscience*, University of Tsukuba, South Korea, pp. 137-197.
- [29] Rankl, J.G. (2004). Relations between total-sediment load and peak discharge for rainstorm runoff on five ephemeral streams in Wyoming, Water-resources investigation report 02-4150. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, 24 p.
- [30] Richards, G. and Moore, R.D. (2003). Suspended sediment dynamics in a steep, glacierfed mountain stream, Place Creek, Canada, *Hydrological Processes*, 17, 1733-1753.
- [31] Owens, P.N., Batalla, R.J., Collins, A.J., Gomez, B., Hicks, D.M., Horowitz, A.J., Kondolf, G.M., Marden, M., Page, M.J., Peacock, D.H., Petticrew, E.L., Salomons, W. and Trustrum, N.A. (2005). Fine-grained sediment in river systems: environmental significance and management issues, *River Research and Applications*, 21, 693-717.
- [32] Sadeghi, S.H.R., Aghabeigi Amin, S., Vafakhah, M., Yasrebi, B. and Esmaeili Sari, A. (2006). Suitable drying time for suspended sediment samples, Iran, *International Sediment Initiative Conference, November 12-16, Khartoum, Sudan*, 7 p.
- [33] Sadeghi, S.H.R., Mizuyama, T., Miyata, S., Gomi, T., Kosugi, K., Fukushima, T., Mizugaki, S. and Onda, Y. (2008a). Determinant factors of sediment graphs and rating loops in a reforested watershed, *Journal of Hydrology*, 356, 271-282.

- [34] Sadeghi, S.H.R., Mizuyama, T., Miyata, S., Gomi, T., Kosugi, K., Fukushima, T., Mizugaki, S. and Onda, Y. (2008b). Development, evaluation and interpretation of sediment rating curves for a Japanese small mountainous reforested watershed, *Geoderma*, 144, 198-211.
- [35] Saeidi, P. and Sadeghi, S.H.R. (2010). Analysis of observed sedimentgraphs and rating loops on storm basis in Educational Watershed of Tarbiat Modares University, Iran, *Journal of Water and Soil Conservation*, 17(1), 97-112 (in Persian).
- [36] Sayer, A.M., Walsh, R.P.D. and Bidin, K. (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.
- [37] Seeger, M., Errea, M.P., Begueria, S., Arnaez, J., Marti, C. and Carcia-Ruiz, J.M. (2004). Catchment soil moisture and rainfall characteristics as determinant factors for discharge/suspended sediment hysteretic loops in a small headwater catchment in the Spanish Pyrenees, *Journal of Hydrology*, 288, 299-311.
- [38] Smith, H.G. and Dragovich, D. (2009). Interpreting sediment delivery processes using suspended sediment-discharge hysteresis patterns from nested upland catchments, south-eastern Australia, *Hydrological Processes*, 23, 2415-2426.
- [39] Terajima, T., Sakamoto, Nakai, Y. and Kitamura, K. (1997). Suspended sediment discharge in subsurface flow from the head hollow of a small forested watershed, northern Japan, *Earth Surface Processes and Landforms*, 22(11), 987-1000.
- [40] Walling, D.E. (1977). Limitations of the rating curve technique for estimating suspended sediment loads, with particular reference to British rivers. Publication No. 122, *International Association of Hydrological Science*, Paris, France, pp. 34-47.
- [41] 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.
- [42] Walling, D.E. and Webb, B.W. (1982). Sediment availability and prediction of storm-period sediment yield, Publication No. 137, *International Association of Hydrological Science*, Exeter, UK, pp. 327-337.
- [43] Williams, G.P. (1989). Sediment concentration versus water discharge during single hydrologic events in rivers, *Journal of Hydrology*, 111, 89-106.
- [44] Watershed and Natural Resources Head Office of Kurdistan Province (2007). Comparative-operational study of Zarivar watershed, *Hydrology and soil erosion and sedimentation study*, volumes of 6 & 7, Develompent Idepardazan Company, p. 171 (in Persian).
- [45] Wood, P.A. (1977). Controls of variation in suspended sediment concentration in the River Rother, West Sussex, England, *Sedimentology*, 24, 437-445.