

## پویایی الگوهای پسماند رسوبی طی وقایع رگبار

- ❖ پری سعیدی؛ دانش آموخته دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری دانشگاه تربیت مدرس.
- ❖ سید حمیدرضا صادقی\*؛ استاد گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس.
- ❖ عبدالرسول تلوری؛ دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری.

### چکیده

درک و سازی پویایی روابط رسوب معلق و دبی جریان به منظور مهار فرایند فرسایش و کاربرد برنامه‌های مناسب در زمینه کاهش رسوب معلق رودخانه‌ها و نیز اثرات درون و برون منطقه‌ای انتقال رسوب ضروری می‌باشد. با وجود این، تفسیر پویایی الگوهای پسماند رسوبی به‌عنوان پاسخ رسوبی و هیدرولوژیکی حوزه آبخیز به وقایع بارش کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. از این‌رو تحقیق حاضر با هدف بررسی پویایی الگوهای پسماند رسوبی طی وقایع رگبار در سه حوزه آبخیز جنگلی آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس در استان مازندران، گل‌زچای در استان آذربایجان غربی و دره‌تفی در استان کردستان انجام شد. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل الگوهای پسماند ۶۷ رگبار نمونه‌برداری شده نشان‌دهنده تنوع شرایط حاکم بر حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه بود. بر اساس نتایج حاصل از تحقیق، الگوهای پسماند رسوبی در هر سه حوزه آبخیز مورد مطالعه نشان‌دهنده رفتار مختلف مشارکت رسوبی با الگوهای ساعت‌گرد، پادساعت‌گرد و عمدتاً الگوهای ۸ شکل و مرکب طی وقایع رگبار بودند. در حوزه آبخیز دره‌تفی در مقایسه با دو حوزه آبخیز مطالعاتی دیگر علی‌رغم تفاوت و تنوع بیش‌تر الگوهای بارشی غالب منطقه، الگوهای پسماند رسوبی دارای تنوع کم‌تر و عمدتاً با شکل‌های ۸ شکل و مرکب با فراوانی ۶۱/۲۹ درصد بود. نتایج هم‌چنین نشان‌دهنده فراوانی ۴۴ درصدی الگوهای پسماند ساعت‌گرد و مرکب در حوزه آبخیز گل‌زچای و نیز فراوانی ۵۳/۳۳ درصدی الگوهای مرکب در حوزه آبخیز جنگلی آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس بوده که عمدتاً نشان‌دهنده تأمین رسوبات از بخش‌های نزدیک به خروجی و منابع سطحی حوزه‌های آبخیز مطالعاتی بود.

**واژگان کلیدی:** تغییرات زمانی رسوب، رابطه دبی- رسوب، رفتار رسوبی، مشارکت سریع رسوبی، موجودیت رسوب

## ۱. مقدمه

وقایع رگباری به‌عنوان یک پدیده طبیعی نقش مهمی در افزایش انتقال رسوبات معلق از منابع رسوبی مختلف به سیستم زه‌کشی حوزه‌های آبخیز دارد. چنین وقایعی منجر به وقوع مقادیر اوج رسوب معلق با تداوم زمانی چند دقیقه تا چندین روز شده و در نتیجه باعث تغییر شرایط حاکم بر زیست‌بوم‌های مختلف می‌شوند [۱۴]. بار رسوب معلق نیز دارای تغییرپذیری زمانی و مکانی زیادی در مقیاس رگبار بوده و بخش اعظم انتقال سالانه رسوبات طی تعداد کمی از وقایع رگبار رخ می‌دهد، از این‌رو درک پویایی این وقایع در ته‌نشینی و کنش مجدد رسوبات از جمله ضروریات مطالعات رسوبی در حوزه‌های آبخیز محسوب می‌شود [۴، ۱۹، ۱۳، ۲۷، ۳۸]. هم‌چنین، آگاهی از چگونگی توزیع و تغییرات رسوب در طول سیلاب اطلاعات لازم به‌منظور طراحی سازه‌های رودخانه‌ای، ارزیابی تغییرات کاربری اراضی بالادست، شناسایی و تحلیل منابع عمده تولید رسوب، تفسیر و کمی کردن پاسخ‌های هیدرولوژیکی و رسوبی و امکان مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز را فراهم می‌نماید [۱۵، ۲۱، ۳۷].

الگوی تغییرات رسوب معلق در طول وقایع هیدرولوژیکی و خصوصاً وقایع سیلاب در مطالعات مختلفی در خارج از کشور [۳، ۲۶، ۲۸، ۴۵] و نیز در ایران [۲۰، ۳۰، ۳۴] مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس نتایج حاصل از این مطالعات، رابطه بین دبی و غلظت رسوب معلق در رویدادهای متوالی و غیر متوالی خصوصاً در وقایع منفرد هیدرولوژیکی به‌شدت متغیر بوده است. بنابراین درک این تغییرپذیری یکی از عوامل اساسی در بهبود تحلیل رفتار هیدرولوژیکی و رسوبی حوزه‌های آبخیز می‌باشد. به‌طور معمول این تغییرات به‌وسیله روابط تجربی بین غلظت رسوب معلق و دبی و در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف بیان می‌شود.

روابط متناظر دبی- غلظت رسوب معلق مربوط به وقایع رگباری دارای شکل‌های متنوعی از روابط خطی تا

پیچیده و غیرخطی می‌باشد. به‌نحوی که این ترکیب پیچیده و تعامل بین این عوامل منجر به پراکنش داده‌های دبی و رسوب معلق و ایجاد اثر پسماند<sup>۱</sup> در روابط بین دبی جریان و غلظت رسوب معلق می‌شود [۴۲]. الگوهای پسماند یا حلقه‌های سنج رسوبی [۳۴]، زمانی مشاهده می‌شوند که وقوع یک فعالیت و یک منبع انرژی طی یک چرخه منفرد به‌صورت هم‌زمان نباشند [۱۸]. این دیدگاه هم‌چنین به‌عنوان یک ابزار قدرتمند برای استفاده در مسائل مختلف هیدرولوژیکی مورد ملاحظه قرار می‌گیرد. در این حالت برای یک دبی معین روی شاخه بالارونده و پایین‌رونده آب‌نمود، غلظت رسوب معلق دارای مقادیر مختلفی بوده که باعث ایجاد حالت پسماند خواهد شد و پراکنش داده‌های دبی و رسوب معلق نیز به این پدیده نسبت داده می‌شود [۸، ۲۳]. شکل‌های مختلف این الگوها، فرآیندهای هیدرولوژیکی مختلف و پیچیده موجود در سامانه آبخیز را منعکس می‌کند و به‌عنوان ابزاری مناسب برای درک نقش مهارکنندگی دبی در تولید رسوب محسوب می‌شود [۲۰، ۳۴]. از این‌رو مطالعات متعددی به بررسی و تحلیل شکل‌های مختلف حلقه‌های سنج رسوبی طی وقایع رگبار و در شرایط مختلف پرداخته‌اند. در این رابطه می‌توان به تحقیقات محققین دیگر در خارج از کشور از جمله در کشورهایی چون انگلستان [۲۲، ۴۳]، آمریکا [۳۶، ۴۲]، اسپانیا [۳۵]، ژاپن [۳۱]، استرالیا [۷]، چین [۲۱]، نیوزلند [۱۲]، پورتوریکو [۸]، چین [۳۹]، مغولستان [۲۴]، ایتالیا [۴] و نیز در حوزه‌های آبخیز مختلف در ایران [۹، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۳۲، ۳۴] اشاره نمود. نتایج تحقیقات انجام شده دلالت بر وقوع شکل‌های متنوع الگوهای پسماند رسوبی تحت تأثیر مشارکت منابع رسوبی مختلف به‌سبب پیچیدگی شرایط حاکم بر حوزه‌های آبخیز مطالعاتی در بروز رفتار رسوبی متفاوت طی وقایع رگبار داشته و نهایتاً بر لزوم مطالعات دقیق‌تر

<sup>۱</sup>Hysteresis

در این زمینه تأکید نموده‌اند.

است. ارتفاع و شیب متوسط منطقه به ترتیب ۱۸۳۰/۵ متر و ۳۴ درصد می‌باشد. میانگین بارندگی سالیانه از سال ۱۳۵۶ تا ۱۳۸۶ در ایستگاه نوشهر، ۱۲۸۷/۸ میلی‌متر بوده است. بر اساس طبقه‌بندی کوپن<sup>۱</sup> منطقه مورد مطالعه در پایین‌دست از اقلیم برّی و زمستان سرد و خشک و تابستان کوتاه و اقلیم نیمه خشک در قسمت‌های بالادست برخوردار می‌باشد. از نظر زمین‌شناسی ۹۰ درصد از سطح حوزه مورد نظر به دوران دوم زمین‌شناسی تعلق دارد. مساحت عمده‌ای از بخش پایین‌دست حوزه آبخیز را جنگل‌های طبیعی خزان کننده تشکیل می‌دهد و مابقی در بالادست به صورت کاربری مرتع مورد تعلیف دام‌های روستائیان منطقه کجور قرار می‌گیرد [۳۳].

حوزه آبخیز گلاز با مساحت حدود ۱۰۳۰۰ هکتار، یکی از زیرحوزه‌های رودخانه گدار در استان آذربایجان غربی است که در بالادست شهرستان اشنویه واقع شده است. ارتفاع متوسط ۲۳۹۰ متر از سطح دریا و شیب متوسط منطقه ۳۲ درصد می‌باشد. بر اساس آمار ایستگاه هواشناسی اشنویه، میانگین درجه حرارت و بارندگی سالانه حوزه آبخیز گلاز به ترتیب طی سال‌های ۱۳۶۰ تا ۱۳۸۹ برابر ۱۱/۸ درجه سانتی‌گراد و ۴۸۲ میلی‌متر برآورد شده و منطقه بر اساس روش آمبرژه نیمه‌خشک سرد است. تشکیلات زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه مربوط به دوران اول و دوم زمین‌شناسی بوده و عمدتاً شامل سنگ‌های دگرگونی، نهشته‌های پالئوزوئیک و سنگ‌های آتشفشانی است.

پوشش گیاهی غالب منطقه مراتع بیلاقی است. بخش عمده‌ای از اراضی کشاورزی در بخش‌هایی از مجاورت خروجی و مناطق بالادست آبخیز گسترش یافته و فصل زراعی در منطقه مورد مطالعه هم‌زمان با اواخر تابستان تا اوایل پاییز در کشت‌های غلات پاییزه و نیز اوایل بهار در کشت نخود، آفتاب‌گردان و یا سایر محصولات در تناوب زراعی سالانه است [۲۰].

پویایی الگوهای پسماند رسوبی اطلاعات مهمی در زمینه درک عوامل و فرآیندهای تعیین‌کننده پاسخ رسوبی حوزه‌های آبخیز، تفسیر بهتر توزیع مکانی منابع رسوبی موجود در حوزه آبخیز و تعیین منابع احتمالی تولید رسوب خروجی رگبارها و درک پویایی رسوب معلق و دبی رافراهم می‌نماید [۲۱، ۴]. از این رو بررسی و تحلیل پویایی رسوب معلق ناشی از رگبار به‌عنوان یک شاخص مهم در تفسیر فرآیندهای مختلف فرسایش و رسوب‌گذاری، مهار فرآیند فرسایش خاک و تولید رسوب و نیز مدیریت جامع و همه‌جانبه منابع آب و مدیریت خاک محسوب می‌شود [۱۱، ۴]. بنابراین، تحقیق حاضر با هدف بررسی پویایی الگوهای پسماند رسوبی در سه حوزه آبخیز جنگلی آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس در استان مازندران، گلازچای در استان آذربایجان غربی و دره تفی در استان کردستان تحت شرایط مختلف هیدرولوژیکی و کاربری اراضی و به‌دلیل وجود ایستگاه‌ها و امکانات پایش اقلیمی و هیدرولوژیکی، وجود پیشینه‌های تحقیقاتی مناسب، امکان دسترسی به آمار و اطلاعات و داده‌برداری مطمئن و مناسب و همچنین پاسخ سریع هیدرولوژیکی انجام شد.

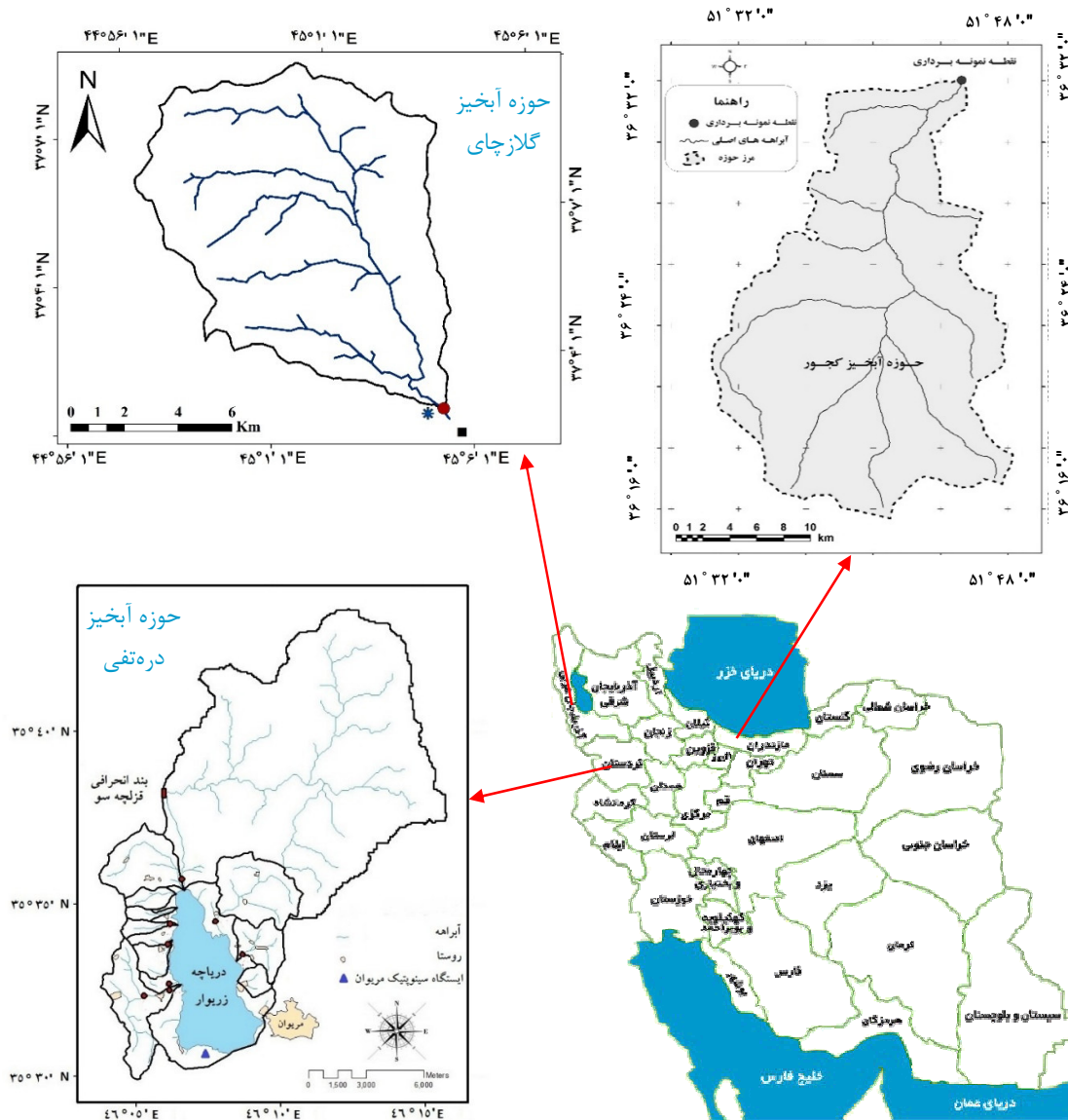
## ۲. روش‌شناسی

### ۲.۱. معرفی منطقه مورد مطالعه

تحقیق حاضر در سه حوزه آبخیز جنگلی آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس (کجور) در استان مازندران، گلازچای اشنویه در استان آذربایجان غربی و دره تفی در استان کردستان به صورت ارائه شده در شکل ۱ انجام شد.

حوزه آبخیز جنگلی آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس (کجور) با مساحت ۵۰۱۳۰ هکتار در جنوب شرقی نوشهر و در فاصله ۳۰ کیلومتری غرب از دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس واقع

<sup>۱</sup> Koppen



شکل ۱. موقعیت حوزه‌های آبخیز جنگلی آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس، گلازچای و دره تفی در کشور و به ترتیب در استان‌های مازندران، آذربایجان غربی و کردستان

متوسط بارش سالیانه منطقه بر اساس دوره آماری ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۱، ۹۰۴/۸ میلی‌متر و دمای متوسط سالانه منطقه ۱۳/۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. اقلیم منطقه مورد مطالعه بر اساس روش آمبرژه نیمه‌خشک سرد می‌باشد. انواع مختلف تشکیات زمین‌شناسی مربوط به دوره‌های

حوزه آبخیز دره تفی مریوان با مساحت ۱۱۹۳ هکتار از جمله زیرحوزه‌های آبخیز دریاچه زریوار می‌باشد. حداکثر ارتفاع و شیب متوسط منطقه به ترتیب ۱۹۸۶/۸۳ متر و ۳۱/۹۸ درصد می‌باشد. بر اساس آمار ایستگاه سینوپتیک مریوان واقع در حوزه آبخیز مورد مطالعه

ژوراسیک تا الیگومیوسن نیز در آن مشاهده می‌شود. در این حوزه آبخیز چهار تیپ جنگلی بلوط غرب با زیراشکوب مرتعی استقرار دارد [۶].

## ۲.۲. روش تحقیق

به‌منظور بررسی پویایی الگوهای پسماند رسوبی و ضرورت دستیابی به داده‌ها و اطلاعات قابل اعتماد در این زمینه مبادرت به تهیه داده‌های دبی و رسوب معلق رگبارهای برداشت شده در مطالعات پیشین به‌ترتیب ۱۵ رگبار طی دوره زمانی آبان ۱۳۸۶ تا آذر ۱۳۸۷ در حوزه آبخیز جنگلی آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس [۲۵، ۳۴]، ۱۳ رگبار طی آبان ۱۳۹۰ تا آذر ۱۳۹۱ [۲۰] در حوزه آبخیز گل‌زچای و ۸ رگبار در دوره زمانی فروردین ۱۳۹۰ تا فروردین ۱۳۹۱ در حوزه آبخیز دره‌تفی [۶، ۳۰] و تهیه بانک اطلاعاتی داده‌ها در نرم‌افزار Excel 2013 شد. در ادامه و به‌منظور توسعه بانک اطلاعاتی داده‌ها، نمونه‌برداری در مقیاس رگبار در حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه ادامه یافت. به‌نحوی که برداشت نمونه‌های رسوب معلق طی دوره زمانی بهمن ۱۳۹۲ تا خرداد ۱۳۹۴ در مقیاس رگبار بعد از شروع بارش و اطمینان از شروع سیلاب تا پایان رگبار و بازگشت ارتفاع جریان به ارتفاع اولیه، با فواصل زمانی یک ساعت انجام پذیرفت. نمونه‌برداری رسوب معلق به‌وسیله ظروف پلاستیکی دو لیتری به‌دلیل افزایش دقت نمونه‌برداری و اطمینان از برداشت تمامی ستون آب و به روش انتگراسیون عمقی [۱۷، ۳۴] و مشابه با پژوهش‌های پیشین [۶، ۲۰] صورت گرفت. هم‌زمان با نمونه‌برداری رسوب معلق، قرائت اشل به‌منظور ثبت ارتفاع سطح جریان در همان فواصل زمانی نیز انجام شد. با استفاده از رابطه دبی-اشل تهیه و واسنجی شده موجود برای رودخانه گل‌ز و رابطه ارائه شده برای فلوام مستقر در خروجی حوزه آبخیز دره‌تفی، مقادیر دبی متناظر نمونه‌های رسوب برداشت شده محاسبه شد. به‌منظور تعیین غلظت رسوب معلق موجود در نمونه آب و رسوب جمع‌آوری شده، بعد از انتقال نمونه‌های برداشت

شده به آزمایشگاه، از روش برج‌گذاری و تخلیه آب<sup>۱</sup> نمونه‌ها [۳۳، ۴۰] استفاده شد. در این روش بعد از گذشت ۴۸ ساعت از نگهداری یک لیتر نمونه آب و رسوب به حالت سکون در آزمایشگاه، آب موجود روی نمونه‌های رسوب تجمع یافته تخلیه شد. سپس رسوبات باقی‌مانده شسته شده و درون ظروف فویلی از قبل توزین شده ریخته و در آن در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک [۲۹، ۳۴] شد. رسوبات خشک شده توزین و غلظت رسوب معلق در یک لیتر نمونه آب و رسوب محاسبه شد [۳۳]. سپس داده‌های دبی و رسوب معلق برای ۱۲ و ۱۹ رگبار برداشت شده به‌ترتیب در حوزه‌های آبخیز گل‌زچای و دره‌تفی طی دوره تحقیق (بهمن ۱۳۹۲ تا خرداد ۱۳۹۴) نیز به بانک اطلاعاتی داده‌ها اضافه شد. هیچ رگبار قابل توجه با تأثیر مشخص بر خروجی حوزه آبخیز جنگلی آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس در دوره مشابه مطالعاتی اتفاق نیفتاده و لذا تعداد رگبارهای حوزه آبخیز مذکور به‌همان تعداد ۱۵ عدد محدود شد. در نهایت بانک اطلاعاتی داده‌ها برای مجموع ۶۷ رگبار در حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه تکمیل شد.

## ۲.۲.۱. تجزیه و تحلیل الگوهای پسماند رسوبی

برای هر یک از وقایع رگبار به‌وقوع پیوسته، تجزیه و تحلیل روابط غلظت رسوب معلق (SSC) و دبی جریان (Q) با استفاده از دیدگاه مطرح شده [۲] در زمینه بررسی تنوع و توالی زمانی تغییرات نیترات و کربن آلی محلول طی وقایع رگبار انجام شد. در این راستا از دو توصیف‌گر نیمه‌کمی و ساده  $\Delta C$  و  $\Delta R$  به‌منظور تفسیر رفتار و نوسانات رسوب معلق طی وقایع رگبار استفاده و ویژگی هر یک از الگوهای پسماند رسوبی شامل شکل، الگوی چرخشی و روند آن با استفاده از این دو عامل توصیف شد. در این دیدگاه عامل  $\Delta C$  نشان‌دهنده تغییرات نسبی غلظت رسوب معلق و روند الگو پسماند رسوبی می‌باشد که با

<sup>1</sup>Decantation

استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta C = [(C_s - C_b) / C_{\max}] 100 \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه،  $C_s$  و  $C_b$  به ترتیب غلظت رسوب معلق در دبی اوج و در شرایط دبی پایه و  $C_{\max}$  حداکثر غلظت رسوب معلق طی واقعه رگبار می‌باشد. مقادیر  $\Delta C$  دارای دامنه تغییرات از ۱۰۰- تا ۱۰۰ درصد بوده که مقادیر مثبت آن نشان‌دهنده وضعیت مشارکت سریع رسوبی<sup>۱</sup> طی رگبار بوده و مقادیر منفی شرایط ترقیق<sup>۲</sup> غلظت رسوب معلق را نشان می‌دهد. در حالت شار رسوب معلق،  $\Delta C$  موقعی برابر ۱۰۰ درصد خواهد بود که  $C_s = C_{\max}$  و  $C_b = 0$  باشد. حال آن‌که حداقل مقدار  $\Delta C$  (۱۰۰-) در شرایطی است که  $C_s = 0$  و  $C_b = C_{\max}$  باشد که نشان‌دهنده حالت ترقیق کامل رسوب معلق و وقوع حداکثر انتقال مقدار رسوب معلق در شرایط دبی پایه جریان می‌باشد. سایر مقادیر ممکن برای  $\Delta C$  زمانی است که مقادیر اوج رسوب معلق طی یک واقعه رگبار با فاصله زمانی قبل و یا بعد از اوج دبی اتفاق می‌افتد [۲۶، ۱، ۲].

عامل توصیف‌گر  $\Delta R$  نیز اطلاعات جامعی در مورد سطح، جهت و یا الگوی چرخشی الگوهای پسماند و نیز اطلاعاتی در رابطه با پویایی کلی رسوب معلق طی رگبار فراهم می‌کند که بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta R = (A_h * R) 100 \quad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه فوق،  $A_h$  مساحت الگوی پسماند رسوبی است که بعد از استاندارد کردن مقادیر دبی و رسوب معلق در یک مقیاس واحد و از طریق تقسیم مقادیر دبی و رسوب معلق به مقادیر اوج هر یک محاسبه شده و بنابراین دامنه تغییر مقادیر این متغیر در محدوده ۰ و ۱ می‌باشد. عامل  $R$  مربوط به ویژگی نوع حرکت چرخشی الگوی پسماند می‌باشد. در صورتی که الگوی پسماند ساعت‌گرد باشد

مقدار  $R$  برابر یک در نظر گرفته می‌شود. مقدار ۱- برای این عامل در حالت وقوع الگوی پسماند پادساعت‌گرد بوده و در صورت عدم تشکیل الگوی پسماند و یا وقوع الگوهای ۸ شکل، پیچیده و الگوهایی با شکل نامشخص، مقدار  $R$  برابر صفر در نظر گرفته می‌شود. بنابراین مقادیر  $\Delta R$  نیز همانند  $\Delta C$  در محدوده ۱۰۰- تا ۱۰۰ درصد متغیر می‌باشد [۲۶، ۲، ۱].

در نمایش تغییرپذیری توصیف‌گرهای الگوهای پسماند رسوبی، بر اساس وضعیت مشارکت سریع و یا ترقیق غلظت رسوب و حالت الگوی پسماند (ساعت‌گرد یا پادساعت‌گرد بودن) چهار منطقه در نمودار پراکنش  $\Delta R$  در مقابل  $\Delta C$  به صورت ارائه شده در شکل ۲ قابل تشخیص می‌باشد. تجزیه و تحلیل اطلاعات حاصل از این نمودار امکان تشخیص منابع مشارکت‌کننده در تأمین رسوب خروجی و نیز تفکیک انواع مختلف وقایع رگبار را فراهم می‌نماید [۲۶، ۲، ۱].

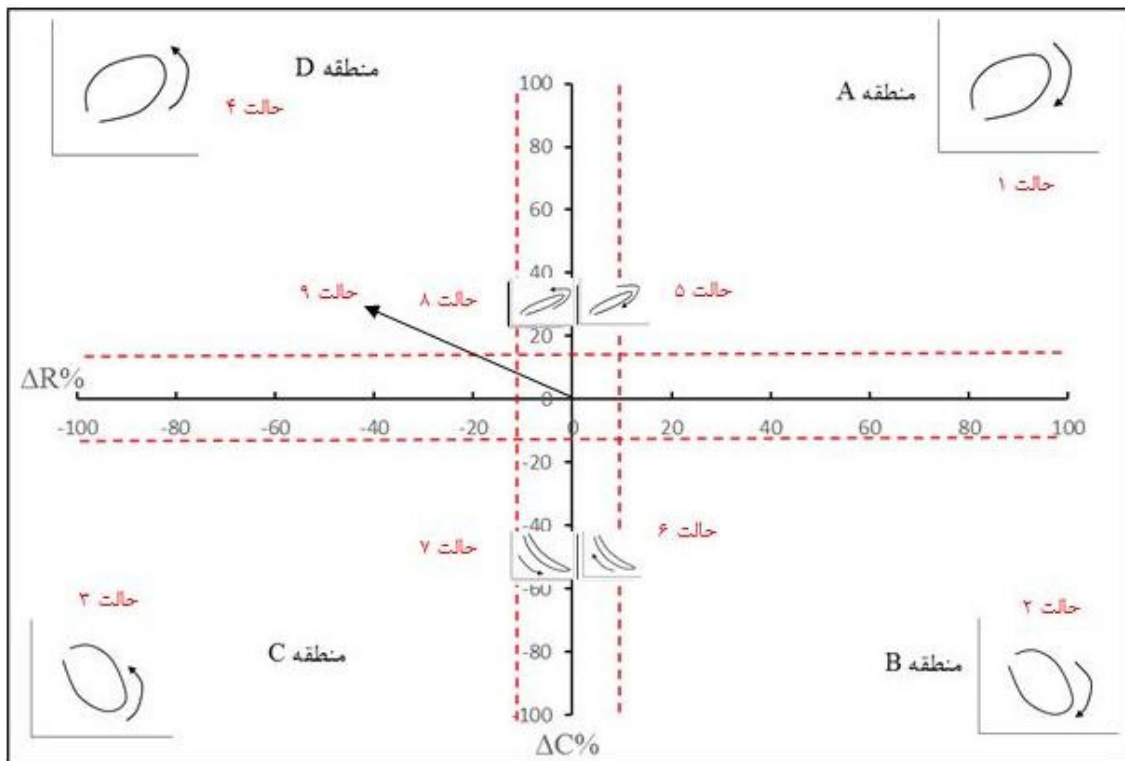
## ۲.۲.۲. طبقه‌بندی و تنوع روابط دبی - غلظت

### رسوب معلق

ترکیب توصیف‌گرهای  $\Delta C$  و  $\Delta R$ ،  $(\Delta RC)$ ، تغییرپذیری و تنوع ویژگی‌های هندسی الگوهای پسماند در یک صفحه مختصات دو بعدی شامل  $\Delta C$  در مقابل  $\Delta R$  را به وجود می‌آورد. یک طبقه‌بندی کیفی گسسته نیز از طریق تقسیم‌بندی صفحه مختصات مذکور به نه منطقه به دست خواهد آمد. (مناطق ۱ تا ۹ در شکل ۲) که در هر منطقه یک نوع خاصی از رابطه دبی - رسوب قابل تشخیص و تفسیر می‌باشد. این الگو، طبقه‌بندی دو توصیف‌گر  $\Delta C$  و  $\Delta R$  در سه گروه (۰، -۱، ۰ و ۱) را امکان‌پذیر می‌نماید [۱]. حد آستانه  $\pm 10$  درصد [۱ و ۲] برای ایجاد این طبقه‌بندی و هم‌چنین تفاوت معنی‌دار شکل الگوهای پسماند بسیار کشیده به شرح زیر در نظر گرفته شد:

<sup>1</sup> Flushing  
<sup>2</sup> Dilution

$\Delta C < -\%10$	-۱	ترقیق مواد محلول
$-\%10 \leq \Delta C \leq \%10$	۰	حالت خنثی
$\Delta C > \%10$	۱	حالت مشارکت سریع مواد محلول
$\Delta R < -\%10$	-۱	الگوی پسماند پادساعت گرد
$-\%10 \leq \Delta R \leq \%10$	۰	بدون تشکیل الگوی مشخص
$\Delta R > \%10$	۱	الگوی پسماند ساعت گرد



شکل ۲. ارائه شماتیک از تغییرات  $\Delta C$  (تغییرات غلظت رسوب معلق) در مقابل  $\Delta R$

(تغییرات سطح و شکل چرخش الگوی پسماند) تنوع پیوستگی ویژگی‌های هندسی روابط دبی- رسوب معلق

در این صفحه خطوط نقطه‌چین افقی و عمودی نه حالت مجزا از انواع روابط دبی- رسوب معلق را نشان می‌دهد. در منطقه A ( $\Delta C > 0$  و  $\Delta R > 0$ ) الگوی پسماند با چرخش ساعت گرد و روند کلی مثبت (مشارکت سریع رسوبی در شاخه بالارونده آبنمود)، در منطقه B ( $\Delta C < 0$  و  $\Delta R > 0$ ) الگوی پسماند با چرخش ساعت گرد و روند کلی منفی (ترقیق رسوب معلق در شاخه پایین‌رونده آبنمود)، در منطقه C ( $\Delta C < 0$  و  $\Delta R < 0$ ) الگوی پسماند با چرخش پادساعت گرد و روند کلی منفی (ترقیق رسوب معلق در شاخه بالارونده آبنمود) و در منطقه D ( $\Delta C > 0$  و  $\Delta R < 0$ ) الگوی پسماند پادساعت گرد با روند کلی مثبت (مشارکت سریع رسوبی در شاخه پایین‌رونده آبنمود) می‌باشد.

برعکس هر چه مقادیر  $\Delta R$  به  $-100$  نزدیک‌تر باشد الگوی پسماند شکل کامل‌تری از الگوی پادساعت گرد ارائه خواهد داد. هم‌چنین  $\Delta C$  نشان‌گر الگوی مشارکت رسوبی از لحاظ مشارکت سریع رسوبی و یا ترقیق غلظت

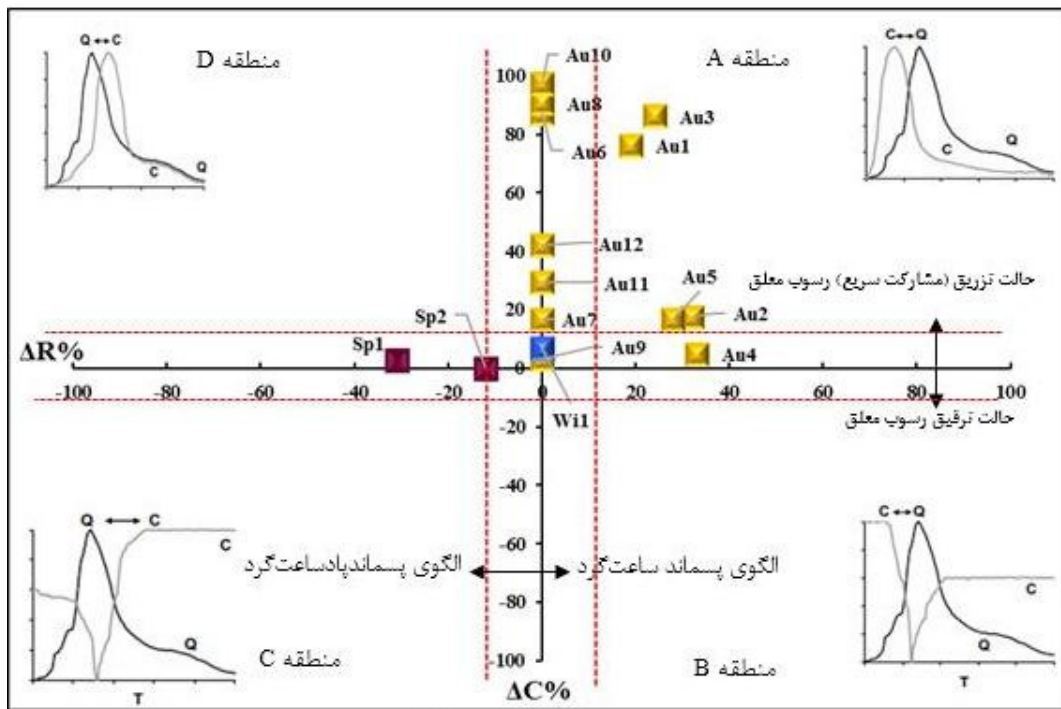
توصیف‌گرهای معرفی شده برای الگوی پسماند رگبارهای مورد مطالعه در این تحقیق محاسبه شد. در این زمینه هر چه مقدار  $\Delta R$  به سمت  $+100$  میل کند الگوی پسماند شکل کامل‌تری از الگوی ساعت گرد و

دانشگاه تربیت مدرس، گلازچای و دره تفی انجام شد. بدین منظور بعد از تهیه بانک اطلاعاتی داده‌های مربوط به ۶۷ رگبار مورد مطالعه، توصیف‌گرهای پسماندرسویی برای هر یک از رگبارها محاسبه و نمودار پراکنش  $\Delta C$  در مقابل  $\Delta R$  برای هر یک از حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه ترسیم شد. نتایج حاصل از محاسبه و نمایش توصیف‌گرهای پسماند در حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه در شکل ۲ ارائه شده است. شکل‌های ۳، ۴ و ۵ تغییرات زمانی توصیف‌گرهای پسماند برای رگبارهای مورد مطالعه در حوزه‌های آبخیز مطالعاتی را به تفکیک نشان می‌دهد.

رسوب معلق را نشان می‌دهد که هر چه  $\Delta C$  به سمت +۱۰۰ میل کند نشان‌گر شدت مشارکت سریع رسوبی خواهد بود و هر چه  $\Delta C$  به سمت -۱۰۰ میل کند نشان‌گر ترقیق بیش‌تر رسوب معلق می‌باشد. تغییرات زمانی توصیف‌گرهای مذکور در وقایع رگباری به‌وقوع پیوسته حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه نیز مورد بررسی قرار گرفته و تجزیه و تحلیل نتایج انجام شد.

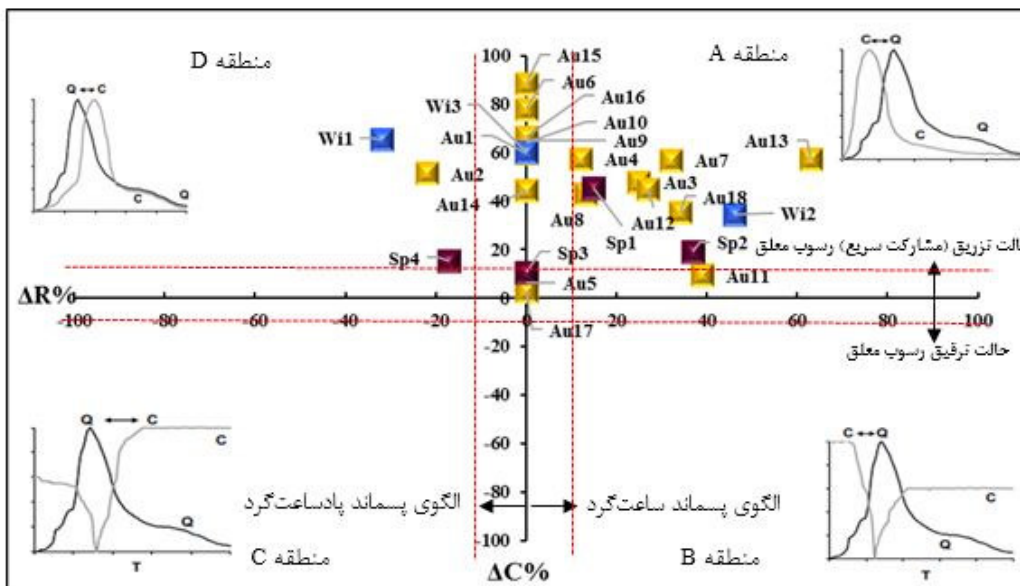
### ۳. نتایج

تحقیق حاضر با هدف بررسی پویایی‌الگوهای پسماند رسوبی در سه حوزه آبخیز جنگلی آموزشی و پژوهشی



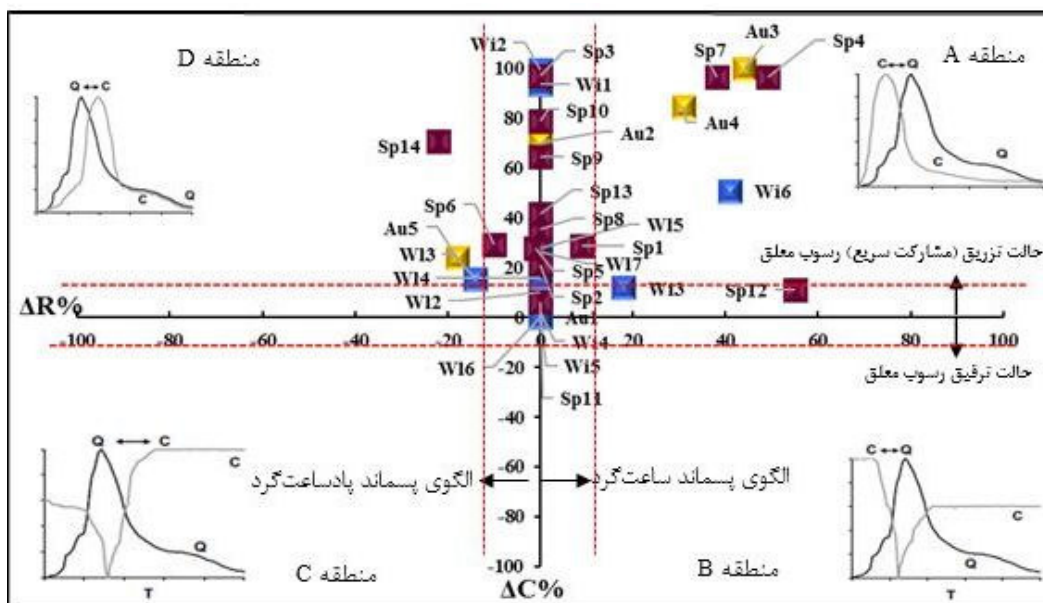
شکل ۲. تغییرات زمانی الگوهای پسماند رسوبی در حوزه آبخیز جنگلی آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس، مازندران (در شکل فوق Au1، Au2، ...، Au11، نشان‌دهنده رگبارهای پاییزه به‌وقوع پیوسته در تاریخ‌های ۱۳ آبان، ۱، ۲، ۸ و ۱۱ آذر ۱۳۸۶، ۱۱ و ۱۹ مهر، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۸ آبان و ۱۲ و ۲۶ آذر ۱۳۸۷ می‌باشد. هم‌چنین Wi1 مربوط به رگبار زمستانه ۱۳۸۶/۱۰/۱۵ و Sp1 و Sp2 نیز رگبارهای به‌وقوع پیوسته در تاریخ‌های ۱۳۸۷/۲/۱۸ و ۱۳۸۷/۳/۹ را نشان می‌دهد)





شکل ۴. تغییرات زمانی الگوهای پسماند رسوبی در حوزه آبخیز گلازچای، آذربایجان غربی

(در شکل فوق Au1، Au2، ...، Au18، نشان‌دهنده رگبارهای پاییزه مورخ ۷، ۸، ۱۳ و ۱۴ آبان ۱۳۹۰ و ۲۱ تا ۲۹، ۲۵، ۳۰ آبان ۱۳۹۱، ۵ آذر ۱۳۹۱، ۲۷ و ۲۸ مهر، ۱۱ و ۲۵ آبان و ۱ و ۲۵ آذر ۱۳۹۳ می‌باشد. همچنین Wi1، Wi3، Wi2، به ترتیب مربوط به رگبارهای زمستانه ۱۹، ۲۶ و ۲۷ اسفند ۱۳۹۲ و Sp1 مربوط به رگبار ۱۳۹۱/۱/۲۳ و Sp2، Sp3، Sp4 و نیز رگبارهای بهاره به وقوع پیوسته در تاریخهای ۲۴، ۱۰، ۲۹ فروردین ۱۳۹۳ بود)



شکل ۵. تغییرات زمانی الگوهای پسماند رسوبی در حوزه آبخیز دره تفی، کردستان

(در شکل فوق Au1، Au2، ...، Au5، نشان‌دهنده رگبارهای پاییزه مورخ ۱ و ۲، ۴ تا ۶ آبان، ۵، ۶ و ۲۱ آذر ۱۳۹۳ می‌باشد. همچنین Wi1، Wi2، ...، Wi7 مربوط به رگبارهای زمستانه ۲۷ بهمن و ۲۶ اسفند ۱۳۹۱، ۲۱ و ۲۲ اسفند ۱۳۹۲ و ۲۴، ۲۵ دی، ۱۷ تا ۲۰ بهمن و ۱۹، ۱۸ و ۲۷ اسفند ۱۳۹۳ و Sp1، Sp2، ...، Sp14 و نیز رگبارهای بهاره ۲۰ و ۲۳ فروردین ۱۳۹۰، چهار الگوی پسماند رگبار متوالی ۱۳۹۰/۲/۱، ۱۱، ۱۲ اردیبهشت ۱۳۹۰ و ۸، ۱۰ فروردین ۱۳۹۳، ۲، ۷، ۸ و ۹ فروردین ۱۳۹۴ را نشان می‌دهد)

#### ۴. بحث و نتیجه گیری

بررسی تغییرات زمانی الگوی حلقه‌های پسماند ناشی از رگبارهای مورد مطالعه در حوزه آبخیز جنگل آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس (شکل ۳) نشان‌دهنده غالبیت وقوع بارش در فصل پاییز و در نتیجه تفاوت رفتاری حوزه آبخیز تحت تاثیر شرایط حاکم بر سامانه آبخیز طی وقایع رگباری بوده که منجر به بروز الگوی متنوع حلقه‌های پسماند در فصل پاییز بود. بر اساس نتایج حاصل از شکل ۳، بررسی فراوانی وقوع هر یک از الگوهای پسماند رسوبی در حوزه آبخیز جنگلی آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس نشان‌دهنده رفتار پیچیده حوزه آبخیز مذکور طی وقایع رگباری و در قالب الگوهای دو حلقه تودرتوی ۸ شکل مشابه با عدد هشت انگلیسی و مرکب با فراوانی ۵۳/۳۳ درصد در مقایسه با فراوانی ۳۳/۳۳ و ۱۲/۳۳ درصد برای حلقه‌های ساعت‌گرد و پادساعت‌گرد در این حوزه آبخیز بود.

رگبارهای به‌وقوع پیوسته طی پاییز ۱۳۸۶ با توجه به وقوع آن‌ها بعد از دوره خشکی تابستان و در نتیجه موجودیت مناسب رسوب قابل حمل در حوزه آبخیز مذکور و از طرفی هم‌زمانی وقوع آن‌ها با فعالیت برداشت معدن شن و ماسه از بستر رودخانه، منجر به تشکیل حلقه‌های پسماند ساعت‌گرد و در حالت مشارکت سریع رسوبی شد. دلیل تشکیل حلقه‌های پسماند ساعت‌گرد را می‌توان به موجودیت مناسب رسوب قابل حمل در شاخه بالارونده آب‌نمود و نیز به نقش مشارکتی منابع رسوبی موجود در بستر آبراهه و یا منابع رسوبی نزدیک خروجی حوزه آبخیز مذکور نسبت داد که با یافته‌های سایر محققین در امریکا [۴۲]، در ژاپن [۳۱]، در پورتوریکو [۸]، در چین [۳۹] و حوزه آبخیز مشابه در ایران [۳۴] در مطابقت دارد. حلقه‌های پسماند سایر رگبارهای پاییزی حوزه آبخیز مذکور نشان‌دهنده عدم تشکیل حلقه پسماند و یا تشکیل حلقه‌های مرکب ( $\Delta R=0$ ) بود. عدم موجودیت رسوب قابل دسترس و نیز مشارکت منابع

رسوبی موجود در سطح حوزه آبخیز جنگلی مورد مطالعه در رگبارهای مورخ ۱۳۸۷/۲/۱۸ و ۱۳۸۷/۳/۹ منجر به تشکیل حلقه‌های پسماند پادساعت‌گرد به ترتیب با  $\Delta R$  برابر ۳۱- و ۱۲- درصد شد. با یافته‌های سایر محققین [۲۰، ۳۴، ۴۱] در بیان موجودیت رسوب مطابقت دارد.

بررسی نتایج حاصل از شکل ۴ نشان داد که در حوزه آبخیز گل‌زچای نیز همانند حوزه آبخیز جنگل آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس بارش غالب منطقه عمدتاً در فصل پاییز بوده به نحوی که از ۲۵ رگبار برداشت شده در این حوزه آبخیز ۱۸ رگبار مربوط به پاییز بود. نتایج شکل هم‌چنین نشان‌دهنده تنوع رفتاری بیش‌تر حوزه آبخیز در وقایع بارشی پاییزی در مقایسه با حوزه آبخیز جنگلی مورد مطالعه بود که دلیل این امر را می‌توان به وقوع بارش‌های متوالی و نقش آن در تغییرات غلظت رسوب معلق نسبت داد. از طرفی فراوانی ۴۴ درصدی حلقه‌های پسماند ساعت‌گرد و مرکب در مقابل فراوانی ۱۲ درصدی حلقه‌های پسماند پادساعت‌گرد، عمدتاً تحت تاثیر رگبارهای پاییزی بوده که دلیل این امر را می‌توان به وجود اراضی کشاورزی نزدیک خروجی حوزه آبخیز مذکور، الگوی کشت پاییزه و نیز نقش تاثیرگذار شدت و تداوم متفاوت رگبارهای پاییزی در انتقال رسوب قابل دسترس نسبت داد. اولین رگبار به‌وقوع پیوسته در تاریخ ۱۳۹۰/۸/۷ با توجه به الگوی کشت پاییزه در حوزه آبخیز مذکور و نیز مشارکت منابع رسوبی متعدد، منجر به وقوع تشکیل حلقه پسماند ۸ شکل و در نتیجه  $\Delta R=0$  شد که با یافته‌های گزارش شده در سنگاپور [۵] مبنی بر تولید حلقه‌هایی با الگوی ۸ شکل، ساعت‌گرد و مرکب در اثر شدت متغیر رگبارها و فعالیت‌های انسانی مطابقت دارد. وقوع رگبار متوالی مورخ ۱۳۹۰/۸/۸ نیز با توجه به نقش رگبارهای متوالی در کاهش مقادیر غلظت اوج رسوب‌نمود و نیز وزن کل رسوب معلق حمل شده توسط رگبار منجر به تشکیل تنها حلقه پادساعت‌گرد پاییزی حوزه آبخیز گل‌زچای شد. یافته‌های مشابه توسط محققین پیشین [۳۱، ۳۴] در ژاپن و حوزه آبخیز کجور نیز گزارش شده

مورد مطالعه به صورت وقوع رگبارهای متوالی با شدت و تداوم متغیر نسبت داد. به نحوی که در رگبار متوالی ۴ تا ۶ آبان ۱۳۹۳، ابتدا حلقه مرکب تشکیل شده و در ادامه تحت تأثیر شدت متغیر بارش و ریزش احتمالی کناره بستر، مشارکت منابع رسوبی نزدیک خروجی حوزه آبخیز و حتی منابع رسوبی بالادست ناشی از تداوم بارش، حلقه پسماند ساعت گرد با  $\Delta C = 100$  تشکیل شد. بر اساس نتایج سایر محققین [۱، ۲، ۲۶] در حالت مشارکت سریع رسوبی،  $\Delta C$  برابر ۱۰۰ درصد زمانی رخ می دهد که غلظت رسوب معلق در شرایط دبی پایه برابر با صفر و غلظت رسوب در دبی اوج برابر با مقدار اوج رسوب معلق باشد. به عبارت دیگر در این حالت اوج دبی و رسوب معلق هم زمان رخ داد که منجر به تشکیل حلقه پسماند خطی [۴۲] خواهد شد.

شکل غالب حلقه های پسماند رگبارهای زمستانی در حوزه آبخیز دره تفی نیز به صورت الگوهای ۸ شکل، مرکب پیچیده و حتی خطی بود. با توجه به رفتار متفاوت حوزه آبخیز دره تفی در پاسخ به رگبارهای به وقوع پیوسته نیز تشکیل دو حلقه پسماند با  $\Delta C = 0$  و  $\Delta R = 0$  نیز مشاهده شد. بر اساس نتایج سایر محققین [۱، ۲، ۲۶] در زمینه شرایط وقوع  $\Delta C$  و  $\Delta R$  برابر صفر، می توان عدم تشکیل حلقه های پسماند با شکل های نامشخص را به پیچیدگی و تنوع زیاد شرایط حاکم بر سامانه آبخیز [۶، ۳۰] نسبت داد.

علی رغم فراوانی وقوع رگبارهای بهاری در حوزه آبخیز دره تفی، شکل غالب حلقه های پسماند ناشی از رگبارها به صورت ۸ شکل، پیچیده و حتی عدم تشکیل حلقه پسماند مشخص بود که بر نقش مشارکتی منابع رسوبی مختلف و تاثیر بارش های متوالی در تغییرات غلظت رسوب معلق طی وقایع رگبار [۴، ۸، ۲۱، ۲۸، ۳۱] و نیز نقش الگوی محلی بارش و نیز تعامل پیچیده بین سامانه های بارشی در پاسخ هیدرولوژیکی حوزه آبخیز مطابقت دارد.

بررسی نتایج حاصل از شکل های ۳، ۴ و ۵ و بررسی تغییرات مکانی و شکل کلی الگوی پسماند ۶۷ رگبار

است. تنوع رفتاری حلقه های پسماند رسوبی تحت تأثیر تنوع الگوی بارشی و وقوع بارش های متوالی نیز در رگبار متوالی ۱۳۹۱/۸/۲۱ تا ۱۳۹۱/۸/۲۵ نیز به صورت تشکیل متناوب حلقه های پسماند مرکب و ساعت گرد مشهود است. حلقه های پسماند رسوبی در سایر رگبارهای پاییزی مورد مطالعه نشان دهنده تشکیل حلقه هایی با شکل های مرکب و ۸ شکل بود.

تنوع رفتاری حلقه های پسماند برای سه رگبار زمستانی ثبت شده در حوزه آبخیز گلزچای نیز مشاهده شد. به نحوی که حلقه پسماند پادساعت گرد برای رگبار ۱۳۹۲/۱۲/۱۹ تحت تأثیر عدم موجودیت مناسب رسوب و نیز مشارکت منابع رسوبی بالادست، حلقه ساعت گرد در رگبار ۱۳۹۲/۱۲/۲۶ و نیز تشکیل یک حلقه پسماند مرکب و پیچیده در رگبار متوالی ۱۳۹۲/۱۲/۲۷ مشاهده شد. این یافته با نتایج سایر محققین [۸، ۲۰، ۳۲، ۳۴، ۳۹] در پورتوریکو و چین، و ایران در خصوص تأثیر پذیری خصوصیات رسوب معلق و حلقه های پسماند از تغییرات رگبار مطابقت دارد. تنوع رفتاری مشابه در الگوهای پسماند رگبارهای بهاری این حوزه آبخیز نیز مشاهده شد. نتایج حاصل از شکل ۵ در حوزه آبخیز دره تفی نشان داد که بر خلاف دو حوزه آبخیز مورد مطالعه دیگر، فصل بارش عمدتاً طی دو فصل زمستان و بهار بوده و در نتیجه حلقه های پسماند رسوبی علی رغم شرایط متنوع و متغیر بارشی دارای تنوع کمتری در مقایسه با دو حوزه آبخیز دیگر بود. بررسی نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل ۳۱ حلقه پسماند رسوبی ناشی از ۲۶ رگبار به وقوع پیوسته در حوزه آبخیز مورد مطالعه دلالت بر برتری غالب الگوهای پسماند مرکب و ۸ شکل با فراوانی ۶۱/۲۹ درصد در مقایسه با فراوانی ۲۵/۸۱ و ۱۲/۹۰ درصدی حلقه های ساعت گرد و پادساعت گرد داشت. بررسی نتایج حاصل از شکل ۵ هم چنین نشان داد که تفاوت رفتار حوزه آبخیز مورد مطالعه در رگبارهای پاییزی منجر به تشکیل حلقه های پسماند ساعت گرد، پادساعت گرد و مرکب شده که دلیل این امر را می توان به الگوی بارشی رگبارهای

حاصل از شکل ۳، تمامی الگوهای پسماند رگبارهای مورد مطالعه در هر سه حوزه آبخیز مطالعاتی در مناطق A و D از صفحه مختصات دو بعدی ترسیم شده قرار دارند که نشان‌دهنده وقوع مشارکت سریع رسوبی ( $\Delta C > 0$ ) طی رگبار ولی با الگوی چرخشی متفاوت بود.

با توجه به اثرات زیان‌بار تولید و انتقال رسوب خصوصاً طی وقایع رگبار، درک و تفسیر پویایی ارتباط رسوب معلق و دبی طی وقایع رگبار در قالب حلقه‌های پسماند رسوبی از اهمیت خاصی در اجرای برنامه‌های مدیریت جامع در یک حوزه آبخیز برخوردار می‌باشد. بر همین اساس، از نتایج تحقیق حاضر با هدف بررسی پویایی حلقه‌های پسماند طی وقایع رگبار، به‌طور کلی می‌توان این‌گونه جمع‌بندی نمود که نتایج تحقیق دلالت بر ماهیت پیچیده و ناهمگون پاسخ‌های هیدرولوژیکی و رسوبی حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه تحت‌تأثیر تنوع شرایط حاکم بر سامانه و نیز الگوی بارشی متنوع و نیز تأثیر دخالت‌های انسانی در شکل‌های مختلف داشت. اگر چه بررسی پویایی و تغییرپذیری الگوی حلقه‌های پسماند در مقاطع زمانی و شرایط اقلیمی مختلف با دوره طولانی‌تر تحقیق و نیز توسعه آن به سایر حوزه‌های آبخیز و با ویژگی‌های متنوع به‌منظور امکان جمع‌بندی‌های جامع و نهایی پیشنهاد می‌شود.

مورد مطالعه در این تحقیق نشان داد که علی‌رغم تنوع شرایط حاکم طی وقایع رگباری، حوزه‌های آبخیز مطالعاتی دارای پاسخ هیدرولوژیکی و رسوبی نسبتاً مشابهی بودند. به‌نحوی که بر اساس نتایج حاصل از شکل ۳، مشارکت منابع رسوبی مختلف و متنوع در بسیاری از وقایع رگبار به‌وقوع پیوسته منجر به تشکیل الگوهای پسماند با شکل‌های مرکب و 8 شکل و در برخی موارد عدم تشکیل الگو کاملاً مشخص و در نتیجه  $\Delta R = 0$  شد. تشکیل این شکل از الگوهای پسماند تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله عوامل مرتبط با مشارکت منابع رسوبی مختلف، شدت متغیر بارش، رطوبت پیشین خاک، تراکم پوشش گیاهی و نیز اقدامات خاک‌ورزی صورت می‌گیرد [۴، ۸، ۳۱]. این در حالی است که فراوانی وقوع الگوهای پسماند ساعت‌گرد نیز در مقایسه با الگوهای پادساعت‌گرد در هر سه حوزه آبخیز مورد مطالعه بیش‌تر بود. تشکیل الگوهای پسماند ساعت‌گرد دلالت بر کاهش تدریجی منابع رسوب در دسترس و تامین رسوب خروجی توسط منابع داخل کانال و یا منابع رسوبی نزدیک به خروجی حوزه دارد. این شکل از الگوهای پسماند رسوبی تحت‌تأثیر وقایع بارشی با شدت زیاد و سیل ناشی از آن‌ها در حوزه آبخیز به‌وجود می‌آیند [۷، ۸، ۹، ۱۰، ۲۰، ۲۲، ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۴، ۳۹، ۴۲]. به‌طور کلی و بر اساس نتایج

## References

- [1] Butturini, A., Alvarez, M., Bernal, S., Vazquez, E. and Sabater, F. (2008). Diversity and temporal sequences of forms of DOC and NO<sub>3</sub>-discharge responses in an intermittent stream: predictable or random succession?, *Journal of Geophysical Research*, 113, 1-10.
- [2] Butturini, A., Gallart, F., Latron, J., Vazquez, E. and Sabater, F. (2006). Cross-site comparison of variability of DOC and nitrate C-Q hysteresis during the autumn-winter period in three Mediterranean headwater streams: a synthetic approach, *Biogeochemistry*, 77, 327-349.
- [3] Chen, V.J. and Kuo, C.Y. (1986). A study on synthetic sedimentographs for ungagged watersheds, *Journal of Hydrology*, 84, 35-54.
- [4] De Girolamo, A.M., Pappagallo, G. and Porto, A.L. (2015). Temporal variability of suspended sediment transport and rating curves in a Mediterranean river basin: The Celone (SE Italy), *Catena*, 128, 135-143.

- [5] Desmond, L.W.A. (2009). Sediment response to tropical storms in Singapore residential catchments. Ph.D Dissertation, National University of Singapore, 430 p.
- [6] 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. (In Persian)
- [7] Eder, A., Strauss, P., Krueger, T. and Quinton, J.N. (2010). Comparative calculation of suspended sediment loads with respect to hysteresis effects (in the Petzenkirchen catchment, Austria), *Journal of Hydrology*, 389, 168–176.
- [8] Gellis, A.C. (2013). Factors influencing storm-generated suspended-sediment concentrations and loads in four basins of contrasting land use, humid tropical Puerto Rico, *Catena*, 104, 39–57.
- [9] Gholami, L., Sadeghi, S.H.R., and Khaledi, A.V. (2012). Storm-wise rating loops in Chehelgazi watershed of Geshlagh dam. *Iranian Water Resources Journal*, 6, 29-36. (In Persian)
- [10] Ghorbani, M.A. Moradi Zadeh, F. and Nikmehr, M. (2010). Analysis of hysteresis curves of suspended sediment in the Lighvan River, *Water and Soil Science*, 20 (1), 171-183. (In Persian)
- [11] Heathwaite, A.L., Dils, R.M., Liu, S., Carvalho, L., Brazier, R.E., Pope, L., Hughes, M., Philips, G. and May, L. (2005). A tiered risk-based approach for predicting diffuse and point source phosphorus losses in agricultural areas. *Science of the Total Environment*, 344 (1–3), 225–239.
- [12] Hughes, A.O., Quinn, J. M. and McKergow, A.M. (2012). Land use influences on suspended sediment yields and event sediment dynamics within two headwater catchments, Waikato, New Zealand, *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 46 (3), 315-333.
- [13] Kirkby, M.J., Le Bissonais, Y., Coulthard, T.J., Daroussin, J. and McMahon, M.D. (2000). The development of land quality indicators for soil degradation by water erosion, *Agriculture Ecosystem Environment*, 81, 125–136.
- [14] 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.
- [15] Lefrançois, 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.
- [16] Letcher, R.A., Jakeman, A.J., Calfas, M., Linforth, S., Baginska, B. and Lawrence, I. (2002). A comparison of catchment water quality models and direct estimation techniques, *Environmental Modelling and Software*, 17, 77–85.
- [17] Mahdavi, M. (2002). *Applied Hydrology*, Tehran University Press, 2, 437. (In Persian)
- [18] Megnounif, A., Terfous, A. and Ouillon, S. (2013). A graphical method to study suspended sediment dynamics during flood events in the Wadi Sebdo, NW Algeria (1973–2004), *Journal of Hydrology*, 497, 24–36.
- [19] Morgan, R.P.C. (2005). *Soil erosion and conservation*, 3<sup>rd</sup>. Blackwell, Oxford, 314 p.
- [20] Mostafazadeh, R., Sadeghi, S.H.R. and Saddodin, A. (2015). Analysis of Storm-wise Sedimentgraphs and Rating Loops in Galazchai Watershed, West-Azarbaijan. *Soil and Water conservation researches*, 21 (5), 175-190. (In Persian)
- [21] Nu-Fang, F., Zhi-Hua, S., 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.
- [22] Perks, M.T., Owen, G.J., Benskin, C.McW.H., Jonczyk, J., Deasy, C., Burke, S., Reaney, S.M. and Haygarth, P.M. (2015). Dominant mechanisms for the delivery of fine sediment and phosphorus to fluvial networks draining grassland dominated headwater catchments, *Science of the Total Environment*, 523, 178–190.
- [23] Picouet, C., Hingray, B. and Olivry, J.C. (2001). Empirical and conceptual modelling of the suspended sediment dynamics in a large tropical African river: the upper Niger River basin, *Journal of Hydrology*, 250, 19–39.
- [24] Pietron, J., Jarsjo, J., Romanchenko, A.O. and Chalov, S.R. (2015). Model analyses of the contribution of in-channel processes to sediment concentration hysteresis loops, *Journal of Hydrology*, 527, 576–589
- [25] Raeisi, M., Sadeghi, S.H.R. and Noor, H. (2010). Accuracy of time- area method in sedimentgraph development in Kojour watershed, *Rangeland*, 4 (2), 320-333. (In Persian)

- [26] Ramos, T.B., Gonçalves, M.C., Branco, M.A., Brito, D., Rodrigues, S., Sánchez-Pérez, J.M., Prazeres, A., Martins, J.C., Fernandes, M.L. and Pires, F.P. (2015). Sediment and nutrient dynamics during storm events in the Enxoé temporary river, southern Portugal, *Catena*, 127, 177–190.
- [27] Rodriguez-Blanco, M.L., Taboada-Castro, M.M. and Taboada-Castro, M.T. (2010). Sources and sediment yield from a rural catchment in humid temperate environment, north west Spain, *Earth Surface Processes Landforms*, 35, 272–277.
- [28] Rovira, A. and Batalla, R. (2006). Temporal distribution of suspended sediment transport in a Mediterranean basin: The Lower Tordera (NE SPAIN), *Geomorphology*, 79, 58-71.
- [29] 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, Khartoum, Sudan. Nov. 12-16, 2006, 71.
- [30] Sadeghi, S.H.R., Ebrahimi Mohammadi, Sh., and Chapi, K. (2015a). Analysis of intra-storm suspended sediment delivery processes from different sub-watersheds to the Lake Zarivar using hysteresis patterns, *Journal of Range and Watershed Management*, 68 (2), 319-336. (In Persian)
- [31] Sadeghi, S.H.R., Mizuyama, T., Miyata, S., Gomi, T., Kosugi, K., Fukushima, T., Mizugaki, S. and Onda, Y. (2008). Determinant factors of sediment graphs and rating loops in a reforested watershed, *Journal of Hydrology*, 356: 271–28.
- [32] Sadeghi, S.H.R., Mostafazadeh, R. and Saddodin, A. (2015b). Response of sediment graphs and sediment rating loops to land use type and spatial pattern, *Watershed Engineering and Management*, 7 (1), 15-26. (In Persian)
- [33] 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.
- [34] Saeidi, P. and Sadeghi, S.H.R. (2010). Analysis of observed sediment graphs 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)
- [35] Seeger, M., Errea, M.P., Beguería, S., Arnáez, J., Martí, C. and García-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.
- [36] Simon, A., Curini, A., Darby, S. and Langendoen, E.J. (2000). Bank and near-bank processes in an incised channel, *Geomorphology*, 35, 193–217.
- [37] Singh, P.K., Bhunya, P.K., Mishra, S.K. and Chaube, U.C. (2008). A sediment graph model based on SCS-CN method, *Journal of Hydrology*, 349, 244–255.
- [38] Soler, M., Latron, J. and Gallart, F. (2008). Relationship between suspended sediment concentrations and discharge in two small research basins in a mountainous Mediterranean area (Vallcebre, Eastern Pyrenees), *Geomorphology*, 98, 143–152.
- [39] Sun, L., Yan, M., Cai, Q. and Fang, H. (2015). Suspended sediment dynamics at different time scales in the Loushui River, south-central China, *Catena*, *Catena xxx (2015) xxx–xxx*, doi:10.1016/j.catena.2015.02.014.
- [40] Walling, D.E., Collins, A.L., Sickingabula, 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
- [41] Walling, D.E. and Webb, B.W. (1983). Patterns of sediment yield. In: Gregory, K.J. (Ed.), *Background to Paleohydrology*, John Wiley and Sons, NY, 69–100.
- [42] Williams, G.P. (1989). Sediment concentration versus water discharge during single hydrologic events in rivers, *Journal of Hydrology*, 111, 89–106.
- [43] Wood, P.A. (1977). Controls of variation in suspended sediment concentration in the river Rother, West Sussex, England, *Sedimentology*, 24, 437- 445.
- [44] Zheng, M., Qin, F., Yang, J. and Cai, Q., (2013). The spatio-temporal invariability of sediment concentration and the flow–sediment relationship for hilly areas of the Chinese Loess Plateau, *Catena*, 109, 164-176.