

شبیه‌سازی رسوب‌نمود با استفاده از آب‌نمود

پری سعیدی^۱، سید حمیدرضا صادقی*^۲ و عبدالرسول تلوری^۳^۱ دانشجوی دکتری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، ^۲ استاد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس و ^۳ دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۳/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۰۶

چکیده

رسوب‌نمود یک ابزار مهم در مدیریت منابع آب و خاک حوزه‌های آبخیز محسوب می‌شود، لذا دستیابی به روش‌های مناسب برای تهیه رسوب‌نمودها در حوزه‌های آبخیز مختلف فاقد آمار دقیق رسوب معلق از اهمیت زیادی برخوردار است. حال آن‌که دستیابی به روش‌های ساده و مبتنی بر داده‌های زود یافت کمتر مورد توجه قرار گرفته است. لذا پژوهش حاضر با هدف بررسی توانایی تهیه رسوب‌نمود مصنوعی با استفاده از آب‌نمود در حوزه آبخیز گلازچای در استان آذربایجان غربی با مساحت ۱۰۳ کیلومتر مربع انجام شد. بدین منظور بعد از تهیه بانک اطلاعاتی مربوط به ۱۸ رگبار به‌وقوع پیوسته طی دوره زمانی پاییز ۱۳۹۰ تا بهار ۱۳۹۳، آب‌نمود و رسوب‌نمود کل و مستقیم هر یک از رگبارها تهیه شد. سپس شبیه‌سازی کلیه مؤلفه‌های رسوب‌نمود کل و مستقیم با استفاده از مؤلفه‌های متناظر آب‌نمود و با استفاده از برآزش انواع روابط رگرسیونی دو متغیره و انتخاب مدل بهینه با استفاده از معیارهای مختلف صورت گرفت. بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق به‌طور کلی شبیه‌سازی مؤلفه‌های مختلف رسوب‌نمود کل به‌جز زمان پایه، عرض‌های ۵۰ و ۷۵ درصد از اوج با استفاده از مؤلفه‌های آب‌نمود امکان‌پذیر بود. بررسی نتایج شبیه‌سازی رسوب‌نمود مستقیم نیز دلالت بر توانایی شبیه‌سازی کلیه مؤلفه‌ها به‌جز عرض ۷۵ درصد اوج بود. نتایج همچنان نشان داد که شبیه‌سازی مؤلفه‌های زمانی با مقادیر خطای نسبی کمتر، بهتر از سایر مؤلفه‌ها صورت گرفت. به‌نحوی که کمترین مقادیر خطای تخمین و تأیید برای رسوب‌نمود کل به‌ترتیب برابر ۴۸/۸۶ و ۴۵/۶۵ درصد برای زمان تا اوج بود. مدل بهینه ارائه شده برای شبیه‌سازی مؤلفه زمان پایه دارای کمترین میزان خطای تخمین و تأیید به‌ترتیب برابر ۲۳/۰۳ و ۲۱/۷۵ و بیشینه ضریب کارایی برابر ۰/۹۳ بود.

واژه‌های کلیدی: تغییرات زمانی رسوب معلق، حوزه‌های آبخیز، رابطه رواناب-رسوب، رفتار رسوبی، مدل‌سازی رسوب

مقدمه

اکوسیستم مورد استفاده قرار گیرد (Josefson و Gao، ۲۰۱۲). از این‌رو دسترسی به داده‌های قابل اعتماد و دقیق رسوب معلق به‌منظور درک بهتر فرایندهای انتقال رسوب از جمله نیازهای اساسی بسیاری از مطالعات فرسایش و رسوب محسوب می‌شود. این در حالی است که به‌دلیل تقابل فرایندهای مختلف

رسوب معلق یکی از اجزاء اصلی در عملکرد هیدرولوژیکی، ژئومورفولوژی و محیط‌زیستی رودخانه‌ها و نتیجه نهایی فرایند فرسایش خاک در حوزه آبخیز می‌باشد، بنابراین می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی و درک وضعیت حاکم بر

تحلیل یک هیدروگراف نیز اطلاعات مفیدی در رابطه با برهم کنش عوامل اقلیمی و فیزیوگرافی موجود در یک حوزه آبخیز و طی یک واقعه بارش را فراهم خواهد نمود. بنابراین با توجه به تاثیرپذیری تغییرات زمانی رسوب معلق از عوامل هیدرولوژیکی مختلف، در بسیاری از مطالعات از آب‌نمود به‌عنوان یک داده مبنا در تهیه و شبه‌سازی رسوب‌نمود استفاده می‌شود که در واقع دربردارنده بسیاری از عوامل مؤثر بر تولید و انتقال رسوب می‌باشد. از آنجایی که برداشت نمونه‌های آب و رسوب در فواصل زمانی معین و ترسیم آب‌نمود و رسوب‌نمود همه رگبارها مستلزم صرف انرژی و هزینه زیادی بوده و بعضاً انجام مداوم آن را غیرممکن می‌سازد، بنابراین تهیه و مطالعه رسوب‌نمود با استفاده از داده‌های زودیافت و سریع ضمن صرفه‌جویی در زمان و هزینه از جمله راه‌کارهای ضروری در تهیه اطلاعات تفصیلی، درک صحیح سامانه‌های آبخیز و نیز شرایط حاکم بر چرخه‌های هیدرولوژی بوده و ابزاری مهم برای مدیریت جامع و همه‌جانبه حوزه‌های آبخیز محسوب می‌شود. از این‌رو توسعه مدل‌هایی که بتوانند تغییرات زمانی رسوب را برای رسم رسوب‌نمود و اندازه‌گیری مقدار کل رسوب حاصل از رگبار ارائه نمایند، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است.

با توجه به اهمیت رسوب‌نمودها به‌عنوان یک ابزار کارا در مطالعه وضعیت حوزه‌های آبخیز از نظر میزان تولید و نحوه انتقال رسوبات، تلاش‌های متعددی در زمینه تهیه و پیش‌بینی رسوب‌نمودها از طریق شیوه‌های مستقیم و غیرمستقیم منطقی و ساده و با استفاده از داده‌ها و مؤلفه‌های زودیافت و مهارکننده رسوب معلق از جمله بارش در قالب باران‌نمود و خصوصیات فیزیکی حوزه آبخیز صورت گرفته است. مروری بر مطالعات انجام شده در زمینه تهیه رسوب‌نمودها دلالت بر استفاده از روش‌های مختلف و محدود مشاهده‌ای و مصنوعی در تهیه رسوب‌نمود داشته است. از مجموع سوابق مطالعاتی مرتبط با اندازه‌گیری مستقیم می‌توان به Rendon-Herrero (۱۹۷۸) در استفاده از روش معمول آب‌نمود واحد^۲

هیدروژئولوژی مؤثر در تولید رسوب معلق، محدود بودن اطلاعات از جزئیات مرتبط بر این فرایندها و نیز مشکلات موجود در برداشت و جمع‌آوری این آمار خصوصاً طی وقایع سیلابی، تخمین دقیق مقادیر رسوب معلق مشکل و در برخی موارد غیرممکن می‌باشد. به‌نحوی که برای بسیاری از رودخانه‌های بزرگ نیز هنوز آمار و اطلاعات قابل اعتمادی از رسوب معلق وجود ندارد. از طرفی بار معلق بخش عمده‌ای از بار کل حوزه آبخیز را شامل می‌شود و دارای تغییرات زیادی خصوصاً در مقیاس زمانی رگبار می‌باشد. از این‌رو تخمین بار رسوب معلق ناشی از وقایع بارندگی‌های منفرد و بررسی مؤلفه‌های مرتبط با آن در هر رگبار مستلزم داشتن تعداد کافی نمونه‌گیری در طول هر واقعه به‌منظور تهیه منحنی کامل رسوب یا رسوب‌نمود^۱ است (Sadeghi و Singh، ۲۰۰۵، Rovira و Batalla، ۲۰۰۶، Saeidi و Sadeghi، ۲۰۱۰).

رسوب‌نمود، نمایانگر توزیع زمانی بار رسوب معلق در طول وقایع سیلاب می‌باشد (Sadeghi و Singh، ۲۰۰۵) و علاوه بر تعیین مقدار کل رسوبات انتقالی، میانگین سالانه بار رسوبی و نحوه انتقال رسوب، اطلاعات مفیدی در راستای مدل‌سازی کیفیت آب، طراحی دقیق و مؤثر سازه‌های مهار رسوب، مطالعه انتقال آلاینده‌های متصل به رسوبات و همچنین، تهیه روش‌های روندیابی رسوب را فراهم می‌نماید (Singh و همکاران، ۲۰۱۳، Telvari و همکاران، ۲۰۰۸). رسوب‌نمود یک واقعه منعکس‌کننده کلیه شرایط حاکم بر حوزه آبخیز شامل نقش کاربری‌های مختلف اراضی در تولید رسوب، وضعیت پوشش گیاهی، وضعیت رطوبت پیشین خاک و سایر شرایط هیدرولوژیکی حوزه آبخیز، قبل و حین وقوع واقعه و برابندی از اثرات متقابل کلیه عوامل مؤثر در فرایند فرسایش و انتقال رسوب تولیدی می‌باشد.

از طرفی واکنش هیدرولوژیکی حوزه آبخیز طی یک واقعه بارش در قالب آب‌نمود نیز قابل بررسی بوده، به‌نحوی که شاخه بالارونده آب‌نمود تحت تاثیر شرایط اقلیمی و شاخه پایین‌رونده منعکس‌کننده شرایط فیزیوگرافی حوزه آبخیز بوده که تجزیه و

² Unit Hydrograph (UH)

¹ Sediment graph, Sedigraph

(۲۰۰۸) با استفاده از آبنمود واحد لحظه‌ای Nash و نمودار بدون بعد توزیع زمانی غلظت رسوب معلق و رابطه بین زمان‌های تأخیر آبنمود و رسوب‌نمود، اقدام به مدل‌سازی موفق IUSG در حوزه آبخیز Vermilion نمودند. Singh و همکاران (۲۰۰۸) تهیه رسوب‌نمود با استفاده از IUSG بر اساس آبنمود واحد لحظه‌ای Nash، روش شماره منحنی و معالات توانی بین رواناب و رسوب برای سه حوزه آبخیز در هندوستان را قابل قبول ارزیابی کردند. Sadeghi و همکاران (۲۰۰۹) نیز از IUSG حاصل از آبنمود واحد لحظه‌ای Clark و روابط بین رسوب و بارش مازاد در حوزه آبخیز خانمیرزا در ایران به منظور برآورد تغییرات زمانی رسوب طی شش رگبار به‌طور موفقیت‌آمیز استفاده کردند.

Lee و Yang (۲۰۱۰) یک مدل توزیع زمانی رسوب معلق مناسب با استفاده از مفاهیم رسوب‌نمود واحد لحظه‌ای ژئومورفولوژی^۴ و موج سینماتیک و بر اساس خصوصیات خاک و ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی در حوزه آبخیز آزمایشی Goodwin Creek در آمریکا تهیه کرد. Bhunya و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از روش‌های SCS-CN، رسوب‌نمود واحد لحظه‌ای و مدل توانی یک روش برای محاسبه رسوب‌نمود در حوزه آبخیز Chaukhutia در هند تهیه کردند. Singh و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از روش توزیع گامای دو پارامتره اقدام به تهیه موفقیت‌آمیز رسوب‌نمود مصنوعی برای حوزه‌های آبخیز فاقد ایستگاه اندازه‌گیری در هفت حوزه آبخیز در آمریکا نمودند. Banasik و Hejduk (۲۰۱۴) با استفاده از آمار ۱۵۲ رگبار به‌وقوع پیوسته در چهار کشور لهستان، آلمان، آمریکا و انگلیس اقدام به محاسبه نسبت زمان تأخیر آبنمود و رسوب‌نمود و بررسی ارتباط آن با شیب حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه نمودند. آن‌ها سپس با استفاده از نسبت محاسبه شده برای تخمین موفقیت‌آمیز پارامترهای IUH و IUSG استفاده کردند. در ایران نیز نتایج حاصل از تحقیق Sadeghi و Tofighi (۲۰۰۳) در حوزه آبخیز زرین‌درخت دلالت بر عدم کارایی روش زمان-مساحت در تهیه

برای تهیه رسوب‌نمود واحد^۱ در حوزه آبخیز Bixler Run در آمریکا اشاره نمود. روش پیشنهادی توسط وی کاملاً مبتنی بر داده‌های اندازه‌گیری شده بوده و برای حوزه‌های آبخیز فاقد داده‌های اندازه‌گیری قابلیت کاربرد نداشت.

به هر صورت در بسیاری از موارد نیز به دلیل کمبود داده‌های هیدرولوژیکی دقیق، استفاده از روش‌های غیرمستقیم از جمله تهیه رسوب‌نمود با استفاده از مدل‌های مناسب استفاده شده است. در این راستا، برای اولین بار Williams (۱۹۷۸) برای تهیه رسوب‌نمود، مدلی بر اساس مفهوم رسوب‌نمود واحد لحظه‌ای^۲ با استفاده از آمار ۵۰ رگبار روی پنج حوزه آبخیز در Texas Blackand در آمریکا ارائه داد. رسوب‌نمود کل برای یک رگبار از حاصل ضرب ابعاد IUSG و مقدار رسوب مؤثر تهیه شد. Kumar و Rastogi (۱۹۸۷) استفاده از روندیابی رسوب در امتداد یک سری مخازن خطی به‌عنوان یک روش غیرمستقیم در تهیه مدل IUSG در هندوستان را موفق ارزیابی کرد. Banasik و Walling (۱۹۹۶) با مطالعه ارتباط بین زمان تأخیر آبنمود و رسوب‌نمود مستقیم، امکان تعیین IUSG با استفاده از نسبت بین زمان‌های تأخیر دو نمودار در جنوب غربی انگلیس را مورد تأیید قرار دادند. تهیه رسوب‌نمود بر اساس روش زمان-مساحت و با استفاده از شبکه‌های مربعی و سامانه اطلاعات جغرافیایی^۳ توسط Jain و Kothyari (۱۹۹۷) و همکاران (۲۰۰۲) در سه حوزه آبخیز در هند با موفقیت صورت گرفت.

Lee و Singh (۱۹۹۹، ۲۰۰۵) برای تهیه رسوب‌نمود از رسوب‌نمود واحد لحظه‌ای و دو مدل Tank و Kalman در آمریکا استفاده کردند. Sadeghi و Singh (۲۰۰۵) در حوزه آبخیز امامه در ایران نیز با استفاده از داده‌های زودیافت هیدرولوژی اقدام به تهیه مدل رسوب‌نمود بر اساس مفهوم USG و تبدیل آن به رسوب‌نمود واحد ۰/۲۵ و ۰/۵ ساعته و استخراج رسوب‌نمود مستقیم از حاصل ضرب ابعاد آن در رسوب معلق ناشی از رگبار نمودند. Banasik و Mitchel

^۱ Unit Sediment Graph (USG)

^۲ Instantaneous Unit Sediment Graph (IUSG)

^۳ Geographic Information System, (GIS)

^۴ Geomorphologic Instantaneous Unit Sedimentgraph (GIUS)

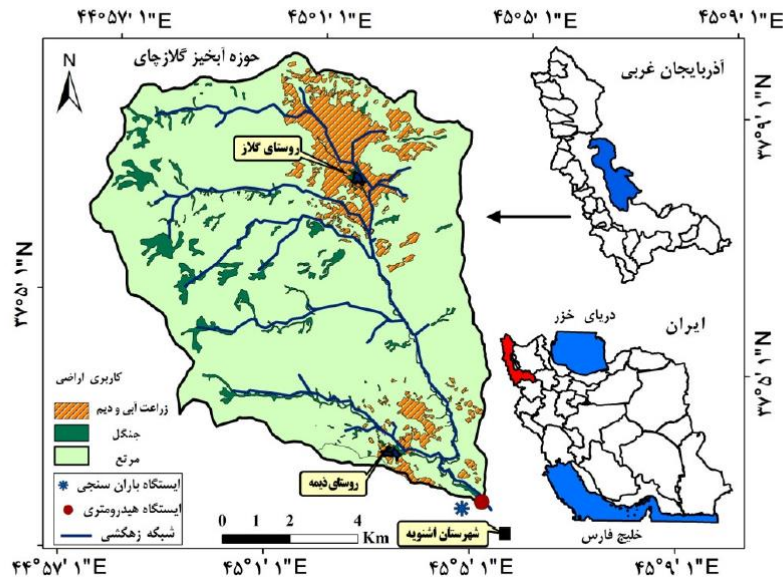
مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: حوزه آبخیز گلازچای اشنویه از زیرحوضه‌های رودخانه گدار در استان آذربایجان غربی با مساحت ۱۰۳ کیلومتر مربع و در محدوده جغرافیایی ۵۷° ۴۴' تا ۰۵° ۴۵' طول شرقی و ۰۲° ۳۷' تا ۰۹° ۳۷' عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). کمینه و بیشینه ارتفاع آبخیز مورد مطالعه به ترتیب ۱۴۸۰ و ۳۳۰۰ متر از سطح دریا و شیب متوسط ۳۲ درصد می‌باشد. بر اساس آمار ایستگاه هواشناسی اشنویه، میانگین درجه حرارت و بارندگی سالانه حوزه آبخیز گلاز به ترتیب برابر ۱۱/۸ درجه سانتی‌گراد و ۴۸۲ میلی‌متر برآورد شده است. اقلیم منطقه بر اساس روش آمبرژه نیمه‌خشک سرد و میانگین بیشینه و کمینه درجه حرارت به ترتیب ۳۲ و ۵/۳- درجه سانتی‌گراد در ماه‌های مرداد و بهمن می‌باشد (Ab Banan-Azardasht Engineering Consulting Inc., ۲۰۱۰).

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 از نوع مرتعی و به‌ویژه مراتع بیلاقی است و در مناطق پرشیب توده‌هایی از درختان جنگل‌های زاگرس شامل زالزالک، بادام وحشی، گل‌ابی وحشی و سیاه‌تلو نیز وجود دارد. 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 (Mostafazadeh و همکاران، ۲۰۱۵). حوزه آبخیز مذکور به سبب تجهیز به ایستگاه‌های باران‌نگاری و هیدرومتری (اشل)، دسترسی ساده و داده‌برداری مطمئن، پاسخ سریع هیدرولوژیک و همچنین، وجود سابقه پژوهشی و داده‌های لازم (Mostafazadeh و همکاران، ۲۰۱۵) برای انجام پژوهش حاضر انتخاب شد.

رسوب‌نمود داشت. Saeidi و Sadeghi (۲۰۰۹) در تحقیقی در حوزه آبخیز جنگلی آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس از مفهوم رگرسیون به‌عنوان یک روش غیرمستقیم در تهیه رسوب‌نمود رگبارها استفاده کردند. نتایج تحقیق بر عدم کارایی مفهوم رگرسیون به‌عنوان یک روش تهیه رسوب‌نمود در مقیاس رگبار تأکید داشت. امکان‌سنجی تهیه رسوب‌نمود با استفاده از مدل زمان-مساحت توسط Raeisi و همکاران (۲۰۱۰) در حوزه آبخیز کجور و Sadeghi و همکاران (۲۰۱۲) در حوزه آبخیز سد قشلاق مورد بررسی قرار گرفت. نتایج هر دو تحقیق دلالت بر عدم کارایی مدل مذکور در تهیه رسوب‌نمود داشت. Sadeghi و Noor (۲۰۱۱) نیز مدل‌سازی رسوب‌نمود واحد لحظه‌ای با استفاده از آب‌نمود واحد لحظه‌ای، توزیع غلظت رسوب و رسوب مازاد در حوزه آبخیز کجور را مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق ایشان نیز نشان داد که روش مذکور قادر به شبیه‌سازی هیچ‌یک از مؤلفه‌های رسوب‌نمودهای مشاهده‌ای نبود.

با توجه به سوابق مطالعاتی موجود، مدل‌های جامع و مفهومی محدودی برای پیش‌بینی رسوب‌نمود ناشی از وقوع رگبار مورد استفاده قرار گرفته است و این‌گونه به‌نظر می‌رسد که اطلاعات مربوط به رسوب‌نمودها بسیار محدود و بیشتر به‌صورت کیفی است و محدودیت‌های بسیاری در تهیه آن‌ها وجود دارد. لذا دستیابی به روش مناسب و مبتنی بر داده‌های زودیافت در زمینه تهیه رسوب‌نمود مصنوعی خصوصاً در کشورهای در حال توسعه، به‌دلیل محدودیت در تهیه داده‌های دقیق و مورد اعتماد رسوب معلق به‌ویژه در مقیاس رگبار ضروری و یقیناً راه‌گشای اجرای موفقیت‌آمیز و سریع بسیاری از برنامه‌ریزی‌های مدیریتی در سطح حوزه‌های آبخیز و انجام مطالعات گسترده در این زمینه خواهد بود. از این‌رو تحقیق حاضر با هدف بررسی امکان شبیه‌سازی مؤلفه‌های مختلف رسوب‌نمود با استفاده از مؤلفه‌های متناظر آب‌نمود کل و مستقیم (جداسازی شرایط پایه) در حوزه آبخیز گلازچای اشنویه در استان آذربایجان غربی به‌دلیل امکان دسترسی به آمار و اطلاعات و همچنین، پاسخ سریع هیدرولوژیکی انجام شد.



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز گلزار در کشور و استان آذربایجان غربی (اقتباس از Mostafazadeh و همکاران، ۲۰۱۵)

روش پزهوش: به منظور شبیه‌سازی رسوب‌نمود مصنوعی با استفاده از آب‌نمود و با توجه به عدم وجود داده‌های رسوب معلق دقیق و ضرورت دستیابی به اطلاعات قابل اعتماد در این زمینه مبادرت به تهیه داده‌های دبی و رسوب معلق رگبارهای برداشت شده طی پاییز ۱۳۹۰ تا پاییز ۱۳۹۱ در مطالعه پیشین (Mostafazadeh و همکاران، ۲۰۱۵) و تهیه بانک اطلاعاتی داده‌ها در نرم‌افزار Excel 2013 شد. در ادامه و به منظور توسعه بانک اطلاعاتی داده‌ها، نمونه‌برداری در مقیاس رگبار ادامه یافت. به نحوی که برداشت نمونه‌ها در مقیاس رگبار بعد از شروع بارش و اطمینان از شروع سیلاب تا پایان رگبار، قطع رواناب و بازگشت ارتفاع جریان به ارتفاع اولیه، با فواصل زمانی یک ساعت طی دوره زمانی زمستان ۱۳۹۲ تا بهار ۱۳۹۳ نیز انجام پذیرفت. نمونه‌برداری رسوب معلق به وسیله ظروف پلاستیکی دو لیتری به دلیل افزایش دقت نمونه‌برداری و اطمینان از برداشت تمامی ستون آب و به روش انتگراسیون عمقی (Sadeghi و همکاران، ۲۰۰۹، Mahdavi، ۲۰۰۲، Saeidi و Sadeghi، ۲۰۱۰) و مشابه با پژوهش Mostafazadeh و همکاران (۲۰۱۵) صورت گرفت.

داده‌های دبی و رسوب معلق برای پنج رگبار برداشت شده طی دوره تحقیق نیز به بانک اطلاعاتی داده‌ها اضافه و آب‌نمود و رسوب‌نمود کل برای رگبارهای نمونه‌برداری شده تهیه و ترسیم شد. از

روش پزهوش: به منظور شبیه‌سازی رسوب‌نمود مصنوعی با استفاده از آب‌نمود و با توجه به عدم وجود داده‌های رسوب معلق دقیق و ضرورت دستیابی به اطلاعات قابل اعتماد در این زمینه مبادرت به تهیه داده‌های دبی و رسوب معلق رگبارهای برداشت شده طی پاییز ۱۳۹۰ تا پاییز ۱۳۹۱ در مطالعه پیشین (Mostafazadeh و همکاران، ۲۰۱۵) و تهیه بانک اطلاعاتی داده‌ها در نرم‌افزار Excel 2013 شد. در ادامه و به منظور توسعه بانک اطلاعاتی داده‌ها، نمونه‌برداری در مقیاس رگبار ادامه یافت. به نحوی که برداشت نمونه‌ها در مقیاس رگبار بعد از شروع بارش و اطمینان از شروع سیلاب تا پایان رگبار، قطع رواناب و بازگشت ارتفاع جریان به ارتفاع اولیه، با فواصل زمانی یک ساعت طی دوره زمانی زمستان ۱۳۹۲ تا بهار ۱۳۹۳ نیز انجام پذیرفت. نمونه‌برداری رسوب معلق به وسیله ظروف پلاستیکی دو لیتری به دلیل افزایش دقت نمونه‌برداری و اطمینان از برداشت تمامی ستون آب و به روش انتگراسیون عمقی (Sadeghi و همکاران، ۲۰۰۹، Mahdavi، ۲۰۰۲، Saeidi و Sadeghi، ۲۰۱۰) و مشابه با پژوهش Mostafazadeh و همکاران (۲۰۱۵) صورت گرفت.

هم‌زمان با نمونه‌برداری رسوب معلق، قرائت اشل به منظور ثبت ارتفاع سطح جریان در همان فواصل زمانی نیز انجام شد. با استفاده از رابطه دبی-اشل تهیه

¹ Decantation

۲۰۱۰)، ارتباط هر یک از مؤلفه‌های رسوب‌نمود مصنوعی به‌عنوان متغیر وابسته با مؤلفه‌های آب‌نمود به‌عنوان متغیر مستقل از طریق انواع روابط رگرسیونی شامل خطی، لگاریتمی، توانی، نمایی، معکوس، S شکل، منحنی رشد و ترکیبی (Moatamednia و همکاران، ۲۰۱۰) در نرم‌افزار SPSS 21 بررسی شد.

در مرحله بعد ضمن تحلیل نهایی نتایج به‌دست آمده، روابط بهینه به همراه استدلال‌های منطقی برای منطقه مورد مطالعه ارائه شد. روابط بهینه برای شبیه‌سازی هر یک از مؤلفه‌های رسوب‌نمود با لحاظ شاخص‌های مورد استفاده در انتخاب روابط برتر از جمله ضریب تبیین^۱، خطای نسبی^۲، ضریب کارایی^۳ و شاخص منطقی^۴ و با در نظر گرفتن اولویت‌بندی شاخص‌ها بر اساس اهمیت و نیز ترجیح روابط دارای متغیرهای کمتر و زودیافت (Sadeghi و Saeidi، ۲۰۱۰) انتخاب شدند. همچنین، تأیید نهایی عملکرد مدل‌های تهیه و انتخاب شده در مرحله اعتبارسنجی نیز با استفاده از ضریب کارایی مورد بررسی قرار گرفت. ضریب کارایی به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی کارایی مدل در مقایسه با مقادیر میانگین می‌باشد که مقادیر مثبت آن نشان‌دهنده برتری تخمین‌های حاصل از مدل بر میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و طبیعتاً مقادیر نزدیک‌تر به یک نشانگر کارایی بیشتر مدل خواهد بود (Sadeghi و Saeidi، ۲۰۱۰). نهایتاً شبیه‌سازی مؤلفه‌های رسوب‌نمود با مقادیر ضریب کارایی منفی در مرحله اعتبارسنجی، با استفاده از مقادیر میانگین مؤلفه‌های مورد بررسی انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

تحقیق حاضر با هدف امکان‌سنجی شبیه‌سازی رسوب‌نمود مصنوعی با استفاده از آب‌نمود در حوزه آبخیز گلازچای اشنویه انجام شد. بدین‌منظور بعد از تهیه بانک اطلاعاتی داده‌های مربوط به ۱۸ رگبار مورد مطالعه، ارتباط بین متغیرهای مستقل (مؤلفه‌های آب‌نمود) و وابسته (مؤلفه‌های رسوب‌نمود) با استفاده

طرفی دبی جریان و رسوب پایه می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای تحلیل نقش شرایط هیدرولوژیکی پیشین حوزه آبخیز در پاسخ سامانه در زمان وقوع بارش مورد استفاده قرار گیرد. از این‌رو به‌منظور مقایسه رفتار و پاسخ مستقیم حوزه آبخیز ناشی از رگبار به‌وقوع پیوسته و نیز لحاظ نقش وضعیت هیدرولوژیکی پیشین سامانه در رفتار حوزه آبخیز در زمان وقوع بارش، آب‌نمود و رسوب‌نمود مستقیم ناشی از رگبار نیز تهیه شد. به‌منظور تهیه آب‌نمود و رسوب‌نمود مستقیم، بعد از تهیه آب‌نمود و رسوب‌نمود هر یک از رگبارهای به‌وقوع پیوسته، تفکیک جریان آب و رسوب پایه با استفاده از خط مستقیم (Singh، ۱۹۹۲، Moatamednia و همکاران، ۲۰۱۰) صورت گرفت.

به‌منظور تهیه رسوب‌نمود مصنوعی با استفاده از آب‌نمود در حوزه آبخیز گلازچای اشنویه، کلیه مشخصه‌های مربوط به هر یک از منحنی‌های آب‌نمود و رسوب‌نمود برای هر رگبار شامل اجزای آب‌نمود و اجزای رسوب‌نمود از قبیل حجم کل جریان، مقدار کل رسوب، زمان تا اوج، زمان پایه، مقادیر اوج دبی و رسوب معلق، شیب شاخه بالارونده، شیب شاخه خشکیدگی، عرض‌های ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد از نقطه اوج و منطبق با پژوهش‌های انجام شده پیشین در رابطه با مطالعات آب‌نمود (Moatamednia و همکاران، ۲۰۱۰) استخراج و بانک اطلاعاتی داده‌ها تکمیل شد. از مجموع ۱۸ رگبار مورد مطالعه، ۱۴ رگبار برای استفاده در مرحله واسنجی و چهار رگبار به‌صورت تصادفی به‌منظور اعتبارسنجی انتخاب شد.

به منظور شبیه‌سازی هر یک از مؤلفه‌های رسوب‌نمود با استفاده از مؤلفه متناظر آن در آب‌نمود، بعد از بررسی پیش شرط‌های لازم برای استفاده از روابط رگرسیونی شامل نرمال بودن داده‌های مستقل و وابسته با استفاده از آزمون Shapiro-Wilk، آزمون همگنی واریانس خطاها با استفاده از رسم نمودار مقادیر خطای استاندارد شده در مقابل مقادیر پیش‌بینی استاندارد شده، آزمون عدم خود همبستگی بین خطاها با استفاده از آماره Durbin-Watson و همچنین، تحلیل نقاط پرت با استفاده از آماره Case Wise Diagnostics (Moatamednia و همکاران،

¹ Coefficient of Determination (R^2)

² Relative Error (RE)

³ Coefficient of Efficiency (CE)

⁴ Akaike's Information Criterion (AIC)

نرمال بودن مقادیر کلیه مؤلفه‌های آب‌نمود و رسوب‌نمود استخراج شده و ضرورت نرمال‌سازی عرض ۵۰ درصد اوج در آب‌نمود مستقیم از طریق لگاریتم‌گیری داشت.

دقت در نتایج حاصل از شبیه‌سازی مؤلفه‌های رسوب‌نمود مصنوعی کل در حوزه آبخیز گلازچای (جدول ۱) نشان داد که کلیه روابط بهینه در شبیه‌سازی مؤلفه‌های رسوب‌نمود کل، غیرخطی و به‌صورت توانی و نمایی بود.

از نرم‌افزارهای Excel و SPSS 21 بررسی شد. از مجموع مدل‌های رگرسیونی حاصل برای هر مؤلفه با توجه به معیارهای ارزیابی مختلف مدل نهایی و بهینه برای هر یک از مؤلفه‌های رسوب‌نمود انتخاب و نتایج حاصل از شبیه‌سازی هر یک از مؤلفه‌های رسوب‌نمود کل و مستقیم با استفاده از مؤلفه‌های متناظر آب‌نمود در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. همچنین، نتایج ارزیابی نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون Shapiro-Wilk به سبب تعداد محدود داده‌ها دلالت بر

جدول ۱- نتایج حاصل از شبیه‌سازی مؤلفه‌های رسوب‌نمود کل با استفاده از مؤلفه‌های متناظر آب‌نمود کل در حوزه آبخیز گلازچای اشنویه در استان آذربایجان غربی

مؤلفه وابسته	شماره رابطه	روش شبیه‌سازی	ضریب تبیین	معنی‌داری	درصد خطا تخمین	ضریب کارایی تخمین	شاخص منطقی
TSG _{t_p}	۱	مدل	۰/۵۲	۰/۰۰۱	۴۸/۸۶	۴۵/۶۵	۳۱/۰۷
	مقدار	-	-	-	۷۸/۴۳	۳۵/۱۵	-
	میانگین	-	-	-	-	-	-
TSG _{s_r}	۲	مدل	۰/۳۴	۰/۰۴	۹۲/۶۱	۸۴/۸۷	۴۵/۷۲
	مقدار	-	-	-	۳۰۲/۱۷	۵۹/۰۳	-
	میانگین	-	-	-	-	-	-
TSG _{s_f}	۳	مدل	۰/۳۱	۰/۰۳	۱۴۷/۳۰	۱۰۹/۴۸	۴۵/۸۸
	مقدار	-	-	-	۳۶۱/۳۶	۳۷/۵۰	-
	میانگین	-	-	-	-	-	-
TSG _p	۴	مدل	۰/۴۲	۰/۰۰۵	۹۶/۳۶	۱۱۲/۲۵	۴۹/۶۱
	مقدار	-	-	-	۲۸۷/۵۵	۱۷۱/۶۴	-
	میانگین	-	-	-	-	-	-
TSG _{w25}	۵	مدل	۰/۳۶	۰/۰۰۱	۶۵/۱۶	۵۷/۲۰	۳۱/۲۰
	مقدار	-	-	-	۹۹/۹۲	۴۳/۸۳	-
	میانگین	-	-	-	-	-	-
TSG _{w50}	مدل	-	-	-	عدم وجود رابطه معنی‌دار	-	-
	مقدار	-	-	-	۷۱/۷۹	۵۹/۲۷	-
	میانگین	-	-	-	-	-	-
TSG _{w75}	مقدار	-	-	-	عدم وجود رابطه معنی‌دار	-	-
	مقدار	-	-	-	۱۰۴/۸۶	۴۸/۶۱	-
	میانگین	-	-	-	-	-	-
TS	۶	مدل	۰/۵۰	۰/۰۰۵	۲۱۳/۱۸	۲۳۲/۹۰	۵۰/۴۷

که در آن‌ها، TSG_{t_p} زمان تا اوج رسوب‌نمود کل (ساعت)، TH_{t_p} زمان تا اوج آب‌نمود کل (ساعت)، TSG_{s_r} شیب شاخه بالارونده رسوب‌نمود، TH_{s_r} شیب شاخه بالارونده آب‌نمود، TSG_{s_f} شیب شاخه پایین‌رونده رسوب‌نمود کل، TH_{s_f} شیب شاخه پایین‌رونده آب‌نمود کل، TSG_p مقدار اوج رسوب‌نمود کل (گرم در لیتر)، TH_p مقدار اوج آب‌نمود کل (متر مکعب بر ثانیه)، TSG_{w25} عرض ۲۵ درصد رسوب‌نمود کل (ساعت)، TH_{w25} عرض ۲۵ درصد آب‌نمود کل (ساعت)، TSG_{w50} عرض ۵۰ درصد رسوب‌نمود کل (ساعت)، TSG_{w75} عرض ۷۵ درصد رسوب‌نمود کل (ساعت)، TS مقدار رسوب کل (کیلوگرم)، TH حجم رواناب کل (متر مکعب) می‌باشند.

بر ماهیت غیرخطی ارتباط دو مقوله دبی و رسوب و تغییرات زمانی آن‌ها به‌ویژه در مقیاس رگبار داشته و با یافته‌های Sadeghi و همکاران (۲۰۰۸) در حوزه آبخیز Mie در ژاپن و Sadeghi و Saeidi (۲۰۱۰) در حوزه آبخیز کجور مطابقت دارد.

از طرفی دقت در نتایج حاصل از جدول ۲ نیز نشان‌داد که علی‌رغم تبیین ارتباط برخی از متغیرها با استفاده از یک مدل بهینه خطی، برتری مدل‌های نمایی و توانی مشهود بود. این امر علاوه بر تأکید بر نقش جریان پایه به‌عنوان یک عامل تأثیرگذار در تغییرات رفتاری رسوب معلق طی واقعه رگبار، دلالت

جدول ۲- نتایج حاصل از شبه‌سازی مؤلفه‌های رسوب‌نمود مستقیم با استفاده از مؤلفه‌های متناظر آب‌نمود مستقیم در حوزه آبخیز گلازچای اشنویه در استان آذربایجان غربی

مؤلفه شماره وابسته رابطه	روش شبه‌سازی	ضریب تبیین	سطح معنی‌داری	درصد خطا تخمین	ضریب کارایی شاخص
۷ DSG _{t_b}	مدل $DSG_{t_b} = 0.976(DH_{t_b}) - 0.885$	۰/۹۴	۰/۰۰	۲۳/۰۳	۰/۵۱
۸ DSG _{t_p}	مدل $DSG_{t_p} = 1.269(DH_{t_p})^{0.433}$	۰/۱۸	۰/۰۸	۵۵/۸۸	۰/۳۹
میانگین	-	-	-	۳۷/۱۸	-
۹ DSG _{s_r}	مدل $DSG_{s_r} = 0.039e^{0.992(DH_{s_r})}$	۰/۲۷	۰/۰۶	۱۲۳/۱۴	۰/۵۲
میانگین	-	-	-	۲۳/۳۳	-
۱۰ DSG _{s_f}	مدل $DSG_{s_f} = 0.048(DH_{s_f})^{0.761}$	۰/۳۱	۰/۰۳	۱۱۲/۲۰	۰/۵۳
میانگین	-	-	-	۵۰/۰۰	-
۱۱ DSG _p	مدل $DSG_p = 0.059(DH_p)^{1.442}$	۰/۴۷	۰/۰۰۱	۱۱۷/۰۵	۰/۸۲
میانگین	-	-	-	۸۷/۸۷	-
۱۲ DSG _{w₂₅}	مدل $DSG_{w_{25}} = 6.016Ln(DH_{w_{25}}) - 6.12$	۰/۴۲	۰/۰۱	۷۴/۱۴	۰/۴۲
۱۳ DSG _{w₅₀}	مدل $DSG_{w_{50}} = 1.256e^{1.35(\log DH_{w_{50}})}$	۰/۵۰	۰/۰۷	۵۴/۴۱	۰/۲۳
میانگین	-	-	-	۴۳/۳۸	-
۱۴ DS	مدل $DS = 0.00000182(DH)^{2.041}$	۰/۸۴	۰/۰۰۱	۷۲۷/۴۳	۰/۳۶
میانگین	-	-	-	۸۳۴/۳۸	-

در روابط ارائه شده در جدول فوق، DSG_{t_b} زمان پایه رسوب‌نمود مستقیم (ساعت)، DH_{t_b} زمان پایه آب‌نمود مستقیم (ساعت)، DSG_{t_p} زمان تا اوج رسوب‌نمود مستقیم (ساعت)، DH_{t_p} زمان تا اوج آب‌نمود مستقیم (ساعت)، DSG_{s_r} شیب شاخه بالارونده رسوب‌نمود مستقیم، DH_{s_r} شیب شاخه بالارونده آب‌نمود مستقیم، DSG_{s_f} شیب شاخه پایین‌رونده رسوب‌نمود مستقیم، DH_{s_f} شیب شاخه پایین‌رونده آب‌نمود مستقیم (گرم در لیتر)، DSG_p مقدار اوج آب‌نمود مستقیم (متر مکعب بر ثانیه)، $DSG_{w_{25}}$ عرض ۲۵ درصد رسوب‌نمود مستقیم (ساعت)، $DH_{w_{25}}$ عرض ۲۵ درصد آب‌نمود مستقیم (ساعت)، $DSG_{w_{50}}$ عرض ۵۰ درصد رسوب‌نمود مستقیم (ساعت)، $DH_{w_{50}}$ عرض ۵۰ درصد آب‌نمود مستقیم (ساعت)، DS مقدار رسوب مستقیم (کیلوگرم)، DH حجم رواناب مستقیم (متر مکعب) می‌باشند.

بوده، بنابراین در جدول ۱ مدلی برای شبه‌سازی مؤلفه زمان پایه ارائه نشد. همچنین، نتایج حاصل از بررسی آب‌نمود و رسوب‌نمود مستقیم تفکیک شده با استفاده از روش مستقیم نشان داد که در هفت مورد

بررسی مقایسه‌ای مقادیر مؤلفه‌های متناظر آب‌نمود و رسوب‌نمود رگبار در حوزه آبخیز گلازچای همچنین نشان داد که در تمامی رگبارهای مورد مطالعه آب‌نمود و رسوب‌نمود کل دارای زمان پایه برابر

و مسئولیت یک یا چند واقعه منفرد در افزایش چشمگیر تغییرات بار رسوبی و در نتیجه عملکرد ضعیف مدل در برآورد مقدار رسوب با استفاده از مقدار رواناب مطابقت دارد. در حوزه آبخیز گلازچای نیز رگبار مورخ ۲۳-۱۳۹۱/۸/۲۴ یک واقعه در اواسط بازه زمانی رگبارهای متوالی ۱۳۹۱/۸/۲۱ تا ۱۳۹۱/۸/۲۵ بوده و منجر به ایجاد یک آب‌نمود و رسوب‌نمود کشیده و دارای مقادیر نسبتاً بالاتر هر یک از مؤلفه‌های رسوب‌نمود و آب‌نمود در مقایسه با رگبارهای روزهای قبل و بعد بوده که با یافته‌های Sayer و همکاران (۲۰۰۶) در مالزی، Sadeghi و همکاران (۲۰۰۸) در حوزه آبخیز Mie ژاپن، Nadal-Romero و همکاران (۲۰۰۸) در اسپانیا و Saeidi و Sadeghi (۲۰۱۰) در حوزه آبخیز کجور مبنی بر نقش تأثیرپذیری خصوصیات رسوب‌نمود از تغییرات رگبار و نقش کنترل‌کنندگی وقایع رگبار متوالی بر تغییرات رسوب‌نمود و آب‌نمود مطابقت دارد.

واقعه رگبار ۱۳۹۳/۱/۱۰ نیز اولین واقعه بارش در فصل بهار و با فاصله زمانی ۱۳ روزه از واقعه بارش قبل بوده که در مقایسه با سایر رگبارهای مورد مطالعه دارای مقادیر بیشینه دبی اوج، حجم رواناب و مقدار رسوب انتقالی طی یک واقعه بود که با توجه به بیلاقی و کوهستانی بودن حوزه آبخیز گلاز و تأخیر در رشد بهاره اراضی زراعی دیم، پوشش مناسب برای حفاظت خاک در برابر بارش‌های بهاره را تأمین ننموده که این امر موجودیت رسوب در فصول مذکور را تأیید می‌نماید و با یافته‌ها Walling و Webb (۱۹۸۲) و Saeidi و Sadeghi (۲۰۱۰) در بیان موجودیت رسوب و نیز Lana-Renault و همکاران (۲۰۰۸) و De Girolamo و همکاران (۲۰۱۵) در خصوص تفاوت در پاسخ‌های فصلی حوزه‌های آبخیز هم‌سو می‌باشد. بر اساس

نتایج حاصل از جدول ۱، شبیه‌سازی مقدار رسوب کل با استفاده از مدل رگرسیونی بهینه صورت گرفت. این در حالی است که شبیه‌سازی مقدار رسوب مستقیم با استفاده از مدل (جدول ۲)، علی‌رغم ضریب کارایی تأیید منفی دارای مقادیر خطای تخمین و تأیید کمتری در مقایسه با جایگزینی مقدار میانگین به‌جای مؤلفه مذکور داشت.

از رگبارها آب‌نمود و رسوب‌نمود مستقیم به‌صورت هم‌زمان شروع شده و در نتیجه دارای زمان پایه برابر بودند. این در حالی است که در سایر رگبارها تغییرات رسوب‌نمود مستقیم با تأخیر زمانی کمینه، میانگین و بیشینه برابر ۰/۵، 0.38 ± 0.55 و ۱/۵ ساعت بعد از شروع تغییرات آب‌نمود مستقیم شروع شد. در نتیجه بر اساس نتایج حاصل از جدول ۲ شبیه‌سازی زمان پایه رسوب‌نمود مستقیم با استفاده از یک مدل رگرسیونی خطی با ضریب تبیین ۰/۹۴ ($p < 0.001$) و ضریب کارایی ۰/۹۳ صورت گرفت. بررسی مقادیر ضریب کارایی تخمین و تأیید مدل بهینه انتخاب شده به‌ترتیب برابر ۰/۹۳ و ۰/۵۱ نیز دلالت بر عملکرد موفق مدل در شبیه‌سازی مؤلفه مذکور داشت.

از طرفی مدل ارائه شده برای شبیه‌سازی زمان تا اوج رسوب‌نمود کل به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های زمانی دارای کمترین مقدار خطای نسبی تخمین و تأیید و بالاترین ضریب تبیین در مقایسه با سایر مدل‌های ارائه شده برای مؤلفه‌های دیگر بود. در حالی که مقدار ضریب کارایی تأیید برابر ۲/۶۱- نشان‌دهنده کارایی نامناسب مدل مذکور در مرحله اعتبارسنجی داشت. از آنجایی که بر اساس نتایج Asselman (۲۰۰۰) مقادیر منفی ضریب کارایی نشان‌دهنده برتری مقادیر میانگین متغیر مورد بررسی در مقایسه با کاربرد مدل می‌باشد، بنابراین شبیه‌سازی مؤلفه زمان تا اوج رسوب‌نمود کل با لحاظ مقدار میانگین آن منوط به پذیرش خطای تخمین و تأیید به‌ترتیب برابر ۷۸/۴۳ و ۳۵/۱۵ و میانگین $116/16 \pm 87/34$ درصد می‌باشد.

بررسی دقیق داده‌های مورد استفاده در مدل‌سازی مؤلفه‌های رسوب‌نمود کل و مستقیم در حوزه آبخیز گلازچای نشان داد که دلیل وجود خطای بالا در برآورد مؤلفه‌های مقداری عمدتاً مربوط به پیچیدگی شرایط حاکم بر زیست‌بوم در زمان وقوع رگبارهای مورد مطالعه بود. به‌نحوی که دو واقعه رگبار مورخ ۲۳-۱۳۹۳/۱/۱۰ و ۱۳۹۱/۸/۲۴ به‌دلیل شرایط خاص این دو رگبار، در بسیاری از موارد دارای مقادیر بالا برای هر یک از مؤلفه‌ها در آب‌نمود و رسوب‌نمود و در نتیجه نقش تأثیرگذار در نتایج حاصل از مدل‌سازی بود که با یافته‌های Mingguo و همکاران (۲۰۰۸) در ۱۲ حوزه آبخیز کوچک در شمال چین مبنی بر نقش

این امر بر نقش جریان دبی و رسوب پایه و وضعیت هیدرولوژیکی پیشین حوزه آبخیز در بروز رفتار غیرخطی و پیچیده مؤلفه مورد بررسی رسوب‌نمود نسبت به مؤلفه متناظر آب‌نمود تأکید داشت. مقایسه مدل‌های بهینه مؤلفه مقدار اوج در رسوب‌نمود کل و مستقیم نیز علی‌رغم افزایش حدود ۲۱ درصدی خطای تخمین، با کاهش حدود ۵۵ درصدی خطای تأیید، افزایش ضریب کارایی و بدون تغییر در نوع مدل دلالت بر شبیه‌سازی بهتر مقدار اوج رسوب در رسوب‌نمود مستقیم در مقایسه با رسوب‌نمود کل داشت.

از آنجایی‌که شیب شاخه خشکیدگی آب‌نمود و رسوب‌نمود به‌عنوان شاخصی برای تعیین نحوه مشارکت و یا عدم مشارکت جریان پایه در میزان الگوی تخلیه رسوب در بخش انتهایی رگبار محسوب می‌شود، بررسی نتایج حاصل از شبیه‌سازی این مؤلفه در رسوب‌نمود کل و مستقیم (جدول‌های ۱ و ۲) دلالت بر شبیه‌سازی بسیار بهتر مؤلفه مذکور برای رسوب‌نمود مستقیم با افزایش ضریب کارایی از ۰/۱۱ به ۰/۵۳ و کاهش مقادیر خطای تخمین و تأیید بدون تغییر نوع مدل داشت. این امر نشان‌دهنده نقش مؤثر تفکیک جریان پایه در بهبود روند مدل‌سازی مؤلفه شیب شاخه خشکیدگی بود. مشابه چنین وضعیتی برای مؤلفه مقدار ۲۵ درصد اوج البته با تغییر نوع مدل از نمایی به توانی نیز ملاحظه شد.

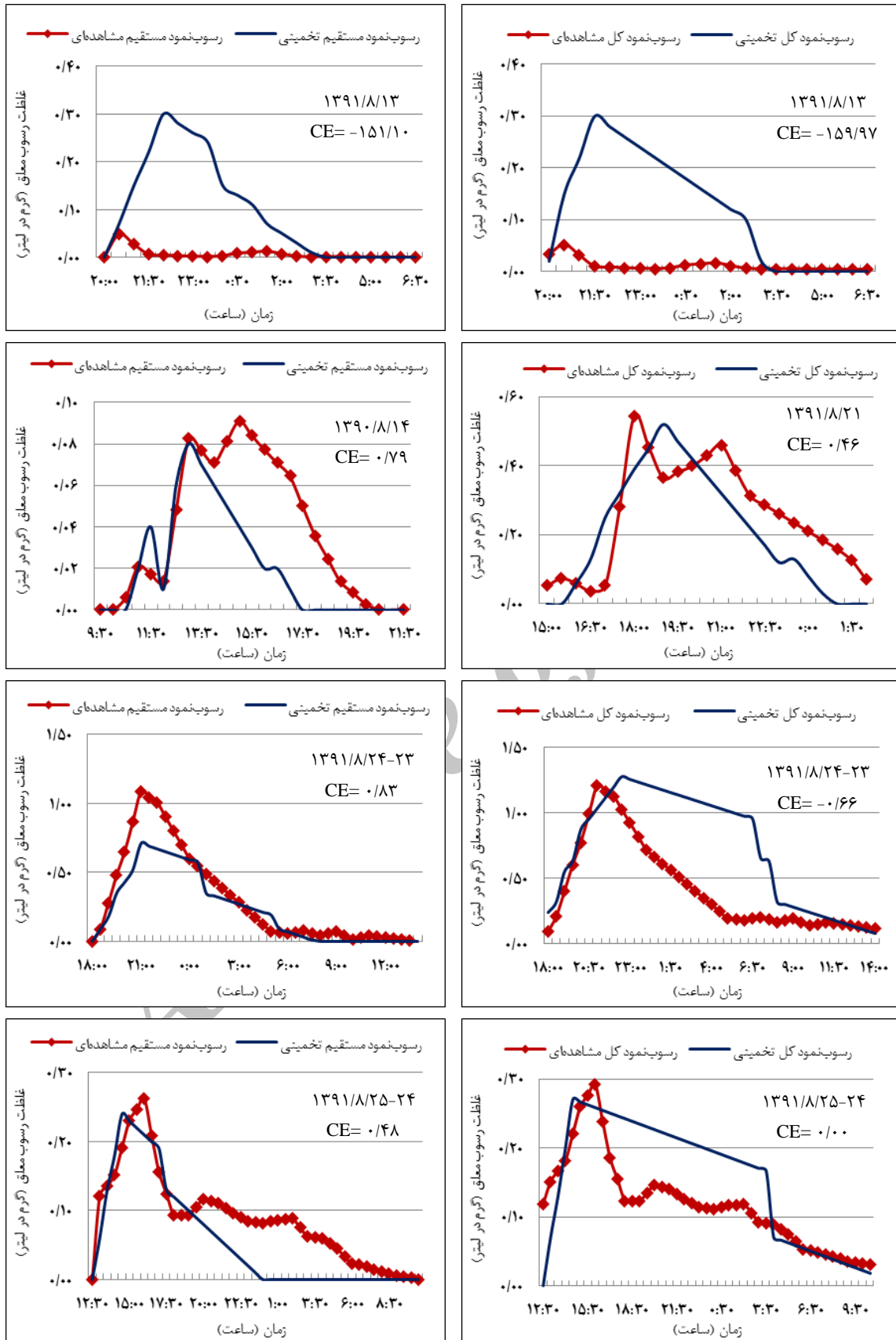
بر اساس نتایج ارائه شده برای مؤلفه عرض ۵۰ درصد اوج در رسوب‌نمود کل نیز هیچ‌گونه مدل منطقی و معنی‌داری ارائه نشد و بر لزوم استفاده از مقدار میانگین این مؤلفه تأکید داشت. در حالی‌که در رسوب‌نمود مستقیم امکان شبیه‌سازی این مؤلفه با استفاده از مؤلفه متناظر آب‌نمود مستقیم و شرط نرمال‌سازی داده‌ها از طریق لگاریتم‌گیری، اگر چه با ضریب کارایی تخمین و تأیید مثبت و نه‌چندان بالا ولی با خطاهای نسبی تخمین و تأیید به‌ترتیب برابر ۵۷/۴۱ و ۴۵/۶۹ درصد فراهم شد.

در نهایت با توجه به امکان مدل‌سازی و تهیه مدل‌های بهینه، رسوب‌نمودهای ساده طراحی و تهیه و به‌عنوان نمونه چند رسوب‌نمود کل و مستقیم در شکل ۲ ارائه شده است.

بر اساس نتایج حاصل از جدول ۱، شبیه‌سازی عرض ۲۵ درصد اوج با استفاده از مدل بهینه توانی نیز در مقایسه با سایر مؤلفه‌ها با خطای نسبی کمتری صورت گرفت. از طرفی علی‌رغم بررسی شکل‌های مختلف روابط رگرسیونی برای دو متغیر عرض‌های ۵۰ و ۷۵ درصد اوج برای رسوب‌نمود کل، هیچ‌گونه رابطه منطقی و معنی‌داری حاصل نشد که بر لزوم استفاده از معادلات پیاپی برای دست‌یابی به مدل‌های مناسب (Sadeghi, ۲۰۰۰) و یا استفاده از مقدار میانگین این مؤلفه با پذیرش مقادیر خطای تخمین و تأیید مربوط تأکید دارد.

در مقایسه با مؤلفه‌های زمانی، مدل‌های مناسب برای شبیه‌سازی مؤلفه‌های دیگر شامل شیب شاخه بالارونده و مقدار رسوب معلق انتقالی طی واقعه رگبار، علی‌رغم برخورداری از ضریب کارایی بالاتر دارای مقادیر خطای نسبی تخمین و تأیید بیشتری بود. همچنین، ضریب کارایی تخمین پایین و تأیید منفی مدل پیشنهادی برای شبیه‌سازی شیب شاخه خشکیدگی در مقایسه با سایر مؤلفه‌ها احتمالاً به‌دلیل چند اوجه بودن تعدادی از رسوب‌نمود مورد مطالعه، مشارکت منابع رسوبی متفاوت در زمان‌های مختلف و در نتیجه الگوی نامنظم روند کاهشی مقدار رسوب معلق طی شاخه خشکیدگی و نحوه تأثیر و نقش کنترل‌کنندگی جریان پایه در تخلیه رسوب خروجی در رسوب‌نمود کل بوده است.

مقایسه کلی نتایج حاصل از مدل‌سازی مؤلفه‌های رسوب‌نمود کل و مستقیم (جدول‌های ۱ و ۲) نشان داد که تفکیک دبی و رسوب پایه و تهیه آب‌نمود و رسوب‌نمود مستقیم، علی‌رغم افزایش مقادیر خطای تخمین منجر به کاهش خطای نسبی تأیید در تمامی متغیرها به‌جز مقدار کل رسوب معلق انتقالی شد. بررسی نتایج حاصل از شبیه‌سازی مؤلفه زمان تا اوج رسوب‌نمود مستقیم در مقایسه با رسوب‌نمود کل نشان داد که تفکیک جریان دبی و رسوب پایه علی‌رغم افزایش خطای نسبی تخمین، منجر به کاهش خطای تأیید، افزایش ضریب کارایی تخمین مدل بهینه و مقدار مثبت ضریب کارایی تأیید (عرض ۲۵ و ۵۰ رسوب‌نمود مستقیم) و حتی تغییر شکل مدل از نمایی به خطی شد.



شکل ۲- نمونه‌ای از رسوب‌نمودهای کل (راست) و مستقیم (چپ) شبیه‌سازی شده بر اساس مدل‌های بهینه در حوزه آبخیز گلازچای

نتیجه‌گیری

از نتایج تحقیق حاضر با هدف امکان‌سنجی شبیه‌سازی مؤلفه‌های رسوب‌نمود مصنوعی با استفاده از مؤلفه‌های متناظر آب‌نمود در حوزه آبخیز گلازچای اشنویه می‌توان این‌گونه جمع‌بندی نمود که به‌طور کلی امکان شبیه‌سازی مؤلفه‌های رسوب‌نمود با استفاده از مؤلفه‌های آب‌نمود با توجه به دستیابی به مدل‌های قابل کاربرد در تبیین مؤلفه‌های مختلف رسوب‌نمود کل و مستقیم مورد تأیید می‌باشد. از طرفی نتایج حاصل از تحقیق دلالت بر شبیه‌سازی دقیق‌تر مؤلفه‌های زمانی در مقایسه با سایر مؤلفه‌ها در هر دو رسوب‌نمود کل و مستقیم و وجود روابط غیرخطی و ماهیت پیچیده روابط دبی و رسوب معلق داشت. این امر تأییدی بر تأثیرپذیری رسوب‌نمود از عوامل تأثیرگذار در رفتار آب‌نمود بوده است.

اگرچه بررسی امکان شبیه‌سازی مؤلفه‌های رسوب‌نمود با استفاده از مؤلفه‌های مختلف بارش، مقاطع زمانی و شرایط اقلیمی مختلف و نیز ارزیابی نقش شیوه‌های مختلف تفکیک جریان دبی و رسوب پایه در شبیه‌سازی مؤلفه‌های مختلف رسوب‌نمود در راستای تحقیق انجام شده پیشنهاد می‌شود. اگر چه دستیابی به جمع‌بندی‌های نهایی منوط به انجام مطالعات مشابه با دوره طولانی‌تر تحقیق و نیز توسعه آن به سایر حوزه‌های آبخیز و با ویژگی‌های متنوع می‌باشد و لذا پیش‌بینی آن‌ها طی تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود.

بررسی نتایج حاصل از شبیه‌سازی رسوب‌نمودها با استفاده از مدل‌های بهینه و لحاظ ضریب کارایی به‌طور کلی دلالت بر عملکرد بهتر شبیه‌سازی رسوب‌نمودهای مستقیم در مقایسه با رسوب‌نمودهای کل داشت. به‌نحوی که در برخی از موارد رسوب‌نمود مستقیم با ضریب کارایی مثبت و بالاتر در مقایسه با ضریب کارایی منفی رسوب‌نمود کل شبیه‌سازی شد.

بررسی نتایج حاصل از شبیه‌سازی رسوب‌نمودهای کل و مستقیم ۱۸ رگبار مورد مطالعه در حوزه آبخیز گلازچای با استفاده از مدل‌های بهینه ارائه شده برای هر یک از مؤلفه‌های رسوب‌نمود به‌طور کلی دلالت بر شبیه‌سازی بهتر رسوب‌نمود مستقیم در مقایسه با رسوب‌نمود کل بود. بررسی ضرایب کارایی رسوب‌نمودهای شبیه‌سازی شده نیز نشان داد که در رگبار ۱۳/۰۸/۱۳۹۱ در حالت کل و مستقیم با ضرایب کارایی به‌ترتیب ۱۵۹/۹۷- و ۱۵۱/۱۰- نامناسب‌ترین وضعیت شبیه‌سازی را داشت. رسوب‌نمود کل حاصل از رگبار ۲۱/۰۸/۱۳۹۱ با ضریب کارایی ۰/۴۶ در مقایسه با سایر رسوب‌نمودهای کل دارای بهترین شبیه‌سازی بود. مقدار ضریب کارایی ۰/۴۸ در شبیه‌سازی رسوب‌نمود مستقیم رگبار ۲۴-۲۵/۰۸/۱۳۹۱ تأکیدی بر شبیه‌سازی بهتر رسوب‌نمود مستقیم در مقایسه با رسوب‌نمود کل با ضریب کارایی صفر داشت. این امر با تغییر ضریب کارایی ۰/۶۶- در رسوب‌نمود کل به ضریب ۰/۸۳ در رسوب‌نمود مستقیم در رگبار ۲۳-۲۴/۰۸/۱۳۹۱ نیز مورد تأیید قرار گرفت.

منابع مورد استفاده

1. Ab Banan-Azardasht Engineering Consulting Inc. 2010. Final report on study and design of drainage network for surface runoff and urban floods in the Oshnavieh City. 122 pages (in Persian).
2. Asselman, N.E.M. 2000. Fitting and interpretation of sediment rating curves. *Journal of Hydrology*, 234: 228-248.
3. Banasik, K. and L. Hejduk. 2014. Ratio of basin lag times for runoff and sediment yield, IAHS-ICCE 2014 Symposium: "Sediment Dynamics: From the Summit to the Sea", New Orleans, Louisiana, USA, 11-14 December 2014 IAHS Publ. 367, 2014.
4. Banasik, K. and J.K. Mitchell. 2008. Conceptual model of sediment graph from flood events in small agricultural watersheds. *Ann Warsaw University of Life Science-SGGW Land Reclamation*, 39: 49-57.
5. Banasik, K. and D.E. Walling. 1996. Predicting sediment graph for a small agricultural catchment. *Nordic Hydrology*, 27(4): 275-394.
6. Bhunya, P.K., S.K. Jain, P.K. Singh and S.K. Mishra. 2010. A simple conceptual model of sediment yield. *Water Resources Management Journal*, 24(8): 1697-1716.

7. De Girolamo, A.M., G. Pappagallo and A.L Porto. 2015. Temporal variability of suspended sediment transport and rating curves in a Mediterranean river basin: The Celone (SE Italy). *Catena*, 128: 135-143.
8. Gao, P. and M. Josefson. 2012. Temporal variations of suspended sediment transport in Oneida Creek watershed, Central New York. *Journal of Hydrology*, 426-427: 17-27.
9. Kothiyari, U.C., M. Jain and K. Ranga Raju. 2002. Estimation of temporal variation of sediment yield using GIS. *Hydrological Sciences Journal*, 47(5): 693-706.
10. Kothiyari, U.C. and S.K. Jain. 1997. Sediment yield estimation using GIS. *Hydrological Sciences Journal*, 42(6): 833- 843.
11. Kumar, S. and R.A. Rastogi. 1987. A conceptual catchment model for estimating of suspended Sediment Flow. *Journal of Hydrology*, 95: 155-163.
12. Lana-Renault, N., D. Regu'e's, C. Marti'-Bono, S. Begueri'a, J. Latron, E. Nadal, P. Serrano and J.M. Garcı'a-Ruiz. 2007. Temporal variability in the relationships between precipitation, discharge and suspended sediment concentration in a small Mediterranean mountain catchment. *Nordic Hydrology*, 38(2): 139-150.
13. Lee, K.T. and C. Yang. 2010. Estimation of sediment yield during storms based on soil and watershed geomorphology characteristics. *Journal of Hydrology*, 382: 145-153.
14. Lee, Y.H. and V.P. Singh. 1999. Prediction of sediment yield by coupling Kalman filter with instantaneous unit sediment graph. *Hydrological Process*, 13: 2861-2875.
15. Lee, Y.H. and V.P. Singh. 2005. Tank model for sediment yield. *Water Resources Management Journal*, 19: 349-362.
16. Mahdavi, M. 2002. Applied hydrology. Tehran University Press, 437 pages (in Persian).
17. Mingguo, Z., C. Qiangguo and C. Qinjuan. 2008. Modelling the runoff-sediment yield relationship using a proportional function in hilly areas of the Loess Plateau, North China. *Geomorphology*, 93(3-4): 228-301.
18. Moatamednia, M., S.H.R., Sadeghi, H.R. Moradi and H. Asadi. 2010. Evaluation of different modeling procedures in unit hydrograph-hyetograph relationship. *Journal of Water and Soil Science*, 14(52): 27-36 (in Persian).
19. Mostafazadeh, R., S.H.R. Sadeghi and A. Saddodin. 2015. Analysis of Storm-wise Sedimentgraphs and Rating Loops in Galazchai Watershed, West-Azerbaijan. *Soil and Water Conservation Researches*, accepted (in Persian).
20. Nadal-Romero, E., J. Latron Martı'-Bono and D. Reguı'es. 2008. Temporal distribution of suspended sediment transport in a humid Mediterranean badland area: The Araguas catchment, Central Pyrenees. *Geomorphology*, 97(3-4): 601-616.
21. Noor, H. and S.H.R. Sadeghi. 2011. Instantaneous unit sediment graph modeling. *Iran-Water Resources Research Journal*, 7(4): 62-70 (in Persian).
22. Raeisi, M., S.H.R. Sadeghi and H. Noor. 2010. Accuracy of time- area method in sediment graph development in Kojour watershed. *Rangeland*, 4(2): 320-333 (in Persian).
23. Rendon-Herrero, O. 1978. Unit sediment graph. *Water Resources Research*, 14: 889-901.
24. Rovira, A. and R. Batalla. 2006. Temporal distribution of suspended sediment transport in a Mediterranean basin: The Lower Tordera (NE SPAIN). *Geomorphology*, 79: 58-71.
25. Sadeghi, S.H.R. 2000. Rainfall-runoff relationship for Amameh watershed in Iran. In: *Proceeding of International Water Resources Management for Sustainable Development, India*, 796- 804.
26. Sadeghi, S.H.R., S. Aghabeigi Amin, M. Vafakhah, B. Yasrebi and A. Esmaili Sari. 2006. Suitable drying time for suspended sediment samples, Iran. 71 pages.
27. 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.
28. Sadeghi, S.H.R., T. Mizuyama, J.K. Singh and B. Tofighi. 2009. Applicability of instantaneous unit sediment graph model in an Iranian large watershed. *International Journal of Ecological Economics and Statistics, USA*, 13(W09): 30-45.
29. 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.
30. Sadeghi, S.H.R. and J.K. Singh. 2005. Development of a synthetic sediment graph using hydrological data. *Journal of Agricultural Science and Technology (JAST)*, 7: 69-77.
31. Sadeghi, S.H.R. and B. Tofighi. 2003. Applicability of tim-area model in development of sediment rating curve. *Bulletin of Khazar Agriculture Sciences and Natural Resources*, 1(1): 54-66 (in Persian).

32. Sadeghi, S.H.R., L. Gholami and A. Khaledi Darvishan. 2012. Simulation feasibility of sedimentgraphs, using time-area model. *Watershed Management Research (Pajouhesh and Sazandegi)*, 92: 53-64 (in Persian).
33. Saeidi, P. and S.H.R. Sadeghi. 2009. Capability of regression concept in sedimentgraph simulation. In: *Abstracts Proceedings of the 5th National Conference on Watershed Management (Natural Hazards Sustainable Management) Iran, Gorgan, April 22 and 23, 2009*: 56 (Full paper published in CD, 6 p) (in Persian).
34. Saeidi, P. and S.H.R. Sadeghi. 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).
35. Sayer, A.M., R.P.D. Walsh and K. Bidin. 2006. Pipe flow suspended sediment dynamics and their contribution to stream sediment budgets in small rainforest catchments, Sabah. *Malaysia, Forest Ecology and Management*, 224: 119-130.
36. Singh, P.K., M.K. Jain and S.K. Mishra. 2013. Fitting a simplified two-parameter gamma distribution function for synthetic sediment graph derivation from ungagged catchments. *Arabian Journal of Geosciences*, 6(6): 1835-1841.
37. Singh, P.K., P.K. Bhunya, S.K. Mishra and U.C. Chaube. 2008. A sediment graph model based on SCS-CN method. *Journal of Hydrology*, 349: 244-255.
38. Singh, V.P. 1992. *Elementary hydrology*. Economy Edition, New Delhi, India, 973 pages.
39. Telvari, A., N. Birodian and E. Manoochahri. 2008. Model development of sediment time variability in Garan watershed, Kordestan province. *Pajouhesh and Sazandegi*, 75: 64-70 (in Persian).
40. Walling, D.E., A.L. Collins, H.A. Sickingabula and G.J.L. Leeks. 2001. Integrated assessment of catchment suspended sediment budgets: A Zambian Example. *Land Degradation and Development*, 12: 387-415.
41. Walling, D.E. and B.W. Webb. 1982. Sediment availability and the prediction of storm-period sediment yields. *Recent developments in the explanation and prediction of erosion and sediment yield*, IAHS Publication, 137: 327-337.
42. Williams, J.R. 1978. Sediment graph model based on an instantaneous unit Sediment graph. *Water Resources Research*, 14(4): 659-664.

Archive of SID