



تأثیر سازندهای مختلف زمین‌شناسی حوضه آبریز قره‌شیران اردبیل بر تولید رواناب و رسوب با استفاده از شبیه‌ساز باران

ابراهیم عسگری^۱، ابازر اسمعیلی عوری^{۲*}، رئوف مصطفی‌زاده^۳، غلامرضا احمدزاده^۴

۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه یزد، ایران

۲- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران

۳- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران

۴- استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۱۱

وصول مقاله: ۱۳۹۹/۰۱/۲۵

چکیده

فرسایش عامل اصلی هدررفت منابع آب و خاک و بروز خسارت‌های محیط زیستی است. پژوهش حاضر با هدف بررسی و مقایسه سازندهای زمین‌شناسی از نظر میزان رواناب، غلظت رسوب و آستانه‌ی شروع رواناب در آبخیز قره‌شیران استان اردبیل با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران صورت گرفت. پس از برداشت تعداد ۴۵ نمونه، نتایج آنالیز واریانس یک‌طرفه نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین سازندهای مختلف از نظر میزان رواناب، غلظت رسوب وجود ندارد اما از نظر آستانه‌ی شروع رواناب دارای تفاوت معنی‌داری ($P_{\text{value}} < 0.05$) هستند. با مقایسه مقادیر متوسط آستانه‌ی شروع رواناب با استفاده از آزمون دانکن مشخص شد که بیش‌ترین و کم‌ترین آستانه‌ی شروع رواناب به‌ترتیب با مقادیر $8/22$ و $2/38$ دقیقه مربوط به سازند Q^{t2} (پادگانه‌های آبرفتی جوان) و Q^b (گدازه‌های بازالتی) است. نتایج نشان داد که رابطه‌ی بین متغیرهای رواناب و رسوب در سازندهای مختلف از نوع عکس و کاهشی و رابطه‌ی بین آستانه‌ی شروع رواناب با مقدار رواناب معکوس با ضریب همبستگی $0/318$ - است و رابطه‌ی بین آستانه‌ی شروع رواناب با غلظت رسوب از نوع مستقیم و افزایشی ($r=0.327$) در سطح اطمینان ۵ درصد است. در مجموع می‌توان گفت که در بیش‌تر مناطق، سطح سازندهای قدیمی‌تر با تحول بیش‌تر در طول زمان، توسط رسوبات و سازندهای کواترنری پوشیده شده است. همین عامل باعث شده است تا بیش‌تر سازندها رفتاری مشابه از خود نشان دهند در حالی که تفاوت ترکیب و کانی‌شناسی سازندهای مختلف به اندازه‌ای است که سبب تفاوت در زمان شروع رواناب شده است.

کلمات کلیدی: آستانه‌ی تولید رواناب، دوره کواترنر، باران‌ساز، غلظت رسوب، رسوب‌دهی، آبخیز قره‌شیران

۱- مقدمه

پتانسیل فرسایش یک حوضه‌ی آبریز نتیجه‌ی تأثیر متقابل عامل فرساینده‌ی، فرسایش‌پذیری مواد زمین‌شناسی، شیب و کاربری اراضی است بر این اساس، رواناب یکی از عوامل مهم در بحث فرسایش آبی است (عبدی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۰: ۱؛ رضایی‌بنفشه و عابدی، ۱۳۹۴: ۲). تغییر عوامل محیطی مانند اقلیم، لرزه‌خیزی و پوشش گیاهی در مقیاس حوضه‌های آبخیز کوچک عموماً کم و ثابت است و این در صورتی است که ویژگی‌های سنگ‌شناسی مواد، می‌تواند حتی در حوضه‌های کوچک نیز متغیر باشد (حبیبی و همکاران، ۱۳۹۷: ۱؛ علیزاده و همکاران، ۱۳۹۹: ۲). مواد مادری خاک، تأثیر زیادی بر ویژگی‌های مؤثر بر فرسایش خاک هم‌چون بافت، کانی‌های رسی، ساختمان، ظرفیت تبادل کاتیونی و تخلخل خاک به‌ویژه در خاک‌های مناطق خشک و خاک‌های جوان دارد. خاک‌های متفاوت به‌دلیل اختلاف کانی‌های موجود در ساختار سنگ‌ها و اختلاف مقاومت آن‌ها دارای مشخصات فیزیکوشیمیایی، کانی‌شناسی، رده‌بندی و حساسیت نسبت به فرسایش متفاوتی هستند. هم‌چنین ویژگی‌های ذاتی کانی‌های تشکیل دهنده‌ی سنگ‌ها، از عوامل تعیین‌کننده در فرآیندهای هوازدگی و فرسایش آن‌ها می‌باشد و عوامل ثانویه‌ی محیطی مانند اقلیم، در تعیین نوع ویژگی‌های رسوبات ناشی از هوازدگی و فرسایش موثرند (فیض‌نیا، ۱۳۷۴: ۶؛ بؤل و همکاران، ۲۰۰۳: ۸۵؛ قانع‌فردجهرمی و همکاران، ۱۳۹۱: ۲). میزان فرسایش واحدهای سنگی و حمل رسوبات از طریق عوامل جابجایی به حوضه‌های رسوبی، یکی از پارامترهای تعیین‌کننده‌ی ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی و یا جابجایی مجدد توده‌های رسوبی است (برآون و همکاران^۲، ۲۰۰۹: ۲). انواع سازندهای زمین‌شناسی بر اساس تفاوت بافت، ترکیب و مقاومت، حساسیت در برابر فرسایش و توانایی تولید رسوب متفاوتی دارند. یکی از عوامل مؤثر در رسوب‌زایی حوضه‌های آبریز، جنس سازندهای موجود در منطقه است، به گونه‌ای که سازندهای حساس به فرسایش در مقایسه با سازندهای سخت و مقاوم پتانسیل رسوبدهی بیش‌تری دارند (جهانبخشی و همکاران،

1- Boul et al.,

2- Brown et al.,

۱۳۹۷: ۲؛ حبیبی و پیروان، ۱۳۹۸: ۲). در بسیاری از طرح‌های آبخیزداری برای اندازه‌گیری شدت فرسایش نیاز است تا مقاومت سنگ‌های مختلف حوضه‌ی آبریز در مقابل فرسایش مشخص شود. مواد تشکیل‌دهنده‌ی سطح زمین ممکن است از نظر سن، از مواد ماقبل کواترن که عمدتاً متشکل از سنگ‌ها یا سازندهای پیوسته (مارن‌ها و خاکسترهای آتشفشانی) هستند، اما به مقدار کم شامل واحدهای نسبتاً ناپیوسته (مانند: سازندهای قرمز بالایی و پایینی و سازند هزار دره) نیز می‌شوند و یا مواد کواترن باشند، قسمت‌های عمده‌ی توپوگرافی سطح زمین تحت تأثیر مورفودینامیک دوره‌ی کواترن تکوین یافته‌اند و از نظر فرسایش حساس‌تر از نهشته‌های ما قبل دوره‌ی کواترن هستند زیرا بیش‌تر سازندهای قدیمی به حالت تعادل رسیده‌اند (فیض‌نیا و احزن، ۱۳۸۸: ۲؛ عسگری، ۱۳۹۶: ۴). یکی از مشکلات موجود در طرح‌های حفاظت خاک و کنترل فرسایش در بسیاری موارد تولید بخش اعظم رسوب از بخش کوچکی از حوضه که دارای سازندهای حساس‌تری به فرسایش است، صورت می‌گیرد از این رو شناخت ویژگی‌های مؤثر در فرسایش‌پذیری و طبقه‌بندی آن‌ها و بررسی حساسیت سازندها و نهشته‌ها در امر حفاظت خاک و کنترل فرسایش ضروری است (عسگری و همکاران، ۱۳۹۷: ۲؛ مکی و همکاران، ۱۳۹۵: ۲). برآورد بار رسوبی رودخانه‌ها و حوضه‌های آبریز نیازمند درک درست تغییرات مکانی و زمانی رسوب است (حاجی و همکاران، ۱۳۹۸: ۶۲۰). با مشخص کردن الگوهای تغییرات مکانی فرسایش خاک، می‌توان اقدام به پهنه‌بندی درجات شدت‌های مختلف فرسایش کرد، سپس با اعمال تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و راهکارهای مؤثر اقتصادی، باعث جلوگیری و یا کاهش تولید رواناب و رسوب در سازندهای زمین‌شناسی حساس به فرسایش حوضه‌ی آبخیز شد (کاپاس و همکاران^۱، ۲۰۰۳: ۵؛ نوحه‌گر و همکاران، ۱۳۹۶: ۲). برای ارائه برنامه‌های مدیریتی در حفاظت از خاک و کنترل رسوب، اطلاع از ماهیت، اهمیت نسبی و منشأ، منابع اصلی رسوب در حوضه‌های آبریز ضروری است (چن و همکاران^۲، ۲۰۱۶). به‌طور معمول روش‌های مختلفی برای بررسی میزان فرسایش، رسوب و رواناب تولیدی در

1- Coppus et al.,

2- Chen et al.,

سازندهای مختلف وجود دارد ولی متداول ترین روش با کاربرد وسیع استفاده از دستگاه باران ساز است که خصوصیات فیزیکی باران در آن قابل اعمال است. سرعت، کارایی و امکان تکرارپذیری از دیگر مزایای استفاده از باران سازهای مصنوعی است هم چنین در پارامترسازی و واسنجی مدل های با مبنای فیزیکی نیز کاربرد دارد (باقریان کلات و همکاران، ۱۳۹۷: ۲؛ آنترونیکا و توری^۱، ۲۰۱۲: ۱).

تاکنون تلاش های بسیاری در این زمینه صورت گرفته است که در ادامه به تعدادی از آن ها اشاره می شود. روئیزسینوگا و همکاران^۲ (۲۰۱۰) در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که در مناطق تپه ای ماهوری اقلیم خشک مدیترانه ای با توجه به تغییرات پوشش سطح زمین و شرایط اقلیمی فرآیندهای هیدرولوژیکی به طور مکانی و زمانی متغیر هستند و هم چنین بین میزان رواناب و پوشش قطعات سنگی همبستگی منفی وجود دارد. آکسوی و همکاران^۳ (۲۰۱۷) در پژوهشی که به بررسی بارش، رواناب و رسوب با استفاده از دستگاه شبیه ساز باران و فلوم فرسایش پرداختند یافته های آن ها نشان داد که شیب عامل مهمی در انتقال رسوب از فلوم می باشد. در پژوهشی که ژائو و همکاران^۴ (۲۰۱۹) با استفاده از دستگاه شبیه ساز باران به منظور تعیین اثر شدت بارش و پوشش گیاهی بر فرسایش انجام دادند و یافته های آن ها نشان داد که پوشش گیاهی هدررفت خاک را در پلات کنترل کرده و بتا حدود ۸۸ تا ۹۹ درصد کاهش می دهد هم چنین شدت بارش با تأثیر بر حجم رواناب در کنترل مقدار هدررفت خاک مؤثر است. نوحه گر و همکاران (۱۳۹۵) با هدف تعیین سهم سازندهای مختلف در فرسایش و رسوب با استفاده از مدل ترکیبی هوگس تحقیقی را در حوضه ی آبریز تنگستانک شیراز انجام دادند. نتایج نشان داد که بیش ترین سهم منابع تولید رسوب به ترتیب مربوط به سازندهای آسماری و کواترنر معادل ۸۴/۵۱ و ۵/۳۷ درصد است و سازندهای پابده گورپی و بختیاری کم ترین اهمیت نسبی را دارند. میزان رسوب

1- Antronico and Torri

2- RuizSinoga et al.,

3- Aksoy

4- Zhao

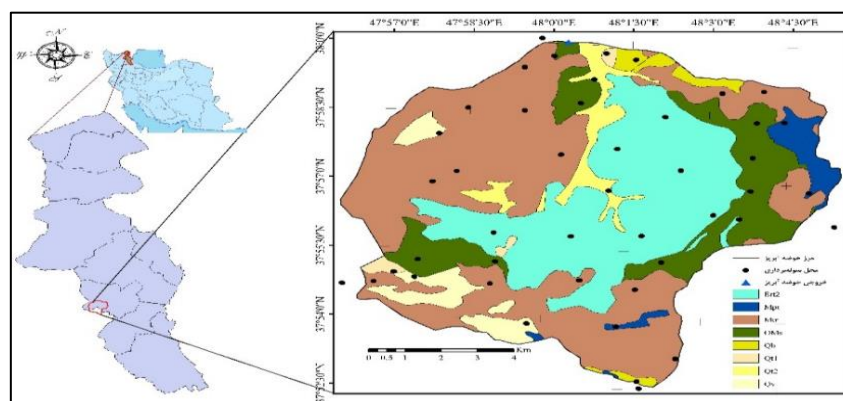
سازندهای زمین‌شناسی حوضه‌ی آبریز حبله‌رود را با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران حبیبی و همکاران (۱۳۹۷) برآورد نمودند که بر اساس نتایج آن‌ها، مدل پسیاک از بین مدل‌های دیگر مورد استفاده مقدار رسوب حاصل از شبیه‌ساز باران را با دقت بالاتری در سازندهای این حوضه‌ی آبریز برآورد نموده است. عسگری و همکاران (۱۳۹۷) با بررسی تغییرات مکانی رواناب و رسوب و آستانه‌ی شروع رواناب در حوضه‌ی آبریز قره‌شیران اردبیل با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران دریافتند که در سازندهای بخش بالادست و پایین‌دست حوضه آبریز به‌ترتیب رواناب در آستانه‌های پایین و بالا تولید می‌شود هم‌چنین مقدار رواناب در سازندهای بالادست حوضه زیاد ولی مقدار رسوب کم است. ارزیابی توان رسوب‌زایی سازندهای حوضه‌ی آبریز خانقاه سرخ ارومیه توسط علیزاده و همکاران (۱۳۹۹) با استفاده از شبیه‌ساز باران انجام شد. بر اساس یافته‌های آن‌ها مشخص شد که بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار رسوب به‌ترتیب مربوط به سازندهای OM^L (آهکی ریفی) به‌دلیل دارا بودن لایه آهک رسی با مقاومت ضعیف و سازند CM (آمیزه تکتونیکی) است.

بررسی میزان رسوب‌زایی سازندها منجر به شناسایی سازندهای حساس به فرسایش، زمینه اولویت‌بندی و ارائه راهکار در کنترل فرسایش و رسوب را فراهم می‌سازد. پیاده‌سازی روش‌های عملی مبارزه با فرسایش نیازمند تفکیک مساحت مورد نظر به واحدهای مدیریتی است (فیض‌نیا و همکاران، ۱۳۸۷: ۲). با توجه به تفاوت رفتار سازندهای زمین‌شناسی از نظر تولید رواناب و رسوب و نیز تغییرات مکانی آن از نظر شدت رسوبدهی، و نیز از طرفی استفاده از نتایج حاصل، در ارزیابی میزان فرسایش درک لازم به‌منظور اجرای برنامه‌های حفاظت آب و خاک شناسایی اهمیت نسبی منابع رسوب و سهم آن‌ها در تولید رسوب ضروری است. در این راستا، هدف تحقیق حاضر ارزیابی میزان تولید رواناب و رسوب و نیز مقایسه‌ی آستانه‌ی شروع رواناب در سازندهای مختلف حوضه‌ی آبریز قره‌شیران اردبیل با استفاده از شبیه‌ساز باران است. هم‌چنین در این تحقیق مقادیر مشخصه‌های مذکور در سازندهای مختلف با هم‌دیگر از نظر آماری مقایسه و ارزیابی خواهند شد.

۲- مواد و روش

۲-۱ منطقه‌ی مورد مطالعه

حوضه‌ی آبریز قره‌شیران در جنوب غرب اردبیل و جنوب شهر نیر واقع است. خروجی این حوضه‌ی آبریز در شمال آن قرار داشته و با شهر نیر در حدود ۳ کیلومتر فاصله دارد. از نظر موقعیت جغرافیایی، حوضه‌ی آبریز در بین طول‌های $37^{\circ} 56' 32''$ تا $47^{\circ} 53' 48''$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $37^{\circ} 52' 34''$ تا $38^{\circ} 00' 00''$ شمالی واقع شده است. مساحت تقریبی این حوضه‌ی آبریز ۱۲۲۳۴ هکتار است. این منطقه در یک ناحیه‌ی کوهستانی- جلگه‌ای واقع شده است و بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است (عسگری، ۱۳۹۶: ۲۴). منطقه دارای تابستان خنک و زمستانی سرد و طولانی است. دمای متوسط منطقه‌ی مورد مطالعه ۹ درجه سانتی‌گراد و بارش متوسط سالانه بر اساس آمار هواشناسی ایستگاه نیر ۳۵۱ میلی‌متر است. در شکل (۱)، موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه و سازندهای زمین‌شناسی حوضه‌ی آبریز قره‌شیران و راهنمای این نقشه‌ی زمین‌شناسی و ضریب مقاومت سازندها و سنگ‌ها نسبت به فرسایش و تولید رسوب در جدول (۱) ارائه شده است.



شکل (۱) موقعیت حوضه‌ی آبریز قره‌شیران، محل نقاط نمونه‌برداری شده و سازندهای زمین‌شناسی در استان اردبیل

Fig (1) Location of the Gharehshiran watershed and the sampling points and geological formations in Ardabil province

جدول (۱) راهنمای نقشه‌ی زمین‌شناسی حوضه‌ی آبریز قره‌شیران اردبیل و ضریب مقاومت سازندها و سنگ‌ها به فرسایش و تولید رسوب

Tab (1) Legend for the geological map of Gharehshiran watershed, Ardabil and the coefficient of resistance of formations and rocks to erosion and sediment production

سن	علائمات	خصوصیات سنگ شناسی	واحدهای تلفیق شده	ضریب مقاومت به فرسایش (فیض‌نیا، ۱۳۷۴)
کواترنر	هولوسن	Q ^{t2}	پادگانه‌های آبرفتی جوان	۴
	پلیستوسن	Q ^{t1}	پادگانه‌های آبرفتی قدیمی	۴
		Q ^b	گدازه‌های بازالتی	۱۰
		Q ^v	الیوین بازالت، پیروکسن آندزیت	۱۰
پسین	پلیستوسن	M ^{pt}	توف کریستالین، توف شیشه‌ای، لیتیک توف، توف پونسی و خاکستر آتشفشانی سفید رنگ با ترکیب ریوداسیتی، لاهار با قطعات تراکیتی و داسیتی	۲/۵
		M ^{tr}	گدازه داسیتی و تراکیتی با توف کریستالین و شیشه‌ای، تراکیت با بافت پورفیری درشت بلور	۱۱
	الیگوسن	OM ^s	ماسه‌سنگ خاکستری روشن، مارن، کنگلومرا، مارن قرمز ژئپس‌دار و نمک‌دار	۳
	اوسن	E ^{tr2}	ریولیت و توف ریولیتی زرد رنگ با بین لایه‌ای‌های توف آهکی، ماسه سنگ و میکروکنگلومرا	۱۲

۲-۲- روش تحقیق

با توجه به تنوع زیاد سازندهای زمین‌شناسی در منطقه‌ی مورد مطالعه، از طریق تلفیق سازندهای با ضریب مقاومت در برابر فرسایش یکسان می‌توان آن‌ها را در طبقات کم‌تر کلاسه‌بندی نمود این کار با روش فیض‌نیا (۱۳۷۴) صورت گرفت که با انجام این تلفیق،

تعداد سازندهای این حوضه کاهش یافته و در ۸ گروه قرار گرفتند. در جدول (۲) خصوصیات سازندهای زمین‌شناسی حوضه‌ی آبریز قره‌شیران ارائه شده است.

جدول (۲) خصوصیات سازندهای زمین‌شناسی حوضه‌ی آبریز قره‌شیران (سازمان زمین‌شناسی کشور ۱۹۹۵)
Tab (2) Characteristics of geological formations of Gharehshiran watershed (Geological Survey of Iran, 1995)

ردیف	علامت سازند	خصوصیات سازند
۱	Q ^v	الیوین بازالت، پیروکسن آندزیت
۲	Q ^{t2}	پادگانه‌های آبرفتی جوان و پهنه‌های آبرفتی
۳	Q ^{t1}	پادگانه‌های قدیمی و مرتفع
۴	Q ^b	گدازه بازالتی
۵	M ^{tr}	تراکیت
۶	OM ^s	مارن‌های قرمز ژئوپس‌دار و نمک‌دار همراه با تناوب‌هایی از مارن‌های ماسه‌ای و ماسه سنگ با رنگ روشن (سازند سرخ زیرین)
۷	O ^d	سیل با ترکیب داسیتی (سازند سرخ زیرین)
۸	O ¹	ماسه سنگ به رنگ خاکستری روشن، مارن و کنگلومرا
۹	Ng ^{ms}	تناوب مارن‌های خاکستری و قرمز ژئوپس‌دار با ماسه سنگ‌های خاکستری و درون لایه‌ای‌های میکروکنگلومرای
۱۰	Ng ^{2 br}	گدازه‌های برشی، برش‌های ولکانیکی عمدتاً با قطعات تراکی بازالت و آندزیت
۱۱	M ^r	گدازه‌های ریولیتی و داسیتی به رنگ صورتی
۱۲	M ^{pt}	توف کریستالین، توف شیشه‌ای، لیتیک توف، توف پونسی و خاکستر آتشفشانی سفید رنگ با ترکیب ریوداسیتی
۱۳	M ^{lh}	لاهار با قطعات تراکیتی و داسیتی
۱۴	M ^{dt}	گدازه داسیتی و تراکیتی با بخش‌های توف کریستالین و توف شیشه‌ای
۱۵	E ^{rt2}	ریولیت و توف ریولیتی زرد رنگ با بین لایه‌ای‌های توف آهکی، ماسه سنگ و میکروکنگلومرا
۱۶	M ^{pe}	پرلیت
۱۷	M ^{pr}	تراکیت با بافت پورفیری درشت بلور
۱۸	Ng ^{a2}	آندزی بازالت، تراکی بازالت، پیروکسن آندزیت بازالت تراکیت
۱۹	Ng rd	گنبد‌های آتشفشانی با ترکیب ریولیتی تا ریوداسیتی و گاهی تراکی آندزیت

در پژوهش حاضر با توجه به این موضوع که نقاط نمونه‌برداری در سراسر حوضه‌ی آبریز باید از پراکنش مناسبی برخوردار باشند، به‌منظور بررسی گسترش سازندهای زمین‌شناسی حوضه آبریز قره‌شیران با توجه به نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی (تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی کشور)، پس از تهیه نقشه زمین‌شناسی این حوضه آبریز در محیط نرم‌افزار ArcGIS و تعیین و مشخص نمودن مرز سازندهای مختلف زمین‌شناسی، محل‌های نمونه‌برداری با توجه به اهمیت توزیع نقاط نمونه‌برداری در سراسر حوضه‌ی آبریز، مکان نمونه‌ها با در نظر گرفتن مسیر دسترسی به نقاط و نیز نمونه‌برداری از سازندهای مختلف تعیین، سپس با توجه به اهداف پژوهش حاضر، برای انجام آزمایش صحرایی، با استفاده از منحنی‌های شدت-مدت، فراوانی در دوره‌ی بازگشت‌های مختلف و در زمان‌های مختلف ساعتی شدت بارش مورد نظر تعیین و شبیه‌سازی بارش با استفاده از یک دستگاه شبیه‌ساز باران به ابعاد (۱۰۰×۱۰۰) سانتی‌متر و ارتفاع یک متر و نازل متشکل از تعدادی قطره‌چکان‌های قابل تنظیم رزوه‌ای برای تمام نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه اجرا و تعداد ۴۵ نمونه از محل‌های مورد نظر با ثابت در نظر گرفتن عواملی مانند اقلیم، خاک، شیب و پوشش گیاهی برداشت شد. نمونه‌برداری‌ها در فصل خرداد و در شرایطی صورت گرفته است که قبل از نمونه‌برداری بارش باران اتفاق نیفتاده باشد تا شرایط رطوبتی در نمونه‌برداری‌ها یکسان در نظر گرفته شود. در شکل (۲) تصاویری از اجرای عملیات صحرایی (برداشت نمونه‌های رواناب و رسوب) پژوهش حاضر ارائه شده است.



شکل (۲) تصاویری از نحوه‌ی برداشت نمونه‌های رواناب و رسوب در عرصه با استفاده از شبیه‌ساز باران

Fig (2) Images of field runoff and sediment sampling using rain simulator

از نظر تئوری استفاده از دستگاه‌های باران‌ساز نه تنها موجب صرفه‌جویی در وقت و هزینه می‌شود بلکه می‌توان میزان رواناب و رسوب را به همراه تمامی فرآیندهای دخیل در فرسایش و تولید رسوب پایش نمود. اما باید توجه داشت که استفاده از باران‌سازها خود با محدودیت‌هایی نیز همراه است به‌طوری که دستگاه‌های باران‌ساز هرگز نمی‌توانند شرایط طبیعی را به‌طور کامل ایجاد کنند. اما به رغم چالش‌های موجود، استفاده از باران‌سازها به دلیل مزایای فوق برای پژوهش در زمینه جنبه‌های فرسایش و تولید رسوب در سطح جهان رایج است (دایکر و همکاران^۱، ۲۰۰۱؛ ۶؛ حسینی و همکاران، ۱۳۸۸؛ ۴؛ سانگوسا و همکاران^۲، ۲۰۱۰؛ ۳). نمونه‌های رواناب و غلظت رسوب جمع‌آوری و در ظروف جداگانه شماره‌گذاری و به آزمایشگاه منتقل شدند و پس از اندازه‌گیری مقدار کل نمونه‌ها و پس از ته‌نشینی رسوبات، آب روی رسوبات تخلیه شد و رسوبات باقی‌مانده در دستگاه آون به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد نگهداری و پس از خشک شدن توزین شده و غلظت رسوب برای هر آزمایش با توجه به واحد مورد نظر تعیین شد. همچنین در هر نمونه پس از استقرار دستگاه باران‌ساز آستانه‌ی شروع رواناب با استفاده از زمان‌سنج ثبت شد. برای بررسی نرمالیت داده‌ها از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف در سطح معنی‌داری ۹۵ درصد استفاده شد و با توجه به این که داده‌های آستانه‌ی شروع رواناب و میزان رواناب در این سطح معنی‌داری از توزیع نرمال برخوردار بودند ولی در داده‌های مربوط به غلظت رسوب با توزیع غیرنرمال با استفاده از روش تبدیل لگاریتمی نرمال‌سازی شده و سپس همگنی داده‌ها با استفاده از نمودار جعبه‌ای^۳ بررسی و داده‌های پرت در هر یک از پارامترهای مورد بررسی حذف و برای اطمینان از نرمال بودن داده‌ها مجدداً آزمون نرمالیت بر روی داده‌ها انجام گرفت سپس برای مقایسه‌ی سازندهای زمین‌شناسی از نظر میزان رواناب، آستانه‌ی شروع رواناب و غلظت رسوب، از آنالیز واریانس یک‌طرفه در نرم‌افزار SPSS استفاده شد و در ادامه در صورت وجود اثر معنی‌دار، میانگین‌ها با آزمون دانکن

1- Duiker et al.,

2- Sanguesa et al.,

3- Box Plot

مورد مقایسه قرار گرفتند. در ادامه، همبستگی بین متغیرهای مورد مطالعه در سازندهای مختلف زمین‌شناسی با استفاده از تحلیل همبستگی پیرسون در نرم‌افزار SPSS مورد ارزیابی قرار گرفت.

۳- بحث و نتایج

برخی از خصوصیات آماری محاسبه شده برای پارامترهای مورد مطالعه در سازندهای مختلف زمین‌شناسی در جدول (۳) ارائه شده است.

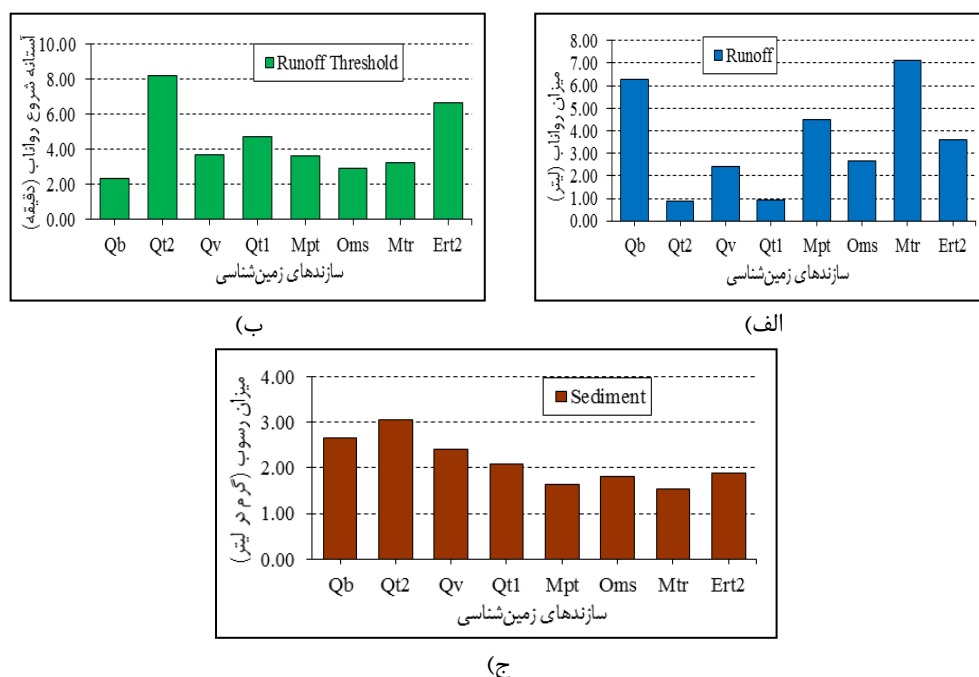
جدول (۳) برخی از مشخصات آماری متغیرهای مورد مطالعه در سازندهای مختلف زمین‌شناسی در

حوضه‌ی آبریز قره‌شیران اردبیل

Tab (3) Some statistical characteristics of studied variables in different geological formations in Gharehshiran watershed in Ardabil

متغیر	مشخصه آماری	Q^b	Q^{t2}	Q^v	Q^{t1}	M^{pt}	OM^s	M^{tr}	E^{rt2}
آستانه‌ی شروع رواناب (دقیقه)	میانگین	۲/۳۸	۸/۲۲	۳/۷۲	۴/۷۵	۳/۶۳	۲/۹۵	۳/۲۶	۶/۶۹
	حداکثر	۳/۷۵	۱۱	۶/۶۶	۵/۵	۵/۷۵	۶/۵	۶	۱۲
	حداقل	۱	۶	۱/۵	۴	۱/۵	۰	۱	۲/۵
	انحراف معیار	۱/۳۸	۲/۰۸	۲/۱۷	۰/۷۵	۱/۶۳	۲/۲۲	۱/۴۱	۳/۲۹
میزان رواناب (لیتر)	ضریب تغییرات	۰/۵۸	۰/۲۵	۰/۵۸	۰/۱۶	۰/۴۵	۰/۷۵	۰/۴۳	۰/۴۹
	میانگین	۶/۳۱	۰/۸۷	۲/۴۳	۰/۹۵	۴/۵۲	۲/۶۶	۷/۱۱	۳/۶۲
	حداکثر	۶/۵۸	۱/۲۷	۲/۹۴	۰/۹۶	۷/۲۳	۵/۵۲	۱۵/۰۴	۶/۹۲
	حداقل	۶/۰۳	۰/۱۷	۱/۸۸	۰/۹۴	۱/۲۹	۰	۰/۰۲	۰/۰۸
غلظت رسوب (گرم بر لیتر)	انحراف معیار	۰/۲۸	۰/۵۰	۰/۴۳	۰/۰۱	۲/۳۵	۱/۸۱	۵/۳۳	۲/۱۸
	ضریب تغییرات	۰/۰۴	۰/۵۷	۰/۱۸	۰/۰۱	۰/۵۲	۰/۶۸	۰/۷۵	۰/۶۰
	میانگین	۲/۶۶	۳/۰۶	۲/۴۰	۲/۱۰	۱/۶۴	۱/۸۲	۱/۵۳	۱/۸۹
	حداکثر	۲/۷۸	۴/۲۶	۳/۷۶	۲/۶۸	۱/۸۴	۳/۷۲	۲/۴۷	۲/۹
میزان رسوب (گرم بر لیتر)	حداقل	۲/۵۵	۲/۱۲	۱/۲۸	۱/۵۱	۱/۲۷	۰	۰/۲۸	۱/۰۷
	انحراف معیار	۰/۱۲	۰/۸۹	۱/۰۳	۰/۵۹	۰/۲۲	۱/۲۱	۰/۷۱	۰/۶۱
	ضریب تغییرات	۰/۰۴	۰/۲۹	۰/۴۳	۰/۲۸	۰/۱۳	۰/۶۶	۰/۴۷	۰/۳۲
	میانگین	۲/۶۶	۳/۰۶	۲/۴۰	۲/۱۰	۱/۶۴	۱/۸۲	۱/۵۳	۱/۸۹

نمودار میانگین میزان رواناب، غلظت رسوب و آستانه‌ی شروع رواناب در سازندهای مختلف زمین‌شناسی در حوضه‌ی آبریز قره‌شیران اردبیل در شکل (۳) ارائه شده است.



شکل (۳) مقایسه (الف) میزان رواناب، (ب) آستانه‌ی شروع رواناب و (ج) غلظت رسوب در سازندهای زمین‌شناسی در حوضه‌ی آبریز قره‌شیران

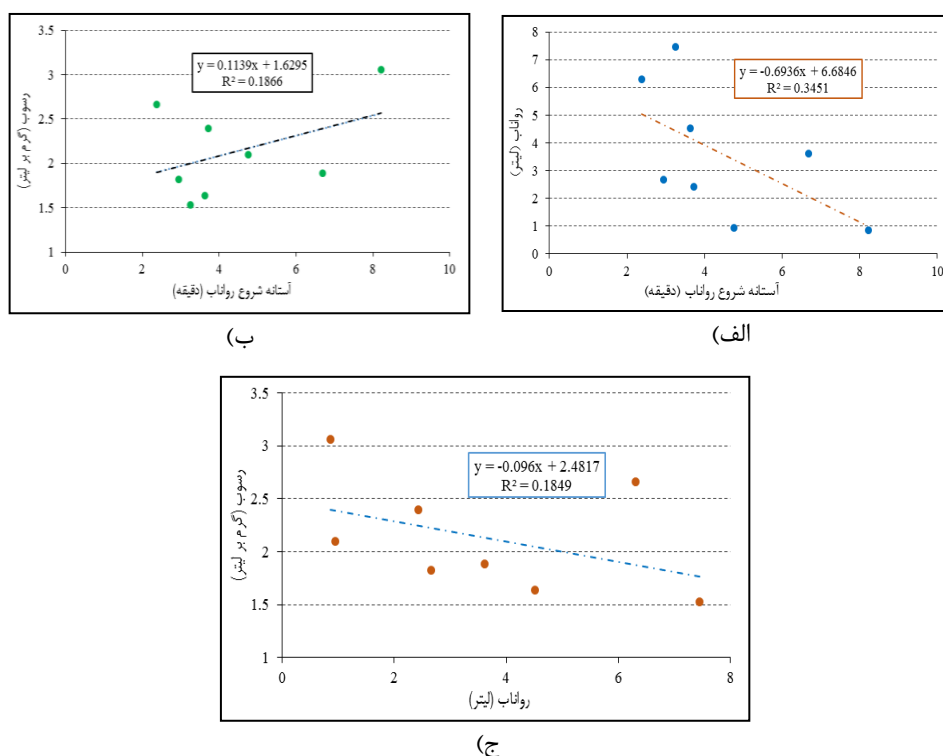
Fig (3) Comparison of (a) runoff amount, (b) runoff initiation threshold and (c) sediment concentration in geological formations of Gharehshiran watershed

متوسط میزان رواناب در بین سازندهای مختلف، در سازند M^{tr} بیش‌ترین مقدار (۷/۱۱ لیتر) و در سازند Q^{t2} کم‌ترین مقدار (۰/۸۷ لیتر) است. سازند Q^{t2} دارای بیش‌ترین متوسط (۸/۲۲) و سازند Q^b دارای کم‌ترین آستانه‌ی شروع رواناب (۲/۳۸) دقیقه است و در بین سازندهای مختلف از نظر متوسط غلظت رسوب، سازند Q^{t2} بیش‌ترین غلظت رسوب (۳/۰۶) و کم‌ترین مقدار آن نیز متعلق به سازند M^{tr} (۱/۵۳) گرم در لیتر است. در توضیح

این موارد می‌توان عنوان کرد که ضریب مقاومت بالای سازندهای Q^b با ترکیب سنگ‌شناسی گدازه‌های بازالتی و سازند M^{tr} با خصوصیات سنگ‌شناسی گدازه‌های داسیتی و تراکیتی و سازند M^{pt} با خصوصیات ریولیت و توف ریولیتی به دلیل وجود کانی‌های سخت و مقاوم در ترکیبات این سازندها، موجب به جریان افتادن سریع رواناب در این سازندها شده و باعث می‌شود تا میزان رواناب نیز در این سازندها بالا باشد از طرفی به دلیل همین ضریب مقاومت بالا به فرسایش، غلظت رسوب تولید و حمل شده در این سازندها پایین است هم‌چنین به دلیل ماهیت این سازندها که از نظر طبقه‌بندی بر اساس سختی، ضریب سختی بالایی دارند و جز سازندهای سخت و مقاوم محسوب می‌شوند، لذا همین عامل به همراه عواملی مانند درجه سیمان شدگی بالا و تخلخل و نفوذپذیری کم آن‌ها باعث می‌شود تا مقدار بیش‌تری از بارش نازل شده بر روی این سازندها و در زمان کوتاه‌تری بر روی سطح زمین جریان یافته و تبدیل به رواناب می‌شود و رسوب کم‌تری نیز با خود حمل می‌کنند که این مورد با نتایج تحقیقات فیض‌نیا (۱۳۷۴)، عسگری و همکاران (۱۳۹۷) و رستگار و همکاران (۱۳۹۳) نیز هم‌خوانی دارد. با توجه به اینکه پادگانه‌های آبرفتی (سازند Q^{t2}) متشکل از نهشته‌های آبرفتی جوان کواترنری بوده و از نظر سن زمین‌شناسی، جز سازندهای جوان محسوب می‌شود و هم‌چنین از نظر ضریب مقاومت به فرسایش، جز سازندهای با مقاومت کم (با ضریب مقاومت به فرسایش ۴) بوده و بیش‌تر به صورت پادگانه‌های سخت نشده هستند به همین دلیل میزان نفوذ در این سازند نسبت به سایر سازندها بیش‌تر است. همین عامل باعث بیش‌تر شدن آستانه‌ی شروع رواناب و کم بودن میزان رواناب و بالا بودن غلظت رسوب (به دلیل پایین بودن درجه سختی) در این سازند است، که با کم‌ترین مقدار رواناب نیز مقدار قابل توجهی رسوب تولید می‌کنند که این نتایج با یافته‌های تحقیقات فیض‌نیا (۱۳۷۴)، هوگس و همکاران^۱ (۲۰۰۹)، ثابت‌قدم و همکاران (۱۳۸۴)، شهرابی (۱۳۹۰) و فتحی‌زاد و همکاران (۱۳۹۵) نیز هم‌خوانی دارد. برای بررسی رابطه بین مقادیر متوسط رواناب و غلظت رسوب با آستانه‌ی شروع رواناب و

1- Hughes et al.,

متوسط غلظت رسوب با رواناب اقدام به انجام آزمون همبستگی شد که نتایج در شکل (۴) و جدول (۴) ارائه شده است.



شکل (۴) تغییرات (الف) مقادیر متوسط رواناب با آستانه‌ی شروع رواناب، (ب) مقادیر متوسط غلظت رسوب با آستانه‌ی شروع رواناب و (ج) تغییرات متوسط غلظت رسوب با رواناب

Fig (4) Changes of studied variables (a) mean values of runoff production against runoff initiation threshold, (b) mean sediment concentration against runoff initiation threshold and (c) average sediment concentration against the runoff

جدول (۴) جدول ضریب همبستگی پیرسون متغیرهای مورد مطالعه در سازندهای زمین‌شناسی حوضه‌ی آبریز قره‌شیران

Tab (4) Pearson correlation coefficients of studied variables in geological formations of Gharehshiran watershed

غلظت رسوب (گرم برلیتر)	رواناب (لیتر)	آستانه‌ی شروع رواناب (دقیقه)		
۰/۳۲۷*	-۰/۳۱۸*	۱	همبستگی پیرسون	آستانه‌ی شروع
۰/۰۳۳	۰/۰۳۸		معنی‌داری	رواناب (دقیقه)
-۰/۱۳۰	۱	-۰/۳۱۸*	همبستگی پیرسون	رواناب
۰/۴۰۶		۰/۰۳۸	معنی‌داری	(لیتر)
۱	-۰/۱۳۰	۰/۳۲۷*	همبستگی پیرسون	غلظت رسوب
	۰/۴۰۶	۰/۰۳۳	معنی‌داری	(گرم برلیتر)

*معنی‌داری در سطح ۵ درصد

با آغاز بارش بسته به شدت و خصوصیات خاک و توپوگرافی مدتی طول خواهد کشید تا رواناب تشکیل یافته و ایجاد فرسایش نماید با توجه به شکل (۴) (الف)، رابطه‌ی بین آستانه‌ی شروع رواناب با مقدار یا حجم رواناب یک رابطه‌ی خطی با روند کاهشی و با ضریب همبستگی ۰/۳۵ است به‌طوری که با افزایش آستانه‌ی شروع رواناب، مقدار رواناب کم‌تر می‌شود که دلیل آن را می‌توان به فرصت کم‌تر برای تشکیل بیش‌تر رواناب نسبت داد و از طرفی جنس برخی از سازندها این امکان را می‌دهد تا نفوذ بیش‌تری اتفاق بیافتد که این مورد با نتایج تحقیقات عبدی‌نژاد و همکاران (۱۳۸۹) نیز مطابقت دارد. به‌دلیل این که برخی از سازندهای زمین‌شناسی حوضه‌ی آبریز از رسوبات و نهشته‌هایی که به‌طور کامل سخت نشده‌اند (مانند پادگانه‌های آبرفتی جدید و قدیم) هستند به‌همین دلیل غلظت رسوب علی‌رغم این که آستانه‌ی شروع رواناب زیاد است افزایش یافته است (شکل ۴ ب)) و رابطه بین این دو متغیر از نوع خطی و مستقیم است و همین عامل باعث می‌شود تا در همان مدت زمان اندک باقی‌مانده از بارش مقدار قابل توجهی رسوب تولید شود که با نتیجه تحقیق جهان‌بخشی (۱۳۹۳) هم‌خوانی نداشته و از طرفی در برخی از تحقیقات عوامل دیگری نیز مانند اقلیم، پوشش گیاهی و خاک (شریفی و همکاران، ۱۳۸۳، نجفیان و

همکاران، ۱۳۸۹)، شیب (رئیسیان، ۱۳۸۴، آقاباگی‌امین و همکاران، ۲۰۱۴)، نفوذ (عبدی‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۹) و ... را هم در تغییرات آستانه‌ی شروع رواناب مؤثر دانستند که در تحقیق حاضر شیوه نمونه‌برداری به گونه‌ای بوده است که همه نمونه‌ها در شیب‌های یکسان و پلات‌های فاقد پوشش گیاهی اندازه‌گیری شده است. در رابطه با شکل ۴ (ج)، باید بیان کرد که بین میزان یا حجم رواناب و غلظت رسوب رابطه‌ی عکس وجود داشته و با افزایش مقدار رواناب از میزان و غلظت رسوب تولیدی در سازندها کاسته می‌شود که با نتایج تحقیقات فتحی‌زاد و همکاران (۱۳۹۵) که در تحقیق آن‌ها میزان رسوب با افزایش رواناب بیش‌تر شده است هم‌خوانی نداشته اما نتایج تحقیق عسگری (۱۳۹۶) این نتیجه را تایید می‌کنند از طرفی مطابق پژوهش پوئنس و لاوی^۱ (۱۹۹۱)، مور و سینگر^۲ (۱۹۹۰) و چن و همکاران^۳ (۱۹۸۰)، در خاک‌هایی که رواناب زیادی تولید می‌شود ایجاد لایه‌ی رواناب بر روی سطح خاک مانع برخورد مستقیم قطرات باران با سطح خاک و کاهش سرعت جدا شدن ذرات خاک در اثر نیروی قطرات باران و در نتیجه کاهش مواد قابل حمل به‌وسیله رواناب می‌شود و از طرفی برخی از سازندهای حوضه‌ی آبریز قره‌شیران از مقاومت بیش‌تری در برابر قدرت کنش و حمل رسوبات توسط آب برخوردارند. با توجه به نتایج حاصل از جدول (۴)، می‌توان گفت که بین آستانه‌ی شروع رواناب با میزان یا حجم رواناب همبستگی معکوس وجود داشته و این همبستگی در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است ($r=-0.318$) یعنی با افزایش آستانه‌ی شروع رواناب، میزان رواناب کاهش خواهد یافت. همبستگی مستقیم بین آستانه‌ی شروع رواناب با غلظت رسوب نیز در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است ($r=0.327$). همبستگی بین میزان رواناب با غلظت رسوب از نوع معکوس است اما این همبستگی معنی‌دار نیست ($r=-0.130$).

نتایج آنالیز واریانس یک‌طرفه در نرم‌افزار SPSS نشان داد که پارامترهای میزان رواناب و غلظت رسوب در سازندهای مختلف زمین‌شناسی حوضه‌ی آبریز قره‌شیران از لحاظ

1- Poesen and Lavee

2- Moore and Singer

3- Chen et al.,

آماري تفاوت معنی‌داری ندارند ($P_{\text{Value}} > 0/05$) ولی آستانه‌ی شروع رواناب در سازندهای مختلف دارای تفاوت معنی‌داری است ($P_{\text{Value}} < 0/05$) که خلاصه این نتایج در جدول (۵) ارائه شده است.

جدول (۵) نتایج تجزیه واریانس یک‌طرفه متغیرهای مورد مطالعه در سازندهای مختلف زمین‌شناسی در حوضه‌ی آبریز قره‌شیران

Tab (5) The results of one-way ANOVA of the studied variables in different geological formations in Gharehshiran watershed

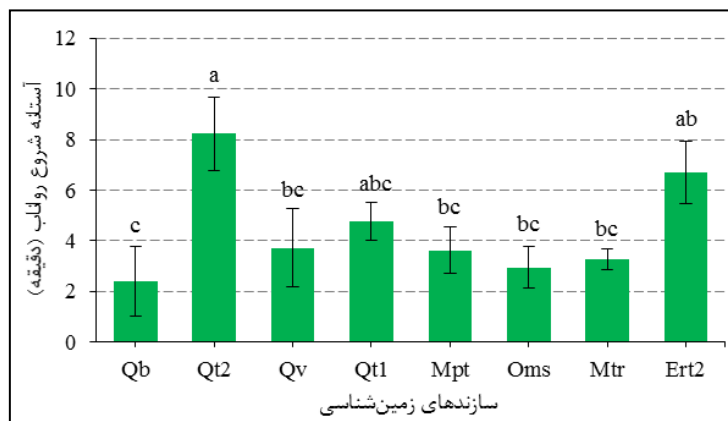
متغیر	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آماره F	P _{Value}
آستانه‌ی شروع رواناب (دقیقه)	۱۳۱/۰۸۰	۷	۱۸/۷۲۶	۳/۳۷۴	۰/۰۰۷
میزان رواناب (لیتر)	۲۱۵/۴۶۹	۷	۳۰/۷۸۱	۲/۱۲۸	۰/۰۶۶
غلظت رسوب (گرم بر لیتر)	۸/۴۱۷	۷	۱/۲۰۲	۱/۵۵۰	۰/۱۸۱

با توجه به این مورد که بیش‌تر سازندهایی که اکنون در سطح زمین واقع شدند از نوع سازندهای دوران کواترنر هستند که جز جوان‌ترین سازندها نیز محسوب می‌شوند و از طرفی خود همین سازندها در بیش‌تر مواقع حاصل فرسایش سازندهای قدیمی‌تر از خود بوده که به مرور زمان و توسط عوامل مختلفی از نقاط دیگر حمل شده و انباشته شده و این سازندهای جوان که متشکل از رسوبات و نهشته‌های آبرفتی جوان هستند را تشکیل داده‌اند و در مواردی که بیرون‌زدگی‌های سنگی در سطح زمین و اکثراً در بالادست آبخیز وجود داشته باشد می‌توان سازندهای قدیمی‌تر را با همان ویژگی و خصوصیات خاص خود مشاهده نمود ولی در سایر موارد بیش‌تر سازندهای حوضه‌ی آبریز را سازندهای دوران کواترنر تشکیل می‌دهند به‌همین جهت نیز اختلاف معنی‌داری بین سازندهای مختلف حوضه‌ی آبریز از نظر مقدار رواناب و غلظت رسوب مشاهده نشد. این نتایج، با پژوهش‌های جوادی و همکاران (۱۳۹۳)، عبدی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۰)، عسگری (۱۳۹۶) و کامفورست^۱ (۱۹۸۷) نیز هم‌خوانی ندارد زیرا نتایج آن‌ها نشان داده بود که میزان رواناب در خاک‌های مربوط به تشکیلات مختلف با یکدیگر مشابه نیستند و در مورد معنی‌دار

1- Kamphorst

نبودن میزان غلظت رسوب نیز می‌توان به نتایج تحقیق جواد و همکاران (۱۳۹۳) اشاره کرد که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی داشته زیرا در تحقیق ایشان نیز بین دو واحد کاری در سازند الیکا، در سطح ۰/۰۵ اختلاف معنی‌داری مشاهده نشده بود اما با نتایج تحقیق عسگری (۱۳۹۶) و کامفورست (۱۹۸۷) هم‌خوانی ندارد.

همان‌طور که اشاره شد بین سازندهای مختلف زمین‌شناسی حوضه آبریز قره‌شیران اردبیل از نظر آستانه‌ی شروع رواناب اختلاف معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ وجود دارد که این نتیجه با نتیجه تحقیقات سعیدیان و مرادی (۱۳۹۲) که در کاربری‌های مختلف سازند آغاجاری ارتباط معنی‌داری بین کاربری‌ها از نظر آستانه‌ی شروع رواناب برقرار شد و همچنین مطابق پژوهش عبدی‌نژاد و همکاران (۱۳۸۹) هم‌خوانی دارد. به‌همین علت برای بررسی دقیق‌تر اقدام به محاسبه و مقایسه‌ی مقادیر متوسط آستانه‌ی شروع رواناب در سازندهای مختلف زمین‌شناسی به روش دانکن شد که نتایج آن در شکل (۵) ارائه شده است.



شکل (۵) مقایسه‌ی متوسط آستانه‌ی شروع رواناب در سازندهای مختلف زمین‌شناسی آبریز قره‌شیران بر اساس آزمون دانکن

Fig (5) Comparison of the mean runoff initiation threshold in different geological formations of Gharehshiran watershed based on Duncan test

بر اساس نتایج به‌دست آمده از این بررسی می‌توان گفت که بیش‌ترین آستانه‌ی شروع رواناب مربوط به سازند Q^{l2} (پادگانه‌های آبرفتی جوان) و سازند Q^b (گدازه‌های بازالتی) کم‌ترین آستانه‌ی شروع رواناب را دارد و بین سازندهای Q^v (الیوین بازالت پیروکسن آندزیت)، M^{pt} (انواع توف‌ها)، OM^s (ماسه‌سنگ و کنگلومرا) و Mt^r (تراکیت) اختلاف معنی‌داری از نظر آستانه شروع رواناب مشاهده نشد.

۴- نتیجه‌گیری

تشکیلات مختلف زمین‌شناسی یک حوضه‌ی آبریز تحت تأثیر ضریب مقاومت سازندها و سنگ‌های تشکیل‌دهنده‌ی آن‌ها از لحاظ تولید رواناب و رسوب و زمان شروع رواناب رفتارهای مختلفی از خود نشان می‌دهند. در این راستا تحقیق حاضر با هدف ارزیابی و مقایسه‌ی سازندهای مختلف زمین‌شناسی از نظر میزان یا حجم رواناب، غلظت رسوب و آستانه‌ی شروع رواناب با استفاده از دستگاه شبیه‌ساز باران در حوضه‌ی آبریز قره‌شیران اردبیل انجام گرفت. بسیاری از سازندهای زمین‌شناسی این حوضه‌ی آبریز مربوط به دوره‌های کواترن و ترشیری هستند. پادگانه‌های آبرفتی جوان و پادگانه‌های قدیمی و مرتفع به همراه سازندهای دارای مارن، ماسه، کنگلومرا و رس مربوط به دوره‌ی کواترن که بیش‌تر محصول فرسایش واحدهای سنگی دوره‌های گذشته هستند و واحدهای سنگی متشکل از کانی‌های الیوین، بازالت، پرلیت، آندزیت و تراکیت مربوط به دوره ترشیری هستند. از نظر سنگ‌شناسی این حوضه آبریز، منطقه آتشفشانی است که عمده سنگ‌های سازنده آن گدازه‌های توده‌ای لایه‌ای است. گدازه‌های سازنده این سنگ‌ها در طی یک فاز آتشفشانی بسیار گسترده در دوره‌ی میوسن به سطح زمین راه یافته‌اند. از نظر ژئومورفولوژی وضعیت ظاهری حوضه‌ی آبریز، واحد کوهستان که بخش حواشی حوضه‌ی آبریز را تشکیل می‌دهد. حداکثر گسترش و واحد نهشته‌های رودخانه‌ای در بخش میانی حوضه‌ی آبریز حداقل گسترش را از خود نشان می‌دهد و واحد تپه و دشت‌های میان کوهی نیز از مساحت یکسانی برخوردار هستند (نجفی‌سربند، ۱۳۹۳). نتایج نشان داد که بین سازندهای مختلف زمین‌شناسی از نظر تولید رواناب و رسوب اختلاف معنی‌داری وجود

ندارد. در این خصوص باید اشاره شود که سازندهای موجود بیش‌تر از نوع سازندهای مربوط به دوره‌ی یکواترنر بوده و رفتاری مشابه را از خود نشان می‌دهند در حالی که تفاوت ترکیب و کانی‌شناسی سازندهای مختلف به صورتی بوده است که توانایی تولید رواناب و رسوب با تغییرات بالا را نداشته اما با همین تغییرات نیز باعث تفاوت در زمان شروع رواناب می‌شود. در این راستا، شیخ‌ربیعی و همکاران (۱۳۹۰: ۲) اشاره کرده‌اند که واحدهای زمین ریخت‌شناختی مختلف در حوضه‌ی آبریز، بسته به نوع ترکیب سنگی، نوع فرسایش و شیب، توان تولید رسوب متفاوتی دارند. همچنین تأثیر عواملی مانند شیب، پوشش گیاهی، دما، رطوبت را نیز باید در این امر دخیل دانست که در پژوهش حاضر ثابت فرض شده‌اند و سعی شده است تا تأثیر این عوامل به حداقل برسد. این در حالی است که حبیبی و پیروان (۱۳۹۸: ۲) به این نتیجه رسیده‌اند که عامل شیب از عوامل مهم هدررفت خاک در واحدهای کاری می‌باشد. از نظر آستانه‌ی شروع رواناب بین سازندهای مختلف ارتباط معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ مشاهده شد. مقادیر حداقل، حداکثر و متوسط آستانه‌ی تولید رواناب در سازندهای Q^{12} ، Q^b به ترتیب ۲/۳۸، ۸/۲۲ دقیقه بوده است. به عبارتی، آستانه‌ی تولید رواناب در گدازه بازالتی بسیار کم و در پادگانه‌های قدیمی و مرتفع بیش‌تر از بقیه‌ی سازندها بوده است. همچنین رابطه بین متغیرهای رواناب و رسوب در سازندهای مختلف از نوع معکوس و کاهشی بوده به دلیل این که در مواردی که رواناب تولید شده در سطح خاک زیاد باشد، لایه رواناب ایجاد شده از برخورد مستقیم قطرات باران با سطح خاک جلوگیری کرده و موجب کاهش سرعت جدا شدن ذرات خاک در اثر نیروی قطرات باران و در نتیجه کاهش مواد قابل حمل به وسیله رواناب می‌شود و رسوب تولیدی علی‌رغم رواناب زیاد، کم‌تر خواهد بود. بین آستانه‌ی شروع رواناب با مقدار رواناب رابطه از نوع عکس و کاهشی است در حالی که رابطه‌ی بین آستانه‌ی شروع رواناب با میزان غلظت رسوب از نوع مستقیم و افزایشی است. در این راستا می‌توان چنین عنوان کرد که توان نفوذپذیری سازندهای حوضه‌ی آبریز به نسبت بالا بوده و همین عامل باعث می‌شود که مدت زمانی که از زمان شروع بارش تا آستانه‌ی تولید رواناب طول می‌کشد، افزایش یابد. از طرفی به دلیل عدم پیوستگی کامل ذرات خاک و عدم سیمان‌شدگی مناسب، پس از اشباع خاک از آب مقدار

رسوبی که با رواناب ایجاد شده در مدت زمان کم تولید و حمل می‌شود، مقدار قابل توجهی خواهد بود. با این حال پیشنهاد می‌شود برای نتیجه‌گیری بهتر در این خصوص تأثیر عوامل دیگری که در این تحقیق مورد مطالعه قرار نگرفتند و در فرسایش‌پذیری سازندها مؤثرند نیز مورد مطالعه قرار گرفته و نتیجه‌گیری جامع‌تر با توجه به کلیه عوامل موثر انجام پذیرد. در راستای نتایج تحقیق می‌توان پیشنهاد نمود که زمانی تولید رسوب از سطح سازندها زیاد خواهد بود که همزمان مقادیر غلظت رسوب و نیز عامل حمل (تولید رواناب) بالا باشد، عبارتی در منطقه‌ی مورد مطالعه، سازند گدازه داسیتی و تراکیتی با توف کریستالین و شیشه‌ای و تراکیت با بافت پورفیری درشت از عوامل اصلی تولید رسوب خواهد بود که می‌تواند مبنای اولویت‌بندی اقدامات حفاظت آب و خاک باشد.

۵- منابع

- Abdinejad, P., Feiznia, S., Peyrowan, H.R., Fayazi, F.O. & TabakhShabani, A.A. (2012). Evaluation of runoff production in Marl units of geological formations of Zanjan province using rainfall simulator. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 5(17): 33-46. (In Persian).
- Abdinejad, P., Feiznia, S., Peyrowan, H.R., Fayazi, F.O. & TabakhShabani, A.A. (2010). An Investigation of factors affecting runoff generation in Zanjan province Marl units of formations geological using simulation rainfall. *Journal of Watershed Management Research*, 1(2): 31-51. (In Persian).
- AghabeigiAmin, S., Moradi, H.R. & Fattahi. B. (2014). Sediment and runoff measurement in different rangeland vegetation types using rainfall simulator. *Ecopersia*, 2(2): 525-538.
- Aksoy, H., Eris, E. & Tayfur, G. (2017). Empirical sediment transport models based on indoor rainfall simulator and erosion flume experimental data: Empirical sediment transport models. *Land Degradation and Development*, 28(4):1320-1328.
- Alizadeh, Z., Mahmoodzadeh, A. & Nazarnejad, H. (2020). Evaluation of -erodibility of formations in the Khangah-Sorkh watershed (Urmia) using a rain Simulator. *Watershed Management Research*, 33(1): 36-38. (In Persian).
- Antronico, O. & Torri, D. (2012). Investigation on sediment erosion and water runoff by means of simulated rainfall in Calabria (southern Italy). *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 14, EGU2012-1373.
- Asgari, E. (2018). Determining effects of structural stability and erodibility on runoff and sediment production in different geological formations of QarahShiran Ardabil Watershed. *M.Sc. in Engineering Watershed Management, University of Mohaghegh Ardabili*, 74p. (In Persian).
- Asgari, E., EsmaliOuri, A., Mostafazadeh, R. & Ahmadzadeh, Gh. (2018). Spatial variations of runoff, sediment and runoff threshold of Gharehshiran watershed in Ardabil Province. *Journal of the Earth and Space Physics*, 44(3): 697-714. (In Persian).

- BagherianKalat, A., Noor, H., Rajaei, S.H., Sedigh, R., SheibaniZadeh, Z. & EmamianBalan, M. (2019). Investigating and evaluating the potential of runoff production from the levels of erosion-sensitive formations in the watershed. 7th National Conference on Rainwater Catchment System, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, 20-21 February 2019, 1-7.
- Boul, S.W., Southard, R.J., Graham, R.C. & McDaniel, P.A. (2003). Soil Genesis and Classification. 5nd ed., Iowa State Press., 360 p.
- Brown, A.G., Carey, C., Erkens, G., Fuchs, M., Hoffmann, T., Macaire, J.J., Moldenhauer, K.M. & Walling, D.E. (2009). From sedimentary records to sediment budgets: Multiple approaches to catchment sediment flux. *Geomorphology*, 108: 35-47.
- Chen, F., Fang, N. & Shi, Z. (2016). Using biomarkers as fingerprint properties to identify sediment sources in a small catchment. *Science of the Total Environment*, 557-558: 123-33.
- Chen, Y., Tarchitzky, J., Brouwer, J., Morin, J. & Banin, A. (1980). Scanning electron microscope observation on soil crusts and their formation. *Soil Science*, 130: 49-55.
- Coppus, R., Imeson, A.C. & Serink, J. (2003). Identification, distribution and characteristics of erosion sensitive areas in three different central Andean ecosystems. *Catena*, 51(3): 315-328.
- Duiker, S.W., Flanagan, D. & Lal, C.R. (2001). Erodibility and infiltration characteristics of fire major soils of southwest Spain. *Catena*, 45: 103-121.
- Fathizad, H., Karimi, H. & Tavakoli, M. (2016). Role of sensitivity of erosion the geological formations at erosion rate and sediment yield (case study: Sub-basins of Doviraj river, Ilam province). *Journal of Watershed Management Research*, 7(13): 193-208. (In Persian).
- Feiznia, S. & Ahzan, K. (2009). Assessing the erosion vulnerability of unconsolidated deposits by the universal equation of water erosion (USLE method) in Damavand Drainage Basin. *Journal of Sediment and Sedimentary Rock*, 2(4): 13-29. (In Persian).
- Feiznia, S. (1995). Resistance of stones to erosion in different climates of Iran. *Iranian Journal of natural resources*, 47: 95-116. (In Persian).

- Feiznia, S., Nasri, M., Najafi, A. & Nakhkub, H. (2009). The role of geological formation and provincial contribution to sediment yield in the Shahid Abbaspour Reservoir dam (Karon 1 Catchment). *Iranian journal of Range and Desert Research*, 15(45): 423-435. (In Persian).
- Geological Survey of Iran (GSI). (1995). Geological map of Iran 1:100000 series, Ardabil, MeshginShahr, Sarab and Kivi sheets.
- GhanefardJahromi, A., Peyrowan, H.R. & Charkhabi, A.H. (2012). The rate of runoff and sediment production of erosion-sensitive geological formations in homogeneous work units in Jahrom watershed; observations and measurements in rainfall simulator scale. *16th Symposium of Geological Society of Iran*, 4-6 September 2012.
- Habibi, A. & Peyrovan, H. (2019). The role of geomorphic parameters on sediment yield semi-arid. *Journal of Geographic Space*, 66(19): 63-75. (In Persian).
- Habibi, A., Ghodarzi, M. & Peyrovan, H. (2018). Estimation of the sediment from geological Alluvium with rain simulator in Hableh Rood Basin. *Iran-Watershed Management Science & Engineering*, 12(40): 59-69. (In Persian).
- Haji, Kh., Mostafazadeh, R., Esmali-Ouri, A., Mirzaie, Sh. (2019). Spatial and temporal variations of discharge and sediment loads concentration rate over some river gauge stations of West-Azarbaijan Province. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 11(3): 619-632.
- Hosseini, S.H., Feiznia, S. Payrovan, H.R. & Zehtabyan, Gh. (2009). Runoff and sediment production of the fine Neogene formations using Rainfall simulator (case study: Taleghan watershed). *Journal Range and Watershed Management, Journal of Natural Resources*, 62(2): 215-229. (In Persian).
- Hughes, A.O., Olley J.M., Croke, J.C. & McKergow L.A. (2009). Sediment source changes over the last 250 years in a dry tropical catchment, central Queensland, Australia. *Geomorphology*, 104: 262 - 275.
- Jahanbakhshi, F. (2014). Investigation of sediment production and runoff generation thresholds on different rock formations and rainfall intensities by using rainfall simulator (case study: Shirkooh slopes of Yazd). *M.Sc. Thesis in Watershed Management Engineering, Yazd University*, 63p. (In Persian).

- Jahanbakhshi, F., Ekhtesasi, M.R., Talebi, A. & Piri, M. (2018). Investigation of sediment production and runoff generation on rock formations of Shirkooh Slopes of Yazd by using a rainfall simulator. *Journal of Water and Soil Science*, 22(2): 287-299. (In Persian).
- Javadi, M.R., Gholami, Sh.A. & Dastorani, J. (2015). Comparison of runoff and suspended sediment concentration in various work units of Lavij Watershed. *Journal of Natural Ecosystems of Iran*, 5(1): 85-97. (In Persian).
- Kamphorst, A. (1987). A small rainfall simulator for the determination of soil erodibility, Netherlands. *Journal of Agricultural Science*, 35: 407-415.
- Makki, S., Rezaee, P. & Peyrowan, H.R. (2016). Study of effective factors on water erosion in Marl deposits of Mishan and Aghajary formations in the west of Bandar Abbas. *Quarterly Journal of Environmental Erosion Research*, 6(1): 30-51. (In Persian).
- Moore, C.P. & Singer, J. (1990). Crusts formation effects on soil erosion processes. *Soil Science Society of American Journal*, 54: 1117-1123.
- Najafian, L., Kavian, A., Ghorbani, J. & Tamartash, R. (2010). Effect of life form and vegetation cover on runoff and sediment yield in rangelands of Savadkooh region, Mazandaran. *Journal of Rangeland*, 2: 334-347. (In Persian).
- NajafiSarband, S. (2012). Determining the relationships between water erosion facies and the factors affecting them in Gharehshiran watershed Ardabil. *M.Sc. Thesis in Watershed Management Engineering*, Azad Tabriz University. (In Persian).
- Nohegar, A., Kazemi, M., Ahmadi, J., Gholami, H. & Mahdavi, R. (2017). Using mixed models to determine the contribution of land use and geology formation in erosion and sediment yield: A case study of Tange Bostanak watershed in Fars province, Iran. *Environmental Erosion Researches*, 6(4): 81-103. (In Persian).
- Nohegar, A., Kazemi, M., Ahamdi, S.J., Gholami, H. & Mahdavi, R. (2017). The evaluation of the sediment yield using homogeneous units on land uses and the geological formations (case study: Tange Bostanak watershed). *Hydrogeomorphology*, 3(10): 99-119. (In Persian).

- Poesen, J.W.A. & Lavee, H. (1991). Effects of size and incorporation of synthetic mulch on runoff and sediment yield from interrills in a laboratory study with simulated rainfall. *Soil and Tillage Research*, 21: 209-223.
- Raisian, R. (2005). Investigating the effect of land slope, soil moisture conditions and land use on the runoff initiation time. *3rd Erosion and Sediment National Conference*, Tehran, 28 August 2005, 1-5. (In Persian).
- Rastgar, Sh., Barani, H., Darijani, A., Sheikh, V.B., Ghorbani, J. & Ghorbani, M. (2014). Comparison of soil loss and sediment of some geological formations in vegetation gradients using rainfall simulator (Case study: Baladeh Noor pastures in Mazandaran province). *Iranian Journal of Natural Resources*, 67(1): 31-44. (In Persian).
- RezaeeBanafshe, M. & Abedi, R. (2017). Analyzing the relationship between precipitation and sedimentation and sedimentation discharge in Ligvan Chay drainage basin. *Hydrogeomorphology*, 1(4): 57-77. (In Persian).
- RuizSinoga, J.D., Diaz, A.R., Bueno, E.F. & Murillo, J.F.M. (2010). The role of soil surface conditions in regulating runoff and erosion processes on metamorphic hillslope (Southern Spain), Soil surface conditions, runoff and erosion in Southern Spain. *Catena*, 80:131-139.
- SabetGhadam, S.M., Fayazi, F.O., Feiznia, S. & Jalali, N. (2006). Study of sedimentation and sensitivity of formations to erosion in Casil-Nesa watershed. *4th Iranian Conference of Engineering Geology and the Environment*, Tarbiat Modares University, 23-25 February 2006, 1-15.
- Saidian, H. & Moradi, H.R. (2013). Investigating of erosion and sediment different land uses on Aghajari deposits. *Journal of Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)*, 17(64): 209-220. (In Persian).
- Sanguesa, C., Arumi, J., Pizarro, R. & Link, O. (2010). A rainfall simulator for the in-situ study of superficial runoff and soil erosion. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 70(1): 170-177.
- Shahrabi, M. (2011). Hamoon lake. *Roshd Magazine*, 16(4): 18-23. (In Persian).
- Sharifi, F., Safapoor, Sh., Ayoubzadeh, S. & Vakilpour, J. (2004). Review factors to determine runoff in arid and semiarid regions of the country to

help the simulation data of rainfall-runoff. *Journal of Natural Resources of Iran*, 57(1): 33-45. (In Persian).

- SheikhRabiee, M.R., Feiznia, S. & Peirovan, H.R (2011). Investigation of runoff and soil loss in unit works of Hiv watershed basin, comparison on scale of rainfall simulator. *Journal of Geo Science*, 20: 57-62. (In Persian).
- Zhao, B., Zhang, L., Xia, Zh., Xu, W., Xia, L., Liang, Y. & Xia, D. (2019). Effects of rainfall intensity and vegetation cover on erosion characteristics of a soil containing rock fragments slope. *Hindawi Advances in Civil Engineering*, 2019: 1-14.