تولید رواناب و رسوب در خاک‌های با مواد مادری متفاوت در حوزهٔ آبخیز گل‌آباد، اردستان

محسن شکل‌آبادی[۱]، حسین خادمی[۲] و امیرحسین چرخابی[۳]

چکیده

مقدار فرسایش‌پذیری خاک در مناطق خشک، و به ویژه در خاک‌های با تکامل کم، بسیار وابسته به نوع مواد مادری خاک است. این پژوهش با هدف مقایسه توان تولید رواناب و رسوب در خاک‌هایی با مواد مادری متفاوت، و شناسایی حساسیت آنها به فرسایش در حوزه آبخیز گل‌آباد انجام شده است. حوزه آبخیز گل‌آباد واقع در شمال شرق اصفهان با میانگین بارندگی سالیانه ۱۶۰ میلی‌متر و سنگ‌شناسی متنوع، یکی از حوزه‌های آبخیز با فرسایش شدید در کشور است. دوازده نوع خاک تشکیل شده روی مواد مادری متفاوت این حوزه انتخاب گردید. به طور کلی، خاک‌های مورد بررسی میزان مواد آلی و رس کمی داشته ولی دارای مقادیر زیادی سنگ‌ریزه و شن می‌باشند. با استفاده از باران‌ساز صحرایی، رگباری با شدت ۵±۴۰ میلی‌متر در ساعت و مدت ۸۰ دقیقه، با میانگین قطر قطرات ۶/۵۶ میلی‌متر و کارمایه ۱۳/۷ تا ۱۷/۲ ژول بر متر مربع بر میلی‌متر، روی کرتی به مساحت یک متر مربع با سه تکرار روی هر خاک تولید گردید، و میزان رواناب و رسوب تولید شده در فواصل ۱۰ دقیقه اندازه‌گیری شد.

نتایج نشان داد که خاک‌های حاصل از آندزیت سبزرنگ و آبرفتی با پستی و بلندی کم و با منشأ مخلوط آذرین و رسوبی حداکثر رواناب و سریع‌ترین زمان تبدیل بارندگی به رواناب، و خاک‌های با مواد مادری سنگ آهک کرتاسه بالایی، گرانودیوریت و آبرفتی با پستی و بلندی متوسط، کمترین میزان رواناب و طولانی‌ترین زمان تبدیل بارندگی به رواناب را داشتند. هم‌چنین، حداکثر میزان رسوب در خاک‌های حاصل از آندزیت سبزرنگ و پلمه‌سنگ همراه با ماسه‌سنگ، و حداقل آن در خاک‌های حاصل از آبرفت با پستی و بلندی متوسط و گرانودیوریت دیده شد. حداکثر گل‌آلودگی در پلمه‌سنگ همراه با ماسه‌سنگ مشاهده گردید، و خاک‌های دیگر تفاوتی از نظر میزان گل‌آلودگی نشان ندادند. در مجموع، نتایج این پژوهش، علاوه بر رتبه‌بندی حساسیت خاک‌ها به فرسایش، گویای وابستگی بسیار زیاد توان تولید رواناب و رسوب خاک‌ها به مواد مادری آنها در حوزه آبخیز مورد بررسی است، که نمونه خوبی از آبخیزهای منطقه خشک کشور می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: *رواناب، رسوب، مواد مادری، باران‌ساز، فرسایش، حوزه آبخیز گل‌آباد، اردستان*

---

۱. دانشجوی دکتری خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. استادیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳. استادیار پژوهشی خاک‌شناسی، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.2.7.8]

مقدمه

فرسایش خاک از مهم‌ترین معضلات زیست‌محیطی، کشاورزی و تولید غذا در جهان است که تأثیرات مخربی بر تمام بوم‌نظام‌های (Ecosystems) طبیعی و تحت مدیریت انسان دارد. هرچند فرسایش خاک در طول تاریخ وجود داشته، ولی در سال‌های اخیر، به دلیل کاربری نامناسب اراضی، شدت یافته است. شدت فرسایش خاک در کشورهای در حال توسعهٔ آسیا، آفریقا و آمریکای جنوبی ۳۰-٤۰ تن در هکتار در سال و در کشورهای توسعه یافته اروپا و آمریکا ۷-۱۳ تن در هکتار در سال گزارش شده است (۲۷). آمار دقیقی از میزان فرسایش خاک در ایران وجود ندارد. جلالیان و همکاران (۱) در سال ۱۳۷۳ بر اساس میزان رسوب انباشته شده در مخازن سدهای کشور میزان فرسایش را ۲۵ تن در هکتار در سال تخمین زده‌اند. هم‌چنین، روزیطلب (۳) در سال ۱۳۷۵ میزان فرسایش خاک را در ایران ۲۵ تا ٤۰ تن در هکتار در سال بیان کرده است. سازمان خواروبار جهانی (FAO) (۱۷) پس از بررسی ۹ کشور جنوب آسیا، در گزارشی در سال ۱۹۹٤، ایران را از جمله کشورهایی دانسته است که اراضی کشاورزی و عرصه‌های منابع طبیعی آن به شدت تحت تأثیر فرسایش هستند. بنابراین، برای مهار این شدت‌های غیر پایدار فرسایش خاک باید توجه ویژه‌ای به حفاظت خاک در کشور صورت گیرد.

تعیین مقدار فرسایش‌پذیری خاک به منظور انتخاب، طراحی و کاربرد عملیات حفاظتی مناسب، نیازمند شناسایی و کمّی نمودن ویژگی‌ها و فرایندهای هیدرولوژیک خاک به ویژه پتانسیل تولید رواناب و رسوب است (۳۰). مواد مادری خاک، تأثیر زیادی بر ویژگی‌های مؤثر بر فرسایش خاک همچون بافت، کانی‌های رسی، ساختمان، ظرفیت تبادل کاتیونی و تخلخل خاک، به ویژه در خاک‌های مناطق خشک و خاک‌های جوان دارد (۱۲). هرچند که مواد مادری خاک از طریق تأثیر بر ویژگی‌های خاک به خصوص در مناطق خشک می‌تواند تأثیر زیادی در تولید رواناب سطحی داشته باشد، ولی در بررسی اثر آن بر فرسایش خاک و رواناب پژوهش‌های اندکی صورت گرفته است.

بررسی رواناب و رسوب در بخش نیمه خشک اسپانیا در خاک‌های حاصل از چهار نوع مواد مادری، شامل آهک‌رس، رس، سنگ آهک و ماسه‌سنگ نشان داد که خاک حاصل از مواد مادری آهک‌رس رسوب زیادی داشته و سریعاً رواناب تولید می‌کند، در صورتی که ماسه‌سنگ رواناب کم و رسوب ناچیزی داشته است. سنگ آهک و رس بین این دو حد قرار داشتند (۱۲).

در ایران پژوهشی در بارهٔ میزان تولید رواناب و رسوب در خاک‌های با مواد مادری متفاوت صورت نگرفته است. فیض‌نیا (۵) به منظور استفاده در مدل‌های تجربی فرسایش خاک، مقاومت سنگ‌های آذرین، رسوبی و دگرگونی در مقابل فرسایش را، در دو اقلیم خشک تا نیمه خشک و مرطوب تا نیمه مرطوب ایران تعیین، و سنگ‌ها را از این نظر به صورت جدولی رتبه‌بندی کرده است. وی برای تعیین مقاومت سنگ‌ها از شاخص‌های مکانیکی مقاومت سنگ، و نیز برخی مشاهدات صحرایی و عکس‌های هوایی استفاده کرده است.

این پژوهش با هدف مقایسه میزان رواناب، رسوب و گل‌آلودگی در خاک‌هایی با مواد مادری متفاوت، و شناسایی مواد مادری حساس و مقاوم به فرسایش در حوزهٔ آبخیز گل‌آباد انجام شده است.

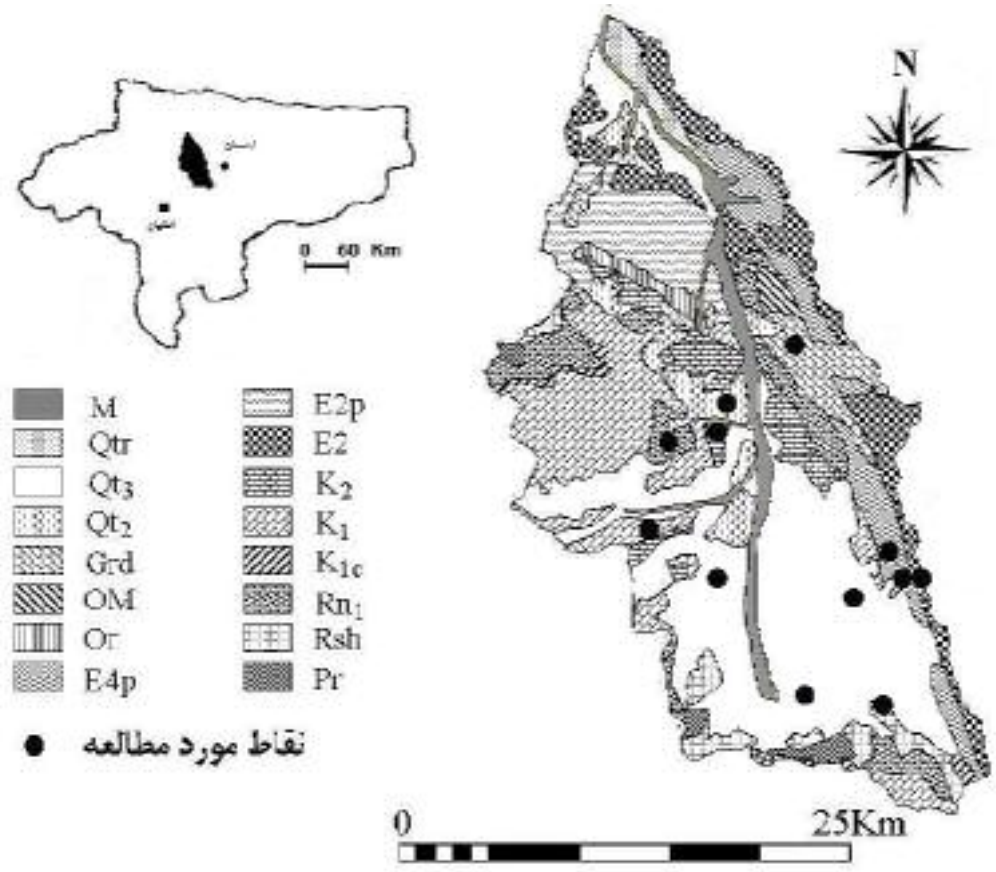
مواد و روش‌ها

حوزه مورد بررسی

حوزه آبخیز گل‌آباد، از آبخیزهای منطقه خشک ایران با شدت فرسایش زیاد و توان تولید سیل بسیار است (٦). این حوزه در ٦۰ کیلومتری شمال شرقی اصفهان در طول جغرافیایی ′۵۳ °۵۱ تا ′۱۵ °۵۲ شرقی و عرض جغرافیایی ′۱ °۳۳ تا ′۲٤ °۳۳ شمالی با وسعت ٦٤۸ کیلومتر مربع و ارتفاع ۱۵۰۰ تا ۲۹۰۰ متر از سطح دریا قرار دارد (شکل ۱). این حوزه بدون ایستگاه هواشناسی است و میانگین بارندگی سالیانه آن بر پایهٔ آمار دراز مدت ایستگاه‌های اطراف آن (مانند اصفهان، اردستان و نطنز) و

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.2.7.8]



شکل ۱. نقشه موقعیت، زمین‌شناسی و نقاط مورد بررسی در حوزهٔ آبخیز گل‌آباد (برای توضیح علائم نقشه به جدول ۱ مراجعه کنید.)

رابطه رگرسیونی بین میزان بارندگی و ارتفاع، ۱۶۰ میلی‌متر برآورد گردیده (۷)، و کاربری عمده آن مرتع است.

از نظر ژئومورفولوژی، منطقه عمدتاً از واحدهای کوهستان و دشت‌سر تشکیل شده است و تنوع زمین‌شناسی زیادی دارد (جدول ۱). با استفاده از نقشه زمین‌شناسی چهارگوش کاشان (٤) و عملیات صحرایی، ۱۲ نوع مواد مادری گوناگون شامل سنگ آهک آپتین- آلبین (K_1)، سنگ آهک کرتاسه بالایی (K_2)، پلمه‌سنگ (شیل) همراه با ماسه‌سنگ سازند نایبند (Sh)، دولومیت زرد سازند شتری (Dol)، آندزیت قرمزرنگ (Ar)، آندزیت سبزرنگ (Ag)، داسیت آندزیت (DA)، گرانودیوریت (Grd)، آبرفت‌های دوران چهارم با پستی و بلندی متوسط و شیب ۱۵ تا۲۰ درصد (Qt_2)، آبرفت‌های دوران چهارم با پستی و بلندی کم و شیب ۰-۵ درصد با منشأ آذرین (Qt_3-I)، با منشأ رسوبی (Qt_3-S) و با منشأ مخلوط آذرین و رسوبی (Qt_3-SI)، که مجموعاً قسمت عمده‌ای از حوزه را می‌پوشاند، برای بررسی فرسایش و رسوب برگزیده و آزمایش‌های باران مصنوعی در آنها انجام شد. موقعیت نقاط مورد بررسی در شکل ۱ نشان داده شده است.

ویژگی‌های باران‌ساز و آزمایش‌های باران مصنوعی

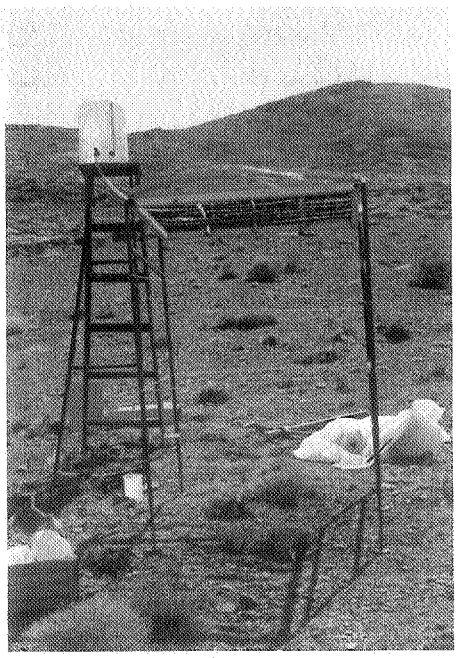
باران‌ساز مورد استفاده (شکل ۲) از نوع باران‌سازهای قطره‌ساز بوده، در ساختن آن از قطره‌چکان‌های قابل تنظیم شرکت پل ایران (Pol Iran)، مورد استفاده در آبیاری قطره‌ای بهره گرفته شده است (۲). این نوع قطره‌چکان قابلیت تنظیم دبی را دارد. بنابراین، برای ایجاد قابلیت تنظیم شدت و یک‌نواختی بارندگی در باران‌ساز استفاده گردیده است. قطرات باران بدون سرعت

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.2.7.8]

جدول ۱. جنس، سن و وسعت سازندهای زمین‌شناسی (مواد مادری خاک‌ها) در حوزه آبخیز گل‌آباد

جنس سنگ‌ها	سن	علامت در نقشه	وسعت (درصد)
آبرفت‌های مسیل	دوران چهارم	M	٤/٩
تراورتن	دوران چهارم	Qtr	١/٦
آبرفت‌های با پستی و بلندی کم	دوران چهارم	Qt_3	٣٢/٢
آبرفت‌های با پستی و بلندی متوسط	دوران چهارم	Qt_2	٤/٩
گرانودیوریت	الیگوسن- میوسن	Grd	٣/٥
سنگ آهک	الیگوسن- میوسن	OM	٠/٧
ریولیت به صورت گنبد و گدازه	الیگوسن- میوسن	Or	١/٠
داسیت آندزیت	ائوسن	E_4p	٨/٣
آندزیت‌های اپیدوتیزه به همراه آهک‌رس، توف‌های ماسه‌ای و جوش‌سنگ	ائوسن	E_2p	٦/٨
گدازه‌ها و سنگ‌های آذر آواری آندزیت	ائوسن	E_2	٦/٨
سنگ آهک حاوی اینوسراموس	کرتاسه بالایی	K_2	٤/٥
سنگ آهک	آپتین- آلبین	K_1	١٣/٥
ماسه‌سنگ و جوش‌سنگ قرمز	آپتین	K_1c	٠/٦
پلمه‌سنگ، ماسه‌سنگ و آهک حاوی آمونیت (سازندهای نایبند و شمشک)	لیاس و تریاس	Rn_1	٦/٧
دولومیت زرد (سازند شتری)	تریاس	Rsh	٣/١
دولومیت و آهک دولومیتی (سازند جمال)	پرمین	Pr	٠/٩



شکل ۲. نمایی از دستگاه باران‌ساز

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.2.7.8]

اولیه از قطره‌چکان جدا شده، بر اثر نیروی ثقل آزادانه سقوط می‌کنند. صفحه ریزش باران از ۳۸٤ قطره‌چکان قابل تنظیم تشکیل شده است، که اجازهٔ تنظیم شدت باران را می‌دهند. لوله‌های پلی‌اتیلنی که قطره‌چکان‌ها به فواصل ۵×۵ سانتی‌متر و به صورت دو طرفه روی آنها نصب شده‌اند با لوله‌های رابط به نحوی متصل شده‌اند که یک شبکه بسته ایجاد کرده و به صورت چرخه بسته عمل می‌کنند. مخزن آب حدود یک متر بالاتر از سطح صفحه ریزش باران قرار گرفته و در مدت آزمایش سطح آب در مخزن ثابت نگه داشته می‌شود. ارتفاع دستگاه از سطح زمین ۱/٦۵ متر است، و پایه‌های جلو برای استقرار روی شیب، تا دو متر قابل گسترش هستند. به منظور محصور کردن قسمت مورد آزمایش و جمع‌آوری رواناب، از کرتی به مساحت یک متر مربع استفاده شده است.

برای اندازه‌گیری قطر قطرات باران از روش معرفی شده ایگل و مور (١٦) با کمی اصلاح استفاده شد. در این روش به دلیل استاندارد نبودن روغن‌های معمول، طی آزمایش‌های بسیار از مخلوط دو نوع روغن پارافین و STP (نسبت ۱ به ٤ روغن پارافین به STP) استفاده گردید. در این نسبت گران‌روی روغن باعث می‌شد که قطره آب در برخورد با سطح روغن متلاشی نشده، در هر حال شکل آن حفظ شود و به آرامی در داخل روغن سقوط کند. از قطرات در حال سقوط به طور مجزا، پیش از رسیدن به ته ظرف عکس‌برداری و قطر آنها تعیین گردید.

آزمایش‌های باران مصنوعی با سه تکرار در خاک‌های تشکیل شده روی هر یک از مواد مادری با شیب تقریباً ۲۰ درصد انجام شد. منطقه مورد بررسی عموماً کوهستانی و تپه ماهوری بوده و شیب‌های ۱۵-۲۰ درصد در این منطقه زیاد دیده می‌شود. از آن جا که در قسمت‌های نسبتاً مسطح این حوزه، شیب اراضی عمدتاً در محدوده صفر تا پنج درصد است، آزمایش‌های باران مصنوعی در آبرفت‌های با پستی و بلندی کم (Qt_3-SI، Qt_3-S، Qt_3-I) در شیب‌های صفر تا پنج درصد صورت گرفت. شدت بارندگی اعمال شده برای کلیه آزمایش‌های باران مصنوعی ثابت و برابر ٤۰±۵ میلی‌متر در ساعت، به مدت ۸۰ دقیقه انتخاب شد. بر اساس آمار ایستگاه هواشناسی سینوپتیک اصفهان، شدت مورد استفاده به رغم این که بیشترین فراوانی را ندارد، ولی علاوه بر این که هر چند سال یک بار اتفاق می‌افتد (۸)، بدون تردید از جمله بارش‌های فرساینده و ایجاد کننده رواناب و رسوب است. از سوی دیگر، در آزمایش‌های باران مصنوعی معمولاً شدت‌های زیاد و حتی غیر معمول به کار می‌رود. لوچ و دونالان (۲۲) و چاو و ریز (۱۵) از جمله پژوهندگانی هستند که شدت‌های زیاد بارندگی (۹۰ تا ۱۱۰ میلی‌متر در ساعت) را به مدت ٤۵ دقیقه در بخشی از استرالیا و کانادا ایجاد، و واکنش خاک را در برابر بارش‌های فوق گزارش کرده‌اند.

با توجه به لزوم بررسی کامل تفاوت میان خاک‌های با مواد مادری گوناگون، بارندگی با زمان زیاد در نظر گرفته شد تا تفاوت خاک‌ها از نظر ظرفیت نفوذ نیز مشخص گردد. مدت زمان اعمال بارندگی بر اساس هدف آزمایش تعریف می‌شود، و در مقایسه با پارامترهای دیگر در استفاده از باران‌سازها، اهمیت کمتری دارد (۲۳). از هنگام آغاز بارندگی در فواصل زمانی ۱۰ دقیقه، کل رواناب خارج شده از کرت جمع‌آوری و حجم آن اندازه‌گیری شد. نمونه‌های رواناب حاوی رسوب به آزمایشگاه منتقل، و پس از خشک کردن در دمای ۱۰۵°C توزین گردید. با تقسیم میزان رسوب توزین شده به حجم رواناب مربوط به آن، گل‌آلودگی محاسبه شد.

از نقاط مجاور هر کرت از خاک سطحی (عمق صفر تا پنج سانتی‌متر) نمونه‌برداری شد و به آزمایشگاه انتقال یافت و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها تعیین شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها، شامل مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون دانکن، با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (۳۱) انجام شد.

تجزیه آزمایشگاهی خاک‌ها

توزیع اندازه ذرات خاک پس از حذف مواد آلی تعیین، و برای اندازه‌گیری اجزای شن از الک‌های استاندارد استفاده شد (٢٦). pH خاک در مخلوط ۱:۱ آب به خاک (٢٦)، مواد آلی خاک با

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.2.7.8]

روش اکسیداسیون تر والکی- بلک (۱۰)، کاتیون‌های محلول و هدایت الکتریکی خاک‌ها در عصاره اشباع خاک و کربنات کلسیم معادل خاک با روش تیتراسیون اسید و باز (۱۱)، آهن قابل عصاره‌گیری با سیترات- بی‌کربنات-دی‌تیونات (CBD) با روش کیتریک و هوپ (۲۰) و بالاخره ظرفیت تبادل کاتیونی با روش استات سدیم اندازه‌گیری گردید (۱۳).

نتایج وبحث

ویژگی‌های خاک‌ها

خاک‌های مورد بررسی که در این جا به نام مواد مادری خود نامیده می‌شوند در رده‌های اریدی‌سول و آنتی‌سول قرار گرفته و همگی دارای سله سطحی طبیعی هستند. در خاک‌های تشکیل شده روی آبرفت‌های با پستی و بلندی کم، سله رسوبی ضخیم دیده می‌شود. pH خاک‌ها تغییر محسوسی نداشته و مواد آلی خاک‌ها به علت ضعف پوشش گیاهی، بسیار کم است (جدول ۲). بافت خاک‌ها سبک بوده و شن و سنگ‌ریزه زیادی دارند. از این رو، ظرفیت تبادل کاتیونی آنها نیز کم است. بر اساس بررسی مقاطع خاک‌ها در منطقه، خاک‌های تشکیل شده روی آندزیت سبزرنگ، آندزیت قرمزرنگ، پلمه‌سنگ همراه با ماسه‌سنگ و دولومیت، ضخامت کمی داشته ولی سایر خاک‌ها نیمه عمیق تا عمیق می‌باشند. هیچ کدام ازخاک‌ها شور و سدیمی نبودند. میزان آهن قابل عصاره‌گیری با CBD در همه خاک‌ها کم بود و تغییرات زیادی نداشت. میزان کربنات کلسیم معادل در خاک‌های تشکیل شده روی مواد مادری آذرین پایین (کمتر از ۱۵ درصد) و در خاک‌های دیگر به بیش از ۴۰ درصد می‌رسید. در خاک‌های با مواد مادری آبرفت با پستی و بلندی متوسط (Qt_2)، آبرفت با پستی و بلندی کم و منشأ آذرین (Qt_3-I)، و همچنین آهک‌های آپتین-آلبین (K_1)، و در برخی قسمت‌ها در خاک‌های ایجاد شده روی دولومیت‌ها (Dol) در نیم‌رخ خاک گچ مشاهده گردید.

ویژگی‌های باران شبیه‌سازی شده

بر اساس روش روغن، قطر قطرات باران ۰/۲۱ ± ٦/٥٦ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. چون نوع باران‌ساز از نوع قطره‌ساز (Drip Screen) است، قطر قطرات باران از باران طبیعی بزرگ‌تر است. باران‌ساز توصیف شده فاستر و همکاران (۱۸) نمونه‌ای از این نوع باران‌ساز است، که در آن ۵۰ درصد قطرات ایجاد شده قطر ۳-۵ میلی‌متر، و بیش از ٤٠ درصد قطرات قطر ۵-۱۲ میلی‌متر داشته‌اند. یک‌نواختی قطر قطرات ایجاد شده به یک‌نواختی شرایط آزمایش کمک می‌کند (۲۳). بر حسب ارتفاع بارش، کارمایه باران بین ۱۳/۷ تا ۱۷/۲ ژول بر متر مربع بر میلی‌متر قابل تنظیم بوده و به دلیل ارتفاع باران‌ساز، قطرات باران به سرعت حد (۹ متر در ثانیه برای قطر قطرات بیش از ۵ میلی‌متر) در لحظه برخورد با خاک نرسیده، و باران شبیه‌سازی شده با سرعتی کمتر از سرعت حد (۵-٦ متر بر ثانیه) ۵۱ تا ٦٥ درصد کارمایه باران طبیعی را دارا بوده است.

میزان رواناب تولید شده

اندازه‌گیری رواناب در خاک‌های حاصل از مواد مادری گوناگون نشان داد که آندزیت سبزرنگ (Ag) و آبرفت‌های با پستی و بلندی کم با منشأ مخلوط آذرین و رسوبی (Qt_3-SI)، بیشترین رواناب را در مدت ۸۰ دقیقه تولید کرده‌اند (شکل ۳)، و آبرفت با پستی و بلندی متوسط (Qt_2) و گرانودیوریت (Grd) نفوذپذیری خوبی داشته و رواناب کمی تولید کرده‌اند. در خاک‌های با مواد مادری آندزیت سبزرنگ (Ag)، آندزیت قرمزرنگ (Ar)، آبرفت‌های با پستی و بلندی کم (Qt_3-I, Qt_3-S, Qt_3-SI) و سنگ آهک آپتین-آلبین (K_1)، با افزایش زمان میزان رواناب افزایش یافته، و در طی ۸۰ دقیقه تقریباً به حد ثابتی رسیده است، که به علت کاهش نفوذپذیری و رسیدن به نفوذپذیری نهایی است (شکل ٤). موسوی و رئیسیان (۲۵)، لوچ و دونالان (۲۲)، مور و سینگر (۲٤)، چن و همکاران (۱٤)، گرین و ساوتل (۱۹) و راموس و همکاران (۳۰) نیز نشان داده‌اند که به علت تشکیل لایه سله در اثر برخورد قطرات باران

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.2.7.8]

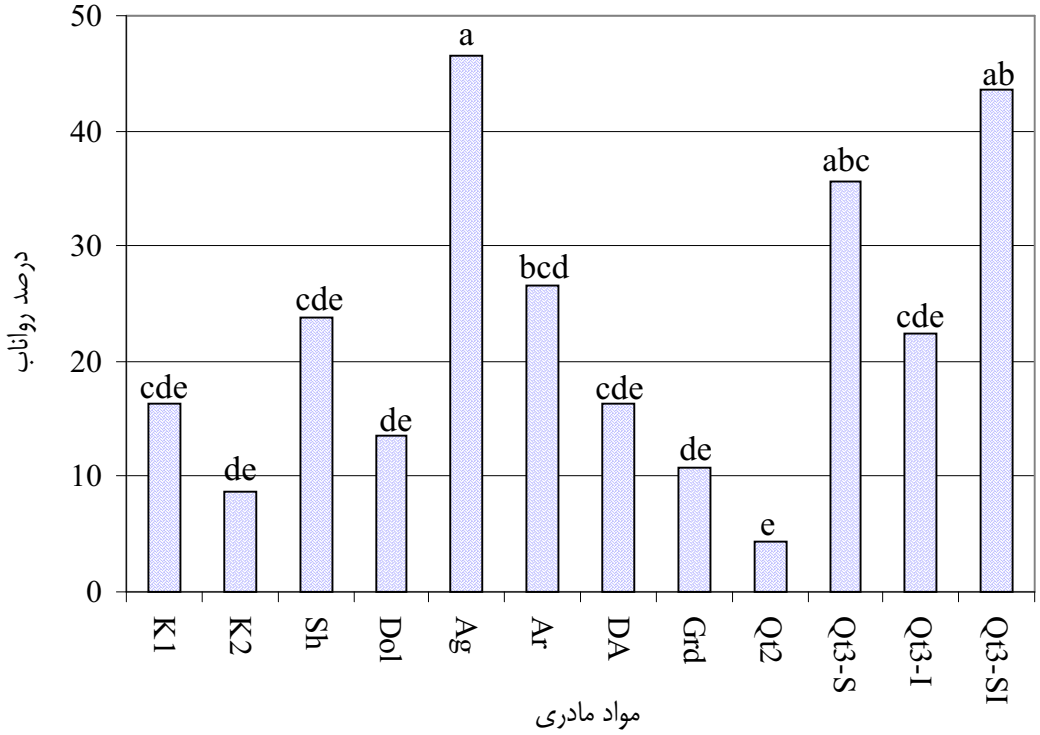
[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.2.7.8] [Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های سطحی مورد بررسی[۱]

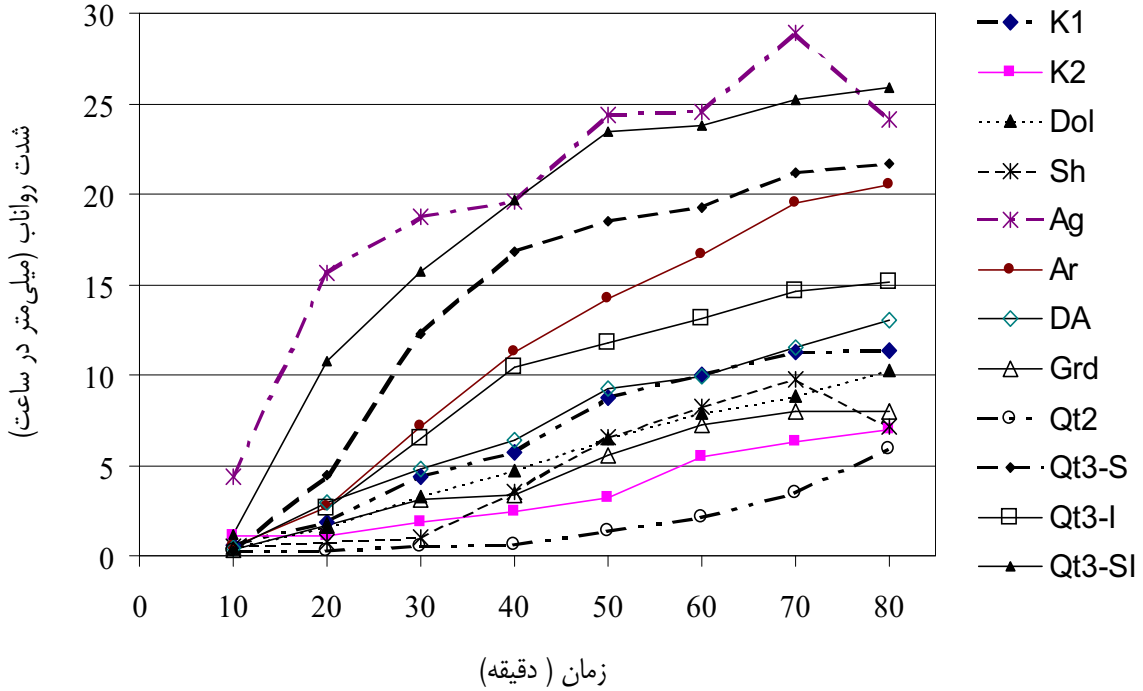
مواد مادری	pH	EC (dS/m)	SAR	OC	$CaCO_3$	Fe	CEC	Sand	Silt	Clay	تحت گروه[۲]
				٪			(cmol$_+$/kg)	٪			
K_1	۷/۷	۰/۵٤	۱/۲۸	۰/۲۰	۳۵/۷	۰/٦۵	٦/۸	٤۰/۷	۵۲/۱	۷/۲	Typic Haplocalcids
K_2	۷/٤	۰/۷۳	۰/۹۷	۰/۲۸	۳۲/۰	۰/۷۵	۷/۰	٤۷/٦	٤۵/۵	٦/۹	Calcic Argigypsids
Sh	۷/۵	۰/٦۳	۱/۵۱	۰/۲٦	۱۵/٦	۰/٦٦	۹/۱	۵۱/۰	۳۰/۳	۱۸/۷	Lithic Torriorthents
Dol	۷/۵	۰/۷۷	۱/٦۱	۰/۲۲	٤۲/۹	۰/٦۹	۷/۰	٤۷/۷	٤٦/۵	۵/۸	Lithic Torriothents, Calcic Argigypsids
Ag	۷/۷	۱/۷٦	۳/۵۸	۰/۱۵	۱٤/٦	۰/٦۵	۱۱/۲	٤۸/۸	٤۰/۱	۱۱/۱	Lithic Torriorthents, Typic Haplocalcids
Ar	۷/۵	۰/٦۰	۱/۱۳	۰/۱۰	۱۱/۹	۰/۵۳	۹/۰	٦۵/۳	۲٦/۷	۸/۰	Lithic Torriorthents, Lithic Haplocalcids
DA	۷/٦	۰/۸۱	۱/۲٤	۰/۱٤	۱۲/۹	۰/٦۳	۱۲/۷	۵۹/٤	۳٤/٤	٦/۲	Lithic Torriorthents, Lithic Haplocalcids
Grd	۷/۵	۰/٦۵	۱/۰۸	۰/۲٤	۱٤/٤	۰/٤٤	٤/۸	٦۳/۹	۳۳/٤	۲/۷	Typic Haplocambids
Qt_2	۷/۳	۱/۱۰	۲/۲۰	۰/۱۸	۲۸/۸	۰/۷۳	۷/٤	٤۹/٤	٤۱/۳	۹/۳	Typic Calcigypsids
Qt_3-S	۷/٦	۰/٦۰	۱/۲۹	۰/۱٦	۳۲/٤	۰/۷۹	٦/۱	۳۹/۱	۵۱/۱	۹/۸	Typic Haplocalcids
Qt_3-I	۷/۸	۰/٦۵	۱/٦۱	۰/۱۵	۱۷/۹	۰/٦۵	۵/۰	۵٦/۰	۳٦/٤	۷/٦	Typic Calcigypsids
Qt_3-SI	۷/۵	۰/٦۸	۱/۳٦	۰/۱٦	۲۸/۷	۰/۵۸	٦/۰	٤۳/۱	٤۹/٤	۷/۵	Typic Calciargids

۱. EC، هدایت الکتریکی؛ SAR، نسبت جذب سدیم؛ OC، کربن آلی؛ $CaCO_3$، کربنات کلسیم معادل؛ Fe، آهن قابل عصاره‌گیری با CBD؛ CEC، ظرفیت تبادل کاتیونی؛ Sand، میزان شن؛ Silt، میزان لای؛ Clay، میزان رس خاک

۲. بر اساس رده‌بندی آمریکایی (۳۲)



شکل ۳. میانگین میزان رواناب ایجاد شده در طی ۸۰ دقیقه در خاک‌های با مواد مادری گوناگون. حروف متفاوت، اختلاف معنی‌دار را در سطح یک درصد آماری بر اساس آزمون دانکن نشان می‌دهند.



شکل ٤. روند تغییرات شدت رواناب با زمان در خاک‌های با مواد مادری گوناگون

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.2.7.8]

و تخریب ساختمان خاک، با افزایش زمان، شدت رواناب به حد ثابتی می‌رسد.

نبود ساختمان مناسب در خاک‌های مورد بررسی، وجود سله سطحی ساختمانی یا رسوبی از یک تا هفت سانتی‌متر و وجود سنگ‌ریزه سطحی زیاد باعث افزایش رواناب می‌گردد. ولی مقایسه روند تغییرات رواناب با زمان (شکل ٤) در خاک‌های حاصل از آبرفت‌های با پستی و بلندی متوسط و گرانودیوریت نشان می‌دهد که تا زمان ٦٠-٧٠ دقیقه میزان رواناب بسیار ناچیز بوده و تنها پس از این مدت رواناب افزایش می‌یابد. میزان رواناب تولیدی در این خاک‌ها طی ٨٠ دقیقه به روند ثابتی نرسیده، به علت ظرفیت نفوذ زیاد به زمانی بیش از این برای رسیدن به جریان ثابت رواناب (نفوذ نهایی) نیاز دارند. موسوی و رئیسیان (٢٥) در بررسی نفوذپذیری خاک‌های مرتعی در استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از باران‌ساز، مشاهده کردند که برخی خاک‌ها طی حدود ١٨٠ دقیقه به نفوذ نهایی می‌رسند.

آبرفت‌های با پستی و بلندی کم (Qt_3-I, Qt_3-S, Qt_3-SI) به رغم شیب کم، به علت وجود سله رسوبی ضخیم و پیوسته در سطح خاک، که ضخامت آن در برخی نقاط تا هفت سانتی‌متر بود، رواناب زیادی تولید کرده‌اند. پوئسن (٢٨) نشان داد که تشکیل سله پیوسته روی سطح خاک باعث افزایش رواناب می‌شود. بررسی نیم‌رخ عمودی خاک خیس شده پس از اتمام بارندگی، نشان داد که در خاک‌های حاصل از آبرفت‌های با پستی و بلندی کم، آندزیت سبزرنگ و پلمه‌سنگ همراه با ماسه‌سنگ، تنها ٨-١٠ سانتی‌متر از سطح خاک خیس شده، در صورتی که در خاک‌های حاصل از گرانودیوریت و آبرفت با پستی و بلندی متوسط تا ٣٠ سانتی‌متر از سطح خاک خیس شده است.

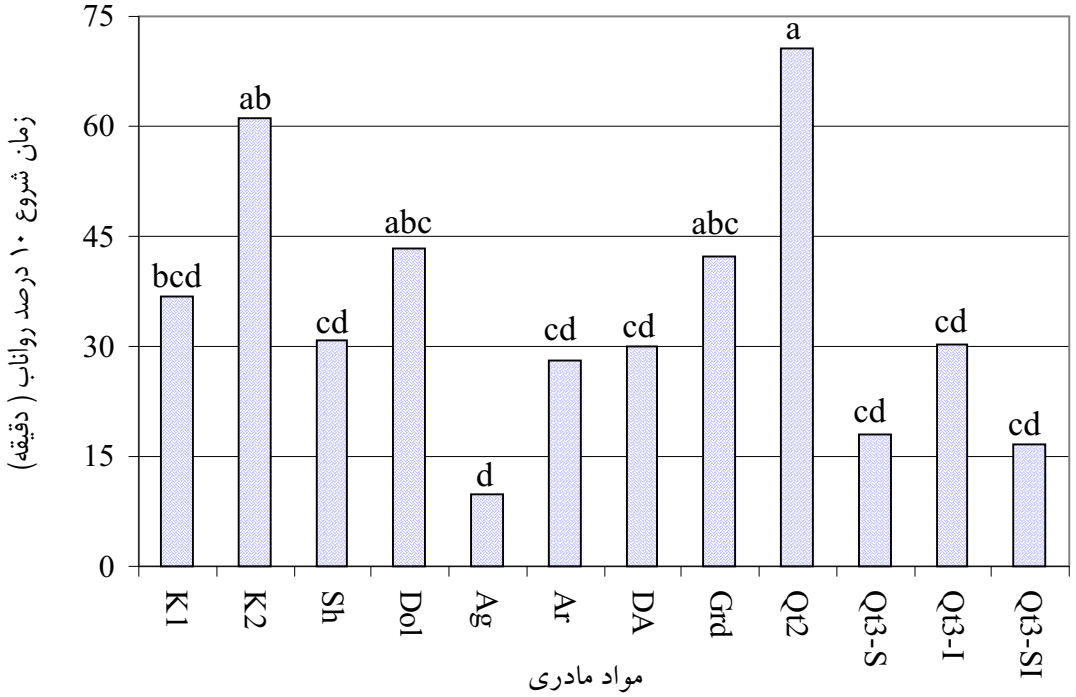
با توجه به اهمیت زمان خروج رواناب در مقایسه بین خاک‌ها، زمان تبدیل ١٠ درصد بارندگی به رواناب (زمانی که حجم رواناب خروجی ١٠ درصد میزان بارندگی است) به عنوان معیاری در بررسی زمان خروج رواناب در نظر گرفته شد (شکل ٥). برخی از خاک‌ها، مانند خاک‌های حاصل از آبرفت‌های با پستی و بلندی متوسط و گرانودیوریت، طی ٨٠ دقیقه تنها حدود ١٠ درصد بارندگی را به رواناب تبدیل کرده‌اند. بنابراین، حد زمان تبدیل ١٠ درصد بارش به رواناب به عنوان شاخص انتخاب گردید. کمترین زمان تولید ١٠ درصد رواناب مربوط به خاک حاصل از مواد مادری آندزیت سبزرنگ بود. این خاک سریعاً رواناب ایجاد می‌کند. در مقابل، خاک‌های حاصل از آبرفت با پستی و بلندی متوسط (Qt_2) و آهک کرتاسه بالایی (K_2) زمان طولانی برای تولید رواناب احتیاج داشته‌اند. با مقایسه میزان رواناب تولیدی (شکل ٣) با زمان تبدیل ١٠ درصد بارندگی به رواناب (شکل ٥)، مشخص می‌گردد که بین میزان رواناب و زمان تبدیل ١٠ درصد بارندگی به رواناب، رابطه‌ای منفی وجود دارد. خاک‌هایی که در زمان کمتری ١٠ درصد بارندگی را به رواناب تبدیل کرده‌اند، در مجموع تولید رواناب بیشتری نیز داشته‌اند.

میزان رسوب تولید شده

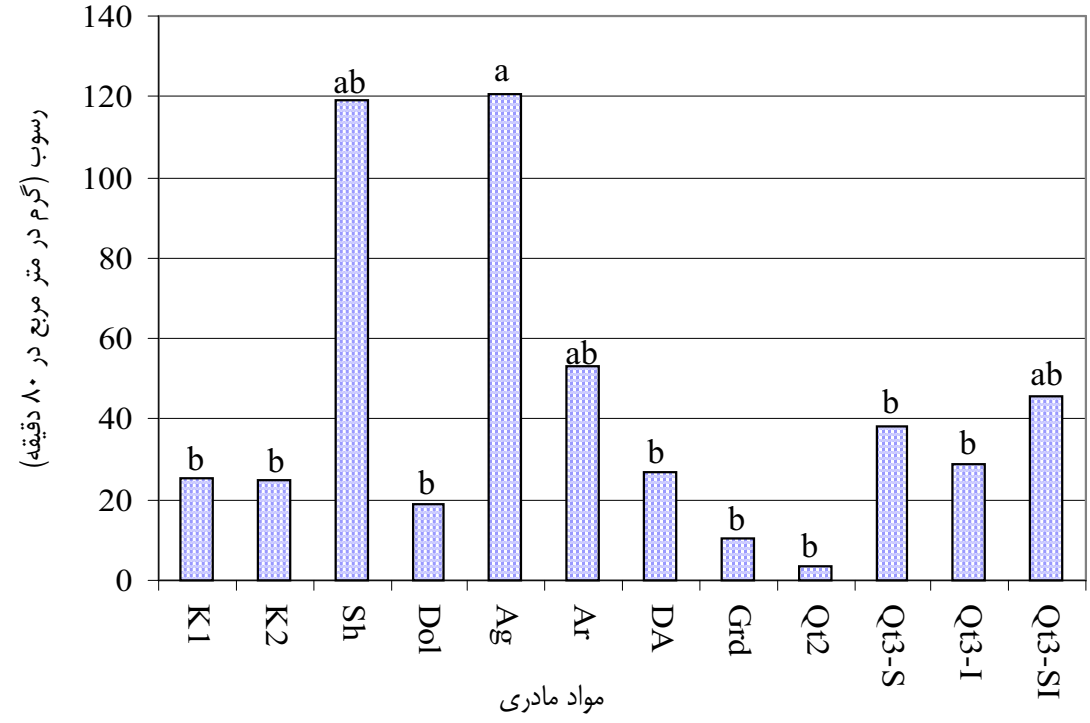
خاک‌های حاصل از مواد مادری آندزیت سبزرنگ (Ag)، پلمه‌سنگ همراه با ماسه‌سنگ (Sh) و آبرفت‌های با پستی و بلندی کم با منشأ آذرین و رسوبی (Qt3-SI) حداکثر میزان رسوب را تولید کرده‌اند (شکل ٦). در حالی که خاک‌های حاصل از گرانودیوریت (Grd) و آبرفت با پستی و بلندی متوسط (Qt_2) رسوب بسیار ناچیزی داشته‌اند، که ناشی از ذرات پاشمان شده از داخل کرت است. راموس و همکاران (٣٠) با استفاده از باران‌ساز در آزمایشگاه، میزان رسوب را بین ٠/١ تا ١/٥ کیلوگرم در متر مربع در ساعت گزارش کرده‌اند. در صورتی که هدررفت خاک در این آزمایش بین ٠/٠٠١ تا ٠/٢ کیلوگرم در متر مربع در ساعت است. دست نخورده بودن خاک، و وجود شرایط سله طبیعی، باعث تولید میزان کم رسوب شده است. لافلن و همکاران (٢١) نیز در خاک‌های مرتعی که سله طبیعی داشته‌اند، میزان رسوب را کمتر از خاک‌های اراضی کشاورزی که دست‌خورده است، گزارش کرده‌اند.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.2.7.8]



شکل ۵. زمان تبدیل ۱۰ درصد بارندگی به رواناب در خاک‌های با مواد مادری گوناگون. حروف متفاوت، اختلافات معنی‌دار را در سطح یک درصد آماری بر اساس آزمون دانکن نشان می‌دهند.



شکل ٦. میانگین میزان رسوب در خاک‌های با مواد مادری گوناگون. حروف متفاوت، اختلاف معنی‌دار را در سطح یک درصد آماری بر اساس آزمون دانکن نشان می‌دهند.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.2.7.8]

میزان تولید رسوب با زمان در بیشتر خاک‌ها پس از مدتی به حالت ثابت می‌رسد؛ سپس در برخی به آرامی کاهش می‌یابد (شکل ۷). چن و همکاران (۱٤)، لوچ و دونالان (۲۲) و راموس و همکاران (۳۰) نیز چنین روندی را مشاهده کرده‌اند. خاک‌های حاصل از گرانودیوریت و آبرفت‌های با پستی و بلندی متوسط، تا زمانی که پاشمان مستقیم ذرات وجود دارد، میزان رسوب کمی دارند، ولی از دقایق ٦۰ تا ۷۰ که رواناب آغاز شد رسوب بیشتری نیز تولید کرده‌اند. ولی در مجموع رسوب بسیار ناچیزی داشته‌اند (شکل ۷) .

بررسی وضعیت تغییرات رسوب با زمان در خاک‌های حاصل از پلمه‌سنگ همراه با ماسه‌سنگ و آندزیت سبزرنگ نشان می‌دهد که خاک حاصل از آندزیت سبزرنگ در ۲۰ دقیقه اول بارندگی رسوب زیادی ایجاد کرده، سپس میزان رسوب تقریباً در زمان‌های بعدی در همین مقدار ثابت مانده است. در خاک حاصل از پلمه‌سنگ همراه با ماسه‌سنگ، روند افزایش رسوب در ابتدای بارندگی آرام‌تر بوده، و از حدود ۵۰ دقیقه پس از آغاز بارندگی به حداکثر خود می‌رسد، سپس روند ثابتی را پی می‌گیرد. در این خاک، میزان رسوب در ٤۰ دقیقه اول کمتر، و در ٤۰ دقیقه دوم بارندگی بیشتر از میزان رسوب حاصل از آندزیت سبزرنگ است (شکل ۷). پوئسن و لاوی (۲۹)، مور و سینگر (۲٤) و چن و همکاران (۱٤) معتقدند که در خاک‌هایی که رواناب زیادی تولید می‌کنند، ایجاد لایه رواناب 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 به وسیله رواناب می‌گردد. هم‌چنین، در خاک‌هایی که رسوب زیادی تولید می‌کنند، به علت فرسایش انتخابی، ذرات لای و رس خاک انتقال یافته، و ذرات درشت‌تر باقی‌مانده مانع برخورد قطرات باران با سطح خاک و جدا شدن ذرات می‌شوند (۱٤ و ۲٤).

در این پژوهش خاک حاصل از مواد مادری آندزیت سبزرنگ در تمام طول آزمایش رواناب زیادی ایجاد کرده، و از دقیقه ٤۰ به بعد حدود ۵۰ تا ٦۵ درصد بارندگی را به رواناب تبدیل کرده است (شکل ٤). در مقابل، پلمه‌سنگ همراه با ماسه‌سنگ نسبت به خاک حاصل از آندزیت سبزرنگ، رواناب کمتری داشته است. هم‌چنین، در شدیدترین حالت تولید رسوب (که در خاک حاصل از پلمه‌سنگ همراه با ماسه‌سنگ دیده می‌شود)، تنها ۰/۱۸ میلی‌متر از خاک سطحی فرسایش یافته است. بنابراین، باقی ماندن لایه سنگ‌ریزه در سطح خاک در اثر فرسایش انتخابی، و کاهش میزان رسوب به این دلیل، در ٤۰ دقیقه دوم در خاک‌های حاصل از آندزیت سبزرنگ نامحتمل بوده، و ایجاد لایه سطحی رواناب، که از برخورد مستقیم قطرات باران با سطح خاک جلوگیری می‌کند، توضیح مناسب‌تری می‌باشد.

در جدول ۳، خاک‌های حاصل از مواد مادری گوناگون از نظر میانگین تولید رواناب، رسوب و گل‌آلودگی رواناب خارج شده از کرت رتبه‌بندی شده‌اند. خاک حاصل از پلمه‌سنگ همراه با ماسه‌سنگ، که رواناب متوسط تا زیادی دارد، بیشترین گل‌آلودگی را داراست (شکل ۸). هم‌چنین، در خاک‌های حاصل از آبرفت‌های با پستی و بلندی کم، هرچند رواناب نسبتاً زیادی ایجاد کرده‌اند، ولی به علت شیب کم خاک‌ها، که باعث عدم توانایی رواناب نازک سطحی در انتقال آنها و رسوب‌گذاری ذرات جدا شده خاک در حین انتقال می‌گردد، و نیز رواناب زیاد که باعث ایجاد لایه نازکی از آب روی سطح خاک شده و مانع برخورد مستقیم قطرات باران با سطح خاک و جدا شدن بیشتر ذرات خاک می‌گردد، گل‌آلودگی ناچیزی مشاهده می‌شود.

مقایسه نتایج به دست آمده از این پژوهش با نتایج پژوهش فیض‌نیا (۵) در سختی سنگ‌ها، نشان می‌دهد که هرچند در برخی موارد نتایج به دست آمده با نتایج نام‌برده هم‌خوانی دارد، ولی در برخی خاک‌ها نیز اختلافاتی دیده می‌شود. در جدول ارائه شده در گزارش فیض‌نیا، سنگ‌های داسیت آندزیت و آندزیت‌ها، سنگ‌هایی مقاوم به فرسایش گزارش شده‌اند و رتبه‌های بالایی می‌گیرند. در صورتی که نتایج به دست آمده در این پژوهش نشان می‌دهد که خاک حاصل از این سنگ‌ها توان

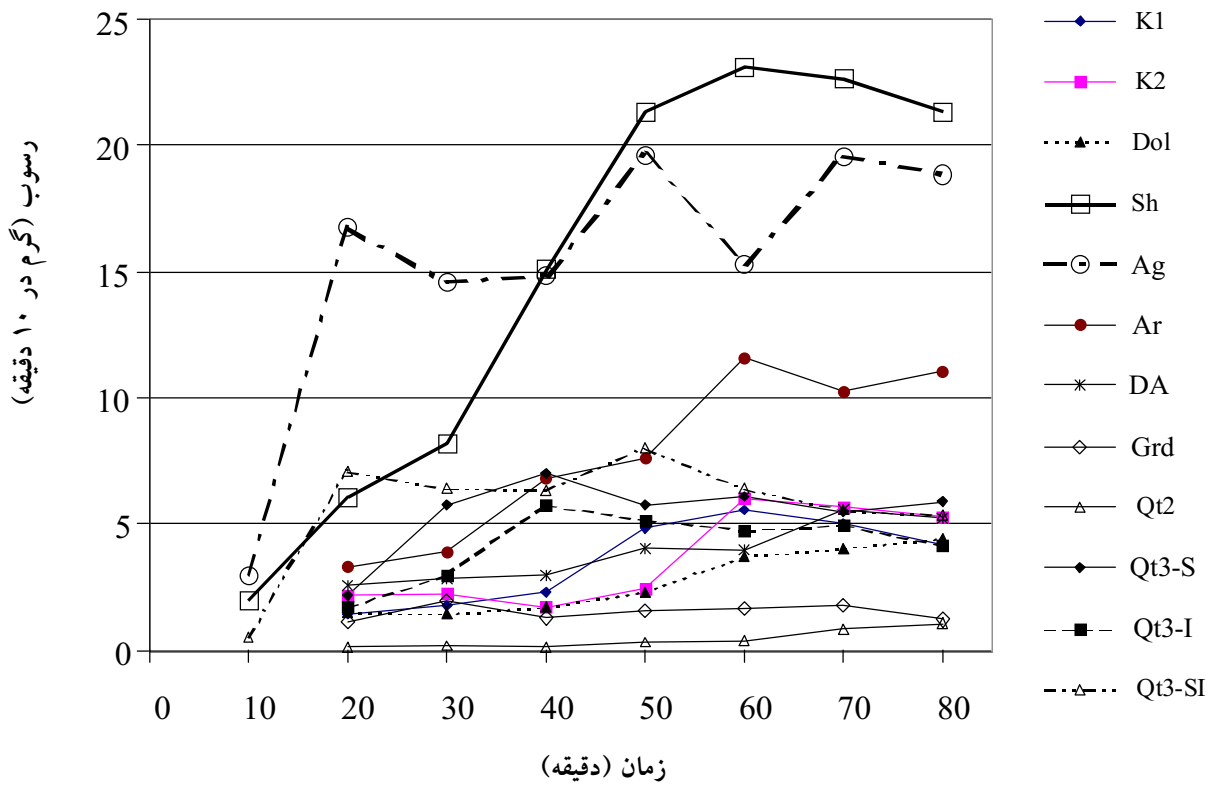
[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.2.7.8]

جدول ۳. رتبه‌بندی خاک‌های با مواد مادری گوناگون از نظر تولید رواناب، رسوب و گل‌آلودگی

مواد مادری	علامت	رواناب	رسوب	گل‌آلودگی
سنگ آهک آپتین-آلبین	K_1	۸	۸	٤
سنگ آهک کرتاسه بالایی	K_2	۱۱	۹	۳
پلمه‌سنگ همراه با ماسه‌سنگ	Sh	٥	۲	۱
دولومیت	Dol	۹	۱۰	٦
آندزیت سبزرنگ	Ag	۱	۱	۲
آندزیت قرمزرنگ	Ar	٤	۳	٥
داسیت آندزیت	DA	۷	۷	۷
گرانودیوریت	Grd	۱۰	۱۱	۱۱
آبرفت با پستی و بلندی متوسط	Qt_2	۱۲	۱۲	۱۲
آبرفت با پستی و بلندی کم با منشأ رسوبی	Qt_3-S	۳	٥	۹
آبرفت با پستی و بلندی کم با منشأ آذرین	Qt_3-I	٦	٦	۸
آبرفت با پستی و بلندی کم با منشأ آذرین و رسوبی	Qt_3-SI	۲	٤	۱۰

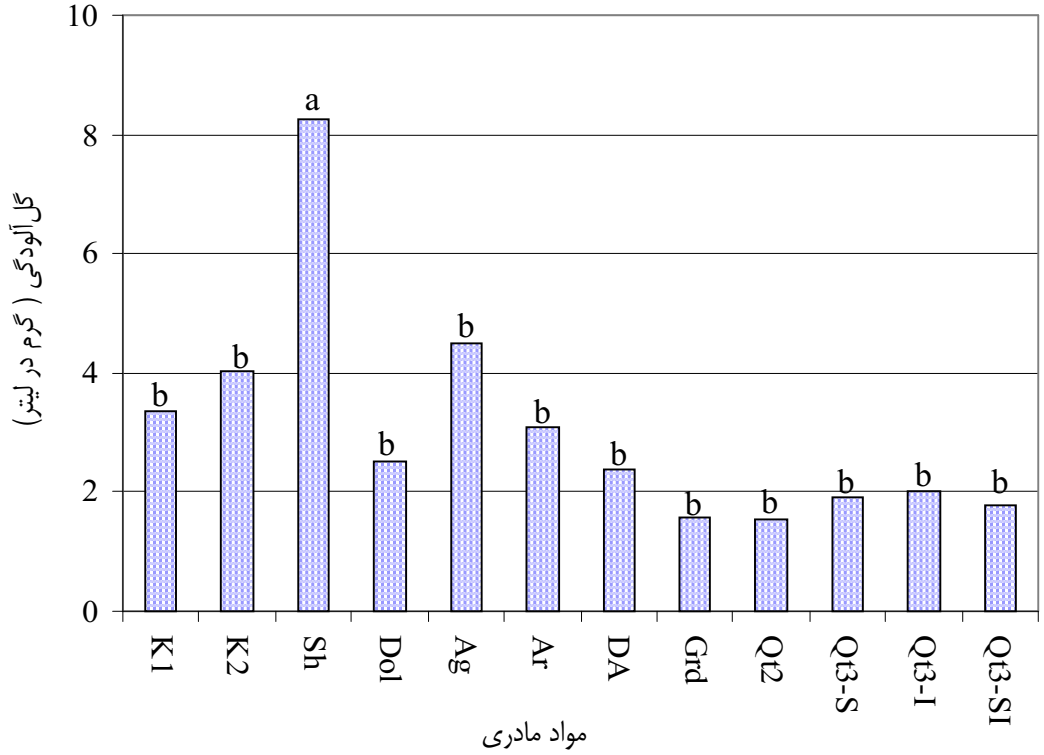
توجه: رتبه ۱ بیشترین و ۱۲ کمترین میزان رواناب، رسوب و گل آلودگی را نشان می‌دهد.



شکل ۷. روند تغییرات میزان رسوب با زمان در خاک‌های با مواد مادری گوناگون

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.2.7.8]



شکل ۸. میانگین میزان گل‌آلودگی در خاک‌های با مواد مادری گوناگون. حروف متفاوت، اختلافات معنی‌دار را در سطح یک درصد آماری بر اساس آزمون دانکن نشان می‌دهند.

زیادی از نظر تولید رسوب دارد. شواهد صحرایی، مانند وجود شیارهای زیاد نیز گویای وجود فرسایش زیاد در خاک حاصل از این سنگ‌ها است. هم‌چنین، ایشان پایین‌ترین رتبه‌ها (حساس‌ترین) را به خاک‌ها و رسوب دوران چهارم داده‌اند. ولی در پژوهش حاضر، دو خاک حاصل از رسوب دوران چهارم، واکنشی کاملاً متفاوت از خود نشان داده‌اند.

با توجه به این که حتی در شدیدترین حالت تولید رواناب در این پژوهش (در خاک‌های حاصل از آندزیت سبزرنگ، پلمه‌سنگ همراه با ماسه‌سنگ و آبرفت‌های با پستی و بلندی کم با منشأ آذرین و رسوبی) نیز تنها لایه‌ای به ضخامت ۲-۳ میلی‌متر رواناب روی سطح خاک قرار گرفته، و جریان رواناب مشاهده شده از نوع جریان سطحی و غیر متمرکز بوده است، هم‌چنین مساحت کرت آزمایشی یک متر مربع بوده وهیچ گونه شیاری در طی انجام آزمایش در کرت ایجاد و مشاهده نشده است، بر اساس مفهوم فرسایش بین شیاری (جدا شدن و انتقال ذرات در اثر پاشمان قطرات باران و جریان سطحی رواناب) (۹)، رواناب و رسوب اندازه گیری شده در این آزمایش مربوط به فرسایش بین شیاری است.

نتیجه‌گیری

در حوزه مورد بررسی، خاک‌های حاصل از آندزیت سبزرنگ و آبرفت با پستی و بلندی کم با منشأ مخلوط آذرین و رسوبی بیشترین مقدار رواناب را داشته و در زمان کوتاهی ۱۰ درصد بارندگی را به رواناب تبدیل می‌کنند. ولی خاک‌های حاصل از گرانودیوریت، آبرفت با پستی و بلندی متوسط و سنگ آهک آپتین- آلبین کمترین میزان رواناب و بیشترین نفوذپذیری را دارا هستند. خاک‌های حاصل از آندزیت سبزرنگ و پلمه‌سنگ همراه با ماسه‌سنگ رسوب بسیار زیاد، و آبرفت‌های با پستی و بلندی متوسط و گرانودیوریت رسوب ناچیزی ناشی از پاشمان قطرات باران تولید می‌کنند. در خاک‌های حاصل از آبرفت با

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.2.7.8]

پستی و بلندی کم، به علت سله ضخیم رسوبی، رواناب زیاد تولید می‌شود، ولی به علت شیب کم، رسوب زیادی تولید نشده و گل‌آلودگی کم است. به علت خشک بودن حوزه، تفاوت در میزان تولید رواناب و رسوب در خاک‌های با مواد مادری گوناگون بسیار محسوس است.

در مجموع، نتایج حاصل از این پژوهش، علاوه بر رتبه‌بندی حساسیت خاک‌ها به فرسایش، وابستگی بسیار زیاد توان تولید رواناب و رسوب خاک‌ها را به مواد مادری آنها در حوزهٔ آبخیز مورد بررسی نشان می‌دهد. استفاده از نتایج این پژوهش و آزمایش‌هایی از این نوع در مدل‌های تجربی، می‌تواند دقت تخمین میزان فرسایش خاک به وسیله این مدل‌ها را بهبود بخشد.

هرچند در آزمایش حاضر قطر قطرات باران بیش از قطر قطرات باران طبیعی می‌باشد، ولی کارمایه باران ایجاد شده تا حدودی به باران طبیعی نزدیک است. شرایط آزمایش برای همه خاک‌ها به صورت یکسان بوده و داده‌های به دست آمده با یکدیگر قابل مقایسه می‌باشند. به هر صورت، تا زمان استقرار پلات‌های دایمی در حوزه‌های آبخیز و آماربرداری درازمدت و مناسب، و هم‌چنین ساخت باران‌سازهای قابل حمل پیش‌رفته‌تر، استفاده از باران‌سازهای قطره‌ساز، به‌رغم محدودیت‌های آنها بر حسب هدف پژوهش، در امر مدیریت و برنامه‌ریزی حوزه‌های آبخیز کشور راهگشا می‌باشد.

سپاسگزاری

اعتبارات این پروژه از طریق طرح ملی تحقیقات فرسایش و مهار آن در حوزه‌های آبخیز کشور به شماره ثبت ۷۹۰ در شورای عالی پژوهش‌های علمی کشور متعلق به آقای دکتر امیر حسین چرخابی تأمین گردیده است که بدین وسیله قدردانی می‌گردد.

منابع مورد استفاده

۱. جلالیان، ا.، ا. محمدی قهساره و ح. ر. کریم زاده. ۱۳۷۳. فرسایش و رسوب و علل آن در حوزه‌های آبخیز کشور و ارائه نتایج موردی در بعضی از حوزه‌های آبخیز ایران. چهارمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۲. رئیسیان، ر. ۱۳۷٦. بررسی تاثیر شدت بارندگی، شیب زمین، بافت خاک و پوشش گیاهی بر میزان نفوذ و رواناب در چند حوزه آبخیز در استان چهارمحال و بختیاری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زه‌کشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۳. روزیطلب، م. ح. ۱۳۷۵. پیشگفتار. پنجمین کنگره علوم خاک ایران، تهران.

٤. سازمان زمین‌شناسی ایران. ۱۳۷۰. نقشه چهارگوش زمین‌شناسی شماره ف ۷ (کاشان). وزارت معادن و فلزات، تهران.

۵. فیض‌نیا، س. ۱۳۷٤. مقاومت سنگ‌ها در مقابل فرسایش در اقالیم مختلف ایران. مجله منابع طبیعی ٤۷: ۹۵-۱۱٦.

٦. کیاحیرتی، ج. ۱۳۸۰. بررسی عملکرد سیستم پخش سیلاب در تغذیه سفره آب زیرزمینی دشت موغار در استان اصفهان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۷. مهندسین مشاور رویان. ۱۳۷۵. مطالعات مرحله توجیهی آبخیزداری حوزه آبخیز اردستان. جلد دوم: هواشناسی و اقلیم. معاونت آبخیزداری وزارت جهاد سازندگی، تهران.

۸. وزیری، ف. ۱۳٦۳. تجزیه و تحلیل رگبارها و تعیین منحنی‌های شدت- مدت مناطق مختلف ایران. واحد طرح و تحقیقات جهاد دانشگاهی. انتشارات مجتمع دانشگاهی فنی و مهندسی.

9. Agassi, M. and J. M. Bradford. 1999. Methodologies for interrill soil erosion studies. Soil Tillage Res.49: 277-287.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.2.7.8]

10. Allison, L. E. 1965. Organic Carbon. PP. 1367-1378. *In*: C. A. Black, D. D. Evans, L. E. Ensminger, J. L. White and F. C. Clark (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part II. Am. Soc. Agron., Madison, WI.
11. Allison, L. E. and C. D. Moodie. 1965. Carbonates. PP. 1379-1396. *In*: C. A. Black, D. D. Evans, L. E. Ensminger, J. L. White and F. C. Clark (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part II. Am. Soc. Agron., Madison, WI.
12. Cerda, A. 1999. Parent material and vegetation effect on soil erosion in eastern Spain. Soil Sci. Soc. Am. J. 63: 362-368.
13. Chapman, H. D. 1965. Cation exchange capacity. PP. 891-901. *In*: C. A. Black, D. D. Evans, L. E. Ensminger, J. L. White and F. C. Clark (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part II. Am. Soc. Agron., Madison, WI.
14. Chen, Y., J. Tarchitzky, J. Brouwer, J. Morin and A. Banin.1980. Scanning electron mircoscope observation on soil crusts and their formation. Soil Sci. 130: 49-55.
15. Chow, T. L. and H. W. Rees. 1995. Effects of coarse-fragment content and size on soil erosion under simulated rainfall. Can. J. Soil Sci. 75: 227-232.
16. Eigel, J. D. and I. D. Moore. 1983. A simplified technique for measuring raindrop size and distribution. Trans. ASAE 26: 1079-1084.
17. FAO. 1994. Land degradation in south Asia: its severity, causes and effects upon the people. World Soil Resources Report No. 78, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
18. Foster, I. D. L., M. A. Fullen, R. T. Brandsma and A. S. Chapman. 2000. Drip-screen rainfall simulators for hydro- and pedo-geomorphological research: the Coventry experience. Earth Surf. Process. Landforms 25: 691-707.
19. Greene, R. S. B. and G. R. Sawtell. 1992. A collection system for measuring runoff and soil erosion with a mobile rainfall simulator on sealed and stony red earth soils. Austral. J. Soil Res. 30: 457-463.
20. Kittrik, J. A. and E. W. Hope. 1963. A procedure for the particle size separation of soils for X-ray diffraction analysis. Soil Sci. 95: 319-325.
21. Laflen, J. M., W. J. Elliot, J. R. Simanton, C. S. Holzhey and K. D. Kohl. 1991. WEPP soil erodibility experiments for rangeland and cropland soils. J. Soil Water Conserv. 46: 39-44.
22. Loch, R. J. and T. E. Donnallan. 1982. Field rainfall simulator studies on two clay soils of the Darling Downs, Queensland. I. The effects of plot length and tillage orientation on erosion processes and runoff and erosion rates. Austral. J. Soil Res. 21: 33-46.
23. Meyer, L. D. 1994. Rainfall simulators for soil erosion research. PP. 83-104. *In*: R. Lal (Ed.), Soil Erosion Research Methods. 2nd ed., St. Lucie Press and Soil and Water Conserv. Soc., Ankeny, Iowa, USA.
24. Moore, C. P. and M. J. Singer. 1990. Crust formation effects on soil erosion processes. Soil Sci. Soc. Am. J. 54: 1117-1123.
25. Mousavi, S. F. and R. Raisian. 1999. Effect of vegetation cover, slope, and rainfall intensity on runoff in some watersheds of Chaharmahal and Bakhtiary Province. Iran Agric. Res. 18: 169-184.
26. National Soil Survey Center. 1996. Soil survey laboratory methods manual. Soil Survey Investigations Report No. 42, Lincoln, Nebraska.
27. Pimentel, D., C. Harvey, P. Resosudarmo, K. Sinclair, D. Kurz, M. McNair, S. Crist, L. Shpritz, L. Fitton, R. Saffouri and R. Blair. 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. Science 267: 1117-1121.
28. Poesen, J. 1986. The role of slope angle in surface seal formation. Internat. Geomorph. Part 2, PP. 437-448.
29. Poesen, J. W. A. and H. Lavee. 1991. Effects of size and incorporation of synthetic mulch on runoff and sediment yield from interrills in a laboratory study with simulated rainfall. Soil Tillage Res. 21: 209-223.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.2.7.8]

30. Ramos, M. C., S. Nacci and I. Pla. 2000. Soil sealing and its influence on erosion rates for some soils in the Mediterranean area. Soil Sci. 165: 398-403.

31. SAS Institute. 1997. SAS/STAT User's Guide. SAS Institute Inc., Cary, NC.

32. Soil Survey Staff. 1999. Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. USDA Handbook No. 436, 2nd ed., US Govt. Printing Office, Washington, DC.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-28]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1382.7.2.7.8]