نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز
جلد ۱۴، شماره ۴، ۱۴۰۱، صفحات ۴۵۰-۴۶۴

Journal of Watershed Engineering and Management
Volume 14, Issue 4, 2023, Pages 450-464
DOI:10.22092/ijwmse.2021.354836.1903

بررسی تاثیر ویژگی‌های خاک بر تولید رواناب در سه زیرحوضه شمال غرب ایران

علی‌رضا واعظی[۱] و اولدوز بخشی‌راد*[۲]

[۱] استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان و [۲] دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۰۵

چکیده

رواناب، یکی از اجزا چرخه هیدرولوژی است که وقوع آن منجر به هدررفت خاک از دامنه‌های شیب‌دار و تولید رسوب در حوزه‌های آبخیز می‌شود. بررسی عوامل موثر در ضریب رواناب در مدیریت حوزه‌های آبخیز حائز اهمیت است. این پژوهش، با هدف بررسی اثر ویژگی‌های خاک بر ضریب رواناب در زیرحوضه‌های آلانق، لیوار و شکرعلی‌چای در استان آذربایجان‌شرقی انجام شد. برای انجام این پژوهش، پس از نمونه‌برداری، برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شامل توزیع اندازه ذرات، سنگریزه، جرم مخصوص ظاهری، ساختمان، ماده آلی، کربنات کلسیم و هدایت هیدرولیکی اندازه‌گیری و داده‌های رواناب از ایستگاه‌های هیدرومتری موجود در خروجی حوضه اخذ شد. بر اساس نتایج، ضریب رواناب تحت تاثیر منفی درصد شن و سنگریزه، ماده آلی، آهک، اندازه و پایداری خاکدانه و هدایت هیدرولیکی اشباع است و همبستگی آن با درصد سیلت و رس مثبت بود. با افزایش درصد شن و سنگریزه و کاهش درصد رس و سیلت، نفوذپذیری خاک افزایش و ضریب رواناب کاهش می‌یابد. ماده آلی و آهک، دو عامل مهم در تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها و بهبود هدایت هیدرولیکی اشباع خاک هستند و افزایش مقدار آن‌ها نقش اساسی در کاهش تولید رواناب دارد. نتایج تجزیه رگرسیون خطی چندگانه نشان داد که تولید رواناب در زیرحوضه آلانق رابطه‌ای معنی‌دار با مقدار ماده آلی ($r=-۰/۹۵, P<۰/۰۱$) و جرم مخصوص ظاهری خاک ($r=۰/۹, P<۰/۰۱$) دارد. ماده آلی، مؤلفه اصلی در تولید رواناب در زیرحوضه لیوار ($r=-۰/۹۴, P<۰/۰۱$) و زیرحوضه شکرعلی‌چای ($r=-۰/۹۵, P<۰/۰۱$) بود. بررسی رابطه کلی بین ضریب رواناب و ویژگی‌های زیرحوضه‌ها (شیب، ضریب شکل، تراکم آبراهه و خاک) نشان داد که ضریب رواناب تحت تاثیر ماده آلی، اندازه خاکدانه و تراکم آبراهه است ($R^2=۰/۹۳, P<۰/۰۱$). این مطالعه نشان داد که حفظ و افزایش ماده آلی خاک می‌تواند با بهبود ساختمان و نفوذپذیری خاک، در حفظ آب باران و کاهش تولید رواناب موثر باشد.

واژه‌های کلیدی: آهک، پایداری ساختمان خاک، ماده آلی، نفوذپذیری خاک، مدیریت حوزه‌های آبخیز

مقدمه

بخشی از بارندگی که غیر از نفوذپذیری خاک و نگه‌داشت چاله‌ها یا گودی‌های سطح است و می‌تواند بر روی دامنه به حرکت درآید، رواناب نامیده می‌شود (Vaezi ، ۲۰۱۹). از کل مقدار بارندگی سالانه در تمام خشکی‌های جهان، حدود ۲۲ درصد آن به شکل رواناب سطحی جاری می‌شود (Chow، ۲۰۱۰). در ایران نیز حدود یک سوم بارندگی سالانه (۱۳۰ میلیارد

* مسئول مکاتبات: o.bakhshi@znu.ac.ir

مترمکعب) به‌صورت رواناب به هدر می‌رود. حدود ۳۹ درصد خاک‌های ایران در نواحی نیمه‌خشک قرار دارند (Khaksarfard، ۲۰۰۴). در مناطق خشک و نیمه‌خشک، بخش عمده بارش‌ها، بارش‌های آسمانی در همان دوره کوتاه بارندگی، به‌صورت جریان سطحی سیل‌آسا از محیط خارج می‌شود و آب‌های سطحی فصلی نیز به‌صورت سیل و طغیان است (Refahi، ۲۰۱۵). شناخت عوامل موثر بر تولید رواناب نخستین گام در حفظ منابع آب و جلوگیری از فرسایش خاک در حوزه‌های آبخیز است.

رواناب مورد انتظار یک حوضه، تحت تاثیر ترکیبی از برخی خصوصیات اقلیمی و ویژگی‌های حوضه است. در میان ویژگی‌های حوضه، نوع خاک، نقش اساسی در تشکیل رواناب دارد. ویژگی‌های خاک مانند نفوذپذیری، بافت، ساختمان، ماده آلی و کلوئیدهای خاک و مقدار رطوبت خاک سطحی نیز نقشی مهم و مؤثر در تولید رواناب و هدررفت خاک به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک دارد (Behtari و Vaezi، ۲۰۱۸). ماده آلی با افزایش نفوذپذیری باعث کاهش رواناب می‌شود، اثر کاهشی ماده آلی در تولید رواناب را می‌توان به‌علت نقش کلوئیدهای آلی در بهبود ساختمان و افزایش نفوذپذیری دانست (Rodriguez و همکاران، ۲۰۰۶). نقش آهک در تغییرات مکانی رواناب به‌دلیل تاثیر چشم‌گیر آن در پایداری ساختمان است.

آهک از اجزای مهم خاک در نواحی نیمه‌خشک بوده و موجب پایداری ساختمان خاک و افزایش نفوذپذیری می‌شود. در نتیجه آهک با افزایش سرعت نفوذ آب به خاک در کاهش رواناب و فرسایش موثر است (Eslami و Vaezi، ۲۰۱۶). شن درشت، ماده آلی و آهک، اثر کاهشی در تولید میزان رواناب دارند. تاثیر چشم‌گیر ذرات شن در کاهش رواناب را می‌توان به نقش آن‌ها در افزایش نفوذپذیری خاک نسبت داد. خاک شنی، به‌دلیل داشتن سرعت نفوذ آب بیشتر، رواناب کمتری تولید می‌کند (Karamage و همکاران، ۲۰۱۷). تولید رواناب بستگی به مکانیسم زهکشی و نفوذ آب به خاک دارد. هرچه عمق خاک و میزان پوشش گیاهی در دامنه شیب کمتر باشد، نفوذپذیری کمتر و در نتیجه رواناب زودتر پدید می‌آید (Greenbaum و همکاران، ۲۰۰۶). حوضه‌هایی با تراکم زهکشی بالا، حجم رواناب بیشتر و دبی اوج بالاتری دارند و نیاز به مدیریت در این حوضه‌ها بیشتر است (Dragicevig و همکاران، ۲۰۱۸). پایداری ساختمان خاک نقش مهمی در کاهش تولید رواناب و حساسیت خاک به فرسایش دارد. این ویژگی خاک به نوبه خود تحت تاثیر مقدار ماده آلی خاک قرار می‌گیرد. خاک‌هایی که از ماده آلی بیشتری برخوردارند، ساختمان پایدارتری دارند و تولید رواناب در این خاک‌ها کمتر است (Vaezi و Salehi، ۲۰۲۱).

تا کنون، پژوهش‌های متعددی در مورد شناسایی عوامل موثر بر رواناب انجام شده است. مطالعات Kavian و همکاران (۲۰۱۰)، در اراضی جنگلی حوضه‌های اطراف شهرستان ساری نشان داد ویژگی‌هایی از خاک مانند درصد ماده آلی و شن خاک رابطه منفی معنی‌دار با افزایش تولید رواناب دارند. به‌طوری‌که در مناطقی با مقدار ماده آلی و شن خاک زیاد، کمینه رواناب و فرسایش مشاهده شد که یکی از مهمترین دلایل آن بهبود ساختمان خاک و افزایش نفوذپذیری خاک است. مطالعات Zarea Khormizi و همکاران (۲۰۱۳)، در اراضی زراعی حوزه آبخیز چهل‌چای استان گلستان با هدف بررسی اثر ویژگی‌های خاک در تولید رواناب و هدررفت خاک نشان داد از بین متغیرهای خاک سیلت و شن خیلی ریز همبستگی مثبت معنی‌داری با تولید رواناب داشته‌اند. همچنین، پایداری ساختمان خاک و درصد ماده آلی و ازت همبستگی منفی معنی‌داری با تولید رواناب و هدررفت خاک دارد.

بر اساس مطالعات Vaezi و همکاران (۲۰۱۶)، در قالب کرت در حوزه آبخیز تهم‌چای زنجان، درصد شن، پایداری خاکدانه، ساختمان خاک، ماده آلی و آهک مهمترین عوامل تعیین‌کننده رواناب و فرسایش خاک در عرصه‌های کشاورزی دیم است. Tangchuan و همکاران (۲۰۱۸)، در مطالعه‌ای به‌منظور بررسی ویژگی‌های فیزیکی خاک در تولید رواناب و فرسایش در عرصه‌های آبخیز کشور چین، مهمترین عامل موثر در افزایش تولید رواناب و تشدید فرسایش را درصد رس خاک گزارش کردند. Hong و Ran (۲۰۱۸)، در حوزه‌های آبخیز چین نشان دادند که تغییر ویژگی‌های فیزیکی خاک ناشی از فعالیت‌های انسانی بر تولید

رواناب و رسوب تاثیر دارد. در این بررسی، با افزایش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، تولید رواناب بسیار کاهش می‌یافت. همچنین، تغییرات کاربری زمین که باعث کاهش ماده آلی خاک و پایداری ساختمان خاک می‌شوند، منجر به افزایش تولید رواناب می‌شود. مطالعات Jourgholami و Labelle (۲۰۲۰)، در قالب کرت در اراضی جنگلی شمال ایران با هدف بررسی تاثیر بافت خاک در تولید رواناب نشان داد که با افزایش درصد رس خاک، نفوذپذیری خاک کاهش یافته و تولید رواناب و رسوب افزایش می‌یابد.

در مناطق خشک و نیمه‌خشک چه از لحاظ کمی و چه از لحاظ کیفی محدودیت‌های بیشتری برای دسترسی به منابع آب سطحی وجود دارد و کشاورزان برای آبیاری محصولات خود به شدت وابسته به آب‌های زیرزمینی هستند. از سوی دیگر، نوسانات اقلیمی موجب آسیب‌پذیری بیشتر سامانه‌های منابع آب به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک شده است. در سال‌های اخیر، تولید جریان‌های سیلابی و مخرب در مناطق نیمه‌خشک شمال غرب افزایش یافته که لزوم بررسی عوامل موثر در تولید رواناب و راهکارهای مهار سیلاب را در این مناطق نشان می‌دهد. بررسی پژوهش‌های انجام‌شده نشان می‌دهد، برخی ویژگی‌های خاک در تولید رواناب و تشدید فرسایش خاک موثرند. مناطق دیم و مراتع آسیب‌دیده از مهمترین عرصه‌های تولید رواناب و تشدید فرسایش خاک هستند. با توجه به اینکه کاربری اکثر حوزه‌های آبخیز شمال غرب کشور زراعت دیم و مرتع است، لذا، بررسی راهکارهای لازم برای کاهش تولید رواناب و ممانعت از گسترش فرسایش خاک ضروری است. هدف از این پژوهش، بررسی تاثیر ویژگی‌های خاک بر تولید رواناب و تعیین مهمترین ویژگی موثر در کاهش تولید رواناب به‌منظور کنترل تولید رواناب و حفاظت خاک در مناطق نیمه‌خشک شمال غرب است.

مواد و روش‌ها

مشخصات فیزیکی زیرحوضه‌ها: این مطالعه در زیرحوضه‌های آلانق، لیوار و شکرعلی چای واقع در استان آذربایجان‌شرقی در شمال غرب ایران در سال ۱۳۹۹ انجام شد. شکل ۱، موقعیت جغرافیایی زیرحوضه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. زیرحوضه آلانق به مساحت ۶۰۶۵ هکتار، در بین طول‌های جغرافیایی ۱۶ً ۳۸ ° ۴۶ تا ۰۶ً ۴۴ ° ۴۶ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۱۶ً ۵۷ ° ۳۷ تاً ۱۴ ۳۸°۰۴ شمالی در جنوب غربی شهرستان بستان‌آباد واقع شده است و در تقسیمات حوزه‌های آبخیز ایران در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه واقع شده است. مرتفع‌ترین نقطه حوضه آلانق در ناحیه جنوب غربی قرار گرفته و بلندی آن ۲۶۴۷ متر است. پست ترین محل این حوضه در پایین‌دست روستای ترکداری واقع شده که ارتفاع آن از سطح دریای آزاد ۱۶۳۰ متر است. متوسط بارندگی سالانه برابر ۳۰۰/۷ میلی‌متر بوده و از لحاظ اقلیمی بر اساس روش دومارتن جز مناطق نیمه‌خشک فراسرد محسوب می‌شود. زراعت دیم کاربری غالب اراضی در این حوضه است و حدود ۳۰۵۴/۱ هکتار است که معادل ۵۰/۳۵ درصد از سطح کل حوضه است. ضریب گراولیوس آن برابر ۱/۳ و ضریب شکل هورتون برابر ۰/۲۳ است که نشان می‌دهد، زیرحوضه شکل کشیده دارد.

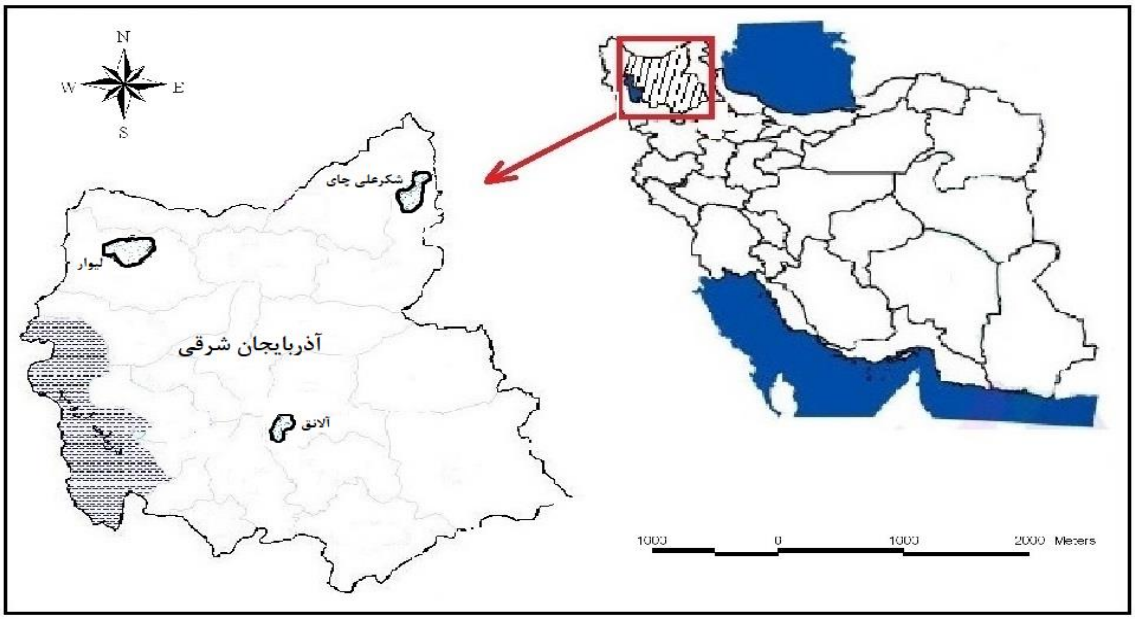
زیرحوضه لیوار به مساحت ۷۳۷۷ هکتار بین عرض جغرافیایی″۱۵ ′۳۱ °۳۸ تا ″۳۳ ′۳۵ °۳۸ و طول جغرافیایی″۱۱ ′۴۳ °۴۵ تا ″۲۶′۴۳ °۴۵ در شهرستان مرند و در حوزه آبخیز ارس واقع شده است. بیشینه ارتفاع محدوده مطالعاتی ۱۷۰۰ متر بوده و کمینه ارتفاع در محل خروجی آن ۱۱۶۰ متر از سطح دریاست. متوسط بارندگی سالانه برابر ۲۵۴/۶ میلی‌متر بوده و از لحاظ اقلیمی بر اساس روش دومارتن جز مناطق نیمه‌خشک محسوب می‌شود. مرتع، کاربری غالب اراضی در حوضه با ۵۳۸۱/۸۶ هکتار، ۷۲/۹۵ درصد از مساحت آن را به خود اختصاص داده است. ضریب گراولیوس آن برابر ۲/۲۳ و ضریب شکل هورتون برابر ۰/۴ است که نشان می‌دهد زیرحوضه شکل پهن دارد.

زیرحوضه شکرعلی‌چای با عرض جغرافیایی ″۲۷ ′۰۳ °۳۹ تا ″۳۰ ′۵۶ ۳۸ و طول جغرافیایی ″۴۹ ′۲۶ ° ۴۷ تا ″۵۸ ′۱۸°۴۷ با مساحت ۷۳۹۵ کیلومتر مربع در منتهی‌الیه استان آذربایجان‌شرقی، در شمال شرق شهرستان اهر و در تقسیمات حوزه‌های آبخیز ایران در حوزه آبخیز ارس واقع شده است.

بیشینه و کمینه ارتفاع آن ۱۸۸۰ و ۵۲۰ متر است. زیرحوضه شکرعلی‌چای دارای میانگین بارندگی سالانه ۳۵۷/۹ میلی‌متر بوده و از لحاظ اقلیمی بر اساس روش دومارتن جز مناطق نیمه‌خشک محسوب می‌شود. اصلی‌ترین کاربری این زیرحوضه، مرتع با مساحت ۴۹۵۴ هکتار است که ۶۷ درصد از مساحت کل آن را تشکیل می‌دهد و با ضریب گراولیوس ۱/۳۵ و ضریب هورتون ۰/۲۱ این زیرحوضه دارای شکلی کشیده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی زیرحوضه‌های مورد مطالعه در استان آذربایجان‌شرقی

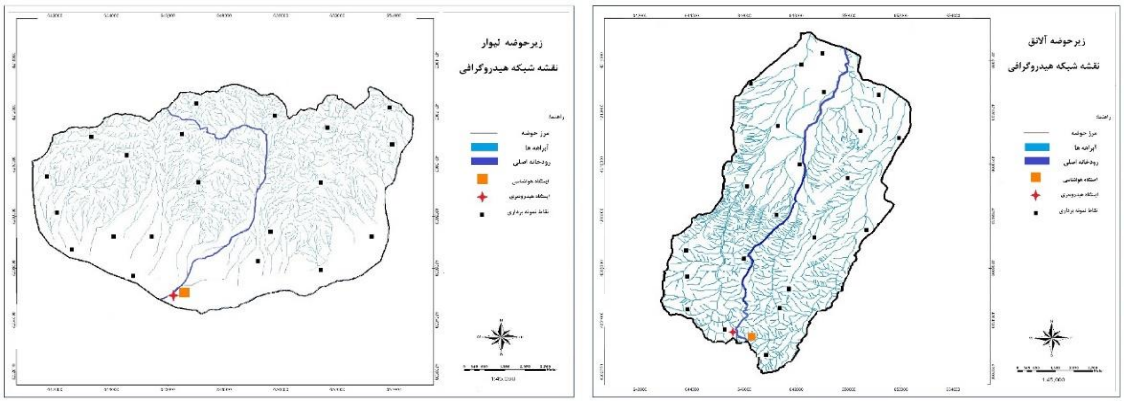
نام زیرحوضه	مساحت (هکتار)	میانگین شیب وزنی (درصد)	تراکم آبراهه (کیلومتر در کیلومتر مربع)	ضریب شکل هورتون	ضریب گراولیوس
آلانق	۶۰۶۵	۲۱/۸۲	۶/۱۸	۰/۲۳	۱/۳
لیوار	۷۳۷۷	۱۶/۵۷	۶/۹۷	۰/۴	۲/۲۳
شکرعلی‌چای	۷۳۹۵	۳۴/۳۹	۲/۸۳	۰/۲۱	۱/۳۵



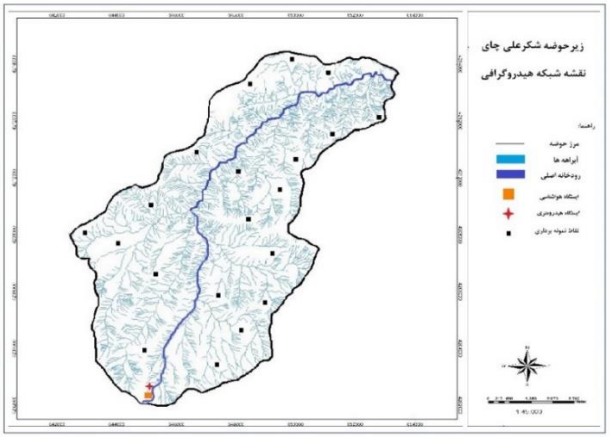
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی زیرحوضه‌های مورد مطالعه در کشور و استان آذربایجان‌شرقی

مشخصات هیدرولوژیکی زیرحوضه‌ها: بخش عمده رواناب تولید شده در زیرحوضه‌های مورد مطالعه مربوط به کاربری‌های زراعت دیم و مرتع است. دلیل این امر، شخم موازی شیب در عرصه‌های زراعی دیم، تغییر کاربری زمین و بهره‌برداری بیش از ظرفیت از مراتع و چرای مازاد و خارج از فصل دام است. برای هر زیرحوضه، از یک ایستگاه هیدرومتری و یک ایستگاه هواشناسی که نزدیک‌ترین ایستگاه به نقطه خروجی زیرحوضه بود، به نام ایستگاه آلانق، لیوار و شکرعلی‌چای استفاده شد (شکل ۱). داده‌های میانگین دبی، بارندگی و رواناب روزانه و سالانه از ایستگاه‌های مورد مطالعه طی سال‌های ۱۳۶۷ تا ۱۳۹۷ از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان آذربایجان‌شرقی استخراج شد و بر اساس آن، حجم تولید رواناب و ضریب رواناب زیرحوضه‌ها به‌دست آمد (جدول ۲).

ضریب شکل و گراولیوس حوضه‌ها نشان داد زیرحوضه‌های آلانق و شکرعلی‌چای شکل کشیده و زیرحوضه لیوار شکل پهن دارد (شکل‌های ۲ و جدول ۱). هر چه شکل حوضه کشیده‌تر باشد زمان رسیدن به نقطه اوج طولانی‌تر و احتمال سیلابی شدن کمتر است، در مقابل حوضه دایره‌ای شکل سریع‌تر به نقطه اوج رسیده و رواناب سریع‌تر تولید می‌شود (Todd، ۲۰۰۴).



(ب) (الف)



(ج)

شکل ۲- نقشه هیدروگرافی زیرحوضه‌های آلانق (الف)، لیوار (ب) و شکرعلی‌چای (ج) در استان آذربایجان‌شرقی

بررسی ویژگی‌های خاک زیرحوضه‌ها: برای آگاهی از ویژگی‌های خاک زیرحوضه‌ها، بسته به وسعت و تنوع کاربری‌های هر زیرحوضه، نمونه‌برداری خاک به‌طور تصادفی از سراسر زیرحوضه‌ها انجام شد. برای این منظور، تعداد ۲۲ نمونه خاک از زیرحوضه آلانق، ۲۰ نمونه خاک از زیرحوضه لیوار و ۲۰ نمونه خاک از زیرحوضه شکرعلی‌چای برداشت شدند (شکل ۲). نمونه‌های خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر به دو روش دست‌خورده (برای آزمایش‌های تعیین توزیع اندازه ذرات و آزمایش‌های شیمیایی) و دست‌نخورده (برای تعیین جرم مخصوص ظاهری و ساختمان) برداشت شدند. در هر نمونه خاک، توزیع اندازه ذرات (درصد شن، سیلت و رس)، ماده آلی، آهک، سنگریزه، جرم مخصوص ظاهری، میانگین قطر خاکدانه‌ها در دو حالت خشک و تر و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک تعیین شد.

نمونه‌های خاک دست‌خورده برای آزمایش‌های رایج برداشت شد. این نمونه‌ها پس از گذراندن از الک دو میلی‌متری برای انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه انتقال داده شد. توزیع اندازه ذرات به‌روش هیدرومتری (Bouyoucos، ۱۹۶۲)، کربنات کلسیم معادل به‌روش تیتراسیون (Page، ۱۹۸۲)، محتوای ماده آلی به‌روش والکی بلاک (Walkley و Black، ۱۹۳۴) تعیین شد. برای تعیین جرم مخصوص ظاهری خاک، نمونه‌های دست‌نخورده با استفاده از سیلندر فلزی به ارتفاع هفت سانتی‌متر و قطر ۴/۷ سانتی‌متر برداشت شد (Klute، ۱۹۸۶). برای تعیین پایداری خاکدانه‌ها نیز نمونه‌هایی از خاکدانه‌های با قطر شش تا هشت میلی‌متر از خاک به‌وسیله الک‌های مربوطه تهیه شد. پایداری خاکدانه‌ها در ۱۰۰ گرم از نمونه‌های خاکدانه به‌روش الک تر با جداسازی خاکدانه‌های پایدار در آب (Yoder، ۱۹۳۶) به مدت یک دقیقه تعیین شد و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌های پایدار در آب محاسبه شد. اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع به‌روش بار ثابت و بر اساس

کاربرد مستقیم رابطه دارسی برای یک ستون یکنواخت خاک اشباع تعیین شد (Klute، ۱۹۸۶).

تجزیه و تحلیل داده‌ها: پیش از تجزیه و تحلیل، داده‌ها به‌روش شاپیرو-ویلک (Shapiro-Wilk) از نظر توزیع نرمال بودن مورد بررسی قرار گرفتند و در مواردی که داده‌ها از توزیع نرمال پیروی نمی‌کردند، با روش‌های رایج (به توان رساندن، لگاریتم و غیره) توزیع آن‌ها به‌صورت نرمال تبدیل شد. برای تحلیل داده‌ها ضریب رواناب به‌عنوان متغیر وابسته و ویژگی‌های خاک به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شد و همبستگی بین آن‌ها با استفاده از ماتریس همبستگی شاخص پیرسون (r) تعیین شد.

نتایج و بحث

ضریب رواناب: بررسی رواناب زیرحوضه آلانق نشان داد ارتفاع میانگین رواناب سالانه از ۳/۹۹ تا ۷۵/۷۹ میلی‌متر متغیر بوده و میانگین آن ۲۸/۶۵ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. مقدار ضریب رواناب از ۰/۰۲ تا ۰/۲۷ متغیر است و میانگین آن ۰/۱۰ است. در زیرحوضه لیوار ارتفاع میانگین رواناب سالانه از ۸/۴۳ تا ۱۱۴/۴۷ میلی‌متر متغیر بوده و میانگین آن ۳۰ میلی‌متر اندازه‌گیری شده است.

مقدار ضریب رواناب از ۰/۰۴ تا ۰/۵ متغیر است و میانگین ضریب رواناب ۰/۱۳ است. در زیرحوضه شکرعلی‌چای، ارتفاع میانگین رواناب سالانه از ۲۱/۶۶ تا ۳۸/۰۳ میلی‌متر متغیر بوده و میانگین آن ۳۱/۲۲ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. مقدار ضریب رواناب از ۰/۰۵ تا ۰/۱۴ متغیر بوده و میانگین ضریب رواناب برابر ۰/۰۹ گزارش شده است. یکی از علل بالا بودن ضریب رواناب در در زیرحوضه لیوار، تراکم آبراهه‌ای بالا در آن نسبت به زیرحوضه‌های دیگر است که باعث افزایش دبی اوج و افزایش سرعت سیلابی شدن در این زیرحوضه است. وجود شکل پهن، عاملی دیگر در افزایش تولید رواناب است. علاوه‌بر آن، کاربری زمین‌های غالباً مرتع است و تغییر کاربری‌های نامناسب و چرای خارج از فصل و مازاد دام در این زیرحوضه، موجبات افزایش تولید رواناب فراهم کرده است. در زیرحوضه آلانق نیز، بالا بودن تراکم آبراهه و شخم موازی شیب در عرصه‌های کشاورزی دیم عامل اصلی تولید رواناب است. در زیرحوضه شکرعلی‌چای تراکم آبراهه کمتر، پوشش سطح خاک بیشتر و تولید رواناب با وجود میانگین بالای بارندگی، کمتر است.

جدول۲- میانگین بارندگی، رواناب سالانه و ضریب رواناب در زیرحوضه‌های مورد مطالعه در استان آذربایجان‌شرقی

زیرحوضه	بارندگی سالانه (میلی‌متر)	میانگین رواناب سالانه (میلی‌متر)			ضریب رواناب سالانه		
		کمترین	بیشترین	میانگین	کمترین	بیشترین	میانگین
آلانق	۳۰۰/۷	۳/۹۹	۷۵/۷۹	۲۸/۶۵	۰/۰۲	۰/۲۷	۰/۱۰
لیوار	۲۵۴/۶	۸/۴۳	۱۱۴/۴۷	۳۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۵۰	۰/۱۳
شکرعلی‌چای	۳۵۷/۹	۲۱/۶۶	۳۸/۰۳	۳۱/۲۲	۰/۰۵	۰/۱۴	۰/۰۹

ویژگی‌های خاک زیرحوضه‌ها: ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک زیرحوضه‌ها در جدول ۲، ارائه شده است. نتایج تجزیه خاک زیرحوضه آلانق نشان داد بافت خاک لوم رسی بوده و مقدار سنگریزه در سطح خاک بین ۱۰ تا ۳۰ درصد است. میانگین جرم مخصوص ظاهری ۱/۳۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب است. خاک حوضه با داشتن حدود ۱۱ تا ۲۹ درصد کربنات کلسیم معادل، جز خاک‌های آهکی است. در زیرحوضه لیوار، بافت خاک لوم شنی است. میانگین مقدار سنگریزه ۲۰/۴۵ درصد و میانگین جرم مخصوص ظاهری آن ۱/۵۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب است. کربنات کلسیم معادل آن بین ۱۴/۸۸ تا ۲۴ بوده و جزو خاک‌های آهکی است. زیرحوضه شکرعلی‌چای بافت لوم شنی دارد و مقدار سنگریزه آن بین ۱۵ تا ۲۷ درصد است. میانگین جرم مخصوص ظاهری آن ۱/۵ بوده و میانگین کربنات کلسیم معادل آن برابر ۱۹/۳ درصد و خاک آهکی است. ساختمان خاک بر اساس روش طبقه‌بندی ساختمان خاک در معادله عمومی هدررفت خاک (USLE) در هر سه حوضه

به‌صورت دانه‌ای و اسفنجی ریز با کد ساختمان دو است (Wischmeier و Smith، ۱۹۷۸).

جدول ۲- میانگین برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در زیرحوضه‌های مورد مطالعه در استان آذربایجان‌شرقی

ویژگی خاک	آلانق	لیوار	شکرعلی‌چای
شن (درصد)	۳۹/۱۸	۵۵/۸۵	۴۴/۵۵
سیلت (درصد)	۳۳/۲۷	۲۶/۶۵	۲۳/۷
رس (درصد)	۲۷/۵۴	۱۷/۵	۳۱/۷۵
سنگریزه (درصد)	۲۰/۲۲	۲۰/۴۵	۲۳/۰۰
جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	۱/۳۰	۱/۵۴	۱/۵۰
کربنات کلسیم (درصد)	۱۸/۸۳	۱۷/۴۸	۱۹/۳
ماده آلی (درصد)	۱/۴۱	۱/۳۳	۱/۲۵
میانگین قطر خاکدانه در الک تر (میلی‌متر)	۱/۴۸	۱/۴۸	۱/۴۷
میانگین قطر خاکدانه در الک خشک (میلی‌متر)	۲/۱۰	۲/۰۶	۱/۷۷
هدایت هیدرولیکی اشباع (سانتی‌متر بر ساعت)	۰/۱۶	۰/۱۷	۰/۴۲

تاثیر ویژگی‌های خاک بر رواناب

زیرحوضه آلانق: نتایج نشان داد که در زیرحوضه آلانق ضریب رواناب، همبستگی منفی معنی‌دار با ماده آلی (r=-۰/۹۵, P<۰/۰۱)، آهک (r=-۰/۹۰, P<۰/۰۱)، پایداری خاکدانه (r=-۰/۸۰, P<۰/۰۱)، اندازه خاکدانه (r=-۰/۹۳, P<۰/۰۱)، هدایت هیدرولیکی اشباع (r=-۰/۸۲, P<۰/۰۱)، شن (r=-۰/۷۲, P<۰/۰۱)، اندازه خاکدانه (r=-۰/۹۳, P<۰/۰۱)، سنگریزه (r=-۰/۸۳, P<۰/۰۱) و ضریب شکل گراولیوس (r=-۰/۴۹, P<۰/۰۵)، و همبستگی مثبت معنی‌دار با رس (r=۰/۸۴, P<۰/۰۱)، و جرم مخصوص ظاهری (r=۰/۹, P<۰/۰۱)، ضریب شکل هورتون (r=۰/۶۲P< , ۰/۰۱)، تراکم آبراهه (r=۰/۸۲, P<۰/۰۱) و شیب (r=۰/۸۳, P<۰/۰۱) دارد (جدول ۳).

با افزایش درصد شیب، تولید رواناب افزایش می‌یابد. هر چه تراکم آبراهه بیشتر باشد، زمان رسیدن به اوج کوتاه‌تر و شدت تولید رواناب بیشتر است. با افزایش درصد شن و سنگریزه در خاک، جرم مخصوص ظاهری خاک کاهش یافته و سرعت نفوذ آب در خاک افزایش و تولید رواناب کاهش می‌یابد. در مقابل، با افزایش درصد رس خاک و در نتیجه کاهش نفوذپذیری خاک، تولید رواناب افزایش یافته است (Zhang و همکاران، ۲۰۱۹). جرم مخصوص ظاهری در کنار توزیع اندازه ذرات خاک، وابسته به ساختمان خاک است. همبستگی منفی معنی‌دار بین جرم مخصوص ظاهری خاک و متوسط اندازه خاکدانه (r=-۰/۹۱, P<۰/۰۱) و پایداری خاکدانه (r=-۰/۷۶P< , ۰/۰۱) وجود دارد (جدول ۳). در خاک‌های با ساختمان درشت و پایدار، جرم مخصوص ظاهری خاک کمتر بود. گزارش‌ها نیز نشان می‌دهد هر چه ساختمان خاک ضعیف‌تر باشد، جرم مخصوص ظاهری بیشتر است (Barzegar، ۲۰۱۱). بنابراین، ضریب رواناب همبستگی منفی با جرم مخصوص ظاهری دارد. هر چه هدایت هیدرولیکی اشباع خاک بیشتر باشد، نفوذپذیری خاک بیشتر و تولید رواناب کمتر است (Bulgakov و همکاران، ۲۰۱۶). هدایت هیدرولیکی اشباع خاک تحت تاثیر بافت خاک است و افزایش درصد رس خاک، اثر منفی بر آن دارد. گزارش‌ها نشان می‌دهد که وجود رس و سیلت و شن خیلی ریز باعث کاهش نفوذپذیری و کاهش هدایت هیدرولیکی اشباع خاک می‌شود (Vaezi و همکاران، ۲۰۱۸).

وجود آهک و ماده آلی نقشی موثر در خاکدانه‌سازی و افزایش پایداری آن‌ها دارد. خاک‌های دارای ساختمان مناسب، از هدایت هیدرولیکی اشباع بیشتری برخوردارند و توان تولید رواناب آن‌ها کمتر است. در پژوهشی، Vaezi و همکاران (۲۰۰۸) نیز نشان دادند که در خاک‌های مناطق نیمه‌خشک، آهک در کنار ماده آلی عاملی مهم در تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها است. چنین خاک‌هایی به‌دلیل پایداری زیاد در برابر عوامل فرساینده و نفوذپذیری مناسب، فرسایش‌پذیری کمتری دارند.

زیرحوضه لیوار: نتایج نشان داد در زیرحوضه لیوار ضریب رواناب همبستگی منفی معنی‌دار با درصد شن (r=-۰/۹۲, P<۰/۰۱)، سنگریزه (r=-۰/۹۱, P<۰/۰۱)، ماده آلی (r=-۰/۹۴, P<۰/۰۱)، آهک (r=-۰/۸۲P< , ۰/۰۱)، اندازه خاکدانه (r=-۰/۹۲ , P<۰/۰۱) و پایداری خاکدانه (r=-۰/۹۸, P<۰/۰۱)، هدایت هیدرولیکی اشباع (r=-۰/۸۷, P<۰/۰۱) و ضریب شکل گراولیوس (r=-۰/۹۷, P<۰/۰۱) دارد و در مقابل همبستگی مثبت معنی‌دار با درصد سیلت

(r=۰/۹۲, P<۰/۰۱)، رس خاک (r=۰/۹۵, P<۰/۰۱)، ضریب شکل هورتون (r=۰/۹۰, P<۰/۰۱)، تراکم آبراهه (r=۰/۹۶, P<۰/۰۱) و شیب (۰/۰۱ , r=۰/۹۷P<) دارد (جدول ۴). این نتایج به‌جز در مورد سیلت، مشابه با نتایج تاثیر ویژگی‌های خاک بر رواناب در حوضه آلانق است. تحقیقات Yousofvand و همکاران (۲۰۱۳) نیز نشان داد درصد شن و سنگریزه خاک باعث کاهش رواناب و فرسایش می‌شود. ذرات سیلت به دلیل کاهش تشکیل خاکدانه‌های پایدار، موجب کاهش نفوذپذیری خاک شده، تولید رواناب و فرسایش‌پذیری خاک را به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد. تحقیقات پیشین نیز نشان می‌دهد که با افزایش درصد سیلت تولید رواناب افزایش یافته است (Morvan و همکاران، ۲۰۱۸). ماده آلی از یک سو باعث افزایش پایداری ساختمان خاک شده و از سوی دیگر، با افزایش خلل و فرج درشت در خاک باعث افزایش هدایت هیدرولیکی و نفوذپذیری می‌شود. لذا، خاک‌هایی که از ماده آلی بیشتری برخوردارند نفوذپذیری بیشتری دارند، و تولید رواناب در این خاک‌ها کمتر است.

Parsakhoo و همکاران (۲۰۱۴) نیز گزارش دادند ماده آلی، پایداری ساختمان خاک و شن مهمترین ویژگی‌های خاک در افزایش تولید رواناب و فرسایش‌پذیری خاک در اراضی جنگلی لت تالار در حوزه آبخیز تجن در شمال ایران است. آهک نیز نقشی مشابه با ماده آلی در بهبود ساختمان خاک و نفوذپذیری داشت و در نتیجه در کاهش تولید رواناب موثر است. در پژوهشی، Mousavi و همکاران (۲۰۱۸) نیز نشان دادند که پایداری خاکدانه، درصد مواد آلی، نفوذپذیری، مقدار کربنات کلیسم و توزیع اندازه ذرات از عوامل تعیین کننده تولید رواناب و فرسایش خاک هستند.

زیرحوضه شکرعلی‌چای: نتایج نشان داد، در زیرحوضه شکرعلی‌چای ضریب رواناب همبستگی منفی معنی‌دار با درصد شن (r=-۰/۹۸, P<۰/۰۱)، سنگریزه (r=-۰/۹۸, P<۰/۰۱)، ماده آلی (۰/۰۱ , r=-۰/۹۵P<)، آهک (r=-۰/۹۷, P<۰/۰۱)، اندازه خاکدانه (r=-۰/۸۳, P<۰/۰۱)، پایداری خاکدانه (r=-۰/۹۳, P<۰/۰۱) و هدایت هیدرولیکی اشباع (r=-۰/۹۸, P<۰/۰۱) و ضریب شکل گراولیوس (r=-۰/۹۴, P<۰/۰۱) دارد، در حالی که همبستگی آن با درصد سیلت (r=۰/۸۷, P<۰/۰۱)، رس خاک (r=۰/۹۶, P<۰/۰۱)، ضریب شکل هورتون (۰/۰۱ , r=۰/۹۶P<)، تراکم آبراهه (r=۰/۹۴, P<۰/۰۱) و شیب (r=۰/۹۳, P<۰/۰۱) دارد کاهنده است (جدول ۵).

نقش مثبت سیلت در افزایش فرسایش‌پذیری خاک با نتایج تحقیقات Wischmeier و Smith (۱۹۷۸)، در شرق آمریکا مطابقت دارد. با کاهش تخلخل خاک و در نتیجه افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک، نفوذپذیری خاک کمتر و تولید رواناب بیشتر می‌شود. ماده آلی و آهک دو عامل مهم در بهبود ساختمان خاک و نفوذپذیری خاک هستند. مطالعات Lotfalian و همکاران (۲۰۱۹)، در حوزه‌های آبخیز شمال ایران نیز نشان داد، ماده آلی در میان ویژگی‌های خاک از اهمیت بیشتری در کاهش تولید رواناب برخوردار است. آهک در مقادیر کمتر از ۲۰ درصد وزنی (Vaezi و همکاران، ۲۰۰۸) مانند یک سیمان موجب افزایش پایداری در خاک شده، زیرا با ایجاد ساختمان در خاک باعث افزایش نفوذپذیری و کاهش تولید رواناب می‌شود (Kahlon و همکاران، ۲۰۱۳). Vaezi و همکاران (۲۰۱۶) نیز گزارش کردند که درصد شن، پایداری خاکدانه، ساختمان خاک، ماده آلی و آهک مهمترین عوامل تولید رواناب و تعیین کننده فرسایش‌پذیری خاک در عرصه‌های کشاورزی دیم هستند. افزایش این ویژگی‌ها باعث کاهش فرسایش‌پذیری خاک می‌شود.

رابطه بین رواناب و ویژگی‌های خاک و حوضه: نتایج تجزیه رگرسیون خطی چندگانه گام به گام در زیرحوضه‌های مورد مطالعه نشان داد که تولید رواناب در زیرحوضه آلانق رابطه‌ای معنی‌دار با مقدار ماده آلی و جرم مخصوص ظاهری خاک دارد (۰/۰۱ , R^2=۰/۹۸P<). مقدار ماده آلی مؤلفه اصلی خاک در تولید رواناب در زیرحوضه لیوار (R^2=۰/۹۸, P<۰/۰۱) و زیرحوضه شکرعلی‌چای (P<۰/۰۱ , R^2=۰/۹۹) است (جدول ۶).

جدول ۳- ماتریس همبستگی ضریب رواناب و برخی ویژگی‌های خاک در زیرحوضه آلانق در استان آذربایجان‌شرقی

ویژگی‌های خاک	شن	سیلت	رس	سنگریزه	ماده آلی	آهک	جرم مخصوص ظاهری	پایداری خاکدانه	اندازه خاکدانه	هدایت هیدرولیکی	هورتون	گراولیوس	تراکم آبراهه	شیب	ضریب رواناب
شن	۱														
سیلت	-۰/۷۷**	۱													
رس	-۰/۸**	۰/۲۵	۱												
سنگریزه	۰/۵۵**	-۰/۱۶	-۰/۶۹**	۱											
ماده آلی	۰/۸۰**	-۰/۳۰	-۰/۹۳**	۰/۷۶**	۱										
آهک	۰/۸۶**	-۰/۴۳	-۰/۹۱**	۰/۷۸**	۰/۹۴**	۱									
جرم مخصوص ظاهری	-۰/۶۶**	۰/۲۰	۰/۸۲**	-۰/۸۲**	-۰/۹۲**	-۰/۸۸**	۱								
پایداری خاکدانه	۰/۹۰**	-۰/۴۸*	-۰/۹۳**	۰/۶۱**	۰/۹۱**	۰/۹۲**	-۰/۷۶**	۱							
اندازه خاکدانه	۰/۷۶**	-۰/۳۲	-۰/۸۷**	۰/۸۲**	۰/۹۱**	۰/۹۰**	-۰/۹۱**	۰/۸۳**	۱						
هدایت هیدرولیکی	۰/۸۷**	-۰/۴۱	-۰/۹۴**	۰/۶۴**	۰/۹۰**	۰/۹۲**	-۰/۷۹**	۰/۹۶**	۰/۸۸**	۱					
هورتون	-۰/۵۲*	۰/۳۴	۰/۴۸*	-۰/۷۲**	-۰/۵۶**	-۰/۵۷**	۰/۶۰**	-۰/۴۴*	-۰/۷۴**	-۰/۵۰*	۱				
گراولیوس	۰/۵۶**	-۰/۳۲	-۰/۵۷**	۰/۴۱	۰/۴۹*	۰/۵۴*	-۰/۵۰*	۰/۵۸**	۰/۵۸**	۰/۶۷**	-۰/۴۲*	۱			
تراکم آبراهه	-۰/۷۲**	۰/۳۸	۰/۷۵**	-۰/۷۲**	-۰/۸۲**	-۰/۸۱**	۰/۸۱**	-۰/۷۴**	-۰/۸۳**	-۰/۷۷**	۰/۵۷**	۰/۳۷	۱		
شیب	-۰/۶۹**	۰/۳۴	۰/۷۴**	-۰/۶۴**	-۰/۸۱**	-۰/۷۹**	۰/۸۴**	-۰/۷۶**	-۰/۷۸**	-۰/۷۷**	۰/۴۷*	-۰/۴۵**	۰/۸۰**	۱	
ضریب رواناب	-۰/۷۲**	۰/۲۷	۰/۸۴**	-۰/۸۳**	-۰/۹۵**	-۰/۹**	۰/۹۰**	-۰/۸۰**	-۰/۹۳**	-۰/۸۲**	۰/۶۲**	-۰/۴۹*	۰/۸۲**	۰/۸۳**	۱

** معنی‌دار با احتمال ۹۹ درصد

جدول۴- ماتریس همبستگی ضریب رواناب و برخی ویژگی‌های خاک در زیرحوضه لیوار در استان آذربایجان شرقی

ویژگی‌های خاک	شن	سیلت	رس	سنگریزه	ماده آلی	آهک	جرم مخصوص ظاهری	پایداری خاکدانه	اندازه خاکدانه	هدایت هیدرولیکی	هورتون	گراولیوس	تراکم آبراهه	شیب	ضریب رواناب
شن	۱														
سیلت	-۰/۹۹**	۱													
رس	-۰/۹۹**	۰/۹۸**	۱												
سنگریزه	۰/۹۵**	-۰/۹۴**	-۰/۹۵**	۱											
ماده آلی	۰/۸۶**	-۰/۸۴**	-۰/۸۷**	۰/۸۴**	۱										
آهک	۰/۸۷**	-۰/۸۷**	-۰/۸۸**	۰/۹۵**	۰/۷۷**	۱									
جرم مخصوص ظاهری	۰/۲۹	-۰/۳۲	-۰/۲۵	۰/۲۷	۰/۳۸	۰/۲۲	۱								
پایداری خاکدانه	۰/۹۴**	-۰/۹۲**	-۰/۹۵**	۰/۹۲**	۰/۹۳**	۰/۸۵**	-۰/۲۹	۱							
اندازه خاکدانه	۰/۹۵**	-۰/۹۳**	-۰/۹۶**	۰/۹۰**	۰/۸۳**	۰/۸۱**	-۰/۱۳	۰/۹۳**	۱						
هدایت هیدرولیکی	۰/۹۱**	-۰/۹۱**	-۰/۹۶**	۰/۹۵**	۰/۸۲**	۰/۹۵**	-۰/۲۹	۰/۸۸**	۰/۸۵**	۱					
هورتون	-۰/۹۴**	۰/۹۳**	۰/۹۵**	-۰/۹۷**	-۰/۸۲**	-۰/۹۴**	-۰/۲۰	-۰/۹۲*	-۰/۹۲**	-۰/۹۶*	۱				
گراولیوس	۰/۹۵**	-۰/۹۴**	-۰/۹۶**	۰/۹۴**	۰/۹۲**	۰/۸۶**	۰/۲۶	۰/۹۷**	۰/۹۴**	۰/۹۰**	-۰/۹۳**	۱			
تراکم آبراهه	-۰/۹۳**	۰/۹۱**	۰/۹۵**	-۰/۹۳**	-۰/۸۹**	-۰/۸۹**	-۰/۲۲	-۰/۹۶**	-۰/۹۵**	-۰/۹۲**	۰/۹۳**	-۰/۹۶**	۱		
شیب	-۰/۹۷**	۰/۹۵**	۰/۹۸**	-۰/۹۲**	-۰/۸۹**	-۰/۸۳**	۰/۱۹	-۰/۹۶**	-۰/۹۸**	-۰/۸۷**	۰/۹۳*	-۰/۹۷**	۰/۹۵**	۱	
ضریب رواناب	-۰/۹۳**	۰/۹۲**	۰/۹۵**	-۰/۹۱**	-۰/۹۴**	-۰/۸۳**	۰/۲۷	-۰/۹۸**	-۰/۹۳**	-۰/۸۷**	۰/۹۰**	-۰/۹۷**	۰/۹۶**	۰/۹۷**	۱

** معنی دار با احتمال ۹۹ درصد

جدول ۵- ماتریس همبستگی ضریب رواناب و برخی ویژگی‌های خاک در زیرحوضه شکرعلی چای در استان آذربایجان‌شرقی

ویژگی‌های خاک	شن	سیلت	رس	سنگریزه	ماده آلی	آهک	جرم مخصوص ظاهری	پایداری خاکدانه	اندازه خاکدانه	هدایت هیدرولیکی	هورتون	گراولیوس	تراکم آبراهه	شیب	ضریب رواناب
شن	۱														
سیلت	-۰/۹۱**	۱													
رس	-۰/۹۶**	۰/۷۷**	۱												
سنگریزه	۰/۹۸**	-۰/۸۸**	-۰/۹۶**	۱											
ماده آلی	۰/۹۵**	-۰/۸۵**	-۰/۹۳**	۰/۹۳**	۱										
آهک	۰/۹۶**	-۰/۸۳**	-۰/۹۶**	۰/۹۶**	۰/۹۵**	۱									
جرم مخصوص ظاهری	۰/۳۶	-۰/۱۳	-۰/۴۸*	۰/۳۸	۰/۳۹	۰/۳۶	۱								
پایداری خاکدانه	۰/۹۳**	-۰/۷۸**	-۰/۹۵**	۰/۹۲**	۰/۹۰**	۰/۹۵**	۰/۳۶	۱							
اندازه خاکدانه	۰/۸۱**	-۰/۷۲**	-۰/۸۰**	۰/۸۰**	۰/۸۵**	۰/۸۴**	۰/۲۷	۰/۸۰**	۱						
هدایت هیدرولیکی	۰/۹۶**	-۰/۹۰**	-۰/۹۶**	۰/۹۸**	۰/۹۶**	۰/۹۶**	۰/۳۵	۰/۹۳**	۰/۸۳**	۱					
هورتون	-۰/۹۶**	-۰/۸۶**	۰/۹۴**	-۰/۹۵**	-۰/۹۷**	-۰/۹۴**	-۰/۳۵	-۰/۸۹*	-۰/۸۴**	-۰/۹۷**	۱				
گراولیوس	۰/۹۳**	-۰/۷۷**	-۰/۹۵**	۰/۹۴**	۰/۹۳**	۰/۹۶**	۰/۳۷	۰/۹۵**	۰/۸۳**	۰/۹۴**	-۰/۹۳*	۱			
تراکم آبراهه	-۰/۹۵**	۰/۸۳**	۰/۹۳**	-۰/۹۵**	-۰/۹۵**	-۰/۹۶**	-۰/۳۹	-۰/۹۴**	-۰/۸۱**	-۰/۹۵**	۰/۹۳**	-۰/۹۶**	۱		
شیب	-۰/۹۲**	۰/۷۷**	۰/۹۴**	-۰/۸۹**	-۰/۹۶**	-۰/۹۵**	-۰/۳۲	-۰/۹۵**	-۰/۸۱**	-۰/۹۲**	۰/۹۳**	-۰/۹۶**	۰/۹۵**	۱	
ضریب رواناب	-۰/۹۸**	۰/۸۷**	۰/۹۶**	-۰/۹۸**	-۰/۹۵**	-۰/۹۷**	-۰/۳۷	-۰/۹۳**	-۰/۸۳**	-۰/۹۸**	۰/۹۶**	-۰/۹۴**	۰/۹۴**	۰/۹۳**	۱

** معنی دار با احتمال ۹۹ درصد

جدول۶- نتایج ضرایب رگرسیونی رابطه بین ضریب رواناب و ویژگی‌های خاک در هر یک از زیرحوضه‌های مورد مطالعه در استان آذربایجان‌شرقی

زیرحوضه	ویژگی‌های خاک	ضرایب غیراستاندارد		ضرایب استاندارد	t	معنی‌داری
		B	انحراف معیار	*Beta*		
آلانق	ماده آلی	-۰/۲۱	۰/۰۹	-۰/۵۴	-۲/۳۰	۰/۰۵
	جرم مخصوص ظاهری	۰/۸۴	۰/۲۹	۰/۵۷	-۲/۸۶	۰/۰۲
لیوار	ماده آلی	-۰/۰۶۹	۰/۰۶	-۰/۲۲	-۱/۱۰	۰/۰۳
شکرعلی‌چای	ماده آلی	۰/۰۵	۰/۲۳	۰/۲	۰/۲۱	۰/۰۱

بررسی رابطه کلی بین ضریب رواناب و ویژگی‌های زیرحوضه‌ها (شیب، ضریب شکل، تراکم آبراهه و خاک) نشان داد که ضریب رواناب تحت تاثیر ماده آلی (r=-۰/۸۶, P<۰/۰۱)، اندازه خاکدانه (۰/۰۱ , r=-۰/۶۸P<) و تراکم آبراهه (r=۰/۴۹, P<۰/۰۱) است (جدول ۷). مقادیر بالاتر تراکم زهکشی، نشان‌دهنده سرعت نفوذ کمتر و رواناب سطحی بیشتر است. تراکم زهکشی بالا، اغلب به انتقال رسوب بالا از طریق شبکه آبراهه‌ای، شیب تند و تغییر نامناسب کاربری اراضی مربوط است (Dragicevig و همکاران، ۲۰۱۸). در زیرحوضه‌های مورد بررسی، مرتع و زراعت دیم از کاربری‌های غالب زمین هستند. پایداری ساختمان خاک و تراکم زهکشی به ماده آلی و نفوذپذیری خاک مرتبط است. تقویت ماده آلی، ساختمان و نفوذپذیری خاک نقشی مهم در افزایش ذخیره آب بارندگی و کاهش تولید رواناب دارد. جلوگیری از چرای بی‌رویه دام و اجرای چرای مناسب و به موقع می‌تواند در کنار تقویت پوشش گیاهی، در بهبود ماده آلی خاک و جلوگیری از تراکم خاک در اثر رفت و آمد دام موثر باشد. با توجه به نقش موثر پوشش گیاهی مرتعی برای مهار رواناب، جلوگیری از تغییر کاربری مراتع به زراعت بسیار مهم است. اهمیت این موضوع در اراضی با شیب تند بسیار بارز است (Vaezi و همکاران، ۲۰۱۷). در زراعت‌های دیم، نخستین گام برای کاهش تولید رواناب، اصلاح جهت شخم و به کارگیری روش کشت روی خطوط تراز است. سوزاندن بقایای گیاهی برای انجام کشت آسان در این اراضی، مهمترین اقدام تخریب زمین بوده که منجر به تشدید تولید رواناب و فرسایش خاک می‌شود. از این رو جلوگیری از سوزاندن بقایای گیاهی سال پیش برای جلوگیری از تخریب خاک و افت باروری آن ضروری است. در کنار آن استفاده از روش‌های خاکورزی حفاظتی نقش اساسی در افزایش ماده آلی و بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک (ساختمان و نفوذپذیری) ایفا می‌کند.

جدول۷- نتایج ضرایب رگرسیونی رابطه کلی بین ضریب رواناب و ویژگی‌های زیرحوضه‌های مورد مطالعه در استان آذربایجان‌شرقی

زیرحوضه	ویژگی‌های خاک	ضرایب غیراستاندارد		ضرایب استاندارد	t	معنی‌داری
		B	انحراف معیار	*Beta*		
کل زیرحوضه‌ها	ماده آلی	-۱/۴۶	۰/۰۳	-۰/۴۲	-۴/۳	۰/۰۰۱
	اندازه خاکدانه	-۰/۳۶	۰/۰۹	-۰/۴۸	-۳/۸۱	۰/۰۰۱
	تراکم آبراهه	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۶۰	۳/۳۵	۰/۰۰۲

نتیجه‌گیری

بررسی عوامل موثر در افزایش ضریب رواناب به‌عنوان یکی از عوامل فرسایش در حوزه‌های آبخیز اهمیت زیادی دارد. در میان عوامل موثر در تولید رواناب، ویژگی‌های خاک نیز نقش مهمی در تولید رواناب دارند. نتایج این مطالعه نشان داد ضریب رواناب تحت تاثیر ویژگی‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی خاک (بافت خاک، جرم مخصوص ظاهری، ماده آلی، آهک، پایداری ساختمان و هدایت هیدرولیکی) است. توزیع اندازه ذرات خاک و مقدار سنگریزه نقش مهمی در نفوذپذیری خاک و تولید رواناب دارند. خاک‌های برخوردار از ذرات شن و سنگریزه، نسبت به خاک‌های

با درصد ذرات ریز بالا (رس و سیلت) از نفوذپذیری بیشتری برخوردارند و توان تولید رواناب کمتری دارند. آهک در کنار ماده آلی، نقش سازنده‌ای در هماوری ذرات خاک و افزایش پایداری خاکدانه‌ها دارد. با افزایش پایداری ساختمان خاک، سرعت نفوذ آب در خاک افزایش یافته و تولید رواناب کاهش می‌یابد. نتایج تجزیه رگرسیونی بین ضریب رواناب و ویژگی‌های خاک در هر یک از زیرحوضه‌های مورد مطالعه نشان داد در میان ویژگی‌های مورد مطالعه، ماده آلی بیشترین تاثیر را در کاهش ضریب رواناب دارد (R^2=۰/۹۴, P<۰/۰۱). بررسی رابطه کلی بین ضریب رواناب و ویژگی‌های زیرحوضه‌ها (شیب، ضریب شکل، تراکم آبراهه و خاک) نشان داد که ضریب رواناب تحت تاثیر ماده آلی، اندازه خاکدانه و تراکم آبراهه است (R^2=۰/۹۳, P<۰/۰۱). جلوگیری از چرای بی‌رویه در مراتع، کاهش تغییر کاربری مراتع به زراعت دیم و جلوگیری از سوزاندن بقایای گیاهی در زراعت‌های دیم، نقش مهمی تقویت ماده آلی خاک و افزایش تشکیل خاکدانه‌ها دارد که عاملی مهم در مهار تولید رواناب است. به‌کارگیری روش‌های خاکورزی حفاظتی نیز در کنار تقویت ماده آلی خاک در کاهش فرسایش خاکورزی سودمند خواهد بود.

منابع مورد استفاده

1.Barzegar, A., R. Ebnejalal and A. Savaedi. 2011. Advanced soil physics. Shahid Chamran University Press, 434 pages (in Persian).

2. Behtari, M. and A.R. Vaezi. 2018. Effect of initial moisture on runoff generation and soil loss in different soil textures under simulated rainfall condition. Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering, 11 (39): 11-21 (in Persian).

3. Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. Agronomy Journal, 54: 464-465.

4. Bulgakov, D.S., D.I. Rukhovich, E.A. Shishkonakova and E.V. Vil'chevskaya. 2016. Separation of agroclimatic areas for optimal crop growing within the framework of the natural–agricultural zoning of Russia. Eurasian Soil Science, 49(9):1049–1060.

5. Chow, V. T. 2010. Handbook of applied hydrology. McGraw Hill Education, 46 pages.

6. Dragicevig, N., B. Karleusa and N. Ozanic. 2018. Improvement of drainage density parameter estimation within erosion potential method. Proceedings, 2(620): 1-8.

7. Eslami, S.F. and A.R. Vaezi. 2016. Runoff and sediment production under the similar rainfall events in different aggregate size of an agricultural soil. Journal of Water and Soil, 29(6): 1590-1600.

8. Greenbaum, N., A. Ben-zri, I. Haviv and Y. Ennel. 2006. The hydrology and pale hydrology of the Dead Sea tributaries. Geological Society of America, 30 pages.

9. Hong, Y. and Q. Ran. 2018. Influence of soil properties on water and sediment transport during the revegetation: a case study at a small catchment in the loess plateau. Hydrology, 18(7): 134-142.

10. Jourgholami, M. and E.R. Labelle. 2020. Effects of plot length and soil texture on runoff and sediment yield occurring on machine-trafficked soils in a mixed deciduous forest. Annals of Forest Science, 77(19): 225-234.

11. Kahlon, M.S., R. Lal and M. Ann-Varughese. 2013. Twenty-two years of tillage and mulching impacts on soil physical characteristics and carbon sequestration in Central Ohio. Soil Tillage Research, 126:151–158

12. Karamage, F., C., Zhang, X. Fang, L., Nahayo, A. Kayiranga and J.B. Nesengiyumga. 2017. Modeling rainfall-runoff response to land use and land cover change in Rwanda (1990–2016). Water, 9(147): 1-24.

13.Kavian, A., A. Azmoudeh, K. Soleymani and Gh. Vahabzadeh. 2010. Effect of soil properties on runoff and soil erosion in frost lands. Journal of Range and Watershed Management, 63(1): 89-104 (in Persian).

14. Khaksarfard, M. 1994. Water losses and methods of reduce it. National Journal of Water and Sewage, 9: 25-29 (in Persian).

15. Klute, A. 1986. Methods of soil analysis. Part 1: physical and mineralogical methods. American Society of Agronomy, Madison, WI, 1188 pages.

16. Lotfalian, M., T. Yousef Bababei and H. Akbari. 2019. Impacts of soil stabilization treatments on reducing soil loss and runoff in cutslope of forest roads in Hyrcanian forests. Catena, 172: 158-162.

17. Morvan, X., S. Verbeke, A. Laratte and R. Schneider. 2018. Impact of recent conversion to organic farming on physical properties and their consequences on runoff, erosion and crusting in a silty soil. Catena, 165: 398-407.

18. Mousavi, S.A., A. Ranjbar Fordoei and S.J. Sadatinejad. 2018. Assessment of spatial distribution of soil erodibility in Khoor and Biabanak regions. Iranian Journal of Ecohydrology, 4(2): 561-571 (in Persian).
19. Page, A.L. 1982. Method of soil analysis. Part 2: chemical and microbiological properties. Soil Science Society of American, Madison, Wisconsin, USA.
20. Parsakhoo, A., M. Lotfalian, A. Kavian and S.A. Hosseini. 2014. Assessment of soil erodibility and aggregate stability for different parts of a forest road. Journal of Forestry Research, 25(1): 193-200.
21. Refahi, H. 2015. Soil erosion and its control. University of Tehran Press, 674 pages (in Persian).
22. Rodriguez, M., N. Ohlanders, F. Pellicciotti, M.W. Williams and J. McPhee. 2016. Estimating runoff from a glacierized catchment using natural tracers in the semi-arid Andes cordillera. South American Hydrology, 30(20): 3609-3626.
23. Tangchuan, L., S. Mingan, J. Yuhua, J. Xiaoxu and H. Laiming. 2018. Profile distribution of soil moisture in the gully on the northern loess plateau, China. Catena, 171:460-468.
24. Todd, D. 2004. Ground water hydrology. Wiely and sons Inc., 656 pages.
25. Vaezi, A.R., S.H.R. Sadeghi, H.A. Bahrami and M.H. Mahdian. 2008. Modeling the USLE K-factor for calcareous soils in northwestern Iran. Geomorphology, 97 (3-4): 414-423.
26. Vaezi, AR., H. Gharedaghli and S. Marzavan. 2016. The role of slope steepness and soil properties in rill erosion in the hillslopes, a case study: Taham Chai Catchment, NW Zanjan). Journal of Water and Soil Conservation, 23(4): 83-92 (in Persian).
27. Vaezi, A.R., E. Zarrinabadi and K. Auerswald. 2017. Interaction of land use, slope gradient and rain sequence on runoff and soil loss from weakly aggregated semi-arid soils. Soil and Tillage Research, 172: 22-31
28. Vaezi, A.R. and Y. Salehi. 2021. The role of physicochemical soil properties in the gully formation in rainfed wheat lands, northwest of Iran. Iran Watershed Management, 14(51): 1-10.
29. Vaezi, A.R., S.F. Eslami and S. Keesstra. 2018. Interrill erodibility in relation to aggregate size class in a semi-arid soil under simulated rainfalls. Catena, 167: 385-398.
30. Vaezi, A.R. 2019. Soil and plant system. Zanjan Jahad Daneshgahi Press, 285 pages (in Persian).
31. Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science, 37(1): 29-38.
32. Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. In: Agriculture Handbook No. 537, USDA, Washington, DC, 58 pages.
33. Yoder, R.E. 1936. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. Journal of American Society of Agronomy, 28: 337–351
34. Yousofvand, SH., M. Habibnejad, K. Soleimani and M. Rezaie Pasha. 2013. Lithological and geological impacts on gully erosion, case study: Seif Abad Watershed, Lorestan. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science, 17(65): 139-151 (in Persian).
35. Zarea Khormizi, M., A. Najafinejad, N. Noura and A. Kavian. 2013. The effects of soil properties on runoff and soil loss generation in the farmlands of the Chehel-Chai Watershed, Golestan Province. Journal of Water and Soil Science, 17 (64):173-183 (in Persian).
36. Zhang, J., L. Adrian Bruijnzee, C.M. Quiñones, R. Tripoli, V.B. Asio and H.J. van Meerveld. 2019. Soil physical characteristics of a degraded tropical grassland and a reforest: implications for runoff generation. Geoderma, 333:163-177.

DOI: 10.22092/ijwmse.2021.354836.1903

Investigating the effect of soil properties on runoff production in three sub-basins in northwest of Iran

Ali Reza Vaezi [1] and Ouldouz Bakhshi Rad [2] [*]
[1] Professor at Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan and [2] Ph.D. Student of Soil Science, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan.

Abstract
Runoff is one of the major components of the hydrological cycle, which leads to soil loss from steep slopes and sediment production in watersheds. Investigation of effective factors in runoff coefficient is important in watershed management. The aim of this study was to investigate the effect of soil properties on runoff coefficient in Alanagh, Livar and Shekaralichay sub-basins in East Azarbaijan Province. After soil sampling, some physicochemical properties were measured and runoff data were obtained from the relevant stations. Based on the results, runoff coefficient in the studied sub-basins is affected by various soil properties such as particle size distribution, gravel, organic matter, lime, aggregate size and stability, and saturated hydraulic conductivity. As the percentage of sand and gravel increases and the percentage of clay and silt decreases, soil permeability increases and runoff coefficient decreases. Organic matter and lime are two important factors in the aggregate formation and stability, and improving the saturation hydraulic conductivity which plays a key role in reducing runoff production. The results of multiple linear regression analysis showed that runoff production in the Alangh sub-basin has a significant relationship with soil organic matter ($r=-0.95$, $p<0.01$) and bulk density ($r=0.9$, $p<0.01$). Organic matter content has the main role in runoff production in Livar sub-basin ($r=-0.94$, $p<0.01$) and Shekaralichay sun-basin ($r=-0.95$, $p<0.01$). Runoff coefficient in all sub-basins in the area is strongly related to organic matter content ($r=-0.86$, $p<0.01$), soil structure stability ($r=-0.68$, $p<0.01$) and stream density ($r=0.49$, $p<0.01$). This study showed that preserving and increasing soil organic matter can be an effective strategy in conserving rainwater and reducing runoff by improving soil structure and permeability.

Keywords: Lime, Organic matter, Soil permeability, Soil structure stability, Watershed management

[*] Corresponding author: o.bakhshi@znu.ac.ir