

تغییرات مکانی رواناب در بخشی از خاک‌های آهکی ناحیه نیمه‌خشک در شمال غربی ایران

*علیرضا واعظی^۱، حسینعلی بهرامی^۲، سیدحمیدرضا صادقی^۳ و محمدحسین مهدیان^۴

^۱استادیار گروه خاک‌شناسی، دانشگاه زنجان، ^۲دانشیار گروه خاک‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، ^۳دانشیار گروه آب‌خیزداری، دانشگاه تربیت مدرس
^۴استادیار پژوهش سازمان تحقیقات، ترویج و آموزش کشاورزی، وزارت کشاورزی
تاریخ دریافت: ۸۶/۱۱/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۸۷/۷/۱۶

چکیده

رواناب نقشی مهم در کاهش رطوبت خاک و عملکرد محصول در خاک‌های نواحی نیمه‌خشک دارد. بنابراین بررسی تغییرات مکانی رواناب و عوامل موثر بر آن برای ارائه راهکاری جهت کاهش رواناب اهمیت بسیار دارد. این پژوهش بر اساس اندازه‌گیری‌های صحرائی رواناب به منظور تعیین تغییرات مکانی رواناب و عوامل موثر بر آن در خاک‌های آهکی ناحیه نیمه‌خشک انجام گرفت. آزمایش در بخشی از زمین‌های دیم شهرستان هشتروند در جنوب استان آذربایجان شرقی در سال ۸۵-۱۳۸۴ انجام گرفت. منطقه مورد بررسی به ابعاد ۳۰×۳۰ کیلومتر بود که ۳۶ شبکه به ابعاد ۵×۵ کیلومتر در آن در نظر گرفته شد. در هر شبکه سه کرت استاندارد با فاصله ۱/۲ متر ایجاد و مقدار رواناب در رخدادهای طبیعی باران اندازه‌گیری شد. براساس نتایج، خاک‌های منطقه با بافت لوم رسی و دارای ۱۲/۶۷ درصد آهک هستند. طی دوره دو ساله از ۹۶ رخداد باران با مدت بیشتر از ۳۰ دقیقه، ۴۱ رخداد در تولید رواناب در کرت‌ها موثر بود. مقدار رواناب سالانه در ۳۶ شبکه مورد بررسی از ۱۳۷/۱۲۳ تا ۴۸۲/۰۷۲ لیتر در کرت تغییر کرد و میانگین آن ۳۲۷/۱۵۷ لیتر در کرت بود. نتایج نشان داد که از بین ویژگی‌های خاک تنها تأثیر شن درشت، ماده آلی و آهک بر رواناب معنی‌دار ($R^2=0/63, P<0/001$) است. رواناب به‌طور مکانی در سطح منطقه تغییر کرد. تغییرپذیری مکانی رواناب با مدلی کروی با شعاع تأثیر ۲/۴۲ کیلومتر شبیه‌سازی شد. الگوی تغییرات مکانی رواناب شبیه تغییرات مکانی آهک (کروی با شعاع تأثیر ۲/۴۲ کیلومتر) در سطح منطقه بود. با افزایش آهک در سطح منطقه، مقدار رواناب به‌طور مکانی افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: تغییرات مکانی، خاک آهکی، رواناب، ناحیه نیمه‌خشک

مقدمه

هنگامی که شدت نفوذ آب در خاک کمتر از شدت بارندگی باشد، بخشی از بارندگی در سطح خاک جمع می‌شود و در صورتی که سطح خاک شیب‌دار باشد، بخشی

از آن رواناب^۱ را به وجود می‌آورد (راسول، ۱۹۹۳). بررسی‌ها نشان می‌دهد که بافت خاک از مهم‌ترین عوامل موثر بر تولید رواناب است (روبیو و همکاران، ۱۹۹۷). خاک شنی، به دلیل داشتن سرعت نفوذ آب بیشتر، رواناب کمتری تولید می‌کند (سانتوس و همکاران، ۲۰۰۳). در

*- مسئول مکاتبه: vaezi.alireza@gmail.com

برقرار کرد که با تغییرنا^۲ بیان می‌شود (حسنی‌پاک، ۱۹۹۸). تغییرنا عبارت از متوسط مربع اختلاف میان کمیت‌هاست. اگر فاصله دو نمونه کنار هم h باشد، مقدار تغییرنا برابر خواهد بود با (یاتس و واریک، ۱۹۹۲):

$$\gamma(h) = \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x+h) - Z(x)]^2 \quad (1)$$

که در آن: $\gamma(h)$ مقدار تغییرنا یا واریانس متغیر، $Z(x)$ مقدار متغیر در نقطه x ، $Z(x+h)$ مقدار متغیر در فاصله h از x و N تعداد جفت‌های مقایسه‌ای است. هر قدر فاصله نمونه‌ها بیشتر باشد، واریانس بین آن‌ها و مقدار تغییرنا بیشتر می‌شود. بنابراین با افزایش فاصله، تفاوت متغیر در دو نقطه افزایش می‌یابد. تغییرنا دارای اجزا مختلفی شامل شعاع تأثیر^۳ (R)، اثر قطعه‌ای^۴ (C_0)، آستانه^۵ (C_0+C_1)، خطا^۶ (E) و ضریب تعیین^۷ (R^2) است. شعاع تأثیر عبارت از فاصله‌ای است که در آن نمونه‌ها به هم وابستگی داشته و در خارج از آن رفتاری تصادفی دارند. اثر قطعه‌ای و آستانه بر اساس واریانس یا نیم‌واریانس نمونه‌ها تعیین می‌شود. هنگامی که دو نمونه برداشت شده از یک نقطه دارای واریانس بزرگتر از صفر باشد (شعاع تأثیر). مقدار آن نشان‌دهنده اثر قطعه‌ای می‌باشد. آستانه نیز نشان‌دهنده واریانس در فاصله‌ای که متغیر دارای رفتار مکانی است، می‌باشد (وانگ و همکاران، ۲۰۰۱). برای تغییرنمای هر ویژگی می‌توان مدل‌های نظری مختلفی را برازش داد. برخی از این مدل‌ها مانند مدل خطی و سهمی گونه بدون آستانه هستند و برخی دیگر مانند مدل نمایی، کروی و گوسی دارای آستانه می‌باشند (پلهمن، ۱۹۹۳). خطای تغییرات مکانی هر ویژگی را می‌توان از نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه $(E = \frac{C_0}{C_0 + C_1})$ تعیین کرد. میزان برآزش مدل بر تغییرنا نیز با ضریب تبیین بیان می‌شود.

خاک‌های نواحی نیمه‌خشک بر اثر تشکیل پوسته‌های با نفوذپذیری پایین، رواناب افزایش می‌یابد (رائو و همکاران، ۱۹۹۸). ماده‌آلی نیز با افزایش نفوذپذیری، رواناب را کاهش می‌دهد (سیگریست و همکاران، ۱۹۹۸). گزارش‌ها نشان می‌دهد که آهک نفوذپذیری را در پهنه‌های مارنی افزایش می‌دهد (پیروان و اسدی، ۲۰۰۵).

تولید رواناب اثر مهمی در کاهش ذخیره رطوبتی خاک و افت محصول به‌ویژه در اراضی دیم نواحی نیمه‌خشک دارد (یونگر و همکاران، ۱۹۹۸). نزدیک به ۳۹ درصد مساحت کشور در ناحیه نیمه‌خشک با میانگین بارندگی سالانه بین ۲۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر قرار دارد (خاکسار فرد، ۱۹۹۵). خاک‌های واقع در این نواحی اغلب آهکی هستند. حدود یک سوم از کل بارندگی سالانه در ایران (۱۳۰ میلیارد مترمکعب) به‌صورت رواناب از منطقه تحت بارندگی خارج می‌شود (رفاهی، ۱۹۹۶). مهار رواناب‌ها در مناطق نیمه‌خشک، که تولید محصولات کشاورزی کاملاً وابسته به بارندگی می‌باشد، اهمیت زیادی دارد. تولید رواناب در نقاط مختلف یک حوزه آبخیز متفاوت است. تصور یکنواختی تغییرات رواناب در یک منطقه موجب می‌شود مدیریتی یکسان برای مهار آن در کل منطقه به‌کار گرفته شود. این کار همان‌طور که در گزارش‌های مختلف (بوچی و همکاران، ۲۰۰۰) نیز بیان شده‌است، به نوبه خود افزایش هزینه‌ها را به دنبال دارد. از این رو آگاهی از چگونگی تغییرات مکانی رواناب و عوامل موثر بر آن در برنامه‌ریزی درست اهمیت بسیاری دارد (سری و همکاران، ۲۰۰۴ و یانگ و همکاران، ۲۰۰۵). بنابراین بررسی تغییرات مکانی رواناب و عوامل موثر بر آن به‌منظور ارائه راهکاری برای کاهش آن بسیار مهم می‌باشد.

زمین‌آمار یا ژئوستاتستیک^۱ روشی برای بررسی تغییرات مکانی هر ویژگی (مثل رواناب) است. در این روش بین مقادیر مختلف یک ویژگی با فاصله و جهت قرارگیری نمونه‌های آن، نسبت به هم رابطه‌ای می‌توان

- 2- Variogram
- 3- Effective Range
- 4- Nugget Effect
- 5- Sill
- 6- Error
- 7- Determination Coefficient

- 1- Geostatistics

مواد و روش‌ها

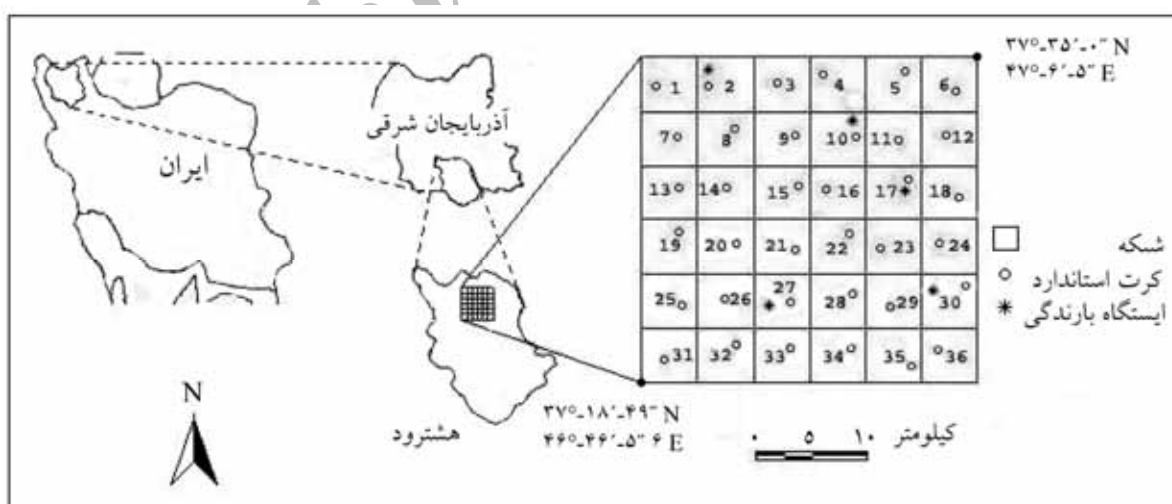
ویژگی‌های منطقه مورد بررسی: آزمایش در منطقه‌ای کشاورزی به مساحت ۹۰۰ کیلومتر مربع (به ابعاد ۳۰×۳۰ کیلومتر) در شمال شهرستان هشتروند واقع در جنوب استان آذربایجان شرقی طی سال ۸۵-۱۳۸۴ انجام گرفت. در سطح منطقه ۳۶ شبکه به ابعاد ۵ × ۵ کیلومتر در نظر گرفته شد. برای اندازه‌گیری مقدار رواناب، در هر شبکه کرت‌های فرسایشی^۳ به صورت کرت استاندارد^۴ (زمین با شیب ۹ درصد که در جهت شیب شخم خورده و بدون پوشش گیاهی و بقایای آن بوده و دارای طول ۲۲/۱ متر و عرض ۱/۸۳ متر می‌باشد) احداث شدند. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه و کرت‌های اندازه‌گیری رواناب را نشان می‌دهد. منطقه مورد بررسی دارای آب و هوای نیمه‌خشک سرد با میانگین بارندگی سالانه ۳۴۰ میلی‌متر است. خاک‌ها عمدتاً در شیب‌های بین ۵ تا ۱۵ درصد قرار داشته و اغلب زیرکشت دیم گندم بودند (حکیمی، ۱۹۸۶). بازدیدهای اولیه نشان داد که شخم در جهت شیب عامل اصلی تولید رواناب در خاک‌های تحت کشت است.

یکی از فواید بررسی تغییرات مکانی هر ویژگی، امکان میان‌یابی مکانی^۱ آن است. در این روش مقدار یک کمیت در نقاطی با مختصات معلوم بر اساس مقدار همان کمیت در نقاط اندازه‌گیری شده و با مختصات معلوم، واقع در درون دامنه‌ای که همبستگی مکانی وجود دارد، برآورد می‌شود. کریجینگ^۲ رایج‌ترین روش تخمین زمین‌آمار است که بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار است و به صورت زیر بیان می‌شود (پلهمن، ۱۹۹۳):

$$Z_v^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_{vi} \quad (2)$$

که در آن Z_v^* مقدار برآورد شده متغیر، λ_i وزن متغیر مربوط به نمونه i ام و Z_{vi} مقدار نمونه i ام است.

در پژوهش‌های مختلف، تغییرپذیری مکانی فرسایش و فرسایش‌پذیری خاک بیان شده است (هویوس، ۲۰۰۵؛ ویه، ۲۰۰۲). تاکنون مطالعه‌ای دقیق در مورد تغییرات مکانی رواناب و عوامل موثر بر آن در خاک‌های آهکی نواحی نیمه‌خشک انجام نگرفته است. این پژوهش براساس اندازه‌گیری‌های صحرایی رواناب تحت رخدادهای طبیعی باران به منظور تعیین تغییرات مکانی رواناب و عوامل موثر بر آن در خاک‌های آهکی ناحیه نیمه‌خشک انجام گرفت.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و کرت‌های اندازه‌گیری رواناب.

اندازه‌گیری رواناب و تعیین تغییرات مکانی آن: در هر شبکه، کرت‌های استاندارد مطابق رابطه جهانی فرسایش خاک (USLE)^۱ ایجاد شدند (ویشمایر و اسمیت، ۱۹۷۸). برای این منظور ابتدا نقشه شیب ۹ درصد منطقه با نرم‌افزار ۳، Ilwis تهیه و با بازدید از هر شبکه زمین‌های داری شیب واقعی ۹ درصد مشخص شدند. از بین زمین‌های مذکور، زمینی با شیب رو به جنوب و در حال آیش انتخاب و موقعیت جغرافیایی آن با سیستم مکان‌یاب جهانی (GPS)^۲ تعیین شد. تعداد سه کرت استاندارد به‌عرض ۱/۸۳ متر و به‌طول ۲۲/۱ متر، با فاصله ۱/۲ متر از یکدیگر در هر زمین احداث و پیرامون کرت‌ها با پشته‌های خاکی به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر بسته شد، در انتهای هر کرت مخزنی با حجم ۷۰ لیتر قرار داده و مقدار رواناب حاصل از رخدادهای طبیعی باران در سال ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ اندازه‌گیری شد (رجمن و همکاران، ۱۹۹۸). برای این کار، پس از پایان هر بارندگی منجر به رواناب، ابتدا وزن و حجم مخلوط داخل مخزن‌ها اندازه‌گیری شد و برای تعیین مقدار رواناب، محتویات داخل مخزن‌ها با همزن دستی به‌صورت یکنواخت درآمد (حسین و همکاران، ۲۰۰۷). سپس نمونه ۵۰۰ میلی‌لیتری از مخلوط داخل مخزن برداشت شد و در آزمایشگاه ابتدا توزین و پس از جداسازی رسوب با کاغذ صافی، نمونه رسوب در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت خشک و سپس وزن شد (رجمن و همکاران، ۱۹۹۸). وزن آب نمونه از تفاضل وزن اولیه نمونه و وزن رسوب تعیین و از روی آن حجم آب به‌دست آمد. بدین‌ترتیب مقدار رواناب کرت از حاصل‌ضرب حجم آب نمونه و حجم کل مخلوط مخزن تعیین شد. میانگین رواناب در هر رخداد باران، از متوسط مقدار رواناب در سه کرت به‌دست آمد. مقدار رواناب سالانه از جمع کل رواناب‌های تولید شده در رخدادهای مختلف باران به‌طور جداگانه در سال ۸۵-۱۳۸۴ و تعیین شد و میانگین سالانه از متوسط

رواناب در سال ۸۵-۱۳۸۴ به‌دست آمد. برای بررسی تغییرات مکانی رواناب از روش زمین‌آمار استفاده شد. اجزای تغییرات مکانی رواناب با تغییرنما بیان شد. اجزای تغییرنمای رواناب شامل دامنه تأثیر، اثر قطعه‌ای، آستانه و خطای اندازه‌گیری تعیین و با مدل‌های تغییرنما شبیه‌سازی شدند. برای میان‌یابی مکانی و تهیه نقشه تغییرات مکانی از کریجینگ بهره گرفته شد.

تعیین توزیع مکانی باران: مقدار باران در چهار ایستگاه اندازه‌گیری باران واقع در شبکه‌های ۲، ۱۰، ۱۷ و ۲۶ اندازه‌گیری شد (شکل ۱). ایستگاه‌های اندازه‌گیری باران واقع در شبکه‌های ۲، ۱۰ و ۲۶ از نوع باران‌سنجی بودند و با استفاده از آنها، داده‌های ارتفاع باران و تاریخ بارندگی به‌دست آمد. ایستگاه اندازه‌گیری باران واقع در شبکه ۱۷ از نوع باران‌نگاری بود و براساس منحنی ارتفاع-مدت بارندگی، داده‌های مربوط به‌شدت بارندگی در هر تاریخ رخداد بارندگی به‌دست آمد. در کنار این اطلاعات، داده‌های مربوط به حداکثر شدت بارندگی و حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای باران از منحنی ارتفاع-مدت بارندگی استخراج و در تمامی ایستگاه‌های اندازه‌گیری باران، سایر انواع ریزش‌های جوی (برف و تگرگ) نیز اندازه‌گیری شد. با این وجود در این آزمایش تنها رواناب ناشی از رخدادهای باران مورد بررسی قرار گرفت و رواناب ناشی از سایر انواع ریزش‌های جوی به‌دلیل منطبق بودن روش مطالعه با شرایط رابطه جهانی فرسایش خاک USLE مطالعه نشد. تولید رواناب در هر رخداد باران، در کنار ویژگی‌های باران به ویژگی‌های خاک نیز بستگی دارد. چنانچه باران مشابهی در نقاط مختلف یک منطقه بیارد، تفاوت در تولید رواناب در نقاط مختلف منطقه، به‌دلیل تفاوت در ویژگی‌های خاک آن نقاط خواهد بود. بنابراین با توجه به اینکه تنها داده‌های مقدار (ارتفاع) باران در چهار ایستگاه اندازه‌گیری باران موجود بود، با استفاده از آنها، پراکنش ارتفاع باران در سطح منطقه بررسی شد. برای این منظور تنها رخدادهایی از باران که منجر به تولید رواناب شدند، در ایستگاه‌های مختلف اندازه‌گیری باران

1- Universal Soil Loss Equation
2- Global Position System

نسبت به هم مقایسه شدند. با توجه به نرمال بودن توزیع داده‌های باران، از آزمون دانکن جهت مقایسه تفاوت مقدار باران استفاده گردید.

تعیین ویژگی‌های خاک: ویژگی‌های آزمایشگاهی خاک در نمونه‌هایی که از عمق ۳۰ سانتی‌متر از سه نقطه در هر کرت برداشت شده بود، اندازه‌گیری شد. درصد شن درشت (۰/۱ تا ۲ میلی‌متر)، شن بسیار ریز (۰/۰۵ تا ۰/۱ میلی‌متر)، سیلت و رس، به روش پیپت (SSEW)، سنگ‌ریزه (ذرات با قطر ۲ تا ۸ میلی‌متر) به روش وزنی (گیبی و بادر ۱۹۸۰)، ماده آلی به روش والکلی بلاک (نلسون و سامر، ۱۹۸۲)، آهک به روش خنثی‌سازی با اسید (گوه و همکاران، ۱۹۹۳)، پتاسیم به روش استات آمونیوم (باتز و ریچاردز، ۱۹۹۳) تعیین شد. نفوذپذیری براساس

نتایج و بحث

نتایج بررسی کل رخدادهای باران طی دوره پژوهش نشان داد که تنها رخدادهای با مدت بیشتر از ۳۰ دقیقه در تولید رواناب در کرت‌ها موثر هستند. در حقیقت بررسی مدت بارندگی در باران‌های منجر به رواناب نشان داد که حداقل مدت بارندگی برای وقوع رواناب در خاک‌های منطقه، ۳۰ دقیقه است. جدول ۱ شدت باران و میانگین مقدار رواناب در منطقه در رخدادهای باران منجر به رواناب طی سال ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ را نشان می‌دهد.

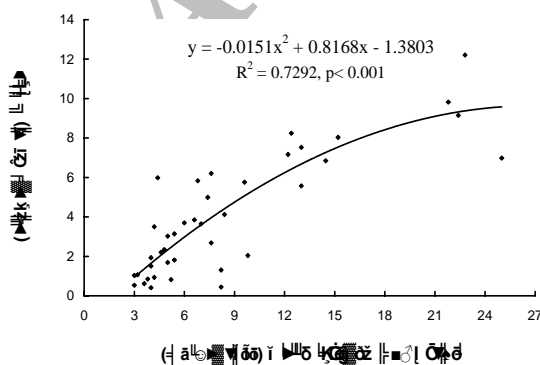
جدول ۱- شدت باران و میانگین مقدار رواناب در منطقه در رخدادهای باران منجر به رواناب طی سال ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵.

سال ۱۳۸۵			سال ۱۳۸۴		
تاریخ	شدت باران (میلی‌متر در ساعت)	میانگین رواناب (مترمکعب در هکتار)	تاریخ	شدت باران (میلی‌متر در ساعت)	میانگین رواناب (مترمکعب در هکتار)
۱۳ فروردین	۶/۳۱	۱/۳۰۵	۱۳ فروردین	۲/۲۱	۰/۵۳۲
۱۶ فروردین	۲/۵۴	۰/۸۱۹	۱۴ فروردین	۲/۶۸	۱/۰۶۵
۱۸ فروردین	۲/۱۱	۰/۹۳۰	۲۵ فروردین	۴/۰۳	۸/۰۳۳
۲۸ فروردین	۷/۸۹	۶/۸۴۲	۲۶ فروردین	۲/۷۰	۱/۰۳۴
۴ اردیبهشت	۲/۸	۱/۶۸۶	۲۷ فروردین	۳/۷۰	۲/۳۱۴
۵ اردیبهشت	۲/۶۴	۱/۵۰۴	۲۷ فروردین	۳/۳۶	۱/۸۱۲
۶ اردیبهشت	۳/۶	۳/۶۹۵	۶ اردیبهشت	۲/۵۶	۶/۲۰۱
۱۳ اردیبهشت	۳/۴	۴/۹۸۷	۷ اردیبهشت	۴/۰۰	۳/۱۳۷
۱۴ اردیبهشت	۲/۹۴	۳/۴۹۹	۱۳ اردیبهشت	۵/۵۸	۴/۱۱۹
۱۵ اردیبهشت	۲/۵۴	۱/۹۳۰	۱۴ اردیبهشت	۲/۸۲	۰/۸۴۹
۱۶ اردیبهشت	۲/۵۸	۲/۶۸۴	۱۵ اردیبهشت	۳/۴۲	۲/۳۳۹
۲۰ اردیبهشت	۳/۷۸	۳/۸۵۰	۱۶ اردیبهشت	۳/۶۵	۳/۰۲۴
۸ تیر	۸/۲	۰/۴۴۳	۲۴ اردیبهشت	۱۰/۰۸	۹/۸۲۲
۲۶ شهریور	۵/۳۵	۷/۵۲۳	۲۵ اردیبهشت	۱۳/۷۸	۱۲/۲۰۹
۲۳ مهر	۹/۹	۲/۰۳۸	۲۶ اردیبهشت	۵/۰۶	۶/۹۸۲
۲۸ مهر	۴/۰	۰/۴۰۷	۲۹ اردیبهشت	۵/۹۵	۶/۵۷۱
۳ آبان	۶/۶۵	۸/۲۴۵	۳۰ اردیبهشت	۸/۰۰	۷/۱۶۷
۵ آبان	۴/۵۶	۵/۷۵۹	۱۰ خرداد	۷/۰۰	۳/۶۵۰
-	-	-	۱۲ خرداد	۲/۴۷	۰/۶۱۴
-	-	-	۶ مهر	۱۱/۰۸	۹/۱۴۷
-	-	-	۱۵ بهمن	۶/۱۵	۵/۸۳۲
-	-	-	۲۰ بهمن	۴/۱۳	۲/۲۰۴
-	-	-	۱۸ اسفند	۲/۳۲	۵/۹۸۴

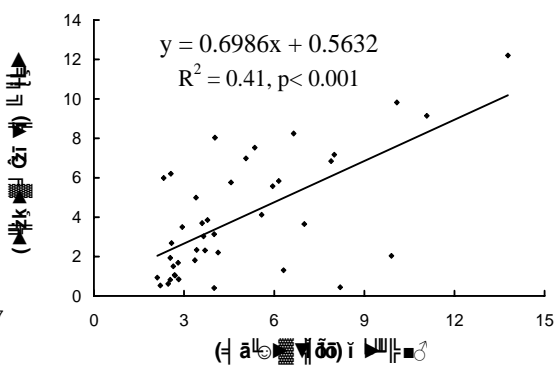
براساس نتایج تنها شرط حداقل مدت بارندگی ۳۰ دقیقه در وقوع رواناب موثر نبود زیرا از ۵۷ و ۳۹ رخدادهای باران با مدت بیشتر از ۳۰ دقیقه در سال ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵، به ترتیب ۲۳ و ۱۸ رخداد در تولید رواناب در کرت‌ها موثر بودند. شدت بارندگی در ۴۱ رخداد باران منجر به رواناب، از ۲/۱۱ تا ۱۳/۷۸ میلی‌متر در ساعت تغییر کرد و میانگین آن ۴/۸۴ میلی‌متر در ساعت بود. از بین باران‌های با مدت بیشتر از ۳۰ دقیقه، تنها رخدادهایی که حداقل شدت باران در آن‌ها ۲/۱۱ میلی‌متر در ساعت بود، منجر به رواناب شدند. مقدار رواناب در ۴۱ رخداد باران طی دوره پژوهش از ۱/۶۴۵ تا ۴۹/۳۷۷ لیتر در کرت در خاک‌های منطقه مورد بررسی تغییر کرد و میانگین آن ۱۵/۹۵۹ لیتر در کرت بود. با توجه به اینکه مقدار رواناب در رخدادهای مختلف باران (۴۱ رخداد) متفاوت بود، رابطه بین رواناب و ویژگی‌های باران (شدت باران و شدت ۳۰ دقیقه‌ای باران) بررسی شد. نتایج نشان داد که تولید رواناب رابطه معنی‌دار با شدت باران ($R^2=0/41, P<0/001$) و همچنین بیشترین شدت ۳۰ دقیقه‌ای باران ($R^2=0/73, P<0/001$) دارد. در حقیقت از بین باران‌های با مدت بزرگتر از ۳۰ دقیقه، باران‌هایی که بیشترین شدت ۳۰ دقیقه‌ای بالاتری داشتند، رواناب بیشتری را تولید کردند. شکل ۲ رابطه رواناب با شدت باران (الف) و بیشترین شدت ۳۰ دقیقه‌ای باران (ب) را

نشان می‌دهد. میانگین مقدار (ارتفاع) باران‌های منجر به رواناب در ایستگاه‌های بارندگی واقع در شبکه‌های ۲، ۱۰، ۱۷ و ۲۶ به ترتیب ۷/۱۵، ۶/۷۶، ۶/۹۷ و ۷/۰۸ میلی‌متر بود. مقدار باران در ایستگاه‌های اندازه‌گیری باران تفاوتی معنی‌دار در سطح ۵ درصد نداشت ($P\text{-Value}=0/198$) و بارندگی در منطقه دارای پراکنش یکنواختی بود. از آنجا که مقدار باران در ۴۱ رخداد منجر به رواناب در ایستگاه‌های مختلف یکسان بود می‌توان گفت که مدت وقوع آن‌ها نیز تقریباً یکسان بوده‌است. بنابراین شدت بارندگی نیز در ایستگاه‌های مختلف اندازه‌گیری باران در ۴۱ رخداد مورد بررسی مشابه بوده‌است.

از مجموع مقدار رواناب در رخدادهای مختلف باران طی سال ۱۳۸۴ و نیز ۱۳۸۵، مقدار رواناب سال ۱۳۸۴ و ۱۳۸۵ به دست آمد که میانگین آن برای دوره دو ساله پژوهش، به عنوان میانگین رواناب سالانه هر شبکه بیان شد. میانگین رواناب سالانه در ۳۶ شبکه مورد بررسی از ۱۳۷/۱۲۳ تا ۴۸۲/۰۷۲ لیتر در کرت تغییر کرد و میانگین آن برای ۳۶ شبکه، برابر ۳۲۷/۱۵۷ لیتر در کرت بود. جدول ۲ میانگین رواناب سالانه در ۳۶ شبکه مورد بررسی طی دوره دو ساله پژوهش (۱۳۸۴ تا ۱۳۸۵) را نشان می‌دهد.



(ب)



(الف)

شکل ۲- رابطه رواناب با شدت باران (الف) و بیشترین شدت ۳۰ دقیقه‌ای باران (ب) در منطقه مورد بررسی.

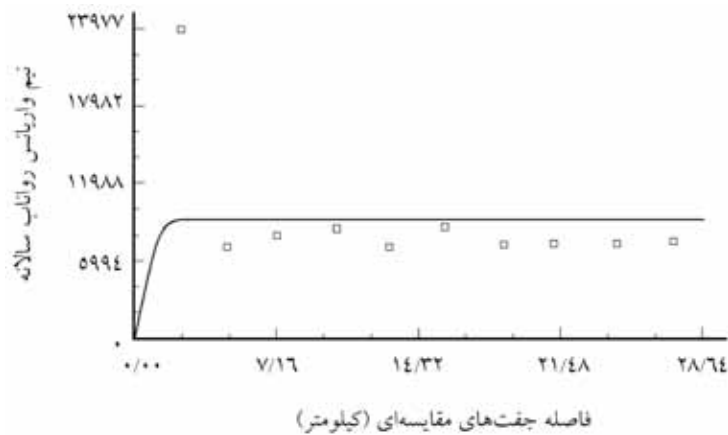
جدول ۲- میانگین رواناب سالانه در ۳۶ شبکه مورد بررسی طی دوره دو ساله پژوهش (از سال ۱۳۸۴ تا ۱۳۸۵).

میانگین رواناب سالانه		شبکه	میانگین رواناب سالانه		شبکه
(مترمکعب در هکتار)	(لیتر در کرت)		(مترمکعب در هکتار)	(لیتر در کرت)	
۹۹/۶۱	۴۰۲/۸۷	۱۹	۹۳/۸۴	۳۷۹/۵۲	۱
۷۳/۳۶	۲۹۶/۶۹	۲۰	۹۵/۰۵	۳۸۴/۴۰	۲
۶۵/۷۰	۲۶۵/۷۲	۲۱	۹۱/۳۷	۳۶۹/۵۳	۳
۶۵/۵۸	۲۶۵/۴۴	۲۲	۸۸/۱۱	۳۵۶/۳۳	۴
۸۷/۳۹	۳۵۳/۴۳	۲۳	۱۳/۷۹	۴۶۰/۱۹	۵
۷۳/۱۶	۲۹۵/۸۸	۲۴	۴۲/۰۱	۱۶۹/۹۲	۶
۱۰۳/۵۰	۴۱۸/۶۰	۲۵	۶۹/۳۰	۲۸۰/۴۷	۷
۶۵/۱۷	۲۶۳/۵۷	۲۶	۵۴/۳۵	۲۱۹/۸۳	۸
۴۹/۲۴	۱۹۹/۱۴	۲۷	۱۰۴/۸۳	۴۲۳/۵۵	۹
۱۱۰/۵۷	۴۴۷/۲۰۳	۲۸	۱۰۸/۴۰	۴۳۸/۴۲	۱۰
۹۱/۱۸	۳۶۸/۷۶	۲۹	۱۱۹/۲۱	۴۸۲/۰۷	۱۱
۸۶/۵۱	۳۴۹/۸۸	۳۰	۵۹/۸۸	۲۴۲/۱۸	۱۲
۶۶/۷۱	۲۶۹/۸۰	۳۱	۹۹/۴۴	۴۰۲/۱۹	۱۳
۳۱/۴۳	۱۳۷/۱۲۳	۳۲	۹۴/۸۲	۳۸۳/۴۹	۱۴
۶۸/۵۴	۲۷۷/۹۰	۳۳	۱۰۰/۲۴	۴۰۵/۴۱	۱۵
۴۲/۰۳	۲۹۱/۲۲	۳۴	۴۶/۱۰	۱۸۶/۴۳	۱۶
۸۱/۳۰	۳۲۸/۸۰	۳۵	۶۰/۰۲	۲۴۲/۷۸	۱۷
۷۹/۴۶	۳۳۱/۳۴۹	۳۶	۹۵/۰۹	۳۸۴/۵۸	۱۸

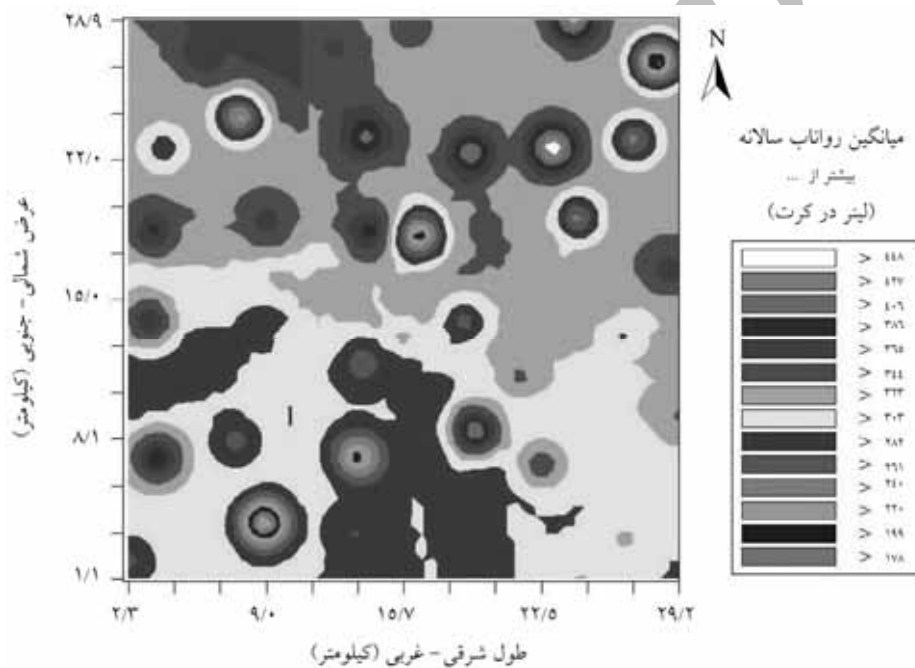
تغییرات مکانی رواناب سالانه در منطقه مورد بررسی را نشان می‌دهد. مقدار رواناب در بیشتر نقاط در شمال منطقه مورد بررسی بیشتر از ۳۲۳ لیتر در کرت بود. همچنین مقدار رواناب در برخی نقاط در جنوب و غرب و به طور بسیار پراکنده در شمال منطقه مورد بررسی از حدود ۲۸۲ لیتر در کرت کمتر بود.

با توجه به اینکه پراکنش مقدار باران‌های منجر به رواناب در سطح منطقه یکنواخت بود، بنابراین تفاوت در مقدار رواناب در کرت‌های مختلف به دلیل تفاوت در ویژگی‌های خاک کرت‌ها در سطح منطقه مورد بررسی بود. بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک کرت‌ها نشان داد که خاک‌های منطقه عمدتاً با بافت لوم رسی بوده و آهکی (۱۲/۷ درصد) هستند. مقدار ماده آلی خاک‌ها اغلب کم (۱/۰۱ درصد) و نفوذپذیری آنها (۳/۳ سانتی‌متر در ساعت) متوسط می‌باشد. جدول ۳ ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد.

بررسی‌های زمین‌آماری نشان داد که تغییرات مکانی رواناب با مدل کروی با شعاع تأثیر ۲/۴۲ کیلومتر، اثر قطعه‌ای ۱۰ و آستانه ۹۲۶۰ شبیه‌سازی می‌شود. خطای تغییرات مکانی رواناب بسیار پایین (۰/۱۱ درصد) بود. شکل ۳ تغییرنا و مدل تغییرات مکانی رواناب سالانه در منطقه مورد بررسی را نشان می‌دهد. مطابق این شکل در شرایطی که فاصله جفت متغیر مقایسه‌ای ۲/۳۹ متر بود، مقدار تغییرنا یا واریانس بین نقاط بیشترین بود که علت را می‌توان در وجود ساختار تصادفی رواناب در فاصله نزدیک دانست. با این وجود با افزایش فاصله جفت‌های مقایسه‌ای، مقدار تغییرنا یا واریانس بین نقاط و در نتیجه مقدار واریوگرام در حالت کلی افزایش می‌یابد. برای میان‌یابی رواناب از روش کریجینگ نقطه‌ای استفاده گردید. دلیل این کار این بود که اندازه کرت‌ها (۱/۸۳ متر در ۲۲/۱ متر) نسبت به دامنه تأثیر تغییرنا (۲/۴۲ کیلومتر) بسیار کوچک بود. پس از میان‌یابی رواناب، نقشه دوبعدی تغییرات مکانی رواناب به دست آمد. شکل ۴ نقشه



شکل ۳- تغییرنما و مدل تغییرات مکانی رواناب سالانه در منطقه مورد بررسی.



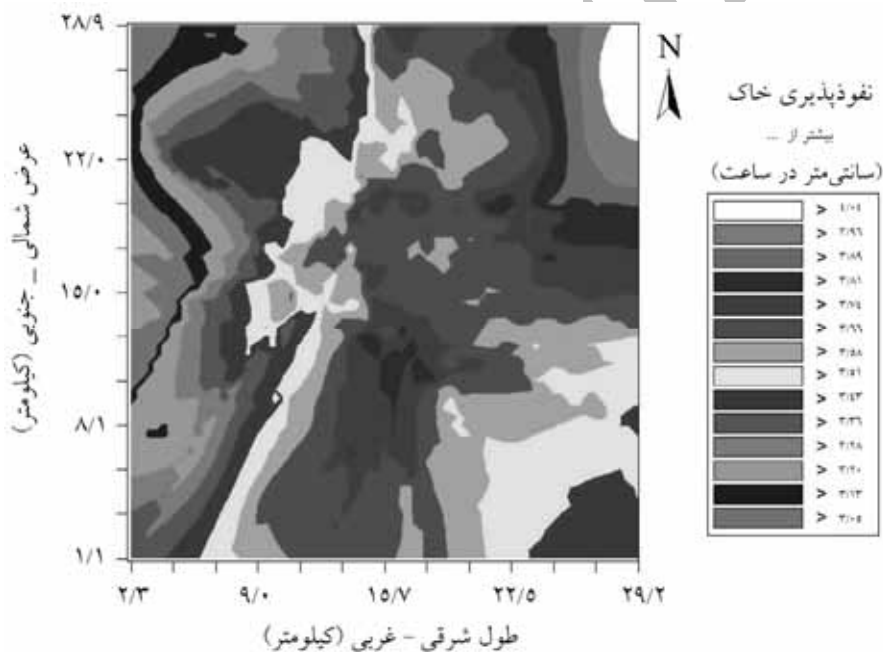
شکل ۴- نقشه تغییرات مکانی رواناب سالانه در منطقه مورد بررسی.

جدول ۳- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد بررسی.

انحراف معیار	میانگین مقدار	ویژگی
۳/۴۹	۱۹/۷۰	شن درشت (درصد)
۳/۷۷	۱۶/۶۰	شن بسیار ریز (درصد)
۷/۴۸	۳۱/۵۰	سیلت (درصد)
۵/۶۸	۳۱/۵۱	رس (درصد)
۳/۱۰	۹/۹۱	سنگریزه (درصد)
۰/۲۶	۱/۰۹	ماده آلی (درصد)
۴/۳۳	۱۲/۶۷	آهک (درصد)
۸۹/۰۲	۳۹۱/۵۲	پتاسیم (میلی‌گرم در کیلوگرم)
۰/۴۴	۱/۰۶	پایداری خاکدانه (میلی‌متر)
۱/۳۰	۳/۳۰	نفوذپذیری (سانتی‌متر در ساعت)

براساس نتایج، رابطه بین میانگین رواناب دو ساله و نفوذپذیری خاک معنی دار ($R^2=0/60, P<0/001$) بود. با افزایش نفوذپذیری خاک، مقدار رواناب به طور خطی کاهش یافت. این نتیجه نظر گوپتا (۲۰۰۲) در مورد اهمیت نفوذپذیری خاک در تولید رواناب را نمایان می‌سازد. بررسی زمین‌آماري نشان داد تغییرات مکانی نفوذپذیری خاک با مدل کروی با شعاع تاثیر ۶۱ کیلومتر، اثر قطعه‌ای ۰/۹۹ و آستانه ۱/۹۸ شبیه‌سازی می‌شود. خطای تغییرات مکانی برابر ۰/۵ بود. شکل ۵ نقشه تغییرات مکانی نفوذپذیری خاک در منطقه مورد بررسی را نشان می‌دهد.

به دلیل بالا بودن خطای تغییرات مکانی نفوذپذیری خاک، نقشه تغییرات مکانی نفوذپذیری از دقت زیادی برخوردار نبود. بالا بودن مقدار خطا را می‌توان به دلیل تغییرات زیاد نفوذپذیری خاک در نقاط مختلف کرت‌ها و رفتار تصادفی آن دانست. مطابق نقشه، نفوذپذیری خاک به جز در نیمه غربی منطقه در سایر نقاط، غالباً بیشتر از ۳/۵۱ سانتی‌متر در ساعت می‌باشد. علی‌رغم وجود رابطه رگرسیونی بین رواناب و نفوذپذیری خاک، رابطه بین تغییرات مکانی رواناب و تغییرات مکانی نفوذپذیری خاک را نمی‌توان توجیه کرد زیرا نفوذپذیری خاک به دلیل رفتار تصادفی، دارای خطای تغییرات مکانی بود.



شکل ۵- نقشه تغییرات مکانی نفوذپذیری خاک در منطقه مورد بررسی.

بررسی رابطه رگرسیونی چند متغیره^۱ بین رواناب و ویژگی‌های با قابلیت اندازه‌گیری آسان (شن درشت، شن بسیار ریز، سیلت، رس، سنگ‌ریزه، ماده‌آلی، آهک و پتاسیم) نشان داد که رواناب تحت تأثیر معنی‌دار شن درشت، ماده‌آلی و آهک ($R^2=0/63, P<0/001$) قرار دارد. جدول ۴ ضرایب رگرسیونی اثر ویژگی‌های با قابلیت اندازه‌گیری آسان بر رواناب را نشان می‌دهد. رابطه

رگرسیونی بین رواناب و ویژگی‌های خاک به صورت زیر است:

(۳) $(\text{درصد آهک}) \times 6/165 - (\text{درصد ماده آلی}) \times 147/882 - (\text{درصد شن درشت}) \times 7/449 - 7067/993 = \text{رواناب (لیتر در کرت)}$

براساس نتایج جدول ۴، شن درشت، ماده‌آلی و آهک به ترتیب در سطح احتمال ۰/۰۰۱، ۰/۰۱ و ۰/۰۱ اثری منفی بر رواناب داشتند. تأثیر کاهشی چشمگیر ذرات شن

درشت بر رواناب را می‌توان به دلیل نقش آنها در افزایش نفوذپذیری خاک نسبت داد. این نتیجه با یافته‌های سانتوس و همکاران (۲۰۰۳) مطابقت دارد. اثر کاهشی ماده آلی در رواناب را می‌توان به علت نقش کلوئیدهای آلی در بهبود ساختمان و نفوذپذیری (رودریگز و همکاران، ۲۰۰۶) دانست. این نتیجه یافته‌های سیگریست و همکاران (۱۹۹۸) را تایید می‌کند.

بررسی رابطه جداگانه بین رواناب و آهک نشان داد که با افزایش آهک، مقدار رواناب به طور معنی‌دار (R^۲=۰/۱۵, P<۰/۰۱۹) کاهش می‌یابد. شکل ۶ رابطه بین

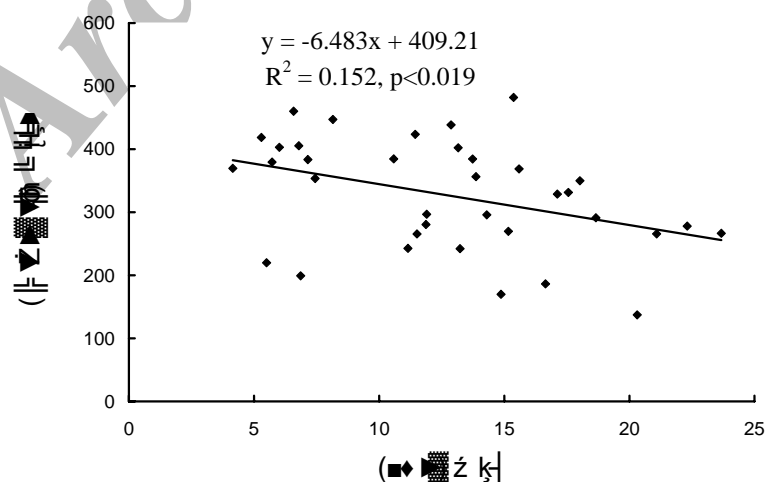
رواناب و آهک در خاک‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. نتایج همچنین نشان داد که بین نفوذپذیری و آهک، رابطه سیگموئیدی مثبت معنی‌دار (R^۲=۰/۱۲, P<۰/۰۴۰) وجود دارد. نتایج سایر تحقیقات نیز نشان می‌دهد که آهک از عوامل مهم در پایداری خاک‌دانه در خاک‌های نواحی نیمه‌خشک است (میلر و گاردینر، ۱۹۹۸) و با افزایش نفوذپذیری می‌تواند در کاهش رواناب موثر باشد.

جدول ۴- ضرایب رگرسیونی اثر ویژگی‌های با قابلیت اندازه‌گیری آسان بر رواناب.

مدل	ضرایب غیراستاندارد	خطای استاندارد	ضرایب استاندارد	t	سطح معنی‌داری
مقدار ثابت	۷۰۶/۹۹۳	۵۲/۰۸۵		۱۳/۵۷۴	۰/۰۰۰
شن درشت	-۷/۴۴۹	۱/۸۶۵	-۰/۶۴۳	-۳/۹۹۴	۰/۰۰۰
ماده آلی	-۱۴۷/۸۸۲	۳۸/۲۴۳	-۰/۴۲۹	-۳/۸۶۷	۰/۰۰۱
آهک	-۶/۱۶۵	۱/۷۷۹	-۰/۳۷۱	-۳/۴۶۵	۰/۰۰۲

جدول ۵- مشخصات تغییرنمای شن درشت، ماده آلی و آهک در منطقه مورد بررسی.

متغیر	مدل	اثر قطعه‌ای	آستانه	شعاع تأثیر (کیلومتر)	خطا	ضریب تبیین
شن درشت	نمایی	۲۰/۷۲۰	۴۱/۴۵	۶۱/۰۰	۰/۵۰۰	۰/۲۳
ماده آلی	خطی	۰/۰۶۸	۰/۰۶۸	۲۷/۰۸	۰/۱۰۰	۰/۰۰
آهک	کروی	۲/۲۷	۲۹/۹۹۰	۲/۴۲	۰/۰۷۵	۰/۶۷



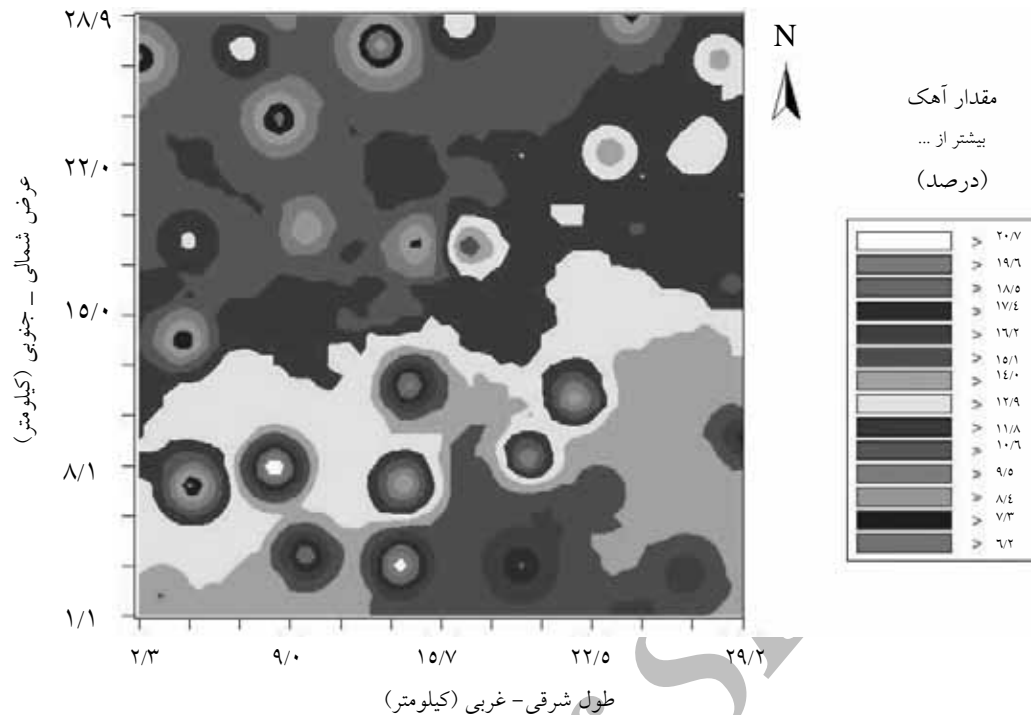
شکل ۶- رابطه بین رواناب و آهک در خاک‌های مورد بررسی.

با توجه به تأثیر معنی‌دار شن درشت، ماده‌آلی و آهک بر رواناب، تغییرات مکانی این عوامل بررسی شد. نتایج نشان داد که الگوی تغییرات مکانی آنها از یکدیگر متفاوت است. جدول ۵ مشخصات تغییرنمای شن درشت، ماده‌آلی و آهک در منطقه مورد بررسی را نشان می‌دهد.

براساس نتایج، شعاع تأثیر تغییرات مکانی آهک (۲/۴۲ کیلومتر) برابر با شعاع تأثیر تغییرات مکانی رواناب بود. خطای تغییرات مکانی آهک برابر ۷/۵۷ درصد بود. این نتایج نشان می‌دهد با وجود آن که مقدار رواناب تحت تأثیر شن درشت و ماده‌آلی نیز قرار دارد لیکن الگوی تغییرات مکانی آن از توزیع مکانی آهک پیروی می‌کند. با افزایش مقدار آهک خاک در نقاط مختلف، مقدار رواناب به‌طور مکانی کاهش می‌یابد. بررسی نقشه تغییرات مکانی نشان داد که مقدار آهک در بخش جنوبی منطقه بیشتر از ۱۲/۹ درصد و در سایر نقاط اغلب پایین‌تر از آن است. شکل ۷ نقشه تغییرات مکانی آهک در منطقه مورد بررسی را نشان می‌دهد. نقش آهک در تغییرات مکانی رواناب به‌دلیل تأثیر چشمگیر آن در پایداری ساختمان می‌باشد. آهک از اجزا مهم خاک در نواحی نیمه‌خشک است که نقشی اساسی در هم‌آوری^۱ ذرات و افزایش پایداری خاک‌دانه‌ها دارد (رفاهی، ۱۹۹۶). در اثر این کار، خاک‌دانه‌ها هنگام جذب آب به آسانی متلاشی نمی‌شوند و به این دلیل اندازه منافذ خاک کاهش نمی‌یابد (بای‌بوردی، ۱۹۹۳). از این رو آهک با افزایش سرعت نفوذ آب به خاک در کاهش رواناب موثر است.

به‌طور کلی پژوهش حاضر نشان داد که در خاک‌های آهکی مورد بررسی، رواناب تحت تأثیر معنی‌دار نفوذپذیری خاک قرار دارد به‌طوری‌که با افزایش نفوذپذیری، مقدار رواناب کاهش می‌یابد. آهک نیز در

کنار شن درشت و ماده‌آلی، به‌عنوان عامل مهم موثر بر تولید رواناب در خاک‌های مورد بررسی بود. بررسی زمین‌آماری رواناب نشان داد که رواناب دارای ویژگی تغییرپذیری مکانی است. با انجام روش میان‌یابی کریجینگ، نقشه تغییرات مکانی رواناب در منطقه به‌دست آمد. بر این اساس، بخش‌های شمالی منطقه به‌عنوان مناطق حساس (با رواناب بیشتر از ۳۲۳ لیتر در کرت) از نظر تولید رواناب بودند. با وجود رابطه رگرسیونی معنی‌دار بین رواناب و نفوذپذیری خاک، رابطه بین تغییرات مکانی رواناب و تغییرات مکانی نفوذپذیری خاک، به‌دلیل رفتار تصادفی نفوذپذیری خاک، قابل توجیه نبود. همچنین با وجود تأثیرپذیری معنی‌دار رواناب از شن درشت و ماده‌آلی، تغییرات مکانی آن تحت تأثیر تغییرات مکانی آهک قرار گرفت. تغییرات مکانی رواناب و آهک هر دو با مدلی کروی با شعاع تأثیر ۲/۴۲ کیلومتر شبیه‌سازی شدند. با افزایش مکانی آهک، مقدار رواناب به‌طور مکانی کاهش یافت. نقش آهک در کاهش رواناب را می‌توان به‌دلیل تأثیر چشمگیر آهک در افزایش پایداری ساختمان و در نتیجه افزایش نفوذپذیری خاک بیان کرد. در حقیقت آهک با افزایش سرعت نفوذ آب به خاک در کاهش رواناب موثر است. با توجه به مشکلات اندازه‌گیری صحرایی رواناب، با اندازه‌گیری مقدار آهک خاک در منطقه می‌توان از چگونگی تغییرات مکانی رواناب در سطح منطقه آگاهی یافت. با آگاهی از تغییرات مکانی رواناب، می‌توان روشی موثر با هزینه اقتصادی کمتر برای کاهش تولید رواناب در بخش‌های حساس منطقه را به‌کار گرفت.



شکل ۷- نقشه تغییرات مکانی آهک در منطقه مورد بررسی.

تحقیقات حفاظت خاک و آب‌خیزداری به‌خاطر ارائه نقشه
جغرافیایی منطقه سپاسگزاری می‌نمائیم.

سپاسگزاری

از کشاورزان شهرستان هشتروند به‌خاطر در اختیار قرار
دادن زمین‌های زراعی جهت انجام آزمایش و از مرکز

منابع

1. Bates, T., and Richards, J.E. 1993. Aggregate stability to water. In: Cartner, M.R. (Ed.), Soil sampling and methods of analysis. Canadian Society of Soil Science. Lewis Publishers, Boca Raton, Canada, Pp: 59-63.
2. Bocchi, S., Castrignano, A., Fornaro, F., and Maggiore, T. 2000. Application of factorial kriging for mapping soil variation at field scale. European Journal of Agronomy, 13: 295-308.
3. Bybordi, M. 1993. Principals of Irrigation Engineering. (In Persian), Sixth edition. Tehran University Publication, 699p. (In Persian)
4. Cerri, C.E.P., Bernoux, M., Chaplot, V., Volkoff, B., Victoria, R.L., Melillo, J.M., Paustian, K., and Cerri, C.C. 2004. Assessment of soil property spatial variation in an Amazon pasture: basis for selecting an agronomic experimental area. Geoderma, 123: 51-68.
5. Gee, G.W., and Bauder, J.W. 1980. Particle-size analysis. In: Klutem A., Methods of Soil analysis, Part 1, Physical And Mineralogical Methods, Second edition, Agronomy, Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA, Pp: 383-385.
6. Goh, T.B., Arnaud, R.J.S.T., and Mermut, A.R. 1993. Aggregate stability to water. In: Cartner, M.R. (Ed.), Soil sampling and methods of analysis. Canadian Society of Soil Science. Lewis Publishers, Boca Raton, Canada, Pp: 177-180.
7. Gupta, O.P. 2002. Water in relation to soils and plants. Agrobios, India, Pp: 53-62.
8. Hakimi, A. 1986. The briefly study of soil science in Hashtrood. Soil and Water Research Institute, Agriculture Ministry, Iran, Research Report, 767: 2-15. (In Persian)
9. Harteg, K.H., and Horn, R. 1989. Die Physikalische Untersuchung von Böden: 2. Auflage. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart. In: Scholten, T. 1997. Hydrology and erodibility of the soils and saprolite cover of the Swaziland Middleveld. Soil Technology, 11: 247-262.

10. Hasani Pak, A. 1998. Geostatistics. Tehran University Press, 341p.(In Persian)
11. Hoyos, N. 2005. Spatial modeling of soil erosion potential in a tropical watershed of the Colombian Andes. *Catena*, 63: 85-108.
12. Hussein, M.H., Kariem, T.H., and Othman, A.K. 2007 Predicting soil erodibility in northern Iraq using natural runoff data. *Soil & Tillage Research*, 94: 220-228.
13. Khaksarfard, M. 1995. Water wastes and decreasing methods. *Water and Waste Water Journal*, No. 9, Pp. 25-29.(In Persian)
14. Miller, R.W., and Gardiner, D.T. 1998. Soils in our environment. Eighth edition. Prentice-Hall Inc., United States of America, Pp: 75-81.
15. Nelson, D.W., and Sommer, L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: A.L. Page (ed.) *Methods of Soil Analysis*. 2nd Ed. ASA Monogr., Amer. Soc. Agron. Madison, 9(2): 539-579.
16. Peirovan, H.R., and Asadi, T. 2005. Reviewing physicochemical factors roles affecting erosion kinds in Marl sites. *Proceedings of the 9th Soil Science Congress of Iran*. Karaj, Pp: 560-562. (In Persian)
17. Polhmann, H. 1993. Geostatistical modeling of environmental data. *Catena*, 20: 191-198.
18. Rafahi, H.G. 1996. Soil erosion by water and conservation. Tehran University Press, 551p.(In Persian)
19. Rao, K.P.C., Steenhui, T.S., Cogle, A.L., Srinivasan, S.T., Yule, D.F., and Smith, G.D. 1998. Rainfall infiltration and runoff from an Alfisol in semi-arid tropical India .II tilled systems. *Soil & Tillage Research*, 48: 61-69.
20. Rejman, J., Turski, R., and Paaluszek, J. 1998. Spatial and temporal variation in erodibility of loess soil. *Soil & Tillage Research*, 46: 61-68.
21. Rodríguez, A.R., Arbelo, C.D., Guerra, J.A., Mora, J.L., Notario, J.S., and Armas, C.M. 2006. Organic carbon stocks and soil erodibility in Canary Islands Andolos. *Catena*, 66 (3): 228-235.
22. Rosewell, C.J. 1993. Soil Loss: A program to assist in the selection of management practices to reduce erosion, Tech. Handbook No. 11 (Second Eddition), Department of Conservation and Land Management, Sydney. Pp: 28-31.
23. Rubio, J.L., Forteza, J., Andreu, V., and Cerni, R. 1997. Soil profile characteristics influencing runoff and soil erosion after forest fire: A case study Valencia Spain. *Soil Technology*, 11: 67-78.
24. Santos, F.L., Reis, J.L., Martins, O.C., Castanheria, N.L., and Serralherio, R.P. 2003. Comparative assessment of infiltration, runoff and erosion of sprinkler irrigation soils. *Biosystems Engineering*, 86(3): 355-364.
25. Siegrist, S., Schaub, D., Pfiffner, L., and Mader, P. 1998. Does organic agriculture reduce soil erodibility? The results of a long-term field study on loess in Switzerland. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 69: 253-264.
26. SSEW. 1982. Soil Survey Laboratory Methods. Technical Monographs No. 6. Harpenden, UK.
27. Unger, T.P., Jones, W., McClenagan, O.R., and Stewart, B.A. 1998. Aggregation of soil cropped to dryland wheat and grain Sorghum. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62(6):1659-1666.
28. Veihe, A. 2002. The spatial variability of erodibility and its relation to soil types: a study from northern Ghana. *Geoderma*, 106: 101-120.
29. Wang, G., Gertner, G., Liu, X., and Anderson, A. 2001. Uncertainty assessment of soil erodibility factor for revised universal soil loss equation. *Catena*, 46:1-14.
30. Wischmeier, W.H., and Smith, D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. *Agriculture Handbook No. 537*. US Department of Agriculture, Washington DC., Pp: 13-27.
31. Yang, M.Y., Tian, J.L., and Liu, P.L. 2005. Investigating the spatial distribution of soil erosion and deposition in a small catchment on the Loess Plateau of China using ¹³⁷Cs. *Soil and Tillage Research*, 83(3): 121-128.
32. Yates, S.R., and Warrick, A.W. 1992. Estimation soil water content using cokriging. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51: 23-30.

Spatial variations of runoff in a part of calcareous soils of semi-arid region in northwest of Iran

***A.R. Vaezi¹, H.A. Bahrami², S.H.R. Sadeghi³ and M.H. Mahdian⁴**

¹Assistant Prof., Dept. of Soil Sciences, Zangan University, Iran, ²Associate Prof., Dept. of Soil Sciences, Tarbiat Modares University, Iran, ³Associate Prof., Dept. of Watershed Management, Tarbiat Modares University, Iran, ⁴Assistant Prof., Dept. Irrigation Sciences in Research, Education and Extension Organization, Ministry of Agriculture, Iran

Abstract

Runoff has an important role in decreasing soil moisture and consequently declining yield of crops. Thus, investigation on spatial variations of runoff and factors affecting runoff is very important in selecting proper method for controlling runoff. The study was conducted base on field measurements of runoff at plot scale in order to determination of spatial variations of runoff and factors affecting runoff in soils of semi-arid regions. Field experiment was carried out in part of dry-farming lands of Hashtroud in south of East Azarbijan, Iran from March 2005 to March 2007. Study area was 30 km×30 km and 36 grids with a dimension of 5 km were considered on it. In each grid, three standard plots with a spacing of 1.2 m were installed and runoff volume measured at the plots under natural rainfall events. Based on results, study soils are clay loam and mostly have about 12.67%. During a 2 study period, 96 rainfall events with a duration time bigger than 30 minute happened and only 41 rainfall events were caused runoff in the plots. Annual runoff in 36 study grids varied from 137.123 to 482.072 liter per plot with an average of 327.157 lit per plot. The results indicated that runoff is significantly ($R^2=0.63$, $p<0.001$) affected by coarse sand, organic matter and lime in study soils. Runoff also spatially varied in the study area. Spatial variability of runoff was simulated as spherical model with an effective range of 2.42 km. Spatial pattern of runoff was similar to that one of lime (with a spherical model and an effective range of 2.42 km) in the study area. Runoff spatially declined when lime increased in the different points on the study area.

Keywords: Spatial variations; Calcareous soil; Runoff; Semi-arid region

*- Corresponding Author; Email: vaezi.alireza@gmail.com