

ویژگی‌های رواناب و رسوب داشته‌اند. با توجه به ساختار مکانی قوی متغیرها می‌توان بیان کرد که روش کریجینگ قابلیت بالایی در برآورد این متغیرها در نقاط نمونه‌برداری نشده و پهنه‌بندی آنها دارد.

واژه‌های کلیدی: تغییرات مکانی، رواناب، رسوب، مراتع ییلاقی، مازندران.

## بررسی تغییرات مکانی رواناب و رسوب مرتع ییلاقی نشو در استان مازندران

امیرحسین کاویان پور<sup>۱</sup>، اباذر اسمعیلی عوری<sup>۲</sup>، زینب جعفریان جلودار<sup>۳</sup> و عطا... کاویان<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۲/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۶

### مقدمه

فرآیند تبدیل بارندگی به رواناب در سطح یک حوزه آبخیز پیچیده بوده و دارای تغییرات مکانی و زمانی است [۱ و ۳۱]. ثابت شده که نه تنها الگوهای بارش در زمان و مکان خیلی متغیر هستند بلکه عامل‌های خاک دخیل در تولید رواناب مثل ظرفیت نفوذ، رطوبت و استحکام خاک نیز بسیار متغیر هستند [۲۸]. مباحث نظری و مطالعات میدانی نشان می‌دهند که به دلیل تغییرات مکانی ظرفیت نفوذ خاک، تولید رواناب غیریکنواخت است [۱۲ و ۳۱]. در مناطق مرطوب این تغییرات به طور عمده مربوط به تفاوت مکانی رطوبت خاک است [۲۹]. اکثر مطالعات نشان می‌دهند که تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک سیمای سرزمین ممکن است تحت تأثیر تغییرات کاربری اراضی، پستی و بلندی، انواع پوشش گیاهی، زراعت و مواد مادری باشد [۳۳]. از آنجاییکه با تغییر عوامل مؤثر در تشکیل خاک، فرسایش‌پذیری خاک دارای تغییرات مکانی و زمانی است [۲۵]، بنابراین تصور یکنواختی تغییرات رواناب و رسوب در یک منطقه موجب اعمال مدیریت یکسان برای مهار آن در کل منطقه می‌شود که این موضوع افزایش هزینه‌ها را به دنبال دارد [۳۰].

زمین‌آمار ابزاری قوی برای بررسی تغییرات مکانی است که قادر به ارائه مجموعه وسیعی از تخمین‌گرها به منظور برآورد ویژگی موردنظر در مکان‌های نمونه‌برداری نشده با استفاده از اطلاعات حاصل از نقاط نمونه‌برداری شده است [۲۰]. تحلیل نتایج در آمار کلاسیک مبنی بر مستقل بودن نمونه‌ها از یکدیگر است و بنابراین، وجود یک نمونه هیچ گونه اطلاعی در مورد نمونه بعدی بدست نمی‌دهد، اما در زمین‌آمار، نمونه‌ها مستقل از یکدیگر در نظر گرفته نمی‌شوند بلکه نمونه‌های مجاور تا فاصله معینی بطور مکانی به هم وابستگی دارند و می‌توان وابستگی بین نمونه‌ها را به صورت مدل ریاضی تغییرنمای مکانی بیان کرد [۷]. اصل اولیه در زمین‌آمار این است که شباهت مقادیر یک متغیر ناحیه‌ای با افزایش فاصله کاهش می‌یابد و یا به عبارت ساده‌تر نمونه‌های نزدیک شباهت بیشتری به هم

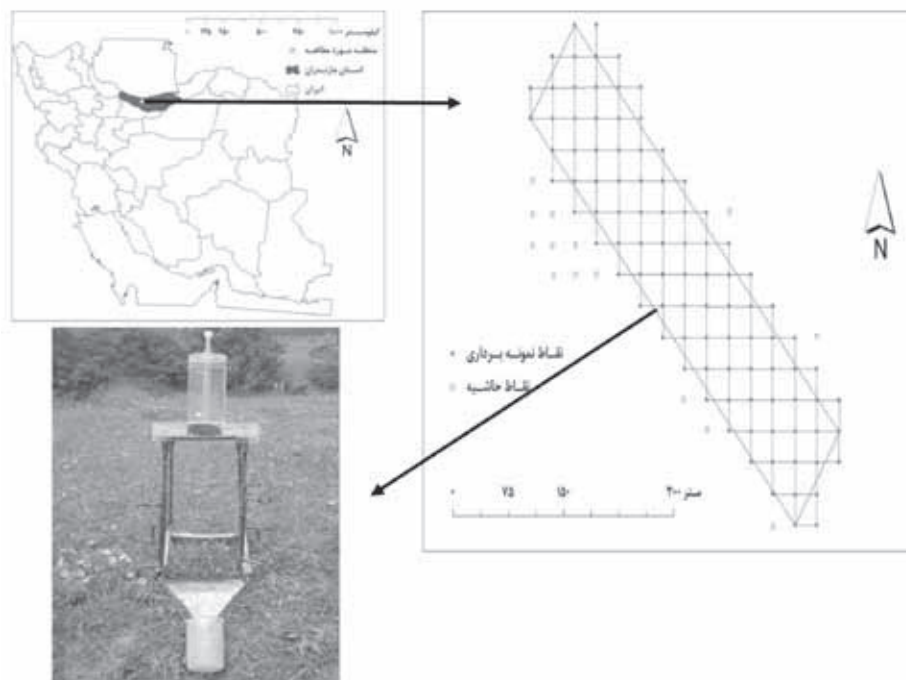
### چکیده

مطالعه تغییرات مکانی ویژگی‌های رواناب و رسوب و درک توزیع آن برای توسعه برنامه‌های راهبردی حفاظت آب و خاک مفید است. در این پژوهش تغییرات مکانی ویژگی‌های رواناب و فرسایش خاک در مرتع ییلاقی نشو در استان مازندران بررسی شده است. در یک شبکه نمونه‌برداری متشکل از ۱۱۰ نقطه در قالب شبکه سلولی منظم ۳۰×۳۰ مترمربعی در منطقه، اقدام به شبیه‌سازی باران با شدت ثابت ۲ میلی‌متر بر دقیقه و تداوم ۱۱ دقیقه در پلات ۰/۰۹ مترمربعی شد. نمونه‌های رواناب و رسوب برداشت و به آزمایشگاه منتقل شد و در آزمایشگاه بار رسوب و غلظت رسوب اندازه‌گیری شد. بعد از نرمال سازی داده‌ها، تحلیل‌های آماری کلاسیک برای توصیف ویژگی‌های رواناب و رسوب و تحلیل‌های زمین‌آمار برای نشان دادن وابستگی مکانی آنها انجام شد. با استفاده از روش درونیابی کریجینگ نقشه توزیع مکانی این ویژگی‌ها تهیه گردید. نتایج آماری نشان داد از بین ویژگی‌های مورد مطالعه، آستانه شروع رواناب کمترین ضریب تغییرات (۲۸/۴۳ درصد) و بار رسوب، بیشترین ضریب تغییرات (۹۳/۷۵ درصد) را داشته است. مدل‌های مناسب برازش شده برای رواناب و رسوب مدل‌های کروی و نمایی بودند که جزو مدل‌های سقف‌دار هستند و نمایانگر وجود ساختار فضایی و وابستگی مکانی است. بر اساس نتایج حاصل از اوریوگرافی، مشاهده شد که حجم رواناب و غلظت رسوب با ۱۰۱۰/۹۰ متر بیشترین و رسوب با ۸۳۱ متر کمترین دامنه تأثیر را در بین

۱- نویسنده مسئول و دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مرتعداری دانشگاه محقق اردبیلی، ho.kavianpoor@gmail.com

۲- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه محقق اردبیلی

۳- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری



شکل ۱- موقعیت منطقه در ایران و نحوه نمونه برداری

جدول ۱- آمار توصیفی ویژگی های رواناب و رسوب

متغیرهای رواناب و فرسایش	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (درصد)
آستانه شروع رواناب (دقیقه)	۱/۱۷	۴	۲/۱۷۳۱	۰/۶۱۷۸	۲۸/۴۳
حجم رواناب (لیتر در مترمربع)	۰/۵۶	۱۲/۵۶	۴/۲۴۲۷	۲/۸۴۱۱	۶۶/۹۶
ضریب رواناب (درصد)	۲/۵۰	۵۶/۵۰	۱۹/۰۹۲۰	۱۲/۷۸۳۳	۶۶/۹۶
بار رسوب (گرم در مترمربع)	۰/۴۲	۴۱/۶۴	۸/۷۱۲۴	۸/۱۶۷۶	۹۳/۷۵
غلظت رسوب (گرم در لیتر در مترمربع)	۰/۱۴	۹/۲۷	۱/۹۳۱۳	۱/۵۲۵۲	۷۸/۹۷

کرد، سپس با اعمال تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و راهکارهای مؤثر اقتصادی، باعث جلوگیری و یا کاهش تولید رواناب و رسوب در بخش‌های حساس به فرسایش حوزه آبخیز شد [۵ و ۷]. با توجه به مطالعات کم انجام شده در زمینه تغییرات مکانی ویژگی‌های رواناب و فرسایش خاک اراضی مرتعی، این مطالعه با هدف شناخت الگوی تغییرات مکانی ویژگی‌های رواناب و فرسایش خاک و تهیه نقشه توزیع مکانی این ویژگی‌های در مراتع نشو در استان مازندران انجام شده است.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در مراتع بیلاقی نشو در ۴۰ کیلومتری شهر رویان بین طول جغرافیایی  $50^{\circ} 8' 17''$  تا  $50^{\circ} 8' 00''$  و عرض جغرافیایی  $36^{\circ} 22' 4''$  تا  $36^{\circ} 21' 49''$  در منطقه البرز مرکزی با متوسط ارتفاع ۱۷۰۰ متر از سطح دریا واقع شده است. میانگین بارندگی سالانه ۲۵۳ میلیمتر و اقلیم منطقه، بر اساس روش آمبرژه

دارند تا نمونه‌های دورتر [۸ و ۹]. پژوهش‌های اندک صورت گرفته در این زمینه، به کارایی روش‌های درون‌یابی زمین‌آمار (کریجینگ) برای برآورد تغییرات مکانی ویژگی‌های رواناب و رسوب اشاره نمودند، همچنین این مطالعات بیان کردند که پاسخ‌های آب‌شناختی حوزه آبخیز نسبت به تولید رواناب، رسوب و هدررفت مواد غذایی خاک اغلب توسط تغییرپذیری‌های بارش، خاک، کاربری اراضی و نمایانه‌های زمین ریخت‌شناختی کنترل می‌گردد [۲۷ و ۳۰]. علیرغم اینکه بخش وسیعی از اراضی کشور ایران دارای پوشش گیاهی مرتعی است و با توجه به اینکه این اراضی نقش بسیار مهمی در حفاظت آب و خاک از یک سو و همچنین تولید علوفه، غذا و انرژی از سوی دیگر دارند ولی مطالعات چندانی در زمینه تغییرات مکانی رواناب و رسوب اراضی مرتعی صورت نگرفته است. مطالعه تغییرات مکانی رواناب و رسوب و آگاهی از چگونگی این تغییرات و عوامل مؤثر بر آن اهمیت زیادی در برنامه‌ریزی صحیح دارد [۴ و ۳۵]. با مشخص کردن الگوهای تغییرات مکانی فرسایش خاک، می‌توان اقدام به پهنه‌بندی اراضی به درجات با شدت‌های مختلف فرسایش

جدول ۳- عامل های اعتبارسنجی مدل درون یابی اعمال شده به روش کریجینگ برای ویژگی های رواناب و رسوب

ویژگی های رواناب و رسوب	ضریب رگرسیون	خطای استاندارد	ضریب تبیین	عرض از مبدا	خطای استاندارد تخمین
آستانه شروع رواناب	۱/۰۳۹	۰/۵۴۳	۰/۰۶۵	-۰/۰۷۲	۰/۷۵۱
حجم رواناب	۰/۸۷۷	۰/۱۶۳	۰/۳۵۴	۰/۵۵۲	۲/۴۰۲
ضریب رواناب	۰/۸۸	۰/۱۶۳	۰/۳۵۵	۲/۴۲۲	۱۰/۸۰۱
بار رسوب	۰/۸۵۲	۰/۱۷۳	۰/۳۱۳	۰/۴۱۵	۱/۴۰۳
غلظت رسوب	۰/۶۵۶	۰/۴۵۳	۰/۰۳۸	۰/۵۱۶	۰/۶۲۳

جدول ۲- عامل های انواع مدل های اعمال شده به تغییرنا برای ویژگی های رواناب و رسوب

ویژگی های رواناب و رسوب	مدل تغییرنا	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub> +C <sub>3</sub>	C <sub>1</sub> /C <sub>2</sub> +C <sub>3</sub> (درصد)	A <sub>1</sub> (متر)	R <sup>2</sup>	RSS
آستانه شروع رواناب	نمایی	۰/۴۹۵	۰/۹۹۱	۴۹/۹۵	متوسط	۰/۲۹۷	۰/۰۵۷۷
حجم رواناب	کروی	۲/۴۰	۲۳/۷۹	۱۰/۰۹	قوی	۰/۹۶۸	۴/۴۲
ضریب رواناب	کروی	۵۱	۴۱۲/۹۰	۱۲/۳۵	قوی	۰/۹۶۳	۱۸۱۳
بار رسوب	کروی	۰/۸۹	۵/۸۸۹	۱۵/۱۱	قوی	۰/۹۱۸	۰/۶۴
غلظت رسوب	نمایی	۰/۳۳۸	۰/۶۷۷	۴۹/۹۲	متوسط	۰/۳۳۸	۹/۱۴۰ × ۱۰ <sup>-۳</sup>

C<sub>1</sub>: اثر قطعه ای؛ C<sub>2</sub>+C<sub>3</sub>: سقف؛ C<sub>1</sub>/C<sub>2</sub>+C<sub>3</sub>: نسبت همبستگی؛ A<sub>1</sub>: دامنه ای تأثیر و RSS: مجموع مربعات باقیمانده

اندازه گیری رواناب و رسوب

با استفاده از دستگاه باران ساز، در پلات ۰/۰۹ مترمربعی باران با شدت ثابت ۲ میلی متر در دقیقه و تداوم ۱۱ دقیقه برای تمام آزمایش ها در ماه خرداد شبیه سازی شد. بعد از هر رخداد بارش، حجم رواناب با اندازه گیری مستقیم توسط استوانه مدرج تعیین شد. آستانه شروع رواناب نیز با استفاده از زمان سنج یادداشت شد. پس از اندازه گیری حجم رواناب، میزان رسوب پس از عبور دادن از کاغذ صافی وات من ۴۰ به مدت ۲۴ ساعت در کوره تحت دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد خشک و توزین شد. همچنین از تقسیم میزان رسوب بر حجم رواناب، غلظت رسوب بر حسب گرم در لیتر محاسبه شد [۲۶].

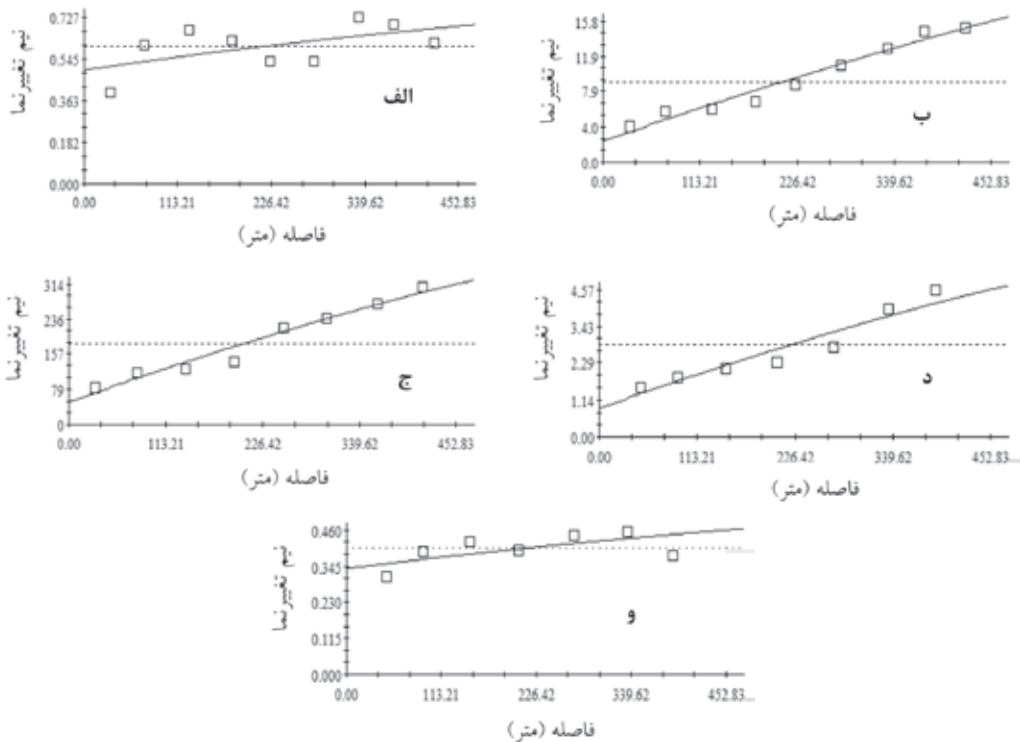
اندازه گیری ویژگی های خاک

نمونه های خاک از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی متری خاک برداشت و پس از خشک شدن در هوای آزاد، از الک دو میلیمتری عبور داده شدند. سپس آزمایش های مختلف بر روی آنها انجام شد. بافت خاک از روش آب سنجی [۱۰]، کربن آلی از روش والکللی- بلاک [۲۱] و درصد ماده آلی نیز با ضرب عدد کربن آلی در عدد ۱/۷۲ به دست آمد [۲۱]. آهک با روش تیتراسیون با سود یک درصد نرمال [۲۲]، نیتروژن کل (ازت) به روش کجلدال [۲]، فسفر قابل جذب در عصاره خاک به روش اولسن با دستگاه اسپکتروفتومتر [۲۳]، غلظت سدیم در دستگاه فلیم فتومتر قرائت و از روی نمودار استاندارد سدیم، غلظت سدیم به ppm محاسبه شد [۱۶]. جرم ویژه حقیقی

سرد کوهستانی است. میانگین حداقل درجه حرارت ماهانه در دی ماه ۴/۱- درجه سانتی گراد و حداکثر آن در مرداد ماه ۲۸/۴ درجه سانتی گراد است. متوسط درجه حرارت سالانه ۱۲/۲ درجه سانتی گراد می باشد. تیپ غالب پوشش گیاهی منطقه، گیاهان با فرم رویشی گندمیان است. از نظر زمین شناسی منطقه دارای سنگ های ماسه سنگ، شیل و سیلت است. خاک منطقه نیمه عمیق با ساختمان دانه ای و بافت متوسط (لوم، لومی- شنی و لومی- شنی- رسی) است. موقعیت عمومی و نحوه نمونه برداری در منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.

نمونه برداری

یک عرصه مرتعی در حدود ۶ هکتاری که به خوبی گویای مقادیر مختلف پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه بود، به عنوان محل نمونه برداری یا منطقه معرف انتخاب شد و یک شبکه نمونه برداری رواناب و رسوب متشکل از ۹۶ نقطه در قالب شبکه سلولی منظم ۳۰×۳۰ مترمربعی (شکل ۱) در منطقه پیاده شد. ۱۴ نقطه حاشیه ای جهت افزایش دقت مطالعه نیز اضافه شد. بر این اساس در مجموع در ۱۱۰ نقطه نمونه های رواناب و رسوب برداشت شد. همزمان در محل نمونه برداری از عمق ۰-۳۰ سانتی متری نمونه خاک برداشت شد. با استفاده از دستگاه سامانه موقعیت یاب جهانی<sup>۱</sup> موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه برداری به منظور استفاده در تجزیه و تحلیل های زمین آماری برداشت و ثبت شد.



شکل ۲- تغییرنماهای حاصل از (الف)، آستانه شروع رواناب، (ب)، حجم رواناب، (ج)، ضریب رواناب، (د)، بار رسوب و (و)، غلظت رسوب.

مجزا شده با فاصله گام  $Z(x_i)$  و  $Z(x_i+h)$  مقادیر متغیر اندازه گیری شده  $Z$  به ترتیب در موقعیت‌های مکانی  $I$  و  $I+h$  هستند. در مرحله‌ی بعد برای درون‌یابی مکانی و تهیه نقشه مکانی ویژگی‌های رواناب و رسوب از روش کریجینگ استفاده شد. به طور کلی کریجینگ یک برآوردکننده آماری است که در طی آن به هر یک از مشاهدات، وزن آماری نسبت داده می‌شود که ترکیب خطی آنها ناریب شده و حداقل واریانس برآورد را دارا است [۱۵] و به دلیل حداقل کردن واریانس خطا با برآورد ناریب، رایج‌ترین روش برآورد زمین آماری است و کاربرد زیادی دارد [۲۴].

$$\hat{Z}(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \times Z(x_i)$$

که در آن  $\lambda_i$  وزن متغیر در نقاط اندازه‌گیری شده و  $Z(x_i)$  وزن متغیر در نقاط اندازه‌گیری نشده است. در نهایت به کمک روش اعتبارسنجی، ارزیابی صحت انجام شد [۸]، بدین صورت که همه داده‌های اولیه، یک به یک و به ترتیب از محاسبات خارج می‌شوند. در این روش یک مشاهده حذف شده و توسط مشاهدات دیگر برآورد زده می‌شود، سپس تفاوت بین داده‌های واقعی و برآوردی برای هر داده محلی لحاظ می‌شود [۳۴]. ضریب معادله همبستگی حاصله کمی برای نیکویی برازش است که هر چه به ۱ نزدیکتر باشد، برازش مدل بهتر صورت گرفته است [۱۱ و ۳۴]. برای انجام تحلیل تجزیه‌های زمین آماری از نرم افزار GS+ نسخه ۵ (Gamma Design Software, MI, USA) استفاده شد.

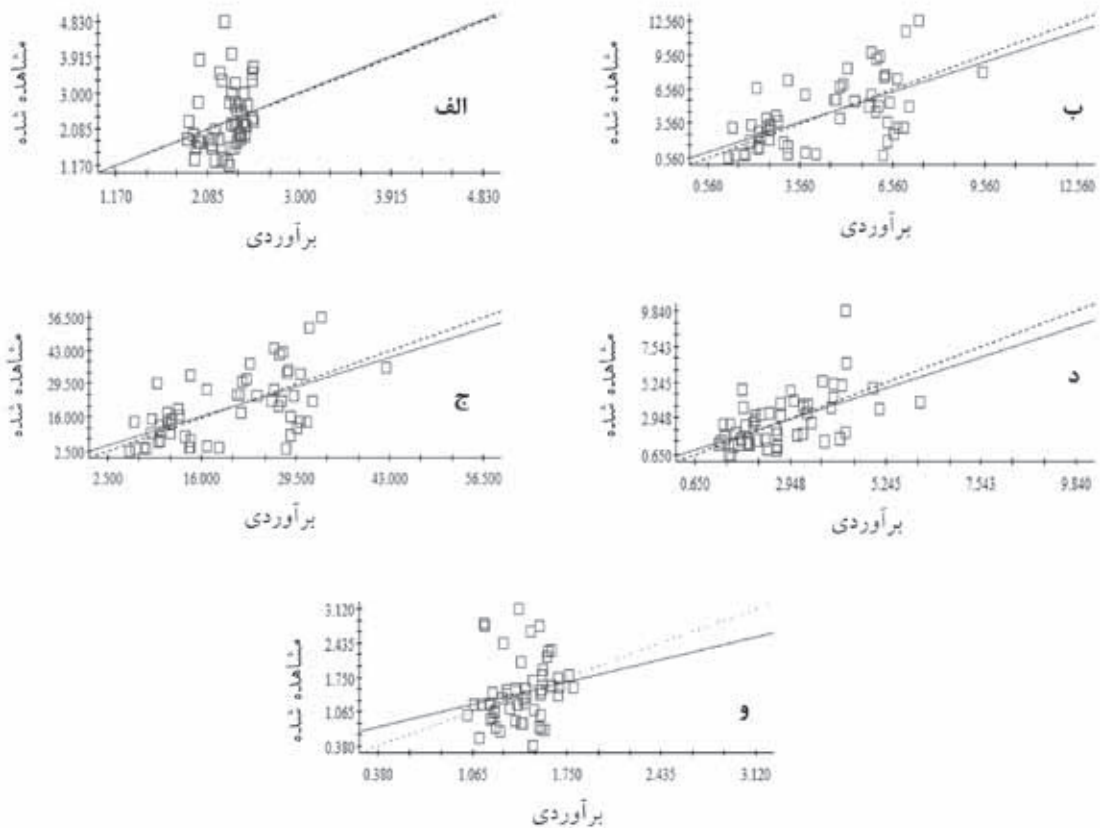
خاک از روش پیکنومتر [۱۰] و منیزیم قابل جذب نیز به روش تیتراسیون با محلول EDTA [۱۷] اندازه‌گیری شد.

#### - تجزیه و تحلیل مکانی داده‌ها

در ابتدا به منظور بررسی چگونگی توزیع داده‌ها و دستیابی به خلاصه‌ای از اطلاعات آماری آنها با استفاده از آمار کلاسیک، ویژگی‌های آماره‌های توصیفی آنها مورد بررسی قرار گرفت و از تحلیل زمین‌آمار برای تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک در منطقه استفاده شد. در مطالعات زمین‌آمار استفاده از داده‌های غیر نرمال ممکن است منجر به نوسان زیاد در تغییرنماها شود و این موضوع سبب کاهش قابلیت اعتماد نتایج می‌گردد، لذا نرمال‌سازی داده‌ها ضروری است. نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف انجام شد. برای نرمال سازی بار رسوب و غلظت رسوب از تبدیل رادیکالی استفاده شد. برای هر متغیر قبل از کاربرد تجزیه و تحلیل زمین آماری، با رسم تغییرنماها در جهات مختلف همسانگردی و ناهمسانگردی آنان کنترل شد. زمین آمار بر پایه‌ی همبستگی مکانی بین مشاهدات استوار است و این چنین همبستگی مکانی را می‌توان به وسیله‌ی یک مدل ریاضی که تغییرنما نامیده می‌شود، بیان کرد. در حقیقت تغییرنما یا  $\gamma(h)$  تابعی است که ساختار تغییرات مکانی یک متغیر را توصیف می‌نماید و به صورت زیر تعریف می‌شود [۱۴].

$$\hat{\gamma}(h) = 1 - \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (Z(x_i) - Z(x_i + h))^2$$

که  $\gamma(h)$  نیمه واریانس برای فاصله  $h$  و  $N(h)$  تعداد زوج نقاط



شکل ۳- نمودارهای اعتبارسنجی مدل درونیابی حاصل از (الف)، آستانه شروع رواناب، (ب)، حجم رواناب، (ج)، ضریب رواناب، (د)، بار رسوب و (و) غلظت رسوب

مربوط به توزیع مکانی عامل‌های رواناب و رسوب با استفاده از روش کریجینگ در شکل‌های ۲-۴ نشان داده شده است.

### بحث و نتیجه‌گیری

طرح نمونه‌برداری این پژوهش به صورت شبکه سلولی منظم با فاصله نقاط مساوی تعیین شده است، چون طرح نمونه‌برداری نظام مند (سیستماتیک) نتایج دقیق‌تری را نسبت به طرح تصادفی فراهم کرده و دقت متناسب با اندازه نمونه افزایش می‌یابد [۳۲]. انتخاب مناسب‌ترین طول گام<sup>۱</sup> و فاصله کلاس گام<sup>۲</sup> در نرم افزار GS<sup>+</sup> بحث حساسی در برازش مدل نیم‌تغییرنا است که منجر به تولید نقشه بهتر تغییرات مکانی می‌شود. برای تولید بهترین نتایج، این فواصل باید نزدیک به فواصل نمونه‌برداری انتخاب شود. سرنگی و همکاران [۲۷] نیز در پژوهش خود به این موضوع اشاره نمودند. نیم‌تغییرنمای تجربی اشکال متعددی را بسته به کیفیت داده‌ها و فاصله‌ی نمونه‌ها به خود می‌گیرد [۶]. مدل مناسب برازش شده برای ویژگی‌های رواناب و رسوب کروی و نمایی است که جزو مدل‌های سقف‌دار هستند و نمایانگر وجود ساختار فضایی و وابستگی مکانی متغیرها است. مدل‌های برازش داده شده به تغییرنا

### نتایج

آمار توصیفی رواناب و رسوب در جدول ۱ آمده است. ضریب تغییرات به عنوان ضریبی برای نشان دادن تغییرات کلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به جدول ۱، متغیر بار رسوب با ۹۳/۷۵ درصد بیشترین ضریب تغییرات را داشته است.

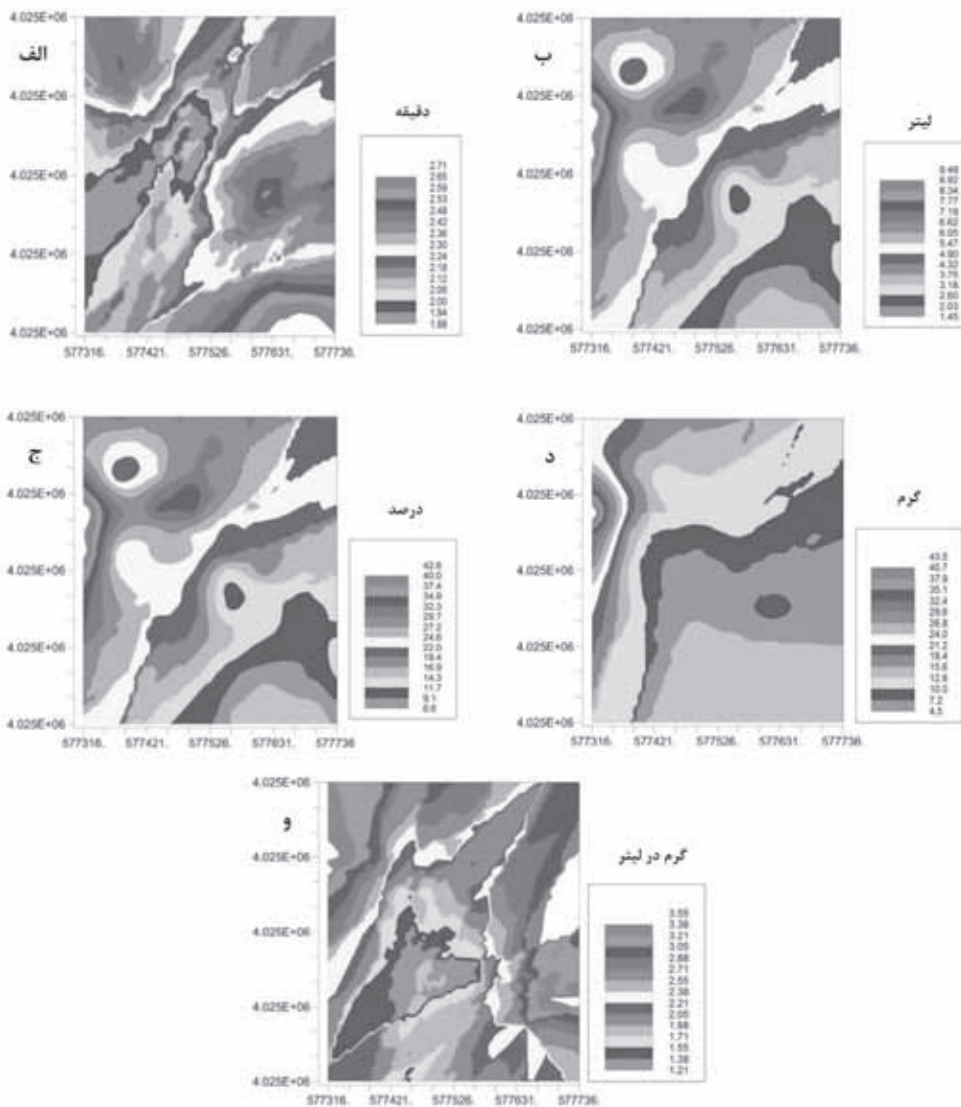
### تجزیه و تحلیل مکانی ویژگی‌های رواناب و رسوب

مدل‌های معرفی شده در جدول ۲، به علت داشتن ویژگی‌های مجموع مربعات باقیمانده کمتر و ساختار بهتر از بین تمامی مدل‌های برازش شده به ویژگی‌های رواناب و رسوب، انتخاب شدند. مدل مناسب برای همه ویژگی‌های رواناب و رسوب، از نوع همسانگرد یا مستقل از جهت بوده است. بر اساس نتایج حاصل از واریوگرافی، مشاهده شد که حجم رواناب و غلظت رسوب با ۱۰۱۰/۹۰ متر بیشترین و رسوب با ۸۳۱ متر کمترین دامنه تأثیر را در بین ویژگی‌های رواناب و رسوب داشته‌اند.

در منطقه وابستگی مکانی ویژگی‌های رواناب و رسوب، متفاوت بوده است. ویژگی‌های آستانه شروع رواناب و غلظت رسوب، وابستگی مکانی متوسط داشتند ولی حجم رواناب، ضریب رواناب و بار رسوب، وابستگی مکانی قوی داشتند.

تغییرنماها، نمودارهای اعتبارسنجی محاسبه شده و نقشه‌های

1- lag distance  
2- lag class distance interval



شکل ۴- نقشه‌های توزیع مکانی (الف)، آستانه شروع رواناب، (ب)، حجم رواناب، (ج)، ضریب رواناب، (د)، بار رسوب و (و) غلظت رسوب

در این پژوهش، تغییرنمای ویژگی‌های آستانه شروع رواناب، بار رسوب و غلظت رسوب دارای اثر قطعه‌ای بسیار کوچکی است که حاکی از وارپانس تصادفی پایین این متغیرها در منطقه مورد مطالعه است به این معنی که نمونه‌های نزدیک به هم مشابه و نمونه‌های دور از هم مقادیر متفاوت‌تری دارند. به عبارت دیگر اثر قطعه‌ای کوچک و نزدیک به صفر بیانگر یک پیوستگی مکانی بین نقاط همسایه می‌باشد. از بین ویژگی‌های خاک اندازه‌گیری شده، برخی ارتباط مکانی نزدیکی با متغیر آستانه شروع رواناب دارند. دامنه تأثیر ویژگی‌های آهک، ماده آلی، ازت، جرم ویژه حقیقی، سدیم، منیزیم و شن (۹۱۰/۹۰) متر نزدیک به دامنه تأثیر متغیر آستانه شروع رواناب (۹۱۵/۹۰) است. بنابراین می‌توان اینطور تفسیر کرد که تغییرات مکانی ویژگی‌های ذکر شده خاک، متغیر آستانه شروع رواناب را بیشتر تحت تأثیر قرار می‌دهند. با توجه به اینکه در فواصل بیشتر از دامنه تأثیر نمونه‌ها وابستگی مکانی ندارند، به منظور بررسی روابط

در روش کریجینگ برای خصوصیات حجم رواناب، ضریب رواناب و بار رسوب کرووی است. واعظی و همکاران [۳۰] نیز در مطالعه خود الگوی تغییرات مکانی رواناب با مدل کرووی و شعاع تأثیر ۲/۴۲ کیلومتر را گزارش نمودند. مدل مناسب برازش شده برای آستانه شروع رواناب و غلظت رسوب نمایی است که علت آن می‌تواند بزرگی قابل ملاحظه دامنه تأثیر نسبت به ابعاد تحت پوشش نمونه برداری باشد [۱۳].

تحلیل تغییرنا نشان داد دامنه تأثیر از ۸۳۱ متر برای متغیر بار رسوب تا ۱۰۱۰/۹۰ متر بطور یکسان برای ویژگی‌های حجم رواناب و غلظت رسوب متغیر است. علت یکسان بودن دامنه تأثیر برای ویژگی‌های حجم رواناب و غلظت رسوب را می‌توان اینطور تفسیر نمود که فرایندهای ذاتی خاک بر آنها یکسان بوده است. یکی دیگر از عامل‌های تغییرنا، اثر قطعه‌ای است. اثر قطعه‌ای ناشی از عواملی مانند خطای نمونه برداری، آزمایشگاهی و تحلیل است.

area. *Geoderma*, 123: 51-68.

5-Coppus, R. and Imeson, A.C. and Serink, J. 2003. Identification, distribution and characteristics of erosion sensitive areas in three different Central Andean ecosystems, *Catena*, 51: 315-328.

6-Davatgar, N. and Neyshabouri, M. R., Moghaddam, M.R. 2001, The Analysis of information obtained from soil variables map by use of semivariogram models. *Iranian Journal of agricultural sciences*, 31(4), 725-735. (In Persian)

7-Einax, J.W., and Soldt, U., 1999. Geostatistic and multivariate statistical methods for the assessment of polluted soil-merits and limitations. *Chemometrica and Intelligent Laboratory System*, 49:79-91.

8-Goovaerts, P. 1997. *Geostatistics for natural resources evaluation*. Oxford University Press, New York. 483 p.

9-Isaaks, E.H. and Srivastava, R.M. 1989. *An introduction to applied geostatistics*. Oxford University Press, New York. 561p.

10-Jacob, H. and Clarke, G., 2002. "Methods of Soil Analysis, Part 4, Physical Method", Soil Science Society of America, Inc, Madison, Wisconsin, USA, 1692 p.

11-Jafarian Jeloudar, Z. and Arzani, H., Jafari. M., Kelarestaghi, A., Zahedi, Gh., Azarnivand, H. 2009. Spatial distribution of soil properties using geostatistical methods in Rineh rangeland, *Rangeland journal*, 3 (1): 120-137. (In Persian)

12-Jordan, J.P. 1994. Spatial and temporal variability of streamflow generation processes on a Swiss catchment, *Journal of Hydrology*, 153: 357-382.

13-Journel, A.G. and Huijbergts, C.J. 1978. *Mining geostatistics*. Academic Press Inc. 599p.

14-Hasani pak, A. 2007. *Geostatistics*, Tehran University Press, 314 pp. (In Persian)

15-Kumke, T. and Schoonderwaldt, A. and Kienel, U. 2005. Spatial variability of sedimentological properties in a large Siberian lake, *Aquatic Sciences* 67: 86-96.

16-Knudsen, D. and Peterson, G.A., Pratt, P. F.

بین ویژگی‌های ذکر شده خاک و متغیر آستانه شروع رواناب، فاصله بهینه نمونه‌برداری را می‌توان بین ۹۱۰/۹۰ تا ۹۱۵/۹۰ متر در نظر گرفت.

به طور معمول نسبت اثر قطعه‌ای به سقف می‌تواند برای طبقه‌بندی وابستگی مکانی ویژگی‌های خاک مورد استفاده قرار گیرد [۱۸]. اگر این نسبت کمتر از ۰/۲۵ باشد وابستگی مکانی قوی، بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ باشد وابستگی متوسط و اگر بیشتر از ۰/۷۵ باشد وابستگی ضعیف است [۳]. ویژگی‌های حجم رواناب، ضریب رواناب و بار رسوب وابستگی مکانی قوی داشتند. متغیرهایی که دارای ساختار مکانی قوی هستند و مقدار اثر قطعه‌ای آنها بسیار کم است، نشان‌دهنده پیوستگی بالای توزیع این متغیرها در منطقه است.

در مجموع می‌توان گفت در مطالعات فرسایش خاک، نحوه ارزیابی خطر فرسایش و پهنه‌بندی اراضی به درجات با شدت‌های مختلف فرسایش از طریق مدل‌سازی حائز اهمیت فراوان است. چرا که با شناسایی مناطق دارای خطر فرسایش، می‌توان مدیریت صحیحی در استفاده از اراضی اعمال نمود و با اجرای عملیات آبخیزداری متناسب با شرایط منطقه، موجب جلوگیری و یا کاهش خطرات فرسایش شد. امید است پژوهش‌های مشابه در این زمینه در مناطق با اقلیم، شیب و خاک‌های متفاوت پس از واسنجی شبیه‌ساز باران، به منظور مقایسه نتایج بدست آمده و ارایه راهکارهای مدیریتی انجام گیرد.

#### منابع

1-ASCE Task Committee on Application of Artificial Neural Networks in Hydrology: Artificial neural networks in hydrology I: preliminary concepts, *Journal of Hydrologic Engineering*, ASCE, 5(2), 115-123, 2000.

2-Bremner, J. M., and Mulvaney, C. S. 1982 Nitrogen total. P. 595-624. In A. L. Page (ed.), *Methods of soil analysis*. Agron. No. 9, Part 2: Chemical and microbiological properties, 2nd ed., Am. Soc. Agron., Madison, WI, USA.

3-Cambardella, C.A. Moorman, T. B. Parkin, T. B. Karlen, D.L. and Turco. R.F. and Konopka, A. E. 1994. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 1501-1511.

4-Cerri, C.E.P. and 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

- 27-Sarangi, A. and Madramootoo, C.A. and Enright, P. 2006. Comparison of Spatial Variability Techniques for Runoff Estimation from a Canadian Watershed. *Biosystems Engineering*, 95 (2), 295–308.
- 28-Seegeer, M. 2007. Uncertainty of factors determining runoff and erosion processes as quantified by rainfall simulations. *Catena*, 71: 56-67.
- 29-Troendle, C.A. 1985. Variable source area model, in: *Hydrological Forecasting*, edited by: Anderson, M. C. and Burt, T. P., Wiley, Chichester, pp. 347–404.
- 30-Vaezi, A.R. and Bahrami, H.A. Sadeghi, S.H.R. Mahdian M.H. 2008. Spatial Variations of Runoff in a Part of Calcaerous Soils of Semi-Arid Region in Northwest of Iran, *Journal of Agricultural Science and Natural Resources*, Vol. 15, No. 5, pp. 213-225. (In Persian)
- 31-Vaezi, A.R. and Bahrami, H.A. Sadeghi, S.H.R. and Mahdian, M.H. 2010. Modeling relationship between runoff and soil properties in dry-farming lands, NW Iran, *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 7: 2577-2607.
- 32-Wang, X. J., and Qi, F., 1998. The effects of sampling design on spatial structure analysis of contaminated soil. *The Science of the Total Environment*, 224, 29-41.
- 33-Wang, Y. and Zhang, X. and Huang, C. 2009. Spatial variability of soil total nitrogen and soil total phosphorus under different land uses in a small watershed on the Loess Plateau, China. *Geoderma* 150: 141–149.
- 34-Webster, R. and Oliver, M.A. 2001. *Geostatistics for Environmental Scientists*. John Wiley and sons, Brisbane, Australia.
- 35-Yong, Z.S. and Yul, L. and Halin, Z. 2006. Soil properties and their spatial pattern in a degraded sandy grassland under post- grazing restoration, Inner Mongolia, northern China. *Biogeochemistry*, 79: 297-314.
1982. Lithium, sodium, potassium. In *Methods of soil analysis, part 2*, ed. A. L. Page. Madison, Wisc.: ASA-SSSA.
- 17-Lanyon L.E. and Heald, W.R., 1982. Magnesium, calcium, strontium and barium. In: *Methods of soil analysis. Part 2* 2nd ed. Page AL, Miller RH, Keeney DR (Eds). *Agronomy No. 9 American Society of Agronomy, Madison WI*, pp. 247-262.
- 18-Li, H.B. and Reynolds, J.F. 1995. 'On definition and quantification of heterogeneity', *Oikos*, 73, 280–284.
- 19-Lu, X.X. and Higgitt, D.L. 2000. Estimating erosion rates on sloping agricultural land in the Yangtze Three Gorges, China, from caesium-137 measurements, *Catena*, 39: 33-51.
- 20-Mohammadi, J. 2006. *pedometry (spatial statistics)*, Pelk Press, 453 pp. (In Persian)
- 21-Nelson, D.W. and Sommers. L. E., 1982. Total carbon and organic matter. In *Methods of soil analysis, part 2*, ed. A. L. Page. Madison, Wisc.: ASA-SSSA.
- 22-Nelson, R.E. 1982. Carbonate and gypsum. In A.L Page, ed. 1982. *Methods of soil analysis, Part 2: Chemical and microbiological properties*, 2nd edition. *Agronomy Monograph No. 9, American Society of Agronomy, Madison, WI*.
- 23-Olsen, S. R., L. E. Sommers. 1982. Phosphorus. P. 403- 430. In A. L. Page (ed), *Methods of soil analysis, Agron. No. 9, Part 2: Chemical and microbiological properties*, 2nd ed., Am. Soc. Agron., Madison, WI, USA.
- 24-Polhaman, H. 1993. Geostatistical modeling of environment data. *Catena*, 20:191-198.
- 25-Renard, K.G. and Ferreira, V.A. 1993. RUSLE Model Description and Database Sensitivity. *Environmental Utility Journal*, 22: 458-466.
- 26-Sadeghi, S.H.R. and Hedayatzadeh, R., Naderi, H., HosseinAlizadeh, M. 2008. Comparison of Different Quaternary Formations in Runoff and Sediment Yield in Sarchah Ammary Rangelands of Birjand, Rangeland, Vol. 2, No. 4, pp. 463-449. (In Persian)