

## الگوسازی تخمین فرسایش کاوشی باد از سطح سنگ‌فرش بیابان (مطالعه موردی: دشت ریگی بردسیر)

سید حجت موسوی\*؛ استادیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا و اکوتوریسم، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران  
اسماعیل پاریزی: دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران  
عبدالمجید احمدی: عضو هیئت علمی گروه جغرافیای دانشگاه بزرگمهر قاننات، قانن، ایران

وصول: ۱۳۹۲/۰۲/۱۷ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۹/۰۵، صص ۲۱-۳۸

### چکیده

دشت‌های ریگی، یکی از مهم‌ترین اشکال ژئومورفیک مناطق خشک و نیمه‌خشک، تأثیر جالب توجهی در حفاظت از خاک در برابر فرسایش کاوشی باد دارند؛ بر این اساس، هدف از این پژوهش، الگوسازی تخمین فرسایش کاوشی باد در سطح دشت‌های ریگی منطقه بردسیر کرمان با بهره‌گیری از روش‌های آماری است. در این راستا، ابتدا مهم‌ترین پارامترهای فرسایشی سنگ‌فرش بیابان نظیر وزن کل رسوب عمقی، وزن رسوب عمقی زیر ۲ میلیمتر، وزن رسوب عمقی بالای ۲ میلیمتر، وزن رسوب سطحی و درصد پوشش سطحی، در امتداد ۵ ترانسکت و ۱۵ نقطه، به روش نمونه‌برداری میدانی اندازه‌گیری و سپس با تحلیل از طریق آزمون‌های آماری آنالیز رگرسیون ساده و چندگانه، رابطه‌سنجی و الگوسازی شد. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین ارتباط معنادار بین مؤلفه‌های وزن رسوب عمقی بالای ۲ میلیمتر و وزن رسوب سطحی برای تمامی روابط خطی، درجه ۲ و درجه ۳ وجود دارد؛ به طوری که ضریب تبیین تمامی این الگوها، ۰/۹۱۸ بوده و به ترتیب دارای خطای برآورد ۰/۱۸۲، ۰/۱۸۹ و ۰/۱۹۸ هستند. همچنین نتایج الگوسازی چندگانه، دربردارنده بیشترین ارتباط معنادار پارامترهای وزن کل رسوب عمقی، وزن رسوب عمقی زیر ۲ میلیمتر، وزن رسوب عمقی بالای ۲ میلیمتر و وزن رسوب سطحی با یکدیگر با ضریب تبیین ۱ و خطای برآورد ۰/۰۰۰ در سطح معناداری ۰/۹۹ است. درنهایت برای تخمین میزان مواد فرسایش‌یافته از سطح دشت ریگی، الگوهایی طراحی و ارائه شده که به منزله ابزارهایی سودمند در اختیار مدیران و برنامه‌ریزان محیطی، بیانگر روند و گرایش رفتاری چشم‌انداز سنگ‌فرش بیابان هستند. این نتایج، مدیریت محیط سیستم دشت‌های ریگی را از منظر وضعیت و عملکرد فرآیند رفت‌وروب بادی نمایان ساخته که نمایانگر وضع موجود نسبت به وضع ایده‌آل است.

واژه‌های کلیدی: دشت ریگی، فرسایش کاوشی، فرآیند بادی، الگوسازی، آنالیز رگرسیون، بردسیر.

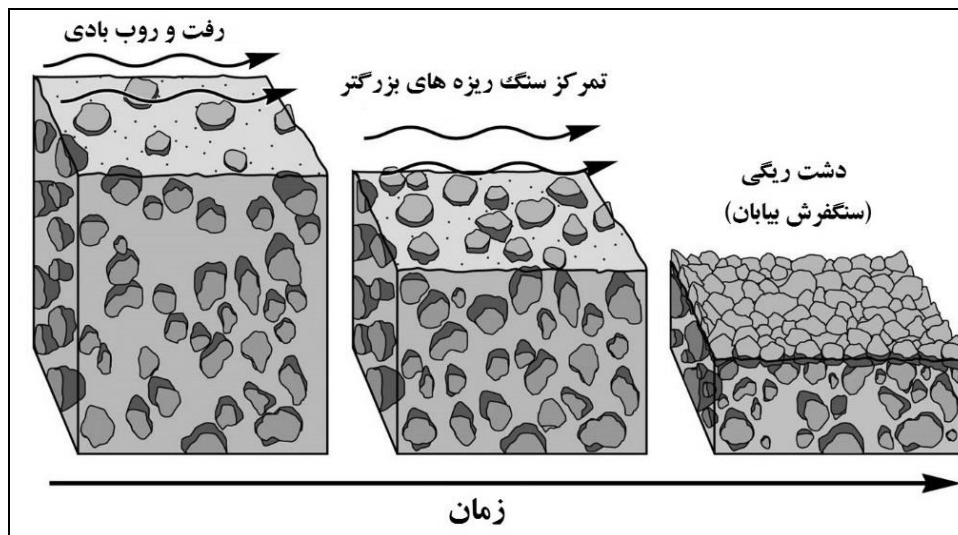
## مقدمه

در (1999; Rostagno and Degorgue, 2011: 224).

این باره میزان رسوبات جابه‌جاشده از سطح دشت ریگی<sup>۱</sup> با فرآیندهای بادی، می‌تواند یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها و عوامل ارزیابی مقدار فرسایش خاک در نظر گرفته شود (شکل ۱)؛ زیرا در مناطق تحت استیلای سیستم‌های مورفوزن بادی بین مقدار مواد فرسایش‌یافته از سطح دشت ریگی و تل‌ماسه‌های بادی مجاور آن، ارتباط معناداری وجود دارد؛ بنابراین با تخمین میزان فرسایش رسوبات از سطح دشت ریگی، می‌توان به برآوردی از فرسایش خاک و حجم مناطق ریگزار همجوار پی برد (برای نمونه: Jianjun, 2001: 357; McFadden, 1996: 101; Wood, 2005: 205; Adelsberger, 2009: 205; Rostagno and Degorgue, 2011: 224; 178).

فرسایش به منزله یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی جهان، ممکن است تأثیر برگشت‌ناپذیری بر بهره‌برداری خاک داشته باشد. این معضل در مناطق خشک و نیمه‌خشک تأثیر بسیار زیادی بر کاهش کیفیت خاک، به‌ویژه خاک‌های کم‌عمق دارد؛ به طوری که در این مناطق، عامل بخش چشمگیری از فرآیندهای بیابان‌زایی است (Schlesinger et al, 1990; Ravi et al, 2010).

به دلیل اینکه اندازه‌گیری مستقیم مقدار فرسایش خاک اغلب دشوار، زمان‌بر و پرهزینه است، بنابراین استفاده از شاخص‌های فرسایش خاک، می‌تواند ابزاری جایگزین برای برآورد میزان فرسایش و همچنین مبنایی برای ارزیابی تأثیر این فرآیندها در کیفیت خاک و سلامتی اکوسیستم باشد (Lal et al, 2001).



شکل ۱. مراحل ایجاد سنگ‌فرش بیابان<sup>۱</sup> که حاکی از میزان ماسه‌های جابه‌جاشده با فرآیندهای بادی از سطح زمین است.

(<http://earthsci.org>)

<sup>1</sup> Desert Pavements

<sup>2</sup> Erg

با تراکم ۴۵ تا ۵۰ درصد جورشدگی ضعیف، می‌تواند تا ۷۰ درصد اثر مربوط به فرسایش بادی را کاهش دهد (اختصاصی، ۱۳۸۳، ۲۴۶).

پژوهشگران در سطح بین‌المللی، مطالعات متعددی دربارهٔ دشت‌های ریگی انجام داده‌اند؛ برای نمونه Haff (۱۹۹۶: ۳۴) در مطالعه‌ای که با هدف مستندسازی ثبات دشت ریگی و نقش آن در بهبود اختلالات سطح زمین، طی یک دوره ۵ ساله در درهٔ کالیفرنیا انجام داد، به این نتیجه رسید که رسوبات سطحی‌ای که حیوانات کوچک جابه‌جا می‌کنند، جزئی اصلی از فرآیند بهبود اختلالات سطح زمین است.

Wainwright و همکاران (۱۹۹۹: ۱۰۲۴) با انجام مجموعه‌ای از آزمایش‌های شبیه‌سازی‌شدهٔ بارش در حوضهٔ آریزونا به دنبال مشاهداتی بودند مبنی بر اینکه دشت ریگی، پس از ایجاد یک اختلال می‌تواند تثبیت شود و فرآیند برخورد قطرات باران در ایجاد و گسترش آن نقش دارد.

Jianjun و همکاران (۲۰۰۱: ۳۵۷) دربارهٔ نقش دشت ریگی در کنترل حرکت شن و ماسه در صحرای گبی بیان کردند که دشت ریگی مانع از شکل‌گیری تپه‌های ماسه‌ای بزرگ می‌شود.

Haff (۲۰۰۲: ۱۴۵) در پژوهش خود در درهٔ مرگ امریکا استنباط کرد که اختلال در حال پیشرفت در دشت ریگی مربوط به اغتشاش زیستی است که به بارش‌های اخیر النینو برمی‌گردد. مشاهدات او نشان داد که تغییر در سطوح دشت ریگی، ممکن است نشانهٔ اولیهٔ تغییرات آیندهٔ بوم‌شناسی و محیط زیست بیابان باشد.

دشت ریگی، ویژگی برجستهٔ بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک کرهٔ زمین است (Rostagno and Degorgue, 2011: 224) و نقشی پویا در ژئومورفولوژی، آب‌شناسی و فرآیندهای اکولوژیک بازی می‌کند (Wood, 2005: 205).

دشت ریگی بالغ، نه‌تنها به عنوان نشانهٔ پایداری و ثبات (ثبات پویا، نه ایستا) در نظر گرفته می‌شود (Haff, 1996: 34)، بلکه بیشتر از آن به منزلهٔ شاخص سن سطحی یاد می‌شود (Kleber, 2012: 172).

مطالعات اخیر نشان داده که تجمع ماسه‌ها در ریگزارها و فرسایش مواد از نظر ژنتیکی با شکل‌گیری سنگ‌فرش بیابان مرتبط و همزمان است (McFadden, 1996: 101). این پدیدهٔ ژئومورفولوژیکی معمولاً در مناطقی که پوشش گیاهی پراکنده دارد و مانعی در مقابل باد وجود ندارد، تشکیل می‌شود (Simanton et al., 1984).

عواملی مانند پوشش گیاهی، قشر نمکی و چسبندگی ذرات بر اثر باران، ممکن است نقشی اساسی در شکل‌نگرفتن سنگ‌فرش بیابان داشته باشند. اصولاً در ایجاد دشت ریگی، نه‌تنها باد و آب دخیل هستند، بلکه عوامل دیگری نیز مانند حرکات عمودی خاک‌های سطحی در این امر مؤثرند (احمدی، ۱۳۸۷: ۱۳۵).

دشت‌های ریگی در بیشتر چاله‌های ایران که مشخص‌کنندهٔ فرسایش بادی هستند، مشاهده می‌شوند. یکی از دلایل شناسایی این مناطق، مکانیسم طبیعی آنها در ایجاد پوشش طبیعی محافظ برای سطوح زیرین است؛ به طوری که یک پوشش سنگی

۶۳/۸ و ۵۶/۴ میلیمتر است و ارتباطی قوی بین وزن شن‌های سطحی و ضخامت لایه باقی‌مانده وجود دارد.

Dietze and Kleber (۲۰۱۲: ۱۷۲) با مطالعه الگوها و ویژگی‌های هندسی دشت ریگی دریافتند که فرآیندهای جانبی مانند جریان زمینی غیرمتمرکز باد و خزش ذرات در شکل‌گیری و توسعه دشت ریگی نقش اساسی دارند.

عظیم‌زاده و اختصاصی (۱۳۸۳) با بررسی تأثیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در سرعت آستانه فرسایش بادی در دشت یزد - اردکان به این نتیجه رسیدند که سرعت آستانه فرسایش<sup>۱</sup> در دشت سرلخت با پوشش سنگ‌فرش ۷۰ تا ۹۰ درصد، ۱۲ تا ۱۴ متر بر ثانیه و در دشت سرآپانداژ با پوشش سنگ‌فرش ۴۵ تا ۷۰ درصد، ۷ تا ۱۲ متر بر ثانیه در ارتفاع ۱۰ متری است؛ به عبارتی آنها دریافتند که بین مقدار پوشش سنگ‌فرش و سرعت آستانه فرسایشی رابطه معناداری وجود دارد.

جوادی و همکاران (۱۳۸۴) دریافتند که پوشش سنگ‌فرش بیابان ضمن کاهش فرسایش‌پذیری خاک به صورت مستقیم، بر فرآیند فرسایش آبی نیز به طور غیرمستقیم با تغییر ویژگی‌های فیزیکی خاک از قبیل ظرفیت نفوذپذیری، شدت نفوذ آب، سله‌بندی و خواص آب‌شناختی سطح خاک، تأثیر می‌گذارد.

عظیم‌زاده و همکاران (۱۳۸۵) از روش کریجینگ به منظور برآورد درصد سنگ‌فرش بیابانی و سرعت آستانه فرسایش بادی در منطقه ابراهیم‌آباد مهریز بهره

Wood (۲۰۰۵: ۲۰۵) در پژوهشی که در کالیفرنیا انجام داد، دریافت که دشت ریگی، توزیع فضایی پوشش گیاهی و ویژگی‌های خاک بیابان را نشان می‌دهد.

Farraj (۲۰۰۸: ۱۵۴) با مطالعه سنگ‌فرش بیابان در جنوب غربی دریاچه ایر در جنوب استرالیا، هفت مرحله شکستن سنگ، سقوط سنگ، تجمع خاک شنی بین قطعات سنگ، تکه‌تکه شدن سنگ‌ها، تکه‌تکه شدن دوباره همراه با بافت شنی، لومی و ماسه‌ای خاک، سطح تقریباً مسطح همراه با خاک شنی و گل و لای و تشکیل سطحی متشکل از سنگ‌های کوچک و گرد را برای توسعه و تکامل سنگ‌فرش بیابان برشمرد.

Adelsberger (۲۰۰۹: ۱۷۸) با مطالعه دشت ریگی در مصر به وجود رابطه معنادار بین ویژگی‌های دشت ریگی و ویژگی‌های ژئومورفیک منطقه پی برد.

Bockheim (۲۰۱۰: ۴۱۳) در مطالعه سنگ‌فرش بیابان در کوه‌های Transantarctic به این نتیجه رسید که سنگ‌فرش بیابان در دو بخش با جنس‌های متضاد ماسه سنگ - دلریتی و گرانیت - گنیس توسعه یافته و میزان تراکم سطحی رسوبات درشت‌دانه در این منطقه بین ۶۳ تا ۹۲ درصد است.

Rostagno and Degorgue (۲۰۱۱: ۲۲۴) در پژوهشی که در شمال شرق پاتاگونیا انجام دادند، رابطه بین فرسایش خاک و تشکیل دشت ریگی را در سه سایت فوقانی، میانی و پایین سطح زمین ارزیابی کرده و بیان کردند که مقدار فرسایش خاک در موقعیت‌های بالایی، میانی و پایینی به ترتیب ۶۸/۲،

<sup>۱</sup> کمترین سرعت لازم را در ارتفاع مشخص که موجب جابه‌جایی ذرات خاک می‌شود، «سرعت آستانه فرسایش» می‌نامند.

مطرح باشد، ابعاد  $40 \times 40$  سانتیمتر، مناسب‌ترین ابعاد پلات هستند.

گسترده‌گی فضایی دشت‌های ریگی در دورترین نقاط ایران، مسئله فرسایش کاوشی باد و نقش پوشش دشت ریگی در حفاظت از خاک و مواد سطحی، اهمیت مطالعه این چشم‌انداز ژئومورفیک را در نواحی تحت استیلای فرسایش بادی مشخص می‌سازد؛ بنابراین هدف از این پژوهش، الگوسازی تخمین مقدار فرسایش کاوشی باد در دشت‌های ریگی در منطقه بردسیر کرمان با بهره‌گیری از روش‌های آماری است؛ به عبارتی پژوهش حاضر سعی دارد با استفاده از روابط بین مؤلفه‌های درصد پوشش رسوبات سطح دشت ریگی و حجم رسوبات ریزدانه و درشت‌دانه تا عمق ۲۰ سانتیمتری، مقدار مواد فرسایش‌یافته از سطح دشت ریگی را در منطقه بردسیر کرمان الگوسازی کند تا از طریق آن بتوان به برآوردی از میزان فرسایش کاوشی باد در منطقه دست یازید.

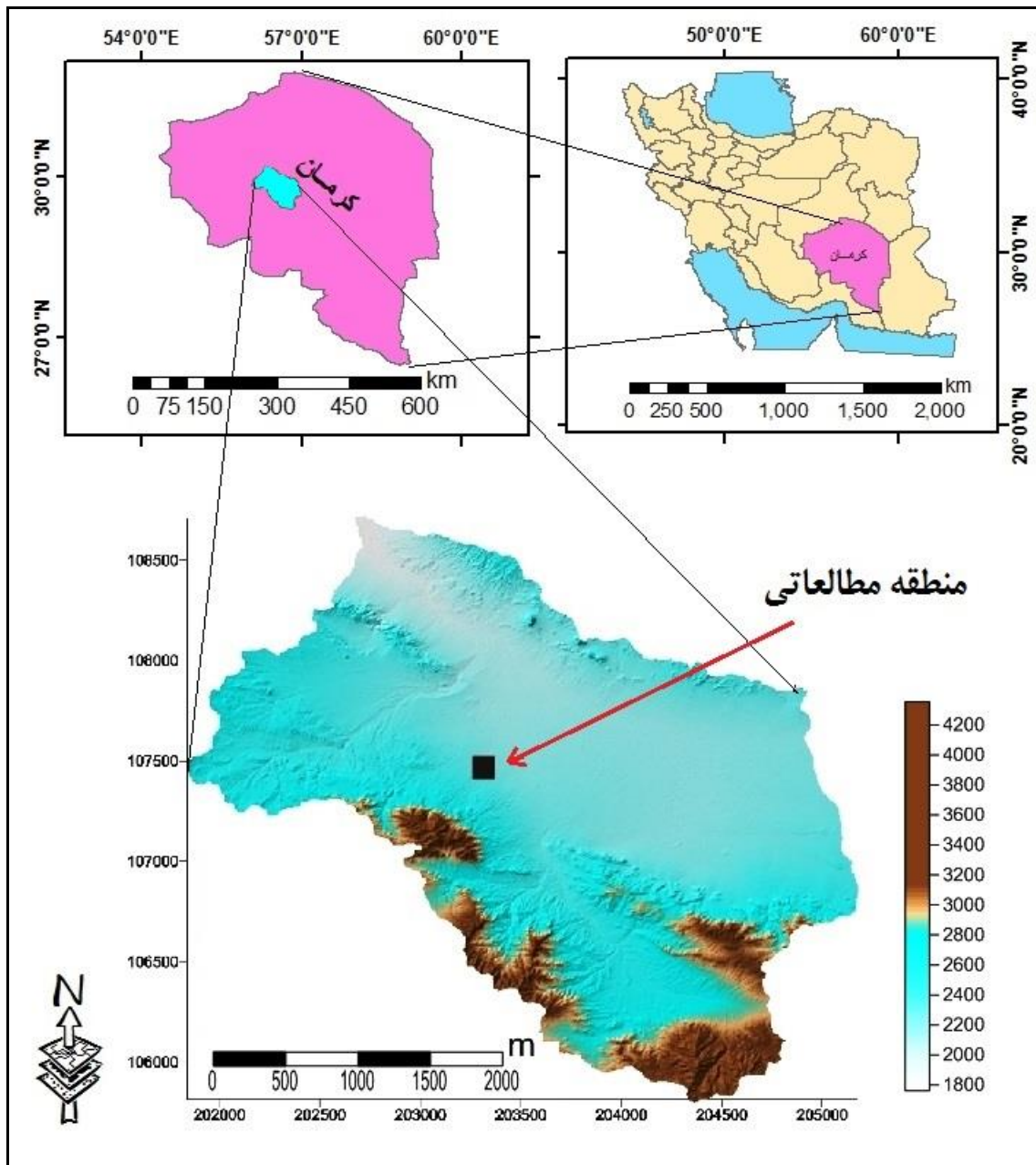
#### منطقه مطالعاتی

منطقه بررسی شده با موقعیت  $56^\circ$  درجه و  $32^\circ$  دقیقه طول جغرافیایی و  $29^\circ$  درجه و  $52^\circ$  دقیقه عرض جغرافیایی در غرب شهرستان بردسیر واقع شده است. (شکل ۲). کمترین و بیشترین ارتفاع این منطقه به ترتیب  $2153$  و  $2181$  متر از سطح دریاهای آزاد است و از منظر ژئومورفولوژی بر روی یک دشت سرآپانداژ قرار دارد.

بردند و بیان کردند که بهره‌گیری از زمین‌آمار و روش کریجینگ معمولی، شیوه مناسب و دقیقی برای تهیه نقشه عوامل مناسب در فرسایش بادی است؛ از جمله: توزیع پوشش سنگ‌فرش بیابانی و خطوط هم‌سرعت آستانه فرسایش بادی.

فتوحی و همکاران (۱۳۹۰) با بررسی اثر سنگ‌فرش بیابان بر فرسایش‌پذیری خاک از روش‌های زمین‌آمار در بخشی از حوضه یزد - اردکان، به این نتیجه رسیدند که در دشت‌سرهای پوشیده، کاهش پوشش سنگ‌فرش تا مرز ۲۰ درصد نقش حفاظتی چندانی برای خاک ندارد؛ به عبارتی ارتباط پوشش سنگ‌فرش و فرسایش‌پذیری خاک در دشت‌سر پوشیده معنادار نیست؛ در حالی که در دشت‌سرهای آپانداژ و لخت با سنگ‌فرش بیش از ۵۰ درصد، مقدار فرسایش‌پذیری خاک کم تا ناچیز است؛ به عبارتی در دشت‌سرهای آپانداژ و لخت، رابطه معناداری بین سنگ‌فرش بیابان و فرسایش‌پذیری وجود دارد؛ این در صورتی است که اختلاط سنگ‌فرش با شخم زمین‌ها، میزان فرسایش‌پذیری خاک را تا ۱۰ برابر مقدار طبیعی افزایش می‌دهد.

تازه و همکاران (۱۳۹۲) برای نخستین بار در ایران، مناسب‌ترین اندازه پلات را برای نمونه‌برداری از سنگ‌فرش بیابان مطرح کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که چنانچه هدف نمونه‌برداری از سنگ‌فرش بیابان در دشت‌سر لخت باشد، ابعاد  $40 \times 40$  سانتیمتر، در دشت‌سر آپانداژ ابعاد  $30 \times 30$  سانتیمتر، در دشت‌سر پوشیده ابعاد  $20 \times 20$  سانتیمتر و چنانچه نمونه‌برداری از سنگ‌فرش بیابان به طور کلی



شکل ۲. موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی

#### روش پژوهش

پس از تعیین حدود منطقه مطالعاتی از طریق تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث، الگوی رقومی ارتفاعی و نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ منطقه در بهمن‌ماه ۱۳۹۲، ابتدا در محدوده‌ای به ابعاد ۵۰۰ × ۵۰۰ متر،

با استفاده از دستگاه GPS، ۵ ترانسکت ۵۰۰ متری در امتداد خط کنیک کوهستان در نظر گرفته و بر روی هر ترانسکت، موقعیت فضایی ۳ نقطه به فاصله ۲۵۰ متر از یکدیگر مشخص شد (جدول ۱).

جدول ۱. موقعیت ترانسکت‌ها و نقاط نمونه‌برداری (منبع: نویسندگان)

شماره ترانسکت	شماره نقطه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
	۱	۲۹ ۵۲ ۰۰	۵۶ ۳۲ ۰۵
۱	۲	۲۹ ۵۲ ۰۲	۵۶ ۳۲ ۰۷
	۳	۲۹ ۵۲ ۰۸	۵۶ ۳۲ ۰۷
	۱	۲۹ ۵۲ ۰۵	۵۶ ۳۲ ۰۹
۲	۲	۲۹ ۵۲ ۰۹	۵۶ ۳۲ ۰۷
	۳	۲۹ ۵۲ ۰۷	۵۶ ۳۲ ۰۵
	۱	۲۹ ۵۲ ۰۰	۵۶ ۳۲ ۰۴
۳	۲	۲۹ ۵۲ ۰۵	۵۶ ۳۲ ۰۰
	۳	۲۹ ۵۲ ۰۷	۵۶ ۳۲ ۰۶
	۱	۲۹ ۵۲ ۰۴	۵۶ ۳۲ ۰۴
۴	۲	۲۹ ۵۲ ۰۶	۵۶ ۳۲ ۰۰
	۳	۲۹ ۵۲ ۰۸	۵۶ ۳۲ ۰۷
	۱	۲۹ ۵۲ ۰۶	۵۶ ۳۲ ۰۶
۵	۲	۲۹ ۵۲ ۰۲	۵۶ ۳۲ ۰۲
	۳	۲۹ ۵۲ ۳۰	۵۶ ۳۲ ۰۷

در موقعیت هر پلات گودالی به عمق ۲۰ سانتیمتر حفر و پارامترهایی نظیر وزن کل رسوب، وزن رسوبات بالای ۲ میلیمتر و وزن رسوبات زیر ۲ میلیمتر اندازه‌گیری شد (شکل ۳). با تکمیل مراحل نمونه‌برداری برای تمامی نقاط پانزده‌گانه، ماتریس داده برای تجزیه و تحلیل و الگوسازی تخمین مقدار مواد فرسایش‌یافته با فرآیندهای روفت‌وروب بادی تشکیل شد (جدول ۲).

سپس در موقعیت نقاط اشاره‌شده، از مؤلفه‌های فرسایشی دشت ریگی منطقه در محدوده‌هایی به وسعت یک پلات  $30 \times 30$  سانتیمتر نمونه‌برداری شد؛ این‌گونه که نخست درصد سنگ‌ریزه‌های پوشش سطحی سنگفرش بیابان با قطر بیش از ۲ میلیمتر از طریق شبکه توری و در مرحله دوم، پس از گردآوری، وزن آنها از طریق ترازویی با دقت ۱۰ گرم تخمین زده شد. سپس،







شکل ۳. تصاویری از روش و ابزار نمونه‌برداری میدانی در عرصه طبیعی

جدول ۲. آمار توصیفی مؤلفه‌های فرسایشی اندازه‌گیری شده و پایگاه داده (منبع: نویسندگان)

چولگی	واریانس	انحراف معیار	میانگین	بیشترین	کمترین	دامنه	مؤلفه
۰.۵۸۰۱۱۹	۳۰۳.۵۷۱۴	۱۷.۴۲۳۳۰۱۳۱	۷۵	۹۰	۴۰	۵۰	درصد پوشش سطحی با ذرات بالای ۲ میلی‌متر
۰.۵۸۰۱۱۹	۰.۰۱۷۷۷۵	۰.۲۹۶۲۶۷۶۵۶	۰.۶۸۴۳۳۳	۱.۵	۰.۲۵	۱.۲۵	وزن رسوبات سطحی به کیلوگرم
۰.۵۸۰۱۱۹	۰.۳۷۲۷۹۲	۰.۶۱۰۵۶۶۵۷۵	۴.۲۵۷۶	۵.۱۱۷	۲.۶۴۷	۲.۴۷	وزن رسوبات عمقی بالای ۲ میلی‌متر به کیلوگرم
۰.۵۸۰۱۱۹۳۵۱	۰.۱۳۰۵۸۴	۰.۳۶۱۳۶۴۱۷۵	۱۹.۳۸۴۷۳	۱۹.۹۳۳	۱۸.۶۵۳	۱.۲۸	وزن رسوبات عمقی زیر ۲ میلی‌متر به کیلوگرم
۰.۵۸۰۱۱۹	۰.۴۰۴۹۵۲	۰.۶۳۶۳۵۸۶۸۹	۲۴.۳۲۶۶۷	۲۵.۳	۲۲.۸	۲.۵	وزن کل رسوبات عمقی به کیلوگرم

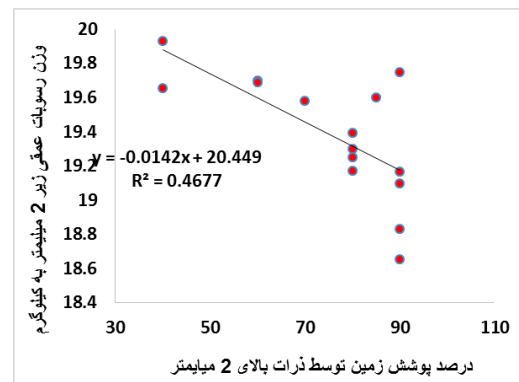
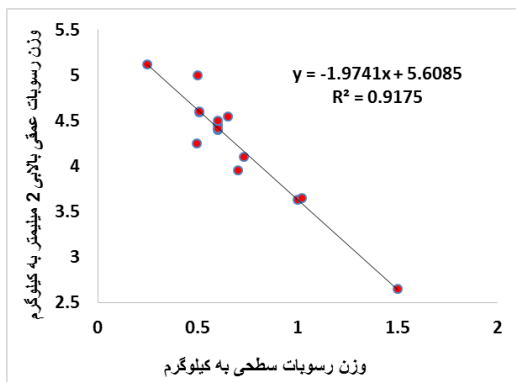
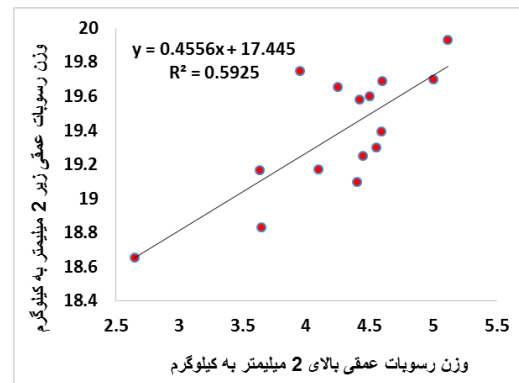
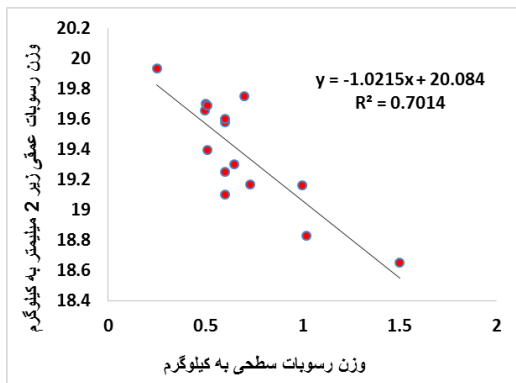
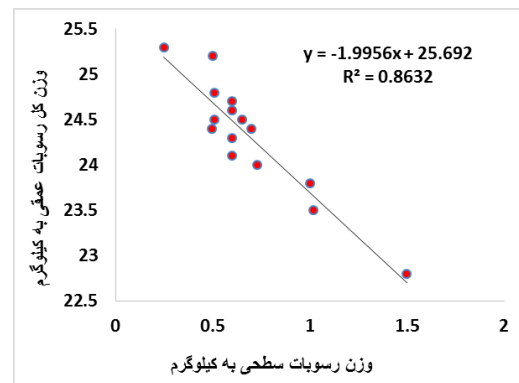
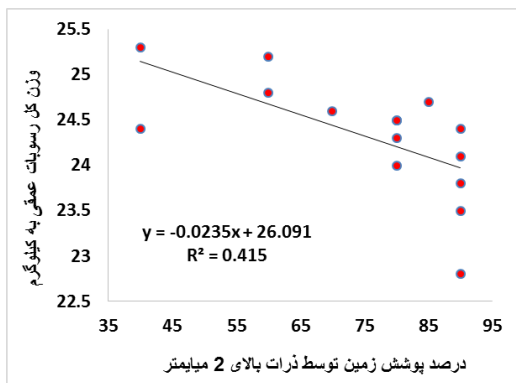
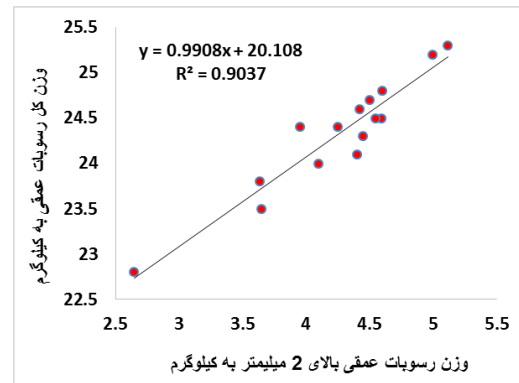
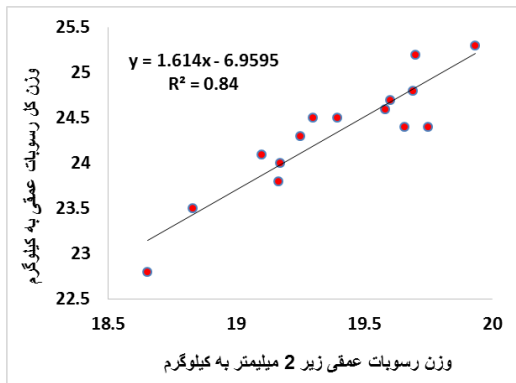
طریق طراحی و ارائه الگوهای آماری موجود بین مؤلفه‌های فرسایشی دشت ریگی به دست می‌آید.

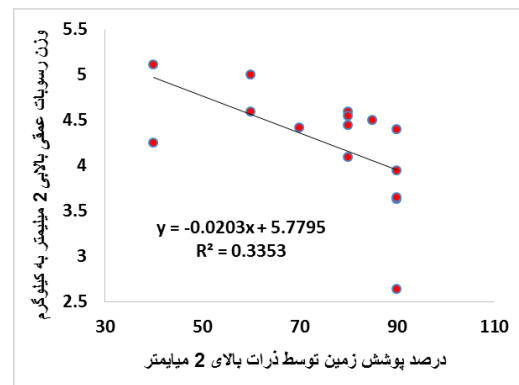
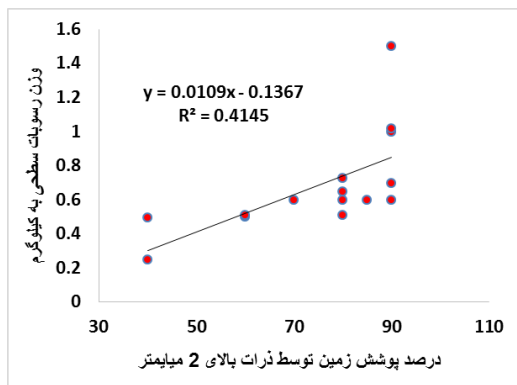
### یافته‌ها و نتایج

برای تخمین مقدار مواد ازدست‌رفته در نتیجه فرآیندهای فرسایش بادی در دشتهای ریگی منطقه بردسیر کرمان، بین مؤلفه‌های فرسایشی اندازه‌گیری شده، ابتدا رگرسیون ساده و سپس رگرسیون چندمتغیره برازش داده شد. نتایج به دست آمده از تحلیل رگرسیون ساده بین مؤلفه‌های مورفومتری دشتهای ریگی منطقه مطالعاتی در بردسیر کرمان در شکل (۴) و جدول (۳) آمده است.

داده‌ها بر مبنای روش‌های آماری، نظیر تحلیل رگرسیون در محیط نرم‌افزار SPSS تجزیه و تحلیل شد. برای این مهم، ابتدا بین وزن رسوب کل و وزن رسوبات بالای ۲ میلی‌متر عمقی، تحلیل رگرسیون ساده و چندمتغیره برازش و الگوی آن طراحی شد؛ سپس رابطه بین وزن و درصد سنگریزه‌های سطحی با وزن رسوبات عمقی بالای ۲ میلی‌متر، بر اساس توابع ساده و چندگانه آماری الگوسازی شد تا بتوان بر مبنای درصد و وزن رسوبات سطحی، نخست وزن رسوبات عمقی بالای ۲ میلی‌متر و در نهایت وزن رسوب کل را تخمین زد. تخمین مقدار کل رسوب عمقی، برآوردی از مقدار رسوب فرسایش‌یافته با باد خواهد بود که از







شکل ۴. نتایج تحلیل رگرسیون ساده خطی بین پارامترهای مورفومتری دشت‌های ریگی بردسیر (منبع: نویسندگان)

روابط ساده خطی بین این پارامترها به شرح شکل (۴) بوده و ضرایب تبیین بیش از ۰/۷، نشانه ارتباط معنادار قوی بین آنهاست. با وجود اینکه کمترین ضریب تبیین بین مؤلفه‌های وزن رسوبات با پارامتر درصد پوشش زمین توسط ذرات بالای ۲ میلیمتر وجود دارد، معناداری این روابط نیز پذیرفته است و الگوهای حاصل از آنها، از دقت برآورد خوبی برخوردارند.

نتایج آنالیز رگرسیون ساده خطی (شکل ۴)، بیشترین ارتباط معنادار مؤلفه‌های وزن کل رسوبات عمقی و وزن رسوبات عمقی بالای ۲ میلیمتر را با ضریب تبیین ۰/۹۰۴ نشان می‌دهد؛ به این معنی که ۹۰/۴ درصد تغییرات وزن کل رسوبات عمقی با مؤلفه وزن رسوبات عمقی بالای ۲ میلیمتر کنترل شده و ۹/۶ درصد باقی‌مانده سهم سایر متغیرهاست. سایر

جدول ۳. نتایج آنالیز رگرسیون ساده روابط خطی، درجه ۲ و ۳ بین پارامترهای فرسایشی دشت‌های ریگی بردسیر (منبع: نویسندگان)

مؤلفه‌ها	نوع الگو	ضریب همبستگی	ضریب تبیین	خطای برآورد	مقدار F	ضرایب الگو			
						سطح معناداری	b <sup>0</sup>	b <sup>1</sup>	b <sup>2</sup>
وزن کل رسوب عمقی و وزن رسوب عمقی زیر ۲ میلیمتر	خطی	۰/۹۱۷	۰/۸۴۰	۰/۲۶۴	۶۸/۲۴۳	۰/۰۰۰	-۶/۹۶۰	۱/۶۱۴	---
	درجه ۲	۰/۹۱۷	۰/۸۴۰	۰/۲۶۴	۶۸/۲۴۳	۰/۰۰۰	-۶/۹۶۰	۱/۶۱۴	-۱۵/۴۹۴ *
	درجه ۳	۰/۹۲۹	۰/۸۶۲	۰/۲۵۵	۳۷/۵۹۵	۰/۰۰۰	-۱۸۱/۷۰۸	۱۵/۱۹۹	-۲۲۳۱/۲ *
وزن کل رسوب عمقی و وزن رسوب عمقی بالای ۲ میلیمتر	خطی	۰/۹۵۱	۰/۹۰۴	۰/۲۰۵	۱۲۱/۹۷۱	۰/۰۰۰	۲۰/۱۰۸	۰/۹۹۱	---
	درجه ۲	۰/۹۵۳	۰/۹۰۸	۰/۲۰۸	۵۹/۳۹۲	۰/۰۰۰	۲۱/۳۴۸	۰/۳۳۹	۰/۰۸۳
	درجه ۳	۰/۹۵۳	۰/۹۰۸	۰/۲۰۸	۵۹/۳۹۲	۰/۰۰۰	۲۱/۳۴۸	۰/۳۳۹	۰/۰۸۳
وزن کل رسوب عمقی و وزن رسوب سطحی	خطی	۰/۹۲۹	۰/۸۶۳	۰/۲۴۴	۸۲/۰۰۷	۰/۰۰۰	۲۵/۶۹۲	-۱/۹۹۶	---
	درجه ۲	۰/۹۳۲	۰/۸۶۹	۰/۲۴۹	۳۹/۸۷۷	۰/۰۰۰	۲۵/۹۷۰	-۲/۷۳۶	۰/۴۱۶
	درجه ۳	۰/۹۳۲	۰/۸۶۹	۰/۲۶۰	۰/۳۷۰	۰/۰۰۰	۲۵/۹۷۷	-۲/۷۶۸	۰/۴۵۹

الگوسازی تخمین فرسایش کاوشی باد از سطح سنگ‌فرش بیابان / ۳۱

---	---	-۰/۰۲۴	۲۶/۰۹۱	۰/۰۱۰	۹/۲۲۳	۰/۵۰۵	۰/۴۱۵	۰/۶۴۴	خطی	
---	---	-۰/۰۰۱	۰/۰۹۹	۰/۰۰۹	۷/۱۹۶	۰/۴۶۳	۰/۵۴۵	۰/۷۳۸	درجه ۲	وزن کل رسوب عمقی و پوشش
-۷/۸۴۹E-۶	۰/۰۰۱	۰/۲۹۶*	۲۴/۳۴۲	۰/۰۰۹	۷/۲۴۳	۰/۴۶۳	۰/۵۴۷	۰/۷۴۰	درجه ۳	سطحی
---	---	۰/۴۵۶	۱۷/۴۴۵	۰/۰۰۱	۱۸/۹۰۳	۰/۲۳۹	۰/۵۹۳	۰/۷۷۰	خطی	
---	۰/۰۱۴	۰/۳۴۸	۱۷/۶۵۰	۰/۰۰۵	۸/۷۳۸	۰/۲۴۹	۰/۵۹۳	۰/۷۷۰	درجه ۲	وزن رسوب عمقی زیر ۲ و بالای ۲ میلی‌متر
۰/۰۰۱	۰/۳۸۶	۰/۵۸*	۱۷/۶۲۲	۰/۰۰۵	۸/۷۳۸	۰/۲۴۹	۰/۵۹۳	۰/۷۷۰	درجه ۳	
---	---	-۱/۰۲۱	۲۰/۰۸۴	۰/۰۰۰	۳۰/۵۳۴	۰/۲۰۵	۰/۷۰۱	۰/۸۳۷	خطی	
---	۰/۳۸۷	-۱/۷۰۹	۲۰/۳۴۲	۰/۰۰۱	۱۵/۲۴۴	۰/۲۰۷	۰/۷۱۸	۰/۸۴۷	درجه ۲	وزن رسوب عمقی زیر ۲ میلی‌متر و وزن رسوب سطحی
۰/۰۳۰	۰/۳۰۹	-۱/۶۵۱	۲۰/۳۲۹	۰/۰۰۲	۹/۳۱۶	۰/۲۱۷	۰/۷۱۸	۰/۸۴۷	درجه ۳	
---	---	۰/۰۱۴	۲۰/۴۴۹	۰/۰۰۵	۱۱/۴۲۴	۰/۲۷۴	۰/۴۶۸	۰/۶۸۴	خطی	
---	۰/۰۰۰۲	۰/۰۱۹	۱۹/۴۴۵	۰/۰۱۶	۵/۹۳۲	۰/۲۷۷	۰/۴۹۷	۰/۷۰۵	درجه ۲	وزن رسوب عمقی زیر ۲ میلی‌متر و پوشش سطحی
-۱/۲۴۰E-۶	-۴/۲۸۷*	۰/۰۰۳	۱۹/۷۶۷	۰/۰۱۶	۵/۹۲۱	۰/۲۷۷	۰/۴۹۷	۰/۷۰۵	درجه ۳	
---	---	-۱/۹۷۴	۵/۶۰۹	۰/۰۰۰	۱۴۴/۶۵۰	۰/۱۸۲	۰/۹۱۸	۰/۹۵۸	خطی	
---	۰/۰۳۰	-۲/۰۲۷	۵/۶۲۸	۰/۰۰۰	۶۶/۹۷۱	۰/۱۸۹	۰/۹۱۸	۰/۹۵۸	درجه ۲	وزن رسوب عمقی بالای ۲ میلی‌متر و وزن رسوب سطحی
-۰/۰۴۷	۰/۱۵۱	-۲/۱۱۷	۵/۶۴۸	۰/۰۰۰	۴۰/۸۲۲	۰/۱۹۸	۰/۹۱۸	۰/۹۵۸	درجه ۳	
---	---	-۰/۰۲۰	۵/۷۷۹	۰/۰۲۴	۶/۵۵۸	۰/۵۱۷	۰/۳۳۵	۰/۵۷۹	خطی	
---	-۰/۰۰۱	۰/۱۱۰	۱/۸۲۶	۰/۰۱۷	۵/۸۸۴	۰/۴۶۹	۰/۴۹۵	۰/۷۰۴	درجه ۲	وزن رسوب عمقی بالای ۲ میلی‌متر و پوشش سطحی
-۹/۰۷۲E-۶	۰/۰۰۱	۰/۶۱۵*	۳/۹۶۵	۰/۰۱۴	۶/۱۶۶	۰/۴۶۳	۰/۵۰۷	۰/۷۱۲	درجه ۳	
---	---	۰/۰۱۱	-۰/۱۳۷	۰/۰۱۰	۹/۲۰۲	۰/۲۳۵	۰/۴۱۴	۰/۶۴۴	خطی	
---	۰/۰۰۰۳	-۰/۰۳۰	۱/۱۰۰	۰/۰۲۰	۵/۵۵۸	۰/۲۳۱	۰/۴۸۱	۰/۶۹۳	درجه ۲	وزن رسوب سطحی و پوشش سطحی
۲/۶۵۹E-۶	۰/۰۰۰۲	۰/۴۵۳*	۰/۵۴۸	۰/۰۱۷	۵/۷۹۱	۰/۲۲۸	۰/۴۹۱	۰/۷۰۱	درجه ۳	

\* حد اغماض برای متغیرهای ورودی حاصل شده است!

<sup>1</sup> The tolerance limit for entering variables is reached.

برای الگوسازی هرچه دقیق‌تر برآورد مقدار مواد فرسایش‌یافته از سطح دشت ریگی، علاوه بر آنالیز رگرسیون ساده، از روش‌های رگرسیون چندگانه نیز استفاده شده است. رگرسیون چندگانه، اطلاعاتی درباره‌ی الگو به منزله‌ی یک کل فراهم می‌آورد و سهم نسبی هر یک از متغیرهای الگو را نشان می‌دهد. همچنین از تحلیل رگرسیون چندگانه، می‌توان برای کنترل آماری متغیرهای مستقل هنگام بررسی توانایی الگوی پیش‌بینی بهره گرفت. نتایج تحلیل رگرسیون خطی چندگانه به روش درجا بین مؤلفه‌های فرسایش دشت‌های ریگی مطالعاتی، الگوهای متعددی را نشان می‌دهد که الگوها و ارتباطات موجود برای هر مؤلفه در جدول (۴) گزارش شده است.

نتایج آنالیز رگرسیون ساده روابط خطی، درجه ۲ و ۳ (جدول ۳)، حاکی از وجود بیشترین ارتباط معنادار در سطح احتمال خطای کمتر از ۰/۰۱، بین مؤلفه‌های وزن رسوب عمقی بالای ۲ میلیمتر و وزن رسوب سطحی برای تمامی روابط خطی، درجه ۲ و درجه ۳ است که ضریب تبیین این الگوها ۰/۹۱۸ بوده و به ترتیب دارای خطای برآورد ۰/۱۸۲، ۰/۱۸۹ و ۰/۱۹۸ هستند. در مقابل کمترین روابط معنادار ساده بین مؤلفه درصد پوشش سطحی با سایر پارامترها در سطح احتمال خطای ۵ درصد وجود دارد؛ این در حالی است که کلیه روابط اشاره‌شده دارای معناداری در سطوح اطمینان ۹۹ درصد ( $\alpha \leq 0/01$ ) یا ۹۵ درصد ( $\alpha \leq 0/05$ ) هستند.

جدول ۴. خلاصه الگوهای آنالیز رگرسیون خطی چندگانه به روش درجا بین مؤلفه‌های فرسایشی دشت‌های ریگی بردسیر (منبع: نویسندگان)

متغیر وابسته	ضریب همبستگی	ضریب تبیین	ضریب تبیین تعدیلی	خطای برآورد	متغیر مستقل	ضرایب غیراستاندارد		مقدار Beta	سطح معناداری
						مقدار B	خطای استاندارد		
وزن کل رسوب عمقی	۱	۱	۱	۰/۰۰۰	درصد پوشش سطحی	-۱۷-۱۷۳۶E	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰۵	
					وزن رسوب سطحی	۱	۰/۰۰۰	۰/۴۶۶	
					وزن رسوب عمقی بالای ۲ میلیمتر	۱	۰/۰۰۰	۰/۹۵۹	
					وزن رسوب عمقی زیر ۲ میلیمتر	۱	۰/۰۰۰	۰/۵۶۸	
					مقدار ثابت	-۱۴-۸۱۲۸E	۰/۰۰۰	---	
وزن رسوب عمقی زیر ۲ میلیمتر	۱	۱	۱	۰/۰۰۰	درصد پوشش سطحی	-۱۷-۶/۰۸۳E	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰۳	
					وزن رسوب سطحی	-۱	۰/۰۰۰	-۰/۸۲۰	
					وزن رسوب عمقی بالای ۲ میلیمتر	-۱	۰/۰۰۰	-۱/۶۹۰	
					وزن کل رسوب عمقی	۱	۰/۰۰۰	۱/۷۶۱	
					مقدار ثابت	-۱۳-۱/۱۶۴E	۰/۰۰۰	---	

۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰	۱/۳۰۴E-۱۸	درصد پوشش سطحی						
-۰/۴۸۵	۰/۰۰۰	-۱	وزن رسوب سطحی						وزن رسوب
۰/۰۰۰	-۰/۵۹۲	-۱	وزن رسوب عمقی زیر ۲ میلیمتر	۰/۰۰۰	۱	۱	۱		عمقی بالای ۲ میلیمتر
۱/۰۴۲	۰/۰۰۰	۱	وزن کل رسوب عمقی						
---	۰/۰۰۰	-۴/۸۱۸E-۱۵	مقدار ثابت						
۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰	-۲/۷۴۲E-۱۷	درصد پوشش سطحی						
-۲/۰۶۱	۰/۰۰۰	-۱	وزن رسوب عمقی بالای ۲ میلیمتر						وزن رسوب
۰/۰۰۰	-۱/۲۲۰	-۱	وزن رسوب عمقی زیر ۲ میلیمتر	۰/۰۰۰	۱	۱	۱		سطحی
۲/۱۴۸	۰/۰۰۰	۱	وزن کل رسوب عمقی						
---	۰/۰۰۰	-۲/۷۴۲E-۱۳	مقدار ثابت						
۰/۵۱۴	۰/۳۹۴	۳۴/۳۶۳	وزن رسوب سطحی						
۰/۲۷۶	-۰/۶۱۹	۲۶/۰۵۳	وزن رسوب عمقی زیر ۲ میلیمتر						درصد پوشش سطحی
۰/۷۲۴	۰/۲۸۹	۲۱/۸۵۵	وزن کل رسوب عمقی	۱۴/۰۲۷۶	۰/۳۵۲	۰/۴۹۱	۰/۷۰۱		
---	---	---	وزن رسوب عمقی بالای ۲ میلیمتر						
۰/۳۲۵	---	۴۳۲/۱۶۲	مقدار ثابت						

از ۰/۰۵ و معناداری ۹۰ درصد است؛ این در حالی است که الگوهای طراحی شده براساس روش رگرسیون چندمتغیره درجا برای تخمین رسوب از دست‌رفته در سطح دشت‌های ریگی بردسیر از سطح معناداری زیادی برخوردار بوده و دقت لازم را برای تخمین مقدار فرسایش حاصل از رفت‌وروب بادی از سطح دشت‌های ریگی بردسیر دارند.

الگوهای رگرسیون چندمتغیره به روش درجا (جدول ۴)، نمایانگر بیشترین ارتباط معنادار پارامترهای وزن کل رسوب عمقی، وزن رسوب عمقی زیر ۲ میلیمتر، وزن رسوب عمقی بالای ۲ میلیمتر و وزن رسوب سطحی با یکدیگر با ضریب تبیین ۱ و خطای برآورد ۰/۰۰۰ در سطح احتمال خطای کمتر از ۰/۰۱ است. در مقابل، کمترین ارتباط معنادار متعلق به درصد پوشش سطحی با سایر مؤلفه‌ها، با ضریب تبیین ۰/۴۹۱ و خطای برآورد ۱۴/۲۷۶ در سطح احتمال خطای بیش

## بحث و نتیجه‌گیری

بررسی ساختار و عملکرد چشم‌اندازهای ژئومورفیک در ارتباط با تحلیل روابط خطی و غیرخطی بین فرم و فرآیند، یکی از مهم‌ترین اصول و مبانی ژئومورفولوژی سیستمی است. چشم‌انداز بررسی‌شده در پژوهش حاضر، دشت‌های ریگی منطقه بردسیر کرمان است. دشت ریگی، یک ژئوفرم بادی بوده که در تشکیل آن عوامل و فرآیندهای متعددی مؤثر است و مهم‌ترین آنها رفت‌وروب بادی رسوبات با قطر کمتر از ۲ میلیمتر است که باد بسته به سرعت آستانه فرسایشی، توانایی جابه‌جایی آنها را به صورت غلتشی، جهشی و معلق دارد. فرآیند رفت‌وروب بادهای غالب به صورت نیروی محرک، سبب ورود انرژی و خروج مواد از سیستم دشت ریگی می‌شود و فرآیندهایی نظیر مشخصات رسوب‌شناسی مواد (سختی، جنس و اندازه ذرات)، ویژگی‌های اکولوژیکی (تراکم و نوع پوشش گیاهی) و میزان رطوبت خاک به صورت نیروی مانع در برابر رفت‌وروب بادی واکنش نشان داده و مقاومت اکوسیستم را افزایش می‌دهد. در نتیجه برآیند این نیروها باعث جابه‌جایی رسوبات با قطر کمتر از ۲ میلیمتر از نواحی با مقاومت کمتر شده و این فرآیند منجر به تجمع مواد رسوبی با قطر بیش از ۲ میلیمتر در سطح زمین می‌شود. ادامه چنین فرآیندی برابر است با پوشش کامل سطح زمین از رسوباتی که باد توانایی جابه‌جایی آنها را ندارد. مرحله‌نهایی تکامل این فرآیند، سیستم سنگ‌فرش بیابان است که نشانه پایداری، ثبات و خودتنظیمی اکوسیستم در برابر تنش‌های فرسایش بادی است و مانع از ادامه جابه‌جایی رسوبات سطحی می‌شود.

این پژوهش با بهره‌گیری از نمونه‌برداری‌های میدانی از مؤلفه‌های فرسایشی دشت‌های ریگی بردسیر کرمان و روش‌های آماری به الگوسازی مقدار مواد حمل‌شده از سطح زمین پرداخته است؛ بنابراین روابط موجود بین مؤلفه‌های فرسایشی دشت‌های مطالعاتی در قالب پارامترهای وزن کل رسوب عمقی، وزن رسوب عمقی زیر ۲ میلیمتر، وزن رسوب عمقی بالای ۲ میلیمتر، وزن رسوب سطحی، درصد پوشش سطحی، در امتداد ۵ ترانسکت و ۱۵ نقطه نمونه‌برداری و با بهره‌گیری از تحلیل رگرسیون ساده و چندگانه بررسی شده است. نتایج در بردارنده دو گروه عمده روابط بین این مؤلفه‌هاست:

الف: دسته اول، ارتباطاتی با ضریب تبیین بسیار زیاد در سطح معناداری ۰/۹۹ است که شامل روابط چندگانه بین پارامترهای وزن کل رسوب عمقی، وزن رسوب عمقی زیر ۲ میلیمتر، وزن رسوب عمقی بالای ۲ میلیمتر و وزن رسوب سطحی با ضریب تبیین ۱ و درصد احتمال خطای کمتر از ۰/۰۱ بوده و روابط ۱ تا ۴ موجود در جدول (۴) را دربر می‌گیرد. همچنین روابط ساده خطی، درجه ۲ و درجه ۳ بین مؤلفه‌های وزن رسوب عمقی بالای ۲ میلیمتر و وزن رسوب سطحی برای تمامی روابط نیز، بخشی از این گروه است که ضریب تبیین این الگوها برای همه آنها ۰/۹۱۸ بوده و خطای برآورد برای روابط ساده خطی، درجه ۲ و درجه ۳ به ترتیب ۰/۱۸۲، ۰/۱۸۹ و ۰/۱۹۸ است.

ب: دسته دوم شامل روابطی با ضریب تبیین متوسط و سطح معناداری ۰/۹۵ است. این گروه دربردارنده تمامی روابطی است که بین مؤلفه درصد پوشش سطحی با سایر پارامترها - چه در قالب روابط ساده و چه در قالب روابط چندگانه - وجود دارد؛ برای نمونه

در این روابط  $dst$ : وزن کل رسوب عمقی،  $dsm$ : وزن رسوب عمقی بالای ۲ میلیمتر،  $dsl$ : وزن رسوب عمقی زیر ۲ میلیمتر،  $dss$ : وزن رسوب سطحی و  $scp$ : درصد پوشش سطحی است.

برای ارزیابی دقت این الگوها، ابتدا مقدار کل رسوبات عمقی براساس روابط (۱) تا (۴) برآورد و سپس بین مقدار اندازه‌گیری و برآوردشده مقدار کل رسوب عمقی، رگرسیون خطی برازش داده شد که نتایج حاصل از آن در شکل (۵) آمده است. ضرایب تعیین بیش از ۰/۹ در تمامی روابط حاکی از دقت زیاد الگوهای پیشنهادی در تخمین مقدار کل رسوب عمقی و همچنین برآوردی از رسوب فرسایش یافته از سطح سنگ‌فرش بیابان در منطقه مطالعاتی است.

نتایج رگرسیون چندگانه نشان می‌دهد که کمترین ارتباط معنادار متعلق به درصد پوشش سطحی با سایر مؤلفه‌ها، با ضریب تبیین ۰/۴۹۱ و خطای برآورد ۱۴/۲۷۶ در سطح احتمال خطای کمتر از ۰/۱ است.

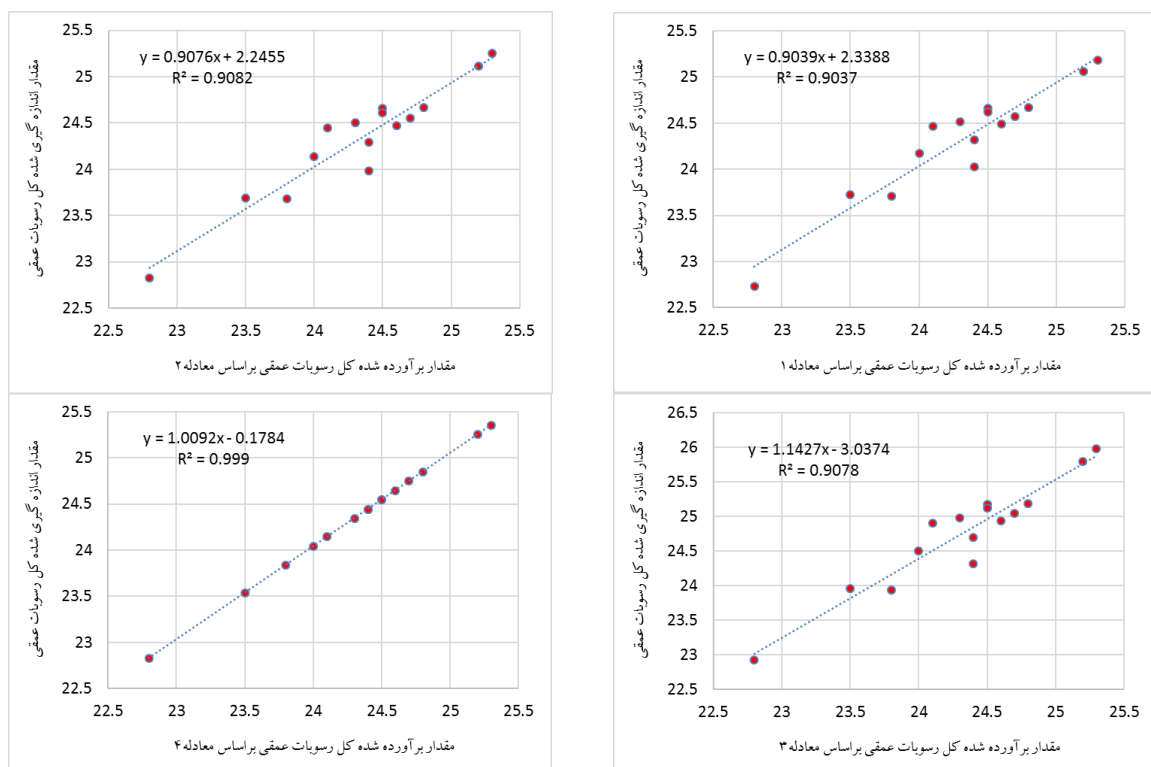
به طور کلی نتایج پژوهش حاضر دربردارنده معادلاتی است که با بهره‌گیری از آنها، به راحتی و با دقت بسیار می‌توان مقدار مواد فرسایش یافته با رفت و روب بادی را از سطح دشت‌های ریگی بردسیر تخمین زد. مناسب‌ترین الگوها شامل روابط (۱) تا (۴) است.

$$dst = 20.108 + 0.991dsm \quad (1)$$

$$dst = 21.348 + 0.339dsm + 0.083dsm^2 \quad (2)$$

$$dst = 21.348 + 0.339dsm + 0.083dsm^2 + 0.005362dsm^3 \quad (3)$$

$$dst = (-8.128E - 14) + dsl + dsm + dss - (1.736E - 17 \times scp) \quad (4)$$



شکل ۵. نتایج ارزیابی دقت الگوهای پیشنهادی (روابط ۱ تا ۴) که منتج از برازش رگرسیون خطی بین مقدار اندازه‌گیری و برآوردشده مقدار کل رسوب عمقی است



خاک در سرعت آستانه فرسایش بادی (مطالعه موردی: دشت یزد - اردکان)، «مجله منابع طبیعی ایران»، شماره ۲، ۱۱-۱.

عظیم‌زاده، ح.ر. و همکاران (۱۳۸۴). کاربرد زمین‌آمار به روش کریجینگ در تخمین درصد سنگ‌فرش بیابانی و سرعت فرسایشی باد، اولین همایش ملی فرسایش بادی، ۴-۶ بهمن‌ماه، یزد: دانشگاه یزد.

فتوحی، ف. و همکاران (۱۳۹۰). «اثر سنگ‌فرش بیابان بر فرسایش‌پذیری خاک با استفاده از زمین‌آمار»، *مجله علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران*، شماره ۱۶، ۱۲-۱.

Adelsberger, K.A., Smith, J.R., (2009), Desert pavement development and landscape stability on the Eastern Libyan Plateau, Egypt, *Journal of Geomorphology*: 107, p: 178-194.

Bockheim, J.G., (2010), Evolution of desert pavements and the vesicular layer in soils of the Transantarctic Mountains, *Journal of Geomorphology*: 118, p: 433-443.

Dietze, M., Kleber, A., (2012), Stone pavements are widespread landforms of arid environments, *Journal of Geomorphology*: 139-140, p: 172-187.

Farraj, Asma Al., (2008), Desert pavement development on the lake shorelines of Lake Eyre (South), South Australia, *Journal of Geomorphology*: 100, p: 154-163.

Haff, P.K., (2001), Desert Pavement: An Environmental Canary, <http://duke.edu/>.

Haff, P.K., Werner, B.T., (1996), Dynamical Processes on Desert Pavements and the Healing of Surficial Disturbances, *Journal of Quaternary Research*, Volume 45, Issue 1, P: 38-46.

Jianjun, Qu., Ning, Huang., Guangrong, Dong., Weimin, Zhang., (2001), The role and significance of the Gobi Desert pavement in controlling sand movement on the cliff top near the Dunhuang Magao Grottoes, *Journal of Arid Environments*: 48, p: 357-371.

در مجموع نتایج پژوهش حاضر در مرحله نخست، مدیریت محیط سیستم دشت‌های ریگی را از منظر وضعیت و عملکرد فرآیند رفت‌و‌روب بادی نمایان می‌سازد که این وضعیت، نشان‌دهنده وضع موجود نسبت به وضع مطلوب و ایده‌آل است. در درجه دوم، برای تخمین میزان رسوب فرسایش‌یافته از سطح دشت ریگی، الگوهای طراحی و ارائه شده که به منزله ابزاری سودمند در اختیار مدیران و برنامه‌ریزان محیطی، بیانگر روند و گرایش رفتاری چشم‌انداز سنگ‌فرش بیابان هستند. مسلماً اگر وضعیت سیستم دشت ریگی در جهت پایداری، ثبات و خودتنظیمی باشد، مطلوب و سودمند خواهد بود؛ اما اگر وضعیت سیستم دشت ریگی در جهت توسعه و پیشرفت رفت‌و‌روب بادی باشد، نامطلوب و زیان‌بار است که منجر به گسترش بیابان و بیابان‌زایی در منطقه می‌شود.

#### منابع

احمدی، ح (۱۳۸۷). *ژئومورفولوژی کاربردی (بیابان-فرسایش بادی)*، جلد دوم، چاپ سوم، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

اختصاصی، م. ر. (۱۳۸۳). *بررسی مورفومتری و مورفودینامیک رخساره‌های فرسایش بادی دشت یزد - اردکان و تعیین شاخص‌های این فرآیند برای کاربرد در مدل‌های ارزیابی بیابان‌زایی*، پایان‌نامه دکتری، تهران: دانشگاه تهران، دانشکده منابع طبیعی.

تازه، م و همکاران (۱۳۹۲). «تعیین مناسب‌ترین اندازه پلات برای نمونه‌برداری از سنگ‌فرش بیابان»، *مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، شماره ۴، ۷۲-۶۱.

عظیم‌زاده، ح.ر. و اختصاصی، م.ر. (۱۳۸۳). «فرسایش بادی: بررسی تأثیر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی

- W.M., Virginia, R.A., Whitford, W.G., (1990), Biological feedbacks in global desertification. *Journal of Science*: 247, p: 1043–1048.
- Simanton, J.R., Rawitz, E., Shirley, E.D., (1984), Effects of rock fragments on erosion of semiarid rangelands. In: Nichols, J.D., Brown, P.L., Grant, W.J. (Eds.), *Erosion and Productivity of Soils Containing Rock Fragments: Soil Science Society of America Special Publication*, No. 13, p: 65–72.
- Wainwright, J., Parsons, A., Abrahams A., (1999), Field and Computer Simulation Experiments on the Formation of Desert Pavement, *Journal of Earth Surf. Process. Landforms*: 24, p: 1025-1037.
- Wood, Y.A., Grahama, R.C., Wellsb, S.G., (2005), Surface control of desert pavement pedologic process and landscape function, Cima Volcanic field, Mojave Desert, California, *Journal of Catena*: 59, p: 205–230.
- Lal, R., Mokma, D., Lowery, B., (1999) Relation between soil quality and erosion. In: Lal, R. (Ed.), *Soil Quality and Soil Erosion, Soil and Water Conservation Society*. CRC Press, New York, p: 237–258.
- McFadden, L.D., McDonald, E.V., Wells, S.G., Anderson, J.Q., Kirk, Forman, S.L., (1996), The vesicular layer and carbonate collars of desert soils and pavements: formation, age and relation to climate change, *Journal of Geomorphology*: 24, p: 101–145.
- Ravi, S., Breshears, D.D., Huxman, T.E., D'Odorico, P., (2010). Land degradation in drylands: interactions among hydrologic–aeolian erosion and vegetation dynamics. *Journal of Geomorphology*: 116, p: 236–245.
- Rostagno, C. M., Gabriela, D., (2011), Desert pavements as indicators of soil erosion on aridic soils in north-east Patagonia (Argentina), *Journal of Geomorphology*: 134, p: 224–231.
- Schlesinger, W.H., Reynolds, J.F., Cunningham, G.L., Huenneke, L.F., Jarrell,

