

کاربرد شاخص کیفیت خاک برای ارزیابی پتانسیل تولید مراتع

رضا سکوتی اسکوتی^{۱*}

^۱دانشیار، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۹/۰۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۲/۱۰

چکیده

رشد گیاه در رویشگاه‌های طبیعی حاصل کارکرد عوامل مختلف زیستی می‌باشد. از جمله موثرترین عوامل تاثیرگذار در پتانسیل تولید یک رویشگاه، خاک است که با تخریب آن حاصل خیزی و پتانسیل مرتع کاهش می‌یابد. لذا پژوهش حاضر با هدف تعیین رابطه بین تولید و خصوصیات خاک مورد استفاده در محاسبه شاخص کیفیت خاک در دره شهدا به‌عنوان نمونه‌ای از مراتع نیمه‌خشک کشور در استان آذربایجان غربی انجام شد. برای تعیین واحدهای کاری، نقشه چهار جهت اصلی و پنج طبقه شیب و پوشش گیاهی در محیط GIS در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ تهیه شد. ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک از نمونه‌های برداشت شده از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک سطحی و با انجام آزمایشات مورد نیاز تعیین شد. اطلاعات سطحی خاک با روش تحلیل عملکرد سرزمین (LFA) جمع‌آوری و تولید کل، تولید گیاهان علفی و خشبی در زمان حداکثر گلدهی گونه‌های غالب به‌روش برداشت مستقیم، اندازه‌گیری شد. موثرترین خصوصیات خاک بر تولیدات گیاهی با استفاده از روش تجزیه عاملی (PCA)، تعیین و با استفاده از رگرسیون چند متغیره گام به گام، روابط ریاضی بین تولید گیاهی و خصوصیات خاک به‌دست آمد. نتایج نشان داد که در تعداد ۲۸ واحدکاری، میانگین مقادیر شاخص چشم‌انداز خاک برابر ۰/۸، شاخص پایداری برابر ۷۶/۹، شاخص نفوذپذیری ۵۷/۱ و شاخص مواد مغذی برابر ۶۹/۱ است. میانگین تولید کل ۱۵۳۵/۲۴ کیلوگرم ماده خشک بر هکتار محاسبه شد. با روش تجزیه عاملی، تعداد سه بردار با داشتن شرط ریشه پنهان واریانس بالاتر از یک، حدود ۷۸ درصد واریانس داده‌ها را توضیح دادند. در نتیجه متغیرهای لازم برای ارزیابی شاخص کیفیت خاک، درصد شاخص سازمان یافتگی، درصد شاخص چرخه عناصر، شوری و وزن مخصوص ظاهری تعیین شدند. بین شاخص کیفیت خاک و تولید گیاهی با ضریب ۶۳ درصد رابطه معنی‌داری به‌دست آمد. پس از برازش مدل ریاضی برآورد تولید، با استفاده از شاخص کیفیت خاک ضریب تبیین ۶۴ درصد محاسبه شد. انحراف مدل به‌دست آمده با آماره MBE برابر ۰/۰۲-، خطای ۸٪ و کارایی ۰/۶۶، کاربرد مناسبی برای تفسیر عملکرد سرزمین ارائه می‌کند. لذا، مدل به‌دست آمده می‌تواند برای برآورد تولید رویشگاه‌های مناطق نیمه‌خشک و نیمه‌استپی سرد کشور مناسب باشد.

واژه‌های کلیدی: آذربایجان غربی، تولید گیاهی، خصوصیات خاک، رویشگاه، مناطق نیمه‌خشک

مقدمه

نتیجه پایدار کردن حاصل خیزی و بهبود کیفیت خاک اهمیت پیدا می‌کند. کیفیت خاک می‌تواند به‌عنوان توانایی خاک برای انجام اعمال ضروری که اهداف

تخریب مداوم خاک به کاهش حاصل خیزی و افزایش خطرات زیست محیطی منجر می‌شود. در

فرسایش آبی و خاکی، میزان فسفر، عمق، پتانسیل رطوبتی، شوری ثانویه، تهویه و وجود نمک در سطح خاک در نظر گرفته‌اند. Parkin و Doran (۱۹۹۶a) برای این منظور پارامترهای بافت، عمق و وضعیت توسعه ریشه، وزن مخصوص ظاهری، نفوذپذیری، ظرفیت نگهداری آب، مواد آلی، ازت، اسیدیته، هدایت الکتریکی، فسفر قابل جذب، پتاسیم تبادلی، وضعیت و میزان توده میکروارگانیسم و ظرفیت معدنی کردن مواد آلی در خاک را پیشنهاد کردند. Moody و همکاران (۱۹۹۷) پارامترهای هدایت الکتریکی، اسیدیته، میزان رس و بافت، مواد آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی خاک را پیشنهاد دادند که بیانگر پتانسیل خاک از نظر تامین مواد مغذی است.

نتایج پژوهش‌های انجام شده برای برآورد شاخص کیفیت خاک، نشان می‌دهد که در این پژوهش‌ها از تعداد کمتری عامل استفاده شده است و عمدتاً خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیکی خاک را در نظر گرفته‌اند و به خصوصیات سطحی خاک متأثر از پوشش گیاهی توجهی نداشته‌اند. از طرفی ارزیابی پتانسیل تولید اراضی عبارت از برآورد میزان توانایی ذاتی یک سرزمین در حمایت از رشد گونه گیاهی خاص و تولید محصول است (Muir, ۱۹۶۰) که تابعی از خصوصیات مؤثر بر شاخص کیفیت خاک است. لذا، پژوهش حاضر با هدف محاسبه شاخص کیفیت خاک برای تعیین پتانسیل تولید مراتع نیمه‌خشک آذربایجان غربی انجام گرفت که در آن علاوه بر معرفی عوامل مؤثر خاکی به‌جای ارائه امتیازدهی کیفی، در قالب یک مدل ریاضی کلیه فاکتورها به‌طور کمی امتیازدهی شده و تلاش شد تا یک رابطه ریاضی مناسب برای برآورد شاخص کیفیت خاک به‌عنوان معیاری برای تعیین پتانسیل تولید اراضی ارائه شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی در دره شهدا، شهرستان ارومیه و در استان آذربایجان غربی واقع شده است. مساحت منطقه برابر با ۲۵۵ هکتار و دارای کاربری مرتعی است. مشخصات جغرافیایی منطقه $37^{\circ} 05'$ تا $45^{\circ} 10'$ طول شرقی و $15^{\circ} 37'$ تا $20^{\circ} 37'$ عرض شمالی است (شکل ۱). حداقل

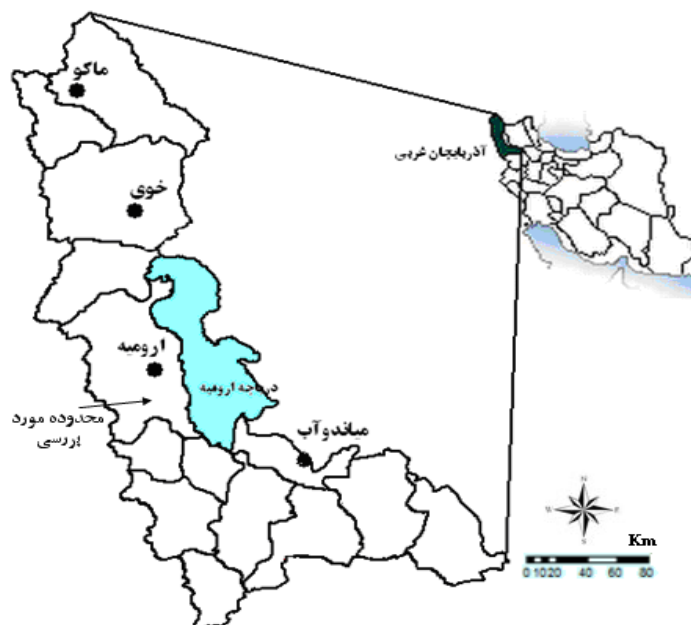
مدیریت خاک را تامین نماید، تعریف شود که یا ایستا است و تفاوت‌های ناشی از عوامل و فرایندهای خاک-ساز را منعکس نماید و یا دینامیک و پویا می‌باشد که انعکاس‌دهنده تغییرات مکانی و زمانی وابسته به مدیریت خاک است (Erkossa و همکاران، ۲۰۰۷). مفهوم کیفیت خاک به‌عنوان ظرفیت یک خاک معین برای عملکرد در محدوده محیط زیست طبیعی و مدیریت شده برای پایدار کردن حاصل‌خیزی خاک، تثبیت یا ارتقای کیفیت آب و هوا و تامین سلامت انسان و جوامع تعریف شده است (Kinyangi, ۲۰۰۷). بنابراین، واژه کیفیت خاک عموماً در رابطه با عملکرد آن مورد بحث قرار می‌گیرد (Karlen و همکاران، ۲۰۰۱). کیفیت خاک به‌وسیله خواصی از خاک که نه تنها در برابر عملیات متمرکز مدیریتی پایدار هستند، بلکه در برابر دگرگونی‌های طولانی مدت به‌سادگی تغییر نمی‌یابند، به‌خوبی برآورد می‌شود. به‌طوری‌که نتایج پژوهش‌های Weil و Islam (۲۰۰۰) نشان می‌دهد که از بین ۱۳ عامل مؤثر بر شاخص کیفیت خاک^۱ که برای ارزیابی به‌کار برده شد، مدیریت حفاظتی نظیر شخم حداقل و افزایش تنوع زیستی گیاهان چند ساله و افزایش بقایای گیاهی و افزایش حاصل‌خیزی تاثیر بیشتری داشتند. Bockstaller و Girardin (۲۰۰۳) انتخاب شاخص‌های کیفیت خاک را بر اساس اثرات متقابل خاک و محیط زیست که در آن تعداد زیادی خصوصیات خاک مانند اسیدیته، وزن مخصوص ظاهری، فسفر، ازت، کربن آلی، عناصر سنگین مثل کادمیم، مس، نیکل و روی که بر تولیدات گیاهی مؤثر هستند، معرفی کرده است.

Arshad و Martin (۲۰۰۲) برای ارزیابی کیفیت خاک، خصوصیات آن را پیشنهاد دادند که عمدتاً بیانگر شاخص‌های تخریب فیزیکی و شیمیایی خاک است. این عوامل شامل عمق، ظرفیت نگهداری آب، هدایت الکتریکی، اسیدیته، مواد آلی به‌همراه عوامل فیزیوگرافی مثل شیب، ارتفاع، شکل ظاهری زمین و همچنین خصوصیات اقلیمی و هیدرولوژی است. Andrews و Carroll (۲۰۰۱) برای ارزیابی پتانسیل اراضی متغیرهایی را شامل ساختمان، فشردگی سطح،

¹ Soil Quality Index

سالانه آن هشت درجه سانتی‌گراد و دارای اقلیم نیمه‌خشک با زمستان‌های سرد و تابستان خنک می‌باشد.

ارتفاع ۱۵۰۰ و بیشینه ارتفاع برابر ۲۱۰۰ متر بالاتر از سطح دریا است. میانگین بارندگی منطقه ۳۶۷ میلی‌متر در سال و میانگین درجه حرارت



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد پژوهش

آلی با روش Walkley-Black و ازت کل به روش کج‌لدال اندازه‌گیری شد.

ب) تجزیه فیزیکی: تعیین خصوصیات خاکدانه‌ها مانند اندازه، شکل و پایداری آن‌ها، بافت خاک، عمق و ساختمان خاک پتانسیل نگهداری خاک و آزمون خیس خوری^۲ که طی آن کلوخه خاک نسبت به میزان مقاومتی که در هنگام جذب آب در مقابل پراکنده شدن از خود نشان می‌دهد، به ترتیب از مقاومت کم به زیاد طبقه‌بندی می‌شود، با روش Tongway و Hindley (۲۰۰۴) اندازه‌گیری شد.

خصوصیات سطحی خاک: از روش Tongway و Hindley (۱۹۹۵) به منظور تحلیل عملکرد سرزمین (LFA)^۳ استفاده شد. در این روش در هر واحد کاری نواری به عرض سه متر و طول حداقل ۵۰ متر طوری در نظر گرفته شد که بیانگر خصوصیات واحد ارضی مربوطه باشد. سپس با محاسبه شاخص‌های وضعیت پوشش گیاهی، پایداری، نفوذپذیری و چرخه مواد

روش پژوهش

با استفاده از نقشه توپوگرافی در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ نقشه‌های درصد شیب در پنج طبقه ۰-۳، ۳-۱۰، ۱۰-۳۲، ۳۲-۵۶، ۵۶-۱۰۰ و بالاتر از ۵۶ درصد و جهت شیب در چهار طبقه جهت اصلی شیب تهیه شد. نوع پوشش گیاهی منطقه نیز با تفسیر عکس‌های هوایی با مقیاس تقریبی ۱:۵۵۰۰۰ و بررسی‌های میدانی شناسایی شد. از تلفیق این نقشه‌ها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی واحدهای نقشه^۱ به دست آمد که از هر واحد نقشه به عنوان واحدهای کاری، تعداد یک نمونه خاک حاصل از ترکیب سه نمونه اخذ شده برای انجام آزمایش‌ها در نظر گرفته شد.

تجزیه‌های خاک

الف) تجزیه شیمیایی: نمونه‌های خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری سطح خاک در داخل هر واحد نقشه برداشت و بعد از هواخشک کردن، از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. اسیدیته و هدایت الکتریکی عصاره گل اشباع با روش Rhoades (۱۹۹۶)، کربن

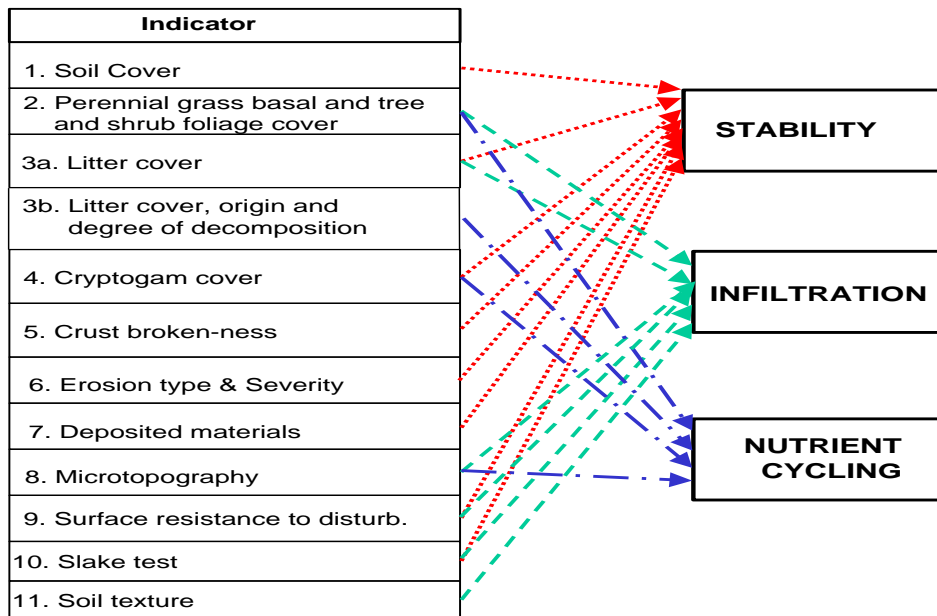
^۲ Slake Test

^۳ Landscape Function Analysis

^۱ Map Units

ویژگی‌هایی از قبیل باقی‌مانده‌های گیاهی، پوشش سطح، پوشش جلبکی، سله‌بندی، فرسایش سطحی، مواد ترسیب یافته و بافت خاک سطحی به‌دست می‌آیند.

مغذی (حاصل‌خیزی)، وضعیت خاک سطحی ارزیابی می‌شود (جدول ۱). شکل ۲، نحوه استفاده از شاخص‌های فرعی را در تعیین برخی از این شاخص‌ها نشان می‌دهد. این شاخص‌ها از ترکیب چندگانه



شکل ۲- نحوه ترکیب شاخص‌های فرعی خاک

جدول ۱- شاخص‌های خصوصیات سطحی خاک

Stability index	شاخص پایداری
Infiltration index	شاخص نفوذپذیری
Nutrient cycling index	شاخص حاصلخیزی
Landscape organization index	شاخص پراکنش پوشش گیاهی

شاخص کیفیت خاک با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد.

$$SQI = \sum pi.si \quad (1)$$

که در آن، si ارزش هر متغیر و pi وزن هر متغیر است.

در روش PCA با توجه به این‌که میزان واریانسی که در مجموع کل متغیرهای اصلی در هر بردار توضیح داده می‌شود، متناسب با ریشه پنهان واریانس^۳ می‌باشد، برداری که دارای ریشه پنهان بالاتر از یک می‌باشد، خواص سیستم را بهتر از متغیرهای اصلی که به‌صورت فردی عمل می‌کنند، نشان می‌دهند. بنابراین، فقط بردارهایی برای انتخاب متغیرهای لازم

اندازه‌گیری تولیدات گیاهی کل: تولید کل گیاهی (تولید کل گیاهان علفی و خشبی) در سه سال متوالی در زمان حداکثر گل‌دهی گونه‌های غالب به‌روشن برداشت مستقیم (قطع و توزین بعد از خشک نمودن در سایه) اندازه‌گیری شد. تولید گیاهان خاردار و چوبی نیز به‌روشن نمونه‌برداری مضاعف^۱ اندازه‌گیری و برای محاسبه تولید گیاهان علفی از تولید کل کسر شد (Bonham, ۱۹۸۹).

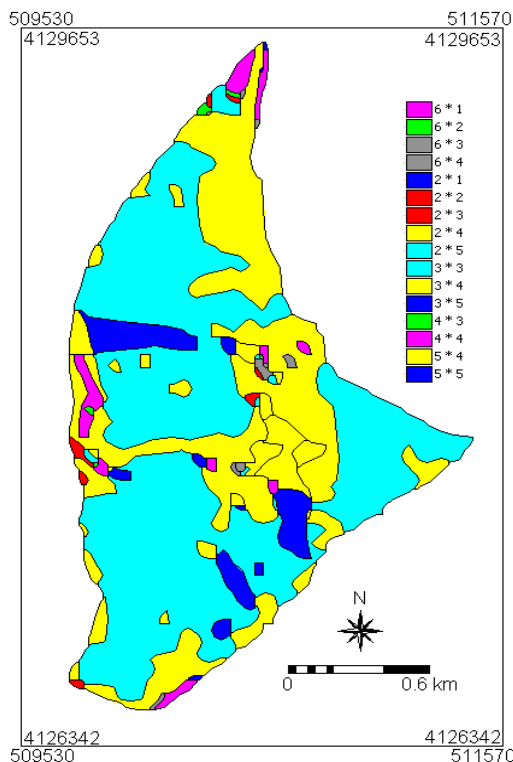
تجزیه و تحلیل: در تجزیه آماری برای انتخاب موثرترین خصوصیات خاک و تعیین شاخص کیفیت خاک از روش تحلیل عاملی^۲ (PCA) استفاده و

¹ Double Sampling

² Principal Component Analysis

³ Eigenvalue or Latent Root

خاک و برداشت‌های خصوصیات سطحی خاک قرار گرفت (شکل ۳).



شکل ۳- واحدهای همگن شکل زمین حاصل تلفیق نقشه‌های درصد و جهت شیب

ویژگی‌های آماری شاخص‌های سطحی خاک:

بررسی داده‌های مربوط به خصوصیات سطحی خاک عرصه بیانگر این است که میانگین مقادیر شاخص چشم‌انداز خاک برابر ۰/۸۳، شاخص پایداری برابر ۷۶/۹۱، شاخص نفوذپذیری ۵۷/۰۷ و شاخص مواد مغذی برابر ۶۹/۱۴ است. نتایج مربوط به تجزیه‌های عملکرد سرزمین در واحدهای کاری شامل پایداری، نفوذپذیری، چرخه عناصر و سازمان یافتگی به ترتیب برابر ۷۷، ۵۷، ۶۹ و ۸۳ درصد است. میزان تاثیر خصوصیات خاک سطحی و پوشش گیاهی بر شاخص-های نفوذپذیری، پایداری و مواد مغذی خاک در شکل ۴ به تفکیک نشان داده شده است.

بر اساس نتایج ماتریس همبستگی بین خصوصیات خاکی، از بین ۱۷ عامل خاکی مورد بررسی، تعداد هشت متغیر به‌عنوان عوامل موثر بر تولید انتخاب شد که شامل سازمان‌یافتگی، درصد

در نظر گرفته شد که دارای این شرط باشند. سپس، با بهره گرفتن از رگرسیون چند متغیره گام به گام^۱، متغیرهای خاک انتخاب شده به‌عنوان متغیرهای مستقل و تولیدات کل گیاهی به‌عنوان متغیرهای وابسته در نظر گرفته شدند. برای ارزیابی دقت مدل ریاضی به‌دست آمده، آماره MAE و انحراف مدل یعنی آماره MBE طبق روابط (۲) و (۳) محاسبه و به‌کار برده شد.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |f_i - y_i| \quad (2)$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_i - y_i) \quad (3)$$

که در آن‌ها، f_i مقدار برآورد شده و y_i مقدار اندازه گیری شده است.

برای داشتن درک بهتری از میزان خطای مدل، از میانگین درصد خطای مطلق^۲ بر اساس رابطه (۴) استفاده شد.

$$M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{At - Ft}{At} \right| \quad (4)$$

که در آن، At مقدار واقعی و Ft مقدار تخمینی است.

شاخص کارایی^۳ مدل نیز از رابطه (۵) محاسبه شد.

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2} \quad (5)$$

که در آن، P_i مقادیر پیش‌بینی شده، Q_i مقادیر اندازه‌گیری شده و Q مقدار متوسط عامل اندازه‌گیری شده.

نتایج و بحث

با رقومی کردن منحنی‌های میزان در محیط نرم‌افزار ILWIS، نقشه‌های درصد و جهت شیب تهیه و از تلفیق این دو نقشه با توجه به وجود یک تیپ گیاهی، نقشه واحدهای همگن شکل زمین به تعداد ۲۸ واحد به‌دست آمد که مبنای نمونه‌برداری‌های

¹ Step Wise

² Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

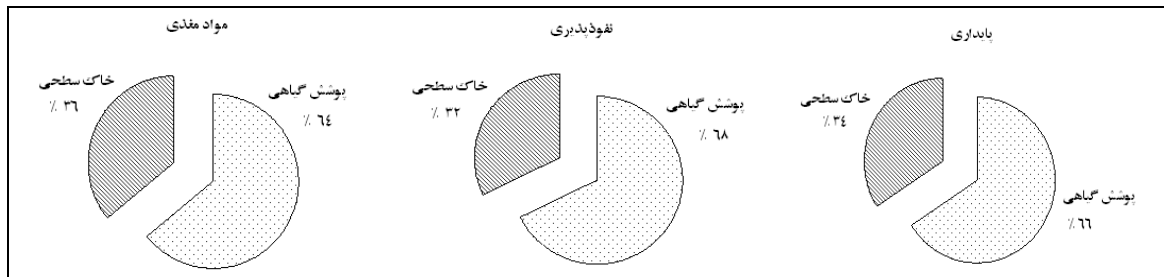
³ Modeling Efficiency

در دومین بردار متغیر ظرفیت زراعی و وزن مخصوص ظاهری خاک و در بردار سوم نیز شاخص هدایت الکتریکی خاک به دلیل داشتن ضریب همبستگی بالا موثرترین عوامل بودند (جدول ۲).

بر اساس نتایج تجزیه عاملی، حداقل متغیرهای لازم برای ارزیابی شاخص کیفیت خاک در رویشگاه‌ها و کارکردهای آن‌ها در جدول ۳ ارائه شده است.

نیترژن، درصد کربن آلی، نفوذپذیری، چرخه عناصر غذایی، رطوبت ظرفیت مزرعه، وزن مخصوص ظاهری و شوری است (جدول ۲).

با توجه به نتایج تحلیل PCA، از بین هشت مولفه تجزیه شده، تعداد سه بردار با داشتن شرط ریشه پنهان واریانس بزرگ‌تر از یک، حدود ۷۸ درصد واریانس داده‌ها را توضیح دادند که در آن‌ها درصد شاخص سازمان‌یافتگی و درصد شاخص چرخه عناصر غذایی به‌عنوان نمایندگان بردار اول،



شکل ۴- میزان تاثیر خصوصیات خاک سطحی و پوشش گیاهی بر شاخص‌های نفوذپذیری، پایداری و مواد مغذی خاک

جدول ۲- ضریب همبستگی متغیرهای بررسی شده با تولیدات گیاهی برای انتخاب شاخصه‌ها

تولید کل (کیلوگرم بر هکتار)	متغیرها
۰/۶۳**	شاخص سازمان‌یافتگی
۰/۶۰**	درصد نیترژن
۰/۵۰**	درصد کربن آلی خاک
۰/۵۲**	شاخص نفوذپذیری
۰/۶۴**	شاخص چرخه عناصر
۰/۳۸*	شوری
۰/۳۹*	وزن مخصوص ظاهری
-۰/۳۶*	هدایت الکتریکی
-۰/۰۸	شاخص پایداری
-۰/۱۳	اسیدیته
۰/۰۸	فسفر
-۰/۲۰	پتاسیم
۰/۳۵	شن
-۰/۳۴	سیلت
-۰/۱۲	رس
-۰/۳۱	رطوبت نقطه پژمردگی
-۰/۳۹	ظرفیت زراعی

** معنی‌دار در سطح یک درصد و * معنی‌دار در سطح پنج درصد است.

شده تولید کل تعیین شد که ضریب تبیین آن برابر ۶۴ درصد به دست آمد (شکل ۶). برای ارزیابی دقت مدل به دست آمده، شاخص MAE برابر با ۱۳۹/۹ و شاخص انحراف مدل یعنی MBE برابر با ۰/۰۲- محاسبه شد که نشان می‌دهد، مدل به دست آمده برای توصیف رابطه بین شاخص کیفیت خاک و تولید، کم برآورد است.

از آنجایی که خطای محاسبه شده (۱۳۹/۹) ممکن است این شبهه را القا کند که زیاد است، لذا اقدام به تعیین درصد خطا (رابطه ۴) شد که برابر هشت درصد خطا به دست آمد. شاخص کارایی مدل به دست آمده از رابطه (۵) هم برابر ۰/۶۶ محاسبه شد که حاکی از عملکرد مناسب مدل است. لذا، برای اهداف پایش و ارزیابی کیفیت خاک، استفاده توأم از هر دو ویژگی ذاتی و دینامیکی خاک (در این پژوهش به ترتیب شاخص‌های چرخه عناصر خاک و درصد نیتروژن) شناخت بهتری از وضعیت خاک را عاید می‌سازد.

در جدول ۴، نحوه محاسبه شاخص‌های کیفیت خاک محاسبه شده بر اساس تولید کل ارائه شده است. بر اساس رابطه (۱)، ضریب S استفاده شده در ستون-های دو، چهار، شش و هشت و ضریب pi در ستون-های نه، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ از جدول ۴ به دست آمده است. نتایج این محاسبات که منجر به محاسبه شاخص‌های کیفیت خاک برای تولیدات گیاهی نیز در ستون آخر همین جدول ارائه شده است.

میانگین تولید کل منطقه مورد مطالعه در دو سال برابر ۱۵۳۵/۲۴ کیلوگرم ماده خشک بر هکتار به دست آمد. بر اساس شرایط تولید در هر واحد نقشه، مقادیری از شاخص کیفیت خاک که بیش از ۰/۸ می‌باشد، بهینه‌ترین شرایط را برای تولید بالا دارند. در شکل ۵، رابطه بین شاخص کیفیت خاک و مقادیر تولید کل ارائه شده است. این رابطه دارای ضریب تبیین حدود ۶۳ درصد است.

مطابق رابطه به دست آمده در شکل ۵، رابطه بین شاخص کیفیت خاک با مقادیر مشاهده شده و برآورد

جدول ۲- مولفه‌های اصلی، ریشه پنهان واریانس و درصد تغییرات توجیه شده برای متغیرها

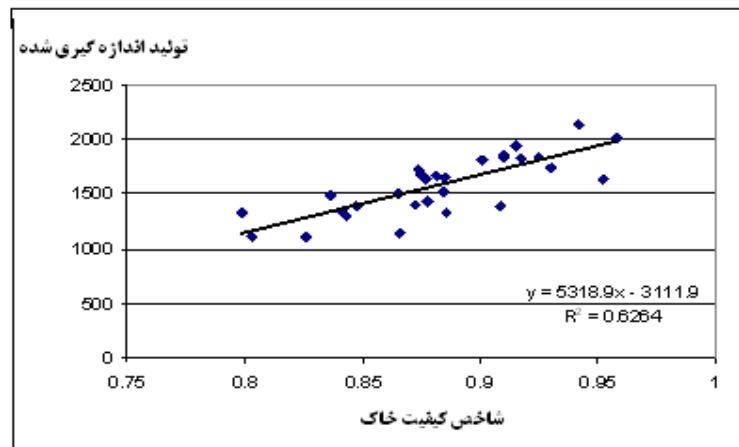
مؤلفه‌های اصلی			متغیرها
λ3	λ2	λ1	
-۰/۱۲۲	۰/۱۳۶	۰/۷۶۴	شاخص سازمان‌یافتگی
۰/۲۶۹	۰/۴۷۸	۰/۶۶۷	درصد نیتروژن
۰/۵۹۶	۰/۰۱۲	۰/۶۶۶	درصد کربن آلی خاک
-۰/۱۸۹	۰/۵۳۰	۰/۵۹۳	شاخص نفوذپذیری
-۰/۱۱۷	۰/۱۷۵	۰/۷۱۵	شاخص چرخه عناصر
-۰/۰۸۴	-۰/۶۵۳	-۰/۲۰۲	ظرفیت زراعی
۰/۰۰۵	-۰/۹۶۷	۰/۱۶۹	وزن مخصوص ظاهری
۰/۹۰۴	۰/۰۴۳	-۰/۲۰۲	هدایت الکتریکی
۲/۴۸۷	۲/۴۰۵	۱/۳۱۶	ریشه پنهان واریانس
۳۱/۰۸۸	۳۰/۰۶۰	۱۶/۴۵۳	درصد تغییرات توجیه شده انفرادی هر مولفه
۳۱/۰۸۸	۶۱/۱۴۸	۷۷/۶۰۱	درصد تغییرات توجیه شده تجمعی مولفه‌ها

جدول ۳- سری حداقل متغیرهای لازم برای ارزیابی شاخص کیفیت خاک در مراتع و کارکردهای آن‌ها

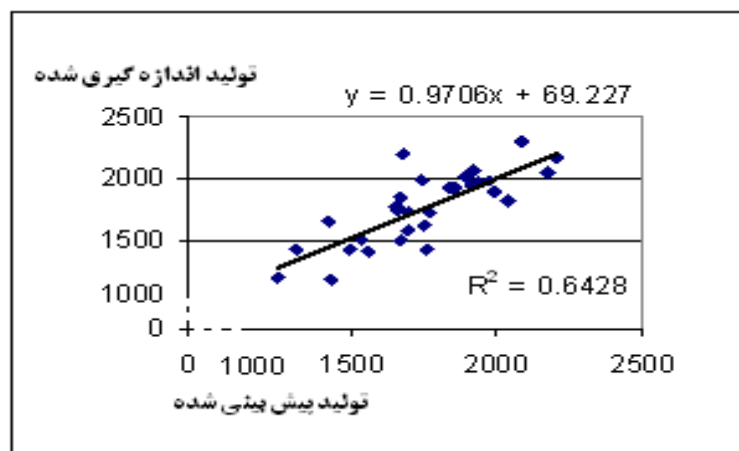
سری داده حداقل	کارکردهای خاک
درصد شاخص سازمان‌یافتگی (LOI)، درصد شاخص چرخه عناصر (LUT)، شوری (EC)	حاصل خیزی خاک
وزن مخصوص ظاهری (Bd)	نفوذ آب در خاک

جدول ۴- نحوه محاسبه شاخص های کیفیت خاک به دست آمده برای تولید کل در منطقه

۱۳	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	واحدهای کاری
$\frac{(9)+(10)+(11)+(12)}{4}$	$= (8) * 0.30$	$= (6) * 0.19$	$= (4) * 0.20$	$= (2) * 0.31$	$= 1.1676x-0.6348$	-	$= 1.219x-0.158$	-	$= 0.013x-0.2157$	-	$= -0.359x+1.08$	-	
ΣSQITY	SQIBd&TY	SQILOI&TY	SQI NUTR&TY	SQIEC&TY	S BD&TY	BD	S LOI&TY	LOI	S NUTR&TY	NUTR	S EC&TY	EC	
۰/۸۰	۰/۲۳	۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۲۹	۰/۷۷	۱/۲	۰/۸۷	۰/۸۴	۰/۵۹	۶۱/۷۵	۰/۹۳	۰/۴	۱
۰/۸۵	۰/۲۳	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۳۱	۰/۷۵	۱/۱۹	۰/۹۴	۰/۹۰	۰/۶۸	۶۸/۹۴	۱/۰۰	۰/۲	۲
۰/۹۱	۰/۲۷	۰/۱۹	۰/۱۶	۰/۲۹	۰/۸۹	۱/۳۱	۱/۰۰	۰/۹۵	۰/۸۲	۷۹/۵۲	۰/۹۳	۰/۴	۳
۰/۸۶	۰/۲۵	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۲۹	۰/۸۵	۱/۲۷	۰/۹۶	۰/۹۲	۰/۶۸	۶۸/۹۸	۰/۹۳	۰/۴	۴
۰/۸۳	۰/۲۴	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۲۸	۰/۸۰	۱/۲۳	۰/۹۴	۰/۹۰	۰/۶۹	۶۹/۷۲	۰/۸۹	۰/۵	۵
۰/۸۱	۰/۲۳	۰/۱۶	۰/۱۳	۰/۲۸	۰/۷۸	۱/۲۱	۰/۸۷	۰/۸۴	۰/۶۴	۶۵/۹۱	۰/۹۰	۰/۵	۸
۰/۸۵	۰/۲۳	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۳۰	۰/۷۸	۱/۲۱	۰/۹۱	۰/۸۸	۰/۷۱	۷۱/۴۲	۰/۹۵	۰/۴	۹
۰/۸۹	۰/۲۹	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۲۹	۰/۹۵	۱/۳۶	۰/۹۱	۰/۸۸	۰/۷۲	۷۱/۷۴	۰/۹۳	۰/۴	۱۰
۰/۸۷	۰/۲۷	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۲۸	۰/۸۹	۱/۳۱	۰/۹۴	۰/۹۰	۰/۷۲	۷۱/۸۶	۰/۹۲	۰/۵	۱۱
۰/۸۵	۰/۲۵	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۲۹	۰/۸۲	۱/۲۵	۰/۹۱	۰/۸۸	۰/۶۹	۷۰/۰۱	۰/۹۳	۰/۴	۱۲
۰/۷۸	۰/۲۴	۰/۱۸	۰/۱۲	۰/۲۵	۰/۷۹	۱/۲۲	۰/۹۳	۰/۸۹	۰/۶۲	۶۴/۴۲	۰/۸۰	۰/۸	۱۳
۰/۸۴	۰/۲۴	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۲۸	۰/۸۱	۱/۲۴	۰/۹۳	۰/۸۹	۰/۶۹	۶۹/۴۱	۰/۹۰	۰/۵	۱۴
۰/۸۳	۰/۲۷	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۲۸	۰/۸۹	۱/۳۱	۰/۷۸	۰/۷۷	۰/۶۶	۶۷/۶۹	۰/۹۱	۰/۵	۱۵
۰/۸۵	۰/۲۶	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۲۸	۰/۸۸	۱/۳	۰/۸۸	۰/۸۵	۰/۶۸	۶۸/۶۲	۰/۹۰	۰/۵	۱۶
۰/۸۹	۰/۳۰	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۲۸	۱/۰۰	۱/۴	۰/۹۴	۰/۹۰	۰/۶۸	۶۸/۷۹	۰/۸۹	۰/۵	۱۷
۰/۸۳	۰/۲۶	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۲۵	۰/۸۷	۱/۲۹	۰/۹۳	۰/۸۹	۰/۷۰	۷۰/۴۲	۰/۸۱	۰/۸	۱۸
۰/۷۵	۰/۲۴	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۲۳	۰/۷۹	۱/۲۲	۰/۷۴	۰/۷۴	۰/۷۱	۷۱/۵۰	۰/۷۵	۰/۹	۱۹
۰/۸۳	۰/۲۵	۰/۱۷	۰/۱۳	۰/۲۸	۰/۸۵	۱/۲۷	۰/۹۰	۰/۸۷	۰/۶۵	۶۶/۳۶	۰/۸۹	۰/۵	۲۰
۰/۷۹	۰/۲۵	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۲۷	۰/۸۲	۱/۲۵	۰/۷۲	۰/۷۲	۰/۶۶	۶۷/۵۰	۰/۸۷	۰/۶	۲۱
۰/۸۸	۰/۲۷	۰/۱۹	۰/۱۴	۰/۲۹	۰/۸۹	۱/۳۱	۰/۹۸	۰/۹۳	۰/۷۰	۷۰/۶۶	۰/۹۳	۰/۴	۲۲
۰/۸۴	۰/۲۷	۰/۱۷	۰/۱۳	۰/۲۷	۰/۸۹	۱/۳۱	۰/۸۹	۰/۸۶	۰/۶۶	۶۷/۷۰	۰/۸۶	۰/۶	۲۳
۰/۸۸	۰/۲۸	۰/۱۸	۰/۱۵	۰/۲۷	۰/۹۳	۱/۳۴	۰/۹۴	۰/۹۰	۰/۷۷	۷۵/۶۰	۰/۸۶	۰/۶	۲۴
۰/۹۰	۰/۲۸	۰/۱۸	۰/۱۵	۰/۳۰	۰/۹۲	۱/۳۳	۰/۹۳	۰/۸۹	۰/۷۳	۷۲/۶۰	۰/۹۸	۰/۳	۲۵
۰/۸۸	۰/۲۵	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۲۹	۰/۸۵	۱/۲۷	۰/۸۸	۰/۸۵	۰/۸۴	۸۱/۵۰	۰/۹۳	۰/۴	۲۶
۰/۸۱	۰/۲۵	۰/۱۴	۰/۱۲	۰/۳۱	۰/۸۲	۱/۲۵	۰/۷۲	۰/۷۲	۰/۶۰	۶۲/۶۰	۰/۹۹	۰/۳	۲۷
۰/۹۳	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۳۰	۰/۸۴	۱/۲۶	۰/۹۹	۰/۹۴	۰/۹۶	۹۰/۳۰	۰/۹۷	۰/۳	۲۸
۰/۹۳	۰/۲۶	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۳۱	۰/۸۶	۱/۲۸	۰/۹۶	۰/۹۲	۰/۹۰	۸۵/۹۰	۰/۹۹	۰/۳	۲۹
۰/۸۷	۰/۲۵	۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۲۹	۰/۸۵	۱/۲۷	۰/۹۱	۰/۸۸	۰/۷۵	۷۴/۲۰	۰/۹۳	۰/۴	۳۰



شکل ۵- رابطه بین شاخص کیفیت خاک و مقادیر مشاهده شده تولید (کیلوگرم در هکتار)



شکل ۶- مقادیر مشاهده و پیش‌بینی شده تولید (کیلوگرم در هکتار) بر اساس شاخص کیفیت خاک

Moody و همکاران (۱۹۹۷) به آب خاک تاکید داشته‌اند. همچنین، تاثیر دو عامل از چهار عامل موثر بر کیفیت خاک نشان از صحت توجه به خصوصیات سطحی خاک دارد.

تحلیل رابطه همبستگی عوامل مورد بررسی با تولید نشان داد، متغیرهایی مانند اسیدیته، فسفر و پتاسیم خاک به دلیل همبستگی ضعیفی که با تولید کل، تولید گیاهان علفی و علوفه قابل چرا نشان دادند، حذف شدند. احتمالاً دامنه کم تغییرات برای این متغیرها در منطقه مورد مطالعه مانع از بروز اثر قابل ملاحظه‌ای بر روی تولید شده است. همچنین، باید به این نکته توجه کرد که برخی متغیرهای حذف شده، به طور غیرمستقیم به عنوان عوامل خاک‌سازی (اثرات متقابل متغیرها) اثر خود را روی ویژگی‌های خاک و به تبع آن روی تولیدات گیاهی داشته‌اند. اما این متغیرها در پژوهش‌های Girardin و Bockstaller

در این پژوهش از بین ۱۷ عامل خاکی و کارکردی محیطی تعداد هشت متغیر به عنوان شاخص‌های موثر بر تولید انتخاب شد که شامل شاخص‌های سازمان-یافتگی، درصد نیتروژن، درصد کربن آلی، نفوذپذیری، چرخه عناصر غذایی، رطوبت ظرفیت مزرعه، وزن مخصوص ظاهری و شوری است. این در حالی است که در پژوهش‌های پیشین از تعداد ۱۳ عامل بهره-جویی شده است (Weil و Islam، ۲۰۰۰). در پژوهش حاضر علاوه بر استفاده از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی از شاخص‌های دیگری چون LFA) نیز بهره‌جویی شد که در پژوهش‌های قبلی به آن‌ها توجهی نشده است. Girardin و Bockstaller (۲۰۰۳) بیشتر به خصوصیات شیمیایی، Arshad و Martin (۲۰۰۲) به خصوصیات شکل سرزمین، Andrews و Carroll (۲۰۰۱) به خصوصیات فیزیکی و Doran و Parkin (۱۹۹۶b) به ویژگی‌های بیولوژیکی و

بسیار طولانی تغییر نکند و نه دینامیکی است که در مدت زمان کوتاهی تحت تاثیر تغییرات کوتاه مدت اقلیمی قرار گیرد. معادله برآورد تولید با برآزش خط رابطه تولید اندازه گیری شده در مقابل مقادیر شاخص کیفیت خاک به دست آمد. شاخص به دست آمده در مقایسه با مدل های خطی یک متغیره، با داشتن انحراف و خطای کمتر، تفسیر بهتری از وضعیت خاک ارائه می دهد.

(۲۰۰۳) و Andrews و Carroll (۲۰۰۱) بر روی تولید تاثیر داشتند.

در حالتی که برای اهداف پایش و ارزیابی کیفیت خاک، استفاده توأم از هر دو ویژگی ذاتی (مانند شاخص چرخه عناصر خاک) و دینامیکی خاک (مانند درصد نیتروژن) شناخت بهتری از سیستم وضعیت خاک به ما می دهد، شاخص سازمان یافتگی حالتی بینابین دارد، یعنی نه ذاتی است که در مدت زمان

منابع مورد استفاده

1. Andrews, S.S. and C.R. Carroll. 2001. Designing a decision tool for sustainable agroecosystem management: soil quality assessment of a poultry litter management case study. *Ecological Applications*, 11(6): 1573-1585.
2. Arshad, M.A. and S. Martin. 2002. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 88: 153-160.
3. Bockstaller, C. and P. Girardin. 2003. How to validate environmental indicators. *Agricultural Systems*, 76: 639-653.
4. Bonham, C.D. 1989. *Measurements for terrestrial vegetation*. Wiley-Blackwell, 338 pages.
5. Doran, J.W. and T.B. Parkin. 1996a. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: Doran, J.W. and A.J. Jones (Eds.), *Methods for assessing soil quality*. Soil Science Society of America, Special Publication, 49: 25-37.
6. Doran, J.W. and T.B. Parkin. 1996b. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: *Methods for assessing soil quality*. Soil Science Society of America, Special Publication, 25-37.
7. Erkossa, T., F. Itanna and K. Stahr. 2007. Indexing soil quality: a new paradigm in soil science research. *Australian Journal of Soil Research*, 45: 129-137.
8. Islam, K.R. and R.R. Weil. 2000. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh Agriculture. *Ecosystems and Environment*, Elsevier, 79(1): 9-16.
9. Karlen, D.L., S.S. Andrews and J.W. Doran. 2001. Soil quality: current concepts and applications. *Advances in Agronomy*, 74: 1-40.
10. Kinyangi, J. 2007. Soil health and soil quality: a review. Draft publication, <http://www.cornell.edu>, 2007, 1-16.
11. Tongway, D.J. and N. Hindley. 1995. *Manual for assessment of soil condition of tropical grasslands*. CSIRO Canberra Australia, 60 pages.
12. Muir, A. 1960. Soil survey in Britain. *Soil Survey of Great Britain, Report 13*, 1-9. Agricultural Research Council.
13. Moody, P.W., S.A. Yo and R.L. Aitken. 1997. Soil organic carbon, permanganate fractions and the chemical properties of acidic soils. *Australian Journal of Soil Research*, 35: 1301-1308.
14. Rhoades, J.D. 1996. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids. In 'Methods of soil analysis. Part 3: Chemical methods'. 417-435.

Application of soil quality index in assessing rangeland productivity

Reza Sokouti^{*1}

¹ Associate Professor, Agricultural and Natural Resources Research Center, West Azerbaijan, Iran

Received: 30 April 2014

Accepted: 22 November 2014

Abstract

Crop growth in natural habitats is the result of the biological function of various factors. Soil is the most influential factor on the yield potential of a habitat that can lead to the soil fertility and yield degradation. This study aimed to determine the relationship between crop yield and soil properties used to calculate the soil quality indicators in the semi-arid rangelands of Shohada-Valley as an example in West Azerbaijan Province. The slope aspect with four directions, slope classes with five classes and vegetation layers were overlaid to prepare working units of 1:50,000 scale. Physical, biological and chemical properties of soil samples from 0-30 cm of topsoil were determined through required analysis. Landscape Function Analysis (LFA) was done and yield of dominant species was calculated in maximum flowering time by direct collection method. Effective soil properties on plant production were determined using Principal Component Analysis (PCA) and the mathematical relations between crop yield and soil parameters was computed by stepwise multiple regression. Results showed that mean values of soil landscape index is 0.8, stability index was equal to 76.9, the permeability index was 57.1 and the nutrient index was equal to 69.1 in 28 map units. The average of total production was calculated 1535.24 kg /ha of dry matter. Three components having a latent root above one, explained about 78 percent of the variance using factor analysis. The outcome variables for evaluating soil quality index, organization index, nutrient cycling index, salinity and bulk density, were determined. A significant correlation of 63% was achieved between soil quality indicators and crop production. Using soil quality index a coefficient of determination of 64 percent was computed after applying a mathematical crop production model Mean Bias Error of -0.02, error of 8% and the efficiency of the model of 0.66, provide a suitable application for interpretation function of rangelands. Therefore, resulted model is suitable for estimating range production in semi-arid and cold semi-arid steppe habitats.

Key words: Plant, Range production, Semi-arid areas, Soil properties, West Azerbaijan

* Corresponding author: rezasokouti@gmail.com