

پیش بینی برخی از خصوصیات شیمیایی خاک مراتع تحت شرایط قرق و چرا شده با استفاده از سامانه استنتاج فازی- عصبی تطبیقی در مراتع قوشچی ارومیه

- ❖ **مهشید سوری***؛ استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات مرتع، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
- ❖ **علیرضا افتخاری**؛ استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات مرتع، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
- ❖ **ژایلا قربانی**؛ دانشجوی دکتری مرتعداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
- ❖ **نادیا کمالی**؛ استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات مرتع، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

چکیده

خاک مهمترین جزء تشکیل دهنده زیست‌بوم‌های مرتعی بوده و به واسطه حفظ آن و خصوصیاتش می‌توان با سهولت بیشتری به احیاء پوشش گیاهی با صرف کمترین هزینه و زمان اقدام نموده و از کاهش توان تولید مراتع پیشگیری نمود. در تحقیق حاضر به بررسی میزان پتاسیم و فسفر موجود در خاک مراتع قوشچی ارومیه واقع در استان آذربایجان غربی از سال ۱۳۹۷ الی ۱۴۰۰ تحت تأثیر شرایط قرق و چرا شده پرداخته شد. به علاوه، توسعه و ارزیابی مدل استنتاج فازی- عصبی تطبیقی (انفیس) به منظور پیش‌بینی میزان پتاسیم و فسفر خاک و مقایسه نتایج آن با مدل رگرسیونی ارائه گردید. برای ارزیابی مدل‌های رگرسیونی و انفیس از مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که سال‌های متفاوت و شرایط تحت قرق و تحت چرا اثر معنی‌داری بر میزان پتاسیم و فسفر موجود در خاک داشته اما اثر متقابل آنها بی‌معنی بود. بیشترین میزان پتاسیم خاک مربوط به سال ۱۴۰۰ و شرایط تحت چرا می‌باشد. در حالیکه بیش‌ترین میزان فسفر خاک مربوط به سال ۱۳۹۸ و شرایط قرق بود. در بخش مدل‌سازی فاکتور فسفر، مدل انفیس با دقت بالاتر ($R^2=0/59$) و خطای کمتر (RMSE=0/187) نسبت به مدل کم دقت‌تر رگرسیونی ($R^2=0/38$) با خطای بیشتر (RMSE=0/189) توانست مقدار فسفر را پیش‌بینی نماید. در مورد فاکتور پتاسیم نیز، مدل انفیس با دقت بالاتر ($R^2=0/62$) و خطای کمتر (RMSE=0/17) نسبت به مدل کم دقت‌تر رگرسیونی ($R^2=0/42$) با خطای بیشتر (RMSE=0/097) توانست میزان پتاسیم خاک را پیش‌بینی نماید. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که مدیران منابع طبیعی از این پس از سامانه‌های استنتاج فازی بر پایه شبکه عصبی تطبیقی به عنوان ابزاری هوشمند در جهت پیش‌بینی پارامترهای مختلف خاکی در علوم مرتع استفاده نمایند. همچنین، در شرایطی که حجم نمونه‌ها کم می‌باشد، با توجه به عملکرد بهتر مدل انفیس در قابلیت تخمین و پیش‌بینی آن برای تقریب غیرخطی با حجم کم داده‌ها، کاربرد این روش به مدیران و برنامه ریزان منابع طبیعی توصیه می‌گردد.

کلمات کلیدی: مدل‌سازی، انفیس، رگرسیون، پتاسیم، فسفر

۱. مقدمه

خاک مراتع به عنوان یک زیست‌بوم طبیعی از مهم‌ترین منابع پتاسیم و فسفر مورد نیاز گیاهان مرتعی محسوب می‌شود. چراغ دام که از مهم‌ترین و متداول‌ترین نوع کاربری اراضی مرتعی است، تأثیر زیادی بر چرخه این عناصر دارد. کیفیت خاک یک شاخص ضروری برای مدیریت پایدار مراتع است و به ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک بستگی دارد [۱۱]. برای تعیین کیفیت خاک، انتخاب شاخص‌هایی که به انواع عملیات مدیریتی بسیار حساس باشند، امری ضروری است. بنابر گزارش حاج عباسی و همکاران (۱۳۸۷)، مدیریت پایدار زیست‌بوم، مستلزم شناخت و ارزیابی تغییرات در خصوصیات آن به منظور بهره‌برداری بهینه و پایدار از منابع می‌باشد. آنها همچنین گزارش کردند که از مهم‌ترین عوامل مؤثر در مدیریت پایدار زیست‌بوم‌های خشکی، حفظ کمیت و کیفیت خاک آن می‌باشد [۱۳]. خاک از مهم‌ترین اجزای تشکیل‌دهنده زیست‌بوم‌های مرتعی است و تخریب آن باعث کاهش حاصلخیزی مرتع شده و احیای مجدد آن زمان‌بر، هزینه‌بر و در برخی موارد غیرممکن می‌باشد [۴، ۱۵].

فسفر و پتاسیم موجود در خاک مراتع از شاخص‌های مهم حاصلخیزی [۲۱] و از مهم‌ترین عناصر ضروری برای رشد گیاه و فرآیند فتوسنتز به شمار می‌روند. مقدار و چرخه این عناصر تحت تأثیر شدت‌های مختلف چرا تغییرات متفاوتی خواهد داشت. در این ارتباط، پژوهش‌های مختلفی صورت گرفته است که به منظور بررسی پیوند پژوهش حاضر با پژوهش‌های قبلی به موارد ذیل اشاره می‌گردد. آقاجان‌تبار عالی و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی تأثیر شدت چرا بر برخی مشخصه‌های فیزیکی‌شیمیایی خاک و پوشش گیاهی در حوزه آب‌خیز واز استان مازندران پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که میزان فسفر و پتاسیم خاک در عمق ۰-۳۰ منطقه تحت بررسی در شرایط چراغ بحرانی، کمینه است [۲]. میرسیدحسینی

و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی تأثیر چراغ دام بر ویژگی‌های شیمیایی خاک و پوشش گیاهی مرتع در مخمل کوه استان لرستان پرداختند. ایشان گزارش نمودند که کاهش محتوای مواد آلی و رطوبت خاک به همراه کاهش غلظت عناصر قابل دسترس فسفر و پتاسیم در مراتع تحت چرا اتفاق افتاد و در نتیجه موجب کاهش حاصلخیزی خاک گشت [۲۰]. غفاری و همکاران (۱۳۹۶) به مطالعه اثر شدت چراغ بر روی مشخصه‌های پوشش گیاهی همچنین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که با افزایش شدت چراغ از مقدار رس، منیزیم، اسیدیته و میانگین قطر وزنی خاکدانه کاسته شده است. ولی بر مقدار ماده آلی، هدایت الکتریکی، پتاسیم، فسفر، کلسیم، آهن، سیلت و شن افزوده شده است. همچنین، در فواصل نزدیک به آب‌خور اسیدیته خاک افزایش، در حالی که مقدار نیتروژن و فسفر کاهش داشته است. بر اساس نتایج این تحقیق، چارچوب گرادیان‌چرای، مناسب ارزیابی تخریب مراتع مغان می‌باشد، همچنین به منظور مدیریت اصولی مراتع منطقه مغان در استان اردبیل، چراغ متوسط توصیه شده است [۸]. قربانی و همکاران (۱۳۹۸) گزارش نمودند که فاصله از کانون بحرانی بر خاک لخت، ماده آلی، فسفر و پتاسیم و آهن اثر معنی‌دار، اما بر سنگ و سنگریزه، اسیدیته و هدایت الکتریکی اثر معنی‌داری نداشته است [۱۲]. حیدریان آقاخانی و همکاران (۱۳۸۹) با بررسی اثر شدت چراغ دام بر پوشش گیاهی و خاک در مراتع سیسب بجنورد به این نتیجه دست یافتند که افزایش شدت چراغ میزان ماده آلی، نیتروژن کل، فسفر قابل جذب و هدایت الکتریکی را خاک کاسته ولی مقدار اسیدیته افزایش می‌دهد و چراغ شدید دام باعث کاهش پوشش گیاهی و تغییر ترکیب گونه‌ای می‌گردد [۱۴]. از طرف دیگر، تحقیقات زیادی در دنیا در خصوص تأثیر شدت چراغ بر روی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک انجام شده است که در یکی از مهم‌ترین آن‌ها، استیفنس و همکاران (۲۰۰۷)، در بررسی اثرات چراغ بر روی خصوصیات

تغییرات برای مدیریت یک زیست‌بوم مرتعی به‌ویژه در برنامه‌های اصلاحی و تعیین نیازمندی‌های اکولوژیکی گونه‌های قابل کشت در منطقه امری ضروری است. طبق بررسی‌های انجام شده در منابع در دسترس تاکنون تحقیقی در خصوص قابلیت پیش‌بینی خصوصیات شیمیایی خاک مراتع با استفاده از انفیس تحت شرایط قرق و چرا طی سالیان متوالی صورت نپذیرفته است و در صورت اجرا می‌تواند محققین و تصمیم‌سازان را یاری نماید. بنابراین هدف از این تحقیق، بررسی تأثیری‌پذیری برخی از خصوصیات شیمیایی خاک شامل پتاسیم و فسفر موجود در آن، در مراتع تحت قرق و چرا شده طی سال‌های متوالی (۱۳۹۷ الی ۱۴۰۰) به‌علاوه توسعه و ارزیابی مدل انفیس برای پیش‌بینی میزان این پارامترها در مرتع قوشچی ارومیه و مقایسه نتایج پیش‌بینی آن با نتایج مدل رگرسیونی می‌باشد. لذا در این پژوهش سعی بر آن شد که بهترین مدل به‌منظور اندازه‌گیری پارامترهای شیمیایی خاک منطقه قوشچی ارائه شود که هم امکان استفاده از آن در طیف وسیع‌تری وجود داشته باشد و هم مدل ارائه شده دقت قابل قبولی داشته باشد.

۲. مواد و روش‌ها

۲.۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز قوشچی در استان آذربایجان غربی و در محدوده شهرستان ارومیه قرار دارد. محدوده مورد مطالعه در مختصات جغرافیایی 10° ، $51'$ و 44° تا $52'$ ، $57'$ و 44° طول شرقی و $01'$ ، $56'$ و 37° تا $53'$ ، $00'$ و 38° عرض شمالی واقع شده است. حوزه مطالعاتی قوشچی از زیرحوزه‌های حوزه دریاچه ارومیه می‌باشد. میانگین بارش سالانه کل حوزه مورد مطالعه $303/3$ میلی‌متر می‌باشد. حداکثر بارش سالانه در بهار و

فیزیکی و شیمیایی خاک در مراتع استپی نیمه خشک مغولستان بیان کردند در اثر افزایش شدت چرا، وزن مخصوص ظاهری افزایش، ماده آلی و نیتروژن نیز در این بررسی تغییر نکرده و pH کاهش یافت [۲۸].

در گذشته، از مدل‌های ریاضی برای یافتن روابط بین ورودی‌ها و خروجی‌های یک فرآیند استفاده می‌شد. اما امروزه اثبات شده است که در بسیاری از کاربردها، روش منطق فازی به‌عنوان یکی از راه‌حل‌های تحقق اهداف هوش مصنوعی نسبت به چارچوب‌های ریاضی کلاسیک برتری دارد [۲۹]. روش‌های پیش‌بینی را در حالت کلی می‌توان به سه دسته تقسیم‌بندی نمود: معادلات رگرسیونی، مدل‌های تحلیلی و نیمه تحلیلی و مدل‌های کامپیوتری. معادلات رگرسیونی متعددی برای پیش‌بینی پارامترهای پوشش گیاهی و خاک در عرصه منابع طبیعی پیشنهاد شده است. امروزه سامانه استنتاج عصبی فازی ($ANFIS^1$) به عنوان یک ابزار جدید، تلفیقی از دو روش شبکه عصبی مصنوعی (ANN^2) و سامانه استنتاج فازی (FIS^3) بوده و دارای مزایای هر دو روش است [۲۱]. تحقیقات بسیار کمی در خصوص بررسی توانایی انفیس به‌منظور پیش‌بینی پارامترهای مختلف مرتبط با کشاورزی و منابع طبیعی انجام گردیده است [۱، ۱۰، ۲۳، ۲۹]. به عنوان مثال، بهرامی و همکاران (۱۳۹۲) به ارزیابی مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، شبکه عصبی تطبیقی فازی (انفیس) و رگرسیون در پیش‌بینی کربن آلی ذره‌ای در مراتع خرابه‌سنگی ارومیه پرداختند. نتایج آنها نشان داد که مدل انفیس، بالاترین ضریب تبیین و کمترین خطا را داشت و بهترین مدل می‌باشد [۴]. در مجموع می‌توان گفت چراغ دام به‌خصوص چراغ سنگین که از ویژگی‌های ذاتی چراغ آزاد طولانی مدت محسوب می‌شود، خطرات جدی را برای کیفیت خاک و سلامت زیست‌بوم‌های مرتعی به دنبال دارد. لذا شناخت این

¹ Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System

² Artificial Neural Network

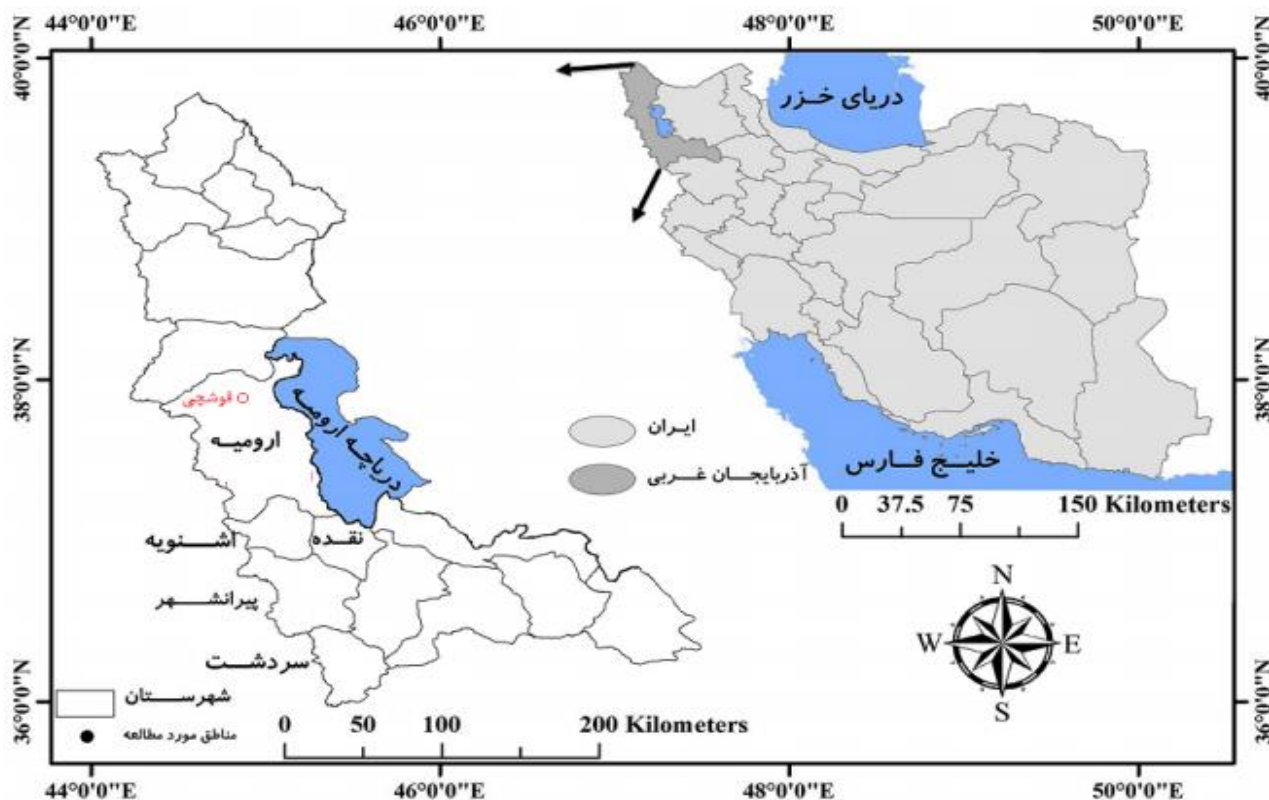
³ Fuzzy Inference System

۲.۲. نمونه برداری و اندازه گیری میزان پتاسیم و

فسفر موجود در خاک

در ابتدا، بر اساس نظر کارشناسان اداره کل منابع طبیعی استان آذربایجان غربی، نظر افراد محلی و بازدید میدانی، دو سایت شامل مراتع قرق و مراتع چراشده، با شرایط اکولوژیکی مشابه از نظر خاکشناسی، شیب، ارتفاع و جهت در حوضه قوشچی ارومیه در استان آذربایجان غربی انتخاب شد. نمونه برداری از خاک این منطقه به منظور اندازه گیری فسفر و پتاسیم موجود در آن در حد فاصل سال‌های ۱۳۹۷ الی ۱۴۰۰ صورت گرفت. عناصر دیگر خاک مانند نیتروژن هم می‌توانند تحت تأثیر شرایط قرق و چرا باشند اما به دلیل آماده نبودن جواب آزمایشات خاکشناسی، در این تحقیق مورد بررسی قرار نگرفتند.

ماه‌های فروردین و اردیبهشت نازل می‌شود که معادل ۴۳/۷ درصد کل بارش‌های سالانه است. متوسط سالانه دما ۸/۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. میانگین حداکثر و حداقل درجه حرارت به ترتیب ۱۶/۴ و ۰/۲- درجه سانتی‌گراد محاسبه شده است. اقلیم منطقه مورد مطالعه طبق روش دومارتن نیمه‌خشک فراسرد ارتفاعی طبقه‌بندی شده است. موقعیت حوزه قوشچی در کشور و استان آذربایجان غربی در شکل ۱ نشان داده شده است. تیپ گیاهی سایت قوشچی *Artemisia sieberi - Stipa barbata* می‌باشند. در ضمن فهرست فلوریستیک عرصه قرق و عرصه چراشده و شکل‌های زیستی گونه‌های سایت قوشچی به شرح ذیل در جدول ۱ ارایه شده است.



شکل ۱. موقعیت حوزه قوشچی ارومیه در کشور و استان آذربایجان غربی

جدول ۱. فهرست گونه‌های گیاهی روی زمین در سایت قرق و چرا شده قوشچی

ردیف	لیست گونه‌های سایت قرق	فرم رویشی	لیست گونه‌های سایت چراشده	فرم رویشی
۱	<i>Annual grasses</i>	یکساله‌ها	<i>Annual grasses</i>	فرم رویشی
۲	<i>Annual forbs</i>	یکساله‌ها	<i>Annual forbs</i>	یکساله‌ها
۳	<i>Aeluropus littoralis</i>		<i>Dactylis glomerata</i>	
۴	<i>Dactylis glomerata</i>		<i>Cynodon dactylon</i>	
۵	<i>poa bulbosa</i>		<i>poa bulbosa</i>	
۶	<i>koeleria cristata</i>	گندمی	<i>Stipa barbata</i>	گندمی
۷	<i>Stipa barbata</i>		<i>Euphorbia aellenii</i>	گندمی
۸	<i>Agropyron intermedium</i>		<i>Echinops elbursensis</i>	علفی
۹	<i>Agropyron elongatum</i>		<i>Verbascum cheiranthifolium</i>	
۱۲	<i>Trigonella persica</i>		<i>Cirsium echinus</i>	
۱۳	<i>Astragalus effusus</i>	علفی	<i>Peganum harmala</i>	
۱۵	<i>Achillea millefolium</i>		<i>kochia prostrata</i>	
۱۷	<i>kochia prostrata</i>		<i>Artemisia sieberi</i>	
۱۸	<i>Artemisia sieberi</i>	بوته‌ای	<i>Scariola orientalis</i>	بوته‌ای
۱۹	<i>Scariola orientalis</i>		<i>Acanthophyllum microcephalum</i>	
			<i>Centaurea virgata</i>	

۲.۳. تجزیه و تحلیل داده‌ها

داده‌های جمع‌آوری شده در نرم‌افزار اکسل به عنوان بانک اطلاعاتی ذخیره شدند. به منظور تجزیه و تحلیل و همچنین مقایسه داده‌ها، ابتدا آزمون نرمالیت داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و تست همگنی واریانس داده‌ها با کمک آزمون لئون انجام شد. سپس به منظور بررسی اختلاف یا عدم اختلاف مقادیر فسفر و پتاسیم خاک، از تجزیه واریانس یک طرفه استفاده گردید. شایان ذکر است که همه تجزیه و تحلیل‌های آماری در بسته نرم‌افزاری SPSS نسخه ۲۰ انجام شدند. همچنین داده‌ها به منظور مدلسازی انجیس به نرم‌افزار MATLAB انتقال یافت. برای رسم نمودارهای توصیفی از نرم‌افزار Excel استفاده گردید. مدلسازی اساس ANFIS بر پایه‌ای از مجموعه داده‌های ورودی/خروجی یک سامانه استنتاج فازی (FIS) است. این سامانه بر پایه قوانین ترکیبی از سه

برای تعیین میزان پتاسیم و فسفر موجود در خاک این منطقه، هر سال، هم در سایت قرق و هم سایت تحت چرا در نقاط مشخص شده ثابت، نمونه‌های خاک به روش استاندارد و حداقل ۴۰۰ گرم وزن تهیه شدند. نمونه‌ها داخل یک پاکت پلاستیکی ریخته شدند و خود داخل پاکت دیگری قرار گرفتند. اطلاعات هر نمونه شامل محل نمونه‌برداری روی پاکت نوشته شد. بدین صورت که در هر نمونه‌برداری، سه ترانسکت در جهت شیب و سه ترانسکت عمود بر شیب منطقه در هر دو سایت قرق و تحت چرا مستقر گردید و از ابتدا، میانه و انتهای هر ترانسکت نمونه خاک سطحی (۱۵-۰ سانتی متری) برداشت شد و سپس با هم ترکیب گردید. بنابراین در نهایت ۱۲ نمونه ترکیبی خاک در طول هر سال، تهیه گردید. در مجموع ۴ سال، ۴۸ نمونه خاک جهت بررسی به آزمایشگاه فرستاده شدند. سپس، پتاسیم به روش فلم فتومتر و فسفر به روش اولسون در آزمایشگاه اندازه‌گیری شدند [۲۸].

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_i - P_i)^2 \right]^{1/2} \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^N (P_i - P_z)(Q_i - Q_z)]^2}{\sum_{i=1}^N (P_i - P_z)^2 \sum_{i=1}^N (Q_i - Q_z)^2} \quad (\text{رابطه ۲})$$

در روابط فوق، N تعداد نمونه، P_i مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل، Q_i مقادیر واقعی، P_z میانگین مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل، Q_z میانگین مقادیر واقعی است.

۳. نتایج

۳.۱. اثر سال و شرایط چرای بر خصوصیات

شیمیایی خاک

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به عوامل مؤثر بر میزان فسفر و پتاسیم موجود در خاک در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد، اثر متقابل شرایط چرای (قرق و تحت چرا) و سال، اثر معنی‌داری بر پتاسیم و فسفر خاک ندارد. همچنین سال و شرایط چرای اثر معنی‌داری در سطح ۱ درصد بر میزان پتاسیم خاک دارند. این معنی‌داری در خصوص اثر شرایط چرای بر میزان فسفر نیز وجود دارد در حالی که اثر سال بر میزان فسفر در سطح ۵ درصد معنی‌دار است.

جزء توابع عضویت متغیرهای ورودی و خروجی (فازی کردن)، قوانین فازی (پایگاه قواعد)، استنتاج مکانیزم (ترکیب قواعد با ورودی فازی) و مشخصه‌های خروجی و نتایج سامانه (غیرفازی‌سازی) است [۱۷].

۴.۲. سامانه استنتاج عصبی فازی (ANFIS)

اگر داده‌های ورودی، مبهم و یا دارای عدم قطعیت باشند، یک سامانه فازی مانند انفیس، بهترین انتخاب برای تحلیل آن‌ها خواهد بود [۲۴]. مدل ANFIS با ورودی‌های مختلف مثل وضعیت چرا (تحت چرا یا قرق) و سال‌های مختلف و خروجی مانند خصوصیات شیمیایی خاک در نرم‌افزار (MATLAB R2013a Version) 8.1.0.604 و در قسمت ANFIS edit ایجاد می‌شود. مهم‌ترین گام در مدل انفیس تعریف درست توابع عضویت فازی و مقادیر مربوطه است. مدل‌های مختلفی توسط ANFIS با تغییر تعداد ورودی‌های توابع عضویت ایجاد می‌گردد. معیارهای مختلفی برای ارزیابی این مدل‌های پیش‌بینی وجود دارد که به‌طور عمده بر اساس اختلاف بین خروجی‌های پیش‌بینی شده و خروجی‌های مطلوب و واقعی استوارند. برای ارزیابی عملکرد مدل‌ها از پارامترهای مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد و بهترین مدل معین شد (روابط ۱ و ۲)

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس اثر عوامل تحت بررسی بر میزان پتاسیم و فسفر خاک

میانگین مربعات		منبع تغییرات
فسفر	پتاسیم	
۴/۴۱۳*	۱۲۵۰/۲۰۷**	سال
۱۰/۰۱۳**	۷۲۴۵/۰۷۰**	شرایط چرای
۰/۰۰۵ ^{ns}	۴/۰۲۶ ^{ns}	سال × شرایط چرای

* معنی‌داری در سطح ۵ درصد، ** معنی‌داری در سطح ۱ درصد و ns عدم معنی‌داری

۱۳۹۷ الی ۱۴۰۰ را بر میزان فسفر و پتاسیم خاک نشان می‌دهد. در ادامه به بررسی این اشکال خواهیم پرداخت. از شکل درمی‌یابیم که میزان پتاسیم خاک در تمامی

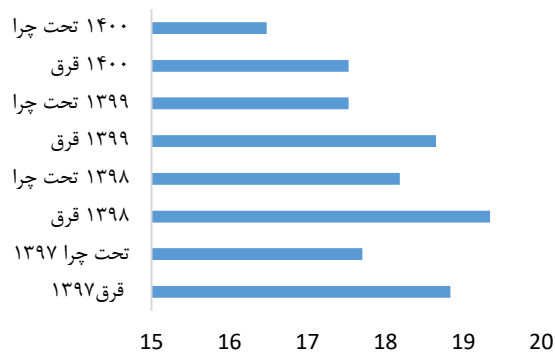
۳.۲. تغییرات مقادیر پتاسیم و فسفر خاک تحت

اثر عوامل مؤثر

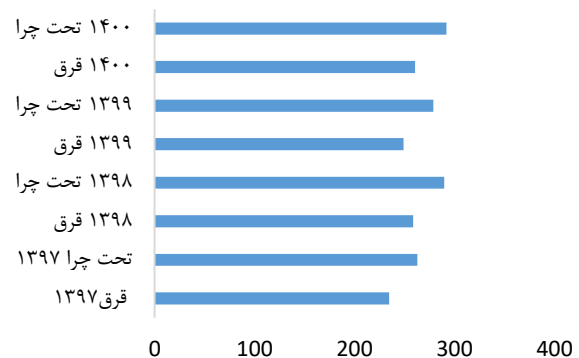
شکل‌های زیر، اثر تحت چرا یا قرق بودن در سال‌های

خاک مربوط به سال ۱۴۰۰ و شرایط تحت چرا بوده و کمترین مقدار آن در سال ۱۳۹۷ و شرایط قرق می باشد. به علاوه، بیشترین میزان فسفر خاک مربوط به سال ۱۳۹۸ و شرایط قرق می باشد و از سال ۱۳۹۸ به بعد، میزان فسفر خاک رفته رفته کاهش یافته است.

سال‌ها در حالت تحت چرا به طور معنی‌داری بیشتر از حالت قرق بوده و دائماً در سال‌های متوالی، کم و زیاد شده است. در خصوص فسفر، در تمامی سال‌ها تحت شرایط قرق بیشتر از شرایط تحت چرا بوده است. همچنین ملاحظه می‌گردد که بیشترین میزان پتاسیم



(ب)



(الف)

شکل ۲. اثر شرایط چرای و سال‌های متفاوت بر مقادیر (الف) فسفر (mg/kg) و (ب) پتاسیم خاک (ppm)

مرتبط (به عنوان مثال به نظر متخصص، مدل‌سازی و غیره) تعریف شده است. به این ترتیب، پیش‌بینی‌ها ممکن است بر اساس عدم قطعیت‌های ضرایب موجود در مدل‌ها، دارای عدم قطعیت باشند. از آنجایی که این بخش بسیار مهم است و به منظور اعتبار تحلیل داده، شرایط آزمایشی کاملاً یکسان اعمال گردید تا خطا برای تمامی داده‌ها در حد امکان، یکسان و قابل اغماض گردد. در خصوص بخش پیش‌بینی نرم‌افزاری در انفیس هم همینطور. باتوجه به شرایط یکسان، فرض گردید که خطای یکسانی اتفاق می‌افتد و قابل چشم‌پوشی است.

۳.۳. مدل‌های رگرسیونی و اعتبارسنجی آن‌ها

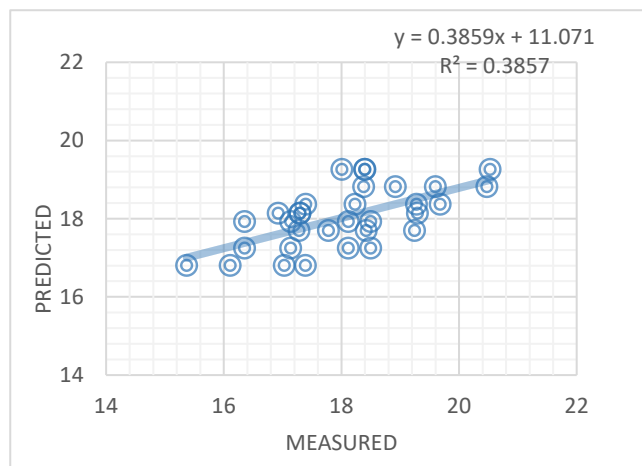
معادلات رگرسیونی با حضور عوامل تحت بررسی به عنوان متغیر مستقل و میزان پتاسیم و فسفر تحت بررسی به عنوان متغیر وابسته در جدول ۳، ارائه گردیده است. این معادلات رگرسیونی در شرایطی حاصل گردید که سال‌های متوالی ۱۳۹۷ الی ۱۴۰۰ به صورت اعداد ۱ الی ۴ در کمیت Y و شرایط قرق به صورت عدد ۱ و شرایط تحت چرا به صورت عدد ۲ در کمیت G لحاظ گردیده است. لازم به ذکر است که اندازه‌گیری‌های فردی ممکن است دارای عدم قطعیت باشند که به صورت خطاهای

جدول ۳. معادلات رگرسیونی و نتایج اعتبارسنجی آن‌ها

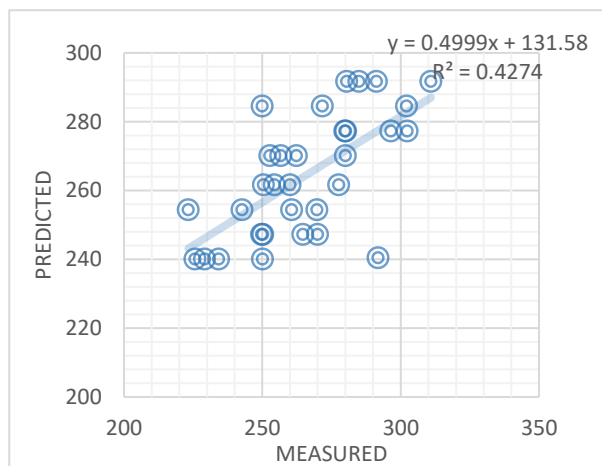
پارامتر	مدل رگرسیونی	ضریب تبیین (R^2)	ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)
پتاسیم	$Y = 11 + 5/6 Y + 32/0.8 G$	۰/۴۲۷۴	۰/۰۹۷
فسفر	$Y = 20/822 - 0/446 Y - 1/119 G$	۰/۳۸۵۷	۰/۰۸۹

در روابط فوق، Y: سال بررسی و G: شرایط چرای

می‌گردد، به ترتیب، ضرایب تبیین (R^2) برای پتاسیم و فسفر خاک به ترتیب برابر با ۰/۴۳ و ۰/۳۸ است.



(ب)



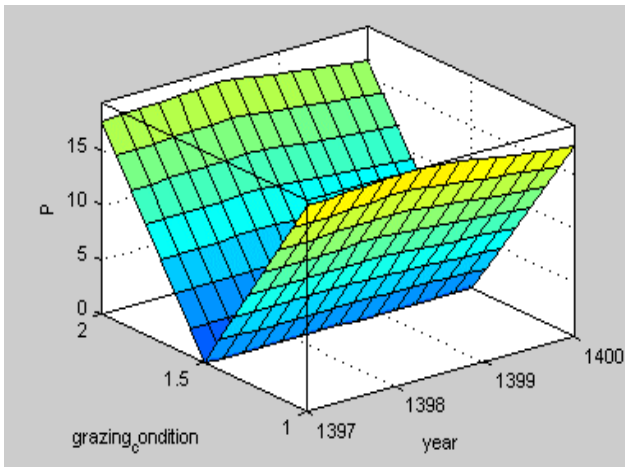
(الف)

شکل ۳. ارتباط بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده در خصوص (الف) پتاسیم و (ب) فسفر خاک توسط رگرسیون

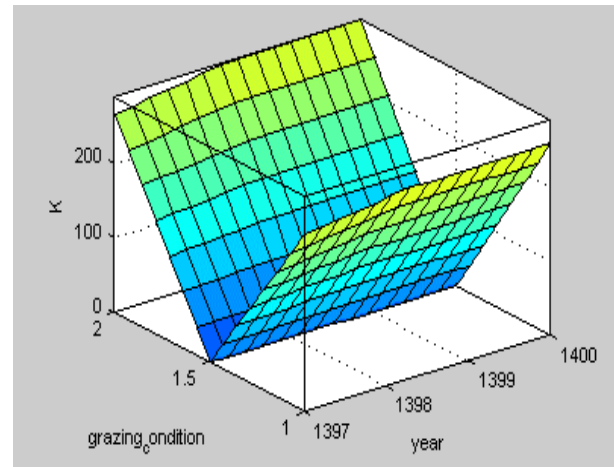
ارتباط بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده پتاسیم (الف) و فسفر (ب) خاک با استفاده از مدل انفیس در شرایط مختلف تحت بررسی در شکل ۵ ارائه شده است. ضریب تبیین (R^2) مدل انفیس برای میزان پتاسیم خاک برابر ۰/۶۱۲ به‌دست آمد است. همچنین ارتباط بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده میزان فسفر خاک با استفاده از مدل انفیس در شکل زیر نشان می‌دهد که ضریب تبیین (R^2) مدل انفیس برابر ۰/۵۹۹ به‌دست آمد که حاکی از توانایی بالاتر مدل انفیس نسبت به مدل رگرسیونی در ایجاد ارتباط بین ورودی و خروجی و نزدیکی آن نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده است (شکل ۵ و جدول ۴). درست است که ضریب تبیین مقادیر پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده در خصوص میزان فسفر و پتاسیم خاک مناطق تحت قرق و چرا در انفیس نسبت به رگرسیون خیلی بالاتر نیست، اما همین افزایش ضریب تبیین بیانگر دقت بالاتر انفیس در پیش‌بینی مقادیر مذکور نسبت به رگرسیون است.

۳.۴. نتایج بخش انفیس

نتایج خروجی مدل انفیس به‌صورت نمودارهای سه بعدی برحسب پارامترهای ورودی و خروجی می‌باشد که بیانگر تأثیر پارامترهای ورودی (شرایط چرا و سال نمونه‌برداری) بر خروجی مدل (پتاسیم و فسفر خاک) است. در شکل زیر نتایج نشان می‌دهد که بیشترین میزان پتاسیم خاک (الف) مربوط به سال ۱۴۰۰ و شرایط تحت چرا می‌باشد. کم‌ترین میزان پتاسیم نیز مربوط به سال ۱۳۹۷ و شرایط قرق می‌باشد. همچنین بیش‌ترین میزان فسفر خاک در این شکل (ب) مربوط به حد فاصل سال های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ تحت شرایط قرق بوده و کمترین میزان فسفر نیز مربوط سال ۱۴۰۰ و شرایط تحت چرا می‌باشد (شکل ۴). در این شکل، کمیت ۱/۵ برای شرایط چرای، حالت بینابینی شرایط قرق و تحت چرا می‌باشد که با توجه به عدم تعریف این حالت در برنامه نویسی نرم‌افزار MATLAB، مقادیر پتاسیم و فسفر در این حالت به صورت صفر نمایش داده شده است.

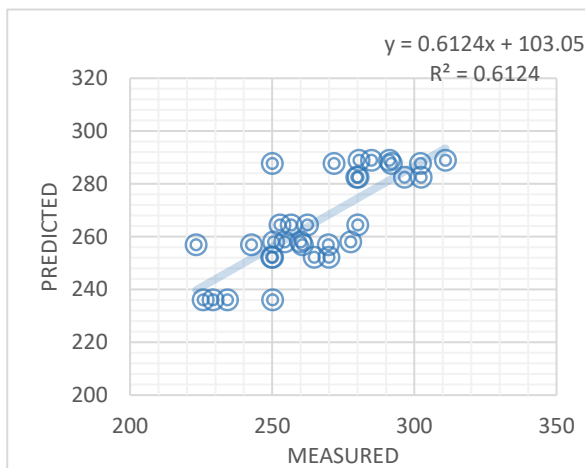


(ب)

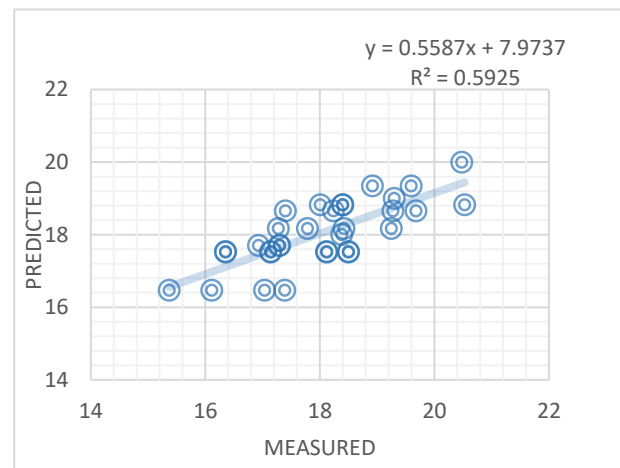


(الف)

شکل ۴. اثر شرایط چرای و سال بر پیش‌بینی: (الف) پتاسیم و (ب) فسفر خاک. در شکل‌های فوق، P (فسفر)، K (پتاسیم)، Grazing Condition شرایط چرا (۱ قرق و ۲ تحت چرا)



(ب)



(الف)

شکل ۵. ارتباط بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده توسط مدل انجیس در خصوص: (الف) فسفر و (ب) پتاسیم خاک

جدول ۴. نتایج اعتبارسنجی معادلات انجیس

پارامتر	ضریب تبیین (R^2)	ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)
پتاسیم	۰/۶۱۲۴	۰/۰۱۷۴
فسفر	۰/۵۹۸۷	۰/۰۱۸۷

۴. بحث و نتیجه گیری

آگاهی از میزان و نحوه اثرپذیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تحت تاثیر چرای دام می تواند راهکاری برای تدوین استراتژی های مدیریت زیست بوم های مرتعی باشد. به عبارتی آگاهی از سازوکار چرای دام و نحوه اثرگذاری آن می تواند رهنمودی برای شناخت پویایی زیست بوم های مرتعی و در نهایت هدایت هوشمندانه آن در جهت رسیدن به پایداری و تولید مستمر در زیست بوم های مرتعی شود. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که در شرایط تحت چراء مقدار پتاسیم افزایش یافته و دلیل آن اثر مثبت دام بر مقدار پتاسیم خاک از طریق تردد و فضولات دامی می باشد. خروج پتاسیم از خاک یا با برداشت این عنصر توسط گیاه یا در اثر آبشویی و فرسایش صورت می گیرد، لذا تغییرات پتاسیم خاک را می توان در رابطه با برداشت آن توسط گیاهان و اضافه شدن این عنصر توسط دام و اختلاط فضولات دامی و لاشبرگ به خاک نسبت داد. با فرض داشتن سه زیر مجموعه شرایط تحت چراء به صورت چرای سبک، متوسط و سنگین، باتوجه به میزان حضور کمتر دام در شدت چرای متوسط، مقدار افزایش پتاسیم کودی نیز قابل توجه نخواهد بود و به دلیل اینکه فرصت برای رشد مجدد گیاهان وجود دارد در نتیجه مصرف پتاسیم توسط گیاه افزایش یافته و در مجموع کاهش این عنصر در شدت چرای متوسط بیشتر از شدت چرای سنگین و سبک خواهد بود. جلیلود و همکاران (۱۳۸۶) به همراه غفاری و همکاران (۱۳۹۶) در توجیه افزایش میزان پتاسیم در شرایط تحت چراء علی الخصوص شدت چرای سنگین بیان می کنند که میزان پتاسیمی که در شدت چرای سنگین از طریق چرای دام از محیط برداشت شده است، با اضافه شدن آن توسط تردد دام و اختلاط فضولات دامی و لاشبرگ به خاک، جبران شده است [۸، ۱۶]. نتایج پژوهش های منرس و همکاران (۲۰۰۱) نیز با نتایج تحقیق حاضر مشابه است [۱۹].

در خصوص تغییرات میزان فسفر خاک ملاحظه می گردد که این عامل در تمامی سال ها تحت شرایط قرق

بیشتر از شرایط تحت چراء بوده است. دام متعاقب چراء و بلع علوفه گیاهی، این مواد را با نهشت فضولات خود به صورت اشکال بسیار قابل تجزیه تر به محیط بر می گرداند که بر خلاف نقشی که در کاهش سرعت معدنی شدن فسفر دارد، نقش مثبتی در افزایش میزان آن دارد. به نظر می آید بروز این سازوکار در افزایش فسفر قابل جذب منطقه تحت قرق نسبت به منطقه تحت چراء نمود پیدا کرده است. از طرف دیگر، رطوبت و دما نیز دو عامل موثر بر میزان فعالیت زیستی خاک و در نتیجه فرآیند معدنی شدن می باشند. از این رو، کاهش معنی دار میزان فسفر قابل جذب در خاک تحت منطقه چراء را می توان به محدودیت میزان رطوبت خاک این مناطق نسبت داد. خاک منطقه قرق به علت داشتن محتوای بیشتر ماده آلی و همچنین پوشش بیشتر لاشبرگ که از تبخیر بیش از اندازه آب جلوگیری می کند، توانایی بهتری در نگهداشت رطوبت و همچنین جلوگیری از نوسان های بیش از اندازه دما دارد. در نتیجه، میزان کمتر فسفر قابل جذب در خاک مناطق تحت چراء می تواند ناشی از محدودیت های ایجاد شده بر فعالیت های زیستی خاک توسط دما و رطوبت باشد. کاهش چشمگیر و معنی دار فسفر قابل جذب در نمونه های برداشت شده در خاک مناطق تحت چراء که احتمالاً با افزایش معنی دار محتوای ماده آلی نیز همراه می باشد، دلیل خوبی بر این موضوع است که با کاهش فعالیت موجودهای تجزیه کننده، مواد آلی در خاک تجمع پیدا کرده که این امر با کاهش محصولات تجزیه این مواد همانند فسفر قابل جذب همراه است. نتایج این بخش از پژوهش با نتایج تحقیقات لاوادی و همکاران (۱۹۹۶)، میرسیدحسینی و همکاران (۱۳۹۵)، محمدی و همکاران (۱۳۹۷)، قسیم و همکاران (۲۰۱۷)، چن و همکاران (۲۰۱۸)، فیک و همکاران (۲۰۲۰) و سرینبوساگان (۲۰۲۲) همخوانی دارد [۵، ۶، ۷، ۱۸، ۲۰، ۲۲، ۲۵، ۲۷]. آنان علت کاهش فسفر در منطقه تحت چراء را ناشی از عدم برگشت پذیری سریع و جبران فسفر برداشت شده توسط گیاهان و دام در این مناطق می دانند.

متغیره خطی، به نظر می‌رسد روش انفیس در برآورد خصوصیات شیمیایی خاک تحت تأثیر عوامل مختلف در کاربری مورد مطالعه، موفق‌تر عمل کرده است.

نتایج تحقیق بهرامی و همکاران (۱۳۹۲) در برآورد کربن آلی ذره‌ای خاک با استفاده از سامانه استنتاج فازی-عصبی و رگرسیون چند متغیره با نتایج تحقیق حاضر کاملاً همخوانی دارد [۴]. همچنین مقیمی و همکاران (۱۳۹۴) به منظور برآورد کربن آلی خاک با دو روش رگرسیون چند متغیره و شبکه عصبی مصنوعی (که بخشی از انفیس است) بیان کردند که شبکه عصبی مصنوعی با توجه به میزان کم RMSE و MBE نسبت به مدل رگرسیونی دارای دقت و صحت بالاتری است [۲۱]. در تحقیقات مشابه نیز دقت بالاتر پیش‌بینی به کمک شبکه عصبی مصنوعی و منطق فازی و یا تلفیق آن‌ها یا همان انفیس نسبت به مدل رگرسیونی و یا سایر مدل‌های ریاضی گزارش شده است [۲۶].

عملکرد بهتر مدل انفیس در مقایسه با روش‌های آماری رگرسیونی را می‌توان در قابلیت تخمین و پیش‌بینی آن برای تقریب غیرخطی با حجم کم داده‌ها جستجو نمود. این در حالی است که عملکرد و دقت روش‌های رگرسیونی به شدت از حجم نمونه‌ها تبعیت می‌کند و حجم کم نمونه‌ها می‌تولند عامل محدودیت در چنین مدل‌های آماری گردد [۸]. سامانه‌های استنتاج فازی بر پایه شبکه عصبی تطبیقی (انفیس)، نه تنها در پیش‌بینی میزان خصوصیات شیمیایی خاک مراتع تحت شرایط قرق و چرای دام طی سال‌های متوالی عملکرد بهتری دارد، بلکه می‌توان از آن به عنوان ابزاری هوشمند در جهت پیش‌بینی پارامترهای مختلف در علوم مرتع استفاده نمود.

از طرفی، قربانی و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعات خود تحت عنوان بررسی اثر چرای دام بر برخی از خصوصیات مهم فیزیکی و شیمیایی خاک در استان اردبیل و همچنین باقری و همکاران (۱۳۸۸) در بررسی اثر شدت چرای دام بر خصوصیات شیمیایی خاک در منطقه نیمه‌خشک دهرسد استان کرمان بیان کردند که رفته رفته میزان فسفر خاک کاهش یافته است که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد [۳، ۹]. استیفنس و همکاران (۲۰۰۷) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند [۲۸]. در حלת کلی و باتوجه به نتایج به دست آمده از بابت ارجحیت قرق و چرا می‌توان گفت که در مناطق معتدل و مرطوب، چرای متوسط و تناسب بین دام و مرتع توصیه می‌گردد. در این حالت، میزان پتاسیم و فسفر خاک افزایش یافته و خاک قابلیت بازتولید گونه‌های مرتعی را خواهد داشت. در سایر مناطق اعم از کوهستانی و خشک، قرق یک مدت در میان بهترین توصیه خواهد بود تا خاک اینگونه مراتع خود را بازابد.

مدل پیشنهادی انفیس برای پیش‌بینی میزان پتاسیم و فسفر خاک مراتع نشان داد که این مدل توانایی پیش‌بینی خصوصیات شیمیایی خاک را تحت شرایط قرق و چرای دام در سال‌های مختلف را با دقت بالاتری نسبت به مدل رگرسیونی دارد. درست است که ضریب تبیین مقادیر پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده در خصوص میزان فسفر و پتاسیم خاک مناطق تحت قرق و چرا در انفیس نسبت به رگرسیون خیلی بالاتر نیست، اما همین افزایش ضریب تبیین بیانگر دقت بالاتر انفیس در پیش‌بینی مقادیر مذکور نسبت به رگرسیون است. به عبارت دیگر، با توجه به افزایش ضریب همبستگی و کاهش میانگین انحراف خطا در روش انفیس نسبت به رگرسیون چند

References

- [1] Adam, M., Ibrahim, I., Suleiman, M., Zeraatpisheh, M., Mishra, G. and Brevik, E.C. (2021). Predicting soil cation exchange capacity in Entisols with divergent textural classes: The case of northern Sudan soils. *Journal of Air, Soil and Water Research*, 14, 1-14.

- [2] Aghajantabarali, H., Mohseni Saravi, M., Chaichi, M.R., and Heidari, Gh. (2015). Grazing Pressure Effect on Soil Physical and Chemical Characteristics and Vegetation Cover in Vaz Watershed, Mazandaran Province, *Journal of Watershed Management Research*, 6(11), 111-123 (In Farsi).
- [3] Bagheri, R., Mohseni Saravi, M. and Chaichi, M.R. (2009). Study the effect of grazing intensity on some soil chemical properties in a semi-arid region of Khogir national park and rangelands around it, *Iranian Journal of Rangeland*, 3(3), 398-412 (In Farsi).
- [4] Bahrami, B., Dianati Tilaki, G.A., Beigi, S.K., Janizadeh, S. and Moetamedi, J. (2013). Evaluation of Artificial Neural Network (ANN), Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) and Regression Models in Prediction of Particulate Organic Matter-Carbon (POM-C) in the Rangelands Kharabe Sanji of Urmia. *Journal of Operational Researches about Soil*, 1(1), 94-106 (In Farsi).
- [5] Chen, H., Zhao, X., Chen, X., Lin, Q. and Li, G. (2018). Seasonal changes of soil microbial C, N, P and associated nutrient dynamics in a semiarid grassland of north China. *Journal of Applied Soil Ecology*, 128, 89-97.
- [6] Dianati Tilaki, Gh.A., Ahmadi Jolandan, M. and Gholami, V. (2020). Rangelands production modeling using an artificial neural network (ANN) and geographic information system (GIS) in Baladeh rangelands, North Iran. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 18(3), 277-290.
- [7] Fick, S.E., Belnap, J. and Duniway, M.C. (2020). Grazing-Induced changes to biological soil crust cover mediate hillslope erosion in long-term exclosure experiment. *Journal of Rangeland Ecology & Management*, 73(1), 61-72.
- [8] Ghaffari, S., Ghorbani, A., Arjmand, K., Teimorzade, A., Hashemi Majd, K., Jafari, S. and Dabiri, R. (2017). The effect of grazing on the plant cover specification and soil physic-chemical properties (case study: Saman ranges at Kolash village, Ardabil province). *Journal of Plant Ecology Conservation*, 5(10), 175-196 (In Farsi).
- [9] Ghorbani, A., Sharifi, J., Kavianpour, H., Malekpour, B. and Mirzaei, F. (2008). Investigating the ecological specifications of *Festuca ovina* L. in southeast of Sabalan mountain. *Journal of Forest and Desert*, 20 (2), 379-396 (In Farsi).
- [10] Ghorbani, H., Kashi, H., Hafezi Moghadas, N. and Emamgholizadeh, S. (2015). Estimation of soil cation exchange capacity using multiple regression, artificial neural networks, and adaptive neuro-fuzzy inference system models in Golestan Province, Iran. *Journal of Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 46(6), 763-780.
- [11] Ghorbani, Zh., Sefidi, K., Keivan Behjo, F., Moammeri, M. and Soltani, A. (2015). The effect of different intensities of grazing on soil physical and chemical properties in southeastern rangelands of Sabalan. *Journal of Rangeland*, 9(4): 53-366 (In Farsi).
- [12] Ghorbani, Zh., Sefidi K., Keyvan Behjo F., Moammeri M. and Soltani, A. (2019). Predicting the soil fragmentation caused by grazing using adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS). *Journal of Range and Watershed Management*, 72(2), 557-568 (In Farsi).
- [13] Hajabbasi, M.A., Besalatpour, A. and Melali, A.R. (2008). Impacts of converting rangelands to cultivated land on physical and chemical properties of soils in west and southwest of Isfahan, *Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 11(42), 525-534 (In Farsi).
- [14] Heidarian Aghakhani, M., Naghipour Borj, A.A. and Tavakoli, H. (2010). The effects of grazing intensity on vegetation and soil in Sisab rangelands, Bojnord, Iran, *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 17(2): 243- 255 (In Farsi).
- [15] Hui, A. N. and Guo Qi, L. I. (2015). Effects of grazing on carbon and nitrogen in plants and soils in a semiarid desert grassland, China. *Journal of Arid Land*, 7(3): 341-349.

- [16] Jalilvand, H., Tamartash, R. and Heidarpour, H. (2007). The effect of grazing on the plant cover and some chemical properties of soil at Kojour rangelands, Nowshahr. *Journal of Rangeland*, 1(1): 53-66.
- [17] Krueger, E., Prior, S.A., Kurtener, D., Rogers, H.H. and Runion, G.B. (2011). Characterizing root distribution with adaptive neuro-fuzzy analysis. *Journal of International Agrophysics*, 25(1): 93-96.
- [18] Lavado, R.S., Sierra, J.O. and Hashimoto, P.N. (1996). Impact of grazing on soil nutrients in a pampean grassland. *Journal of Range Management*, 49(5): 452-467.
- [19] Menezes, R.S.C., Elliott, E.T., Valentine, D.W. and Williams, S.A. (2001). Carbon and nitrogen dynamics in elk winter ranges. *Journal of Range management*, 54(4):400-408.
- [20] Mirseyed Hoseini, H., Hematpour, M., Bagheri Navir, S., Chaeichi, M.R. and Mohseni Saravi, M. (2016). Study of livestock grazing effects on chemical soil properties and surface vegetation of rangeland (case study: Makhmalkouh, Lorestan province). *Journal of Ecological Agriculture*, 6(1): 98-117. (In Farsi)
- [21] Moghimi, S., Parvizi, Y., Mahdian, M.H. and Masihabadi, M.H. (2015). Comparison of applying multi-linear regression analysis and artificial neural network methods for simulating topographic factors effect on soil organic carbon. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 6(4): 312-322. (In Farsi).
- [22] Mohammadi, S., Tatian, M.R., Tamartash, R. and Mahmodian, M. (2018). The effect of short and medium time conservation on the change of soil and plant nutrients at Lasoreh rangelands, Lorestan province. *Journal of Plant Ecology Conservation*, 6(12): 93-108. (In Farsi)
- [23] Pandiyan, V., Caesarendra, W., Tjahjowidodo, T. and Praveen, G. (2017). Predictive modeling and analysis of process parameters on material removal characteristics in abrasive belt grinding Process. *Journal of Applied Science*, 7(4): 363-380.
- [24] Pentos, K. and Pieczarka, K. (2017). Applying an artificial neural network approach to the analysis of tractive properties in changing soil conditions. *Journal of Soil and Tillage Research*, 16(5): 113-120.
- [25] Qasim, Sh., Gul, Sh., Hussain Shah, M., Hussain, F., Ahmad, S., Islam, M., Rehman, G., Yaqoob, M. and Shah, S.Q. (2017). Influence of grazing enclosure on vegetation biomass and soil quality. *International Soil and Water Conservation Research*, 5(1): 62-68.
- [26] Razavi-Termeh, S.V., Shirani, K. and Pasandi, M. (2021). Mapping of landslide susceptibility using the combination of neuro-fuzzy inference system (ANFIS), ant colony (ANFIS-ACOR), and differential evolution (ANFIS-DE) models. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 80(1), 2045-2067.
- [27] Srinivasagan, S.N. (2022). Rangeland forage growth prediction, logistics, energy, and economics analysis and tool development using open-source software. Ph.D. Thesis. North Dakota State University of Agriculture and Applied Science. 292 p.
- [28] Steffens, M., Kolbl, A., Totsche, K.U., Kogel-Knabner, I. (2007). Grazing effects on soil chemical and physical properties in a semiarid steppe of Inner Mongolia (PR China). *Journal of Geoderma*, 143(1): 63-72.
- [29] Taghavifar, H. and Mardani, A. (2014). On the modeling of energy efficiency indices of agricultural tractor driving wheels applying adaptive neuro-fuzzy inference system. *Journal of Terramechanics*, 56(1): 37-47.

Prediction of some chemical properties of rangeland soils under exclosure and grazed conditions using adaptive neuro-fuzzy inference system in Ghoshchi rangelands of Urmia

- ❖ **Mahshid Souri***; Assistant professor, Rangeland Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.
- ❖ **Alireza Eftekhari**; Assistant Professor, Rangeland Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.
- ❖ **Zhila Ghorbani**; PhD student of rangeland, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural and Natural Resources University, Sari, Iran
- ❖ **Nadia Kamali**; Assistant Professor, Rangeland Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

Abstract

Soil is the most important component of rangeland ecosystems and by preserving it and its characteristics, it is possible to regenerate vegetation more easily with the least cost and time and prevent the reduction of rangeland production capacity. In the present study, the amount of potassium and phosphorus in the soil of Ghoshchi rangelands of Urmia located in West Azerbaijan province from 2019 to 2021 under the influence of grazing and grazing conditions was investigated. In addition, the development and evaluation of an adaptive fuzzy-neural inference model (ANFIS) was presented in order to predict the amount of potassium and phosphorus in the soil and compare its results with the regression model. The mean squared error (RMSE) and the coefficient of explanation (R^2) were used to evaluate the regression and inference models. The results of analysis of variance showed that different years and conditions under confinement and grazing had a significant effect on the amount of potassium and phosphorus in the soil, but their interaction was meaningless. The highest amount of soil potassium is related to the year 2021 and the conditions under grazing. While the highest amount of soil phosphorus was related to 2020. In the phosphorus factor modeling section, the ANFIS model with higher accuracy ($R^2 = 59.5$) and less error (RMSE = 0.087) than the regression model ($R^2=0.38$) with more error (RMSE = 0.089) was able to determine the amount of P to predict. Regarding potassium factor, ANFIS model with higher accuracy ($R^2 = 0.62$ and less error (RMSE = 0.017) than regression model ($R^2 = 0.42$) with more error (RMSE = 0.097) was able to measure soil potassium. Therefore, it is suggested that natural resource managers use fuzzy inference systems based on adaptive neural network as an intelligent tool to predict various soil parameters in rangeland science. Also, in cases where the sample size is small, due to the better performance of the ANFIS model and its ability to estimate and predict for nonlinear approximation with low data volume, the use of this method is recommended to managers and natural resource planners.

Keywords: modeling, ANFIS, regression, potassium, phosphorus