Journal of Rangeland

Print ISSN: 2008-0891

Online ISSN: 2676-5039

Predicting Soil Properties of Goshchi Rangeland in Urmia: A Comparison of Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) and Response Surface Methodology (RSM) Approaches

Mahshid Souri[*1], Saeedeh Nateghi[2], Alireza Eftekhari[2], Zhila Ghorbani[3], Nadia Kamali[2]

1. Corresponding author; Assistant Prof, Rangeland Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. Email: souri@rifr-ac.ir
2. Assistant Prof., Rangeland Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.
3. PhD. Student in Range Management, Department of Rangeland Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 28.01.2023
Revised: 27.07.2023
Accepted: 29.07.2023

Keywords:
Soil properties, prediction, adaptive neuro-fuzzy inference system, response surface methodology.

Abstract

Background and Objectives: Understanding the spatial distribution of vegetation and its relationship with ecological factors, particularly soil properties, is crucial for effective rangeland management. This study aimed to evaluate soil properties, including organic carbon, nitrogen, phosphorus, potassium, electrical conductivity, and acidity, in Goshchi rangeland of Urmia, representing the Azerbaijani vegetation climate in West Azerbaijan province. The study utilized the adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) and response surface methodology (RSM) approaches to predict these soil properties and compare the results.

Methodology: Soil properties were assessed in two sites, one under exclosure and the other under grazing, using ANFIS and RSM approaches. The collected data were used to train ANFIS in MATLAB software and RSM in Design Expert software.

Results: The correlation coefficients (R2) between the predicted data from the ANFIS model and RSM method, and the measured data for organic carbon, nitrogen, phosphorus, potassium, electrical conductivity, and acidity were 0.75, 0.93, 0.44, 0.95, 0.68, and 0.95, respectively, and 0.84, 0.93, 0.24, 0.96, 0.54, and 0.98, respectively. The results indicated that grazing conditions (exclosure vs. grazed) and distance from plants (near vs. between plants) significantly influenced acidity, nitrogen, potassium, and organic carbon, while they had no significant effect on electrical conductivity and phosphorus. The exclosure conditions and proximity to plants resulted in higher levels of organic carbon, nitrogen, and phosphorus, highlighting the sensitivity of these factors to grazing. The RSM results showed that grazing conditions and distance from plants had no significant effect on phosphorus and electrical conductivity but had a strong significant effect on other soil properties. The lower R2 values observed for phosphorus and electrical conductivity in both ANFIS and RSM methods suggest their limited accuracy in predicting non-significant outputs.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-10-14]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1402.17.2.7.8]

Conclusion: The findings from both ANFIS and RSM methods demonstrate their effectiveness in accurately predicting soil properties under the investigated conditions. However, their performance is more accurate for factors that exhibit a significant effect on the input variables, while their accuracy is limited for non-significant outputs.

Cite this article: Souri, M., S. Nateghi, A. Eftekhari, Zh. Ghorbani, N. Kamali, 2023. Predicting Soil Properties of Goshchi Rangeland in Urmia: A Comparison of Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) and Response Surface Methodology (RSM) Approaches. Journal of Rangeland, 17(2): 263-284.

© The Author(s).
DOR: 20.1001.1.20080891.1402.17.2.7.8
Publisher: Iranian Society for Range Management

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-10-14]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1402.17.2.7.8]

مـــرتـــع

شاپا چاپی: ۰۸۹۱-۲۰۰۸

شاپا الکترونیکی: ۵۰۳۹-۲۶۷۶

پیش‌بینی خصوصیات خاک مراتع تحت تأثیر شدت چرا و فاصله از بوته با استفاده از سیستم استنتاج فازی-عصبی (ANFIS) و روش سطح پاسخ (RSM) (مطالعه موردی: مراتع قوشچی ارومیه)

مهشید سوری[*1]، سعیده ناطقی[2]، علیرضا افتخاری[2]، ژیلا قربانی[3]، نادیا کمالی[2]

۱. نویسنده مسئول، استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات مرتع، موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
رایان نامه: souri@rifr-ac.ir

۲. استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات مرتع، موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

۳. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی مرتع، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل – پژوهشی

تاریخ دریافت ۱۴۰۱/۱۱/۰۸
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۵/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۰۹

واژه‌های کلیدی:
ویژگی‌های خاک،
پیش‌بینی،
سیستم استنتاج فازی عصبی،
روش سطح پاسخ.

چکیده

سابقه و هدف: یکی از نیازهای پایه در مطالعات مرتع برای مدیریت مناسب آن، بررسی و شناخت چگونگی انتشار و توزیع مکانی پوشش گیاهی و عوامل مؤثر در این رابطه است. شناخت رفتار گونه‌های گیاهی نسبت به عوامل اکولوژیکی و در رأس آنها عوامل خاکی، راهنمای مؤثری در برنامه‌های اصلاح و بهره‌برداری صحیح از مراتع است. تحقیق حاضر با هدف ارزیابی خصوصیات خاک شامل: کربن آلی، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، هدایت الکتریکی و اسیدیته در مراتع منطقه قوشچی ارومیه به عنوان مراتع معرف اقلیم رویشی آذربایجانی در استان آذربایجان غربی انجام شد.

مواد و روش‌ها: پیش‌بینی این خصوصیات در دو سایت قرق و تحت چرا با استفاده از سیستم استنتاج فازی عصبی (ANFIS) و روش سطح پاسخ (RSM) به‌منظور ارزیابی قابلیت این روش‌های نوین در تخمین خصوصیات خاک و مقایسه میان نتایج آن‌ها صورت گرفت. از داده‌های به دست آمده به منظور آموزش سیستم استنتاج فازی عصبی (ANFIS) در بستر نرم افزار متلب (MATLAB) و روش سطح پاسخ (RSM) در بستر نرم‌افزار دیزاین اکسپرت (Design Expert) استفاده شد.

نتایج: ضریب تعیین (R^2) بین داده‌های پیش‌بینی‌شده توسط مدل استنتاج فازی عصبی و روش سطح پاسخ و اندازه‌گیری‌شده برای کربن آلی، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، هدایت الکتریکی و اسیدیته به‌ترتیب برابر با ۰/۷۵، ۰/۹۳، ۰/۴۴، ۰/۹۵، ۰/۶۸ و ۰/۹۵ به همراه ۰/۸۴، ۰/۹۳، ۰/۲۴، ۰/۹۶، ۰/۵۴ و ۰/۹۸ به‌دست آمد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که عامل شرایط چرا (قرق و تحت چرا) و فاصله از بوته (پای بوته و بین بوته‌ها) بر اسیدیته، نیتروژن، پتاسیم و کربن آلی تأثیر معنی‌داری داشته اما بر هدایت الکتریکی و فسفر، اثر معنی‌داری نداشتند. به‌طوریکه بیشترین میزان کربن آلی، نیتروژن و فسفر در شرایط قرق و پای بوته مشاهده شده است که نشان از حساسیت این فاکتورها به عامل چرا است. نتایج بخش روش سطح پاسخ نشان داد که دو فاکتور شرایط چرا و فاصله از بوته، فقط بر فسفر و هدایت الکتریکی اثر معنی‌داری نداشتند و بر سایر فاکتورها اثر

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-10-14]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1402.17.2.7.8]

معنادار قوی دارند. ضریب تعیین کمتر از حد انتظار در هر دو روش استنتاج فازی عصبی و روش سطح پاسخ نیز، دقیقاً برای همین دو عامل تعیین شده است.

نتیجه‌گیری: بررسی نتایج هر دو روش استنتاج فازی عصبی و روش سطح پاسخ نشان داد که هر دوی آن‌ها با دقت بالایی می‌توانند خصوصیات خاک را تحت شرایط مورد بررسی پیش‌بینی کنند. این امر بیانگر این است که روش استنتاج فازی عصبی و روش سطح پاسخ، پیش‌بینی دقیق تری از عوامل تحت اثر معنی‌دار از متغیرهای ورودی دارند و در خصوص خروجی‌های غیرمعنی‌دار، دقت کافی را ندارند.

استناد: سوری، م.، س. ناطقی، ع. افتخاری، ژ. قربانی، ن. کمالی، ۱۴۰۲. پیش‌بینی خصوصیات خاک مراتع تحت تأثیر شدت چرا و فاصله از بوته با استفاده از سیستم استنتاج فازی-عصبی (ANFIS) و روش سطح پاسخ (RSM) (مطالعه موردی: مراتع قوشچی ارومیه). مرتع، ۱۷(۲): ۲۶۳-۲۸۴.

DOR: 20.1001.1.20080891.1402.17.2.7.8

ناشر: انجمن علمی مرتعداری ایران

© نویسندگان

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-10-14]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1402.17.2.7.8]

مقدمه

بیش از یک قرن است که اکولوژیست‌ها برای یافتن عوامل محیطی کنترل‌کننده پراکنش و تنوع گونه‌های گیاهی تلاش می‌کنند (۱). با توجه به اینکه اعمال مدیریت صحیح و کارآمد در هر منطقه بر مبنای اطلاعات دقیق از ویژگی‌های کمی و کیفی رستنی‌ها و آگاهی از روابط گیاهان با یکدیگر و نیز عوامل محیطی میسر است، شناخت عوامل محیطی مؤثر بر استقرار و گسترش گیاهان می‌تواند ما را با سازگاری گونه‌های بومی هر ناحیه آشنا کند تا بر اساس سرشت این گونه‌های بومی، نسبت به مدیریت بوم‌شناختی اقدام گردد (۲ و ۴۲). یکی از نیازهای پایه در مطالعات مرتع برای مدیریت مناسب آن بررسی و شناخت چگونگی انتشار و توزیع مکانی پوشش گیاهی و عوامل مؤثر در این رابطه است (۴ و ۳۵). با وجود پیشرفت‌های اخیر در خصوص ارائه مدل‌های کاربردی، با ایجاد ارتباط میان عناصر رویشی در یک اکوسیستم و شاخص‌های محیطی می‌توان نقشه‌ای تهیه نمود که اطلاعات زیادی در زمینه الگوهای پراکنش و تغییرات مکانی پارامترهای گونه‌های گیاهی مرتعی بدهد و قابلیت کاربرد در نحوه کاربری و مدیریت اراضی داشته باشد (۴۴).

مطالعات گذشته نشان دادند که مهم‌ترین عاملی که پوشش گیاهی و پراکنش آن را کنترل و تحت تأثیر قرار می‌دهد، خاک و عوامل مربوط به خاک مانند هدایت الکتریکی، نیتروژن، اسیدیته و ... است (۳، ۵، ۱۷و ۱۹). در نتیجه و با توجه به نقش مهمی که خاک در عرصه‌های طبیعی ایفا می‌کند و بستر رشد گیاهان و عامل تأثیرگذار در تعادل اکوسیستم است؛ لذا در مطالعات، بررسی ارتباط بین عوامل محیطی و پوشش گیاهی همواره مورد توجه متخصصین بوده و در سطح دنیا تحقیقات نسبتاً زیادی در این راستا با استفاده از روش‌های مختلف انجام گرفته و هرکدام در منطقه مطالعاتی خود، عاملی را تأثیرگذارتر از بقیه عوامل گزارش نموده‌اند (۷). به‌طور مثال، محققین در بررسی اکوسیستم‌های مناطق بیابانی غرب مصر، ۲۹ گونه گیاهی که متعلق به ۲۵ توده گیاهی بود را بر اساس مهترین خصوصیات خاک از جمله هدایت الکتریکی، اسیدیته، فسفر و پتاسیم و مواد آلی به ۵ گروه اکولوژیک تفکیک و معرفی نمودند (۳۲). همچنین با بررسی رابطه گیاهان و عوامل محیطی در منطقه غرب آفریقا، گزارش شد که خصوصیات خاک از جمله فسفر و پتاسیم، تأثیر چشم‌گیری بر پراکنش پوشش گیاهی دارند (۱۵). به علاوه محققین به تجزیه و تحلیل ارتباط عوامل مورد مطالعه و تغییرات پوشش گیاهی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که ارتباط ویژه‌ای بین پراکنش تیپ‌های مختلف رویشی و برخی خصوصیات خاک وجود دارد به‌طوری که بافت خاک، پتاسیم، فسفر و آهک بیشترین تأثیر را بر تنوع و پراکنش تیپ‌های گیاهی منطقه مورد مطالعه داشته است (۳۸ و ۴۵). نتایج تحقیقی نشان داد که اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک از مهم‌ترین عوامل مؤثر در پراکنش و استقرار پوشش گیاهی مناطق خشک و بیابانی هستند (۳۹). محققین رابطه توزیع پوشش گیاهی با عوامل خاکی را در بیابان‌های چین بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که نیتروژن، پتاسیم، ماده آلی، هدایت الکتریکی و اسیدیته خاک، اثرهای متفاوتی بر حضور گونه‌های گیاهی بوته‌ها و علفزارهای کوتاه دارند (۲۸). در داخل کشور نیز، محققین اثر عوامل محیطی بر پراکنش گیاهان مرتعی در منطقه دیواندره کردستان را بررسی نموده و نیتروژن، پتاسیم، کربن آلی، اسیدیته و هدایت الکتریکی را در کنار خصوصیات فیزیوگرافیک نظیر ارتفاع از سطح دریا، جهت و شیب به‌عنوان مهم‌ترین خصوصیات خاکی در پراکنش جوامع مورد بررسی خویش معرفی نمودند (۳۷).

روش‌های پیش‌بینی را در حالت کلی می‌توان به سه دسته تقسیم‌بندی نمود: معادلات رگرسیونی، مدل‌های تحلیلی و نیمه تحلیلی و مدل‌های کامپیوتری. در میان مدل‌های کامپیوتری، سیستم استنتاج فازی-عصبی (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) ANFIS و تکنیک روش سطح پاسخ RSM (Response Surface Methodology) روش‌های نسبتاً جدید بوده و تحقیقات در خصوص توانایی‌های آن در مورد پیش‌بینی و بهینه‌سازی، توسط پژوهشگران در نقاط مختلف دنیا در حال انجام است. سیستم استنتاج فازی عصبی موسوم به انفیس (ANFIS) در علوم مختلف جهت پیش‌بینی مقادیر اندازه‌گیری نشده

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-10-14]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1402.17.2.7.8]

به کار برده می‌شود. انفیس با بهره‌گیری از مزیای هر دو روش شبکه عصبی مصنوعی ANN (Artificial Neural Network) و منطق فازی FIS (Fuzzy Inference System) توانسته در تحلیل فرآیندهای بسیار پیچیده غیرخطی به نحو احسن عمل کند. اولین بار، جانگ (۱۹۹۳) توانست از این ابزار جدید استفاده نماید. مدل‌سازی انفیس به عنوان زیرشاخه‌ای از ابزارهای یادگیری ماشین و هوش مصنوعی، در بسیاری از تحقیقات کشاورزی و معدودی از تحقیقات مرتبط با منابع طبیعی از جمله برای برآورد ویژگی‌ها و خصوصیات خاک به‌کار گرفته شده است (۱۰ و ۴۰). به عنوان مثال، در مطالعات مختلف از انفیس به‌ترتیب برای پیش‌بینی بارش سالانه، پیش‌بینی میزان محصول برداشت شده، توصیف رشد ریشه گیاهان، پیش‌بینی عملکرد محصول گندم و پیش‌بینی میزان خردشدگی خاک طی عملیات خاک‌ورزی استفاده گردید (۱۰، ۲۵، ۲۷ و ۳۴). همچنین از این ابزار قدرتمند در منابع طبیعی به منظور پیش‌بینی میزان خردشدگی، فشردگی و تغییرات خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک به علاوه زیست توده اندام‌های هوایی و زیرزمینی گونه‌های گیاهی تحت تأثیر چرای دام و تولید گونه خاص مرتعی استفاده شده است (۱۲، ۱۳ و ۱۴). روش سطح پاسخ (RSM) مجموعه‌ای از تکنیک‌های ریاضی و آماری است کـه جهت توسعه و بهینه‌کردن فرآیندهایی به کار می‌رود که پاسخ مورد نظر توسط تعدادی از متغیرها تحت تأثیر قرار می‌گیرد و هدف، توسعه رابطه بین پاسخ و متغیرهای مستقل توسط مدل‌های ریاضی است (۶ و ۳۶). تحقیقات بسیار کمی در خصوص بررسی توانایی روش سطح پاسخ به‌منظور پیش‌بینی پارامترهای مختلف مرتبط با کشاورزی و منابع طبیعی انجام گردیده است. با توجه به منابع در دسترس، تاکنون هیچ تحقیقی در خصوص استفاده از روش سطح پاسخ در پیش‌بینی و مدل‌سازی پارامترهای مرتبط با مرتع و مرتعداری و مقایسه نتایج آن با نتایج مدل‌سازی انفیس انجام نشده است.

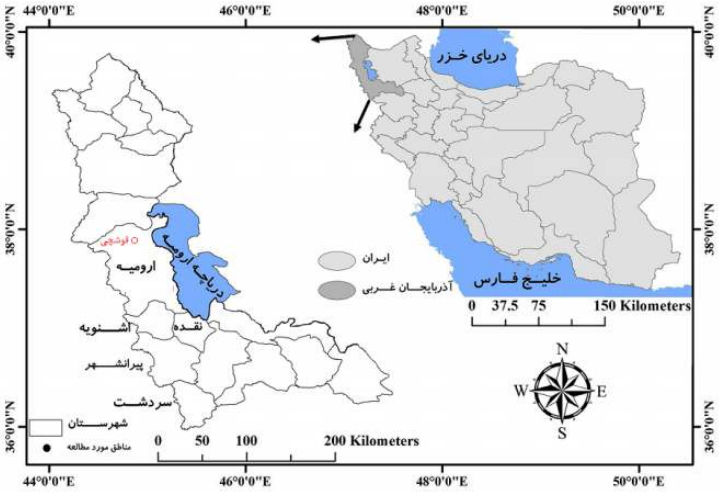
باتوجه به موارد فوق الذکر، هدف پژوهش حاضر، مدل‌سازی و پیش‌بینی خصوصیات خاک مراتع شامل هدایت الکتریکی، اسیدیته، کربن آلی، نیتروژن، فسفر و پتاسیم در دو سایت قرق و تحت چرا و در دو فاصله نسبت به بوته (پای بوته و بین بوته‌ها) در مراتع منطقه قوشچی ارومیه به عنوان مراتع معرف اقلیم رویشی آذربایجانی در استان آذربایجان غربی به کمک سیستم استنتاج فازی عصبی (انفیس) و روش سطح پاسخ و ارزیابی قابلیت این روش‌های نوین در تخمین پارامترهای تحت بررسی و مقایسه میان نتایج آن‌ها است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه شامل یک سایت قرق و یک سایت تحت چرا به مساحت هر کدام یک هکتار است. هر دو سایت در استان آذربایجان غربی، شهرستان ارومیه و منطقه قوشچی قرار دارند. سایت قرق از سایت‌های طرح جنگلداری است. سایت تحت چرا نیز در مجاورت سایت قرق قرار دارد. محدوده مورد مطالعه در مختصات جغرافیایی ″۱۰ ،′۵۱ و °۴۴ تا ″۵۲،′۵۷ و °۴۴ طول شرقی و ″۰۱، ′۵۶ و °۳۷ تا ″۵۳،′۰۰ و °۳۸ عرض شمالی و در ارتفاع تقریبی ۱۳۴۱ متر از سطح دریا واقع شده است. سایت‌های یاد شده در جاده اصلی ارومیه به قوشچی، در ۵ کیلومتری روستای قوشچی قرار دارند. سایت‌ها در یک منطقه کوهستانی با جهت غالب شمالی با شیب حدوداً ۱۰ درصد واقع شده‌اند.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-10-14]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1402.17.2.7.8]



شکل ۱: موقعیت مکانی سایت قوشچی در استان آذربایجان غربی و در ایران

این سایت به‌دلیل خاص بودن مراتع نیمه‌استپی و داشتن سایت قرق برای طرح پایش اکوسیستم‌های مرتعی انتخاب شده است. پس از انتخاب مناطق نمونه‌برداری در هر یک از مکان‌ها؛ خصوصیات نمونه خاک‌های در داخل پلات‌هایی که به فواصل ۱۰ متر از یکدیگر قرار داشتند و در امتداد ۶ ترانسکت ۱۰۰ متری اندازه‌گیری شد. بدین منظور، در داخل هر پلات از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری سطح خاک، نمونه‌های خاک برداشت شد و هدایت الکتریکی توسط دستگاه شوری سنج (دسی زیمس بر متر مکعب)، اسیدیته با استفاده از روش گل اشباع و استفاده از دستگاه pH متر، کربن آلی به روش تیتراسیون والکی بلانک بر حسب درصد، نیتروژن به روش کجلدال، پتاسیم و فسفر آن‌ها نیز مطابق روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد. وزن مخصوص ظاهری نیز با استفاده از استوانه‌های آلومینیومی استاندارد نمونه‌برداری خاک با حجم مشخص و توزین نمونه‌ها و تقسیم جرم بر حجم نمونه‌ها صورت پذیرفت.

در قسمت انفیس، از تعداد کل داده‌های به‌دست آمده برای هریک از پارامترهای مورد نظر در این بخش، چهار پنجم داده‌ها برای مرحله آموزش مدل و یک پنجم مابقی داده برای مرحله آزمون مورد استفاده قرار گرفت. برای افزایش دقت و سرعت عملکرد مدل‌ها، داده‌ها طبق رابطه (۱) نرمال شدند (۱۶).

رابطه (۱):

$$Xnorm = (X - Xmin) / (Xmax - Xmin)$$

که در آن، Xnorm مقادیر نرمال شده، X مقدار مشاهده شده، Xmax و Xmin به‌ترتیب مقادیر بیشینه و کمینه داده‌های مشاهده شده است. به منظور ارزیابی عملکرد مدل‌های انفیس ذکر این نکته ضروری است که مدل‌های مختلفی توسط انفیس با تغییر توابع عضویت در ورودی 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 ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین (R^2) استفاده شد و بهترین مدل معین شد.

رابطه (۲):

$$RMSE= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} (Qi - Pi)^2$$

رابطه (۳):

$$R^2= \frac{[\sum_{i=1}^{N} (Pi-Pz)(Qi-Qz)]2}{\sum_{i=1}^{N} (Pi-Pz)2 \sum_{i=1}^{N} (Qi-Qz)2}$$

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

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-10-14]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1402.17.2.7.8]

پیش‌بینی شده توسط مدل، Q_z میانگین مقادیر واقعی است (۲۳). در انتها، مدل انفیس با ورودی‌های عوامل مؤثر مختلف و خروجی پارامتر مورد بررسی در نرم‌افزار متلب (Matlab) (Version 8.1.0.604 R2013a) و در قسمت ANFIS edit ایجاد شد.

مدل مورد استفاده در روش سطح پاسخ عموماً رابطه‌ای درجه دوم است (۲۴). در روش سطح پاسخ برای هر متغیر وابسته مدلی تعریف می‌شود که آثار اصلی و متقابل فاکتورها را برای هر متغیر به صورت جداگانه بیان می‌کند. بر همین اساس، مدل چند متغیره با فرض سه متغیر در ورودی به صورت رابطه (۴) است:

رابطه (۴):

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_{11}X_1^2 + a_{22}X_2^2 + a_{33}X_3^2 + a_{12}X_1X_2 + a_{13}X_1X_3 + a_{23}X_2X_3$$

در این رابطه Y پاسخ پیش‌بینی شده، a_0 ضریب ثابت و a_1، a_2 و a_3 ضرایب خطی به تعداد و ترتیب پارامترهای ورودی مورد بررسی است. همچنین a_{11}، a_{22} و a_{33} ضرایب تأثیرات درجه دوم و a_{12}، a_{13} و a_{23} ضرایب تأثیرات متقابل هستند. در تحقیق حاضر از طرح مرکب مرکزی با دو متغیر مستقل در ورودی بر اساس تیمارهای خواسته شده از نرم افزار به منظور بررسی تأثیر متغیرهای مستقل (ورودی) بر میزان کربن آلی، نیتروژن، پتاسیم، فسفر، هدایت الکتریکی و اسیدیته موجود در خاک مراتع هریک به عنوان متغیر وابسته (خروجی) استفاده شد. برای محاسبه آماری و مدل‌سازی از نرم‌افزار دیزاین اکسپرت (Design Expert) نسخه ۱۲.۰.۲ استفاده شد (۲۴). در حالت کلی، معیارهای مختلفی برای ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی وجود دارد که به‌طور عمده بر اساس اختلاف بین خروجی‌های پیش‌بینی شده و خروجی‌های مطلوب و واقعی استوارند. برای ارزیابی عملکرد مدل‌های روش سطح پاسخ مورد استفاده در این تحقیق از پارامتر ضریب تعیین (R^2) استفاده شد و بهترین مدل معین شد (رابطه ۳).

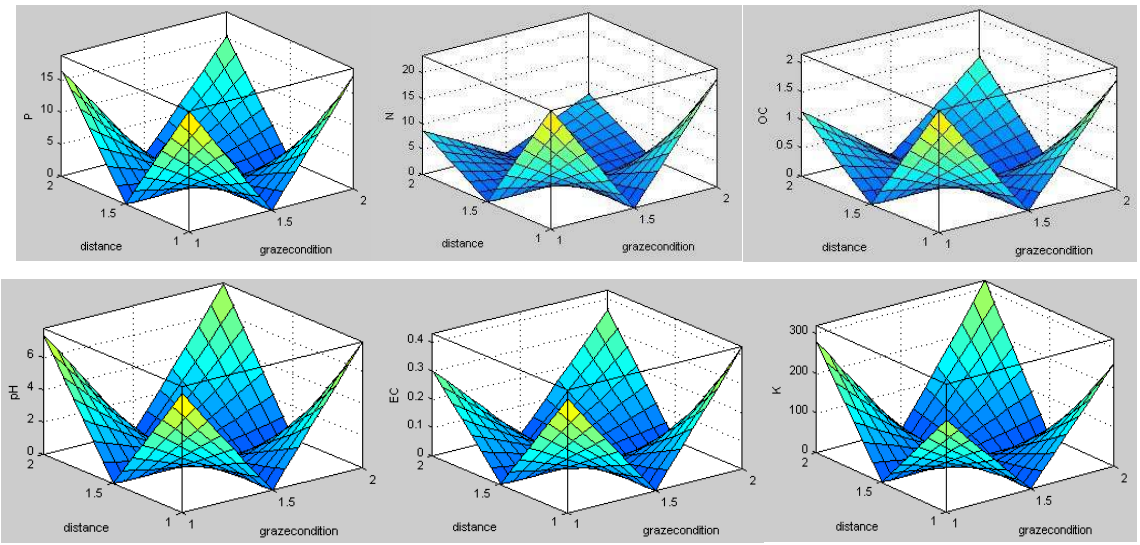
نتایج

نتایج روش انفیس

در شکل (۱) نتایج خروجی مدل انفیس به‌صورت نمودار سه بعدی آمده است. در این شکل‌ها منظور از شرایط چرایی ۱ و ۲ به‌ترتیب، شرایط قرق و تحت چرا بوده و منظور از فاصله از بوته ۱ و ۲ به‌ترتیب پای بوته و بین بوته‌ها است. بیشترین میزان کربن آلی، نیتروژن و فسفر در شرایط قرق و پای بوته مشاهده شد. بیشترین میزان پتاسیم در شرایط تحت چرا و بین بوته‌ها مشاهده شد که بیانگر اثر حضور دام و ادرار حیوان در منطقه تحت چرا است. بیشترین میزان هدایت الکتریکی در شرایط تحت چرا و پای بوته مشاهده گردید. بیشتریم میزان اسیدیته در شرایط تحت چرا اعم از پای بوته و بین بوته مشاهده گردید.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-10-14]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1402.17.2.7.8]

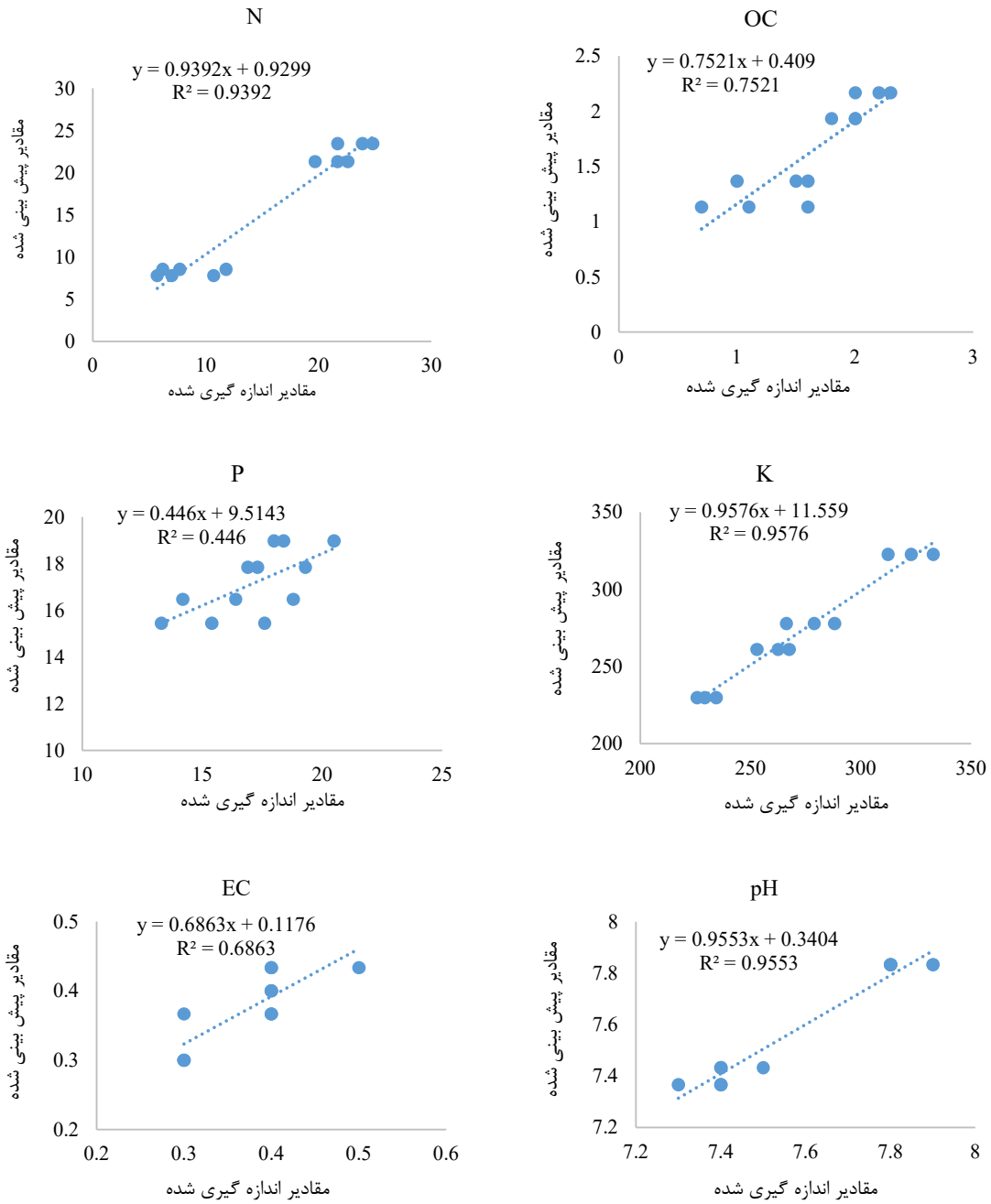


شکل۲: پیش‌بینی خصوصیات خاک تحت بررسی نسبت به فاصله از بوته و شرایط چرایی توسط سیستم استنتاج فازی عصبی (انفیس)

ارتباط بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی‌شده عوامل خاکی تحت بررسی با استفاده از بهترین مدل‌های انفیس در شکل (۳) ارائه شده است. ضریب تبیین (R^2) مدل انفیس برای کربن آلی، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، هدایت الکتریکی و اسیدیته به‌ترتیب برابر با ۰/۷۵، ۰/۹۳، ۰/۴۴، ۰/۹۵، ۰/۶۸ و ۰/۹۵ به‌دست آمد که حاکی از توانایی بالای بهترین مدل‌های انفیس در ایجاد ارتباط بین ورودی و خروجی و نزدیکی پیش‌بینی آن نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده است. تنها موارد استثناء، فسفر و هدایت الکتریکی هستند که در آن‌ها، ضریب تبیین کمتر از حد انتظار است. نتایج روش سطح پاسخ نشان داد که دو فاکتور شرایط چرا و فاصله، تنها بر فسفر و هدایت الکتریکی اثر معنی‌داری نداشتند و بر سایر فاکتورهای اثر معنادار قوی دارند. ضریب تبیین کمتر از حد انتظار نیز دقیقاً در همین دو عامل اتفاق افتاده است. این امر بیانگر این است که انفیس، پیش‌بینی دقیق‌تری از عوامل تحت اثر معنی‌دار از متغیرهای ورودی دارد.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-10-14]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1402.17.2.7.8]



شکل ۳: ارتباط بین مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده در انفیس برای خصوصیات خاک تحت بررسی

نتایج روش سطح پاسخ

ضرورت استفاده از روش سطح پاسخ (RSM) در این پژوهش، بررسی قابلیت این روش جدید در پیش‌بینی و مدل‌سازی خصوصیات خاک است. نتایج خروجی روش سطح پاسخ بیانگر تأثیر متغیرهای ورودی شامل شرایط چرایی (قرق و تحت چرا) و فاصله از بوته (پای بوته و بین بوته) بر متغیرهای خروجی (کربن آلی، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، هدایت الکتریکی و اسیدیته) است که در ادامه ارائه

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-10-14]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1402.17.2.7.8]

شده است. در جدول (۱) نتایج مربوط به تجزیه واریانس عامل کربن آلی، در جدول (۲) ضرایب تعیین قطعی، تطبیقی و پیش‌بینی شده در خصوص تمامی خصوصیات خاک و در جدول (۳)، عدد ثابت و ضرایب تخمین فاصله از بوته و شرایط چرایی در معادلات پیش‌بینی ارائه شده است. منظور از معنی‌دار بودن عامل کربن آلی مندرج در جدول (۱) این است که چندین مدل به منظور پیش‌بینی مقادیر کربن ارائه می‌گردد و اثر این مدل‌ها بر خروجی، معنی‌دار است. برای مدل، درجه آزادی ۳ درج شده که نشان می‌دهد ۴ مدل کربن با تفاوت معنی‌دار در خروجی توسط نرم‌افزار ارائه شده است.

جدول ۱: تجزیه واریانس عامل کربن آلی

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	P	معنی داری
مدل	۱/۸	۳	۰/۵۹۸۵	۹/۱۶	۰/۰۱۷۹	معنی دار است
فاصله از بوته	۱/۶۴	۱	۱/۶۴	۲۵/۰۸	۰/۰۰۴۱	
شرایط چرایی	۰/۰۰۳۸	۱	۰/۰۰۳۸	۵۹/۳۷	۰/۴۷۵۸	
فاصله × شرایط	۰/۲۴۲۴	۱	۰/۲۴۲۴	۳/۷۱	۰/۱۱۲۰	
خطای خالص	۰/۳۲۶۷	۵	۰/۰۶۵۳			
خطای تصحیح شده	۲/۱۲	۸				

جدول ۲: ضرایب تعیین قطعی، تطبیقی و پیش‌بینی شده

پارامتر	کربن آلی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	هدایت الکتریکی	اسیدیته
ضریب تعیین	۰/۸۴۶۱	۰/۹۳۷۵	۰/۲۳۹۹	۰/۹۶۵۵	۰/۵۴۵۵	۰/۹۸
ضریب تعیین تطبیقی	۰/۷۵۳۷	۰/۹۱۶۷	۰/۱۳۱۳	۰/۹۵۴۰	۰/۳۹۳۹	۰/۹۷۷۱
ضریب تعیین پیش‌بینی شده	۰/۵۵۴۷	۰/۸۶۴۲	-۰/۱۹۷۶	۰/۹۲۵۶	۰/۰۸۳۲	۰/۹۶۸۷
کفایت دقت	۷/۰۴۲۱	۱۲/۳۹۸۷	۲/۱۱۵۰	۱۹/۶۹۲۸	۴/۴۴۹۷	۲۶/۳۵۴۸

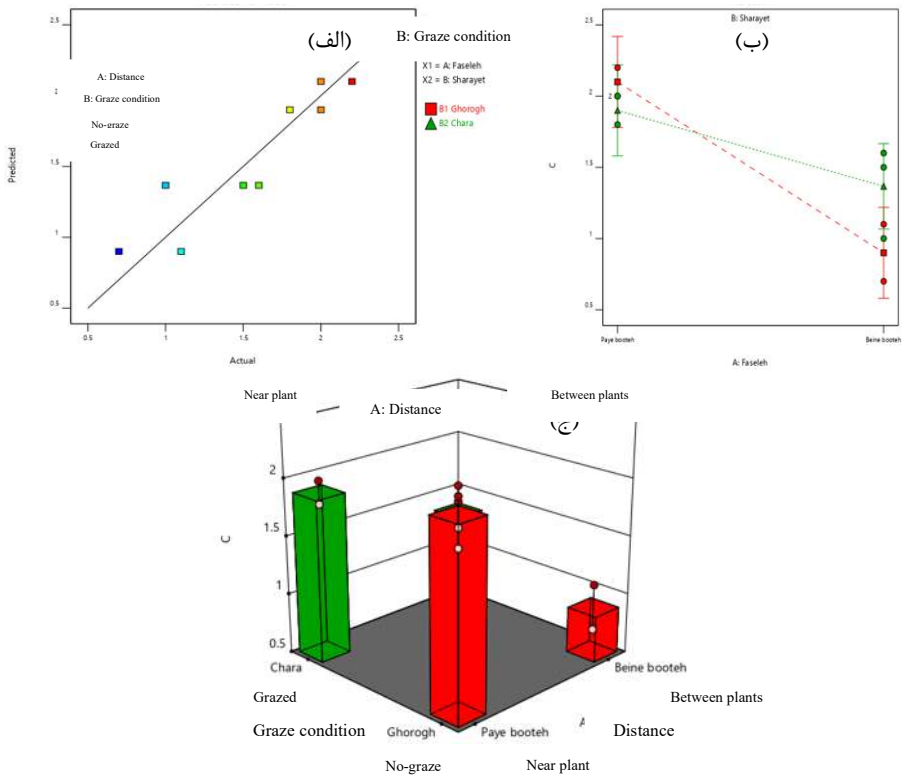
جدول ۳: ضرایب تخمین در معادلات پیش‌بینی به دست آمده

پارامتر	درجه آزادی	ضریب تخمین					
		کربن آلی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	هدایت الکتریکی	اسیدیته
عدد ثابت	۱	۱/۵۷	۱۵/۲۷	۱۶/۷۶	۲۷۳/۶۷	۰/۳۶۸۲	۷/۶۱
فاصله از بوته	۱	-۰/۴۳۳۳	-۶/۴۸	-۸۹/۵۰	۲۹/۸۷	-۰/۰۳۱۸	-
شرایط چرایی	۱	۰/۰۶۶۷	-۱/۰۱	-	۱۶/۹۴	۰/۰۱۸۲	۰/۲۱

با در نظر گرفتن ضرایب تخمین به دست آمده در جدول (۳)، تمامی مقادیر پیش‌بینی شده با توجه به ورودی‌های مرتبط در یک نمودار (شکل۴- الف) رسم شدند. به علاوه، ارتباط میان داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده در خصوص کربن آلی موجود در خاک مرتع مورد نظر (شکل۴- ب) ارائه گردیده است. همچنین نمودار سه بعدی تغییرات مقادیر کربن آلی خاک تحت تأثیر شرایط چرا و فاصله از بوته در شکل (۴- ج) نشان داده شده است.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-10-14]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1402.17.2.7.8]



شکل ۴: (الف) مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل روش سطح پاسخ با توجه به ورودی‌ها (در این شکل، مقادیر قرمز و سبز رنگ به‌ترتیب مربوط به شرایط قرق و تحت چرا می‌باشند)، (ب) ارتباط میان داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده توسط مدل روش سطح پاسخ و (ج) نمودار سه بعدی تغییرات مقادیر کربن آلی خاک تحت تأثیر شرایط چرا و فاصله از بوته

نتایج مربوط به تجزیه واریانس مدل روش سطح پاسخ در خصوص نیتروژن، ضرایب تعیین قطعی، تطبیقی و پیش‌بینی شده و مقدار ثابت به همراه ضرایب ثابت و فاصله از بوته و شرایط چرایی در معادله پیش‌بینی را به‌ترتیب در جداول (۴، ۲ و ۳) مشاهده می‌فرمایید.

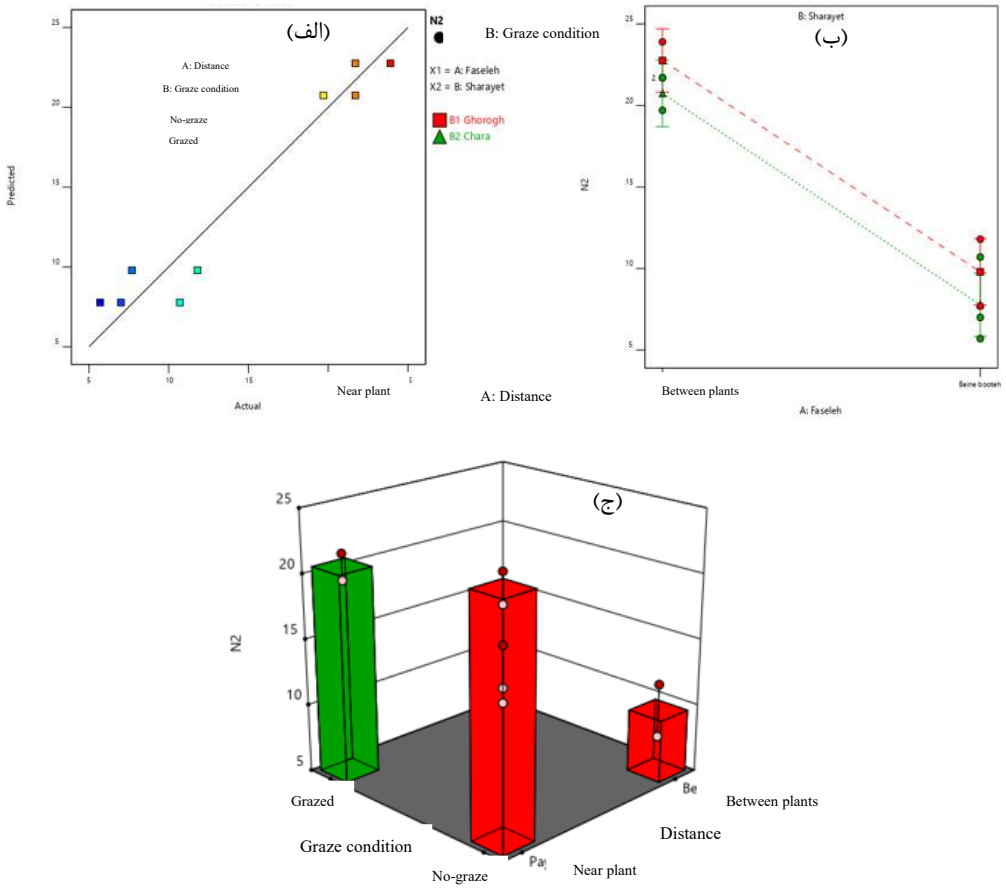
جدول ۴: تجزیه واریانس عامل نیتروژن

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	P	معنی داری
مدل	۳۹۴/۴	۲	۱۹۷/۲	۴۴/۹۹	۰/۰۰۰۲	معنی دار است
فاصله از بوته	۳۶۹/۹۸	۱	۳۶۹/۹۸	۸۴/۴۲	۰/۰۰۰۱	
شرایط چرایی	۸/۹۶	۱	۸/۹۶	۲/۰۴	۰/۲۰۲۷	
باقیمانده	۲۶/۳	۶	۴/۳۸			
کاهش تناسب	۰/۰۱۲۳	۱	۰/۰۱۲۳	۰/۰۰۲۳	۰/۹۶۳۳	معنی دار نیست
خطای خالص	۲۶/۲۸	۵	۵/۲۶			
خطای تصحیح شده	۴۲۰/۷	۸				

با در نظر گرفتن ضرایب تخمین به دست آمده در جدول (۳)، تمامی مقادیر پیش‌بینی شده با توجه به ورودی‌های مرتبط در یک نمودار (شکل ۵) رسم شدند. به علاوه، ارتباط میان داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده در خصوص میزان ترسیب کربن موجود در خاک مراتع ارائه گردیده است. همچنین نمودار سه بعدی تغییرات مقادیر کربن آلی خاک تحت تأثیر شرایط چرا و فاصله از بوته نشان داده شده است.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-10-14]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1402.17.2.7.8]



شکل ۵: (الف) مقادیر پیش‌بینی شده با توجه به ورودی ها (در این شکل، مقادیر قرمز و سبز رنگ به‌ترتیب مربوط به شرایط قرق و تحت چرا می‌باشند) و (ب) ارتباط میان داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده (ج) نمودار سه بعدی تغییرات مقادیر نیتروژن خاک تحت تأثیر شرایط چرا و فاصله از بوته

نتایج مربوط به تجزیه واریانس مدل روش سطح پاسخ در خصوص فسفر، ضرایب تعیین قطعی، تطبیقی و پیش‌بینی شده و مقدار ثابت به همراه ضرایب ثابت و فاصله از بوته و شرایط چرایی در معادله پیش‌بینی را به‌ترتیب در جداول (۵، ۲ و ۳) مشاهده می‌فرمایید.

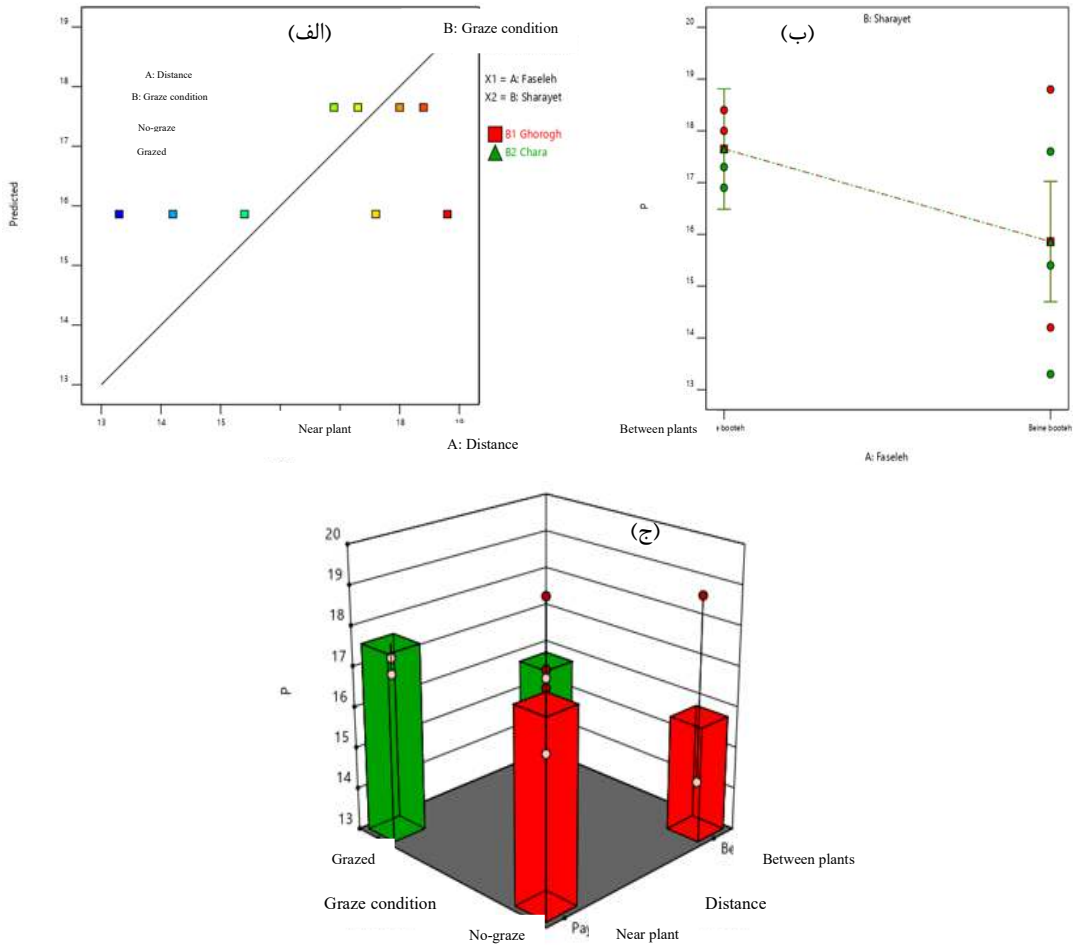
جدول ۵: تجزیه واریانس عامل فسفر

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	P	معنی داری
مدل	۷/۱۲	۱	۷/۱۲	۲/۲۱	۰/۱۸۰۸	معنی دار نیست
فاصله از بوته	۷/۱۲	۱	۷/۱۲	۲/۲۱	۰/۱۸۰۸	
باقیمانده	۲۲/۵۶	۷	۳/۲۲			
کاهش تناسب	۲/۵۸	۲	۱/۲۹	۰/۳۲۲۱	۰/۷۳۸۶	معنی دار نیست
خطای خالص	۱۹/۹۹	۵	۴			
خطای تصحیح شده	۲۹/۶۸	۸				

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-10-14]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1402.17.2.7.8]

با در نظر گرفتن ضرایب تخمین به دست آمده در جدول۳، تمامی مقادیر پیش‌بینی شده با توجه به ورودی‌های مرتبط در یک نمودار (شکل ۶) رسم شدند. به علاوه، ارتباط میان داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده به همراه تغییرات میزان فسفر با توجه به شرایط چرا و فاصله از بوته ارائه گردیده است.



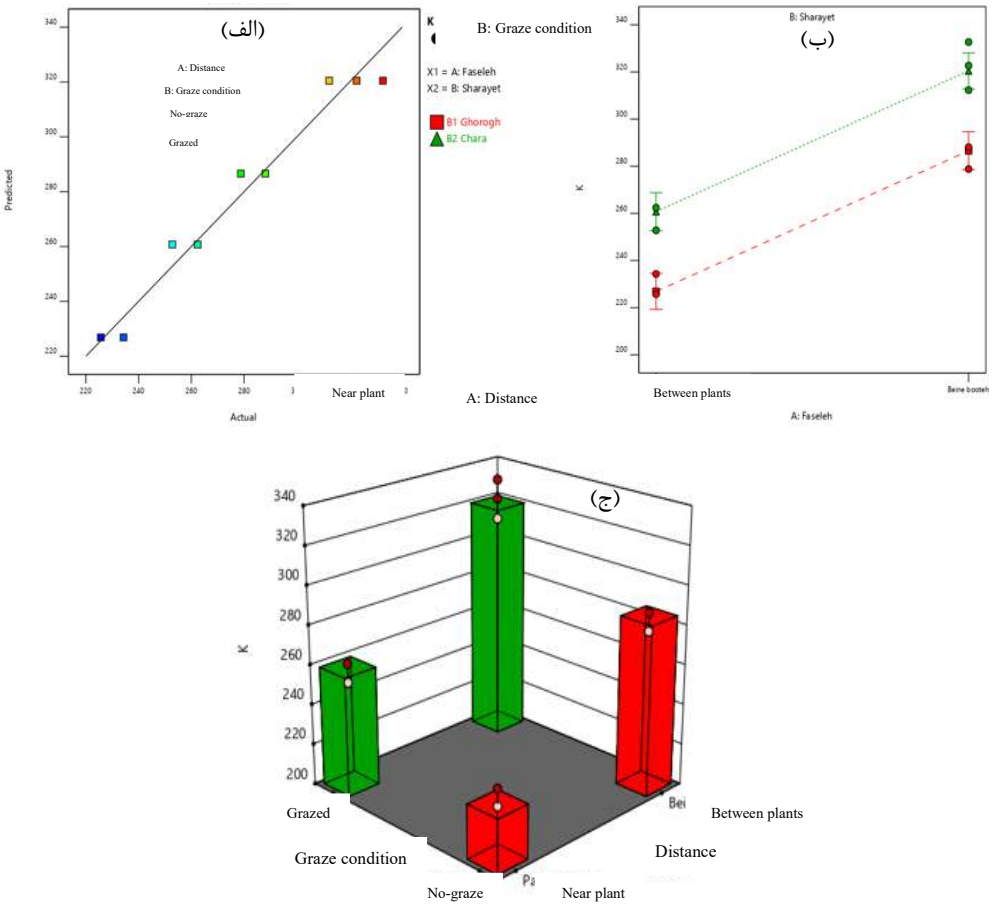
شکل۶. (الف) مقادیر پیش‌بینی شده با توجه به ورودی ها (در این شکل، مقادیر قرمز و سبز رنگ به‌ترتیب مربوط به شرایط قرق و تحت چرا می‌باشند) و (ب) ارتباط میان داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده و (ج) نمودار سه بعدی تغییرات مقادیر فسفر خاک تحت تأثیر شرایط چرا و فاصله از بوته

نتایج مربوط به تجزیه واریانس مدل روش سطح پاسخ در خصوص پتاسیم، ضرایب تعیین قطعی، تطبیقی و پیش‌بینی شده و مقدار ثابت به همراه ضرایب ثابت و فاصله از بوته و شرایط چرایی در معادله پیش‌بینی را به‌ترتیب در جداول (۶، ۲ و ۳) مشاهده می‌فرمایید.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-10-14]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1402.17.2.7.8]

با در نظر گرفتن ضرایب تخمین به دست آمده در جدول (۳)، تمامی مقادیر پیش‌بینی شده با توجه به ورودی‌های مرتبط در یک نمودار (شکل ۷) رسم شدند. به علاوه، ارتباط میان داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده و تغییرات مقادیر پتاسیم با توجه به شرایط چرا و فاصله از بوته ارائه گردیده است. بیشترین میزان پتاسیم در شرایط تحت چرا و بین بوته‌ها مشاهده شد که بیانگر اثر حضور دام و ادرار حیوان در منطقه تحت چرا است.



شکل۷. (الف) مقادیر پیش‌بینی شده با توجه به ورودی ها (در این شکل، مقادیر قرمز و سبز رنگ به‌ترتیب مربوط به شرایط قرق و تحت چرا می‌باشند) و (ب) ارتباط میان داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده و (ج) نمودار سه بعدی تغییرات مقادیر پتاسیم خاک تحت تأثیر شرایط چرا و فاصله از بوته

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-10-14]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1402.17.2.7.8]

جدول ۶: تجزیه واریانس عامل پتاسیم

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	P	معنی داری
مدل	۱۱۳۷۹/۱۸	۲	۵۶۸۹/۵۹	۸۳/۹۳	۰/۰۰۰۱	معنی دار است
فاصله از بوته	۷۸۴۹/۳۶	۱	۷۸۴۹/۳۶	۱۱۵/۷۸	۰/۰۰۰۱	
شرایط چرایی	۲۵۲۵/۵۵	۱	۲۵۲۵/۵۵	۳۷/۲۵	۰/۰۰۰۹	
باقیمانده	۴۰۶/۷۶	۶	۶۷/۷۹			
کاهش تناسب	۷۲/۳۵	۱	۷۲/۳۵	۱/۰۸	۰/۳۴۶۰	معنی دار نیست
خطای خالص	۳۳۴/۴۱	۵	۶۶/۸۸			
خطای تصحیح شده	۱۱۷۸۵/۹۵	۸				

نتایج مربوط به تجزیه واریانس مدل روش سطح پاسخ در خصوص هدایت الکتریکی، ضرایب تعیین قطعی، تطبیقی و پیش‌بینی شده و مقدار ثابت به همراه ضرایب ثابت و فاصله از بوته و شرایط چرایی در معادله پیش‌بینی به‌ترتیب در جداول (۷، ۲ و)۳ مشاهده می‌گردد.

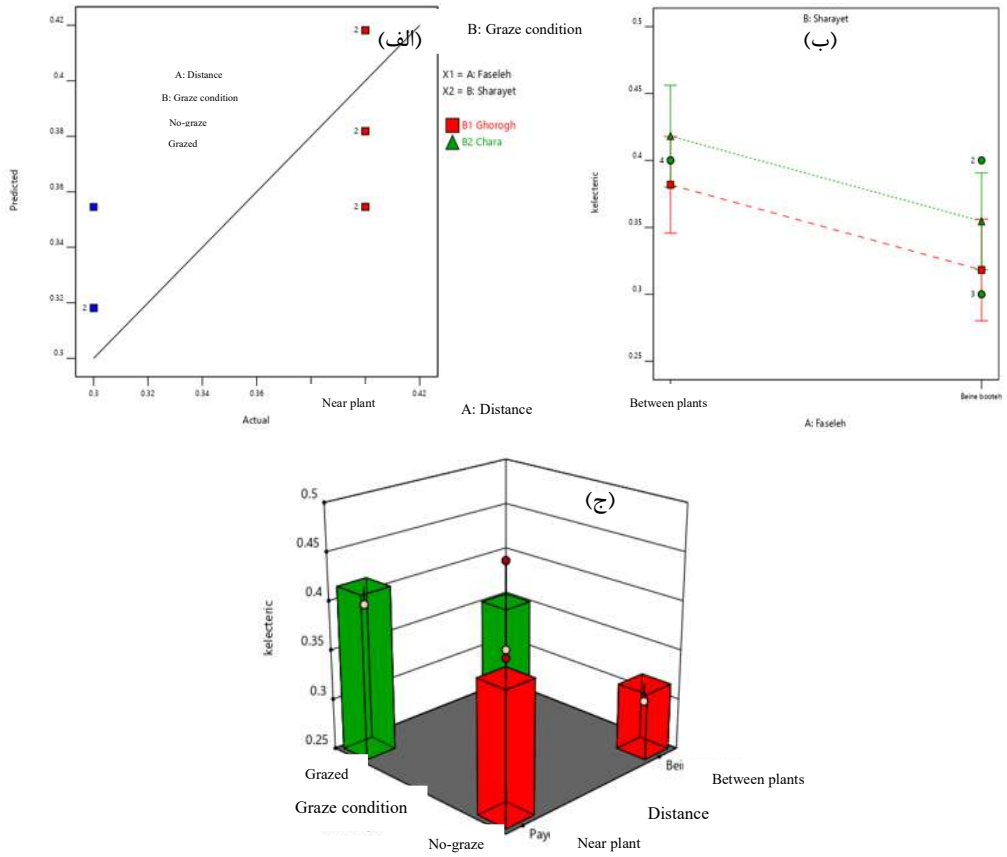
جدول ۷: تجزیه واریانس عامل هدایت الکتریکی

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	P	معنی داری
مدل	۰/۰۱۰۹	۲	۰/۰۰۵۵	۳/۶	۰/۰۹۳۹	معنی دار نیست
فاصله از بوته	۰/۰۰۸۹	۱	۰/۰۰۸۹	۵/۸۸	۰/۰۵۱۵	
شرایط چرایی	۰/۰۰۲۹	۱	۰/۰۰۲۹	۱/۹۲	۰/۲۱۵۲	
باقیمانده	۰/۰۰۹۱	۶	۰/۰۰۱۵			
کاهش تناسب	۰/۰۰۲۴	۱	۰/۰۰۲۴	۱/۸۲	۰/۲۳۵۴	معنی دار نیست
خطای خالص	۰/۰۰۶۷	۵	۰/۰۰۱۳			
خطای تصحیح شده	۰/۰۲	۸				

با در نظر گرفتن ضرایب تخمین به دست آمده در جدول (۳)، تمامی مقادیر پیش‌بینی شده با توجه به ورودی‌های مرتبط در یک نمودار (شکل ۸) رسم شدند. به علاوه، ارتباط میان داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده و تغییرات مقادیر هدایت الکتریکی با توجه به شرایط چرا و فاصله از بوته ارائه گردیده است.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-10-14]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1402.17.2.7.8]



شکل ۸: (الف) مقادیر پیش‌بینی شده توسط روش سطح پاسخ با توجه به ورودی ها (در این شکل، مقادیر قرمز و سبز رنگ به‌ترتیب مربوط به شرایط قرق و تحت چرا می‌باشند) و (ب) ارتباط میان داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده و (ج) نمودار سه بعدی تغییرات مقادیر هدایت الکتریکی تحت تأثیر شرایط چرا و فاصله از بوته

نتایج مربوط به تجزیه واریانس مدل روش سطح پاسخ در خصوص اسیدیته، ضرایب تعیین قطعی، تطبیقی و پیش‌بینی شده و مقدار ثابت به همراه ضرایب ثابت و فاصله از بوته و شرایط چرایی در معادله پیش‌بینی را به‌ترتیب در جداول (۸، ۲ و ۳) مشاهده می‌فرمایید.

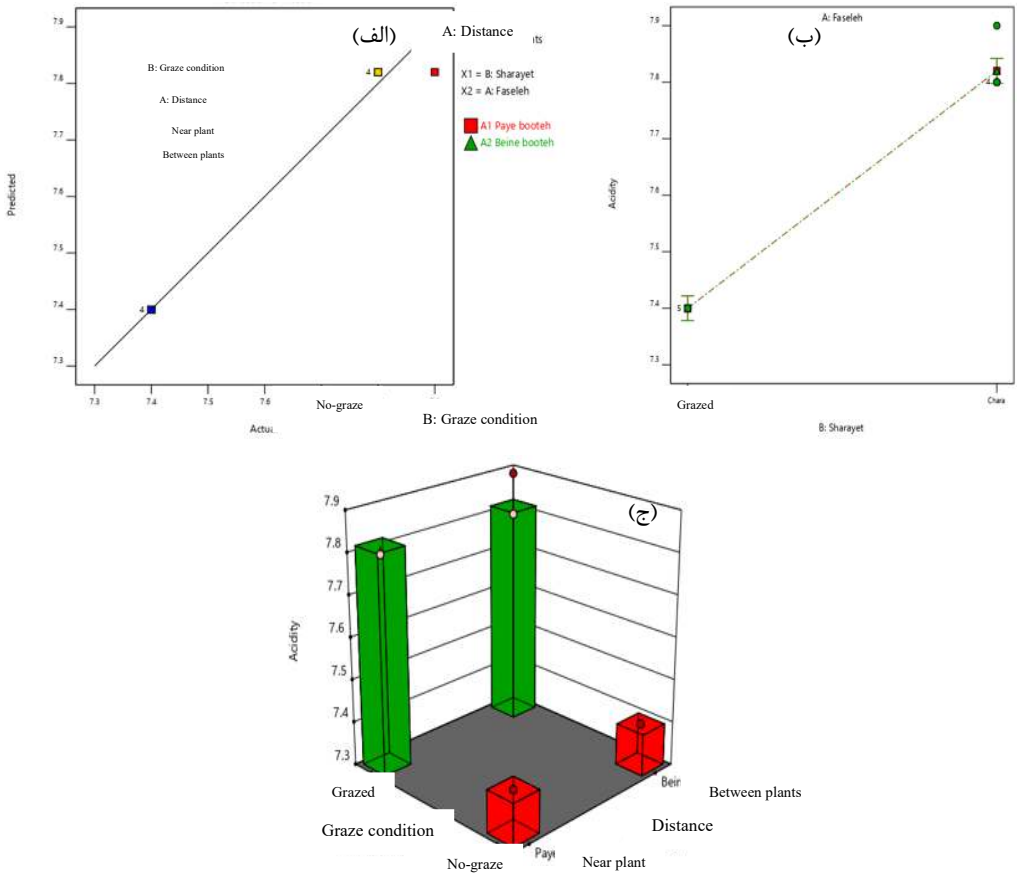
جدول ۸: تجزیه واریانس عامل اسیدیته

منبع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	P	معنی داری
مدل	۰/۳۹۲۰	۱	۰/۳۹۲۰	۳۴۳/۰۰	۰/۰۰۰۱	معنی دار است
شرایط چرایی	۰/۳۹۲۰	۱	۰/۳۹۲۰	۳۴۳/۰۰	۰/۰۰۰۱	
باقیمانده	۰/۰۰۸	۷	۰/۰۰۱۱			
کاهش تناسب	۰/۰۰۱۳	۲	۰/۰۰۰۷	۰/۵	۰/۶۳۳۹	معنی دار نیست
خطای خالص	۰/۰۰۶۷	۵	۰/۰۰۱۳			
خطای تصحیح شده	۰/۴	۸				

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-10-14]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1402.17.2.7.8]

با در نظر گرفتن ضرایب تخمین به دست آمده در جدول (۳)، تمامی مقادیر پیش‌بینی شده با توجه به ورودی‌های مرتبط در یک نمودار (شکل ۹) رسم شدند. به علاوه، ارتباط میان داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده و تغییرات مقادیر اسیدیته با توجه به شرایط چرا و فاصله از بوته ارائه گردیده است. بیشترین میزان اسیدیته در شرایط تحت چرا و بین بوته‌ها مشاهده شد که بیانگر اثر حضور دام و ادرار حیوان در منطقه تحت چرا است.



شکل۹. (الف) مقادیر پیش‌بینی شده توسط روش سطح پاسخ با توجه به ورودی ها (در این شکل، مقادیر قرمز و سبز رنگ به‌ترتیب مربوط به شرایط قرق و تحت چرا می‌باشند) و (ب) ارتباط میان داده‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده و (ج) نمودار سه بعدی تغییرات مقادیر اسیدیته خاک تحت تأثیر شرایط چرا و فاصله از بوته

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نقش مهمی که خاک در عرصه‌های طبیعی ایفا می‌کند و بستر رشد گیاهان و عامل تأثیرگذار در تعادل اکوسیستم است، بررسی ارتباط بین عوامل محیطی و پوشش گیاهی همواره مورد توجه متخصصین بوده (۴ و ۲۱) و شناخت رفتار گونه‌های گیاهی نسبت به عوامل اکولوژیکی و در رأس آن‌ها عوامل خاکی، راهنمای مؤثری در برنامه‌های اصلاح و بهره‌برداری صحیح از مراتع است (۱۸، ۲۶ و ۳۰). نتایج تحقیق حاضر نشان داد که عامل شرایط چرا (قرق و تحت چرا) و فاصله از بوته (پای بوته و بین بوته‌ها) بر اسیدیته، نیتروژن، پتاسیم و کربن آلی تأثیر معنی‌داری داشته اما بر هدایت الکتریکی و فسفر، اثر معنی‌داری

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-10-14]
[DOR: 20.1001.1.20080891.1402.17.2.7.8]

نداشتند. این نتایج با نتایج تحقیقات گذشته که چرا و قرق را بر میزان نیتروژن و اسیدیته خاک مراتع مؤثر دانسته‌اند، مطابقت دارد (۲۱ و ۳۱).

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که بیشترین میزان کربن آلی، نیتروژن و فسفر در شرایط قرق و پای بوته مشاهده شد. در مطالعه مشابه، محققین پس از بررسی مراتع تحت چرای طولانی مدت دام در شرق آمریکا، ۵۷ درصد تغییرات کربن آلی را مربوط به حضور دام اعلام نمودند که نشان از حساسیت این فاکتور به عامل چرا است (۱۱). نتایج نشان داد که بیشترین میزان پتاسیم در شرایط تحت چرا و بین بوته‌ها مشاهده شد. همچنین، بیشترین میزان اسیدیته در شرایط تحت چرا اعم از پای بوته و بین بوته مشاهده گردید. این امر بیانگر این نکته است که حضور دام و ادرار حیوان در منطقه تحت چرا، تأثیر مستقیم بر میزان اسیدیته و پتاسیم خاک مراتع دارد. به علاوه، بیشترین میزان هدایت الکتریکی در شرایط تحت چرا و پای بوته مشاهده گردید. در مطالعات مشابه میزان اسیدیته، پتاسیم و هدایت الکتریکی در مناطق تحت چرا نسبت به قرق، بالاتر و این امر مرتبط با حضور و ادرار حیوان گزارش شد (۱۲، ۱۵ و ۱۷).

ضریب تعیین (R^2) بهترین مدل‌های سیستم استنتاج فازی عصبی برای کربن آلی، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، هدایت الکتریکی و اسیدیته نمونه‌های خاک به‌ترتیب برابر با ۰/۷۵، ۰/۹۳، ۰/۴۴، ۰/۹۵، ۰/۶۸و ۰/۹۵ به‌دست آمد که حاکی از توانایی بالای سیستم استنتاج فازی عصبی در ایجاد ارتباط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها و نزدیکی پیش‌بینی آن نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده است. در مطالعات مشابه نیز به توانایی بالای سیستم استنتاج فازی عصبی در مدل‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای مرتبط با علوم مرتع اشاره شده است (۸، ۱۰، ۱۳ و ۱۴). در میان پارامترهای تحت بررسی در این مطالعه، تنها موارد استثناء، فسفر و هدایت الکتریکی هستند که در آن‌ها، ضریب تعیین کمتر از حد انتظار است. ضریب تعیین (R^2) روش سطح پاسخ برای کربن آلی، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، هدایت الکتریکی و اسیدیته به‌ترتیب برابر با ۰/۸۴، ۰/۹۳، ۰/۲۴، ۰/۹۶، ۰/۵۴ و ۰/۹۸ به‌دست آمد که حاکی از توانایی بالای روش سطح پاسخ در ایجاد ارتباط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها و نزدیکی پیش‌بینی‌های آن نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده است.

در مطالعات مشابه نیز به توانایی بالای روش سطح پاسخ در مدل‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای مختلف اشاره شده است (۶ و ۲۴). از طرف دیگر، نتایج روش سطح پاسخ نشان داد که دو فاکتور شرایط چرا و فاصله، تنها بر فسفر و هدایت الکتریکی اثر معنی‌داری نداشتند و بر سایر فاکتورها اثر معنادار قوی دارند. ضریب تعیین کمتر از حد انتظار در روش سطح پاسخ نیز دقیقاً مشابه با سیستم استنتاج فازی عصبی در همین دو عامل اتفاق افتاده است. در مطالعات مشابه نیز به معنی‌دار نبودن شدت چرا بر روی فسفر و هدایت الکتریکی خاک مراتع اشاره شده است (۱۲ و ۱۷). همان‌گونه که اشاره شد، هردو روش سطح پاسخ و سیستم استنتاج فازی عصبی، پیش‌بینی دقیقی از عوامل تحت اثر معنی‌دار از متغیرهای ورودی داشته و در خصوص خروجی‌های غیر معنی‌دار، دقت کافی را ندارد. یکی از بارزترین تفاوت‌های دو روش سطح پاسخ و سیستم استنتاج فازی عصبی، نمودارهای خروجی آن‌ها است به طوری که نمودار خروجی روش سطح پاسخ به صورت نمودارهای ستونی و در سیستم استنتاج فازی عصبی به صورت سطوح سه بعدی است. مزیت سیستم استنتاج فازی عصبی در این است که برای مقادیر بینابینی ورودی‌ها نیز می‌توان خروجی را از روی سطوح سه بعدی یافت اما در روش سطح پاسخ این امکان از روی نمودارهای ستونی وجود ندارد. در مطالعات مشابه نیز به یافتن مقادیر خروجی برای مقادیر بینابینی در ورودی‌ها از روی سطوح سه بعدی نمودارهای خروجی سیستم استنتاج فازی عصبی اشاره شده است (۹، ۱۳ و ۱۴).

در نهایت می‌توان بیان داشت اطلاعات درباره خصوصیات خاک در اکولوژی گیاهی ضروری است، زیرا خاک اولین عامل تعیین‌کننده نوع پوشش گیاهی در داخل یک منطقه است (۲۹) و از طرف دیگر جهت اصلاح و توسعه مراتع می‌توان با شناخت خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک معرف رویشگاه، گونه‌های سازگار با شرایط اکولوژیکی منطقه، به خصوص شرایط خاکی را پیشنهاد نمود. با توجه به نتایج حاصل می‌توان بیان نمود که هر دو روش سیستم

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-10-14]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1402.17.2.7.8]

استنتاج فازی عصبی و سطح پاسخ توانایی نسبتاً بالایی در پیش‌بینی خصوصیات خاکی مؤثر بر پراکنش گونه‌های گیاهی در مراتع داشته و می‌توان آن‌ها را به منظور پیش‌بینی سایر خصوصیات در علم مرتعداری و مدیریت مراتع پیشنهاد نمود.

References

1. Ahmadi, M.R., M. Karami & R. Kazemi., 2000. Determination of biomass and prediction of production in Aghasht and Kordan rivers. Journal of Iran National Resources, 53(1): 3-20.
2. Anderson, D.W., S. Saggar., J.R. Bettany & J.W.B. Stewart, 1981. Particle size fractions and their use in studies of soil organic matter: I. The nature and distribution of forms of carbon, nitrogen, and sulfur. Soil Science Society of America Journal, 45(4): 767-772.
3. Azarnivand, H., M. Jafari, M.R. Moghadam & M.A. Jalili, 2003. Evaluation of the effect of soil properties and environmental factors on the distribution of two species of Artemisia (case study: Avard rangeland, Semnan). Journal of Natural Resources, 56(2): 93-100. (In Persian)
4. Azarnivand, H., H. Joneidi, M.A. Zare Chahooki & H. Maddah Arefi, 2011. Investigation of the effects of some ecological factors on carbon sequestration in *Artemisia sieberi* rangelands of Semnan province. Journal of range and watershed management, 64(1): 107-127. (In Persian)
5. Balum, N., E. Rossmanith & F. Jeltsch, 2006. Land use affects rodent communities in Kalahari savannah rangelands. African Journal of Ecology, 45(2): 189-195.
6. Bas, D., H. Boyaci & H. Smail, 2007. Modeling and optimization I: Usability of response surface methodology. Journal of Food Engineering, 78(3): 836-845.
7. Bornman, T.G., J.B. Adams & G.C. Bate, 2008. Environmental factors controlling the vegetation zonation patterns and distribution of vegetation types in the Olifants Estuary. South African Journal of Botany, 74(4): 685-695.
8. Brahim, N., D. Blavet, T. Gallali & M. Bernoux, 2011. Application of structural equation modeling for assessing relationships between organic carbon and soil properties in semiarid Mediterranean region. International Journal of Environment Science and Technology, 8(2) :305-320.
9. Fallah Ghalhari, G.H.A., S.M. Mousavi Baigi & M. Habibi Nokhandan, 2008. Seasonal rainfall prediction based on synoptically pattern using adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS). Physical Geography Research, 66(4): 121-139.
10. Folorunso, O., O. Ojo, M. Busari, M. Adebayo, A. Joshua, D. Folorunso, C.H. Ugwunna, O. Olabanjo & O. Olabanjo, 2023. Exploring machine learning models for soil nutrient properties prediction: A systematic review. Big data and Cognitive Computing, 7(113): 1-25.
11. Franzluebbers, A.J. & G.A. Sttuedemann., 2002. Particulate and non-particulate particulate of Soil Organic Carbon under Patures in the Sounthern Piedmont USA. Environment Pollutions, 116(1): 53-62.
12. Ghorbani, Z.H., k. Sefidi, F. Keivan Behjou, M. Moameri & A. Soltani, 2015. The effect of different intensities of grazing on soil physical and chemical properties in southeastern rangelands of Sabalan. Journal of Rangeland, 9(4): 353-366. (In Persian)
13. Ghorbani, Z.H., K. Sefidi, F. Keyvan Behjo, M. Moameri & A. Soltani, 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 Persian)
14. Ghorbani, Z.H., Sefidi, K., Souri, M. & M. Moameri, 2021. Predicting the biomass of above and underground of grazeable plants under the effect of grazing using adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS). Iranian Journal of Rngeland and Desert Research, 28(3): 395-409.
15. Giertz, S., B. Junge & B. Diekkruger, 2005. Assessing the effects of land use change on soil physical properties and hydrological processes in the sub-humid tropical environment of West Africa. Physics and Chemistry of Earth, 30(8): 485-496.
16. Gopalakrishnan, K., S.K. Khaitan & S. Kalogirou, 2011. Soft computing in green and renewable energy systems, Springer, pp 1-35.
17. Han, G.D., H.Y. Xiying, Z.L. Mengli, W.J. Mingjun, B.H. Ellert, W. Walter & M.J. Wang, 2008. Effect of grazing intensity on carbon and nitrogen in soil and vegetation in a meadow steppe in Inner Mongolia. Journal of Agriculture, Ecosystems & Environment, 125(1-4): 21-32.
18. Hasanvand, H., M. Azimi, H. Niknahad Ghermakher & G. Rahbar, 2020. Quantifying of carbon sequestration for the ecosystem by dominant species in Tilabad rangelands, Golestan province. Journal of Rangeland, 14(4): 673-684.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-10-14]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1402.17.2.7.8]

19. He, M.Z., J.G. Zheng, X.R. Li, & Y.L. Qian, 2007. Environmental factors affecting vegetation composition in the Alxa Plateau, China. Journal of Arid Environments, 69(3): 473-489.
20. Homann, P.S., J.S. Kapchinske & A. Boyce, 2007. Relations of mineral-soil C and N to climate and texture: regional differences within the conterminous USA. Biogeochemistry, 85(3): 303-316.
21. Jafari, M., H. Azarnivand, A. Sadeghipour, N. Kamali, A. Heidari & H. Maddah Arefi, 2016. The effect of different grazing intensities on the carbon sequestration and nitrogen reservoir (case study: Part 4 Shahryar). Range and Watershed Management, 69(2): 427-436.
22. Jang, J.S.R., 1993. ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System. IEEE Transactions on Systems Man & Cybernetics, 23, 665-685.
23. Jang, J.S.R., C.T. Sun & E. Mizutani.,1997. Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence. Prentice Hall, New Jersey.
24. Khanahmadi, M., R. Ghaffarzadegan, F. Khalighi Sigaroodi, H.A. Naghdi Badi, A. Mehrafarin & R. Hajiaghaee, 2018. Optimization of the glycyrrhizic acid extraction from licorice by response surface methodology. Journal of Chemistry and Chemical Engineering, 37(1): 121-129.
25. Khoshnevisan, B., S. Rafiee, M. Omid & H. Mousazadeh, 2014. Development of an intelligent system based on ANFIS for predicting wheat grain yield on the basis of energy inputs. Information of Processing Agriculture, 20(1): 14-22.
26. Kohestani, N., S.H. Rastgar, G. Heydari, S.H. Shetaee Jouibary & H. Amirnejad, 2021. Monitoring the spatial distribution of soil carbon sequestration for four decades based on changes in rangeland vegetation conditions (Case study: Noorrud watershed in Mazandaran province). Journal of Rangeland, 15(2): 344-356.
27. Krueger, E., S.A. Prior, D. Kurtener, H.H. Rogers & G.B. Runion, 2011. Characterizing root distribution with adaptive neuro-fuzzy analysis. International Agrophysics, 25(1): 93-96.
28. Li, Sh., P. S.U, H. Zhang & Z. Zhou, 2018. Distribution patterns of desert plant diversity and relationship to soil properties in the Heihe river basin, China. Ecosphere, 9(7): 1-15.
29. Mesdaghi, M., 2001. Vegetation description and analysis. Mashhad University Jihad Publications, 228 p. (In Persian)
30. Mofidi Chelan, M., E. Sheidai Karkaj & R. Ghoreyshi, 2021. Estimation of economic value of carbon sequestration at Inchehbrun salt lands, Golestan province. Journal of Rangeland, 15(2): 269-281.
31. Moghadam, M., 1999. Range and Rangeland, Tehran University press, 257 p. (In Persian)
32. Monier, M.A. & M.A. Wafaa., 2003. Soil-vegetation relationships in coastal desert plain of southern Sinai, Egypt. Journal of Arid Environments, 55(4): 607-628.
33. Motamedi, J., S.H. Ebrahimi & E. Sheidai Karkaj, 2020. The relation of sequestrated carbon at *Astragalus brachyanus* with plant charactristics and rangeland management (Razhan, West Azarbaijan). Journal of Rangeland and Watershed Mmanagement, 73(2): 423-438. (In Persian)
34. Naderloo L., R. Alimardani, M. Omid, F. Sarmadian, P. Javadikia, M.Y. Torabi & F. Alimardani, 2012. Application of ANFIS to predict crop yield based on different energy inputs. Measurement, 45(6):1406-1413.
35. Omidipour, R., P. Tahmasebi, A. Ebrahimi & M. Naddaf, 2021. The effect of grazing management on the combination and location indexes of plant diversity (case study: Borojen Rangelands, Chaharmahal & Bakhtiari Province). Management of Watershed Regions, 1(1): 2-20.
36. Pallathadka, H., M. Mustafa, D.T. Sanchez, G.S. Sajja, S. Gour & M. Naved, 2021. Impact of machine learning on management, healthcare and agriculture. Materials of Today Processing, 8(2): 2803–2806.
37. Pourbabaei, H., V. Rahimi & M.N. Adel, 2015. The effect of environmental factors on the range plants distribution at Divandarreh region of Kurdistan. Applied Ecology, 4(11): 27-38.
38. Sadeghinia, M., M. Jafari, G.H. Zahedi Amiri, N. Baghestani Maybodi & A. Tavili, 2013. Investigation on effects of environmental and soil factors on establishment of vegetation types (Case Study: Sabzdasht, Bafgh). Journal of Rangeland Science, 3(1): 1-10.
39. Satter, M.A., S.A. Jabin, N. Abedin, M.F. Islam, R. Parvin, M. Dhali & M.Z. Amin, 2014. Development and evaluation of weaning foods using locally available nutritious fruits in Bangladesh. Malaysian Journal of Nutrition, 20(1): 83-92.
40. Shahare, Y & V. Gautam., 2022. Soil nutrient assessment and crop estimation with Machine Learning Method: A Survey. In Cyber Intelligence and Information Retrieval; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, pp. 253-266.
41. Sheidai Karkaj, E., A. Sepehry, H. Barani & J. Motamedi, 2017. The relationship between soil organic carbon reservoir and some soil characteristics in East Azerbaijan rangeland. Journal of Rangeland, 11(2): 125-138. (In Persian)

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-10-14]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1402.17.2.7.8]

42. Taghipour, A., M. Mesdaghi, G.H. Heshmati & S.H. Rastgar, 2008. The effect of environmental factors on the rangeland plants distribution at Hezarjarib region of Behshahr. Agricultural Sciences and Natural Resources, 15(4): 195-212.
43. Wang. S.H., X. Wang & Z.H. Ouyang, 2012. Effects of land use, climate, topography and soil properties on regional soil organic carbon and total nitrogen in the Upstream Watershed of Miyun Reservoir, North China. Journal of Environmental Sciences, 24(3): 387-395.
44. Zare Hesari, B., A. Ghorbani, F. Azimi Moallem, K. Hashemi Majd & A. Asghari, 2014. The effective ecological factors on *Artemisia fragrans* wild at domain of Sabalan southeast. Journal of Rangeland, 8(3): 238-250.
45. Zeraatpisheh, M., Y. Garosi, H.R. Owliaie, S. Ayoubi, R. Taghizadeh-Mehrjardi, T. Scholten & M. Xu, 2022. Improving the spatial prediction of soil organic carbon using environmental covariates selection: A comparison of a group of environmental covariates. Catena, 23(4): 208-219.

[Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-10-14]

[DOR: 20.1001.1.20080891.1402.17.2.7.8]