**مقاله پژوهشی** **شناسه دیجیتال (DOR): 20.1001.1.20080891.1400.15.2.7.4**

# پیش‌بینی میزان فشردگی خاک تحت تأثیر شدت‌های مختلف چرایی با استفاده از سیستم استنتاج فازی- عصبی (مطالعه موردی: مراتع جنوب شرقی سبلان، استان اردبیل)

ژیلا قربانی[۱*]، کیومرث سفیدی[۲]، فرشاد کیوان بهجو[۳]، زینب جعفریان[۴] و مهدی معمری[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۲۲ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۰۷/۱۰

## چکیده

شدت چرا و حضور دام در عرصه اگر با رعایت اصول مدیریتی نباشد نه‌تنها باعث تخریب پوشش گیاهی می‌شود بلکه باعث افزایش تراکم خاک و سفت شدن آن شده که این سفتی خاک و عدم نفوذپذیری در آن، عملکرد ریشه گیاهان را تضعیف کرده به‌طوری‌که در تراکم‌های بالای دو مگاپاسکال، رشد ریشه و در نهایت رشد اندام هوایی گیاه متوقف می‌شود. این پژوهش با هدف بررسی میزان تراکم خاک در اثر لگدکوبی توسط دام در مراتع جنوب شرقی سبلان در استان اردبیل انجام شد. برای این کار از نفوذسنج دیجیتال استفاده شد و پارامترهای شدت چرا و فاصله از روستا به عنوان متغیرهای مستقل بررسی شدند (این دو متغیر به هم وابسته هستند اما چون در این پژوهش شدت چرا از حالت کیفی (کم، زیاد، متوسط) به صورت کمی درآمده و در هر منطقه و هر پلات به صورت عدد بیان شده است، بنابراین به‌عنوان یک متغیر مستقل توسط مدل انفیس ارزیابی شد). نتایج به‌دست آمده نشان داد که شدت چرا و فاصله از روستا تأثیر معنی‌داری روی تراکم خاک ($p<۰/۰۱$) داشتند. با کاهش فاصله از روستا (۲۰۰ متر) و افزایش شدت چرا، خاک سفت‌تر شده و نفوذپذیری خاک کمتر می‌شود. با کمک داده‌های به‌دست آمده، مدل‌سازی فشردگی خاک تحت متغیرهای مستقل با استفاده از شبیه‌سازی سیستم استنتاج فازی-عصبی (ANFIS) در محیط نرم‌افزار MATLAB انجام شد. برای ارزیابی عملکرد مدل‌ها از پارامترهای ریشه میانگین مربعات خطا و ضریب تعیین ($R^2$) استفاده و بهترین مدل تعیین شد. نتایج بهترین مدل انفیس در پیش‌بینی فشردگی خاک $R^2$=۰/۹۶۷ و RMSE=۷/۲۲۳ با نتایج مدل رگرسیونی $R^2$=۰/۹۱۸ و RMSE=۱۱/۵۱۸ مقایسه شد. نتایج نشان داد که مدل انفیس در مقایسه با مدل رگرسیونی، ضریب تعیین بالاتر و ریشه میانگین مربعات خطای کمتر و در نتیجه دقت بالاتری داشت. به علاوه، با افزایش شدت چرا در روستای اسب مرز و کاهش فاصله از کانون بحران، میزان فشردگی خاک افزایش یافت.

**واژه‌های کلیدی:** شدت چرا، نفوذسنج، ANFIS، مدل‌سازی، تراکم خاک.

[۱] - دانشجوی دکتری مرتعداری، گروه مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
*: نویسنده مسئول: engzhghorbani@gmail.com
[۲] - دانشیار گروه جنگل‌داری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
[۳] - استاد گروه جنگل‌داری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
[۴] - استاد گروه مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.
[۵] - دانشیار گروه علوم گیاهی و گیاهان داروئی و عضو پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

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

[ DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.2.7.4 ]

**مقدمه**

مقاومت مکانیکی یکی از مهم‌ترین خواص فیزیکی خاک است که خود را به صورت تراکم‌پذیری خاک نشان می‌دهد. یکی از عوامل محدودکننده رشد و نمو و عملکرد پوشش گیاهی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، تراکم خاک می‌باشد که از کمبود مواد آلی، ضعیف بودن ساختمان خاک و استفاده بیش از حد از ماشین‌آلات کشاورزی و تردد دام در عرصه منابع طبیعی ناشی می‌شود (۲۶). تراکم خاک معمولاً با افزایش مقاومت خاک و جرم مخصوص ظاهری همراه بوده و کاهش عواملی چون درجه پوکی، تخلخل کل، تخلخل تهویه‌ای و نفوذپذیری خاک به آب را در پی دارد و باعث تهویه ناکافی، کاهش جذب آب، کاهش بازده عناصر غذایی، رشد غیریکنواخت گیاه، کند شدن جوانه‌زنی بذر، کند شدن رشد سیستم ریشه‌ای و کاهش عملکرد می‌گردد (۱۲). به منظور مدیریت صحیح اکوسیستم‌های مرتعی، باید ارتباط بین عوامل بوم‌شناختی موجود در طبیعت شامل پارامترهای پستی و بلندی، اقلیم، خاک، پوشش گیاهی و موجودات زنده را شناخت. زیرا مدیریت صحیح یک مرتع بر مبنای اصول اکولوژیک است و درک فرآیندهای بوم‌شناختی پیش‌شرط اصلی مدیریت است (۸). تماس مناسب خاک با بذر از آن جهت دارای اهمیت است که حرکت آب به‌سوی بذر و همچنین هوادهی به آن تسهیل می‌گردد. به این دلیل تماس و فشردگی که غالباً با فشار حاصل از چرخ، غلتک‌های بذرکاری و حضور دام در عرصه حاصل می‌شود اجتناب ناپذیر و لازم است ولی باید توجه داشت که فشار بیش از حد باعث فشردگی زیاد خاک و در نتیجه تأخیر در جوانه‌زنی و کاهش رشد گیاه می‌گردد (۲ و ۳).

شدت چرا و حضور دام در عرصه اگر با رعایت اصول مدیریتی نباشد نه‌تنها باعث تخریب پوشش گیاهی می‌شود بلکه به مرور زمان، تردد دام و انسان در عرصه باعث سفتی خاک و تراکم بیشتر آن شده که این سفتی خاک و عدم نفوذپذیری آن عملکرد ریشه گیاهان را تضعیف کرده و رشد آن را دچار اختلال می‌کند (۲). به‌طوری که در تراکم‌های بالای دو مگاپاسکال، رشد ریشه و در نهایت رشد اندام هوایی گیاه متوقف می‌شود (۲ و ۳). فشردگی خاک یکی از عوامل مؤثر در رشد گیاه، مصرف انرژی، استفاده بهینه از سایر نهاده‌ها مانند آب و کود و به‌طور کلی چرخه تولید محصولات گیاهی است که در کشاورزی، تأثیر آن به طور وسیعی مورد مطالعه قرار گرفته است. بهبود و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی تأثیر فشردگی خاک بر عملکرد کیفیت و جذب عناصر غذایی توسط گیاه سیب‌زمینی پرداخته و نتایج تحقیق نشان داد که فشردگی خاک با محدود کردن رشد و توسعه ریشه سیب‌زمینی، جذب مواد غذایی توسط آن را کاهش و باعث کاهش اندازه غده و غلظت مواد غذایی در برگ و غده می‌شود. زارع‌کیا و همکاران (۱۳۹۳) در بررسی تأثیر شدت چرا بر روی خصوصیات پوشش گیاهی و خاک در مناطق استپی ساوه به این نتیجه دست یافتند که چرای مداوم دام و شدت آن باعث افزایش میزان پتاسیم و فسفر خاک شده اما میزان اسیدیته در هیچ کدام از مناطق، تفاوت معنی‌داری نداشته است. همچنین بیان کردند که عدم چرای دام در منطقه قرق باعث افزایش نفوذپذیری خاک گردیده است. سوری و همکاران (۱۳۹۴) در بررسی اثر قرق و چرا بر روی برخی خصوصیات فیزیک و شیمیایی خاک در مراتع ییلاقی بخش زاغه استان لرستان بیان کردند که میزان نفوذپذیری در منطقه قرق بیشتر و در منطقه بحرانی کمترین مقدار عددی را داشته است.

در علوم خاک‌شناسی مطالعات متعددی در زمینه فشردگی خاک با روش‌های کاربردی و مهم انجام گرفته از جمله پارک و کوموتو[1] (۲۰۰۴) تخلخل اولیه خاک را مناسب‌ترین کمیت فیزیکی برای تخمین شاخص فشردگی معرفی نمودند. نات و دیدالال[2] (۲۰۰۴) با استفاده از رگرسیون خطی رابطه بین مشخصات فیزیکی خاک را شامل نسبت پوکی، حد روانی و دامنه خمیری با شاخص فشردگی بررسی و نتیجه‌گیری نمودند که رابطه خطی شاخص فشردگی با دامنه خمیری از دقت بیشتری برخوردار است. رائو[3] و همکاران (۲۰۰۶) با بررسی تأثیر مشخصات مختلف فیزیکی بر مقدار شاخص فشردگی بیان کردند که وزن مخصوص خشک و حد روانی بیشترین تأثیر را بر مقدار شاخص فشردگی دارند.

1 - Park and Koumoto
2 - Nath and De Dalal
3 - Rao

[ Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-10-14 ]
[ DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.2.7.4 ]

یکی از دقیق‌ترین و مرسوم‌ترین روش‌های ارزیابی پارامترهای خاک، پایش زمینی و نمونه‌برداری مستقیم خاک و آنالیزهای آزمایشگاهی است. در ایران، اکثر مطالعات صورت گرفته در زمینه برآورد پارامترهای خاک از مدل‌های تجربی و نیمه‌تجربی استفاده کرده‌اند. حال آنکه به‌دلیل محدود بودن اطلاعات، دشواری و هزینه‌های زیاد حاصل از آزمایش شیمیایی این فاکتور بهتر است از انجام تحلیل‌های پیچیده که در برگیرنده ضرایب گوناگون برای تنظیم فرمول‌های ریاضی مدل‌ها می‌باشد، چشم‌پوشی کرده و از روش‌های هوش مصنوعی *(Artificial intelligence)* که از قدرت انعطاف‌پذیری بالایی برخوردار است، استفاده شود.

روش‌های هوش مصنوعی مانند (شبکه عصبی مصنوعی و شبکه عصبی تطبیقی فازی) از روش‌های محاسباتی هوشمند می‌باشند که مزیت اصلی آن‌ها سرعت بالا و دقت مطلوب در پیش‌بینی متغیرهای پیچیده با نگاشت خطی و غیرخطی است. اصولاً روش‌های هوش مصنوعی در حل مسائل پیچیده که مدل‌های تجربی یا نیمه‌تجربی در حل آن کارایی مناسب نداشته باشند، بسیار کارآمد هستند (۱۵). قربانی و همکاران (۱۳۹۸) در پیش‌بینی میزان خردشدگی خاک در شدت های مختلف چرایی با استفاده از انفیس در مراتع ییلاقی اردبیل به این نتیجه دست یافتند که مدل انفیس با دقت بالاتری ۰/۹۶ =R نسبت به مدل رگرسیونی R=۰/۷۶، خردشدگی خاک را پیش‌بینی کرد (۱۱). نادرلو و همکاران (۱۳۹۰) به پیش بینی عملکرد محصول و خوشنویسان و همکاران (۱۳۹۲) به پیش بینی عملکرد گندم با توجه به میزان انرژی ورودی و با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی نموده و استفاده از آن را مفید ارزیابی نمودند. مقیمی و همکاران (۱۳۹۳) در تحقیقی تحت عنوان مقایسه مدل شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی چندمتغیره در پیش‌بینی کربن آلی خاک به کمک داده‌های آنالیز سطح زمین به این نتیجه دست یافتند که مدل شبکه عصبی مصنوعی نسبت به آنالیز رگرسیون خطی چندمتغیره به عنوان ابزار قدرتمندتری در پیش‌بینی کربن آلی عمل می‌کند.

استفاده از روش‌های معمول ایستگاهی یا نقطه‌ای برای اندازه‌گیری فشردگی خاک در مزارع به‌ویژه با توسعهٔ عرصه، مستلزم صرف وقت زیاد است و علاوه بر نداشتن دقت قابل اطمینان، بسیار مشکل است (۱۹). در این پژوهش به بررسی میزان سفتی و تراکم خاک در اثر شدت‌های مختلف چرایی و فاصله از روستا پرداخته شده است و برای اولین بار به منظور اندازه‌گیری فشردگی خاک در مراتع سبلان از دستگاه نفوذسنج دیجیتال استفاده شده است که با دقت قابل قبول تا حدودی معایب سایر روش‌های تعیین فشردگی خاک را تحت پوشش قرار می‌دهد.

## مواد و روش‌ها

### معرفی منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در مراتع ییلاقی دامنه‌های جنوبی سبلان که دارای ویژگی‌هایی نظیر داشتن شدت‌های چرایی مختلف و دسترسی کافی است، انجام گرفت. در این مطالعه سه روستای اسب مرز، آلداشین و آلوارس در حوزه درویش چای واقع در جنوب شرقی سبلان مورد بررسی قرار گرفت (نمونه‌برداری از مراتع هر سه روستا با شدت چرای مختلف انجام گرفت). حوزه مورد مطالعه بین "۲۲ ' ۴۸ °۴۷ تا "۲۲ ' ۰۸ °۴۸ طول شرقی و " ۰۷ ' ۰۶ °۳۸ تا و " ۴۴ ' ۱۵ °۳۸ عرض شمالی واقع شده است. وسعت این حوزه آبخیز ۱۱۶۴۲/۶۷ هکتار است. میانگین بارش سالانه در این روستاها ۴۵۰ تا ۴۸۰ میلی‌متر می‌باشد. و دمای ماهانه حدود ۶/۵ تا ۷/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. بر اساس اقلیم دومارتن این روستاها دارای اقلیم نیمه خشک سرد بوده و جز منطقه نیمه‌استپی سرد می‌باشد. منطقه مورد مطالعه دارای پوشش گیاهی متنوع شامل بوته‌ای، فورب‌ها و گراس‌ها است. گونه‌های غالب در این منطقه *Festuca ovina*، *Euphorbia aelleni*، *Astragalus glaucacathus*، *Acantholimon festucaceum*، *Fisher*، *Agropyron desertorum* است (۱۰). بافت خاک در هر سه منطقه مورد مطالعه لومی رسی است.

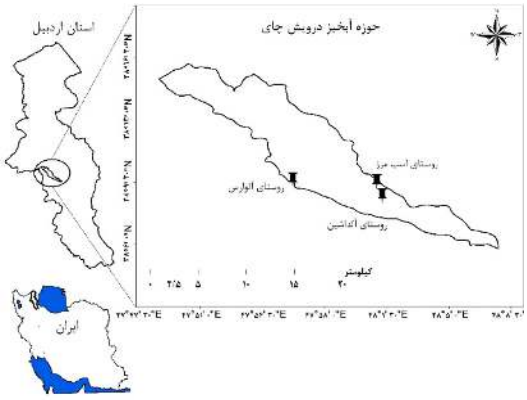
### روش کار

برای انجام این مطالعه، ابتدا نقشه توپوگرافی منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تهیه شد. پس از بازدید صحرایی از حوزه درویش‌چای، سه روستا معرف (روستای اسب مرز، آلداشین و آلوارس در حوزه درویش چای واقع در جنوب شرقی سبلان مورد بررسی قرار گرفت) با شدت چرای مختلف بر اساس وضعیت مرتع، گزارشات اداره کل منابع طبیعی استان

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

[ DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.2.7.4 ]

اردبیل (از لحاظ وسعت مراتع و تعداد دام مازاد بر اساس ظرفیت مجاز) و مشاهدات محلی انتخاب گردید. مناطق مختلف از لحاظ شدت چرایی در هر روستا با در نظر گرفتن وسعت اراضی ملی آن روستا و حضور گیاهان مهاجم، کم شونده و زیاد شونده تعیین شده است. این سه منطقه چرایی در تمام خصوصیات و صفات مثل (توپوگرافی، شیب، ارتفاع، نوع خاک، دما و میزان بارندگی) تقریباً شبیه به هم بوده و تنها در عامل شدت چرا باهم اختلاف داشتند. در این تحقیق، از نفوذسنج دستی دیجیتال ساخت شرکت ریمیک[1] مدل CP20 محصول کشور استرالیا موجود در کارگاه گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی استفاده شد. نفوذسنج وسیله‌ای است که برای اندازه‌گیری مقاومت خاک به نفوذ یا در واقع اندازه‌گیری سفتی خاک استفاده می‌شود. این وسیله به هنگام نفوذ عمودی در خاک، سفتی خاک را به صورت دیجیتالی در فواصل عمقی قابل تنظیم نمایش می‌دهد. ساده‌ترین و در عین حال پرکاربردترین نفوذسنج، نوع دستی آن است. این وسیله از یک نوک نفوذکننده مخروطی شکل، میله رابط، نیروسنج S شکل، نمایشگر دیجیتال و دسته‌هایی تشکیل شده است که نیروی دست انسان به آن منتقل شده تا نفوذسنج به درون خاک به صورت عمودی نفوذ کند (شکل ۲). زاویه نوک مخروط نفوذکننده طبق استاندارد ASAE Standards S313.2، ۳۰ درجه بوده و باید با سرعت ثابت ۲ سانتی‌متر بر ثانیه (تنظیمات کارخانه سازنده روی سرعت ۲ سانتی‌متر بر ثانیه است اگر کمتر یا بیشتر از آن باشد دستگاه با صدای بوق هشدار خطا می‌دهد) به درون خاک نفوذ کند. اندازه‌گیری سفتی خاک توسط نفوذسنج در این تحقیق، در فواصل ۶۷ متری در طول ترانسکت ۶۰۰ متری برای هر روستا انجام شد (۲) (در هر ترانسکت ۲۷ داده با دستگاه برداشت شد). در هر مکان نیز، ۳ بار داده برداری انجام شد (۳ تکرار) و داده نهایی در هر مکان، میانگین این ۳ داده بود.




**شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان اردبیل**

**شکل ۲- دستگاه نفوذسنج دستی**

نهایتاً داده‌های خاک برای تجزیه آماری به نرم‌افزار $SPSS_{Ver.16}$ انتقال و آزمون‌های پیش‌فرض مانند نرمال بودن داده‌ها انجام شد. برای مشخص شدن اثر کلی چرا بر پارامتر مورد نظر در سه منطقه از آنالیز واریانس چندمتغیره استفاده گردید. مقایسه میانگین پارامتر مورد بررسی در مناطق سه‌گانه با استفاده از آزمون توکی (آزمونی که برای کلیه مقایسات دو به دو از آن استفاده می‌شود و بر خلاف دانکن تفاوت‌های خیلی ریز را مد نظر قرار نمی‌دهد و برای کارهای منابع طبیعی مناسب‌تر است (۷) صورت گرفت ($p<0/01$). همچنین رسم نمودارها در نرم‌افزار اکسل صورت گرفت.

**مدلسازی داده‌ها**

پس از ورود داده‌ها به نرم افزار SPSS یک مدل رگرسیونی بین پارامتر مورد مطالعه (فشردگی خاک) و

[1]- Rimik

[ Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-10-14 ]
[ DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.2.7.4 ]

عوامل مؤثر (شدت چرا و فاصله از کانون بحران) بر آن‌ها ایجاد گردید و این مدل با مدل پیش‌بینی شده توسط انفیس مقایسه شد. اساس ANFIS بر پایه‌ای از مجموعه داده‌های ورودی/ خروجی یک سیستم استنتاج فازی (FIS) است. این سیستم بر پایه قوانین ترکیبی از سه 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 سیستم (غیرفازی سازی) است (۸). از تعداد کل داده‌های به‌دست آمده برای هریک از پارامترهای مورد نظر در این بخش، چهار پنجم داده‌ها برای مرحله آموزش[1] مدل و یک پنجم مابقی داده برای مرحله آزمون[2] مدل ایجادشده مورد استفاده قرار گرفت. برای افزایش دقت و سرعت عملکرد مدل‌ها، داده‌ها طبق رابطه زیر (رابطه ۱) نرمال شدند (۱۴):

$$Xnorm = (X - Xmin) / (Xmax - Xmin)$$ (رابطه ۱)

که در آن: Xnorm مقادیر نرمال شده، X مقدار مشاهده شده، Xmax و Xmin به ترتیب مقادیر بیشینه و کمینه داده‌های مشاهده شده است.

مدل ANFIS با ورودی‌های مختلف مثل شدت چرا (۳ ورودی) و فواصل مختلف (در هر شدت چرا ۳ ورودی فاصله) و خروجی مانند تراکم خاک در نرم افزار MATLAB R2013a (Version 8.1.0.604) و در قسمت ANFIS edit ایجاد می‌شود. ساختار مدل انفیس به منظور پیش‌بینی پارامتر خروجی در شکل ۳ نمایش داده شده است. 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 تعیین ($R^2$) استفاده شد و بهترین مدل معین شد (معادله‌های ۲ و ۳).

$$MSE=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(Qi-Pi)^2$$ (رابطه ۲)

$$R^2=\frac{[\sum_{i=1}^{N}(Pi-Pz)(Qi-Qz)]2}{\sum_{i=1}^{N}(Pi-Pz)2\sum_{i=1}^{N}(Qi-Qz)2}$$ (رابطه ۳)

در معادلات 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 (۱۱). در نهایت مدل ANFIS با ورودی‌های عوامل مؤثر مختلف و خروجی پارامتر مورد بررسی در نرم افزار MATLAB R2013a (Version 8.1.0.604) و در قسمت ANFIS edit ایجاد شد.

## نتایج

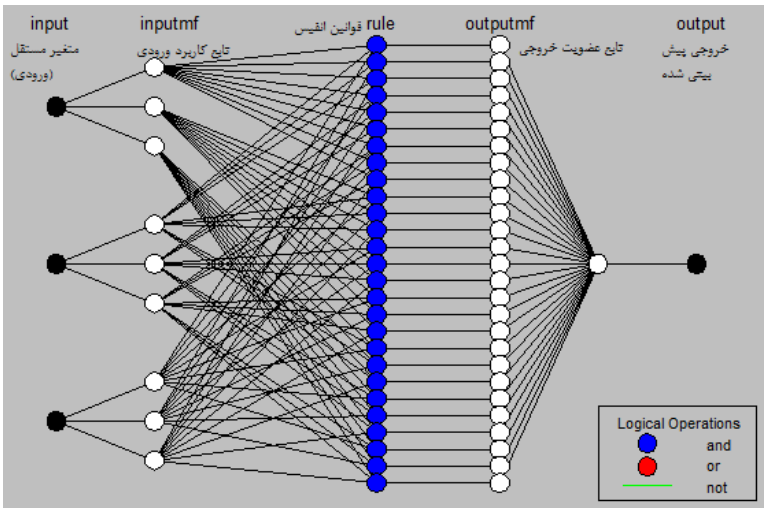
نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تراکم خاک در نزدیک کانون بحران یعنی روستا بیشتر است و هر چه از روستا دور می‌شویم تراکم خاک کمتر می‌شود. همچنین نفوذپذیری ($p<۰/۰۱$) در سه روستا با شدت چرای مختلف و در سه فاصله از کانون‌های بحران دارای اختلاف معنی‌داری است (شکل ۴). نتایج حاصل نشان داد در منطقه با شدت چرای زیاد از درصد ماده آلی خاک کاسته شده است و کمترین درصد ماده آلی در عمق ۳۰-۱۵ منطقه با شدت چرای زیاد مشاهده شد. در منطقه با شدت چرای بالا بین دو عمق نمونه‌برداری تفاوت معنی‌داری است ($p<۰/۰۱$) (شکل ۵- د). مطالعه بافت خاک در سه منطقه مورد بررسی نشان داد که تفاوتی در این مناطق از نظر بافت وجود نداشت. بافت خاک در هر سه منطقه مورد مطالعه لومی رسی است. درصد رس و سیلت در لایه سطحی در هر سه منطقه، کمتر اما درصد شن در لایه سطحی در هر سه منطقه بیشتر بود. درصد شن بین افق اول منطقه با شدت چرای زیاد و افق دوم منطقه با شدت چرای کم اختلاف معنی‌داری نداشت ($p<۰/۰۵$) (شکل ۵- الف، ب، ج).

[1]- Training

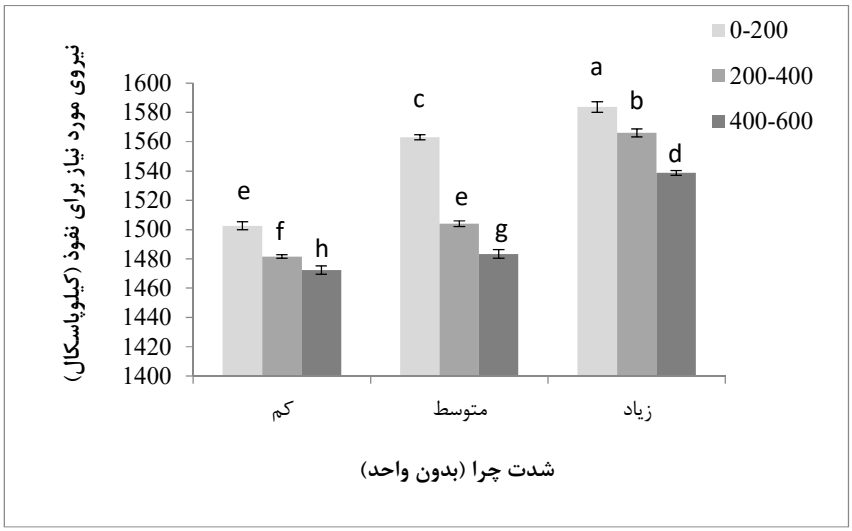
[2]- Testing

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

[ DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.2.7.4 ]



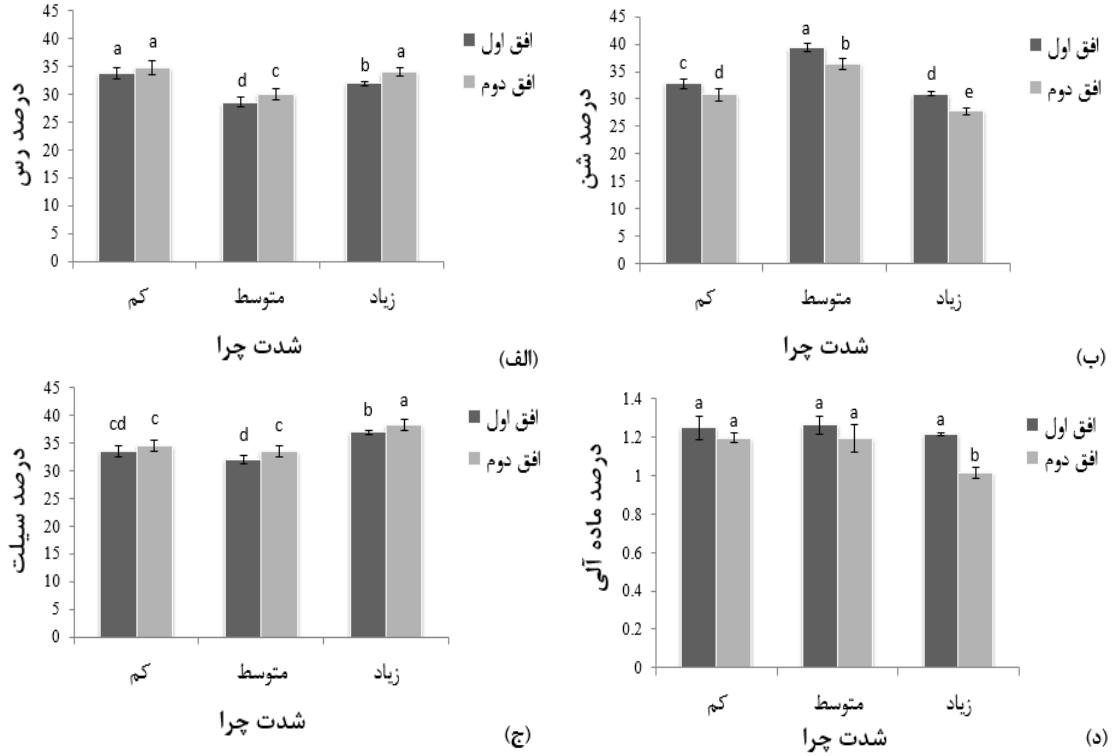

شکل۳: ساختار مدل انفیس برای پیش‌بینی مقاومت به نفوذ درون خاک




شکل ۴: نمودار مقایسه میانگین تراکم در شدت چرایی متفاوت (حروف غیرمشترک، نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در عمق (سانتی متر) و در مناطق مختلف است)

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

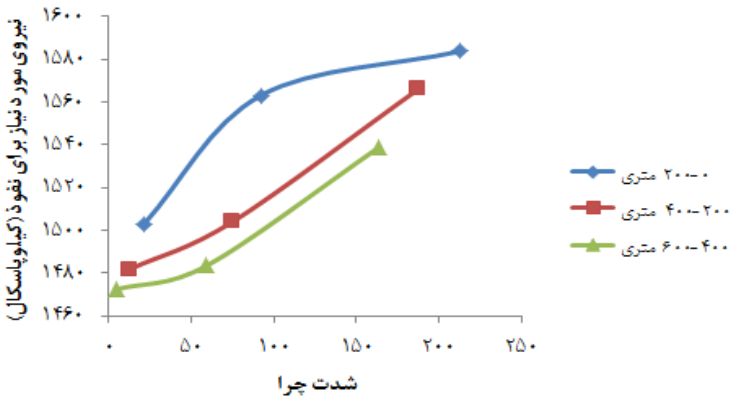
[ DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.2.7.4 ]




**شکل ۵: نمودار مقایسه میانگین خصوصیات خاک در شدت چرایی متفاوت: الف) درصد رس، ب) درصد شن، ج) درصد سیلت و د) درصد ماده آلی (حروف غیرمشترک، نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در عمق (سانتی‌متر) و در مناطق مختلف است)**

**اثر متقابل شدت چرا و فاصله از روستا بر نفوذپذیری خاک**

شکل ۶، اثر متقابل شدت چرا و فاصله از روستای نمونه‌برداری را بر نفوذپذیری خاک نشان می‌دهد.




**شکل ۶: اثر شدت‌های مختلف چرا در فواصل مختلف از روستا بر تراکم خاک ( اعداد محور افقی مربوط به شدت چرا است که به صورت کمی در هر منطقه و در هر پلات و در فواصل مختلف به‌دست آمده است و اعداد مربوط به محور عمودی مربوط به نیروی مورد نیاز برای نفوذ در فواصل و شدت‌های مختلف)**

[ Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-10-14 ]
[ DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.2.7.4 ]

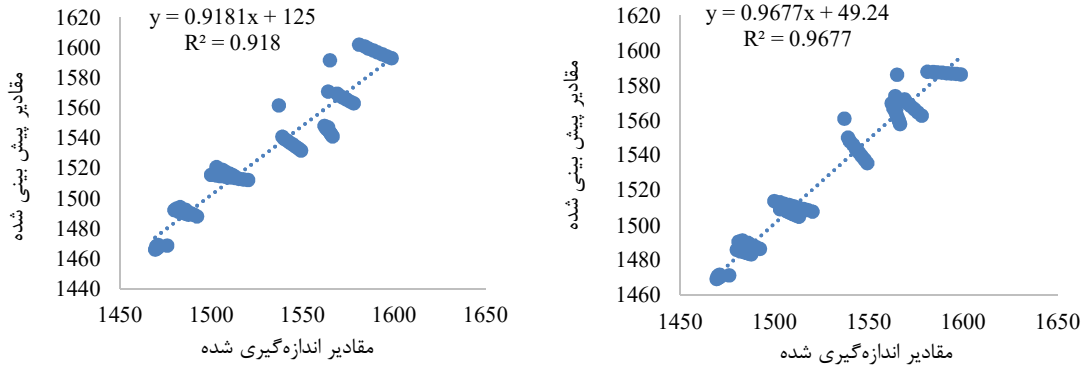
با توجه به شکل (۶) با افزایش شدت چرا، تراکم خاک افزایش یافته، خاک سفت‌تر شده و نفوذپذیری خاک کمتر می‌شود. مدل انفیس و رگرسیونی با دو ورودی شدت چرا (مقدار شدت چرا در هر روستا و در هر پلات به صورت کمی تعیین شد) و فاصله از روستا همچنین خروجی نفوذپذیری خاک در جدول (۱) نشان داده شده‌اند.

**جدول ۱: معادله رگرسیونی برای پیش‌بینی مقاومت به نفوذ خاک**

| مدل به دست آمده | ضریب همبستگی ($R^2$) | ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) |
|---|---|---|
| Y = ۱۵۲۴/۴۶۳ +۰/۴۳۲ GI -۰/۰۹۸ d | ۰/۹۱۸ | ۱۱/۵۱۸ |

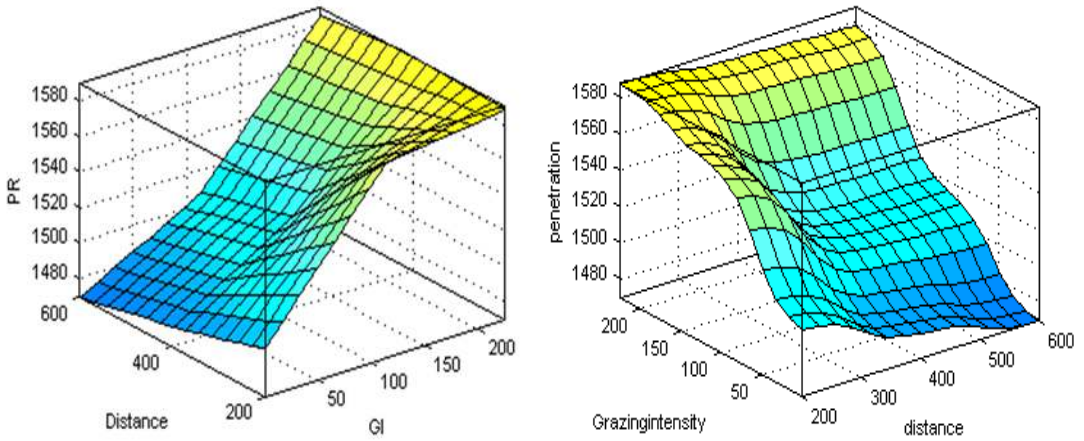
Y: مقاومت به نفوذ خاک و GI: مقدار عددی شدت چرا و d: فاصله از روستا

ارتباط بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده نفوذپذیری با استفاده از مدل رگرسیونی در (شکل ۷) ارائه شده است.




**شکل ۷: ارتباط بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده مقدار فشردگی خاک توسط (الف) رگرسیون و (ب) انفیس**

در شکل (۸) نتایج خروجی مدل انفیس به صورت نمودار سه بعدی آمده است. بیش‌ترین تراکم خاک در فاصله کمتر یعنی۲۰۰ متر و شدت چرای زیاد (بیشتر از ۲۰۰) می‌باشد. کمترین میزان تراکم نیز مربوط به فاصله زیاد یعنی۶۰۰ متر و شدت چرای کم (کمتر از ۵۰) می‌باشد ( با افزایش فاصله از روستا شدت چرا کم و تراکم خاک هم کم شد) (شکل ۸).




**شکل ۸: پیش‌بینی نفوذپذیری خاک (کیلوپاسکال) در ارتباط با فاصله از روستا (متر) و شدت‌های چرایی توسط انفیس**

[ Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-10-14 ]
[ DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.2.7.4 ]

ارتباط بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده میزان نفوذپذیری خاک با استفاده از مدل انفیس در شرایط کاری مختلف در (شکل ۸) ارائه شده است. ضریب همبستگی ($R^2$) مدل انفیس برابر ۰/۹۶۷ و (RMSE) این مدل ۷/۲۲۳ مطابق با جدول (۲) 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.

**جدول ۲: نتایج اعتبارسنجی معادلات انفیس**

| ضریب همبستگی ($R^2$) | ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) |
|---|---|
| ۰/۹۶۷ | ۷/۲۲۳ |

## بحث و نتیجه‌گیری

حفظ پوشش گیاهی مراتع به دلیل نقش مؤثری که در نگهداری ساختمان خاک و همچنین در کاهش هدر رفت خاک دارد امری ضروری است. با توجه به اثر فشردگی خاک و افزایش وزن مخصوص ظاهری در کاهش ذخیره اکسیژن خاک و کندشدن سرعت تجزیه، فشردگی خاک به عنوان یک پارامتر مهم مؤثر از حضور دام در عرصه‌های مرتعی مورد مطالعه قرار گرفت. استفاده از دستگاه نفوذسنج دیجیتال روشی مناسب با در نظر گرفتن هزینه، زمان و قابل حمل بودن می‌باشد که امکان برداشت تعداد بیشتری نمونه نسبت به روش آزمایشگاهی را ممکن می‌سازد.

در این پژوهش یافت گردید که درصد رس و سیلت در لایه سطحی خاک (افق اول) در هر سه منطقه کمتر از لایه زیرین (افق دوم) اما درصد شن در لایه سطحی بیشتر از لایه زیرین بود. در مناطق با شدت بهره‌برداری مختلف توسط دام، درصد خاکدانه‌ها تا حدودی متغیر است که این امر ناشی از وجود ماده آلی و سطح پوشش متفاوت بوده که موارد یادشده از برخورد مستقیم قطرات باران به خاکدانه‌ها جلوگیری می‌نماید. درنتیجه ثبات خاکدانه‌ها در منطقه با شدت چرای کم و یا متوسط بیشتر خواهد بود (۸). نتایج مطالعات موداهیر و تاسکین[1] (۲۰۰۳) نشان داد که چرای سبک، ثبات خاکدانه‌ای بیشتری نسبت به چرای سنگین دارد. بافت از ویژگی‌های متأثر از عوامل مدیریتی از قبیل چرا است و چرای سنگین دام به‌طور مداوم و طولانی‌مدت تأثیر زیادی بر بافت خاک دارد (۹). یافته‌های این تحقیق با نتایج باقریان و همکاران (۱۳۹۷) که درصد سیلت و رس در لایه سطحی را کمتر اما درصد شن لایه سطحی را بیشتر یافتند که متأثر از شدت چرا بوده است، در یک راستا قرار دارد. با توجه به اینکه چرای زود هنگام در منطقه صورت می‌گیرد، لذا افزایش چرای دام همراه با خاک مرطوب فشردگی خاک منطقه را بیشتر تحت تأثیر قرار داده است. کومباسلی و همکاران (۲۰۱۰) و آقاجان‌تبار عالی (۱۳۹۳)، دلیل رس کمتر در مناطق تحت چرا و لگدکوبی را ناشی از سرعت هوادیدگی کمتر و مناسب بودن شرایط فرسایش و جریانات سطحی و انتقال ذرات ریز رس از این مناطق دانسته‌اند این نتایج با یافته‌های غفاری (۱۳۹۶) که عامل اصلی لخت شدن و فشردگی خاک در خاک‌های سیلتی-رسی را چرای شدید دانسته مطابقت دارد. نتایج حاصل نشان داد در منطقه با شدت چرای زیاد، از درصد ماده آلی خاک علی الخصوص افق دوم کاسته شده است. ژی و ویتیگ[2] (۲۰۰۴) و منزس[3] و همکاران (۲۰۰۱) به این نتیجه دست یافتند که افزایش شدت چرا باعث کاهش پوشش گیاهی و لاشبرگ در سطح خاک و درنتیجه کاهش ماده آلی خاک شده که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تراکم خاک در نزدیک کانون بحران بیشتر است و هر چه از روستا دور می‌شویم تراکم خاک کمتر می‌شود. همچنین نفوذپذیری ($p<۰/۰۱$) در سه روستا با شدت‌های چرایی مختلف و در سه فاصله از کانون‌های بحران دارای اختلاف معنی‌داری است. کاهش پوشش گیاهی خام و افزایش چرای دام از سطح مراتع باعث افزایش تراکم و فشردگی ساختمان خاک می‌شود و در نتیجه وزن مخصوص خاک افزایش می‌یابد که با نتایج تحقیق طهماسبی و همکاران (۱۳۸۹) همخوانی دارد. این افزایش تراکم خاک تنها مربوط به شدت چرای دام نمی‌تواند باشد بلکه عوامل محیطی مانند رطوبت و توپوگرافی نیز در نفوذپذیری خاک‌ها دخیل‌اند. در مناطقی با شدت چرایی زیاد به علت چرای مفرط، کاهش پوشش گیاهی چند ساله و لاشبرگ در سطح خاک، خاک از

[1] - Mudahir and Taskin
[2] - Xie and Wittig
[3] - Menezes

[ Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-10-14 ]
[ DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.2.7.4 ]

نفوذپذیری کمتری نسبت به شدت چرای کم برخوردار است که ذرات خاک فرسایش یافته و خلل و فرج خاک را پر می‌کنند، تخلخل کاهش یافته و جرم مخصوص ظاهری افزایش می‌یابد. فشار اعمال شده بر زمین توسط دام‌های اهلی در مراتع نیز باعث فشردگی خاک شده و تخلخل خاک را خصوصاً در خاک‌های مرطوب کاهش می‌دهد. نتایج خروجی دستگاه نفوذسنج نیز گویای صحت این مطالب می‌باشد و اگر این روند حضور دام و دخالت تخریبی انسان در عرصه منابع طبیعی ادامه یابد، رشد گیاه متوقف می‌شود. با افزایش نفوذپذیری خاک، بی کربنات از محیط خارج می‌شود. از آنجا که نفوذپذیری خاک مراتع دارای شدت چرای بالا کمتر است، آب نفوذیافته به داخل خاک کاهش یافته و خروج آهک از خاک کم می‌شود که این افزایش آهک از رشد برخی از گونه‌های خوشخوراک جلوگیری می‌کند. در مقابل، در مراتع با شدت چرای کم، نفوذپذیری خاک به علت پوشش گیاهی بیشتر، بهتر بوده و لذا با افزایش نفوذپذیری و آبشویی، مقدار آهک در منطقه کاهش می‌یابد (۴). ژائو[1] و همکاران (۲۰۰۷)، استیفنز[2] و همکاران (۲۰۰۸) و پی[3] و همکاران (۲۰۰۸) به این نتیجه رسیدند که چرای زیاد و فشرده شدن خاک توسط لگدکوبی دام سبب افزایش وزن مخصوص ظاهری می‌شود که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد. نتایج مدلسازی نشان داد که انفیس در پیش‌بینی فشردگی خاک ($R^2$=۰/۹۶۷ و RMSE=۷/۲۲۳) در مقایسه با مدل رگرسیونی ($R^2$=۰/۹۱۸ و RMSE=۱۱/۵۱۸) دقت بالاتری داشت. این امر حاکی از توانایی مدل انفیس در ایجاد ارتباط بین ورودی و خروجی و نزدیکی آن نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده است. نتایج پژوهش بهرامی و همکاران (۱۳۹۱) که به ارزیابی مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و شبکه عصبی تطبیقی فازی (انفیس) و رگرسیون در پیش‌بینی کربن آلی ذره‌ای در مراتع پرداختند گویای آن است که مدل انفیس بهترین مدل می‌باشد که با نتایج تحقیق حاضر هم راستا است. همچنین نتایج این تحقیق با نتایج پژوهش قربانی و همکاران (۱۳۹۸) در استفاده از انفیس برای پیش‌بینی برخی از خصوصیات خاک تحت شدت‌های مختلف چرا، که نتیجه گرفته شد روش انفیس به عنوان روش پیشنهادی برای پیش‌بینی خصوصیات خاک دارای قابلیت بالایی می‌باشد، همخوانی دارد. مدل‌های مستخرج از هوش مصنوعی مانند شبکه عصبی مصنوعی، منطق فازی و انفیس به‌دلیل در نظر گرفتن روابط غیرخطی موجود میان پارامترهای مورد مطالعه در منابع طبیعی و به دنبال آن افزایش دقت در برآورد پیش‌بینی‌ها می‌توانند جایگزین مناسبی برای مدل‌های مرسوم رگرسیونی باشد.

**References**


1. Aghajantabar, A., M. Mohseni Saravi, M.R. Chaichi & Gh. Heidari, 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 Persian).
2. Ahmadali, V., A. Ghorbani, M. Azimi, A. Asghari, A. Teimorzade & M. Badrzade, 2015. Investigating the flour, Chrotip and change of diversity and uniformity of species under the effect of different grazing distances from the villages in Sabalan Mountain. Taxonomy and Biosystematics, 7(2): 69-84 (In Persian).
3. Akbarlou, M., E. Sheidai Karkaj & M. Ehsani, 2012. The effect of grazing intensities on aerial biomass, underground biomass and specifications of 3 main species of gramine in mountain ranges. Rangeland, 6(3): 186-197 (In Persian).
4. Bahrami, B., G.A. Dianati Tilaki, S.K. Beigi, S. Janizadeh & J. Moetamedi, 2013. Evaluation of Artificial Neural Network (ANN), Adative Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) and Regression Models in Prediction of Particulate Organic Matter-Carbon (POM-C) in the Rangelands Kharabe Sanji of Urmia. Operational Researches about Soil, 1(1): 94-106 (In Persian).
5. Behbood, M., A. Golchin & H. Besharati, 2012. The Effects of Soil Compaction on Tuber Yield and Quality and Uptake of Nutrients by Potato Plant (Solanum tuberosum L.). Journal of water and soil, 26(1): 11-19 (In Persian).


[1] - Zhao
[2] - Steffens
[3] - Pei

[ Downloaded from rangelandsrm.ir on 2026-10-14 ]
[ DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.2.7.4 ]

6. 6- Binkley, D. & C. Giardina, 1998. Why tree Species affect soils? The Wrap and Wood of tree soil interactions. Biogeochemistry, 42: 89-106.
7. Blüthgen, N., C. F. Dormann, D. Prati & V. H. Klaus, 2012. A quantitative index of land-use intensity in grasslands: Integrating mowing, grazing and fertilization. Basic and Applied Ecology, 13(2): 207-220.
8. Chang, C. R., P. F. Lee, M. L. Bai & T. T. Lin, 2004. Predicting the geogeraphical distribution of plant communities in complex terrain–a case study in Fushian Experimental Forest, northeastern Taiwan, Ecography, 27(3): 577-588.
9. Drewry, J.J., J.A, Lowe & R.J. Paton, 2004. Effect of sheep stocking intensity on soil physical properties and dry matter production on a Southland. New Zealand Journal of Agricultural Research, 42: 493-499.
10. Ghorbani, A., J. Sharifi, H. Kavianpour, B. Malekpour & F. Mirzaei, 2008. Investigating the ecological specifications of Festuca ovina L. in southeast of Sabalan mountain. Journal of Forest and Desert, 20(2): 379-396 (In Persian).
11. Ghorbani ZH., K. Sefidi, F. Keyvanbehjo, M. Moameri & A. Soltanitolarod, 2019. Predicting the soil fragmentation caused by grazing using adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS). Rangeland, 13(2): 57-68 (In Persian).
12. Hutchings, M. J. & E. A. John, 2003. Distribution of roots in soil, and root foraging activity. In .de Kroon, H., Visser, E.J.W. (Ends), Ecological Studies, Berlin, 33- 60.
13. Jacovides, C. P., 1997. Reply to comment on Statistical procedures for the evaluation of evapotranspiration models. Agricultural Water Management, 3: 95-97.
14. Khoshnevisan, B., Sh. 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. Journal of Information Processing in Agriculture, 5(1): 14-22 (In Persian).
15. Krueger, E., S. A. Prior, D. Kurtener, H. H. Rogers & G. B. Runion, 2011. Characterizing root istribution with adaptive neuro-fuzzy analysis. International Agrophysics, 25: 93-96.
16. Mudahir, O. & O. Taskin., 2003. Overgrazing effect on rangeland soil properties. International conference on sustainable land use and management. Canakkle, Turkey
17. Menezes, R.S.C., E.T, Elliott, D.W, Valentine & S.A. Williams, 2001. Carbon and nitrogen dynamics in elk winter ranges. Journal of Range management, 54: 400-408
18. Moghimi, S., Y. Parvizi, M.H. Mahdian & M.H. Masihabadi, 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 Persian).
19. Mokhtari Asl, A., M. Mesdaghi & M. R. Sadeghimanesh, 2007. The effective parameters in establishment and spread shed of four range love salt plants in Gherkhlar ranges at east Azarbaijan province. Rangeland, 1(2): 116-128 (In Persian).
20. Moradi, H.R, KH, Mirnia & SH. Laherpour, 2008. Effect of grazing intensity on soil properties in Charandou rangelands, Kordestan province. Iranian Journal of range and desert research, 15(3): 369-378 (In Persian).
21. Naderlou, L., R. Alimardani, M. Omid, F. Sarmadian, P. Javadikia, M. Yaser Torabi & F. Alimardani, 2012. Application of ANFIS to predict crop yield based on different energy inputs. Measurement, 45(3): 1406-1413 (In Persian).
22. Nath, A. & S. De Dalal., 2004. The role of plasticity index in predicting compression behaviour of clays, Journal of Geotechnical Engineering., EJGE, Ppr0466.
23. Park, J. H. & T. koumoto, 2004. New compression index equation. ASCE Journal of Geotechnical and Geo environmental Engineering, 130(2): 223-226
24. Pei, S., H. Fu & C. Wan., 2008. Changes in soil properties and vegetation following exclosure and grazing in degraded Alxa desert steppe of Inner Mongolia, China. Journal of Agriculture, Ecosystems and Environment, 12(4):33-39.
25. Rao, K., P. Reddy & Ch. Rani, 2006. Appropriate Parameters for prediction of compression index, Electronical Journal of Geotechnical Engineering., EJGE, P pr0628.
26. Sadeghi nia, M, 1999. Investigating the Adelaide and technic of cover for predicting the shrub production in Yazd province ranges. Ms.C thesis of Tarbiat Modarres. P91.
27. Sajikumar, N. & B. S. Thandaveswara., 1999. A nonlinear rainfall–runoff model using artificial neural networks. Journal of Hydrology, 21(6): 32-55.
28. Souri, L., D. Akhzari & Sh. Omidvari, 2016. Investigating the effect of on some of the physic-chemical soil characteristics of Ranges (case study: zaghe part ranges in lorestan province). Journal of range management, 3(1): 19-32.
29. Steffens, M., A. Kolbi & K. Totsch, 2008. Grazing effects on soil chemical and physical properties in a semiarid steppe of Inner Mongolia (P.R. China). Geoderma, 143: 63-72.


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

[ DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.2.7.4 ]

30. Tahmasebi, P., A. Ebrahimi & M. Faal, 2011. Investigating the regression models in predicting the production of range plants. Rangeland, 5(2): 137-146 (In Persian).
31. Xie, Y. & R, Wittig., 2004. The impact of grazing intensity on soil characteristics of Stipa grandis and Stipa bungeana steppe in northern China (autonomous region of Ningxia). Acta Oecologica, 25(3): 197-204.
32. Zare Kia, S., H. Arzani, M. Jafari & N. Zare, 2015. The effect of grazing utilization on the soil and plant cover properties in Saveh Stepped rangelands. Journal of Iranian ranges and desert research, 22(4): 745-756.
33. Zhao, H., J. Cui & R. Zhou, 2007. Soil properties, crop productivity and irrigation effects on five croplands of Inner Mongolia. Journal of Soil and Tillage Research, 93(1): 346-355.

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

[ DOR: 20.1001.1.20080891.1400.15.2.7.4 ]