



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources



## Assessment and modeling of soil organic carbon density using ground data and remote sensing in two types of land use in the Fandoqloo of Ardabil province

Mehran Behtari<sup>\*1</sup>, Mehdi Naderi Khorasgani<sup>2</sup>, Ahmad Karimi<sup>3</sup>, Hussien Shirani<sup>4</sup>

1. Corresponding Author, Ph.D. Student of Soil Resource Management, University of Shahr-e-Kord, Shahr-e-Kord, Iran.  
E-mail: [mehran.behtari@gmail.com](mailto:mehran.behtari@gmail.com)
2. Associate Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, University of Shahr-e-Kord, Shahr-e-Kord, Iran.  
E-mail: [khnaderi@yahoo.com](mailto:khnaderi@yahoo.com)
3. Assistant Prof., Dept. of Soil Science and Engineering, University of Shahr-e-Kord, Shahr-e-Kord, Iran.  
E-mail: [karimiahmad1342@sku.ac.ir](mailto:karimiahmad1342@sku.ac.ir)
4. Professor, Dept. of Soil Science and Engineering, University of Vali-e-Asr of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran.  
E-mail: [shirani@vru.ac.ir](mailto:shirani@vru.ac.ir)

### Article Info

#### Article type:

Full Length Research Paper

#### Article history:

Received: 05.13.2022

Revised: 09.24.2022

Accepted: 10.02.2022

#### Keywords:

Artificial neural network,  
Multivariate linear  
regression model,  
Sensitivity analysis

### ABSTRACT

**Background and Objectives:** Soil organic carbon is very important in increasing the production of agricultural products and reducing soil erosion and greenhouse gas emissions. A better understanding of the amount and storage of soil organic carbon is essential to the use of soil and maintaining its productivity. The extended pastures of Fandoqloo region in Ardabil province potentially could support and sequester considerable amounts of carbon but they are subjected to land-use change, high population and tourism. Such tensions led to land degradation and low carbon sequestration in some parts. This study aimed to find effective natural variables on soil carbon density and sequestration. Such variables could be applied for remediation and resilience of degraded pastures and croplands in Fandoghloo region.

**Materials and Methods:** By application of Latin Hypercube techniques and spatial variables like soil, land use and geological maps the location of sample points was determined. For each land use unit (pasture or cropland) 70 composite surface soil samples (in total 140 samples) were collected from zero to 15 cm deep. After pretreatments of soil samples, soil's physical and chemical properties were measured according to standard protocols. A digital elevation model of the study area was formed using digital isolines of topographic maps and primary and secondary derivatives were constructed. Landsat 8 bands were extracted from the Geology Department site of the USA and Normalized difference vegetation index and thermal map of the study area were calculated. Multiple linear regression and artificial neural network models were applied and soil data, digital elevation model and its derivatives, normalized difference vegetation index and land surface temperature map have entered the models as independent variables for the prediction of soil organic carbon density. To evaluate the results of the models, the coefficients of determination and root mean square error was used.

**Results:** Application of multiple linear regression model indicated that total soil nitrogen, normalized difference vegetation index and mean weight diameter of aggregates justified 53% of soil organic carbon density

---

in the pasture while 46% of soil organic carbon density in croplands land use was explained by total soil nitrogen and plane curvature. The results of the paired t-test showed a significant difference (at  $P < 0.01$ ) between soil organic carbon density of the pasture and cropland land use. An artificial neural network with an arrangement of 1-10-24 and tan-sigmoid transfer function in the hidden layer justified 71% and 82% of the soil organic carbon density in the pasture and croplands, respectively. Root mean square error of multiple linear regression models for predicting soil organic carbon density in the pasture and croplands were 1.07 and 1.04, respectively but of artificial neural network model was decreased to 0.85 and 0.58 for pasture and cropland, respectively. Sensitivity analysis revealed that the artificial neural network model was severely sensed to digital elevation model and soil moisture content at wilting point.

**Conclusion:** The result of this study indicated the significance of natural vegetation cover and the mean weight diameter of soil aggregates for carbon sequestration in the pastures. Artificial neural networks performed to simulate changes in soil organic carbon density showed that these networks are successful in tracking an important part of soil organic carbon density changes at pasture and cropland land uses. In other words, artificial neural networks were able to identify the effects of these variables on soil organic carbon density using tracing and identifying the effects and interactions between an independent variable series with organic carbon density status. The results showed that transmission functions can be used by the data of primary and secondary topographic parameters for estimating soil organic carbon density in the region.

---

Cite this article: Behtari, Mehran, Naderi Khorasgani, Mehdi, Karimi, Ahmad, Shirani, Hussien. 2023. Assessment and modeling of soil organic carbon density using ground data and remote sensing in two types of land use in the Fandoqloo of Ardabil province. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 12 (4), 1-27.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/EJSMS.2022.20214.2060

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

---



## ارزیابی و مدل سازی تراکم کربن آلی خاک با استفاده از داده های زمینی و سنجش از دور در دو نوع کاربری در منطقه فندوقلو استان اردبیل

مهران بهتری\*<sup>۱</sup>، مهدی نادری خوراسگانی<sup>۲</sup>، احمد کریمی<sup>۳</sup>، حسین شیرانی<sup>۴</sup>

۱. نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری مدیریت منابع خاک دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: [mehran.behtari@gmail.com](mailto:mehran.behtari@gmail.com)
۲. دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: [khnaderi@yahoo.com](mailto:khnaderi@yahoo.com)
۳. استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: [karimiahmad1342@sku.ac.ir](mailto:karimiahmad1342@sku.ac.ir)
۴. استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه ولی عصر رفسنجان، رفسنجان، ایران. رایانامه: [shirani@vru.ac.ir](mailto:shirani@vru.ac.ir)

اطلاعات مقاله	چکیده
<b>نوع مقاله:</b> مقاله کامل علمی- پژوهشی	<b>سابقه و هدف:</b> کربن آلی خاک نقش بسیار مهمی در افزایش تولید محصولات کشاورزی، کاهش فرسایش خاک و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد. درک بهتر از مقدار و ذخیره کربن آلی خاک برای استفاده از خاک و حفظ بهره‌وری آن مؤثر و ضروری می‌باشد. مراتع گسترده منطقه فندوقلو در استان اردبیل به‌طور بالقوه می‌توانند مقادیر قابل توجهی از کربن را حفظ و ترسیب کند اما به دلیل افزایش جمعیت در معرض تغییر کاربری اراضی قرار دارند. چنین تنش‌هایی منجر به تخریب زمین و کاهش ترسیب کربن در برخی قسمت‌ها خواهد شد. بنابراین هدف این مطالعه شناسایی متغیرهای طبیعی مؤثر در ترسیب و تراکم کربن آلی خاک انجام شده است که می‌توان از متغیرهای شناسایی شده برای اصلاح و کاهش تخریب مراتع و اراضی زراعی در منطقه فندوقلو استفاده کرد.
<b>تاریخ دریافت:</b> ۱۴۰۱/۰۲/۲۳ <b>تاریخ ویرایش:</b> ۱۴۰۱/۰۷/۰۲ <b>تاریخ پذیرش:</b> ۱۴۰۱/۰۷/۱۰	
<b>واژه‌های کلیدی:</b> تحلیل حساسیت، شبکه عصبی مصنوعی، مدل رگرسیون چندمتغیره خطی	<b>مواد و روش‌ها:</b> با استفاده از تکنیک آبر مکعب لاتین و متغیرهای مکانی مانند نقشه‌های خاک، کاربری اراضی و زمین‌شناسی، محل نقاط نمونه‌برداری تعیین شد. برای هر واحد کاربری (مرتع یا زراعی) ۷۰ نمونه خاک سطحی مرکب (در کل ۱۴۰ نمونه) از عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متری جمع‌آوری شد. پس از آماده‌سازی نمونه‌های خاک، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها با توجه به روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد. مدل رقومی ارتفاعی از منطقه مورد مطالعه با استفاده از خطوط هم‌تراز نقشه توپوگرافی تشکیل و مشتقات اولیه و ثانویه ساخته شد. باندهای لندست هشت از درگاه زمین‌شناسی ایالات متحده استخراج و شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی و نقشه حرارتی منطقه مورد مطالعه محاسبه شد. از مدل‌های رگرسیون خطی چندمتغیره و مدل شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از داده‌های خاک، مدل رقومی ارتفاعی و

مشقات آن، شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی و نقشه حرارتی به عنوان متغیرهای مستقل برای پیش‌بینی تراکم کربن آلی خاک استفاده شد. برای ارزیابی نتایج مدل‌ها، از ضریب تبیین و جذر میانگین مربعات خطا استفاده شد.

**یافته‌ها:** استفاده از مدل رگرسیون خطی چندمتغیره نشان داد که نیتروژن کل خاک، شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی و میانگین وزنی قطر خاکدانه، ۵۳ درصد تراکم کربن آلی خاک را در مراتع توجیه نمود در حالی که ۴۶ درصد از تراکم کربن آلی خاک در کاربری زراعی توسط نیتروژن کل خاک و انحنای سطح توجیه گردید. نتایج آزمون تی جفتی، تفاوت معنی‌داری ( $P < 0.01$ ) بین تراکم کربن آلی خاک در کاربری مرتع و زراعی نشان داد. شبکه عصبی مصنوعی با آرایش ۱-۱۰-۲۴ و تابع انتقال تانژانت سیگموئیدی در لایه پنهان به ترتیب ۷۱ درصد و ۸۲ درصد از تراکم کربن آلی خاک را در کاربری مرتع و زراعی توجیه نمود. جذر میانگین مربعات خطا مدل‌های رگرسیون خطی چندمتغیره برای پیش‌بینی تراکم کربن آلی خاک در کاربری مرتع و زراعی به ترتیب ۱/۰۷ و ۱/۰۴ بود، اما همین مقادیر در مدل شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب برای کاربری مرتع و زراعی به ۰/۸۵ و ۰/۵۸ کاهش یافت. تحلیل حساسیت نشان داد که مدل شبکه عصبی مصنوعی به شدت به مدل رقومی ارتفاعی و رطوبت خاک در نقطه پژمردگی حساس هستند.

**نتیجه‌گیری:** نتیجه این مطالعه بیانگر معنی‌داری اثر پوشش گیاهی و میانگین وزنی قطر خاکدانه روی ترسیب کربن در کاربری مرتع بود. نتایج شبکه‌های عصبی مصنوعی که برای شبیه‌سازی تغییرات تراکم کربن آلی خاک مورد استفاده قرار گرفت، نشان دادند که این شبکه‌ها می‌توانند با شناسایی اثرات این متغیرها در ردیابی بخش مهمی از تغییرات تراکم کربن آلی خاک در کاربری‌های مرتع و زراعی موفق عمل کنند. نتایج هم‌چنین نشان داد که توابع انتقالی به‌دست آمده توسط پارامترهای توپوگرافیکی اولیه و ثانویه برای تخمین تراکم کربن آلی خاک می‌تواند در منطقه، مورد استفاده قرار گیرد.

**استناد:** بهتری، مهران، نادری خوراسگانی، مهدی، کریمی، احمد، شیرانی، حسین (۱۴۰۱). ارزیابی و مدل‌سازی تراکم کربن آلی خاک با استفاده از داده‌های زمینی و سنجش از دور در دو نوع کاربری در منطقه فندوقلو استان اردبیل. نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار، ۱۲ (۴)، ۱-۲۷.

DOI: 10.22069/EJSMS.2022.20214.2060



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

## مقدمه

کربن آلی خاک یکی از خصوصیات مهم خاک است که نقش مهمی در کارکرد زیست‌بوم‌های طبیعی و سامانه‌های کشاورزی ایفا می‌کند (۱). کربن آلی خاک به‌عنوان مخلوطی ناهمگن، شامل طیف گسترده‌ای از ماده آلی، از جمله مولکول‌های ساده (اسیدهای آمینه و قندهای مونومر)، مولکول‌های پلیمری (سلولز، پروتئین و لیگنین) و قطعات باقی‌مانده گیاهی و میکروبی هستند (۲). در مقابل، ماده آلی معدنی شده دارای ترکیبی از ماده آلی کاملاً تجزیه شده است که دارای اندازه‌ای کوچک‌تر از ۵۰ میکرون و متصل به ذرات خاک می‌باشند. ماده آلی در اثر معدنی شدن مقدار قابل‌توجهی از عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف را در خاک آزاد نموده و به تغذیه متعادل گیاه کمک زیادی می‌کند (۳). اخیراً، توجه به تراکم یا چگالی کربن آلی خاک<sup>۱</sup> به‌دلیل نقش حیاتی آن در چرخه جهانی کربن و تأثیر آن بر میزان گازهای گلخانه‌ای جو متمرکز شده است (۴). پارامتر تراکم کربن آلی خاک برای برآورد ذخیره‌سازی کربن آلی خاک استفاده می‌شود و دارای ویژگی اولیه مشابه با کربن آلی خاک می‌باشد (۵). تراکم کربن آلی خاک، میزان کربن کل خاک در یک عمق معین است. کربن کل خاک از حاصل‌ضرب، درصد کربن آلی خاک در وزن خاک به‌دست می‌آید (۶). مقدار کربن آلی در مقیاس خاک جهانی حدود ۱۵۰۰ - ۱۴۰۰ پیکوگرم<sup>۲</sup> کربن در ۱۰۰ سانتی‌متر لایه خاک تخمین زده شده است (۷، ۸، ۹) که در حدود دو برابر مقدار کربن در جو و سه برابر مقدار کربن ذخیره شده در گیاهان است (۱۰، ۱۱).

طبق پژوهش گو و گیفورد (۲۰۰۲) در حدود ۲۳۴۴ گیگاتن کربن آلی (هر گیگاتن کربن برابر با

۱۰<sup>۱۵</sup> گرم کربن است) در سه متر بالایی خاک ذخیره شده است که حدود ۲۶ درصد آن در ۲۰ سانتی‌متر بالایی خاک و ۵۴ درصد در ۱۰۰ سانتی‌متر بالایی خاک است (۱۲). مشاهده شده است که با کاهش میانگین دمای سالانه هوا، مقدار کربن خاک به‌طور کلی افزایش می‌یابد (۹). در پژوهش‌های انجام شده در این زمینه، همبستگی منفی بین توزیع مکانی میزان کربن آلی خاک و دمای سطح زمین گزارش شده است (۱۳، ۱۴). محتوای کربن آلی خاک در مناطق گوناگون متفاوت است و در مقیاس‌های مکانی مختلف، عوامل محیطی متعددی هم‌چون توپوگرافی (۱۵)، آب و هوا (۴)، نوع پوشش و کاربری اراضی (۱۶) و هم‌چنین بافت خاک (۱۷) بر میزان آن نقش دارد.

در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های نوین، کم‌هزینه و سریع مانند فناوری سنسجش از دور به‌علت توانایی در شناسایی پدیده‌ها از جمله آلودگی‌های زیست‌محیطی، ارزیابی روند تغییرات تالاب‌ها، هواشناسی و کیفیت هوا، کیفیت آب و تجزیه و تحلیل حرارتی شهرها، همواره مورد توجه بوده است (۱۸). به‌علاوه استفاده از روش‌های غیرمستقیم تخمین کربن آلی خاک از جمله شاخص‌های پوشش گیاهی و خصوصیات توپوگرافی اطلاعاتی در مورد میزان و پراکنش پوشش گیاهی، ارتفاع، شیب و جهت شیب در اختیار کاربر قرار می‌دهند (۱۹).

مدل، شکل ساده‌شده‌ای از واقعیت است که با استفاده از آن می‌توان رفتار یک پدیده را پیش‌بینی کرد. در این راستا مدل‌های رگرسیونی خطی چندمتغیره<sup>۳</sup> و شبکه‌های عصبی مصنوعی<sup>۴</sup> دو روش مدل‌سازی مورد توجه در سال‌های اخیر هستند (۲۰). رگرسیون‌های خطی از جمله روش‌های ساده مدل‌سازی هستند که از آن‌ها می‌توان برای پیش‌بینی

3- Multi Liner Regression, MLR  
4- Artificial Neural Networks, ANN

1- Soil Organic Carbon Density, SOCD  
2- Picogram

تأثیر می‌گذارد؛ به طوری که جهت‌های شیب شمالی و شمال‌غربی دارای بالاترین مقدار کربن آلی در خاک سطحی بودند (۱۵).

نتایج مربوط به مطالعه تغییر کاربری اراضی در منطقه فندوقلو در سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۸۶ و ۱۳۹۶ نشان داده است که از کل مساحت کاربری‌های طبقه‌بندی شده در سال ۱۳۷۹، مساحتی معادل با ۹۹۹۰/۰۶ هکتار به اراضی جنگلی تعلق داشته است که در مقایسه با سال ۱۳۸۶، این میزان به مقدار ۹۵۳۱/۷۴ هکتار کاهش یافته است. این در حالی است که وسعت مناطق جنگلی از سال ۱۳۸۶ تا سال ۱۳۹۶ بیش از ۷۷۰ هکتار کاهش یافته است. تغییر کاربری در مناطق غیرجنگلی نیز از سال ۱۳۷۹ تا سال ۱۳۹۶ نیز بیش از ۱۲۰۰ هکتار افزایش یافته است (۲۵). از این رو پژوهش حاضر با اهداف (۱) شناسایی عوامل مؤثر بر تراکم کربن در خاک سطحی مراتع به کمک داده‌های مکانی، رگرسیون خطی و شبکه عصبی مصنوعی و (۲) تعیین پتانسیل تراکم کربن در مراتعی که تغییر کاربری در آن‌ها رخ داده و به اراضی کشاورزی تبدیل شده‌اند، اجرا گردید.

### مواد و روش‌ها

**منطقه مطالعاتی:** منطقه فندوقلو وسعتی حدود ۱۷۶/۸۷ کیلومتر مربع دارد و در ۲۵ کیلومتری شمال شرقی شهر اردبیل و نه کیلومتری جنوب شرقی شهر نمین بین عرض‌های جغرافیایی  $38^{\circ}22'10''$  و  $38^{\circ}24'09''$  شمالی و طول‌های جغرافیایی  $48^{\circ}31'30''$  و  $48^{\circ}34'03''$  شرقی واقع شده است (شکل ۱). میانگین دمای ده ساله (۱۳۹۰-۱۳۹۹) منطقه براساس گزارش سازمان هواشناسی کشور (ایستگاه سینوپتیک نمین) ۱۱/۱ درجه سلسیوس با میانگین دمای حداقل ۶/۱ و میانگین دمای حداکثر ۱۵/۵ درجه سلسیوس است. میانگین بارش سالانه در همین بازه زمانی (۱۳۹۰-۱۳۹۹)،

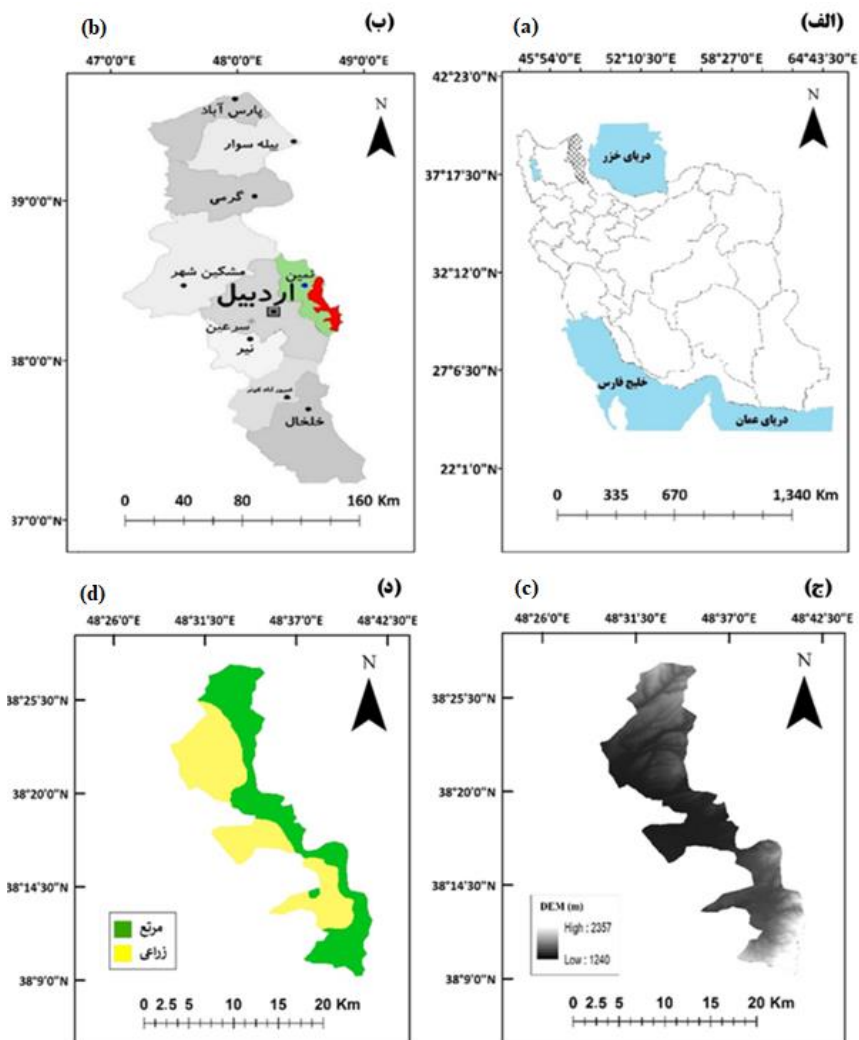
یک یا چند متغیر پاسخ (وابسته) از مجموعه‌ای از مقادیر متغیرهای پیش‌بینی‌کننده (مستقل) استفاده نمود (۲۱). شبکه‌های عصبی مصنوعی نیز به دلیل قدرت انعطاف‌پذیری بالا، قادر به تعمیم دانش نهفته در ساختار مدل هستند (۲۰). شبکه‌های عصبی مصنوعی دارای ویژگی‌هایی مانند قابلیت یادگیری<sup>۱</sup>، قابلیت تعمیم<sup>۲</sup>، پردازش موازی<sup>۳</sup> و مقاوم بودن<sup>۴</sup> می‌باشند که کاربرد آن‌ها را ممتاز می‌نماید (۲۲).

مطالعات زیاد و گوناگونی در داخل و خارج از کشور در مورد عوامل مؤثر بر میزان تراکم کربن آلی خاک انجام شده است. فلاحت‌کار و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی روابط بین تراکم کربن آلی خاک و ویژگی‌های اولیه توپوگرافی در سه نوع کاربری در منطقه دیلمان استان گیلان پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که در اراضی جنگلی، شیب، نقش مؤثری بر میزان تراکم کربن آلی خاک دارد؛ در صورتی که در اراضی کشاورزی و مراتع، شیب بی‌اثر است (۲۳). گوو و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از مدل‌های رگرسیونی و شبکه عصبی مصنوعی همراه با شاخص‌های توپوگرافی، توزیع کربن آلی خاک را پیش‌بینی نمودند و گزارش کردند که مدل شبکه عصبی مصنوعی با ضریب تبیین<sup>۵</sup> ۰/۸۷ و جذر میانگین مربعات خطا<sup>۶</sup> ۱/۰۹ نتایج بهتری نسبت به مدل رگرسیون خطی با ضریب تبیین ۰/۸۱ و جذر میانگین مربعات خطا ۱/۳۲ دارد (۲۴). یاکشیچ و همکاران (۲۰۲۱) تأثیر درجه و جهت شیب بر میزان کربن آلی خاک در چهار نوع کاربری در صربستان را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که جهت شیب به‌طور قابل‌توجهی بر توزیع مکانی کربن آلی خاک در کاربری‌های جنگل و باغ

- 1- Training
- 2- Generalized
- 3- Parallel Processing
- 4- Robustness
- 5- Coefficient of Determination, R2
- 6- Root-Mean-Square Error, RMSE

بارندگی سالانه در منطقه به دلیل نفوذ جریانات خزری که باعث مه‌بارش (باران مخفی) می‌شود، بیش‌تر از این مقدار است.

۲۵۳/۲۴ میلی‌متر با بیشینه بارش ۳۴۲/۵۸ میلی‌متر و کمینه بارش ۱۱۵/۵۱ میلی‌متر است. این منطقه شدیداً تحت‌تأثیر اقلیم خزری قرار دارد و مقدار واقعی

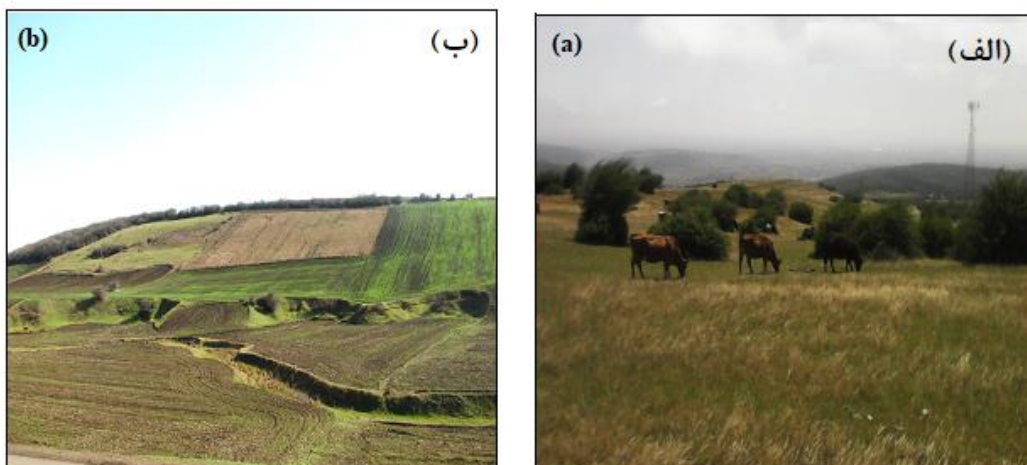


شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی فندوقلو در کشور (الف)، استان اردبیل و شهرستان نمین، مدل رقومی ارتفاع و (د) نقشه کاربری اراضی منطقه.

Figure 1. The location of the region of studies in (a) the country, (b) Ardabil province and Namin city (c) DEM, and (d) land use map area.

(شکل ۲- الف). در بخش زراعی نیز اکثر اراضی، تحت کشت دیم بوده و نوع محصولات کشاورزی به‌ترتیب وسعت مساحت شامل گندم دیم، جو، نباتات علوفه‌ای، یونجه و اسپرس است (شکل ۲- ب).

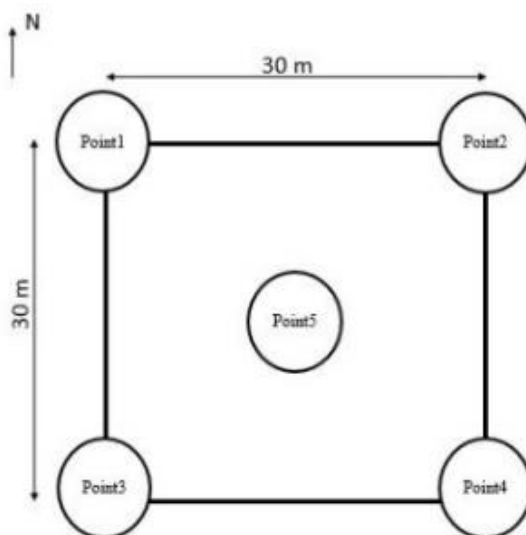
مساحت مراتع منطقه ۸۸ کیلومتر مربع و شامل ۱۹۱ گونه متعلق به ۱۴۵ جنس و ۴۷ خانواده از گیاهان آوندی هستند که از میان آن‌ها دولپه‌ای‌ها با ۱۵۸ گونه و ۳۸ خانواده غنی‌ترین گروه‌ها هستند



شکل ۲- نمایی از (الف) کاربری‌های مرتع با پوشش گیاهی کامل و (ب) اراضی زراعی در ابتدای فصل کاشت در منطقه فندوقلو.  
**Figure 2. A view of (a) pasture land use with full vegetation and (b) cropland land use at the beginning of the planting season in the region of Fandoqloo.**

سطحی (صفر تا ۱۵ سانتی‌متر) پس از کنار زدن لاشبرگ‌های سطحی خاک برداشته شد. نمونه‌های خاک از پنج نقطه با آرایش مربعی به فاصله ۳۰ متر از همدیگر به یک مقدار با بیلچه جمع‌آوری و مخلوط شد (شکل ۳).

نمونه‌برداری و تجزیه خاک: مختصات مکانی نقاط نمونه‌برداری با استفاده از نقشه‌های خاک، کاربری اراضی و زمین‌شناسی منطقه و روش نمونه‌برداری آبرمکعب لاتین<sup>۱</sup> مشخص شد (۲۷). از هر واحد کاربری (مرتع و زراعی)، ۷۰ نمونه مرکب از خاک



شکل ۳- نحوه نمونه‌برداری مرکب از پنج نقطه.  
**Figure 3. Method of combined sampling from five point.**



میلی‌متری عبور داده شد (۲۹). چگالی ظاهری خاک ( $\rho_b$ ) با وزن کردن کلوخه، پوشاندن سطح آن با ماده دافع آب (پارافین) و وزن نمودن دوباره تعیین شد. برای به‌دست آوردن حجم کلوخه از قانون ارشمیدس استفاده گردید (۳۰).

نمونه‌های خاک برداشت شده به آزمایشگاه منتقل و هواخشک و کوبیده شد. بخشی از نمونه‌های خاک از الک چهار میلی‌متری برای تعیین میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (۲۸) و بخش دیگر نمونه‌ها برای آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی (جدول ۱) از الک دو

جدول ۱- روش‌های اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک.

Table 1. Measurement methods of physical and chemical properties of soil samples.

منبع Reference	روش اندازه‌گیری Methods	ویژگی فیزیکی و شیمیایی خاک The physical and chemical characteristics of the soil	منبع Reference	روش اندازه‌گیری Methods	ویژگی فیزیکی و شیمیایی خاک The physical and chemical characteristics of the soil
(34)	محفظه فشاری Pressure plate	ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم FC and PWP	(31)	هیدرومتری Hydrometer	بافت خاک Soil texture
(35)	والکلی و بلک Walkley-Black	کربن آلی Organic carbon	(32)	هیدرومتری Hydrometer	اجزای شن (۰/۰۵۳-۲ mm) Sand fractions 0.053-2 mm
(36)	کج‌لدال Kjeldahl	نیترژن کل Total Nitrogen	(33)	کلوخه Clod	چگالی ظاهری Bulk density
(37)	تیتراسیون و روش خنثی‌سازی Titration and neutral procedure	کربنات کلسیم معادل Calcium carbonate equivalent	(28)	الک تر Wet sieve	میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها Mean Weight Diameter
(29)	گل اشباع Saturation paste	واکنش خاک Soil pH	(33)	الک دو و هشت میلی‌متر Sieve 2 and 8mm	درصد سنگریزه Gravel

سانتی‌متر مکعب،  $LD_i$  عمق خاک بر حسب سانتی‌متر و  $m$  تعداد لایه‌های خاک ( $m=1$ ) است.

تشکیل بانک داده‌های زمینی: برای تشکیل بانک داده‌های زمینی منطقه فندوقلو، نقشه‌های مربوطه و گزارش‌های آنها با مشخصات زیر از منابع مختلف جمع‌آوری شدند:

شیپ‌فایل<sup>۱</sup> نقشه زمین‌شناسی منطقه فندوقلو در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ از سایت سازمان نقشه‌برداری

تراکم کربن آلی خاک در کاربری‌ها: به‌منظور محاسبه تراکم کربن آلی خاک در دو کاربری مرتع و زراعی از رابطه ۱ استفاده گردید (۳۸):

$$SOCD_{(0-15\text{ cm})} = \sum_i^m [C_i] \times [\rho_{bi}] \times [LD_i] \quad (1)$$

که در آن،  $SOCD_{0-15\text{ cm}}$  مقدار تراکم کربن آلی خاک بر حسب تن بر هکتار برای عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متری خاک،  $C_i$  کربن آلی بر حسب گرم بر کیلوگرم،  $\rho_{bi}$  چگالی ظاهری خاک بر حسب گرم بر

1- Shape file

تابندگی<sup>۳</sup> و به دنبال آن به دمای تابندگی تبدیل شدند (رابطه‌های ۳ و ۴) (۴۵).

$$LY = (ML \times Q_{cal}) + (AL) \quad (3)$$

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{\lambda} + 1\right)} \quad (4)$$

که در آن، LY تابندگی طیفی (W.m<sup>-2</sup>.μm)، ML ضریب تبدیل شماره عددی به تابندگی، AL عرض از مبدأ تبدیل، Q<sub>cal</sub> نشان‌دهنده اعداد پیکسل باند ۱۰، T دمای تابندگی سطح زمین (کلوین)، K<sub>1</sub> و K<sub>2</sub> ثابت حرارتی برای هر باند برحسب درجه کلوین هستند. در سنجنده حرارتی لندست هشت برای باند ۱۰ مقادیر K<sub>1</sub> و K<sub>2</sub> به ترتیب برابر با ۷۷۴/۸۹ و ۱۳۲۱/۰۸ است. λ طول موج مرکزی هر باند (میکرومتر) است. پارامترهای به کار رفته در رابطه‌های ۳ و ۴ در فایل فراداده تصاویر لندست هشت وجود دارد. درجه حرارت به دست آمده بر حسب کلوین است (۴۵). در این پژوهش از باند ۱۰ ماهواره لندست هشت برای تخمین دمای سطح زمین استفاده شد (۴۶)

شیپ‌فایل نقشه توپوگرافی منطقه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰، با فاصله خطوط منحنی میزان پنج متر و سامانه تصویر مرکاتور معکوس بین‌المللی<sup>۴</sup> بر مبنای دیتوم WGS-1984 تهیه گردید (۴۷). با استفاده از نقشه توپوگرافی، مدل رقومی ارتفاع<sup>۵</sup> منطقه و مشتقات آن (جدول ۲) تهیه شدند. لایه مدل رقومی ارتفاعی از روی لایه شبکه نامنظم مثلثی<sup>۶</sup> منطقه ساخته شد. شاخص‌هایی هم‌چون جهت شیب، درجه شیب و انحنای سطح مستقیماً از مدل رقومی ارتفاع قابل محاسبه است و شاخص‌های ثانویه هم‌چون شاخص خیزی و شاخص انتقال رسوب از ترکیب شاخص‌های اولیه به دست آمدند (۴۸).

کشور خریداری و استخراج گردید (۳۹). هم‌چنین شیپ‌فایل نقشه خاک‌شناسی نیمه تفضیلی و شیپ‌فایل نقشه کاربری اراضی منطقه فندوقلو با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ از سایت پایگاه ملی اطلاعات خاک ایران خریداری و مورد استفاده قرار گرفت (۴۰).

تصاویر ماهواره‌ای لندست هشت برداشت شده در تاریخ ۱۷ مرداد ۱۳۹۹ (هفت آگوست ۲۰۲۰) در ۱۱ باند از درگاه سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده گرفته شدند (۴۱). لندست هشت با قدرت تفکیک مکانی متوسط از ۱۵ متر تا ۱۰۰ متر از سطح زمین، در محدوده نور مرئی، مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز موج کوتاه و مادون قرمز حرارتی یکی از پر قدرت‌ترین ماهواره‌ها در زمینه برداشت اطلاعات از منابع زمینی است (۴۲).

استفاده از داده‌های ماهواره‌ای امکان مطالعه مقدار و پراکنش پوشش گیاهی را فراهم می‌سازد. مهم‌ترین شاخص مورد استفاده در تعیین پوشش گیاهی، شاخص گیاهی تفاضل نرمال شده<sup>۱</sup> است (رابطه ۲). شاخص گیاهی تفاضل نرمال شده از مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر در برآورد توزیع کربن در کاربری‌های مختلف است (۴۳، ۴۴). اساس کار این شاخص بر تفاوت بازتاب در طول موج‌های قرمز و مادون قرمز نزدیک برای خاک و گیاه است (۴۲).

$$NDVI = \frac{(NIR-R)}{(NIR+R)} \quad (2)$$

که در آن، R و NIR به ترتیب بازتاب خاک در طول موج‌های قرمز و مادون قرمز نزدیک هستند.

دمای سطح زمین<sup>۲</sup> براساس داده‌های سنجنش از دور حرارتی (باند ۱۰) برآورد شد. برای این کار نخست شماره رقومی تصاویر باندهای حرارتی به

3- Radiance

4- Universal Transverse Mercator coordinate system, UTM

5- Digital Elevation Model, DEM

6- Triangulated Irregular Networks, TIN

1- Normalized Difference Vegetation Index, NDVI

2- Land Surface Temperature, LST

جدول ۲- تعریف متغیرهای اولیه و ثانویه توپوگرافی.

Table 2. Definition of primary and secondary topographic variables.

رابطه	تعریف	واحد	خصوصیت توپوگرافی
-	ارتفاع نسبت به سطح دریا (۴۹).	متر (m)	ارتفاع Elevation
$Slope = \sqrt{\left(\frac{\partial Z}{\partial X}\right)^2 + \left(\frac{\partial Z}{\partial Y}\right)^2}$	زاویه بین سطح تماس و سطح افقی در یک نقطه در سطح زمین (۴۹).	درصد (%)	درجه شیب Slope Degree
$Aspect = \text{Arctg}\left(\frac{\frac{\partial Z}{\partial Y}}{\frac{\partial Z}{\partial X}}\right)$	بیشترین سرعت تغییر در ارتفاع در هر سلول از DEM (۴۹).	رادیان (Rad)	جهت شیب Slope Aspect
$PlanC = \frac{H^2 \cdot D \cdot 2 \cdot G \cdot H \cdot F + E \cdot G^2}{(G^2 + H^2)^{1.5}}$	انحنای در صفحه افقی یک خط کنتور نشان‌دهنده انحراف جریان مواد و بیانگر اندازه همگرایی و واگرایی جریان می‌باشد (۴۸).	$\frac{1}{\text{متر}}$	انحنای سطح Plan Curvature
$WI = \text{Ln}\left(\frac{A_s}{\tan \beta}\right)$	پارامتری که توزیع مکانی منطقه اشباع و مقدار آب خاک در زمین‌نما را بیان می‌کند و برای مشخص کردن توزیع مکانی و پتانسیل نواحی برای تولید رواناب مورد استفاده قرار می‌گیرد (۵۰).	-	شاخص خیسبی Wetness Index
$STI = \left(\frac{A_s}{22.13}\right)^{0.6} \left(\frac{\sin \beta}{0.0896}\right)^{1.3}$	نمایانگر فرآیندهای فرسایش و رسوب در زمین‌نما بوده و اثر توپوگرافی را بر فرسایش نشان می‌دهد (۴۹).	-	شاخص انتقال رسوب Sediment Transport Index

که در روابط ۵ تا ۹،  $Z_2$  تا  $Z_9$  ارتفاع زیرماتریس‌های  $3 \times 3$  می‌باشند،  $Z_5$  ارتفاع نقطه مرکزی (صفر  $x=y$ ) و  $L$  فاصله بین نقاط ماتریس در جهت ردیف و ستون است.

**مدل‌های آماری:** برای مدل‌سازی و پیش‌بینی میزان تراکم کربن آلی از مدل رگرسیون خطی چندمتغیره گام‌به‌گام و مدل شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. الف) مدل رگرسیون خطی: به‌منظور تعیین ارتباط خطی ویژگی‌های توپوگرافی و داده‌های دورسنجی مورد مطالعه با کربن آلی خاک، آنالیز رگرسیون خطی چندمتغیره به روش گام‌به‌گام، انجام شد. ویژگی‌های خاک به‌عنوان متغیرهای مستقل و مقدار تراکم کربن آلی به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شدند (۵).

در روابط بالا،  $Z$  ارتفاع نقطه،  $X$  طول جغرافیایی نقطه،  $Y$  عرض جغرافیایی نقطه،  $A_s$  مساحت ویژه حوضه  $\left(\frac{m^2}{m}\right)$ ،  $\beta$  درجه شیب (Rad) می‌باشد.  $E, D, F, G$  و  $H$  از روابط ۵ تا ۹ به دست آمدند:

$$D = \frac{\left[\frac{Z_4 + Z_6}{2} - Z_5\right]}{L^2} \quad (5)$$

$$E = \frac{\left[\frac{Z_2 + Z_8}{2} - Z_5\right]}{L^2} \quad (6)$$

$$F = \frac{[-Z + Z_3 + Z_7 - Z_9]}{4L^2} \quad (7)$$

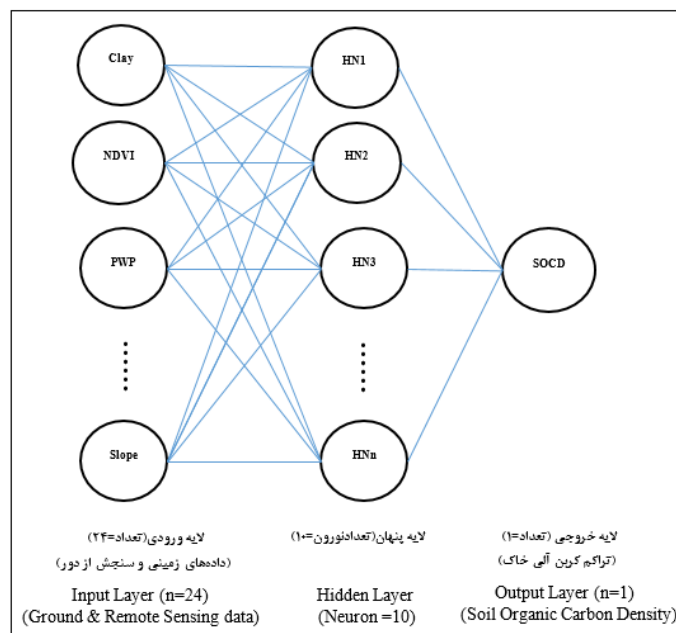
$$G = \frac{[-Z_4 + Z_6]}{2L} \quad (8)$$

$$H = \frac{[Z_2 - Z_8]}{2L} \quad (9)$$

1- Submatrix

(شکل ۴). توابع انتقال، تعداد لایه پنهان، تعداد نرون در لایه پنهان و تعداد بهینه تکرار برای هر شبکه مورد آزمایش قرار گرفت (۵۲). در این پژوهش از تکنیک یادگیری لونیگ-مارکواریت<sup>۳</sup> با تابع انتقال تانژانت سیگمویدی<sup>۴</sup> برای فرآیند آموزش استفاده شد. این تکنیک یکی از بهترین و کارآمدترین الگوریتم‌های کلاسیک در مسائل بهینه‌سازی است (۵۳). هم‌چنین تعداد بهینه تکرار<sup>۵</sup> ۵۰۰ و تابع خروجی پورلاین<sup>۶</sup> (خطی معمولی) برای انتخاب بهترین ساختار شبکه عصبی پرسپترون چندلایه استفاده شد (۵۴). برای هر کاربری ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزش، ۱۵ درصد برای آزمون و ۱۵ درصد برای اعتبارسنجی در نظر گرفته شدند (۵۳).

ب) شبکه عصبی مصنوعی: با توجه به توانایی شبکه عصبی برای مدل‌سازی داده‌های غیرخطی و پیچیدگی عوامل محیطی و خصوصیات خاک مؤثر بر کربن آلی خاک، از این روش استفاده شد. ساختار اصلی شبکه عصبی شامل سه لایه متمایز است: لایه ورودی اطلاعات که وزن اولیه عوامل را تخصیص می‌دهد؛ لایه پنهان که محل پردازش اطلاعات بوده و لایه خروجی که نتایج مدل را ارائه می‌دهد. هر یک از لایه‌ها شامل مؤلفه‌هایی به نام گره<sup>۱</sup> هستند (۵۱). در این پژوهش از شبکه پرسپترون چندلایه<sup>۲</sup> با ۲۴ گره شامل داده‌های زمینی و سنجش از دور در لایه ورودی، ۱۰ نرون در لایه پنهان و یک گره در لایه خروجی برای مدل‌سازی شبکه عصبی استفاده شد



شکل ۴- نمایش گرافیکی از شبکه پرسپترون چندلایه شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی تراکم کربن آلی خاک.

Figure 4. Graphical views of the multi-layered perceptron network of the artificial neural network to predict soil organic carbon density.

- 1- Node
- 2- Multi Liner Perceptron
- 3- Levenberg-Marquardt
- 4- Tan-sigmoid
- 5- Epoch
- 6- Pureline

Idf.Normal در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۳ استفاده گردید. این روش جز جدیدترین روش‌ها برای نرمال‌سازی داده‌ها می‌باشد. این تبدیل از میانگین و انحراف معیار داده‌ها برای نرمال‌سازی استفاده می‌کند (۵۷). برای انجام مدل‌سازی با روش رگرسیون خطی چندمتغیره به روش گام‌به‌گام<sup>۳</sup> و نیز به‌منظور مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی از نرم‌افزار Matlab نسخه ۲۰۱۴ استفاده شد (۵۸). دمای سطح زمین و شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی با استفاده از فرمول‌های مربوطه و مشتقات مدل رقومی ارتفاع همه در نرم‌افزار Arc GIS نسخه ۸.۱. ۱۰ استفاده گردید (۵۹). در نهایت برای رسم نمودارها از نرم‌افزارهای Curve Expert نسخه ۱.۴ و Excel نسخه ۲۰۱۶ استفاده گردید (۶۰).

### نتایج و بحث

ویژگی‌های آماری نمونه‌های خاک: آمار توصیفی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک در دو کاربری مرتع و زراعی در جدول ۳ ارائه شده است. در بین داده‌های زمینی در کاربری مرتع ویژگی‌های شاخص خیزی، شاخص انتقال رسوب، ارتفاع، انحنای سطح دارای توزیع نرمال نبودند ( $K-S: P < 0/05$ ). در کاربری زراعی ویژگی‌های شاخص انتقال رسوب، درجه شیب، ارتفاع، شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی، دمای سطح زمین، درصد سیلت، درصد شن خیلی درشت و درصد کربنات کلسیم معادل از توزیع نرمال برخوردار نبودند ( $K-S: P < 0/05$ ). نمونه‌های خاک مورد مطالعه در کاربری‌های مرتع و زراعی از نظر کلاس بافتی متنوع و در مجموع در هفت کلاس بافتی شامل لومی، لوم رسی، لوم شنی، لوم رس سیلتی، لوم رس شنی، رس سیلتی و لوم سیلتی قرار گرفتند.

تحلیل حساسیت: به‌منظور بررسی دقیق‌تر عامل‌های اثرگذار بر میزان تراکم کربن آلی خاک در روش شبکه عصبی مصنوعی از روش هیل<sup>۱</sup> استفاده شد. در این روش، هر یک از متغیرها یا ویژگی‌های ورودی مقداری تغییر داده شدند (۱۰ درصد) و تأثیر آن‌ها بر خروجی مدل محاسبه شد و مقدار حساسیت مدل حاصل از روش شبکه مصنوعی عصبی نسبت به متغیر ورودی مدنظر به‌دست آمد (۵۳).

ارزیابی مدل‌ها: برای ارزیابی نتایج به‌دست آمده از مدل‌ها از شاخص‌های آماری ضریب تبیین و جذر میانگین مربعات خطا استفاده شد (رابطه‌های ۱۰ و ۱۱). ضریب تبیین نشان می‌دهد که چند درصد از تغییرات متغیر وابسته توسط متغیرهای مستقل توضیح داده می‌شوند و جذر میانگین مربعات خطا بیانگر تفاوت بین مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل یا برآوردگر آماری و مقدار واقعی است (۵۵).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_o - Z_p)^2} \quad (10)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Z_p - Z_o)^2}{\sum_{i=1}^n (Z_p - \bar{Z})^2} \quad (11)$$

که در آن‌ها،  $Z_o$  مقادیر مشاهده شده،  $Z_p$  مقادیر پیش‌بینی شده،  $\bar{Z}$  میانگین داده‌های واقعی و  $n$  تعداد داده‌ها هستند.

نرم‌افزارهای مورد استفاده: پس از جمع‌آوری و ثبت داده‌ها در محیط نرم‌افزاری Excel نسخه ۲۰۱۶، برای آنالیز آماری از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۳ استفاده شد. داده‌های میدانی و آزمایشگاهی فیزیکی و شیمیایی خاک از نظر توزیع نرمال بودن با استفاده از آزمون کولموگوروف-اسمیرنوف<sup>۲</sup> مورد بررسی قرار گرفت (۵۶). به‌منظور نرمال‌سازی داده‌ها از تبدیل

1- Hill  
2- Kolmogorov-Smirnov, K-S

جدول ۳- توصیف خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در دو کاربری مرتع و زراعی (تعداد=۱۴۰).

**Table 3. Describes the characteristics of the physical and chemical properties of the studied soils in two pasture and farmland landuse (number = 140) (P: Pasture, C: Cropland).**

چولگی	درصد	میانگین	کاربری	خصوصیات	چولگی	درصد	میانگین	کاربری	خصوصیات
Skewness	ضریب تغییرات CV%	Mean	Landuse	Properties	Skewness	ضریب تغییرات CV%	Mean	Landuse	Properties
0.37	15	0.31	مرتع P	رطوبت ظرفیت مزرعه	0.04	27	27.75	مرتع P	درصد رس
0.006	18	0.35	زراعی C	FC g/g	-0.14	32	36.24	زراعی C	Clay%
0.38	34	0.14	مرتع P	رطوبت نقطه پژمردگی	0.54	18	33.71	مرتع P	درصد سیلت
0.28	21	0.17	زراعی C	PWP g/g	1.15	15	30.16	زراعی C	Silt%
0.18	12	1.03	مرتع P	میانگین وزنی قطر خاک‌دانه (میلی‌متر)	-0.11	25	38.52	مرتع P	درصد شن کل
0.03	14	0.95	زراعی C	MWD (mm)	0.001	27	33.59	زراعی C	Total sand%
0.42	26	15.08	مرتع P	درصد سنگریزه	0.04	27	5.29	مرتع P	درصد شن خبیلی ریز
0.6	26	12.98	زراعی C	Gravel%	0.71	33	6.26	زراعی C	Very fine sand%
0.43	20	3.43	مرتع P	درصد کربن آلی	0.03	2	6.72	مرتع P	درصد شن ریز
-0.53	23	2.92	زراعی C	Organic carbone%	-0.18	27	6.66	زراعی C	Fine sand%
0.018	13	10.71	مرتع P	کربنات کلسیم معادل	0.1	29	7.38	مرتع P	درصد شن متوسط
-1.16	17	11.3	زراعی C	Calcium carbonate equivalent %	-0.16	29	6.7	زراعی C	Medium Sand%
-0.44	26	3.75	مرتع P	درصد نیتروژن کل	0.16	38	8.4	مرتع P	درصد شن درشت
-0.39	26	2.53	زراعی C	Total Nitrogen%	0.71	36	6.88	زراعی C	Coarse sand%
0.028	8	6.76	مرتع P	واکنش خاک	0.71	36	10.09	مرتع P	درصد شن خبیلی درشت
-1	6	7.32	زراعی C	Soil pH	1.07	50	7.07	زراعی C	Very coarse sand%
					0.52	3	1.27	مرتع P	جرم مخصوص ظاهری
					0.67	3	1.21	زراعی C	Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )

ضریب تغییرات نشان‌دهنده تغییرپذیری پارامتر مورد مطالعه است. ضریب تغییرات کوچک‌تر از ۱۵ درصد نشان‌دهنده تغییرپذیری کم، ضریب تغییرات بین ۱۵-۳۵ درصد نشان‌دهنده تغییرپذیری متوسط و ضریب تغییرات بزرگ‌تر از ۳۵ درصد بیان‌کننده تغییرپذیری زیاد است (۶۱). در بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، جرم مخصوص ظاهری با ضریب تغییرات برابر با سه درصد و رطوبت نقطه پژمردگی با ضریب تغییرات برابر با ۳۴ درصد به ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار بودند. خصوصیات آماری کربن آلی خاک در عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متر نشان داد که بیش‌ترین مقدار کربن آلی خاک در کاربری مرتع با میانگین ۳/۴۳ درصد و کم‌ترین مقدار آن در اراضی زراعی با میانگین ۲/۹۲ درصد است. این اختلاف نشانگر تأثیرپذیری بالای افق سطحی خاک‌ها در منطقه مورد مطالعه از اعمال مدیریت‌های گوناگون، ویژگی‌های محیطی و تخریب اراضی است (۶۲). تغییرات مشتقات توپوگرافی در منطقه مورد مطالعه ممکن است باعث تغییر در توزیع رطوبت خاک و پوشش گیاهی شده که آن هم به نوبه خود تغییرات کربن آلی خاک منطقه را به دنبال داشته است (۶۲). بالا بودن میزان کربن آلی خاک در اراضی زراعی احتمالاً به سابقه خاک‌های منطقه مربوط است، زیرا در گذشته منطقه جنگلی بوده است که به مرور زمان، دستخوش تغییر کاربری به مرتع و سپس به اراضی زراعی شده است.

ضریب تغییرات کربن آلی در کاربری‌های مرتع و زراعی به ترتیب حدود ۲۰ و ۲۳ درصد است. مقدار ضریب تغییرات کربن آلی خاک برای هر دو کاربری با توجه به تقسیم‌بندی ویلدینگ در کلاس متوسط (۱۵-۳۵ درصد) قرار گرفت. این موضوع نشان داد که میزان کربن آلی خاک دارای توزیع مکانی ناهمگن است که می‌تواند با ناهمگونی در کاربری اراضی و توپوگرافی در منطقه مورد مطالعه مرتبط باشد (۳۸). کدیا و همکاران (۲۰۰۹) در مراتع برزیل ضریب تغییرات کربن آلی را برابر با ۳۸/۶ درصد برای عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متر (۶۳)، نوروزی و همکاران (۲۰۱۰) برای منطقه اردل استان چهارمحال و بختیاری ضریب تغییرات ۴۰ درصد (۶۴) و ترا و همکاران (۲۰۰۴) برای منطقه آلاباما با کاربری زراعی، ضریب تغییرات ۲۱ درصد را گزارش کردند (۶۵).

**تراکم کربن آلی خاک در کاربری‌ها:** نتایج آزمون تی جفتی (جدول ۴) نشان داد که بین تراکم کربن آلی خاک در دو کاربری مرتع و زراعی، اختلاف معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ وجود دارد. فانگ و همکاران (۲۰۱۲) و ژونگ و ژو (۲۰۰۹) در پژوهش‌های خود نشان دادند که میزان تراکم کربن آلی خاک در کاربری مرتع بیش‌تر از اراضی زراعی است و علت آن را تأثیر شخم در سرعت تجزیه ماده آلی بیان نمودند (۳۸، ۶۶).

جدول ۴- نتایج آزمون تی جفتی تراکم کربن آلی خاک در دو کاربری مرتع و زراعی.

Table 4. T-test results of organic carbon density in pasture and cropland land use.

P-value	t	میانگین Mean	نوع کاربری Land use Type	منابع تغییر SOV
0.01**	5.385	65.46	مرتع Pasture	تراکم کربن آلی خاک SOCD
		54.41	زراعی Cropland	

توصیف‌های آماری مشتقات توپوگرافی (ارتفاع، درجه، جهت شیب، انحناى سطح، شاخص خیسی و شاخص انتقال رسوب) و شاخص گیاهی تفاضل نرمال شده و دمای سطح زمین برای دو کاربری مرتع و زراعی در جدول ۵ آمده است.

جدول ۵- توصیف داده‌های سنجش از دور استخراج شده از تصاویر لندست برای منطقه مورد مطالعه.

Table 5. Descriptive of remote sensing data extracted from Landste images for the study area.							
چولگی Skewness	میانگین Mean	کاربری Landuse	خصوصیات Properties	چولگی Skewness	میانگین Mean	کاربری Landuse	خصوصیات Properties
1.12	6.14	مرتع P	شاخص خیسی Wetness Index	1	1580	مرتع P	ارتفاع (متر) Elevation (m)
0.66	7.1	زراعی C		0.35	1405	زراعی C	
3.07	0.23	مرتع P	شاخص انتقال رسوب Sediment Transport Index	1.09	10.71	مرتع P	درصد درجه شیب Slope Gradient %
3.42	0.33	زراعی C		1.9	4.7	زراعی C	
0.049	0.256	مرتع P	شاخص گیاهی تفاضل نرمال شده Normalized Difference Vegetation Index	-0.51	3.82	مرتع P	جهت شیب (رادیان) Slope Aspect (Rad)
1.89	0.145	زراعی C		-0.12	3.01	زراعی C	
0.66	21.63	مرتع P	دمای سطح زمین (سیلسیوس) Land Surface Temperature (°C)	0.44	0.13	مرتع P	انحنای سطح (متر/۱) Plane Curvature ( $\frac{1}{m}$ )
-1.56	25.21	زراعی C		0.61	0.03	زراعی C	

نسبت به دیگر نقاط نمونه‌برداری شده در کاربری زراعی منطقه مورد مطالعه کم‌تر است.

شاخص خیسی از متغیرهای توپوگرافی ثانویه و بیانگر توزیع مکانی رطوبت است و در واقع میزان تجمع آب در خاک و در سطح زمین را نشان می‌دهد (۶۸). میانگین شاخص خیسی برای کاربری مرتع ۶/۱۴ و در کاربری زراعی ۷/۱۰ بود. به‌دلیل پایین بودن میزان درجه شیب و انحناى سطح زمین، کاربری زراعی نسبت به کاربری مرتع، شاخص خیسی خاک بالاتری را نشان داد. میانگین مقادیر شاخص انتقال رسوب که قدرت فرساینده‌گری جریان‌ها را بر روی

میانگین درجه شیب منطقه در کاربری مرتع، ۱۰/۷۱ درصد و در کاربری زراعی، ۴/۷۰ درصد بود. جهت شیب موجود در منطقه برای کاربری مرتع، بیش‌تر جهت شمال‌غربی و برای کاربری زراعی، جنوب‌غربی بود. مقدار شاخص گیاهی تفاضل نرمال شده برای مناطق تنک بین ۰/۰۵ تا ۰/۱، برای مناطق با پوشش گیاهی متوسط بین ۰/۱ تا ۰/۶ و برای مناطق با پوشش گیاهی بسیار متراکم و غنی بین ۰/۶ تا ۰/۷ بود (۶۷). کم‌ترین مقدار شاخص گیاهی تفاضل نرمال شده برابر با ۰/۰۶۴ بود که مربوط به کاربری زراعی است که نشان‌دهنده این است که تراکم پوشش گیاهی



کاربری مرتع ۲۲/۰۲ سلسیوس بود. دلیل این موضوع را می‌توان به پایین بودن میزان پوشش گیاهی در زمین‌های زراعی ربط داد، زیرا تصاویر اخذ شده مربوط به ماه مرداد بوده و در آن زمان اکثر محصولات زراعی از زمین‌ها برداشت شده‌اند. بنابراین سطح زمین بیش‌تر در معرض تشعشع خورشیدی قرار داشت. از سوی دیگر، روشن است که سطح بدون پوشش زمین‌های زراعی در جذب انرژی و افزایش دمای سطحی تأثیرگذار است. جمالی و همکاران (۲۰۱۹) نیز نشان دادند که اراضی با کاربری بایر به دلیل نداشتن پوشش حفاظتی، دارای دمای بیش‌تری هستند (۷۳).

مدل‌سازی به روش رگرسیون چندمتغیره خطی: به‌منظور تعیین مهم‌ترین عوامل مؤثر بر مقدار تراکم کربن آلی خاک در منطقه فندوقلو، از رگرسیون خطی چندمتغیره گام‌به‌گام برای دو کاربری مرتع و زراعی استفاده شد. نتایج حاصل در جدول ۶ نشان داده شده است.

زمین نشان می‌دهد در کاربری زراعی ۰/۳۳ و در کاربری مرتع ۰/۲۳ بود. مقادیر بالای شاخص انتقال رسوب نشان‌دهنده نواحی با خطر بالای فرسایش هستند. این شاخص با در نظر گرفتن واگرایی و همگرایی جریان، نمایان‌گر پتانسیل فرسایش‌پذیری سطوح به فرسایش‌های صفحه‌ای و شیاری است که شکل‌های غالب فرسایش آبی محسوب می‌شوند (۶۹). بالا بودن مقادیر انتقال رسوب در اراضی زراعی شاید به دلیل عمق کم خاک در این کاربری باشد. در زمین‌های زراعی منطقه به دلیل فعالیت‌های مکانیکی و زیرو رو شدن‌های متوالی خاک، خاک‌دانه‌های حساس خرد شده و امکان انتقال رسوب وجود دارد (۷۰).

با توجه به محدودیت دستگاه‌های زمینی برای اندازه‌گیری دمای سطح زمین در سطح وسیع، سنجش از دور حرارتی، تنها روش برآورد دمای تابشی سطح زمین با قدرت تفکیک زمانی و مکانی مناسب است (۷۱). کاربری اراضی بر میزان دمای سطح زمین تأثیر می‌گذارد و به‌عنوان شاخصی برای بررسی روند آن قلمداد می‌شود (۷۲). میانگین دمای بازتابندگی سطح زمین در کاربری زراعی ۲۵/۲۱ سلسیوس و در

جدول ۶- مدل‌های رگرسیون مربوط به کاربری‌های مرتع و زراعی.

Table 6. Regression models related to pasture and cropland land uses.

نوع کاربری Land use type	مدل Model	F	خطای استاندارد Standard error	R <sup>2</sup>
مرتع Pasture	SOCD= 8.724+73.214 N+31.180 NDVI+20.510MWD	24.00	9.22	0.53
زراعی Cropland	SOCD=39.516+53.877 N- 4.695 Plan Curvature	9.380	10.25	0.46

متغیرهای پیش‌بینی‌کننده تراکم کربن آلی خاک وارد مدل شدند. هر سه متغیر رابطه مثبتی با میزان تراکم کربن آلی خاک نشان دادند. ضریب تبیین مدل رگرسیونی به‌دست آمده برای کاربری مرتع برابر با ۵۳

نتایج (جدول ۶) نشان داد که از میان تمامی متغیرهای مورد بررسی، درصد نیتروژن کل (N)، شاخص گیاهی تفاضل نرمال شده و میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها در کاربری مرتع به‌عنوان مؤثرترین

درصد است و بیانگر آن است که سه ویژگی درصد نیتروژن کل خاک، شاخص پوشش گیاهی تفاوت نرمال شده و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حدود ۵۳ درصد تغییرات تراکم کربن آلی خاک را توجیه و تبیین می‌کنند. در مدل ارائه شده برای کاربری زراعی، دو متغیر درصد نیتروژن کل و انحناى سطح به‌عنوان موثرترین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده وارد مدل شدند، به‌طوری‌که با افزایش میزان درصد نیتروژن کل و کاهش انحناى سطح، مقدار تراکم کربن آلی خاک افزایش یافت. این مدل توانست ۴۶ درصد تغییرات تراکم کربن آلی خاک را توجیه و تبیین نماید. ۴۷ و ۵۴ درصد از تغییرات کربن آلی به‌ترتیب در کاربری‌های مرتع و زراعی توسط این مدل‌ها بیان نگردید که این مسئله احتمالاً به‌علت وجود روابط غیرخطی بین پدیده‌ها است که توسط این مدل‌های رگرسیون در نظر گرفته نشده است.

درصد نیتروژن کل در هر دو مدل ارائه شده برای کاربری‌های مرتع و زراعی وارد مدل گردید. کربن و نیتروژن در زیست‌بوم‌های زمینی تعامل نزدیکی یا یکدیگر دارند. سرعت تجمع کربن آلی خاک به‌شدت به بهره‌وری اولیه خالص گیاهان بستگی دارد که در اکثر زیست‌بوم‌ها عمدتاً توسط نیتروژن محدود می‌شود (۷۴). عرضه نیتروژن، جذب خالص کربن را با تحریک عوامل تعیین‌کننده بیوشیمیایی از جمله آنزیم‌های فتوسنتزی افزایش می‌دهد که به‌نوبه خود منجر به ورودی بیش‌تر کربن و نیتروژن به مخزن<sup>۱</sup> کربن آلی خاک می‌شود (۷۵).

درصد است و بیانگر آن است که سه ویژگی درصد نیتروژن کل خاک، شاخص پوشش گیاهی تفاوت نرمال شده و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حدود ۵۳ درصد تغییرات تراکم کربن آلی خاک را توجیه و تبیین می‌کنند. در مدل ارائه شده برای کاربری زراعی، دو متغیر درصد نیتروژن کل و انحناى سطح به‌عنوان موثرترین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده وارد مدل شدند، به‌طوری‌که با افزایش میزان درصد نیتروژن کل و کاهش انحناى سطح، مقدار تراکم کربن آلی خاک افزایش یافت. این مدل توانست ۴۶ درصد تغییرات تراکم کربن آلی خاک را توجیه و تبیین نماید. ۴۷ و ۵۴ درصد از تغییرات کربن آلی به‌ترتیب در کاربری‌های مرتع و زراعی توسط این مدل‌ها بیان نگردید که این مسئله احتمالاً به‌علت وجود روابط غیرخطی بین پدیده‌ها است که توسط این مدل‌های رگرسیون در نظر گرفته نشده است.

درصد است و بیانگر آن است که سه ویژگی درصد نیتروژن کل خاک، شاخص پوشش گیاهی تفاوت نرمال شده و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حدود ۵۳ درصد تغییرات تراکم کربن آلی خاک را توجیه و تبیین می‌کنند. در مدل ارائه شده برای کاربری زراعی، دو متغیر درصد نیتروژن کل و انحناى سطح به‌عنوان موثرترین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده وارد مدل شدند، به‌طوری‌که با افزایش میزان درصد نیتروژن کل و کاهش انحناى سطح، مقدار تراکم کربن آلی خاک افزایش یافت. این مدل توانست ۴۶ درصد تغییرات تراکم کربن آلی خاک را توجیه و تبیین نماید. ۴۷ و ۵۴ درصد از تغییرات کربن آلی به‌ترتیب در کاربری‌های مرتع و زراعی توسط این مدل‌ها بیان نگردید که این مسئله احتمالاً به‌علت وجود روابط غیرخطی بین پدیده‌ها است که توسط این مدل‌های رگرسیون در نظر گرفته نشده است.

درصد است و بیانگر آن است که سه ویژگی درصد نیتروژن کل خاک، شاخص پوشش گیاهی تفاوت نرمال شده و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حدود ۵۳ درصد تغییرات تراکم کربن آلی خاک را توجیه و تبیین می‌کنند. در مدل ارائه شده برای کاربری زراعی، دو متغیر درصد نیتروژن کل و انحناى سطح به‌عنوان موثرترین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده وارد مدل شدند، به‌طوری‌که با افزایش میزان درصد نیتروژن کل و کاهش انحناى سطح، مقدار تراکم کربن آلی خاک افزایش یافت. این مدل توانست ۴۶ درصد تغییرات تراکم کربن آلی خاک را توجیه و تبیین نماید. ۴۷ و ۵۴ درصد از تغییرات کربن آلی به‌ترتیب در کاربری‌های مرتع و زراعی توسط این مدل‌ها بیان نگردید که این مسئله احتمالاً به‌علت وجود روابط غیرخطی بین پدیده‌ها است که توسط این مدل‌های رگرسیون در نظر گرفته نشده است.

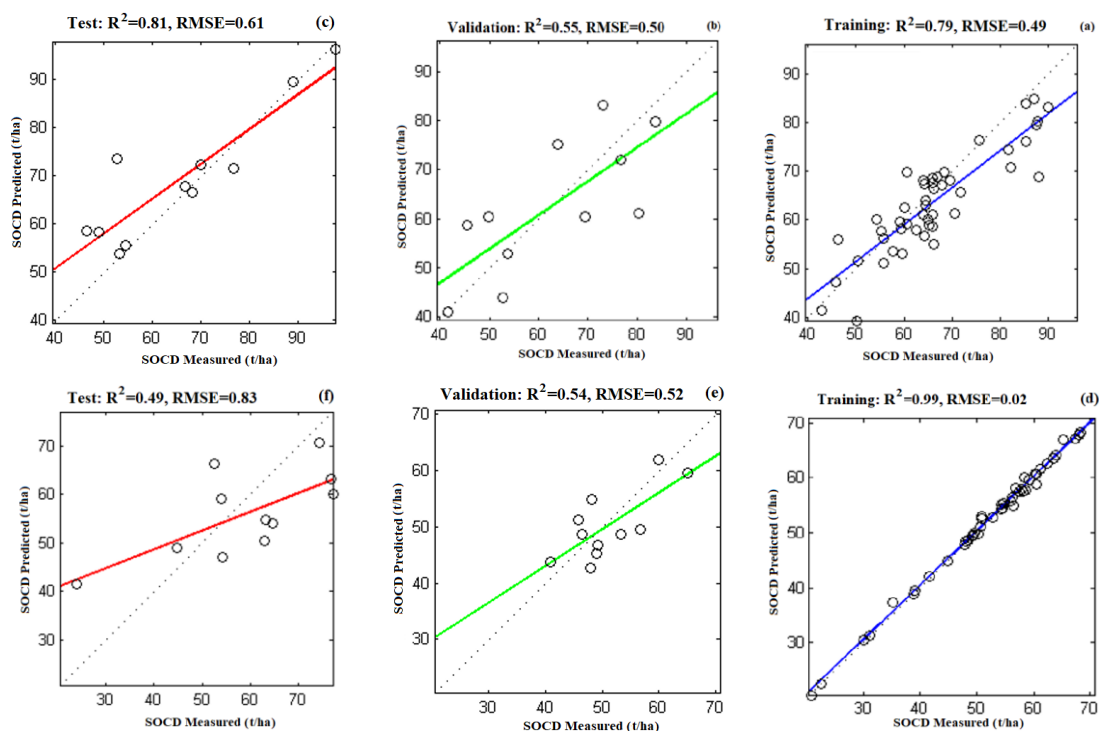
درصد است و بیانگر آن است که سه ویژگی درصد نیتروژن کل خاک، شاخص پوشش گیاهی تفاوت نرمال شده و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حدود ۵۳ درصد تغییرات تراکم کربن آلی خاک را توجیه و تبیین می‌کنند. در مدل ارائه شده برای کاربری زراعی، دو متغیر درصد نیتروژن کل و انحناى سطح به‌عنوان موثرترین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده وارد مدل شدند، به‌طوری‌که با افزایش میزان درصد نیتروژن کل و کاهش انحناى سطح، مقدار تراکم کربن آلی خاک افزایش یافت. این مدل توانست ۴۶ درصد تغییرات تراکم کربن آلی خاک را توجیه و تبیین نماید. ۴۷ و ۵۴ درصد از تغییرات کربن آلی به‌ترتیب در کاربری‌های مرتع و زراعی توسط این مدل‌ها بیان نگردید که این مسئله احتمالاً به‌علت وجود روابط غیرخطی بین پدیده‌ها است که توسط این مدل‌های رگرسیون در نظر گرفته نشده است.

درصد است و بیانگر آن است که سه ویژگی درصد نیتروژن کل خاک، شاخص پوشش گیاهی تفاوت نرمال شده و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در حدود ۵۳ درصد تغییرات تراکم کربن آلی خاک را توجیه و تبیین می‌کنند. در مدل ارائه شده برای کاربری زراعی، دو متغیر درصد نیتروژن کل و انحناى سطح به‌عنوان موثرترین متغیرهای پیش‌بینی‌کننده وارد مدل شدند، به‌طوری‌که با افزایش میزان درصد نیتروژن کل و کاهش انحناى سطح، مقدار تراکم کربن آلی خاک افزایش یافت. این مدل توانست ۴۶ درصد تغییرات تراکم کربن آلی خاک را توجیه و تبیین نماید. ۴۷ و ۵۴ درصد از تغییرات کربن آلی به‌ترتیب در کاربری‌های مرتع و زراعی توسط این مدل‌ها بیان نگردید که این مسئله احتمالاً به‌علت وجود روابط غیرخطی بین پدیده‌ها است که توسط این مدل‌های رگرسیون در نظر گرفته نشده است.

آزمون مجموعه داده‌ای است که مستقل از مجموعه آموزش است و برای ارزیابی بی‌طرفانه از مدل نهایی، متناسب با مجموعه داده‌های آموزشی استفاده می‌شود و عمومیت مدل بستگی به دقت آن در پیش‌بینی رکوردهایی دارد که در آموزش هیچ دخالتی نداشته‌اند (۵۳). ضریب تبیین برای داده‌های آزمون برای کاربری‌های مرتع و زراعی به ترتیب برابر با ۰/۸۱ و ۰/۴۹ بود که نشان‌دهنده کارایی مدل‌ها است. همچنین ضریب تبیین و جذر میانگین مربعات خطا برای داده‌های آموزش به ترتیب برابر با ۰/۷۹ و ۰/۴۹ برای کاربری مرتع و برای کاربری زراعی به ترتیب برابر با ۰/۹۹ و ۰/۰۲ بود.

رس و سیلت، قدرت خاک در تأمین و نگهداشت عناصر غذایی بیش‌تر می‌شود و حاصل‌خیزی خاک افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، در زمان تشکیل خاک‌دانه، ذرات رس با ماده آلی، کمپلکس رس-هوموس تشکیل می‌دهند و ماده آلی را در مقابل تجزیه حفاظت می‌کنند (۸۱).

مدل‌سازی تراکم کربن آلی خاک به روش شبکه عصبی مصنوعی: شکل ۵ نمودارهای عملکرد و برازش منحنی را در مرحله آموزش<sup>۱</sup>، اعتبارسنجی<sup>۲</sup> و آزمون<sup>۳</sup> شبکه عصبی مصنوعی را در کاربری‌های مرتع و زراعی نشان می‌دهد. هرچه ضریب تبیین بالا و نزدیک به یک باشد، عملکرد مدل بهتر است. داده‌های



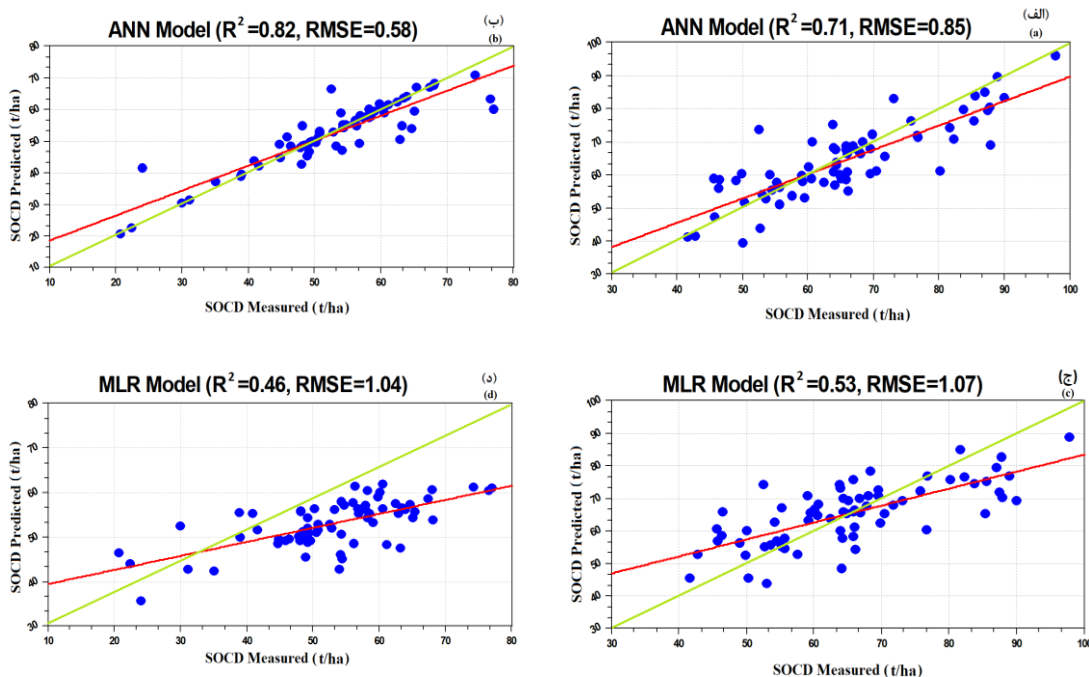
شکل ۵- مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمین تراکم کربن آلی خاک برای (a) مراحل آموزش، (b) اعتبارسنجی و (c) آزمون در کاربری مرتع و (d) آموزش، (e) اعتبارسنجی و (f) آزمون در کاربری زراعی به روش شبکه عصبی مصنوعی.

Figure 5. Comparison of measured values and estimates of soil organic carbon density for training steps (a), validation (b) and test (c) in pasture land use and training (d), validation (e) and test (f) in cropland land use.

- 1- Training
- 2- Validation
- 3- Test

مقابل مقادیر اندازه‌گیری شده ترسیم گردید و بهترین خط عبوری از مابین داده‌ها برازش شد. نتایج برای کاربری مرتع و زراعی در شکل ۶ نشان داد شده است.

مقایسه نتایج مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی با مدل‌های رگرسیونی خطی چندمتغیره: به منظور ارزیابی و مقایسه عملکرد شبکه عصبی مصنوعی با روش رگرسیون خطی چندمتغیره در دو کاربری مرتع و زراعی، مقادیر تراکم کربن آلی خاک برآورد شده در



شکل ۶- مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده تراکم کربن آلی خاک (SOCD) با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) برای کاربری مرتع و (ب) زراعی همچنین مدل رگرسیون چندمتغیره خطی (MLR) برای کاربری مرتع و (ج) کاربری زراعی (تعداد=نقاط ۷۰) (خط سبز: خط ۱:۱ نمودار و خط قرمز: خط برازش شده به نقاط می‌باشد).

**Figure 6. Comparison of measured values and estimated soil organic carbon density (SOCD) using artificial neural network model (ANN) for pasture land use (a) and cropland land use (b) also a linear multivariate regression model (MLR) for pasture land use (c) and cropland land use (d) (number = 70) (green line: line 1:1 diagram and red line: fitted line to points).**

با توجیه به شکل ۶ می‌توان نتیجه گرفت که روند اثرات داده‌های زمینی و سنجش از دور بر تغییرات تراکم کربن آلی خاک غیرخطی بوده و شبکه عصبی توانسته است، آن را رونمایی نماید. مدل‌های توسعه یافته شبکه عصبی برای پیش‌بینی تراکم کربن آلی خاک در کاربری مرتع با ضریب تبیین برابر با ۰/۷۱ و جذر میانگین مربعات خطا برابر ۰/۸۵ در مقابل ضریب تبیین مدل رگرسیون چندمتغیره که برابر با ۰/۴۶ و جذر میانگین مربعات خطا برابر با ۱/۰۴ با

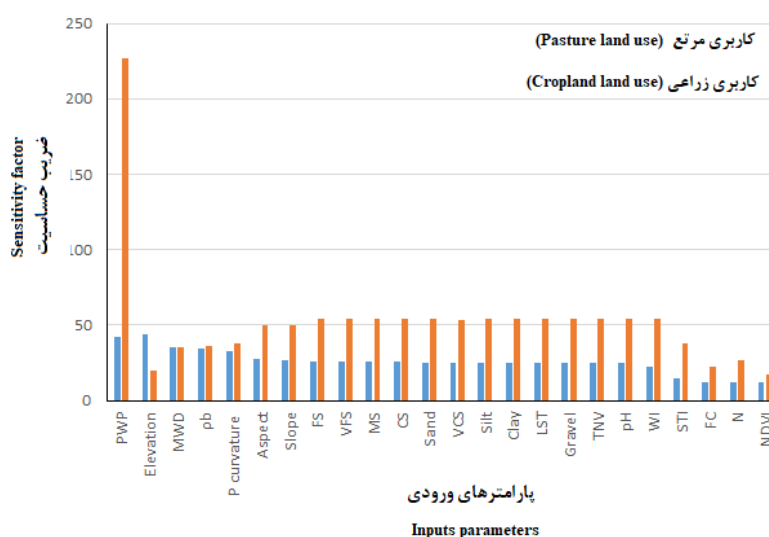
ضریب تبیین مدل رگرسیون چندمتغیره که برابر با ۰/۵۳ و جذر میانگین مربعات خطا برابر با ۱/۰۷ توانایی بالاتری را برای برآورد تراکم کربن آلی خاک نشان داد. در کاربری زراعی نیز ضریب تبیین برابر با ۰/۸۲ با جذر میانگین مربعات خطا برابر با ۰/۵۸ در مقابل ضریب تبیین مدل رگرسیون چندمتغیره که برابر با ۰/۴۶ و جذر میانگین مربعات خطا برابر با ۱/۰۴ با

چندمتغیره، شبکه عصبی مصنوعی نیازی به پیش ارتباط بین ورودی و خروجی ندارد، روابط احتمالی غیرخطی مطلوب که ورودی را به خروجی پیوند می‌دهد با یک روش واسنجی تکراری در روش شبکه عصبی مصنوعی اجرا می‌شود. در نتیجه شبکه عصبی مصنوعی می‌تواند حداکثر اطلاعات را از داده‌ها استخراج کند (۸۴).

**تحلیل حساسیت:** تحلیل حساسیت به منظور بررسی تأثیر هر یک از متغیرهای ورودی بر متغیر هدف و یا اهمیت آن‌ها در برآورد و عملکرد مدل پس از ایجاد و آموزش مدل و رسیدن به مناسب‌ترین عملکرد در مدل انجام شد. نتایج تحلیل حساسیت مدل در دو کاربری مرتع و زراعی در شکل ۷ نشان داده شده است.

دقت بالاتری تخمین تراکم کربن خاک را انجام داده است. در کاربری زراعی مدل شبکه عصبی مصنوعی حدود ۰/۱۸ انحراف از مدل را نشان می‌دهد که این موضوع می‌تواند به دلیل در نظر نگرفتن عوامل مدیریتی و انسانی (۸۲) و کوددهی (۸۳) باشد، زیرا این عوامل اثر قابل توجهی بر توزیع کربن آلی خاک در خاک سطحی دارند.

با توجه به افزایش ضریب تبیین و کاهش جذر میانگین مربعات خطا (شکل ۶ الف و ب) به نظر می‌رسد که شبکه عصبی مصنوعی با تابع انتقال تانژانت سیگموئیدی در برآورد تراکم کربن آلی تحت تأثیر داده‌های زمینی و سنجش از دور توانسته است نسبت به روش رگرسیون خطی چندمتغیره موفق‌تر عمل کند. در مقایسه با رگرسیون خطی



شکل ۷- نمودار تحلیل حساسیت تراکم کربن آلی خاک در دو کاربری مرتع و زراعی به روش هیل

STI شاخص انتقال رسوب، WI شاخص خیسگی، P curvature انحناى سطح، Slope درجه شیب، Aspect جهت شیب، Elevation ارتفاع، LST دمای سطح زمین، NDVI شاخص گیاهی تفاضل نرمال، Clay رس خاک، Silt سیلت خاک، Sand شن خاک، pb وزن مخصوص ظاهری خاک، PWP رطوبت نقطه پژمردگی، FC رطوبت ظرفیت مزرعه، VFS شن خیلی ریز، FS شن ریز، MS شن متوسط، CS شن درشت، VCS شن خیلی درشت، TNV کربنات کلسیم خاک، N تیتروژن کل خاک، Gravel سنگریزه، MWD میانگین وزنی قطر خاک‌دانه، pH واکنش خاک.

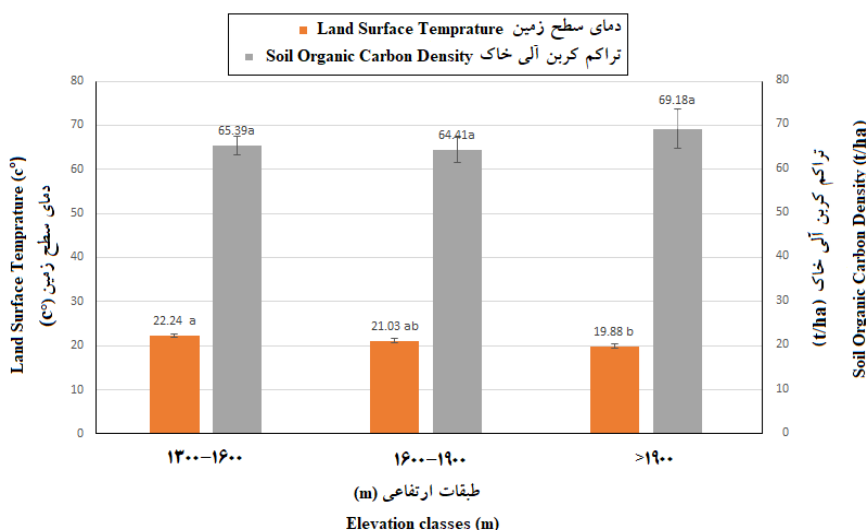
Figure 7. Sensitivity analysis diagram of soil organic carbon density in pasture and cropland land use by Hill method.

STI: Sediment Transport Index, WI: Wetness Index, P Curvature: Plan Curvature, VFS: Very Fine Sand, FS: Fine Sand, MS: Medium Sand, CS: Coarse Sand, VCS: Very Coarse Sand, TNV: Total Neutralizing Value.

همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که مناسب‌ترین رطوبت برای فعالیت ریزجانداران و در نتیجه تجزیه بقایای گیاهی رطوبت ۵۰ درصد اشباع یا حدود ظرفیت مزرعه است (۸۷).

در این پژوهش بیش‌ترین میزان تراکم کربن آلی خاک در ارتفاعات بالا در کاربری مرتع مشاهده گردید (ارتفاعات بالاتر از ۱۹۰۰ متر). از طرفی، دمای سطح زمین نیز در این طبقه ارتفاعی از همه کم‌تر بود (۱۹/۸۸ درجه سلسیوس). با این وجود بین میزان تراکم کربن آلی خاک در طبقات ارتفاعی اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید (شکل ۸). عامل ارتفاع با تأثیر بر فرآیند خاک‌سازی مقدار و نوع پوشش گیاهی، سبب تغییر در مقدار کربن آلی خاک می‌شود. میزان و نوع پوشش گیاهی و بقایای آلی، بر کیفیت و کمیت کربن آلی ورودی به خاک مؤثر هستند (۸۸). بیان و همکاران (۲۰۲۰) گزارش نمودند که در میان تمام متغیرهای توپوگرافی (ارتفاع، درجه و جهت شیب و شاخص خیزی) ارتفاع نقش تعیین‌کننده‌ای در پیش‌بینی کربن آلی خاک ایفا می‌کند (۸۹).

همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود برای کاربری مرتع، عامل ارتفاع با ضریب حساسیت ۴۳/۸۸ به‌عنوان مهم‌ترین عامل در میزان تراکم کربن آلی خاک شناخته شده است. دیگر عامل مهم، رطوبت در نقطه پژمردگی با ضریب حساسیت برابر با ۴۱/۷۳ است که تراکم کربن آلی خاک در کاربری مرتع حساسیت بیش‌تری از خود نشان داده است. در مقابل در کاربری زراعی (شکل ۷) عامل رطوبت در نقطه پژمردگی با ضریب حساسیت برابر با ۲۲۶/۷۲ بالاترین اثر را بر میزان تراکم کربن آلی خاک گذاشته است. مقدار آب موجود در خاک می‌تواند بر توسعه پوشش گیاهی از یک‌سو و کمبود آن بر تجزیه بقایای گیاهی و کاهش ماده آلی خاک موثر باشد. حفظ رطوبت خاک در حد مطلوب می‌تواند رشد ریزجانداران خاک و سرعت تجزیه بقایای گیاهی را افزایش دهد. حد بهینه پتانسیل آب برای تجزیه بقایای گیاهی بین ۳۰- و ۱۰۰- کیلوپاسکال است (۸۵). از نظر میزان رطوبت نیز رطوبت ظرفیت مزرعه مناسب‌ترین رطوبت برای فعالیت‌های میکروبی و تجزیه بقایای گیاهی گزارش شده است (۸۶). نجفی و



شکل ۸- رابطه بین ارتفاع با دمای سطح زمین و میزان تراکم کربن آلی خاک در کاربری مرتع مقایسه میانگین به روش LSD در سطح احتمال پنج درصد).

Figure 8. Relationships between elevation with land surface temperature and soil organic carbon density in pasture land use (mean comparison by LSD method at 5% probability level).

و زراعی می‌باشند. نتایج هم‌چنین نشان داد که می‌توان از توابع انتقالی و به کمک داده‌های پارامترهای توپوگرافیکی اولیه و ثانویه در مناطقی که به هر دلیل امکان نمونه‌برداری در کل منطقه وجود ندارد برای تخمین تراکم کربن آلی در منطقه بهره برد. اما با توجه به پیچیدگی روابط بین تراکم کربن آلی خاک با عوامل کنترل‌کننده مقدار این ویژگی در منطقه فندوقلو پیشنهاد می‌شود از عوامل مدیریتی و انسانی که تأثیر به‌سزایی در پویایی کربن آلی خاک به‌خصوص در اراضی زراعی دارد نیز به‌عنوان متغیرهای کمکی بهره گرفته شود.

### نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که مدل شبکه عصبی مصنوعی دارای دقت بیش‌تری در برآورد میزان تراکم کربن آلی خاک نسبت به مدل رگرسیون خطی چندمتغیره در هر دو کاربری مورد مطالعه است به نحوی که روش شبکه عصبی مصنوعی توانست در کاربری‌های مرتع و زراعی به‌ترتیب ۷۱ و ۸۲ درصد از تغییرات تراکم کربن آلی خاک را توجیه نماید. نتایج آنالیز حساسیت مدل توسعه یافته به وسیله شبکه عصبی مصنوعی نشان داد که ارتفاع و رطوبت در نقطه پژمردگی، مهم‌ترین عامل‌های مؤثر بر مقدار تراکم کربن آلی خاک به ترتیب در کاربری‌های مرتع

### منابع

1. Lal, R. 2004a. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304: 1623-1627.
2. Geng, C., Haudin, C.S., Zhang, Y., Lashermes, G., Houot, S., and Garnier, P. 2015. Modeling the release of organic contaminants during compost decomposition in soil. *Chemosphere*, 119: 423-431.
3. Baldock, J.A. 2007. Composition and cycling of organic carbon in soil. *Nutrient Cycling in Terrestrial Ecosystems*, 10: 1-35.
4. Davidson, E.A., and Janssens, I.A. 2006. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature*, 440: 165-173.
5. Liu, T., Zhang, H., and Shi, T. 2020. Modeling and predictive mapping of soil organic carbon density in a small-scale area using geographically weighted regression kriging approach. *Sustainability*, 12: 22. 1-12.
6. Wang, S.X., Liang, X.Q., Luo, Q.X., Fan, F., Chen, Y.X., Li, Z.Z., Sun, H.X., Dai, T.F., Wan, J.N., and Li, X.J. 2012. Fertilization increases paddy soil organic carbon density. *Journal of Zhejiang University Science B*, 13: 4. 274-282.
7. Batjes, N.H. 1996. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*, 47: 151-163.
8. Eswaran, H., van Den Berg, E., and Reich, P. 1993. Organic carbon in soils of the world. *Soil Science Society of America Journal*, 57: 1. 192-194.
9. Post, W.M., Emanuel, W.R., Zinke, P.J., and Stangenberger, A.G. 1982. Soil carbon pools and world life zones. *Nature*, 298: 156-159.
10. Bagherifam, S., Delavar, M.A., Keshavarz, P., and Karimi, A.R. 2021. A review of soil carbon measurement methods: Experimental considerations, advantages and disadvantages. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 10: 4. 1-30. (In Persian)
11. Smith, P. 2004. Soils as carbon sinks-the global context. *Soil Use Management*, 20: 212-218.
12. Guo, L.B., and Gifford, R.M. 2002. Soil carbon stocks and land use change. *Global Change Biology*, 8: 345-360.
13. Göl, C. 2017. Assessing the amount of soil organic matter and soil properties in high mountain forests in Central Anatolia and the effects of climate and altitude. *Journal of Forest Science*, 63: 199-205.

14. Mohamed, E.S., Abu-hashim Mohamed, AbdelRahman, M.A.E., Schütt, B., and Lasaponara, R. 2019. Evaluating the effects of human activity over the last decades on the soil organic carbon pool using satellite imagery and GIS techniques in the Nile delta area, Egypt. *Sustainability*, 11: 9. 2644.
15. Jakšić, S., Ninkov, J., Milic, S., Vasin, J., Živanov, M., Jakšić, D., and Komlen, V. 2021. Influence of slope gradient and aspect on soil organic carbon content in the region of Niš, Serbia. *Sustainability*, 13: 8332. 1-17.
16. Niu, X., Liu, C., Jia, X., and Zhu, J. 2021. Changing soil organic carbon with land use and management practices in a thousand-year cultivation region. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 322: 16-28.
17. Witzgall, K., Vidal, A., Schubert, D.I., Höschen, C., Schweizer, S.A., Buegger, F., Pouteau, V., Chenu, C., and Mueller, C.W. 2021. Particulate organic matter as a functional soil component for persistent soil organic carbon. *Nature Communications*, 12: 4115. 1-10.
18. Bongiovanni, M.D., and Lobartini, J.C. 2006. Particulate organic matter, carbohydrate, humic acid contents in soil macro-and microaggregates as affected by cultivation. *Geoderma*, 136: 3-4. 660-665.
19. Pilevar Shahri, A.R., Ayoubi, Sh., and Khademi, H. 2011. Comparison of artificial neural network (ANN) and multivariate linear regression (MLR) models to predict soil organic carbon using digital terrain analysis (Case study: Zargham Abad Semirom, Isfahan proviance). *Journal of Water and Soil*, 24: 6. 1151-1163. (In Persian)
20. Moghimi, S., Parvizi, Y., Mahdian, M.H., and Masih Abadi, M.H. 2014. Application of multiple linear regression and artificial neural networks to simulate the effects of topographic factors on organic carbon variations. *Watershed Engineering and Management*, 6: 4. 312-322. (In Persian)
21. Besaltpour, A.A., Ayoubi, Sh., and Hajabbasi, M.A. 2015. Determination of the linear and non-linear relationships between soil erodibility factor and effective parameters on it in a mountainous watershed with severe soil erosion. *Environmental Erosion Research*, 4: 16. 49-63. (In Persian)
22. Menhaj, M.B. 2002. Basics of neural networks. Amir Kabir University of Technology Publications. 715p. (In Persian)
23. Falahatkar, S., Hosseini, S.M., Ayoubi, Sh., and Salman Mahiny, A. 2013. The impact of primary terrain attributes and land cover/use on soil organic carbon density in a region of northern Iran. *Journal of Water and Soil*, 27: 5. 963-972. (In Persian)
24. Guo, P.T., Wu, W., Sheng, Q.K., Li, M.F., Liu, H.B., and Wang, Z.Y. 2013. Prediction of soil organic matter using artificial neural network and topographic indicators in hilly areas. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 95: 3. 333-344.
25. Javan, F., Hasani Moghaddam, H., and Torabi, H. 2020. evaluation of deforestation process using artificial neural networks algorithm (Case study: Namin county hazelnut forests). *Environment and Interdisciplinary Development*, 5: 69. 63-74. (In Persian)
26. Civil and organizing the forest area of Fondoqloo. 2011. Natural Resources Organization of Ardabil Province. 230p. (In Persian)
27. Shields, M.D., and Zhang, J. 2016. The generalization of Latin hypercube sampling. *Reliability Engineering and System Safety*, 148: 96-108.
28. Kemper, W.D., and Rosenau, R.C. 1986. Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods. *Agronomy Monograph No. 9* (2<sup>nd</sup> Edition).
29. Benton Jones, Jr. J. 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRC Press. 363p.
30. Campbell, D.J., and Henshall, J.K. 2001. Bulk density. P 315-348. In K.A. Smith and C.M. Mullins, (Eds). *Soil and environmental analysis: Physical methods*, 2<sup>nd</sup> ed. Dekker, New York.



31. Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal*, 54: 464-465.
32. Blake, G.R., and Hartge, K.H. 1986. Bulk density. P 363-382. In: A. Klute, (Ed.) *Methods of Soil Analysis, Part 1-Physical and Mineralogical Methods*, 2<sup>nd</sup> Edition, *Agronomy Monograph 9*, American Society of Agronomy- Soil Science Society of America, Madison.
33. Hazelton, P., and Murphy, B. 2007. *Interpreting soil test results*. CSIRO publishing. 169p.
34. Carter, M.R., and Gregorich, E.G. 2008. *Soil sampling and methods of analysis*. Canadian Society of Soil Science. CRC Press, 1224p.
35. De Vos, B., Lettens, S., Muys, B., and Deckers, J.A. 2007. Walkley-Black analysis of forest soil organic carbon: recovery, limitations and uncertainty. *Soil Use and Management*, 23: 221-229.
36. Matejovic, I. 1995. Total nitrogen in plant-material determined by means of dry combustion-a possible alternative to determination by Kjeldahl digestion. *Communications Soil Science Plant Analysis*. 26: 2217-2229.
37. Fenton, G., Helyar, K.R., and Orchard, P. 1993. *Soil acidity and liming*. NSW Agriculture Agfact AC 19.
38. Fang, X., Xue, Z., Li, B., and An, S. 2012. Soil organic carbon distribution in relation to land use and its storage in a small watershed of the Loess Plateau, China. *Catena*, 88: 6-13.
39. <https://www.ncc.gov.ir/>
40. <http://www.nsiswri.ir/>
41. <https://www.earthexplorer.usgs.gov/>
42. <https://www.nasa.gov/>
43. Muchena, R. 2017. Estimating soil carbon stocks in a dry miombo ecosystem using remote sensing. *Chesa Forest Research Station*, 6: 2-6.
44. Pandey, C.B., Chaudhari, S.K., Dagar, J.C., Singh, G.B., and Singh, R.K. 2010. Soil N mineralization and microbial biomass carbon affected by different tillage levels in a hot humid tropic. *Soil and Tillage Reserch*, 110: 33-41.
45. Barsi, J.A., Schott, J.R., Hook, S.J., Raqueno, N.G., Markham, B.L., and Radocinski, R.G. 2014. Landsat-8 thermal infrared sensor (TIRS) vicarious radiometric calibration. *Remote Sensing*, 6:11. 11607-11626.
46. Yu, X., Guo, X., and Wu., Z., 2014. Land surface temperature retrieval from Landsat 8 TIRS-comparison between radiative transfer equation-based method, split window algorithm and single channel method. *Remote Sensing*, 6: 9829-9852.
47. <https://www.rsgisc.com/>
48. Zevebergen, L.W., and Thorne, C.R. 1987. Quantitative analysis of land surface topography. *Earth Surface Processes and Landforms*, 12: 47-56.
49. Moore, I.D., Gessler, P.E., Nielsen, G.A., and Peterson, G.A. 1993. Soil attribute prediction using terrain analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 57: 443-452.
50. Waga, K., Malinen, J., and Tokola, T. 2020. A topographic wetness index for forest road quality assessment: An application in the lakeland region of Finland. *Forests*, 11: 11. 1-13.
51. Ortiz-Rodríguez, J.M., Martínez-Blanco, M.R., Viramontes, J.M.C., and Vega-Carrillo, H.R. 2013. Robust design of artificial neural networks methodology in neutron spectrometry. P 83-111. In: K. Suzuki (ed) *Artificial neural networks-architectures and applications*. InTech.
52. Rezaei, A., Mahdavi, M., Lux, K., Feiz Nia, S., and Mahdian, M.H. 2007. Regional modeling of peak discharges under the watersheds of Sefidrood Dam using artificial neural network, *Journal of Water and Soil Science*, 11: 1. 3-25. (In Persian)
53. Shirani, H. 2017. *Artificial neural network with an application in agricultural and natural resource sciences*. Publication of Valii-e-Asr, University of Fafsanjan. 320p. (In Persian)
54. Liu, J., Goering, C.E., and Tian, L. 2001. A neural network for setting target yields, *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 44: 705-713.

55. Hosseini, M., Movahedi Naeini, S.A., Dehghani, A.A., and Khaledian, Y. 2016. Estimation of soil mechanical resistance parameter by using particle swarm optimization, genetic algorithm and multiple regression methods. *Soil and Tillage Research*, 157: 32-42.
56. Geissen, V., Sánchez-Hernández, R., Kampichler, C., Ramos-Reyes, R., Sepulveda-Lozada, A., Ochoa-Goana, S., de Jong, B.H., Huerta-Lwanga, E., and Hernández-Daumas, S. 2009. Effects of land use change on some properties of tropical soils-an example from southeast Mexico. *Geoderma*, 151: 87-97.
57. Templeton, G.F. 2011. A two-step approach for transforming continuous variables to normal: implications and recommendations for IS research. *Communications of the Association for Information Systems*, 28: 4. 41-58.
58. Ingleby, H.R., and Crowe, T.G. 2001. Neural network models for predicting organic matter content in Saskatchewan soils. *Canadian Biosystems Engineering*, 43: 71-75.
59. Mohamadi, J. 2001. A review of geostatic foundations and its application in soil science. *Journal of Water and Soil*, 1: 99-121. (In Persian)
60. Munda, S., Bhaduri, D., Mohanty, S., Chatterjee, D., Tripathi, R., Shahid, M., Kumar, U., Bhattacharyya, P., Kumar, A., Adak, T., Jangde, H.K., and Nayak, A.K. 2018. Dynamics of soil organic carbon mineralization and C fractions in paddy soil on application of rice husk biochar. *Biomass and Bioenergy*, 115: 1-9.
61. Wilding, L. 1985. Spatial variability, its documentation, accommodation and implication to soil surveys. P 166-194. In: D. R. Nielsen and J. Bouma (Eds.), *Soil Spatial Variability*. Pudoc, Wageningen, the Netherlands.
62. Mahmoudzadeh, H., Matinfar, H.R., and Taghizadeh-Mehrjerdi, R. 2021. Digitization of soil organic carbon with artificial neural network and multivariate linear regression in Kurdistan province. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 10: 4. 77-98. (In Persian)
63. Ceddia, M.B., Vieira, S.R., Villela, A.L.O., Mota, L., Dos, S., Anjos, L.H.C. Dos, and Carvalho, D.F. de. 2009. Topography and spatial variability of soil physical properties. *Scientia Agricola*, 66: 3. 338-352.
64. Norouzi, M., Ayoubi, Sh., Jalalian, A., Khademi, H., and Dehghani, A.A. 2009. Predicting rainfed wheat quality and quantity by artificial neural network using terrain and soil characteristics. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B - Soil and Plant Science*, 60: 4. 341-352.
65. Terra, J.A., Shaw, J.N., Reeves, D.W., Raper, R.L., van Santen, E., and Mask, P.L. 2004. Soil carbon relationships with terrain attributes, electrical conductivity, and a soil survey in a coastal plain landscape, *Soil Science*, 169: 819-831.
66. Zhong, B., and Xu, Y.J. 2009. Topographic effects on soil organic carbon in Louisiana watersheds. *Environmental Management*, 43: 664-672.
67. Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., and Deering, D.W. 1973. Monitoring Vegetation systems in the Great Plains with ERTS. 3<sup>rd</sup> ERTS Symposium, NASA SP-351, Washington DC, 10-14 December, pp. 309-317.
68. Florinsky, I.V. 2012. Digital terrain analysis in soil science and geology, Elsevier/Academic.
69. Mitasova, H., Hofierk, J., Zlocha, M., and Iverson, L. 1996. Modelling topographic potential for erosion and deposition using GIS. *Geographical Information System*, 10: 5. 629-641.
70. Stakland, S.K. 2010. Effect of mica content on surface infiltration of soils in northwestern Kern County, California. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree Utah State University.
71. Ke, Y., Im, J., Lee, J., Gong, H., and Ryu, Y. 2015. Characteristics of Landsat 8 OLI-derived NDVI by comparison with multiple satellite sensors and insitu observations. *Remote Sensing of Environment*, 164: 298-313.

72. Dontree, S. 2010. Relation of land surface temperature (LST) and land use/land cover (LULC) from remotely sensed data in Chiang Mai-Lamphun basin. In SEAGA conference.
73. Jamali, Z., Ownegh, M., and Salman Mahini, A. 2019. Earth's surface temperature analysis with land use and Normalized Difference Vegetation Index in Gorgan plain. *Spatial Planning*, 23: 3. 175-194. (In Persian)
74. Jobbágy, E.G., and Jackson, R.B. 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications*, 10: 423-436.
75. Lorenz, K. 2013. Ecosystem carbon sequestration. P 39-62. In: R. Lal, K. Lorenz, R.F. Hüttl, B.U. Schneider, and J. von Braun, (Eds.), *Ecosystem services and carbon sequestration in the biosphere*. Springer Science+Business Media Dordrecht.
76. Mueller, T.G., and Pierce, F.J. 2003. Soil carbon maps: Enhancing spatial estimates with simple terrain attributes at multiple scales. *Soil Science Society American Journal*, 67: 258-267.
77. Fissore, C., Dalzell, B.J., Berhe, A.A., Voegtli, M., Evans, M., and Wu, A. 2017. Influence of topography on soil organic carbon dynamics in a Southern California grassland. *Catena*, 149: 140-149.
78. Jamshidi, M., Delavar, M.A., Taghizadehe-Mehrjerdi, R. and Brungard, C. 2019. Evaluating digital soil mapping approaches for 3D mapping of soil organic carbon. *Iranian Journal of Soil Research*, 33: 2. 227-240. (In Persian)
79. Zhang, Y., Guo, L., Chen, Y., Shi, T., Luo, M., Ju, Q., and Wang, S. 2019. Prediction of soil organic carbon based on Landsat 8 monthly NDVI data for the Jiangnan Plain in Hubei province, China. *Remote Sensing*, 11: 14. 1-26.
80. Bhunia, G.S., Shit, P.K., and Pourghasemi, H.R. 2017. Soil organic carbon mapping using remote sensing techniques and multivariate regression model. *Geocarto International*, 56: 1-12.
81. Buschiazzo, D.E., Quiroga, A.R., and Stahr, K. 1991. Patterns of organic matter accumulation in soil of the Semiarid Argentinean Pampas. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 154: 437-441.
82. Zheng, J.J., He, X.B., Walling, D., Zhang, X.B., Flanagan, D., and Qi, Y.Q. 2007. Assessing soil erosion rates on manually-tilled hillslopes in the Sichuan hilly basin using <sup>137</sup>Cs and <sup>210</sup>Pbex measurements. *Pedosphere*, 17: 3. 273-283.
83. Guo, P.T., Wu, W., Liu, H.B., and Li, M.F. 2011. Effects of land use and topographical attributes on soil properties in an agricultural landscape. *Soil Resource*, 49: 7. 606-613.
84. Schaap, M.G., Leij, F.J., and Van Genuchten M.T.H. 2001. Rosetta, a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. *Journal of Hydrology*, 251: 163-176.
85. Singh, Y., Singh, B., and Timsina, J. 2005. Crop residue management for nutrient cycling and improving soil productivity in rice-based cropping systems in the tropics. *Advances in Agronomy*, 85: 269-407.
86. Das, S.K., Reddy, S.G., Sharma, K.L., Vittal, K.P.R., Venkateswarlu, B., Reddy, M.N., and Reddy, Y.V.R. 1993. Prediction of nitrogen availability in soil after crop residue incorporation. *Fertilizer research*, 34: 209-215.
87. Najafi, Z., Golchin, A., and Shafiei, S. 2016. The effects of soil moisture levels on dynamics of organic carbon and nitrogen from alfalfa and barley residues. *Journal of Water and Soil Conservation*, 23: 4. 171-186. (In Persian)
88. Podwojewski, P., Poulenard, J., Nguyet, M.L., de Rouw, A., Nguyen, V.T., Pham, Q.H., and Tran, D.T. 2011. Climate and vegetation determine soil organic matter status in an alpine inner-tropical soil catena in the Fan Si Pan Mountain, Vietnam. *Catena*, 87:2. 226-239.
89. Bian, Z., Guo, X., Wang, S., Zhuang, Q., Jin, X., Wang, Q., and Jia, S. 2020. Applying statistical methods to map soil organic carbon of agricultural lands in northeastern coastal areas of China. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 66:4. 532-544. 1-13.

