

## نقشه برداری رقومی شاخص تناسب اراضی گندم دیم (مطالعه موردی: قروه، استان کردستان)

لیلا رسولی<sup>۱</sup>، کمال نبی‌اللهی<sup>۲\*</sup> و روح الله تقی‌زاده مهرجردی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، کردستان، ایران

۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، کردستان، ایران

۳- استادیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران

تاریخچه مقاله	چکیده
دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۲۲ پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۱۱/۱۵	ارزیابی تناسب اراضی برای افزایش تولید و برنامه‌ریزی یک سیستم کشاورزی پایدار ضروری است. گندم یکی از مهمترین محصولات استراتژیک می‌باشد که نقشه تناسب اراضی می‌تواند مناسب‌ترین واحد اراضی را برای کشت آن مشخص کند. هدف از این پژوهش نقشه برداری رقومی شاخص تناسب اراضی برای گندم دیم می‌باشد. بدین منظور در منطقه‌ای به وسعت ۶۵۰۰ هکتار در استان کردستان ابتدا نقشه اجزاء واحد اراضی به روش فیزیوگرافی ماهر تهیه و سپس بر اساس آن ۱۷ پروفیل شاهد در هر اجزاء واحد اراضی حفر و تشریح شدند. همچنین ۱۰۵ نمونه اوگر در سه عمق (۰-۲۰، ۲۰-۵۰ و ۵۰-۱۰۰ سانتی-متری) برداشت شد. در کلیه نمونه‌های خاک خصوصیات بافت، اسیدیته، کربن آلی، آهک، گچ، ESP، هدایت الکتریکی و سنگریزه اندازه‌گیری شد. با استفاده از خصوصیات اقلیم، خاک و توپوگرافی شاخص تناسب اراضی گندم دیم محاسبه گردید. نهایتاً نقشه تناسب اراضی رقومی با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی و داده‌های کمکی تهیه گردید. نتایج نشان داد که منطقه دارای حدود ۳۶/۶۱ درصد کلاس N2، ۴۰/۳۲ درصد کلاس N1 و ۲۲/۵۳ درصد کلاس S3 می‌باشد. محدودیت‌های اصلی منطقه برای کشت گندم عمدتاً، توپوگرافی، خاک کم عمق، سنگریزه و pH می‌باشد. نتایج اعتبارسنجی مدل بر اساس شاخص‌های آماری میانگین ریشه مربعات خطا، میانگین خطا و ضریب تبیین (به ترتیب ۶/۷۵، ۴/۳۱ و ۰/۶۸) نشان دهنده دقت مناسب مدل می‌باشد.

### کلمات کلیدی:

روش پارامتریک،

پدومتری،

داده‌های کمکی،

شبکه عصبی مصنوعی

\*عهده‌دار مکاتبات:

Email: k.nabiollahi@uok.ac.ir

### مقدمه

شده جهان، خصوصاً جهان سوم پیشنهاد نموده‌اند که با توجه به محدودیت منابع، افزایش میزان تولید در واحد سطح بیشتر مورد توجه قرار گرفته است (۲۴). لذا یکی از راه‌های افزایش تولید در واحد سطح، شناسایی ظرفیت تولید اراضی و انتخاب کاربری متناسب با این ظرفیت می‌باشد به طوری که همگام با حفظ باروری اراضی، سود-آوری اراضی افزایش یافته و کلاس تناسب اقتصادی ارتقاء

تولیدات کشاورزی زیربنای بقا و توسعه بشری است و از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشند (۳۶). از طرفی رشد روزافزون جمعیت و تشدید فشار بر منابع خاکی موجب تنزل بیش‌ازپیش کیفیت برخی اراضی کشاورزی و کاهش سطح اراضی قابل کشت شده‌است. راه‌حل‌های متعددی برای علاج عدم توازن رشد جمعیت و میزان غذای تولید

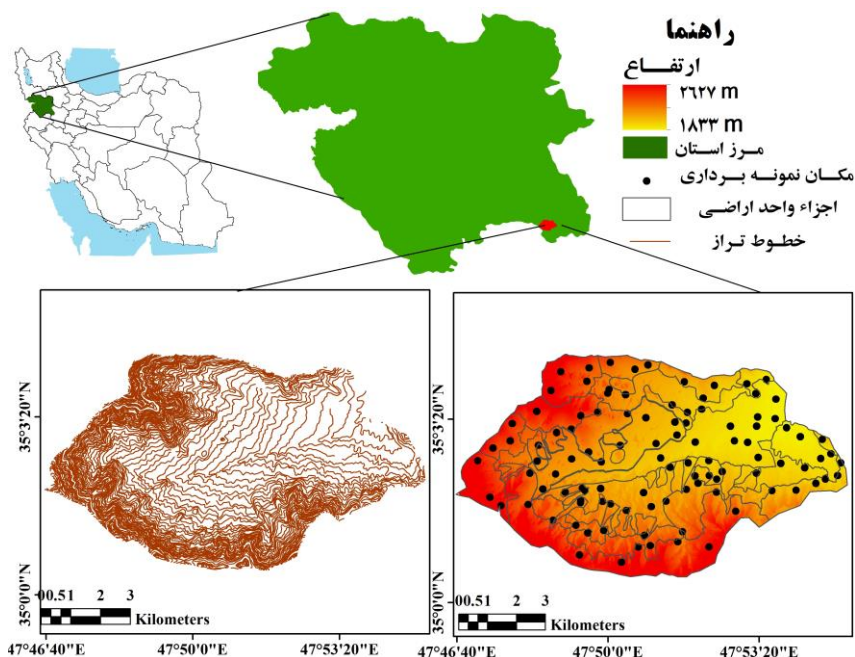
ژئومورفولوژی و داده‌های تصاویر ماهواره‌ای هستند (۱،۱۱،۳۱،۳۲). شبکه عصبی مصنوعی (ANN)<sup>۱</sup> به عنوان یکی از معمول‌ترین تکنیک‌های نقشه برداری رقومی خاک با شبیه‌سازی و الهام از مطالعه سیستم مغز و شبکه عصبی موجودات زنده اشتقاق یافته است (۱۷). در این روش سعی می‌شود بر اساس روابط ذاتی میان داده‌ها، مدلی خطی یا غیرخطی بین متغیرهای مستقل و وابسته برقرار شود (۱۴). مدل شبکه عصبی مصنوعی توسط محققین مختلف در نقشه برداری رقومی خاک استفاده شده است (۳۳،۳۱،۲۱،۷). اگرچه تحقیقات مختلفی در زمینه نقشه برداری رقومی انجام شده است اما مطالعات نادری تا بحال در مورد نقشه برداری رقومی شاخص تناسب اراضی انجام شده است (۸،۱۳،۳۵). منطقه قروه یکی از قطب‌های مهم کشاورزی در استان کردستان و ایران است که نقشه شاخص تناسب اراضی جهت افزایش تولید محصولات و مدیریت بهینه اراضی و جلوگیری از تخریب آنها ضروری می‌باشد. لذا هدف از این پژوهش بررسی تناسب اراضی با استفاده از نقشه برداری رقومی شاخص تناسب اراضی در منطقه قروه کردستان می‌باشد.

### مواد و روش

#### محدوده مطالعاتی، نمونه برداری و آنالیزهای آزمایشگاهی

منطقه مورد مطالعه با وسعت ۶۵۰۰ هکتار بوده که در جنوب شرقی شهرستان قروه (شامل روستاهای مجیدآباد، نعمت‌آباد، ولی‌آباد، میهم‌علیا، میهم‌سفلی، میمنت‌آباد، شکرآباد) در استان کردستان واقع شده است (شکل ۱). ارتفاع بلندترین و پایین‌ترین نقطه ۱۹۲۰ و ۳۲۴۰ متر از سطح دریا است. متوسط بارندگی سالیانه ۳۶۹/۸ میلیمتر و متوسط درجه حرارت سالیانه ۱۰/۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. رژیم رطوبتی و حرارتی خاک منطقه به ترتیب زریک و مزیک می‌باشد. کاربری‌های اصلی منطقه شامل زراعت و مرتع می‌باشد.

یابد (۳۴). به منظور افزایش تولید هر محصولی در واحد سطح باید ظرفیت تولید اراضی انتخاب شده متناسب با نیازهای رویشی آن محصول باشد (۳۰). در این راستا ارزیابی تناسب اراضی یکی از مهم‌ترین روش‌های دست-یابی به کشاورزی پایدار است. در واقع تناسب اراضی، پتانسیل اراضی را برای استفاده‌های مورد نظر قبل از بکارگیری اراضی جهت بهره‌وری‌های خاص مورد مطالعه و بررسی قرار می‌دهد (۵). نقشه برداری شاخص تناسب اراضی با مشخص کردن مناطق با تناسب کم یا نامناسب، برای افزایش تولیدات زراعی و مدیریت بهینه اراضی ضروری می‌باشد. بررسی تغییرات مکانی شاخص تناسب اراضی به شیوه‌های مرسوم به خصوص در مناطق با وسعت زیاد، پرهزینه و زمان‌بر است. لذا برای پایش و بررسی تغییرات مکانی شاخص تناسب اراضی در سطح گسترده نیاز به روش‌هایی می‌باشد که بتواند براحتی سطح گسترده‌ای از مناطق را پایش کرده و روند شاخص تناسب اراضی را مورد بررسی قرار دهد. یکی از راه‌کارها استفاده از تکنیک نقشه برداری رقومی خاک است. در نقشه برداری رقومی خاک، خصوصیات بر اساس ارتباط-شان با متغیرهای محیطی به صورت رقومی نقشه برداری می‌شوند (۱۵). نقشه برداری رقومی در واقع توسعه‌ی یک مدل عددی یا آماری از رابطه‌ی بین متغیرهای محیطی و خصوصیات خاک است که برای داده‌های جغرافیایی به-منظور تولید نقشه رقومی خاک به کار می‌رود. در نقشه-برداری رقومی خاک رابطه‌ی تغییرات یک ویژگی خاک با عوامل خاک‌سازی، همچون توپوگرافی، آب‌وهوا، کاربری اراضی، پوشش گیاهی و نوع خاک بیان می‌شود به این صورت که در هر موقعیت مشاهده‌ی خاک، یک سری متغیرهای محیطی وجود دارد که همبستگی بالایی با خصوصیات خاک دارند که یافتن این ارتباط و پیش‌بینی خصوصیات خاک در نقاط دیگر، منجر به تهیه نقشه رقومی ویژگی موردنظر در تمام منطقه مورد مطالعه می-گردد (۱۵). مهم‌ترین متغیرهای محیطی استفاده شده در نقشه برداری رقومی، نقشه مدل رقومی ارتفاع، نقشه



شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعاتی

Figure (1) Location of the study area

## محاسبه شاخص تناسب اراضی

برای ارزیابی خصوصیات اقلیمی مقدار درجه حرارت و بارندگی در دوره سیکل رشد محصولات مورد مطالعه بررسی شد. برای محصولات مورد نظر به طور جداگانه با جداول نیازهای اقلیمی گندم دیم (۱۰) انطباق داده شد و درجه هر یک از پارامترهای اقلیمی محاسبه شد. سپس درجات نهایی محاسبه شده برای خصوصیات اقلیمی به فرمول ریشه دوم محاسبه شاخص اقلیم وارد شده (رابطه ۱) و شاخص نهایی اقلیم برآورد و درجه نهایی اقلیم محاسبه گردید. سپس به کمک معادلات (۲) و (۳) شاخص اقلیمی به مقیاس درجه تناسب تبدیل گردید.

رابطه (۱)

$$CI = Rmin \sqrt{\frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times \frac{C}{100} \times \dots}$$

Rmin مشخصه‌ای اقلیمی با درجه حداقل A, B, C درجات اختصاص داده شده به سایر مشخصه‌های دیگر اقلیمی است.

رابطه (۲)

## نمونه برداری خاک و آنالیزهای آزمایشگاهی

در این پژوهش ابتدا نقشه اجزاء واحد اراضی به روش سنتی (روش فیزیوگرافی ماهلر) با استفاده از نقشه توپوگرافی، عکس‌های هوایی و تصویر ماهواره‌ای تهیه گردید. سپس بر اساس نقشه اجزاء واحدهای اراضی، ۱۰۵ اوگر (در سه لایه تا عمق ۱۰۰ سانتی متر ۰-۲۰، ۲۰-۵۰ و ۵۰-۱۰۰ سانتی متری) نمونه برداری شد. (شکل ۱). علاوه بر این در هر یک از اجزاء واحدهای اراضی یک پروفیل و جمعا ۱۷ پروفیل حفر، تشریح طبقه‌بندی شدند (۲۸). در نمونه‌های خاک پس از هوا خشک شدن و عبور از الک ۲ میلی متری، هدایت الکتریکی و اسیدیته در عصاره گل اشباع به ترتیب با دستگاه‌های هدایت سنج الکتریکی (۱۶) و pH متر (۲۶)، کربنات کلسیم معادل به روش حجم سنجی (۲۹)، کربن آلی به روش والکلی- بلک (۲۲)، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) به روش باور (۶)، بافت خاک به روش هیدرومتری (۹)، درصد سدیم تبدلی (ESP) از طریق نسبت سدیم تبدلی به ظرفیت تبادل کاتیونی و درصد سنگریزه به روش حجمی اندازه گیری شد. لازم به ذکر است که در منطقه میزان گچ صفر بود.

زمین شناسی، شیب و ارتفاع و غیره در مرزهای رقومی شده تهیه شد (شکل ۲ و جدول ۱).

### داده کمی

پارامترهای زمین نما شامل جهت شیب، ارتفاع، فاکتور LS<sup>۲</sup>، شاخص خیسسی، شاخص همواری دره با درجه تفکیک بالا<sup>۳</sup>، شیب، انحنا طولی، انحنا عرضی، شاخص همگرایی، شاخص بالای پشته با درجه تفکیک بالا<sup>۴</sup>، فاصله عمودی تا کانال و عمق دره و... در محیط سامانه جغرافیایی ساگا از نقشه مدل رقومی ارتفاع استخراج گردید (شکل ۱). همچنین از باندهای تصاویر ماهواره ای لندست با سنجنده ETM<sup>+</sup> (جولای ۲۰۱۷) به عنوان داده کمی استفاده گردید. علاوه بر این شاخص تعدیل شده خاک (SAVI)<sup>۵</sup> شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)<sup>۶</sup> و شاخص روشنایی (BI)<sup>۷</sup> نیز با استفاده از نرم افزار ArcGIS 10.3 از ترکیب باندها محاسبه گردید (روابط ۵، ۶ و ۷).

(رابطه ۵)

$$SAVI = \frac{NIR - RED}{(NIR + RED + L)} \cdot 1 + L$$

(رابطه ۶)

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{(NIR + RED)}$$

(رابطه ۷)

$$BI = \sqrt{Red^2 + Nir^2}$$

در این روابط NIR باند مادون قرمز، RED باند قرمز و L فاکتور تعدیل کننده اثر خاک (پوشش تنک برابر ۱، پوشش متوسط برابر ۰/۵ و پوشش انبوه ۰ یا ۰/۲۵) می باشد.

$$CR = 16.67 + 0.9CI \quad 25 > CI < 92.5$$

$$CR = 1.6CI \quad CI < 25 \quad (۳)$$

در این معادله ها CR درجه تناسب اقلیم و CI شاخص اقلیم می باشد.

همچنین خصوصیات خاک و توپوگرافی با جداول مربوط به نیازهای خاک و توپوگرافی مطابقت داده شد و درجه بندی گردید. (۱۰). در مرحله نهایی درجه مربوط به اقلیم همراه با درجات خصوصیات خاک و توپوگرافی با استفاده از فرمول ریشه دوم خیدر (رابطه ۴) ترکیب شده و شاخص اراضی محاسبه گردید.

$$LI = Rmin \sqrt{\frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times \frac{C}{100} \times \dots} \quad (۴)$$

Rmin مشخصه ای با درجه حداقل A, B, C درجات اختصاص داده شده به سایر مشخصه های دیگر است.

### نقشه برداری رقومی شاخص تناسب اراضی

#### داده های کمی

در نقشه برداری رقومی، علاوه بر داده های خاک نیاز به داده های کمی می باشد. در مطالعه حاضر، از دو سری داده کمی و کیفی به عنوان داده های کمی استفاده گردید.

#### داده کیفی

در منطقه مورد مطالعاتی نقشه اجزاء واحد اراضی به روش سنتی فیزیوگرافی ماهر تهیه گردید. ابتدا بر روی عکس های هوایی منطقه روکش شفافی قرار داده شد تا مرز تیپ های اراضی روی آن ها ترسیم شود. برای تفکیک تیپ های اراضی از سیستم استریوسکوپ برای تشخیص تفاوت ها استفاده شد. در مراحل بعد، عکس ها و روکش های وارد سامانه جغرافیایی شده و با استفاده از تصاویر ماهواره ای به روش ارتوفوتوژئورفرنسینگ<sup>۱</sup> زمین مرجع شده (۲۷) و مرزهای ترسیم شده بر روکش عکس ها رقومی شدند. سپس در نهایت نقشه اجزاء واحد اراضی با استفاده تأثیر دادن فاکتورهای دیگری همچون

2- LS factor

3- Multi-resolution valley bottom flatness

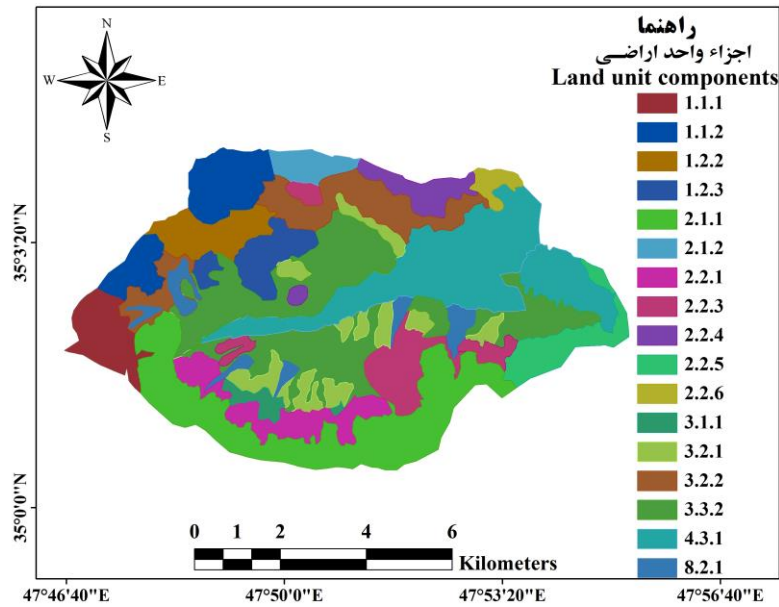
4 -Multi-resolution ridge top flatness

5- Soil adjusted vegetation index

6- Normalized difference vegetative index

7- Brightness index

1- Ortho-geo- referencing



شکل (۲) نقشه اجزاء واحد اراضی  
Figure (2) Land unit component map

جدول (۱) راهنمای نقشه اجزاء واحد اراضی  
Table (1) Legend of land unit component map

خاک Soil	سنگ شناسی Lithology	شیب Slope	تیپ Type	اجزاء واحد اراضی Land unit components
Lithic Xerorthent	منزوددیوریت، کوارتز مونزونیت	خیلی زیاد	کوه	1.1.2
Lithic Xerorthent	دیوریت و گابرو و دیوریت	خیلی زیاد	کوه	1.1.2
Lithic Xerorthent	گابرو و دیوریت	نسبتا زیاد	کوه	1.2.2
Lithic Xerorthent	گابرو و گابرو دیوریت	نسبتا زیاد	کوه	1.2.3
Lithic Xerorthent	منزوددیوریت کوارتز مونزونیت	زیاد	تپه	2.1.1
Lithic Xerorthent	گابرو و گابرو دیوریت	زیاد	تپه	2.1.2
Lithic Xerorthent	منزوددیوریت و کوارتز مونزونیت	نسبتا زیاد	تپه	2.2.1
Typic Calcixerept	گرانیت، آمفیبول، گرانیت، گرانو دیوریت و کوارتز مونزونیت	نسبتا زیاد	تپه	2.2.3
Typic Xerorthent	گرانیت	نسبتا زیاد	تپه	2.2.4
Lithic xerorthent	شیست	نسبتا زیاد	تپه	2.2.5
Typic Xerorthent	آمفیبول، شیست و مرمر	نسبتا زیاد	تپه	2.2.6
Typic Calcixerept	پادگانه‌های مرتفع	متوسط تا نسبتا زیاد	فلات	3.1.1
Typic Xerorthent	پادگانه‌های مرتفع	متوسط	فلات	3.2.1
Typic Calcixerept	گرانیت	متوسط	فلات	3.2.2
Typic Calcixerept	گرانیت	کم	فلات	3.3.2
Typic Haploxerept	رسوبات آبرفتی		دشت رودخانه-	5.3.1
Typic Xerorthent	آبرفت	شیب متوسط	ای فن	8.2.1

کوه (Mountain)، تپه (Hill)، فلات (Plateau)، دشت رودخانه‌ای (River plain)، فن (Fan)، خیلی زیاد (Very high)، زیاد (High)، نسبتا زیاد (Relatively high)، متوسط تا زیاد (Moderate to High)، متوسط (Moderate)، کم (Low)، منزوددیوریت (Monzodiorite)، کوارتز مونزونیت (Quartz monzonite)، گرانیت (Granite)، دیوریت (Diorite)، گابرو و دیوریت (Gabbro to Diorite)، آمفیبول (Amphibole)، گرانو دیوریت (Granodiorite)، شیست (Schist)، مرمر (Marble)، پادگانه‌های مرتفع (High level terrace)، رسوبات آبرفتی (Alluvial).

### مدل سازی و آماده سازی داده ها

مدل مناسب، با استفاده از ضریب تبیین (رابطه ۸)، شاخص های ریشه میانگین مربعات خطا (رابطه ۹) و میانگین خطای مدل (رابطه ۱۰) که واحد اندازه گیری شان درصد است تعیین گردید.

$$R^2 = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}} \quad (\text{رابطه ۸})$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_o - Z_p)^2} \quad (\text{رابطه ۹})$$

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_o - Z_p)^2 \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

که در آنها  $Z_0$  مقادیر پیش بینی شده،  $Z_p$  مقادیر مشاهداتی،  $n$  تعداد داده ها،  $x$  و  $y$  به ترتیب مقادیر مطلق مشاهداتی و پیش بینی شده،  $\bar{x}$  و  $\bar{y}$  به ترتیب مقدار متوسط مقادیر مشاهداتی و پیش بینی شده است.

### آنالیزهای آماری

قبل از آنالیزهای آماری نرمال بودن داده ها با استفاده از آزمون کولموگروف اسمیرنوف انجام شد. مقایسه میانگین متغیرها با استفاده از آزمون دانکن و تی در سطح ۱ درصد در محیط SPSS نسخه ۲۰ انجام گرفت.

### نتایج و بحث

در جدول ۲ خلاصه آماری خصوصیات اندازه گیری شده آمده است. میانگین هدایت الکتریکی خاک منطقه ۰/۴۴ دسی زیمنس بر متر است که نشان دهنده میزان کم هدایت الکتریکی خاک منطقه است. دامنه تغییرات آهک ۰ تا ۳۴ درصد می باشد که نشان دهنده مقدار کم تا نسبتاً زیاد آهک است. مقدار میانگین اسیدیته آن ۸/۲ می باشد که نشان دهنده بازی بودن pH خاک است. میانگین کربن آلی ۰/۷۵ درصد است که نشان دهنده مقدار نسبتاً کم کربن آلی خاک است. کلاس های بافت غالب در منطقه شامل لومی، لومرسی و لومرسی شنی می باشد.

برای پهنه بندی شاخص تناسب اراضی در این مطالعه شاخص تناسب اراضی به عنوان متغیر وابسته و تمام لایه های اطلاعاتی یا کمکی به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند و در فرآیند نقشه برداری رقومی مورد استفاده قرار گرفتند (۸۰ درصد کل داده ها برای آموزش و ۲۰ درصد برای آزمون). همچنین، تمام لایه های اطلاعاتی یا کمکی به فرمت رستری تهیه شد. تمامی اطلاعات (داده های خاک و متغیرهای محیطی) به فرمت نهایی txd تبدیل شده و برای انجام فرآیند مدل سازی در نرم افزار مربوطه آماده شدند. جهت برقراری ارتباط بین متغیرهای کمکی و تناسب اراضی از مدل شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه با یک لایه مخفی که دارای تابع فعال سازی سیگموئید در لایه مخفی و تابع فعال سازی خطی در لایه خروجی بوده و تعداد نرون های آن از دو تا ۱۰ نرون متغیر بوده استفاده شد. بهترین تعداد نرون به صورت سعی و خطا تعیین شد. به علت کارایی، سادگی و سرعت بالا در این تحقیق الگوریتم آموزشی لونیبرگ مارکوارت استفاده شد. در تحقیق حاضر از نرم افزار R برای ساختن شبکه عصبی مصنوعی و پیش بینی شاخص تناسب اراضی استفاده شد و در نهایت نقشه رقومی شاخص تناسب اراضی تهیه شد.

### ارزیابی مدل و نقشه

برای بررسی ارزیابی نقشه شاخص تناسب اراضی، اعتبارسنجی به روش اعتبارسنجی تقاطعی انجام گرفت. در این روش ارزیابی پایگاه داده ( $n$ ) به  $n-1$  موقعیت برای واسنجی و یک موقعیت برای اعتبارسنجی تقسیم می شود. در هر تکرار، مدل برای موقعیت حذف شده اجرا می گردد و متغیر حذف شده پیش بینی می گردد. این فرآیند برای همه موقعیت های نمونه برداری انجام می شود. سپس داده های تخمینی به دست آمده با مقادیر واقعی مقایسه می گردند و خطای پیش بینی محاسبه می شود.

جدول (۲) پارامترهای آماری مربوط به ویژگی‌های خاک

Table (2) Statistic parameters of soil properties.

میانگین (Mean)	حداکثر (Maximum)	حداقل (Minimum)	واحد (Unit)	خصوصیت (Characteristic)
26.64	44.36	7.60	درصد (%)	رس (Clay)
50.72	75.67	5.70	درصد (%)	شن (Sand)
22.62	64.16	5.21	درصد (%)	سیلت (Silt)
0.57	2.60	0.06	درصد (%)	کربن آلی (Organic Carbon)
17.09	34.00	0	درصد (%)	کربنات کلسیم معادل (Carbonate Calcium)
24.72	64	1.00	درصد (%)	سنگریزه (Gravel)
8.22	8.9	7.00		اسیدیته (pH)
0.44	1.51	0.02	دسی‌زیمنس بر متر (dSm <sup>-1</sup> )	هدایت الکتریکی (Electrical Conductivity)
14.33	37.82	4.97	سانتی‌مول بار بر کیلوگرم خاک (cmol+kg <sup>-1</sup> )	ظرفیت تبادل کاتیونی (Cation Exchange Capacity)
2.97	12.00	0.34	درصد (%)	درصد سدیم تبدالی (ESP)

## تحول خاک

در منطقه مطالعاتی افق‌های مشخصه سطح الارضی اکریک و افق‌های زیر سطحی کمبیک و کلسیک وجه تمایز خاک‌های مورد مطالعه می‌باشند. از جمله فرایندهای بارز خاک‌سازی در این منطقه می‌توان به حرکت و آبشویی کربنات کلسیم در نیمرخ خاک اشاره کرد. خاک‌ها منطقه را می‌توان در دو رده طبقه بندی کرد که عبارتند از: انتی‌سولز (Lithic Xerorthents و Typic Xerorthents) و اینسپتی-سولز (Typic Haploxerepts و Typic Calcixerepts). خاک‌هایی که در زمین‌نمای کوه، تپه و فن تشکیل شده‌اند عمدتاً جزو راسته انتی‌سولز بوده که تکامل پروفیلی چندانی ندارند که دلیل این موضوع شیب زیاد و عدم پایداری سطوح ژئومورفیک است. فرسایش و شیب زیاد و در نتیجه نداشتن فرصت کافی برای رسوبگذاری عواملی هستند که تکامل ناچیز این پروفیل‌ها را توجیه می‌نماید. خاک‌هایی که در فلات‌های کم شیب و دشت‌های رودخانه‌ای تشکیل شده‌اند در راسته اینسپتی‌سولز قرار گرفته‌اند.

## مدل سازی مکانی

نتایج مقادیر ریشه مربعات خطا، میانگین خطا و ضریب تبیین برای مدل شبکه عصبی مصنوعی به ترتیب ۶/۵۶، ۴/۸۱ و ۰/۶۸ بدست آمد (جدول ۳). مطابق با این نتایج مدل شبکه عصبی مصنوعی دارای دقت مناسب به منظور پیش‌بینی شاخص تناسب اراضی می‌باشد. در شکل ۳ نمودار پراکنش داده‌های پیش‌بینی شده برای مدل شبکه عصبی مصنوعی ارائه شده است. با توجه به این شکل، ملاحظه می‌شود بهترین خط برازش شده دارای زاویه‌ای تقریباً نزدیک به ۴۵ درجه بوده که نشان‌دهنده دقت نسبتاً خوب برآورد توسط مدل شبکه عصبی مصنوعی است. در نهایت نقشه شاخص تناسب اراضی با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی در محیط ArcGIS 10.3 تهیه شد که دامنه تغییرات آن بین ۳۴-۳/۷۲ می‌باشد (شکل ۴). محققین دیگری نیز از مدل شبکه عصبی مصنوعی در نقشه‌برداری رقومی استفاده کرده‌اند. مصلح و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه پیش‌بینی کلاس تناسب اراضی با استفاده از مدل‌های رگرسیون درختی، درختان تصمیم‌گیری تصادفی، شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون لاجستیک چندجمله‌ای نشان دادند

شاخص همواری دره با درجه تفکیک بالا (۱۷/۸۴)، فاکتور LS (۱۰/۶۵) و باند ۲ (۷/۸۱) بالاترین تأثیر را بر روی پیش‌بینی شاخص تناسب اراضی در منطقه مورد مطالعه دارند. این موضوع نشان‌دهنده آن است که در منطقه مورد مطالعه، پستی و بلندی از مهمترین فاکتورهای خاک‌سازی بوده و در توزیع مکانی شاخص تناسب اراضی مؤثر می‌باشد. دانگ و همکاران (۲۰۱۹) نیز جهت تهیه نقشه تناسب اراضی در ویتنام از مدل هیبریدی نروفازی استفاده کردند و نتایج آنها نشان داد که مهمترین متغیرهای کمکی شیب، ارتفاع، نسبت تبخیر تعرق به بارندگی، فرسایش خاک و راندمان آب بود (۸). نبی‌اللهی و همکاران (۲۰۱۹) در بررسی توزیع مکانی اندوخته کربن آلی خاک تحت کاربری‌های مختلف در منطقه مریوان استان کردستان نشان دادند که مهمترین متغیرهای کمکی جهت پیش‌بینی اندوخته کربن آلی خاک شاخص خیسی، شاخص همواری دره با درجه تفکیک بالا، شاخص بالای پشته با درجه تفکیک بالا، شاخص NDVI، باند ۳ و باند ۴ بودند (۲۰). آیکوس و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای تحت عنوان نقشه برداری کربن آلی خاک اروپا، ارتفاع، شیب، جهت شیب، شاخص خیسی توپوگرافی، دما، بارش، زمین‌شناسی، پوشش سطحی زمین و نقشه‌ی خاک را مهم‌ترین پارامترها گزارش کردند (۴).

به ترتیب مدل‌های درختان تصمیم‌گیری تصادفی و رگرسیون درختی توسعه‌یافته، شبکه‌های عصبی مصنوعی، رگرسیون لاجیستیک چندجمله‌ای، دارای بالاترین دقت می‌باشند (۱۸). اکبرپور و همکاران (۲۰۱۴) ارزیابی کارایی مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی در برآورد عملکرد محصول زعفران را مورد بررسی قرار دادند و نتایج نشان داد که مدل شبکه عصبی با ضریب همبستگی ۰/۹۵، میانگین قدرمطلق خطا ۰/۰۷ و میانگین مربعات خطا ۰/۲ از دقت مناسبی برای تخمین عملکرد زعفران برخوردار بود (۳). نوروزی و همکاران (۲۰۱۰) جهت پیش‌بینی بیومای، عملکرد دانه و پروتئین دانه گندم از مدل شبکه عصبی مصنوعی و پارامترهای سرزمین استفاده کردند و ضرایب همبستگی و میانگین مربعات خطا ۰/۹۵ و ۰/۰۲۲، ۰/۹۳ و ۰/۰۲۳ و ۰/۸۹ و ۰/۰۶۳ را به ترتیب برای آنها گزارش کردند (۲۳). نبی‌اللهی و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی توزیع مکانی شاخص کیفیت خاک در اراضی کشاورزی و مرتعی منطقه دهگلان استان کردستان از مدل شبکه عصبی مصنوعی استفاده کردند. نتایج آنها ضرایب همبستگی ۰/۴۸ تا ۰/۷۷ را جهت پیش‌بینی شاخص‌های مختلف کیفیت خاک نشان داد (۲۱).

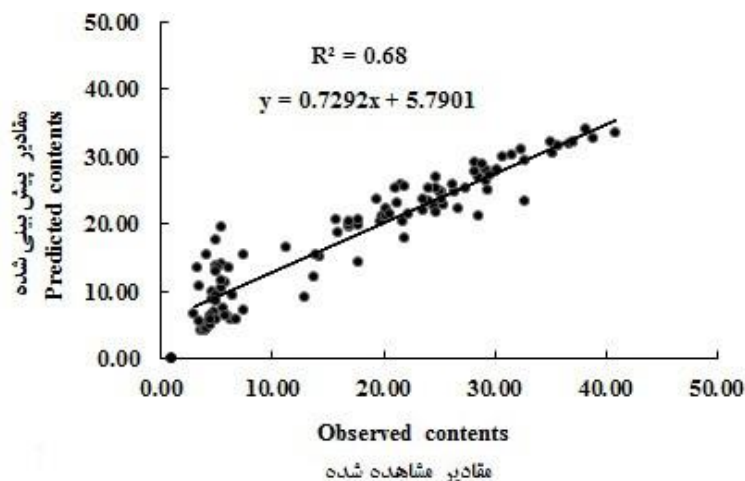
نتایج این تحقیق در منطقه مورد مطالعه نشان داد که متغیرهای کمکی شیب (۱۸/۳۸ درصد)، شاخص بالای پشته با درجه تفکیک بالا (۲۰/۹۲)، نقشه اجزاء واحد اراضی (۱۰/۴۲)، فاصله عمودی تا کانال (۱۳/۹۴)،

جدول (۳) نتایج مدل برای پیش‌بینی شاخص تناسب اراضی

Table (3) Results of models to estimate land suitability index

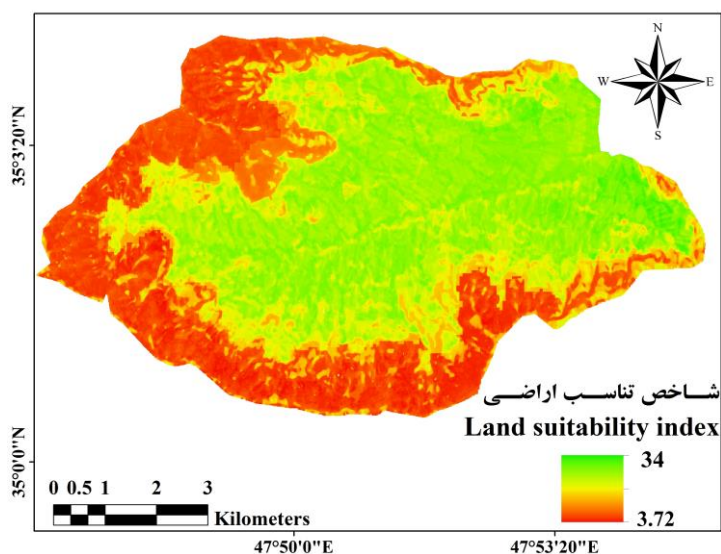
مدل	ریشه مربعات خطا	ضریب همبستگی	میانگین خطا
Model	Root mean square error	Correlation coefficient	Mean error
شبکه عصبی مصنوعی (Artificial neural network)	6.56	0.68	4.81





شکل (۳) نتایج مدل شبکه عصبی مصنوعی برای تخمین شاخص تناسب اراضی.

Figure (3) Results of artificial neural network model to estimate land suitability index.



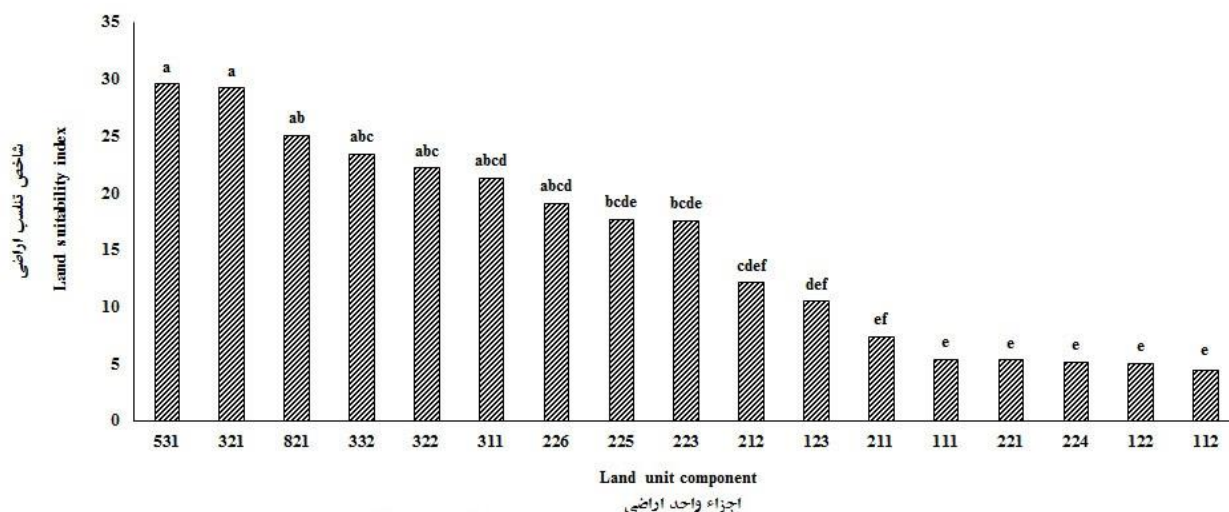
شکل (۴) نقشه شاخص تناسب اراضی گندم در منطقه مورد مطالعه

Figure (4) Wheat land suitability index map of the study are

(فیزیوگرافی دشت رودخانه‌ای و فلات کم شیب) ۵۳۱ و ۳۲۱ بیشترین بود که از لحاظ آماری هم این اختلاف معنی داری می‌باشد. این موضوع نشان‌دهنده آن است که در منطقه مورد مطالعه، پستی و بلندی از مهمترین فاکتورهای خاک‌سازی بوده و در توزیع مکانی شاخص تناسب اراضی و ویژگی‌های آن مؤثر می‌باشد، چرا که توپوگرافی هر منطقه یکی از ویژگی‌های مهم و تأثیرگذار بر ویژگی‌های اراضی آن منطقه می‌باشد. اراضی واقع در کوه‌ها و شیب‌تپه‌ها معمولاً کم عمق‌تر از اراضی واقع در اراضی پست‌تر هستند. رضایی و گیلکز (۲۰۰۵) نشان دادند که بسیاری از ویژگی‌های خاک

### تجزیه و تحلیل مکانی شاخص تناسب اراضی

مطابق با شکل ۴ کمترین مقادیر شاخص تناسب اراضی در مناطق مرتفع شمالی، شمال غربی و شمال شرقی در بالادست حوزه به دلیل برخورداری از شیب زیاد، عمق کم خاک و پوشش گیاهی نسبتاً کم تخمین زده شد. شکل ۵ به ترتیب میانگین شاخص تناسب اراضی را در واحدهای مختلف اجزاء واحد اراضی در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. میانگین مقادیر شاخص تناسب اراضی در اجزاء واحد اراضی با شیب زیاد (فیزیوگرافی کوه و تپه) شامل ۱۱۲، ۱۱۲، ۲۲۴، ۲۲۱، ۱۱۱، ۲۱۱، ۱۲۳ و ۲۱۲ و در اجزاء واحد اراضی با شیب کم خاک



شکل (۵) میانگین شاخص تناسب اراضی در اجزاء واحدهای اراضی منطقه مورد مطالعه (میانگین‌های که حروف مشترک دارند مطابق با آزمون داتکن در سطح ۱ درصد اختلاف معنی داری باهم ندارند (مقدار  $P > 0.05$ )).

Figure (5) Mean value of land suitability index in land units components of the study area. Means ( $n = 5$ ) that share a letter are not significantly different at the level 0.01 ( $p > 0.05$ ) according to Duncan's test.

زراعت می‌باشد و جهت اصلاح و بهبود کلاس‌های تناسب اراضی در منطقه عملیات اصلاح اراضی مناسب همچون تراس‌بندی، تسطیح خاک، گوگرددهی و جمع‌آوری سنگریزه جهت تولید و مدیریت پایدار اراضی توصیه می‌شود.

### نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر از مدل شبکه عصبی مصنوعی جهت بررسی تغییرات مکانی شاخص تناسب اراضی در منطقه قروه استان کردستان استفاده شد. کمترین میزان شاخص تناسب اراضی در اجزاء واحد اراضی با شیب زیاد، خاک کم عمق مشاهده شد. مهمترین متغیرهای کمکی در پیش‌بینی شاخص تناسب اراضی در منطقه شاخص همواری دره با درجه تفکیک بالا، شیب، شاخص بالای پشته با درجه تفکیک بالا، نقشه اجزاء واحد اراضی، فاصله عمودی تا کانال، فاکتور LS و باند ۲ می-باشد. نتایج بر اساس آماره‌های مطالعه شده نشان داد که مدل شبکه عصبی مصنوعی دارای دقت نسبتاً مناسب جهت پیش‌بینی شاخص تناسب اراضی می‌باشد. منطقه

مانند ضخامت خاک، ظرفیت نگهداری، درصد سنگریزه درشت، رس، شن، کربن آلی به طور معنی داری به شیب وابسته است (۲۵). درجه شیب با تأثیر بر میزان رواناب تولیدی، زهکشی، درجه حرارت خاک و میزان فرسایش آن، در فرآیند تشکیل خاک مؤثر است.

موسوی و همکاران (۲۰۱۷) هم در ارزیابی تناسب اراضی برای گندم در منطقه کوهین با استفاده از دو روش فائو و تحلیل سلسله مراتبی نشان دادند که کمترین میزان شاخص تناسب اراضی در اجزاء واحد اراضی مشاهده شد که دارای بیشترین میزان شیب، خاک کم عمق و سنگریزه‌دار بود (۱۹).

احمد و همکاران (۲۰۱۳) در منطقه والی تلیسانیا در جنوب ایتالیا ارزیابی تناسب اراضی را برای تولید گندم دریم با روش پارامتریک انجام دادند که نتایج نشان داد عوامل محدودکننده تولید گندم در این منطقه ماده آلی و توپوگرافی می‌باشد (۲).

به طور کلی منطقه مورد مطالعه به علت محدودیت، شیب زیاد، عمق کم خاک، مقدار سنگریزه و pH بالا دارای شاخص تناسب اراضی کم تا نه چندان زیاد برای

مورد مطالعه به علت محدودیت شیب زیاد، عمق کم خاک، سنگریزه و pH بالا دارای تناسب کم تا نامناسب جهت تولید و مدیریت پایدار اراضی توصیه می‌شود. برای زراعت می‌باشد و عملیات اصلاح اراضی مناسب

### منابع

1. Adhikari, K., Minasny, B., Greve, B. G., Greve, M. H. 2014. Constructing a soil class map of Denmark based on the FAO legend using digital techniques. *Geoderma*, 214-215: 101–113.
2. Ahmed, H.R., and Terribile, F. 2013. Introducing a New Parametric Concept for Land Suitability Assessment. *Environmental Science and Development*, 4(1): 15-19.
3. Akbarpour, A., Khorashadizadeh, O., Shahidi, A., Ghochanian, E. 2014. Performance evaluation of artificial neural network models in estimate production of yield saffron based on climate parameters. *Journal of Saffron Research*, 1(1): 27-35. (In Persian)
4. Aksoy, E., Yigini, Y., Montanarella, L. 2007 . Combining soil databases for topsoil organic carbon mapping in europe. *PLoS ONE*, 11(3):1-17.
5. Ayobi, Sh., and Jalalian, A. 2013. *Modern concepts in Soil Science (Pedometric)*. Isfahan University of Technology. Press, 385p. (In Persian)
6. Bower, C.A., Reitemeier, R.F., Fireman, M. 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil Science*, 73: 251-262.
7. Dai, P.F., Qigang, Z., Zhiqiang, L.V., Xuemei, W., Gangcai, W.L. 2014. Spatial prediction of soil organic matter content integrating artificial neural network and ordinary kriging in Tibetan Plateau. *Ecological Indicators*, 45: 184-194.
8. Dang, K.B., Burkhard, B., Windhorst, W., Muller, F. 2019. Application of a hybrid neural-fuzzy inference system for mapping crop suitability areas and predicting rice yields. *Environmental Modelling and Software*, 2019 (114): 166-180.
9. Gee, G.W., and Bauder, J.W. 1986. Particle size analysis, P 383-411. In: A. Klute. (ed). *Methods of Soil Analysis. Part 1: Physical and mineralogical methods*, second edition. American Society of Agronomy, Inc., Soil Science Society of America, Inc., Madison, WI.
10. Givi, J. 1997. *Qualitative Evaluation of Land Suitability for Field and Fruit Crops*. Iranian Soil and Water Research Institute, Tehran, Iran. (In Persian)
11. Jafari, A., Finke, P.A., De Wauw, J.V., Ayoubi, S., Khademi, H. 2012. Spatial prediction of USDA- great soil groups in the arid Zarand region, Iran: comparing logistic regression approaches to predict diagnostic horizons and soil types. *European Journal of Soil Science*, 63: 284–298.
12. Jiang, P., and Thelen, K.D. 2004. Effect of soil and topographic properties on crop yield in a north-central corn soybean cropping system. *Agronomy Journal*, 96: 252-258.

13. Kidd, D., Webb, M., Malone, B., Minasny, B., McBratney, A. 2015. Digital soil assessment of agricultural suitability, versatility and capital in Tasmania, Australia. *Geoderma Regional*, 6: 7–21.
14. Marcel, G. S., Feike, J.L., Martinus, T., van Genuchten, H. 1998. Neural Network Analysis for Hierarchical Prediction of Soil Hydraulic Properties. *Soil Science Society of America Journal*, 62: 847-855.
15. McBratney, A.B., Mendonça Santos, M.L., Minasny, B. 2003. On digital soil mapping. *Geoderma*, 117: 3-52.
16. McLean, E.O. 1982. Soil pH and lime requirement, P 199–224 .9. In: Page, A.L., Miller, R.H., and Keeney, D.R. (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 2 Chemical and Microbiological Properties*, 2nd ed. ASA-SSSA, Madison, WI.
17. Minasny, B., and McBratney, A. 2002. The method for fitting neural network parametric pedotransfer functions. *Soil Science Society of America Journal*, 66: 2. 352-361.
18. Mosleh, Z., Salehi, M. H., Fasakhodi, A. A., Jafari, A., Mehnatkesh, A., Borujeni, I. E. 2017. Sustainable allocation of agricultural lands and water resources using suitability analysis and mathematical multi-objective programming. *Geoderma*, 303: 52–59.
19. Mousavi, S. A., Sarmadian, F., Taati A. 2017. Comparison of AHP and FAO Methods for Land Suitability Evaluation of Rainfed Wheat in Kuhin Area. *J of Soil Research, (Soil and Water Science)*. 30(4): 367-377. (In Persian)
20. Nabiollahi, K., Eskandari, Sh., Taghizadeh-Mehrjardi, R., Kerry, R., Triantafilis, J. 2019. Assessing soil organic carbon stocks under land use change scenarios using random forest models. *Carbon Management*, 10(1): 63–77.
21. Nabiollahi, K., Golmohammadi, F., Taghizadeh-Mehrjardi, M., Kerry, R., Davari, M. 2018. Assessing the effects of slope gradient and land use change on soil quality degradation through digital mapping of soil quality indices and soil loss rate. *Geoderma*, 318: 482–494.
22. Nelson, D. W., and Sommers, L. E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. P 539-594 In: Page, A.L., R.H., D.R., Keeney (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 2-Chemical and Microbiological Properties*. ASA-SSSA, Madison, WI.
23. Norouzi, M., Ayoubi, S., Jalalian, A., Dehghani A. A. 2010. Predicting rainfed wheat quality and quantity by artificial neural network using terrain and Soil Characteristics. *Acta Agriculturae. Scandinavica, Soil and Plant Science*, 60: 241-352.
24. Prakash, T.N. 2003. December. Land suitability analysis for agricultural crops: a fuzzy multicriteria decision making approach. *ITC*.

25. Rezaei, S., and Gilkes, R. 2005. The effects of landscape attributes and plant community on soil physical properties in rangelands, *Geoderma*, 125: 167-176.
26. Rhoades, J.D. 1982. Soluble salts. In: Page, A.L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part II*, 2nd ed., ASA, Monograph No. 9, Madison, WI. pp: 167-179.
27. Rossiter, D.G., and Hengl, T. 2001. Technical note: Creating geometrically-correct photo- interpretation, photomosaics, and base maps for a projects GIS. Available at <http://www.itc.nl/rossiter>.
28. Soil Survey Staff, 2014. *Keys to Soil Taxonomy*, 12th edn. United States Department of Agriculture, Washington.
29. Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Leoppert, R.H., Soltanpour, P.N., Tabatabai, M.A., Johnston, G.T., summer, M.E. 1996. *Methods of Soil Analysis. Soil Science Society of American Journal. Book Series No. 5.* ASA and SSSA, Madison, Wisconsin, WI, USA.
30. Sys, C., Van Ranst, E., Debaveye, J. 1991. *Land Evaluation. Part I: Principles in land evaluation and crop production calculations.* Agricultural Publications No. 7. General Administration for Development Cooperation Place, Brussels, Belgium.
31. Taghizadeh-Mehrjardi, R., Nabiollahi, K., and Kerry, R. 2016. Digital mapping of soil organic carbon at multiple depths using different data mining techniques in Baneh region, Iran. *Geoderma*, 253-254: 67-77.
32. Taghizadeh-Mehrjardi, R. 2016. *Modern concepts in Soil Science (Pedometric).* Ardakan Univ. Press, 311p. (In Persian)
33. Taghizadeh-Mehrjardi, R., Nabiollahi, K., Minasny, B., Triantafilis, J. 2015. Comparing data mining classifiers to predict spatial distribution of USDA-family soil groups in Baneh region, Iran. *Geoderma*, 253-254: 67-77.
34. Tang, H. 1993. *Land suitability classification based on fuzzy set theory and modelling of land production potential of maize and winter wheat in different zones of China (Doctoral dissertation, Ghent University).*
35. Vasu, D., Srivastava, R., Patil, N.G., Tiwary, P., Chandran, P., Singh, S.K. 2018. A comparative assessment of land suitability evaluation methods for agricultural land use planning at village level. *Land Use Policy*, 79: 146-163.
36. Xu, E., and Zhang, H. 2013. Spatially-explicit sensitivity analysis for land suitability evaluation. *Applied Geography*, 45: 1-9.