

## Applying Traditional and Digital Approaches to Land Suitability Evaluation of Potato Crop in Jiroft Area of Kerman

Z. Masoudi<sup>1</sup>, A. Jafari<sup>2\*</sup> and M.H. Farpour<sup>3</sup>

1. Former Master Student, Department of Soil Science, College of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman
2. Assistant Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman
3. Professor Department of Soil Science, College of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman

Received: 7 November 2019

Accepted: 16 May 2020

### Abstract

**Introduction** Soil maps are a common source of information for land suitability studies. Land suitability studies compare land characteristics with the needs of land-use types and select the best land-use productivity types for cultivation. Land evaluation analysis is considered an interface between land resources and land-use planning and management. However, the conventional soil surveys are not usually useful for providing quantitative information about the spatial distribution of soil properties used in many environmental studies. Development of the computers and technology has led to develop the digital and quantitative approaches in soil studies. These new techniques rely on the relationships between soil and the environmental variables that explain the soil-forming factors or processes, and finally predict soil patterns on the landscape. Different types of machine learning approaches have been applied for digital soil mapping of soil classes. To our knowledge, most of the previous studies applied land suitability evaluation based on the conventional approach. Therefore, the main objective of this study was to assess the performance of digital mapping approaches for the qualitative land suitability evaluation in the Jiroft plain of Kerman province.

**Materials and Methods** An area in the Jiroft plain of Kerman Province, Iran, with latitude of 28°14' and 28° 26'N and longitude of 57° 30' and 57° 46'E was chosen. The study area is located in alluvial plain, gravelly alluvial fans, and eroded hills. Based on Google Earth images, geomorphology and topography maps and field survey, 62 pedons were selected and excavated, and soil samples were taken from different soil horizons. Then, soil physicochemical properties were determined. The climate information was obtained from the Jiroft Synoptic Station. The average of soil properties was determined by considering the depth weighted coefficient up to 100 centimeters for potato. Qualitative land suitability evaluation for potato was determined by matching the site conditions (climatic, hydrology, vegetation and soil properties) with studied crop requirement tables presented by Givi (5). Land suitability classes were determined using parametric method. Land suitability classes reflect degree of suitability as S1 (suitable),



S2 (moderately suitable), S3 (marginally suitable) and N (unsuitable). For the digital approach, multinomial logistic regression (MLR) was used to test the predictive power for mapping the land suitability evaluation. Terrain attributes (elevation, slope, aspect, wetness index and multiresolution valley bottom flatness (MrVBF)), remote sensing indices (normalized difference vegetation index (NDVI), perpendicular vegetation index (PVI), and ratio vegetation index (RVI)), geology map, and geomorphology map were used as auxiliary information. Finally, all of the environmental covariates were projected onto the same reference system (WGS 84 UTM 40 N). Training and validating the model was done by leave-one-out cross validation. The accuracy of the predicted soil classes was determined using error matrices and overall accuracy.

**Results and Discussion** The results showed that climatic conditions are suitable (S1) for potato. The most important limiting factors for potato growing in the study area were the gravel content, soil acidity and soil salinity. Land suitability classes S2 to N were determined based on land index in the study area. The modelling results demonstrated overall accuracy of 0.47 and 0.25 for class and subclass of land suitability, respectively. It seems that low number of soil samples for training and validating the model probably caused low accuracy compared to previous research. In addition, the overall accuracy decreased from class to subclass. The terrain attributes (slope and aspect), remote sensing indices (normalized difference vegetation index) and geomorphology map were the most important auxiliary information to predict the land suitability classes and subclasses. This indicates the importance of geomorphological processes for determining the land suitability class in the study area.

**Conclusion** Results suggest that land form, land position and geomorphology processes affect soil properties and land suitability classes as well. Therefore, variability of land suitability classes is a function of variability of soil properties. Digital approaches could help obtain the information with high resolution provided that the criteria of suitability are associated with variability of soil properties. Although digital mapping approaches increase our knowledge about the variation of soil properties, integrating the management of the sparse lands with different owners should be considered the first step for optimum soil and land use management.

**Keywords:** *Land suitability, Jiroft plain, Parametric approach, Multinomial logistic regression*

## رویکرد سنتی و رقومی ارزیابی تناسب اراضی برای محصول سیب‌زمینی در منطقه جیرفت کرمان

زهرا مسعودی<sup>۱</sup>، اعظم جعفری<sup>۲\*</sup> و محمدهادی فرپور<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهیدباهنر کرمان، ایران

۲- استادیار بخش خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهیدباهنر کرمان، ایران

۳- استاد بخش خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهیدباهنر کرمان، ایران

چکیده	تاریخچه مقاله
<p>در پژوهش حاضر، کارایی روش رقومی و سنتی در ارزیابی تناسب اراضی برای محصول سیب‌زمینی در دشت جیرفت کرمان مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، ۶۲ خاکرخ مشخص و تشریح گردید و از اعماق مختلف، نمونه‌برداری صورت گرفت. میانگین وزنی ویژگی‌های مورد نیاز تا عمق ریشه (۱۰۰ سانتی متری) محاسبه گردید. سپس، ویژگی‌های خاک هر خاکرخ با معیارهای جدول نیازهای خاکی سیب‌زمینی مطابقت داده شدند. برای ارزیابی اقلیم منطقه، ابتدا ویژگی‌های اقلیمی از اطلاعات اقلیمی ایستگاه سینوپتیک جیرفت به دست آمد و سپس، با جدول نیازهای اقلیمی تطابق داده شد. پس از آن، با استفاده از روش پارامتریک (روش استوری و فرمول ریشه دوم)، کلاس نهایی تناسب کیفی اراضی برای محصول مورد مطالعه تعیین گردید. زیر کلاس نیز بر اساس نامطلوب‌ترین کلاس مربوط به مشخصات اقلیمی یا اراضی تعیین شد. برای پیش‌بینی کلاس‌های تناسب اراضی، مدل رگرسیون لاجیستیک چندجمله‌ای استفاده گردید. تجزیه و تحلیل داده‌های اقلیمی نشان داد در شرایط کنونی، کلاس تناسب اقلیمی جیرفت، S1 یا بسیار مناسب می‌باشد. کلاس تناسب اراضی براساس روش پارامتریک استوری S3 تا N1 و براساس روش پارامتریک ریشه دوم، کلاس S2 تا N1 محاسبه گردید. مهم‌ترین عوامل محدودکننده خاک در منطقه مورد مطالعه، میزان سنگریزه، اسیدیته خاک و شوری می‌باشد. نتایج روش رقومی نشان داد که در بین متغیرهای ورودی، اجزای سرزمین و نقشه ژئومورفولوژی مهم‌ترین و قدرتمندترین متغیر برای پیش‌بینی کلاس‌های تناسب اراضی بوده و نشان‌دهنده اهمیت فرآیندهای ژئومورفولوژی در منطقه می‌باشد. به عبارت دیگر، می‌تواند دلیل بر تأثیر و اهمیت فرآیندهای ژئومورفولوژی بر خصوصیات خاک و در نتیجه در تعیین کلاس تناسب اراضی باشد.</p>	<p>دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۱۶ پذیرش نهایی: ۱۳۹۹/۰۲/۲۷</p> <p><b>کلمات کلیدی:</b> تناسب اراضی، دشت جیرفت، روش پارامتریک، مدل لاجیستیک رگرسیون چندجمله‌ای</p> <p>* عهده دار مکاتبات Email: a.jafari@uk.ac.ir</p>

### مقدمه

نیاز روز افزون جمعیت برای تولید غذا و کمبود منابع، ضرورت روش‌های جدید در ارزیابی اراضی را جهت کمک به تصمیم‌گیرندگان در انتخاب اراضی مناسب و جلب رضایت تولیدکنندگان برای کسب سود بالا را افزایش می‌دهد. ارزیابی تناسب اراضی می‌تواند برای تعیین سازگاری اراضی برای یک نوع خاص از انواع استفاده به کار برده شود. همچنین برای تعیین خصوصیات استفاده از اراضی در تلفیق با ماهیت پویا و رقابتی سیستم‌های تولید کشاورزی استفاده گردد (۲۰). پیشرفت در فناوری اطلاعات، تمامی علوم را قادر کرده است تا تقاضاهای جدید زندگی امروزی بشر را پاسخگو باشند. ارزیابی تناسب اراضی نیز از این قاعده مستثنی نیست و نیازمند به کارگیری روش‌های مختلف برای درک بهتر رابطه‌ی بین ویژگی‌های اراضی با عملکرد محصولات می‌باشد (۱۳). با این وجود، اغلب مطالعات انجام‌شده در کشور در زمینه‌ی ارزیابی تناسب اراضی، به ارزیابی کیفی و کمی تناسب اراضی بر مبنای نتایج خاک‌رخ شاهد پرداخته‌اند (۱۷ و ۱۸). در ایران، اولین مطالعات ارزیابی تناسب اراضی با استفاده از روش فائو، توسط موحدی نائینی (۱۴) برای مهم‌ترین محصولات زراعی منطقه‌ی گرگان انجام شده است.

نقشه‌های خاک، منبع معمول و اصلی اطلاعات برای بررسی تناسب اراضی هستند (۴). در واقع، نقشه‌برداری خاک در مدیریت اراضی تأثیر بسزایی دارد، زیرا به‌عنوان منبع داده‌هایی از خاک محسوب می‌شود که به‌منظور تصمیم‌گیری راجع به تناسب اراضی برای اهداف مختلف، مورد استفاده‌ی طراحان کاربری اراضی است. وقتی داده‌های نقشه‌برداری خاک برای اهداف تناسب اراضی استفاده می‌شوند، تغییرپذیری خاک می‌تواند بر روی نتایج نهایی تأثیرگذار باشد. مختصر کردن این تغییرپذیری به یک مقدار شاخص (خاک‌رخ شاهد) برای هر واحد نقشه، ممکن است که دقت نقشه‌ی تناسب اراضی را کاهش دهد و باعث شود که قابل اعتماد بودن چنین نقشه‌ای در حاله‌ای از ابهام قرار گیرد (۲۳). یکی از مهم‌ترین مشکلات

جدی روش‌های سنتی نقشه‌برداری خاک، تعمیم نتایج حاصل از خاک‌رخ شاهد به کل واحد نقشه، بدون در نظر گرفتن تغییرات مکانی آن می‌باشد (۱۱). از آنجا که در دهه گذشته روش‌های تحقیق بسیار متحول شده‌اند و به‌ویژه نوآوری‌هایی که در زمینه شناسایی و مدیریت منابع زمینی من جمله خاک‌ها، صورت گرفته است، لزوم هماهنگی با علوم و فنون جدید و کاربرد تکنیک‌های پیشرفته در زمینه شناسایی، نقشه‌برداری و ارزیابی اراضی بیش از هر زمان دیگر احساس می‌شود. مصلح و همکاران<sup>۱</sup> (۱۳) کارایی روش‌های رقومی برای پیش‌بینی کلاس‌های تناسب کیفی محصولات گندم، یونجه، سبب زمینی و ذرت علوفه‌ای در دشت شهر کرد استان چهارمحال و بختیاری مورد بررسی قرار دادند. شد. آنها برای پیش‌بینی کلاس‌های تناسب اراضی، مدل‌های رگرسیون درختی توسعه یافته، درختان تصمیم‌گیری تصادفی، شبکه‌های عصبی مصنوعی و رگرسیون لاجیستیک چندجمله‌ای را استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که در سطوح کلاس و زیرکلاس، برای تمامی محصولات مورد نظر، مدل درختان تصمیم‌گیری تصادفی دارای بالاترین مقدار صحت عمومی می‌باشد.

ویژگی‌های خاک دارای تغییرات مکانی و زمانی هستند؛ بنابراین به نظر می‌رسد این تغییرات، در واحدهای نقشه‌ی خاک و در نتیجه نقشه‌های تناسب اراضی حضور داشته باشند. شناسایی رقومی خاک‌ها به‌عنوان ابزاری برای ایجاد اطلاعات مکانی خاک، راه‌هایی برای نیاز رو به افزایش نقشه‌های خاک با تفکیک مکانی بالا و نمایش تغییرات مکانی خاک‌ها را ارائه می‌کند (۱۰). استفاده صحیح و پایدار از اراضی مستلزم آگاهی از تغییرپذیری کلاس‌های تناسب اراضی می‌باشد. بنابراین، باید استراتژی‌ها و روش‌های جدیدی به‌منظور به‌دست آوردن اطلاعات مکانی خاک و همچنین اطلاعات تناسب اراضی با تفکیک مکانی بالا توسعه پیدا کند. در این راستا، در پژوهش حاضر، کارایی روش‌های رقومی و سنتی به‌منظور ارزیابی تناسب

محاسبه شد. سپس ویژگی‌های خاک هر خاکرخ با معیارهای جدول نیازهای زمینی محصول مورد مطالعه (سیب‌زمینی) (۵) مطابقت داده شدند و محدودیت اراضی تعیین گردید.

ارزیابی تناسب اقلیمی منطقه، با توجه به دوره‌ی رشد، کشت آبی محصول و پذیرفتن این فرض که نیاز آبی گیاه از طریق آبیاری تأمین می‌گردد؛ از میزان بارندگی صرف‌نظر شد. برای ارزیابی هر ویژگی اقلیمی، مقدار آن در دوره ۳۰ ساله با استفاده از آمارهای ایستگاه هواشناسی جیرفت محاسبه شد. سپس براساس اطلاعات موجود آب و هوایی، پارامترهای اقلیمی منطقه با جدول نیاز اقلیمی محصول مورد مطالعه (۵) تطابق داده شد و کلاس و شاخص اقلیم (CI) مشخص شد. سپس به کمک معادلات (۱) و (۲) شاخص اقلیمی به درجه تناسب تبدیل شد (۳).

$$CR=16.67+ 0.9CI \quad 25 < CI \quad (1)$$

$$CR=0.9 CI \quad 25 < CI \quad (2)$$

در این معادلات CR درجه تناسب اقلیم و CI شاخص اقلیم می‌باشد.

در روش پارامتریک هر کدام از محدودیت‌ها براساس درجه‌بندی عددی از صفر تا ۱۰۰ می‌گیرد. در این روش ابتدا شاخص اقلیم (Climatic Index, CI) با استفاده از فرمول ریشه دوم (معادله ۳) محاسبه گردید (۲۲). برای محاسبه‌ی شاخص اقلیم، پایین‌ترین درجه تناسب اختصاص یافته در هر گروه اقلیمی، انتخاب شد.

$$CI = R_{\min} \times \sqrt{\frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times \frac{C}{100} \times \dots} \quad (3)$$

در این روابط، A، B، C و ... درجات تناسب هر یک از متغیرهای اقلیمی و  $R_{\min}$  درجه تناسب حداقل می‌باشد. سپس، درجه تناسب اقلیم به دست آمده برای محاسبه‌ی شاخص زمین (Land Index, LI) استفاده شد.

اراضی برای محصول سیب‌زمینی دشت جیرفت مورد بررسی قرار گرفته است.

## مواد و روش‌ها

### معرفی منطقه مورد مطالعه

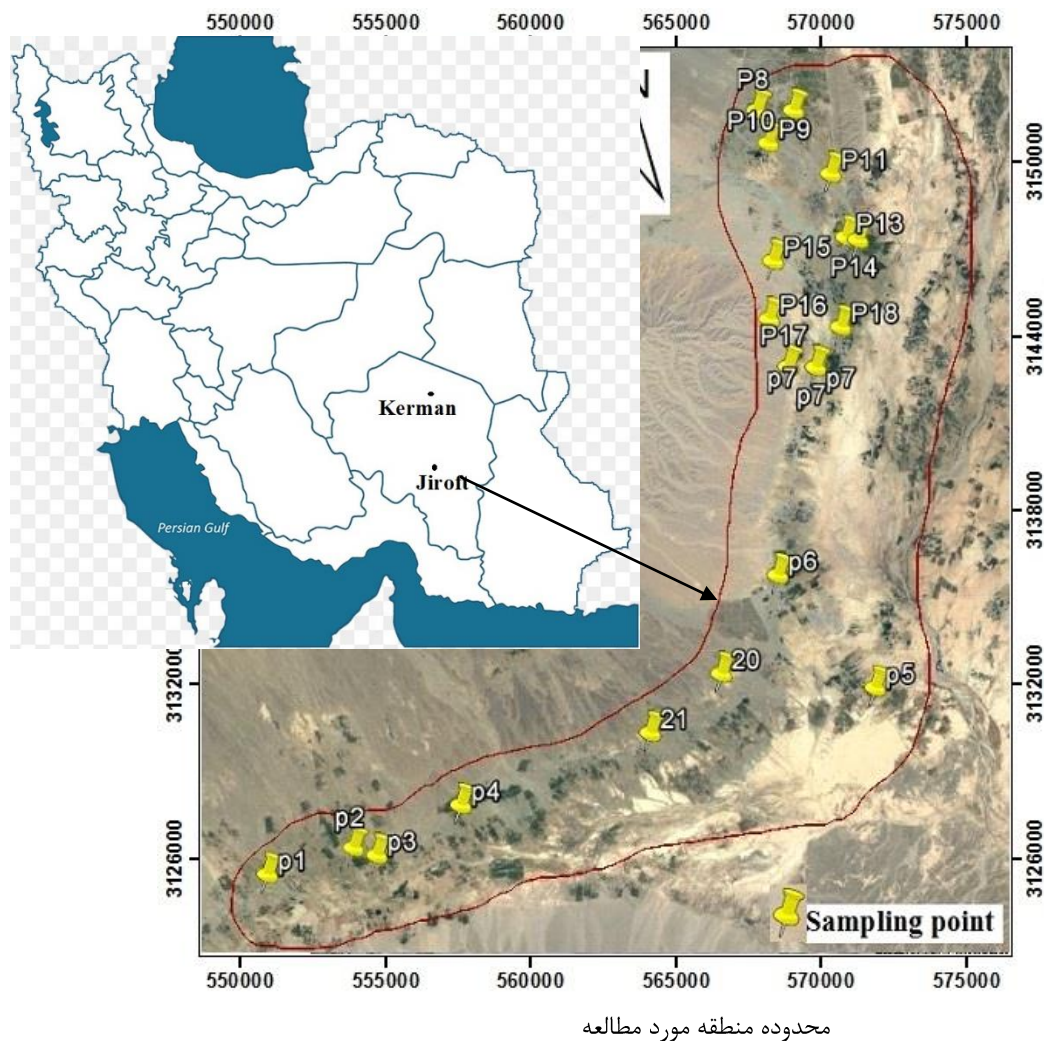
قسمتی از اراضی دشت جیرفت استان کرمان به مختصات طول جغرافیایی  $57^{\circ}30'$  تا  $57^{\circ}46'$  و عرض جغرافیایی  $28^{\circ}14'$  تا  $28^{\circ}26'$  با مساحت تقریبی ۱۰۰۰۰ هکتار برای این پژوهش انتخاب گردید (شکل ۱). میانگین دمای سالانه شهر ۲۳ درجه سانتیگراد و میانگین حداقل و حداکثر دما به ترتیب  $13/3$  و  $31/9$  درجه سانتیگراد می‌باشد. منطقه مورد مطالعه در سه تیپ فیزیوگرافی شامل دشت‌های آبرفتی، آبرفت‌های مخروطی شکل سنگریزه‌دار، تپه‌های فرسایش یافته قرار گرفته است.

### مطالعات صحرائی و آزمایشگاهی

با استفاده از تصاویر گوگل ارث، نقشه ژئومرفولوژی، نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و مطالعات میدانی، منطقه مورد مطالعه شناسایی شد. تعداد ۶۲ خاکرخ با فاصله تقریبی ۸۰۰ متر مشخص و تشریح گردید (شکل ۱) و از افق‌های ژنتیکی آنها، نمونه‌برداری انجام گرفت. سپس ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌ها شامل پ‌هاش، هدایت الکتریکی، کربن آلی، کربنات کلسیم معادل و بافت خاک بر اساس روش‌های استاندارد (۱۹) اندازه‌گیری شدند.

### مطالعات ارزیابی تناسب کیفی اراضی

در این پژوهش مطالعات ارزیابی تناسب کیفی اراضی برای محصول سیب‌زمینی با استفاده از روش پارامتریک (فرمول استوری و ریشه دوم) انجام شد. با توجه به ویژگی‌های خاکرخ‌های حفر شده، میانگین وزنی ویژگی‌های مورد نیاز برای مطالعات ارزیابی تناسب کیفی اراضی تا عمق ریشه



محدوده منطقه مورد مطالعه  
 شکل (۱) منطقه‌ی مورد مطالعه به همراه موقعیت خاک‌رخ‌ها  
 Figure (1) Location of the study area with pedons position

زیرکلاس تناسب آنها، نقشه‌های تناسب کیفی اراضی تهیه گردید.

### جمع‌آوری پارامترهای محیطی

بر اساس مدل رقمی ارتفاع با تفکیک مکانی ۳۰ متر (تهیه‌شده از وب‌سایت مدل رقمی ارتفاع جهانی استر)، ویژگی‌های اولیه و ثانویه شامل درصد شیب، جهت شیب، انحنا شیب، انحنا نیم‌رخ، انحنا سطحی، جهت جریان، تجمع جریان، تابش مستقیم، مدت تابش، تابش پخشیده، شاخص قدرت جریان، شاخص خیزی و شاخص همواری دره با درجه

در نهایت، بر اساس مقادیر شاخص زمین، کلاس نهایی تناسب برای محصول مورد مطالعه تعیین گردید. همچنین؛ زیرکلاس نیز بر اساس این که نامطلوب‌ترین کلاس مربوط به کدامیک از مشخصات اقلیمی یا اراضی می‌باشد؛ تعیین شد. به منظور تهیه نقشه‌های سنتی تناسب اراضی، پس از رده بندی خاک‌ها بر اساس سیستم رده بندی آمریکایی تا سطح فامیل، نقشه خاک منطقه تهیه گردید. این نقشه، مبنای تهیه نقشه‌های سنتی تناسب کیفی اراضی قرار گرفت. سپس، خاک‌رخ‌های شاهد هر واحد انتخاب و بر مبنای کلاس و

استفاده از بسته‌ی nnet در نرم‌افزار R انجام شد. سهم هر متغیر محیطی در پیش‌بینی با استفاده از شاخص تأثیر نسبی تعیین و پارامترهای مهم برای مدلسازی انتخاب شدند.

برای بررسی کارایی و دقت مدل مورد استفاده، اعتبارسنجی جانبی با حذف یک داده<sup>۲</sup> انجام شد (۷). در این روش، در هر بار اجرای مدل، یک نمونه به طور تصادفی حذف و پیش‌بینی برای بقیه نمونه‌ها انجام می‌گیرد. اینکار ادامه می‌یابد تا اینکه تمام نمونه‌ها در پیش‌بینی شرکت کنند. در نهایت، ارزیابی مدل با مقایسه داده‌های مشاهده شده و پیش‌بینی شده صورت می‌گیرد. ارزیابی صحت پیش‌بینی کلاس‌های تناسب نیز با استفاده از شاخص صحت عمومی صورت گرفت. شاخص صحت عمومی از ماتریس درهم (جدول ۱) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$OA = \sum_{i=1}^n X_{ij} / N \quad (7)$$

## نتایج و بحث

### رویکرد سستی تناسب اراضی

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که کلاس تناسب اقلیمی برای سیب‌زمینی در این منطقه بسیار مناسب (کلاس S1) بوده و این منطقه از لحاظ اقلیمی هیچ‌گونه محدودیتی برای کشت محصول مورد نظر ندارد. نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش خاندانی و فرپور (۷) مطابقت دارد.

جدول ۲، ارزیابی تناسب کیفی برخی از خاک‌رخ‌ها برای محصول مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، کلاس تناسب اراضی طبق روش پارامتریک (استوری و ریشه دوم) در اکثر خاک‌رخ‌ها دارای سطح ۳ می‌باشد و در بیش‌تر خاک‌رخ‌های اراضی، محدودیت ویژگی‌های فیزیکی خاک از جمله درصد سنگریزه و بافت خاک و خصوصیات حاصلخیزی مانند

تفکیک بال<sup>۱</sup> با استفاده از نرم‌افزار SAGA تعیین گردیدند. شاخص‌های سنجش از دور از جمله شاخص گیاهی تفاضلی نرمال‌شده (NDVI)، شاخص گیاهی عمودی (PVI) و شاخص گیاهی نسبی (RVI) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ی لندست ۸ (سال ۲۰۱۷) بدست آمدند.

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red) \quad (4)$$

$$RVI = Red / NIR \quad (5)$$

$$PVI = (\sin(\alpha) * NIR) - (\cos(\alpha) * Red) \quad (6)$$

NIR بازتاب طول موج مادون قرمز نزدیک، Red بازتاب طول موج قرمز و  $\alpha$  زاویه بین خط خاک و محور NIR است.

در این مطالعه نقشه‌ی ژئومورفولوژی بر مبنای توپوگرافی، مواد مادری و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای تهیه گردید. جداسازی واحدها در سطح سیمای اراضی براساس پستی و بلندی، لیتولوژی و لندفرم‌ها به ترتیب با استفاده از نقشه‌ی توپوگرافی منطقه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، نقشه‌ی زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ و هم‌چنین استفاده از تصویر گوگل ارث صورت گرفت و سطوح ژئومورفیک مرزبندی گردید (۲۱). هم‌چنین نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی به عنوان لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده قرار گرفتند.

### پیش‌بینی کلاس‌های تناسب اراضی

در این مطالعه، از مدل رگرسیون لاجیستیک چندجمله‌ای برای پیش‌بینی کلاس‌های تناسب اراضی استفاده گردید. برای انجام مدل‌سازی، کلاس‌های تناسب سرزمین به همراه پارامترهای محیطی برای مدل‌ها تعریف شدند. سپس، پیش‌بینی براساس ارتباط کلاس‌های ارزیابی با پارامترهای محیطی انجام گردید. مدلسازی با

1- Slope curvature, Profile curvature, Plan curvature, Flow direction, Flow accumulation, Direct insolation, Duration insolation, Diffuse insolation, Power stream index, Wetness index, Multiresolution valley flatness index.

2- Leave-one-out cross validation

مسعودی و همکاران: رویکرد سنتی و رقمی ارزیابی تناسب...

اسیدپته خاک وجود دارد. نتیجه ارزیابی خاکرخ شماره ۲ و ۱۷ طبق روش پارامتریک استوری به صورت Ns و پارامتریک ریشه دوم به صورت S3s به دست آمد که به ترتیب نشان دهنده نامناسب بودن و تناسب کم اراضی برای کشت سیب زمینی می باشد. از مهم ترین عوامل محدود کننده رشد در این واحد میزان ذرات درشت

(سنگریزه) است که دلیل آن می تواند قرار گرفتن اراضی بر روی رسوبات مخروط افکنه های جوان باشد. در این اراضی تکامل خاک کم و میزان سنگریزه زیاد می باشد.

جدول (۱) ماتریس درهم برای محاسبه شاخص صحت عمومی

Table(1) Confusion matrix for calculating overall accuracy

Observed classes کلاس های مشاهده شده	Predicted classes کلاس های پیش بینی شده	
	True صحیح	False غلط
True صحیح	1	0
False غلط	0	1

جدول (۲) مقادیر شاخص اراضی (LI) و ارزیابی تناسب کیفی برخی از خاکرخ ها برای محصول مورد مطالعه

Table (2) Land index values (LI) and qualitative land suitability for some of the profiles of the studied crop.

parametric (Khidir) (پارامتریک (ریشه دوم))	parametric (Storie) (استوری)	شماره خاکرخ
شاخص اراضی	شاخص اراضی	Number of profile
Land index	Land index	
47.17	34.90	1
30.60	22.41	2
50.62	39.45	5
30	22.06	7
45.73	33.23	9
53.13	38.95	13
49.38	37.59	14
21.64	14.04	15
30.79	21.99	17
35.50	29.33	18

S1: کلاس تناسب بالا، S2: کلاس تناسب متوسط، S3: کلاس تناسب کم، N: کلاس نامناسب، s: محدودیت ویژگی های فیزیکی، w: محدودیت زهکشی، f: محدودیت حاصلخیزی، c: محدودیت اقلیم.

S1: highly suitable class, S2: moderately suitable class, S3: marginally suitable class, N: unsuitable class, s: soil physical limitation, w: wetness limitation, c: climatic limitation, f: fertility limitation



محدودکننده‌ترین عامل برای کشت سیب‌زمینی در دشت شهر کرد استان چهارمحال و بختیاری، اسیدیته خاک منطقه گزارش گردید، به طوری که ۳۱ درصد منطقه دارای کلاس تناسب S2 و مابقی آن دارای کلاس تناسب S3 می‌باشد (۱۳). پاک‌بور ربطی و همکاران<sup>۲</sup> (۱۶) طی مطالعه‌ی ارزیابی اراضی مستعد برای تعدادی از محصولات کشاورزی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در مناطقی از استان آذربایجان غربی محدودیت‌های عمده را pH، بافت، سنگریزه و توپوگرافی بیان کردند. جعفرزاده و عباسی (۹) براساس روش فائو واکنش خاک، بافت و آهک را مهم‌ترین عوامل بازدارنده رشد پیاز، سیب‌زمینی، ذرت و یونجه گزارش کردند.

### رویکرد رقومی تناسب اراضی

در این پژوهش، رگرسیون لاجیستیک چندجمله‌ای برای پیش‌بینی کلاس‌های تناسب اراضی استفاده شد. به منظور پیش‌بینی کلاس‌های تناسب اراضی بایستی رابطه متغیرهای محیطی و کلاس‌های تناسب اراضی سنجیده شود و متغیرهای محیطی موثر را انتخاب کرد.

جدول ۳، نتایج اعتبارسنجی مدل لاجیستیک رگرسیون چندجمله‌ای در پیش‌بینی کلاس‌های تناسب اراضی را نشان می‌دهد. مقدار شاخص صحت عمومی برای کلاس تناسب ۰/۴۷ و برای زیرکلاس تناسب ۰/۲۵ به دست آمد. مصلح و همکاران (۱۳) مقدار صحت عمومی مدل لاجیستیک رگرسیون چندجمله‌ای برای پیش‌بینی کلاس و زیرکلاس تناسب کیفی اراضی برای سیب‌زمینی را به ترتیب ۰/۵۲ و ۰/۲۹ به دست آوردند. احتمالاً یکی از دلایل کمتر بودن مقدار شاخص صحت در مطالعه حاضر نسبت به مطالعه مصلح و همکاران (۱۳) به تعداد کمتر داده‌ها در آموزش و در نتیجه اعتبارسنجی مدل مربوط می‌شود.

یکی از محدودیت‌های مهم کشت سیب‌زمینی در منطقه مورد مطالعه شوری خاک می‌باشد که در ارزیابی خاکرخ شماره ۷ و ۱۵ با کلاس تناسب Nn و S3n مشاهده گردید. شوری زیاد خاک به دلایلی مانند کاهش پتانسیل اسمزی و هم‌چنین به هم خوردن تعادل بین عناصر موردنیاز گیاه باعث کاهش رشد گیاهان می‌شود. هم‌چنین اراضی شور نیازمند فعالیت‌های مدیریتی گسترده‌تر و نهاده‌های کشاورزی بیشتری هستند. محدودیت ایجاد شده، کشت اقتصادی محصول مورد نظر را در شرایط فعلی در منطقه محدود می‌کند اما با استفاده از اعمال شیوه‌های مدیریتی صحیح و سرمایه‌گذاری بالفعل برای تقویت حاصلخیزی بالقوه اراضی در دراز مدت می‌توان به کشت سیب‌زمینی در منطقه اقدام کرد.

براساس نتایج جدول ۲ خاکرخ شماره ۹ طبق روش پارامتریک ارزیابی تناسب اراضی در سطح ۳ قرار داشته و محدودیت خیلی شدیدی برای کشت سیب‌زمینی نشان نمی‌دهد. طبق روش پارامتریک استوری، شاخص اراضی برابر ۳۳/۲۳ بوده و نشان‌دهنده تناسب کم این اراضی در شرایط فعلی برای کاشت سیب‌زمینی است و زیر کلاس آن به صورت S3sf می‌باشد. بر اساس روش پارامتریک ریشه دوم (خیدیر)، شاخص این اراضی برابر ۴۵/۷۳ بوده که نشان‌دهنده تناسب کم این اراضی برای کشت سیب‌زمینی است و زیرکلاس آن به صورت S3sf می‌باشد. مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد در این واحد بافت و ساختمان، و در درجه بعد اسیدیته خاک است. عبدالعلی و همکاران<sup>۱</sup> (۲) با استفاده از GIS به منظور ارزیابی کیفی تناسب اراضی برای برخی محصولات به این نتیجه رسیدند که ۵۸ درصد اراضی مورد مطالعه دارای محدودیت‌های pH و بافت برای کشت سیب‌زمینی می‌باشند.

جدول (۳) نتایج ارزیابی مدل برای پیش‌بینی کلاس و زیر کلاس تناسب کیفی اراضی

Table(2) Results of the model evaluation to predict qualitative land suitability classes and subclasses

Subclass زیر کلاس	Class کلاس	Model مدل
0.25	0.47	رگرسیون لاجیستیک چند جمله‌ای Multinomial logistic regression

متغیرهای کمکی نشان می‌دهد که اجزای سرزمین (شاخص همواری دره با درجه تفکیک بالا، شیب)، نقشه ژئومورفولوژی و شاخص پوشش گیاهی بیشترین اهمیت در تعیین کلاس و زیر کلاس تناسب اراضی را داشته، که گویای اهمیت و تاثیر فرآیندهای ژئومورفولوژی و توپوگرافی بر خصوصیات خاک منطقه و در نتیجه تناسب اراضی می‌باشد. از آنجا که فرایندهای خاکسازي و ژئومورفولوژی اثرات متقابل با یکدیگر دارند، تغییر فرایندهای ژئومورفولوژی و هیدرولوژی باعث تغییر خصوصیات خاک می‌شود و تغییر خصوصیات خاک بر تناسب محصولات کشت شده روی آن تاثیر دارد. بنابراین اهمیت فرایندهای ژئومورفولوژی به دلیل تاثیر آن بر خصوصیات خاک و در نتیجه بر تناسب اراضی می‌باشد. در منطقه مورد مطالعه، انتهای مخروط افکنه و تپه (مرز بین دشت و لندفرم مخروط افکنه و تپه) به دلیل افزایش سطح کشت در سال‌های اخیر، تحت کشت سیب‌زمینی قرار گرفته و محدودیت‌هایی از نظر سنگریزه و بافت خاک ایجاد کرده است. آنچه مسلم است این است که فرایندهای ژئومورفولوژی و هیدرولوژی از طریق توپوگرافی منطقه بر خصوصیات خاک و نتایج تناسب اراضی تاثیر گذاشته است.

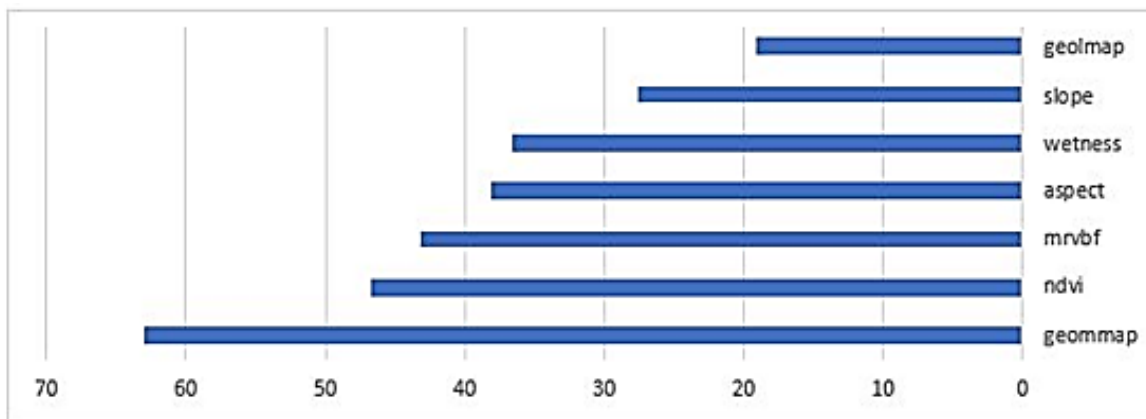
عباس‌زاده افشار و همکاران<sup>۱</sup> (۱) در نقشه‌برداری رقمی خاک منطقه بم با استفاده از مدل لاجیستیک چند جمله‌ای، کلاس‌های خاک را پیش‌بینی کردند و مقدار صحت عمومی را ۰/۷۱ گزارش کردند. خالقی و همکاران<sup>۲</sup> (۶) مقدار صحت حاصل از پیش‌بینی کلاس‌های خاک منطقه فاریاب کرمان به کمک مدل رگرسیون لاجیستیک چند جمله‌ای را ۰/۴۷ به دست آوردند.

همچنین نتایج نشان می‌دهد که مقادیر صحت عمومی از سطح کلاس به زیر کلاس کاهش می‌یابد. احتمالاً حضور ویژگی‌های خاک با جزئیات بیشتر و در نتیجه افزایش تعداد زیر کلاس‌ها منجر به کاهش شاخص صحت شده است. چرا که با افزایش تعداد زیر کلاس‌ها، تعداد مشاهدات کمتری به هر زیر کلاس اختصاص داده می‌شود. در نتیجه مدل برای هر زیر کلاس با تعداد کمتری آموزش می‌بیند و بالطبع اعتبارسنجی مدل هم با تعداد کمتری از هر زیر کلاس انجام می‌شود. بنابراین، می‌توان انتظار داشت که قابلیت اعتماد به نتایج حاصل از پیش‌بینی نیز کاهش یابد. این روند توسط پژوهشگران مختلفی برای پیش‌بینی کلاس‌های خاک گزارش شده (۸ و ۱۵) است.

قابلیت اعتماد به نتایج پیش‌بینی به میزان زیادی متأثر از توانایی پارامترهای محیطی در بیان تغییرات فاکتور مورد بررسی می‌باشد. شکل‌های ۲ و ۳ نتایج اهمیت متغیرهای محیطی در پیش‌بینی کلاس و زیر کلاس تناسب اراضی، در مدلسازی با روش رگرسیون لاجیستیک چند جمله‌ای را نشان می‌دهد. اهمیت

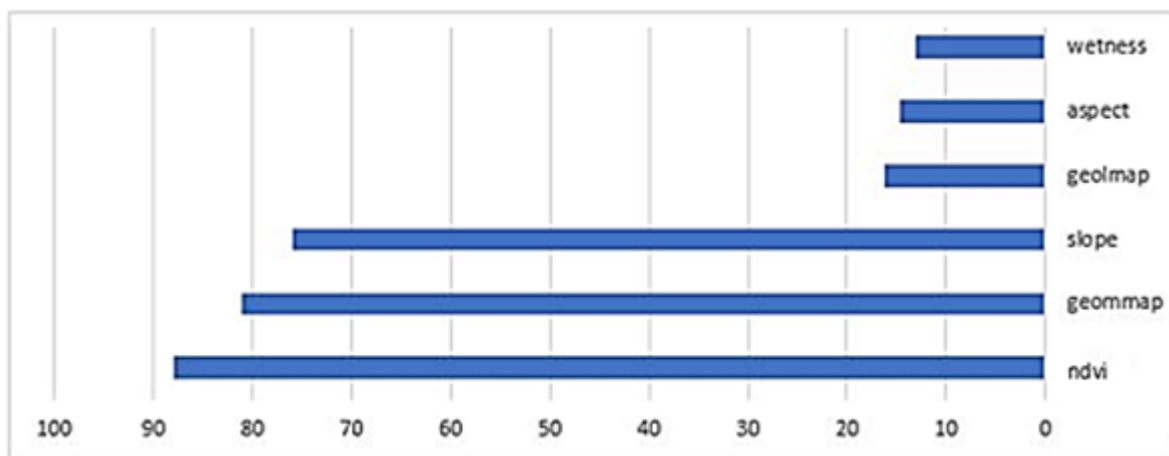
1- Abbaszadeh Afshar et al.

2- Khaleghi et al.



شکل (۲) اهمیت متغیرهای محیطی در برآورد کلاس‌های تناسب سرزمین با استفاده از مدل رگرسیون لاجستیک چندگانه (geommap: نقشه ژئومرفولوژی، ndvi: شاخص پوشش گیاهی تفاضلی، mrvbf: شاخص همواری دره با درجه تفکیک بالا، aspect: جهت شیب، wetness: شاخص خیزی، slope: درصد شیب، geolmap: نقشه زمین شناسی)

Figure (2) The importance of environmental variables in estimating land suitability classes using multiple logistic regression model (geommap: geomorphology map, ndvi: normalised difference vegetation index, mrvbf: multiresolution valley bottom flatness, wetness: wetness index, geolmap: geology map)



شکل (۳) اهمیت متغیرهای محیطی در برآورد زیر کلاس‌های تناسب سرزمین با استفاده از مدل رگرسیون لاجستیک چندگانه (geommap: نقشه ژئومرفولوژی، aspect: جهت شیب، wetness: شاخص خیزی، slope: درصد شیب، geolmap: نقشه زمین شناسی)

Figure(3) The importance of environmental variables in estimating land suitability classes using multiple logistic regression model (geommap: geomorphology map, wetness: wetness index, geolmap: geology map)

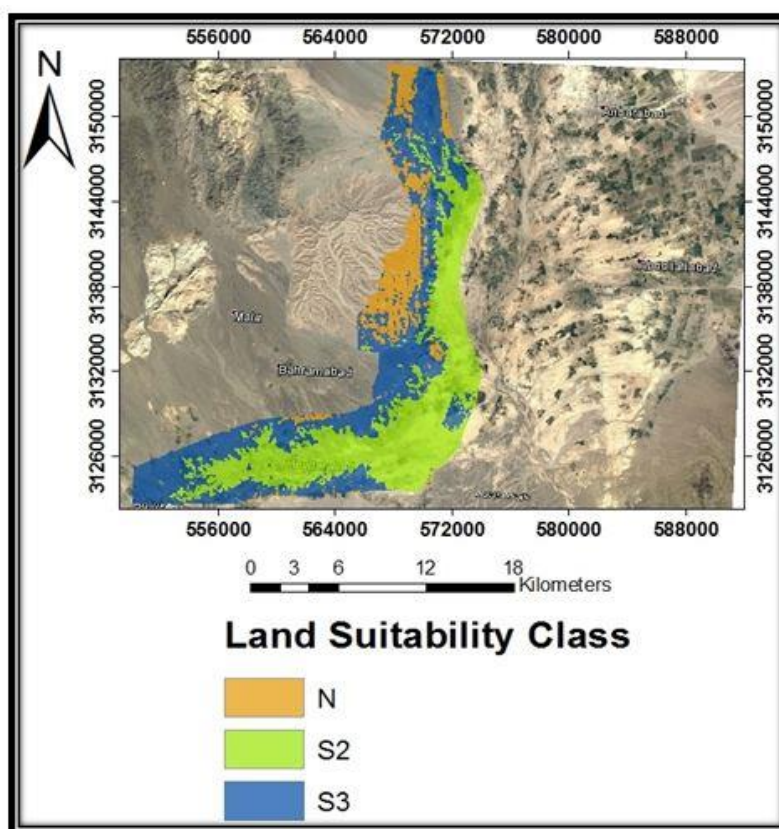
شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده) می‌باشند. پستی و بلندی جزء عوامل پنج گانه (اقلیم، پستی و بلندی، خاک، هیدرولوژی و پوشش گیاهی) تأثیرگذار بر ظرفیت تولید اراضی می‌باشند (۱۲). بنابراین، نقش این پارامترها در پیش‌بینی کلاس‌های تناسب اراضی قابل توجه است. نقشه پیش‌بینی کلاس تناسب کیفی اراضی برای

مصلح (۱۲) تغییرپذیری کلاس‌های تناسب اراضی برای محصولات گندم، یونجه، ذرت و سیب‌زمینی را بررسی کرد. نتایج حاصل از مطالعه ایشان نشان داد که مهم‌ترین پارامترهای محیطی برای پیش‌بینی کلاس و زیر کلاس تناسب کیفی اراضی، اجزای سرزمین و شاخص‌های سنجش از دور (شاخص گیاهی عمودی و

گرفته‌اند. بنابراین تناسب کشت سیب‌زمینی به سمت مرکز منطقه مورد مطالعه افزایش می‌یابد. به همین ترتیب، کلاس‌های تناسب به S3 و سپس S2 تغییر می‌کند. بنابراین، کشت سیب‌زمینی در لندفرم‌های با بافت ریز و حاصلخیز منطقی و مقرون به صرفه می‌باشد.

آنچه که مسلم است این است که در هر دو رویکرد سنتی و رقومی ارزیابی تناسب اراضی نیاز به بررسی ویژگی‌های اقلیم، توپوگرافی و خاک منطقه مورد مطالعه دارد و انجام آن، مستلزم جمع‌آوری داده‌های اقلیمی و نمونه‌برداری از خاک‌های منطقه مورد مطالعه است. بنابراین، بررسی دقیق ویژگی‌های اراضی منطقه، پایه و اساس هر دو رویکرد و همچنین دستیابی به نتایج دقیق است. به نظر می‌رسد در صورت داشتن پایگاه داده قوی از متغیرهای محیطی، رویکرد رقومی ارزیابی اراضی می‌تواند توصیه شود.

سیب‌زمینی با استفاده از مدل رگرسیون لاجستیک چند گانه در شکل ۴ آورده شده است. نقشه رقومی پیش‌بینی کلاس‌های تناسب اراضی نشان می‌دهد که توزیع مکانی کلاس‌های نامناسب (N) برای کشت سیب‌زمینی غالباً به سمت لندفرم آلوویال فن‌های با رسوبات درشت بافت و غنی از سنگریزه است. مخروط‌افکنه‌ها در ارتفاع و شیب بالاتر قرار گرفتند و از لحاظ مورفولوژی، دارای رسوبات درشت بافت و غنی از سنگریزه هستند. در نتیجه کشت سیب‌زمینی در این منطقه نامناسب و توجیه علمی و اقتصادی ندارد. به طرف دشت، از درشتی بافت و میزان سنگریزه کاسته می‌شود، بطوری که در موقعیت انتهایی آلوویال فن، میزان سنگریزه به شدت کاهش می‌یابد و در دشت اثری از سنگریزه نبوده و بافت خاک ریز می‌شود. در نتیجه کلاس‌های تناسب اراضی در قسمت‌های دشت و مرز مخروط‌افکنه و دشت در کلاس S3 قرار



شکل (۴) نقشه تناسب اراضی در سطح کلاس با استفاده از مدل رگرسیون لاجستیک چند جمله‌ای برای محصول مورد مطالعه

Figure (4) Qualitative land suitability map at class level using polynomial logistic regression model for the studied crop

### نتیجه‌گیری

عنوان یک متغیر کمکی کیفی می‌تواند بخش زیادی از تغییرپذیری خاک‌ها در منطقه مورد مطالعه را توضیح داده و در درک و برقراری ارتباط بین خاک و زمین‌نما موثر بوده و به افزایش دقت پیش‌بینی کمک کند. تغییرپذیری کلاس‌های تناسب کیفی اراضی به تغییرات خصوصیات خاک وابسته است و هر روشی که تغییرات خصوصیات خاک را بهتر بیان کند، در تعیین کلاس‌های تناسب اراضی موفق‌تر عمل می‌کند. روش‌های رقوم می‌توانند به تامین اطلاعات با تفکیک مکانی بالا کمک کنند؛ اما باید معیارهای تناسب اراضی با تغییرات پیوسته‌ی خاک همراه باشند. نتایج ارزیابی تناسب اراضی به روش سنتی و رقوم نشان داد کشت موفق محصول به شدت تابع خصوصیات خاک، موقعیت توپوگرافی و لندفرم است.

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که شرایط اقلیمی منطقه‌ی مورد مطالعه، برای کشت سیب‌زمینی بسیار مناسب (کلاس S1) می‌باشد. به لحاظ اقلیمی هیچ‌گونه محدودیتی برای کشت سیب‌زمینی وجود ندارد. محدودیت‌های عمده منطقه برای کشت سیب‌زمینی میزان سنگریزه، اسیدیته خاک و شوری می‌باشد. با اجرای مدلسازی با روش رگرسیون لاجستیک چند جمله‌ای در این مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که در بین متغیرهای ورودی، اجزای سرزمین و نقشه ژئومورفولوژی مهم‌ترین و قدرتمندترین متغیر برای پیش‌بینی کلاس‌های تناسب اراضی بوده و نشان‌دهنده تأثیر و اهمیت فرآیندهای ژئومورفولوژی در تغییرات خصوصیات خاک و در نتیجه در تعیین کلاس تناسب اراضی می‌باشد. با توجه به اینکه نقشه ژئومورفولوژی در برگیرنده اطلاعات زیادی است، استفاده از این نقشه به

### References

1. Abbaszadeh Afshar, F., Ayoubi, S., and Jafari, A. 2017. Digital Soil Mapping of Soil Classes using Conventional Soil Maps in the Arid Region Southeastern Iran. *Journal of Water and Soil Science*, 21(1): 239-253 (in Persian).
2. Abdolali, Gh., Hadrian, F.C., and Howard, C.L. 2000. Integrating climate, soil and crop information: a land suitability study using GIS. Pp: 129. 4th International Conference on Integrating GIS and Environmental Modeling. Banff, Alberta, Canada.
3. Bagheri Bodaghabadi, M. 2008. Applied Land evaluation and landuse planning. Pelk publishing. 392 p. (in Persian).
4. Daigle, J.J., Hudnall, W.H., Gabriel, W.J., Mersiovsky, E., and Nielson, R.D. 2005. The National Soil Information System (NASIS): designing soil interpretation classes for military landuse predictions. *Journal of Terramechanics*, 42: 305-330.
5. Givi J. 1997. Qualitative evaluation of land suitability for field and fruit. Publication No. 1015. Soil and Water Research Institute of Iran, Tehran, Iran. (in Persian).
6. Khaleghi, M., Jafari, A., and Farpour, M.H. 2018. Digital Soil Mapping using legacy soil data: Case study of Faryab region of Kerman. *Journal of Agricultural Engineering*, 41(4):31-48 (in Persian).
7. Khandani, V. and Farpour M.H. 2014. Qualitative land evaluation for potato in Mahan-Joupar plain (Kerman province). First National Conference on New Developments in Biological and Agricultural Sciences. Tehran.
8. Jafari, A., Ayoubi, S., Khademi, H., Finke, P.A., and Toomanian N. 2013. Selection of a taxonomic level for soil mapping using diversity and map purity indices: a case study from an Iranian arid region. *Geomorphology*, 201: 86-97.

9. Jafarzadeh, A.A. and Abbasi, G. 2006. Qualitative land suitability evaluation for the growth of onion, potato, maize and alfalfa on soils of the Khalatpushan research station. *Biologia*, Bratislava, 19: 349-352.
10. McBratney, A.B., Mendonça-Santos, M.L., and Minasny, B. 2003. On digital soil mapping. *Geoderma*, 117: 3-52.
11. Mohammadi, M. 1986. Semi-detailed soil studies report Chaharmahal-Va-Bakhtiari province (Shahrekord and Borujen area). Iranian Soil and Water Research Institute. (in Persian).
12. Mosleh, Z. 2016. Digital soil mapping, land suitability and optimization of cropping pattern for major crops in Shahrekord plain. Chaharmahal-va-Bakhtiari. PhD Thesis. Agriculture College, Shahrekord University.
13. Mosleh, Z. Salehi, M.H., Jafari, A., Mehnatkesh, A., and Esfandiarpour Boroujeni, I. 2018. Assessing the Performance of Digital Mapping Approaches for the Qualitative Land Suitability Evaluation (A Case Study: Shahrekord Plain, Chaharmahal-Va-Bakhtiari Province). *Journal of Water and Soil*, 31 (2): 87-99.
14. Movahedi Naeini, A. 1993. Land suitability evaluation for main irrigated crops in Gorgan region. MSc thesis, Tarbiat Modares University. (in Persian).
15. Pahlavan Rad, M.R., Toomanian, N., Khormali, F., Brungard, C.W., Komaki, C.B., and Bogaert, P. 2014. Updating soil survey maps using random forest and conditioned Latin hypercube sampling in the loess derived soils of northern Iran. *Geoderma*, 232-234: 97-106.
16. Pakpour Rabti, A., Jafarzadeh, A.A., Shahbazi, F., and Ammari, P. 2013. Comparison of Almagra model and Khidir parametric method in land evaluation. 12th Soil Science Congress of Iran. 5-7 September, Tabriz, Iran.
17. Safari, Y., Esfandiarpour Boroujeni, I., Kamali, A., Salehi, M.H., and Bagheri Bodaghabadi, M. 2013. Qualitative land suitability evaluation for main irrigated crops in the Shahrekord plain: A geostatistical approach compared with conventional method. *Pedosphere*, 23: 767-778.
18. Salehi, M.H., Khademi, H., Givi, J., and Karimian Eghbal, M. 2004. Variability of qualitative land suitability evaluation (parametric method) in a detailed map unit in Farrokhsahr area, Chaharmahal-Va-Bakhtiari province. *Scientific Journal of Agriculture*, 27(2): 115-126. (in Persian).
19. Soil Survey Staff. 1996. Soil survey laboratory methods manual. Report No. 42, USDA, NRCS, NCSS, USA.
20. Samranpong, C., Ekasingh, B., and Ekasingh, M. 2009. Economic land evaluation for Agricultural Resource management in Northern Thailand. *Environmental Modeling and Software*, 24(12): 1381-1390.
21. Toomanian, T., Jalalian, A., Khademi, H., Karimian Eghbal, M., and Papritz, A. 2006. Pedodiversity and pedogenesis in Zayandeh-rud Valley, Central Iran. *Geomorphology*, 81: 376-393.
22. Van Ranst, E., Tang, H., Groenamans, R., and Sinthurahat, S. 1996. Application of fuzzy logic to land suitability for rubber production in peninsular Thailand. *Geoderma*, 70: 1-19.
23. Ziadat, F.M. 2007. Land suitability classification using different sources of information: soil maps and predicted soil attributes in Jordan. *Geoderma*, 140: 73-80.