

## ارزیابی تناسب اراضی بخشی ازدشت زنجان برای کشت گندم آبی با استفاده از راه کار امتیازات محدودیتی

یاسر صفری<sup>۱\*</sup> - محمد امیر دلاور<sup>۲</sup> - زهرا نوری<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۱/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۸/۱۸

### چکیده

در این پژوهش به منظور ترسیم روند تغییرات مکانی تناسب اراضی بخشی از دشت زنجان برای کشت گندم آبی، از لایه‌های مختلف ۸۵ نقطه مشاهداتی تا عمق یک متر خاک، نمونه برداری انجام گرفت. پس از انجام آزمایش‌های لازم بر روی نمونه‌های خاک و جمع‌آوری اطلاعات اقلیمی، سطوح محدودیت ویژگی‌های مختلف محاسبه و بر اساس جداول موجود به امتیازات محدودیتی تبدیل شدند. مجموع امتیازات محدودیتی هر نقطه، از طریق یک معادله نمایی، به مقادیر تابع پیوسته عضویت تناسب اراضی تبدیل شد و با استفاده از تخمین گر کریجینگ معمولی، مقادیر این تابع در تمامی منطقه، درون یابی و سپس پهنه‌بندی گردید. نتایج نشان داد که ویژگی‌های متوسط درجه حرارت دوره رشد و درصد ذرات درشت‌تر از دو میلی‌متر خاک، به ترتیب مهم‌ترین ویژگی‌های محدودکننده اقلیمی و حاکی در منطقه هستند. تجمع اثرات ویژگی‌های محدودکننده تناسب اراضی موجب بالا رفتن امتیازات محدودیتی و در نتیجه تنزل کلاس تناسب اراضی برخی از نقاط مشاهداتی، به ویژه در قسمت‌های شمال غربی منطقه مطالعاتی شده است. مقایسه نقشه منتج از درون‌یابی مقادیر تابع پیوسته عضویت تناسب اراضی با نقشه نقطه‌ای تناسب اراضی حاکی از آن بود که روند تغییرات مکانی تناسب اراضی برای گندم آبی در نقشه نخست، تدریجی‌تر و مشخص‌تر است. در مقایسه با روش‌های سنتی مرسوم در مطالعات تناسب اراضی، پیوسته‌سازی الگوی تغییرپذیری مکانی تناسب اراضی بر اساس دید فازی به تغییرات خاک، منجر به حصول نتایجی سازگارتر با ماهیت پیوسته پدیده‌های محیطی می‌گردد.

**واژه‌های کلیدی:** ارزیابی اراضی، توزیع مکانی، زمین‌آمار، نقشه‌های پیوسته

### مقدمه

توسط فانو (۸)، گنجانده شده است (۲۱). تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های مختلف خاک در نهایت منجر به تغییرات مکانی قابل ملاحظه ویژگی‌های ثانویه‌ای هم‌چون تناسب اراضی برای کاربری‌های خاص می‌شود (۱۸). محدود کردن تغییرپذیری مکانی تناسب اراضی در قالب مرزهای واحدهای نقشه یا همان واحدهای اراضی در روش‌های مرسوم طبقه‌بندی تناسب اراضی، در واقع نادیده انگاشتن تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک است. از این‌رو، در سال‌های اخیر برخی پژوهش‌گران به توسعه تکنیک‌های گوناگون در راستای رسیدن به نقشه‌های پیوسته تناسب اراضی همت گمارده‌اند (۲، ۶، ۷، ۱۳ و ۲۵).

یان فانگ و لی مین (۲۹) با استفاده از راه کار شبکه عصبی مصنوعی برای کلاس‌بندی عوامل مؤثر بر تناسب اراضی بخشی از زمین‌های زیر کشت برنج در کشور چین، پیچیدگی‌های تفسیر نتایج نهایی این روش را از جمله معایب کاربرد این راه کار در مطالعات ارزیابی اراضی دانستند. نتایج پژوهش زیادت (۳۳) گویای آن بود که استفاده از

ارزیابی تناسب اراضی، پیش‌شرط کشاورزی پایدار و کلید دستیابی به برنامه‌های صحیح و اصولی کاربری اراضی است (۳ و ۳۱). هدف اولیه این امر، مدیریت صحیح و پیشرفته اراضی برای سود رساندن به بشر است؛ ضمن آن‌که اهداف دیگری مانند برنامه‌ریزی کاربری اراضی و تأمین شرایط توسعه پایدار اراضی را نیز دنبال می‌کند (۹). پس از گذشت نزدیک به چهار دهه از مطالعات ارزیابی تناسب اراضی و به‌منظور انطباق هر چه بیشتر نتایج با شرایط پیچیده و متغیر محیطی و نیز سازگاری با نیازهای کشاورزان و مدیران مزرعه، راه‌کارهای مختلفی توسط پژوهش‌گران در چارچوب اولیه ارائه شده

۱- دانش‌آموخته دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه زنجان و استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه صنعتی شاهرود

\*- نویسنده مسئول: (Email: yaser.safari94@yahoo.com)

۲ و ۳- دانشیار و دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه زنجان

دست یافت.

## مواد و روش‌ها

### معرفی منطقه مطالعاتی

منطقه مطالعاتی، شامل بخشی از اراضی کشاورزی دشت زنجان است که در ششکیلومتری جنوب غربی شهر زنجان واقع شده است. مساحت محدوده مورد مطالعه، نزدیک به ۷۰۰۰ هکتار است و در بین طول‌های جغرافیایی  $33^{\circ} 36'$  تا  $33^{\circ} 48'$  شرقی و عرض‌های جغرافیایی  $33^{\circ} 36'$  تا  $36^{\circ} 40'$  شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). میانگین بارندگی و دمای سالیانه منطقه در یک دوره آماری ۵۰ ساله (از ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۱)، به ترتیب،  $302/8$  میلی‌متر و  $11/1$  درجه سلسیوس و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا، ۱۶۶۰ متر است (۳۰). کاربری‌های عمده اراضی موجود در این ناحیه، شامل مناطق کشاورزی، مرتع و مخلوط مرتع و کشت دیم است (شکل ۱). بر اساس نقشه زمین‌شناسی  $1:100000$  زنجان، تراس‌های آبرفتی قدیمی واحد زمین‌شناسی اصلی منطقه بوده و خاک‌های منطقه، به‌طور عمده بر روی نهشته‌های آبرفتی کواترنر تکامل یافته‌اند.

### مطالعات ارزیابی تناسب اراضی

برای انجام این مطالعه، ابتدا بر روی نقشه توپوگرافی منطقه مطالعاتی با مقیاس  $1:25000$ ، محدوده‌ای شامل اراضی زیر کشت گیاهان زراعی و به‌طور عمده گندم، جدا گردید. سپس بر اساس الگوی نمونه‌برداری شبکه‌ای منظم، موقعیت تعداد ۸۵ نقطه نمونه‌برداری با فواصل ۱۰۰۰ متر در راستای طولی و عرضی، درون این محدوده مشخص شد (شکل ۱). انتخاب فاصله نمونه‌برداریم‌زبور بر مبنای دستیابی به تراکم مطلوب نقاط با توجه به وسعت محدوده مورد مطالعه‌است. همچنین، با توجه به آن که در منابع مهم آمار مکانی، الگوی نمونه‌برداری شبکه‌ای منظم مناسب‌ترین شیوه برای افزایش صحت تخمین‌های نهایی معرفی شده است، این الگو برای نمونه‌برداری انتخاب شد (۲۸). در ادامه، نظر به آن که برای ارزیابی تناسب اراضی برای گیاهان یک‌ساله بررسی ویژگی‌های خاک تا عمق ۱ متر توصیه شده است (۲۴)، با حفر مینی‌پیتاز عمق‌های ۰ تا ۲۵، ۲۵ تا ۵۰، ۵۰ تا ۷۵ و ۷۵ تا ۱۰۰ سانتی‌متری تمامی نقاط، نمونه‌برداری انجام گرفت.

به‌منظور ارزیابی میزان و شدت محدودیت‌های خاکی و اثرات آن‌ها بر تناسب اراضی منطقه برای کشت آبی گندم، ابتدا مقادیر ویژگی‌های درصد ذرات درشت خاک، بافت خاک، درصد کربنات کلسیم معادل، واکنش خاک، قابلیت هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم در نمونه‌های جمع‌آوری‌شده از اعماق مختلف خاک، با استفاده از روش‌های استاندارد (۲۲) انجام گرفت.

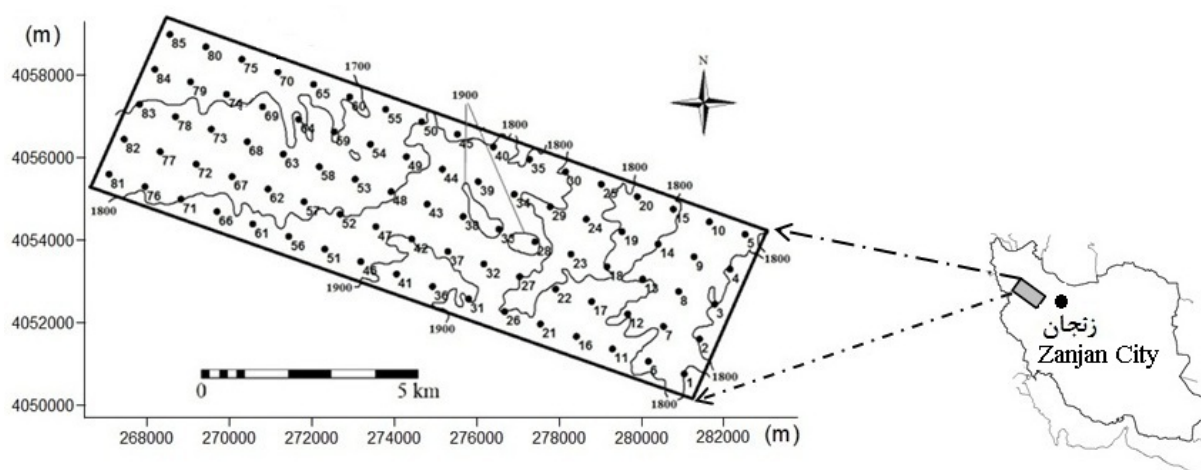
منطق بولین<sup>۱</sup> در تخصیص کلاس‌های تناسب، گاهی به اشتباه موجب اختصاص یافتن کلاس‌های تناسب کاملاً متفاوت به مکان‌هایی می‌شود که شاید تفاوت بسیار اندکی در برخی ویژگی‌های خاکی داشته باشند. عمدی و همکاران (۷) برای ارزیابی تناسب اراضی دشت ارسنجان استان فارس، از راه‌کار تلفیق‌زمین‌آمار، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی استفاده کردند. ایشان بیان داشتند که محدودسازی تغییرات ویژگی‌های مؤثر بر تناسب اراضی در درون واحدهای نقشه خاک به خاک‌رخ شاهد، موجب برآورد نادرست کلاس تناسب اراضی در برخی از نقاط می‌شود.

راه‌کارهای مزبور با مدل‌سازی تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک، به نقشه پیوسته تناسب اراضی دست می‌یابند. در این نقشه‌ها، بخش‌هایی از اراضی که دارای تناسب بینابین باشند، تنها می‌توانند مشخصات یکی از کلاس‌های از پیش تعریف‌شده تناسب اراضی را اختیار نمایند (۱)؛ کلاس‌هایی که به‌صورت گروه‌های کاملاً مجزا و گسسته تعریف شده‌اند که توسط حدود ثابت و معینی از یکدیگر جدا می‌شوند (۱۵). انتساب مطلق چنین کلاس‌های تناسبی به بخش‌هایی از اراضی که در واقع کلاس حقیقی تناسب آن‌ها نامشخص است، بی‌شک موجب تنزل صحت نقشه نهایی تناسب اراضی خواهد شد (۱۷). از این رو، در تقابل با این منطق دو ارزشی، منطق فازی با فرض امکان تعلق هم‌زمان یک شیء به چند گروه توسعه یافته است (۴). نظر به سازگاری چنین تفکری با ماهیت پیوسته محیط طبیعی پیرامون انسان (۱۵)، این راه‌کار مورد توجه برخی از متخصصان ارزیابی تناسب اراضی واقع شده است.

محمدی و گیوی (۱۵) با ارزیابی تناسب اراضی منطقه فلاورجان اصفهان برای کشت گندم آبی با استفاده از نظریه مجموعه‌های فازی، چنین اظهار داشتند که نتایج مبتنی بر دید فازی به پدیده‌های طبیعی، انطباق بیشتری با ماهیت پیوسته و مبهم این پدیده‌ها دارد. اللم (۵) با استفاده از راه‌کار فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی برای تهیه نقشه پیوسته تناسب اراضی برای کشت زیتون، بیان داشت که استفاده از این راه‌کار در راستای لحاظ کردن تغییرات پیوسته ویژگی‌های خاک در بررسی تناسب اراضی، منجر به نتایج متفاوتی نسبت به روش‌های سنتی می‌گردد. به هر حال، با وجود توسعه تکنیک‌های گوناگون برای ترسیم نقشه‌های پیوسته تناسب اراضی در جهان و مقبولیت جهانی این راه‌کارها، هنوز روش‌های سنتی ارزیابی اراضی در بسیاری از بخش‌های کشور به اجرا در می‌آیند. در این پژوهش سعی شده است تا با استفاده از روش امتیازدهی محدودیتی تجمعی به نقشه پیوسته تناسب اراضی برای کشت گندم دیم، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین محصولات استراتژیک در کشور و به‌طور نمونه در منطقه زنجان

1- Boolean

2- Fuzzy Analytical Hierarchy Process; Fuzzy AHP



شکل ۱- حدود تقریبی منطقه مورد مطالعه همراه با نقشه خطوط تراز و الگوی توزیع ۸۵ نقطه نمونه برداری  
Figure 1- Location of the study area along with contour lines and 85 sampling points

ویژگی تعیین گردید.

به منظور تبدیل سطوح محدودیت هر یک از ویژگی‌های خاکی و اقلیمی به امتیاز محدودیتی و محاسبه مجموع امتیازات محدودیتی، از طبقه‌بندی ارائه شده توسط ژانگ (۳۲) استفاده گردید (جدول ۱). این طبقه‌بندی نوعی راه کار نیمه کمی پارامتریک است که کاملاً منطبق با چارچوب ارزیابی اراضی ارائه شده توسط فائو (۸) بوده و به منظور تکمیل آن ارائه شده است (۲۵).

جدول ۱- امتیازات محدودیتی متناظر با هر یک از سطوح محدودیتی (۳۲)

Table 1- Limitation scoring system introduced by Zhang (32)

سطح محدودیت	0	1	2	3	4
Limitation degree					
امتیاز محدودیتی	0	1	3	9	27
Limitation score					

پس از محاسبه مجموع امتیازات محدودیتی تمامی ویژگی‌های خاکی و اقلیمی مؤثر بر تناسب اراضی برای کاربری مد نظر، کلاس نهایی تناسب اراضی برای هر یک از نقاط مشاهداتی طبق جدول ۲ تعیین شد. در انطباق با اصول طبقه‌بندی تناسب اراضی ارائه شده توسط فائو (۲۴)، مبنای انتساب دامنه‌های عددی مجموع امتیازات محدودیتی به هر یک از کلاس‌های تناسب اراضی در جدول ۲ آن است که با افزایش تعداد و یا شدت محدودیت‌های اراضی، از درجه تناسب اراضی برای کاربری‌های معین کاسته می‌شود.

سپس، با انجام متوسط‌گیری‌های مربوطه با استفاده از ضرایب وزنی و تطبیق مقادیر متوسط ویژگی‌های خاک در هر نقطه مشاهداتی با معیارهای موجود در جدول نیازهای خاکی محصولات مورد مطالعه (۱۰)، سطوح محدودیت ایجاد شده توسط هر یک از ویژگی‌های خاکی در هر یک از نقاط برای این کاربری، تعیین شدند. بیان این نکته الزامی است که علاوه بر خصوصیت‌های خاکی مزبور، برخی دیگر از ویژگی‌های اراضی (مانند درصد شیب، میانگین پستی و بلندی‌های کوچک، وضعیت سیل‌گیری و زه‌کشی اراضی، سنگ‌لاخی بودن خاک سطحی، عمق خاک و درصد گچ) در تعیین کلاس تناسب اراضی برای کشت آبی گندم، مهم هستند (۱۰). نظر به عدم مشاهده لایه محدودکننده تا عمق نمونه‌برداری انجام شده (یک متر) و نیز عدم وجود گچ در خاک‌های منطقه بر اساس آزمون عصاره خاک و آب با استون، به نظر می‌رسد که این ویژگی‌ها محدودیتی برای کشت گندم ایجاد نمی‌کنند. همچنین بر اساس مشاهدات صحرایی و تفحص از کشاورزان بومی منطقه، مشخص شد که سایر ویژگی‌های مزبور نیز برای کاربری مورد بررسی کاملاً مناسب هستند و در نتیجه، هیچ‌یک از آنها در فرآیند ارزیابی تناسب خاک منطقه برای کشت گندم‌آبیمد نظر قرار نگرفت.

به علاوه، در فرآیند ارزیابی تناسب اقلیم منطقه برای کشت آبی گندم، با فرض برطرف شدن محدودیت‌های رطوبتی خاک در اثر آبیاری، سایر ویژگی‌های اقلیمی مد نظر قرار گرفت. بدین منظور، پس از استخراج مقادیر متوسط هر یک از ویژگی‌های اقلیمی مورد نیاز طی دوره‌ی آمارسال‌های ۱۳۴۰ تا ۱۳۹۰، از اطلاعات هواشناسی ایستگاه سینوپتیک زنجان (۳۰) و انطباق آن‌ها با حدود بهینه این ویژگی‌ها در جدول نیازهای اقلیمی این محصولات (۱۰)، سطح محدودیت هر

جدول ۲- کلاس تناسب اراضی متناظر با مجموع امتیازات محدودیتی (۳۲)

Table 2- Land suitability classification corresponded with accumulated limitation scores (32)

مجموع امتیازات محدودیتی Accumulated limitation score	<5	5 – 10	10 – 27	≥27
کلاس تناسب اراضی Land suitability class	S1	S2	S3	N

متوسط (تناسب بحرانی) تنزل می‌یابد. توصیف آماری ویژگی‌های خاکی مؤثر بر تناسب اراضی منطقه برای کشت گندم آبی در جدول ۴ ارائه شده است. علاوه بر آن، به‌منظور آشکار سازی شدت محدودیت ایجادشده توسط ویژگی‌های خاک برای کاربری مورد نظر در مکان‌های مختلف نمونه‌برداری، درصد نمونه‌های منسوب به هر سطح محدودیتی بر اساس هر یک از این ویژگی‌ها (از مجموع ۸۵ نمونه) نیز در جدول ۴ ارائه شده است.

در میان ویژگی‌های خاکی مورد بررسی، مقادیر جزئی ویژگی‌های قابلیت هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم سبب شده که هیچ‌گونه محدودیتی برای کشت گندم ایجاد نشود (جدول ۴). از سوی مقابل، ویژگی درصد ذرات درشت (درصد سنگ و سنگ‌ریزه) مهم‌ترین محدودیت خاکی اراضی برای این کاربری است؛ به‌گونه‌ای که در نیمی از نقاط مشاهداتی محدودیت کم و در سایر نقاط محدودیت متوسط تا خیلی شدید ایجاد نموده است (جدول ۴). نظر به آن که بر اساس تعاریف موجود در کلید رده‌بندی خاک آمریکایی (۲۳)، عمده خاک‌های موجود در منطقه در دو رده انتی‌سول<sup>۲</sup> و اینسپتی‌سول<sup>۳</sup> طبقه‌بندی می‌شوند، بالا بودن مقادیر درصد سنگ و سنگ‌ریزه در این خاک‌های نسبتاً جوان، امری طبیعی به نظر می‌رسد. پس از این ویژگی، بافت خاک محدودکننده‌ترین ویژگی خاکی اراضی در منطقه است؛ طوری که در اکثر قریب به اتفاق نقاط نمونه‌برداری سبب ایجاد محدودیت کم برای کاربری مورد بررسی شده است (جدول ۴). در مجموع، نتایج جدول ۴ گویای آن است که عمده خاک‌های محدوده مورد مطالعه محدودیت‌های چندانی برای کشت گندم آبی ندارند. نتایج حاصل از تعیین کلاس تناسب اراضی هر یک از نقاط مشاهداتی در منطقه مطالعاتی، بر اساس مجموع امتیازات محدودیتی هر نقطه، در شکل ۲ نمایش داده شده است.

بررسی اجمالی شکل ۲ نشان می‌دهد که مقدار تغییرپذیری کلاس تناسب اراضی در منطقه مطالعاتی، نسبتاً قابل توجه است. گرچه اثر تجمعی اندک محدودیت‌های اقلیمی (جدول ۲) و خاکی (جدول ۳)، موجب بالا رفتن امتیاز محدودیتی و در نتیجه تنزل کلاس تناسب اراضی در شمار معدودی از نقاط مشاهداتی شده است،

هم‌چنین، برای تبدیل مجموع امتیازات محدودیتی حاصل به تابع عضویت پیوسته تناسب اراضی از معادله نمایی پیشنهاد شده توسط تریانتافیلیس و همکاران (۲۵) استفاده گردید (معادله ۱).

معادله ۱-  

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-a(x-b)}}$$
 در این معادله،  $f(x)$  و  $acc. \text{ limitation score}$  به ترتیب، تابع پیوسته عضویت تناسب اراضی و مجموع امتیازات محدودیتی در نقطه‌ی  $x$  هستند. مقدار تابع پیوسته عضویت تناسب اراضی در محدوده صفر تا یک متغیر است؛ به‌گونه‌ای که مقدار عددی صفر برای این شاخص نشان‌دهنده تعلق آن مکان به کلاس نامناسب برای کاربری مد نظر است و با میل کردن این مقدار به سمت عدد یک بر میزان تناسب اراضی افزوده می‌شود (۱۷). در ادامه، برای دستیابی به نقشه پیوسته تناسب اراضی، مقادیر تابع عضویت تناسب به‌دست آمده در نقاط نمونه‌برداری به‌عنوان یک ویژگی ثانویه خاک، مد نظر قرار گرفت و با استفاده از تخمین‌گر کریجینگ معمولی<sup>۱</sup> (۲۸)، مقادیر آن در نقاط دیگر برآورد و در نهایت پهنه‌بندی گردید.

## نتایج و بحث

جدول ۳ نتایج ارزیابی اقلیم منطقه برای کشت گندم آبی را نشان می‌دهد.

نگاهی به جدول ۳ گویای این واقعیت است که شرایط اقلیمی منطقه‌ی مورد مطالعه، برای کشت گندم نسبتاً مناسب است؛ به‌گونه‌ای که تنها محدودیت اقلیمی، محدودیت جزیی است که از ویژگی متوسط درجه حرارت دوره رشد ناشی می‌شود. چنین به‌نظر می‌رسد که عدم انطباق کامل تاریخ کشت گندم با شرایط حرارتی و رطوبتی منطقه، موجب ایجاد این محدودیت می‌گردد. به بیان دیگر، شاید بتوان با اصلاح تاریخ کاشت گندم در منطقه، از شدت محدودیت اقلیمی ناشی از سرمای زودرس پاییزه در شهرستان زنجان کاست. در تطابق با این یافته‌ها، نتایج پژوهش کمالی و همکاران (۱۲) حاکی از آن است که در پی وقوع برخی محدودیت‌های اقلیمی، از جمله متوسط درجه حرارت دوره رشد، تناسب اقلیمی شهرستان زنجان برای کشت گندم دیم در بیشتر مناطق از کلاس خیلی مناسب به کلاس مناسب و گاه‌آ کلاس

2- Entisol

3- Inceptisol

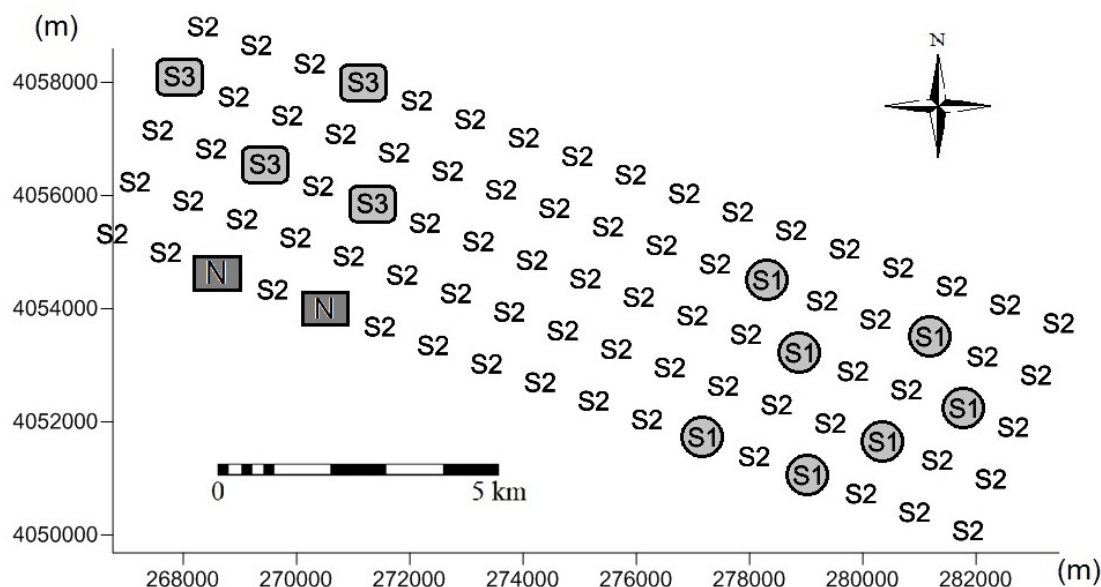
1- Ordinary Kriging

جدول ۳- نتایج ارزیابی اقلیم منطقه برای کشت گندم آبی (۱۰)  
Table 3- Assessment the climate of studied area for irrigated wheat (10)

خصوصیت اقلیمی Climatic property	مقدار Value	سطح محدودیت Limitation degree	امتیاز محدودیتی Limitation score
متوسط درجه حرارت دوره رشد (درجه سلسیوس) Mean temperature of the growing cycle (°C)	13.4	1	1
متوسط درجه حرارت مرحله جوانه زنی (درجه سلسیوس) Mean temperature of vegetative stage (°C)	8.7	0	0
متوسط درجه حرارت مرحله گل دهی (درجه سلسیوس) Mean temperature of flowering stage (°C)	15.2	0	0
متوسط درجه حرارت مرحله رسیدگی (درجه سلسیوس) Mean temperature of ripening stage (°C)	21.3	0	0
متوسط حداکثر درجه حرارت روزانه سردترین ماه سال Mean daily maximum temperature of the coldest month (°C)	12.7	0	0
متوسط حداقل درجه حرارت روزانه سردترین ماه سال Mean daily minimum temperature of the coldest month (°C)	- 0.7	0	0

جدول ۴- توصیف آماری ویژگی های خاکی مورد بررسی همراه با درصد نمونه های منسوب به هر سطح محدودیتی  
Table 4- Summary statistics of selected soil properties along with the assigned percentage of sampling points to each limitation degree

متغیر Variable	میانگین Mean	حداقل Minimum	حداکثر Maximum	انحراف معیار Standard deviation	درصد نمونه های منسوب به هر سطح محدودیتی percentage of sampling points in each limitation degree				
					0	1	2	3	4
ذرات درشت تر از دو میلی متر Coarse fragments (> 2 mm) (%)	26.3	9.7	64.7	11.3	0.0	49.4	43.6	4.7	2.3
کربنات کلسیم معادل Carbonate calcium equivalent (%)	17.5	3.4	42.9	9.5	65.9	28.2	5.9	0.0	0.0
واکنش خاک pH	7.69	7.35	7.93	0.12	87.1	12.9	0.0	0.0	0.0
قابلیت هدایت الکتریکی EC (dS/m)	0.55	0.27	1.32	0.18	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0
نسبت جذب سدیم SAR (meq/l <sup>0.5</sup> )	0.39	0.17	0.93	0.12	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0
رس Clay (%)	28.2	10.0	48.0	7.2	--	--	--	--	--
شن Sand (%)	41.9	16.0	74.0	10.5	--	--	--	--	--
بافت خاک Soil texture	--	--	--	--	12.9	83.5	3.6	0.0	0.0



شکل ۲- کلاس تناسب اراضی نقاط مشاهداتی برای کشت گندم آبی بر اساس مجموع امتیازات محدودیتی هر نقطه

Figure 2- Calculated suitability class of each soil sampling location for irrigated wheat farming based on their accumulated limitation scores

بر حسب ویژگی‌های خاکی و اقلیمی، تناسب اراضی برای کاربری‌های خاص در قالب کلاس‌های مشخصی تعیین می‌شود (۷). حال آن‌که، تفکیک اراضی در قالب چنین کلاس‌های مطلقی نادیده انگاشتن پیوستگی ذاتی ویژگی‌های خاکی در بعد مکان محسوب می‌شود (۲۵). به همین دلیل برخی پژوهشگران معتقدند که تفکیک کردن قطعات کوچک اراضی به کلاس‌های تناسب متفاوت آن‌هم بدون توجه به تغییرات کوتاه‌دامنه ویژگی‌های خاک، که راه‌کاری متداول در روش‌های سنتی ارزیابی تناسب اراضی است، منجر به حاصل آمدن نتایج غیر واقعی می‌گردد (۱۴). برای غلبه بر این مشکل و در راستای ایجاد انطباق بیشتر میان تفسیرهای صورت گرفته از نقشه‌های تناسب اراضی و ماهیت واقعی پیوسته خاک، پژوهش‌گران استفاده از راه‌کارهای گوناگون مبتنی بر دید پیوسته به تغییرات مکانی تناسب اراضی برای کاربری‌های خاص را توصیه نموده‌اند (۱۱، ۱۷، ۲۷ و ۳۱). شکل ۳، نقشه پهنه‌بندی تابع پیوسته تناسب اراضی برای کشت گندم آبی با استفاده از تخمین گر کریجینگ معمولی را نشان می‌دهد.

همان‌گونه که به وضوح از شکل ۳ پیدا است، مقادیر تابع پیوسته عضویت تناسب اراضی در روندی نسبتاً مشخص در منطقه مورد مطالعه تغییر می‌کنند. در قسمت‌های شمال غربی منطقه کمترین مقادیر این شاخص به چشم می‌خورد (اراضی با تناسب پایین برای کشت گندم)، و افزایش مقادیر این شاخص به ازای افزایش فاصله از مناطق مزبور، نشان‌گر بهبود تناسب اراضی برای کاربری مد نظر است. گرچه شاید چنین روندی از نقشه نقطه‌ای کلاس تناسب اراضی

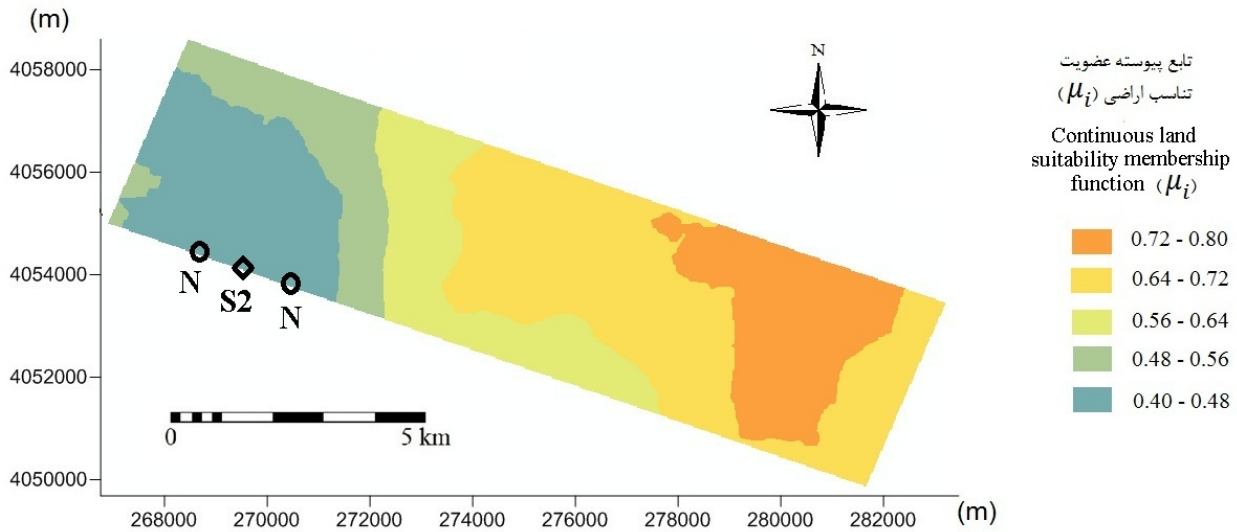
اما اکثر قریب به اتفاق نقاط از کلاس مناسب تا خیلی مناسب برخوردار هستند (شکل ۲). هم‌چنین، مشاهده می‌شود که اندک نقاط دارای کلاس تناسب بحرانی یا نامناسب برای کشت گندم در منطقه، در قسمت‌های شمال غربی منطقه مطالعاتی واقع شده‌اند و با افزایش فاصله از این نقاط، کلاس تناسب اراضی بهبود یافته و در بخش‌های جنوب شرقی منطقه، اراضی با تناسب بسیار بالا برای این کاربری دیده می‌شوند.

در همین ارتباط، نتایج پژوهش صفری و اسفندیارپور بروجنی (۱۸) حاکی از آن بود که متوسط میزان هم‌خوانی کلاس و زیرکلاس تناسب کیفی اراضی دشت شهرکرد برای کشت آبی محصولات عمده منطقه با کلاس و زیرکلاس تناسب اراضی خاک‌رخ‌های شاهد در واحدهای نقشه خاک، به ترتیب ۶۰ و ۳۸ درصد بود. بنابراین، ایشان اظهار داشتند که تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک می‌تواند به تغییرات کوچک مقیاس کلاس تناسب اراضی بیانجامد. هم‌چنین، صالحی و همکاران (۲۰) در پژوهشی مشابه با مقایسه کلاس تناسب ۳۱ خاک‌رخ حفر شده در یک واحد نقشه خاک تفصیلی در اراضی دشت فرخ‌شهر با کلاس تناسب خاک‌رخ شاهد، گزارش کردند که تنها ۱۶ درصد از خاک‌رخ‌های مورد بررسی با خاک‌رخ شاهد مشابه بودند. ایشان اظهار داشتند که تعمیم کلاس تناسب اراضی خاک‌رخ شاهد به کل واحد نقشه در روش‌های مرسوم ارزیابی تناسب اراضی می‌تواند تا حد نسبتاً زیادی گمراه کننده باشد.

به هر حال، در راه‌کار مزبور و دیگر راه‌کارهای مبتنی بر روش‌های سنتی ارزیابی تناسب اراضی، در هر نقطه مشخص از زمین

برای کشت گندم آبی در دو نقطه مشاهداتی، نامناسب (N) برآورد شده است (شکل ۲).

(شکل ۲) نیز قابل برداشت باشد، اما تفاوت‌هایی نیز در این دو نقشه جالب توجه است. برای نمونه، در نقشه نقطه‌ای، کلاس تناسب اراضی



شکل ۳- نقشه نهایی تناسب اراضی برای کشت گندم آبی در منطقه مورد مطالعه  
Figure 3- Final suitability map for irrigated wheat in the studied area

مقادیر در این نقاط شده است. به هر حال راه کارهای مبتنی بر تخمین مقادیر متغیرها در نقاط نمونه برداری نشده، همواره با درصدی از عدم اطمینان همراه هستند (۲۸).

در دیدگاه دوم، با توجه به مقادیر نسبتاً بالای تابع عضویت تناسب اراضی (شکل ۳)، فرض می‌شود که دو نقطه مزبور نماینده خوبی برای خاک‌های واقع در دو محدوده مربوطه نبوده‌اند و نتوانسته‌اند انعکاس صحیحی از تناسب واقعی اراضی در آن نواحی ارائه دهند. برای نمونه، گاهی رعایت الگوی نظام‌مند نمونه برداری موجب می‌شود تا نقاط نمونه برداری مورد نظر، نقاط شاخص مطلوبی برای محدوده‌های تحت پوشش خود نباشند (۱۶). مشاهده می‌شود که در این صورت، استفاده از درون‌یابی امتیازات محدودیتی تجمعی در قالب تابع عضویت تناسب اراضی، حتی توانسته است با بهره‌گیری از اصل تدریجی بودن تغییرات ویژگی‌های خاک و به کمک سایر نقاط مشاهداتی، مانع از بروز چنین نتیجه اشتباهی گردد. در همین راستا، ژانگ و همکاران (۳۱) معتقدند که استفاده از تابع عضویت تناسب اراضی، راه‌کاری مؤثر برای انعکاس اثرات ویژگی‌هایی از خاک و زمین‌نما بر تناسب اراضی برای کاربری‌های خاص است که به دلیل داشتن مقادیر بسیار متفاوت و اختلاف در واحد اندازه‌گیری آنها، تلفیق این ویژگی‌ها در زوش‌های معمول ارزیابی اراضی تقریباً غیر ممکن است. ذکر این نکته الزامی است که شواهدی هم‌چون رضایت نسبی کشاورزان محلی از عملکرد گندم در محدوده‌های مورد نظر و رشد مطلوب گندم در نقاط مزبور و پیرامون آنها بر اساس مشاهده‌های

با توجه به وجود محدودیت نسبتاً شدید ویژگی درصد ذرات درشت‌تر از دو میلی‌متر خاک در برخی از نقاط (جدول ۳)، چنین نتیجه‌ای کاملاً منطقی و واقع‌بینانه به نظر می‌رسد. از سویی، کلاس تناسب نقطه واقع در میان دو نقطه مزبور، نسبتاً مناسب (S2) برآورد شده است (شکل ۳). این مشاهده بدین مفهوم است که با طی فاصله‌ای حدود دو کیلومتر، کلاس تناسب اراضی دو مرتبه با تغییرات چشم‌گیری مواجه می‌شود. گرچه با توجه به تغییرپذیری کوچک مقیاس ویژگی‌های خاک (۲۶)، چنین نتیجه‌ای نیز غیر منطقی نیست، اما ملاحظه می‌گردد که ترسیم روند پیوسته تغییرپذیری مکانی تناسب اراضی (شکل ۳)، نتیجه کمی متفاوتی را رقم زده است. چرا که در این نقشه، روند تغییرات تناسب اراضی تدریجی‌تر است که چنین نتیجه‌ای با ماهیت پیوسته خاک سازگارتر به نظر می‌رسد (۱۷).

علاوه بر این، دامنه مقادیر تابع پیوسته عضویت تناسب اراضی در منطقه مورد مطالعه، از ۰/۴ تا ۰/۸ متغیر است (شکل ۳). با توجه به آن که مقادیر نزدیک به صفر این شاخص نمایان‌گر کلاس نامناسب هستند (۱۷ و ۲۵)، مطابق نتایج حاصل از درون‌یابی مقادیر تابع پیوسته عضویت تناسب اراضی، می‌توان گفت هیچ‌کجای منطقه مورد مطالعه از چنین کلاسی برخوردار نیست. این مشاهده می‌تواند از دو دیدگاه مورد بحث واقع شود: ابتدا، چنان‌چه با این واقعیت مقایسه گردد که کلاس تناسب اراضی حداقل در دو نقطه مشاهداتی، نامناسب است، شاید چنین به نظر برسد که عملیات انجام گرفته برای محاسبه و درون‌یابی مقادیر تابع عضویت موجب تخصیص اشتباه

صحرايي، احتمال صحت فرض مزبور را تقويت مي نمايد.

## نتیجه گیری کلی

ارزیابی شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه برای کشت گندم آبی حاکی از آن بود که تنها محدودیت اقلیمی، محدودیت جزئی است که از ویژگی متوسط درجه حرارت دوره رشد ایجاد می شود و سایر ویژگی های اقلیمی برای کاربری مد نظر، محدودیتی ندارند. در میان ویژگی های حاکی نیز، ویژگی های درصد ذرات درشت تر از دو میلی متر خاک و بافت خاک، به ترتیب با ایجاد محدودیت های شدید و متوسط تا کم، محدودکننده ترین خصوصیت ها برای کشت گندم آبی در منطقه بودند. نقشه نقطه ای کلاس تناسب اراضی نشان داد که با وجود برخورداری اکثر قریب به اتفاق نقاط از کلاس مناسب تا خیلی

مناسب، تجمع اثرات اندک محدودیت های اقلیمی و حاکی در قالب امتیازات محدودیتی، موجب بالا رفتن امتیاز محدودیتی و در نتیجه تنزل کلاس تناسب اراضی، به ویژه در قسمت های شمال غربی منطقه مطالعاتی گردیده است. ترسیم روند پیوسته تغییرپذیری مکانی تناسب اراضی مبتنی بر دید فازی به تغییرات خاک، می تواند با کنترل کردن تغییرپذیری های کوچک مقیاس ویژگی های خاک، نقشه های تناسب اراضی منطقی تر و با قابلیت مدیریت بالاتری ارائه دهد. هم چنین، استفاده از درون یابی مقادیر تابع پیوسته عضویت تناسب اراضی در به تصویر کشیدن تغییرپذیری مکانی تناسب اراضی برای کاربری های خاص، می تواند با بهره گیری از اصل تدریجی بودن تغییرات ویژگی های خاک، از بروز نتایج اشتباه ناشی از تعمیم ویژگی های نقاط نمونه برداری به محدوده های تحت پوشش آن نقاط جلوگیری نماید.

## منابع

- 1- Ahamed T.R.N., Rao K.G., and Murthy J.S.R. 2000. GIS-based fuzzy membership model for crop-land suitability analysis. *Agricultural Systems*, 63: 75-95.
- 2- Bagherzadeh A., and Paymard P. 2015. Assessment of land capability for different irrigation systems by parametric and fuzzy approaches in the Mashhad Plain, northeast Iran. *Soil and Water Research*, 10: 90-98.
- 3- Bhagat R.M., Singh Sh., Sood C., Rana R.S., Kalia V., Pradhan S., Immerzeel W., and Shrestha B. 2009. Land suitability analysis for cereal production in Himachal Pradesh (India) using geographical information system. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 37: 233-240.
- 4- Burrough P.A. 1989. Fuzzy mathematical methods for soil survey and land evaluation. *European Journal of Soil Science*, 40: 477-492.
- 5- Elaalem M. 2013. A comparison of parametric and fuzzy multi-criteria methods for evaluating land suitability for Olive in Jeffara plain of Libya. *APCBEE Procedia*, 5: 405-409.
- 6- Elsheikh R., Mohamed Shariff A.R.B., Amiri F., Ahmad N.B., Balasundram S.K., and Soom M.A.M. 2013. Agriculture land suitability evaluator (ALSE): A decision and planning support tool for tropical and subtropical crops. *Computers and Electronics in Agriculture*, 93: 98-110.
- 7- Emadi M., Baghernejad M., Pakparvar M., and Kowsar S.A. 2010. An approach for land suitability evaluation using geostatistics, remote sensing, and geographic information system in arid and semiarid ecosystems. *Environmental Monitoring and Assessment*, 164: 501-511.
- 8- FAO. 1976. A framework for land evaluation. *Soils Bulletin* 32. Rome, Italy.
- 9- FAO. 2007. Land evaluation. Rome, Italy.
- 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- Kalogirou S. 2002. Expert systems and GIS: an application of land suitability evaluation. *Computers, Environment and Urban Systems*, 26 (2-3): 89-112.
- 12- Kamali Gh., Mollaei P., and Behyar M.B. 2009. Development of Zanjan province dry land wheat atlas by using climatic data and GIS. *Journal of Water and Soil*, 24 (5): 894-907. (in Persian with English abstract)
- 13- Kamau S.W., Kuria D., and Gachari M.K. 2015. Crop-land suitability analysis using GIS and remote sensing in Nyandarua County, Kenya. *Journal of Environment and Earth Science*, 5 (6): 121-131.
- 14- Mendas A., and Delali A. 2012. Integration of multi-criteria decision analysis in GIS to develop land suitability for agriculture: Application to durum wheat cultivation in the region of Mleta in Algeria. *Computers and Electronics in Agriculture*, 83: 117-126.
- 15- Mohammadi J., and Givi J. 2001. Land suitability evaluation for irrigated wheat in Falavarjan region (Isfahan) using fuzzy set theory. *Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)*, 5 (1): 103-116. (in Persian with English abstract)
- 16- Mohammadi J. 2004. *Pedometrics; Spatial Statistics*. Tehran: Pelk. (In Persian)
- 17- Reshmivi T.V., Eldho T.I., and Jana R. 2009. A GIS-integrated fuzzy rule-based inference system for land suitability evaluation in agricultural watersheds. *Agricultural Systems*, 101: 101-109.
- 18- Safari Y., and Esfandiarpour Boroujeni I. 2013. The effect of intra-unit variability of the detailed soil map on the



- results of qualitative land suitability evaluation (A case study: main irrigated crops in the Shahrekord plain). *Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)*, 17 (65): 101-111. (in Persian with English abstract)
- 19- Safari Y., Delavar M.A., Zhang Ch., Esfandiarpour-Boroujeni I., and Owliaie H.R. 2015. The influences of selected soil properties on Pb availability and its transfer to wheat (*Triticumaestivum* L.) in a polluted calcareous soil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187 (12). DOI: 10.1007/s10661-015-5001-9.
  - 20- Salehi M.H., Khademi H., Givi J., and Karimian-Eghbal M. 2005. Variability of qualitative land suitability evaluation (parametric method) in a detailed map unit in Farrokhsahr area. *The Scientific Journal of Agriculture*, 27 (2): 115-126. (in Persian with English abstract)
  - 21- Samranpong Ch., Ekasingh B., and Ekasingh M. 2009. Economic land evaluation for agricultural resource management in Northern Thailand. *Environmental Modeling and Software*, 24: 1381-1390.
  - 22- Soil Survey Staff. 2014. Kellogg soil survey laboratory methods manual. Soil Survey Investigations Report No. 42, Version 5.0. R. Burt and Soil Survey Staff (ed.). USDA, NRCS, NCSS, USA.
  - 23- Soil Survey Staff. 2014. Keys to soil taxonomy, 12th edition. NRCS, USDA, USA.
  - 24- Sys C., Van Ranst E., and 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.
  - 25- Triantafilis J., Ward W.T., and McBratney A.B. 2001. Land suitability in the Namoi Valley of Australia, using a continuous model. *Soil Research*, 39: 273-290.
  - 26- Vieira S.R., and Paz Gonzalez A. 2003. Analysis of spatial variability of crop yield and soil properties in small agricultural plots. *Bragantia*, 62: 127-138.
  - 27- Wang F., Hall G.B., and Subaryono A. 1990. Fuzzy information representation and processing in conventional GIS software: database design and application. *International Journal of Geographic Information Sciences*, 4 (3): 261-283.
  - 28- Webster R., and Oliver M.A. 2007. *Geostatistics for Environmental Scientists*. John Wiley and Sons, Chichester.
  - 29- Yanfang L., and Limin J. 2002. The application of BP networks to land suitability evaluation. *Geospatial Information Science*, 5 (1): 55-61.
  - 30- Zanzan Meteorological Administration. 2015. Zanzan synoptic meteorological station. Available from: <http://www.chaharmahalmet.ir/en/dataarchive.asp>.
  - 31- Zhang J., Su Y., Wu J., and Liang H. 2015. GIS based land suitability assessment for tobacco production using AHP and fuzzy set in Shandong province of China. *Computers and Electronics in Agriculture* archive, 114: 202-211.
  - 32- Zhang L.A. 1989. A land suitability evaluation system for specific rural purposes in New South Wales. Ph. D. dissertation, University of Sydney, NSW, Australia.
  - 33- Ziadat F.M. 2007. Land suitability classification using different sources of information: soil maps and predicted soil attributes in Jordan. *Geoderma*, 140: 73-80.

## Land Suitability Evaluation for Irrigated Wheat in Zanjan Plain Using Limitation Scores

Y. Safari<sup>1\*</sup>- M.A. Delavar<sup>2</sup>- Z. Noori<sup>3</sup>

Received: 05-04-2016

Accepted: 08-11-2016

**Introduction:** Land suitability evaluation (LSE) may be considered as a worldwide accepted procedure to achieve optimum utilization of the available land resources for sustainable agriculture. The common LSE procedures, like the widely accepted “A framework for land evaluation” presented by FAO, however, do not consider variability of soil quality parameters; whereas, the soil quality and its suitability for different uses are influenced by highly variable land management strategies. Therefore, assessing the spatial variability pattern of environmental variables and their accumulative effects on land suitability for specific crops, is the key for achieving to thoughtful land use planning for sustainable use. The present study was done aimed to evaluation of spatial variability of land suitability for irrigated wheat in Zanjan plain using accumulated limitation scores and geostatistics.

**Materials and Methods:** The study area is located in the southern part of Zanjan city, northwestern Iran, between the latitudes 36° 33' and 36° 40' N and the longitudes 48° 23' and 48° 37' E, covering an area of about 7000 ha. A total of 85 sampling locations were designed using a systematic sampling grid with an interval of 1000 m and consequently, soil samples at all sampling sites were collected from the depths of 0–25, 25-50, 50–75 and 75–100 cm. The soil samples were taken to the laboratory, where they were air-dried and then passed through a 2 mm sieve. Prepared samples were subsequently analyzed for required soil properties in LSE (Sys et al., 1993) using standard methods. Besides, required climatic data for LSE were obtained from Zanjan Synoptic Meteorological Station for a 50 years period (1961– 2011). Then, the limitation degrees for all of the important properties for wheat cropping were determined (Sys et al., 1993). Afterwards, the determined limitation degrees were converted to limitation scores using standard tables presented by Zhang (1989). Then, accumulated limitation scores were calculated for all locations and using an exponential equation, land-suitability membership scores were achieved. Finally, these scores were interpolated using ordinary kriging method in ArcGIS software (ver. 10.2; ESRI) and the final suitability map was produced.

**Results and Discussion:** The results showed that the climatic conditions for irrigated wheat was relatively good; so that the region received just 1 limitation score arisen from the mean temperature of the growing cycle. On the other hand, among the studied soil properties, the content of coarse fragments made some serious limitations for wheat farming in the studied area; so that more than half of sampling points showed moderate to very severe limitations in respect of this property. This high observed limitation of coarse fragments may be attributed to the youthfulness of studied soils; because according to Soil Taxonomy, the studied soils are mainly classified as Entisols, which are poorly developed and immature soils maintaining their rock structure to some extent. Other studied soil properties, like soil texture and calcium carbonate equivalent content, made no or slight limitations for wheat farming in the studied soils. Accumulated effects of limiting properties led to elevated limitation scores in some sampling locations, especially in northwestern parts of the area and consequently, their suitability classes were decreased. Attributing the specific land suitability classes to each sampling location based on the calculated limitation scores revealed some sharp variability in suitability classes thorough the relatively small distances, which seems to be less compatible with the widely accepted generality of soil continuity. Totally, the spatial distribution map of land-suitability membership scores showed appreciable variability thorough the area. This may suggest that the studied soil properties have relatively high short-range variations, which is originated from the soil substantial characteristics or management practices. Comparison of the interpolated suitability map with the point map revealed that the spatial variability pattern of land suitability for irrigated wheat was more gradual and more obvious in interpolated map.

**Conclusions:** Compared with common conventional land suitability procedures, continuous pattern of land suitability variation based on the fuzzy viewpoint to the soil variability, lead to more compatible results with the continuous nature of environmental variables. However, due to the long and short-range variations of various

1- Ph.D. Graduate, Department of Soil Science, University of Zanjan and Assistant Professor, Department of Soil Science, Shahrood University of Technology

(\*-Corresponding Author Email: yaser.safari94@yahoo.com)

2 and 3- Associate Professor, and Msc Student Department of Soil Science, University of Zanjan

soil properties thorough the studied area, appreciable variations in land suitability for wheat farming was observed. Controlling this highly variable suitability of studied lands for irrigated wheat farming needs precise and thoughtful management strategies.

**Keywords:** Continuous maps, Geostatistics, Land evaluation, Spatial distribution