

مقایسه دو روش فازی به منظور تعیین عمق بهینه خاک در مطالعات ارزیابی تناسب اراضی برای گندم

مرجان مهدوی فیروزآبادی^۱، *عیسی اسفندیارپور بروجنی^۲، محسن باقری بداغ‌آبادی^۳ و اردوان کمالی^۴

^۱دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه ولی عصر رفسنجان، دانشجویار گروه علوم خاک، دانشگاه ولی عصر رفسنجان،

^۲استادیار گروه جغرافیا، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران، ^۳استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه ولی عصر رفسنجان

تاریخ دریافت: ۹۴/۲/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۸/۲۴

چکیده

سابقه و هدف: ارزیابی تناسب اراضی به عنوان بخشی از سامانه کشاورزی پایدار، بهره‌برداری از اراضی را به جهتی سوق می‌دهد که ضمن تأمین بیش‌ترین درآمد، کیفیت اراضی نیز در حد مطلوب باقی بماند. در مطالعات سنتی ارزیابی تناسب اراضی، واحدهای اراضی دارای تناسب بینابین، تنها و تنها می‌توانند مشخصات یکی از کلاس‌های از پیش تعریف‌شده تناسب اراضی را اختیار نمایند. بنابراین، روش مزبور قادر به نشان دادن واقعیت پیوسته اراضی و تغییرات مکانی خاک نمی‌باشد. توسعه شیوه‌های مدرن (مانند منطق فازی) این مشکل را تا حد زیادی حل کرده است. بنابراین هدف اصلی پژوهش حاضر، تعیین عمق بهینه خاک به منظور ارزیابی تناسب کمی اراضی برای گندم با استفاده از نظریه مجموعه‌های فازی و مقایسه دو شیوه مختلف فازی‌سازی کلاس‌های تناسب اراضی در منطقه شاهدیه یزد بود.

مواد و روش‌ها: پس از برداشت محصول و نمونه‌های خاک از سه عمق ۰-۳۰، ۳۰-۶۰ و ۶۰-۱۰۰ سانتی‌متری در ۹۰ نقطه مشاهداتی و نیز برداشت نمونه‌های خاک از افق‌های ژنتیکی خاک رخ شاهد حفرشده در منطقه، پارامترهای مورد نیاز برای ارزیابی تناسب گندم اندازه‌گیری شدند. سپس، کلاس‌های ارزیابی تناسب اراضی به روش ریشه دوم محاسبه گردیدند و در سه حالت عمقی صفر تا ۳۰، صفر تا ۶۰ و صفر تا ۱۰۰ سانتی‌متری مورد مقایسه قرار گرفتند. محاسبات فازی استفاده‌شده برای این پژوهش به دو شیوه مختلف انجام شدند. در روش اول، فازی‌سازی شاخص اراضی محاسبه‌شده برای گندم به صورت مجموعه‌ها یا بازه‌های فازی ذوزنقه‌ای انجام شد. در روش دوم، ابتدا تمامی متغیرهای مورد استفاده در محاسبه کلاس‌های تناسب اراضی منطقه برای گندم، شامل عوامل اقلیمی و ویژگی‌های خاک و توپوگرافی، به صورت اعداد فازی تعریف شدند و سپس شاخص اراضی به صورت یک عدد فازی مثلثی به دست آمد. برای به دست آوردن مقادیر عددی نتیجه روش فازی اعمال شده (فرایند نافازی کردن)، از روش مرکز ثقل استفاده گردید. در نهایت، برای نشان دادن کلاس‌های مختلف تناسب اراضی، اعداد حاصل به درجات عضویت فازی تبدیل شدند. به منظور مقایسه نتایج به دست آمده از دو روش فازی مورد استفاده برای عمق‌های مختلف، از شاخص شباهت سارما استفاده شد.

یافته‌ها: درصد هم‌خوانی اطلاعات خاک‌رخ شاهد با سایر نقاط مشاهداتی، تنها برای عمق صفر تا ۱۰۰ سانتی‌متر، قابل توجه (بیش از ۶۰ درصد) بود؛ ولی بالاترین درصد هم‌خوانی کلاس‌های تناسب اراضی در هر کدام از دو روش

* مسئول مکاتبه: iesfandiarpour@yahoo.com

فازی مورد استفاده، مربوط به مقایسه دو عمق صفر تا ۶۰ و صفر تا ۱۰۰ سانتی متر بود. این موضوع بیانگر آن است که استفاده از عمق صفر تا ۶۰ سانتی متر می‌تواند گزینه مناسبی برای عمق بهینه مطالعات ارزیابی تناسب اراضی منطقه شاهده در مورد گندم باشد. از سوی دیگر، تفاوت چندانی بین نتایج به دست آمده از روش اول فازی (فازی‌سازی شاخص اراضی) نسبت به روش دوم (فازی‌سازی هر کدام از متغیرهای دخیل در تعیین شاخص اراضی) مشاهده نشد. **نتیجه‌گیری:** به‌طور کلی، مد نظر قرار دادن عمق صفر تا ۳۰ و یا صفر تا ۶۰ سانتی متر در مطالعات سنتی ارزیابی تناسب اراضی برای گندم از همخوانی کافی با نتیجه به دست آمده از خاک‌رخ شاهد برخوردار نمی‌باشد. بنابراین در صورتی که در مطالعه‌ای اطلاع از نوع محدودیت‌ها به‌منظور پیشنهاد دقیق عملیات اصلاحی و عمرانی مدنظر نباشد، استفاده از نتایج خاک‌رخ شاهد تا عمق ۱۰۰ سانتی متری، به روش سنتی کفایت می‌کند و نیازی به انجام محاسبات فازی نخواهد بود.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی تناسب اراضی، عملکرد، گندم، نظریه مجموعه‌های فازی، مناطق خشک

مقدمه

تعیین تناسب اراضی، یک راه‌کار موجود در ارزیابی اراضی است که سنجش و گروه‌بندی مناطق خاصی از زمین را بر حسب تناسب آن‌ها برای یک کاربری خاص بر عهده دارد (۲۲، ۲۷). ارزیابی تناسب اراضی به‌عنوان بخشی از سامانه کشاورزی پایدار، بهره‌برداری از اراضی را به جهتی سوق می‌دهد که ضمن تأمین بیش‌ترین درآمد، کیفیت اراضی نیز در حد مطلوب باقی بماند (۱).

مطالعات تناسب اراضی، به‌طور سنتی، بر پایه انتخاب خاک‌رخ‌های شاهد^۱ برای واحدهای نقشه و تعمیم نتایج آن‌ها به کل منطقه مطالعاتی انجام می‌گیرند. در واقع، نتیجه نهایی مطالعات سنتی ارزیابی تناسب اراضی به‌صورت نقشه‌ای ارائه می‌گردد که تناسب واحدهای اراضی مختلف را برای تولید محصول معینی نشان می‌دهد. این کلاس‌های تناسب اراضی، به‌صورت گروه‌های کاملاً مجزا و گسسته تعریف می‌شوند و توسط حدود مشخص و ثابتی از یکدیگر جدا می‌گردند (مانند: کلاس اراضی خیلی مناسب (S₁)، نسبتاً مناسب (S₂) و یا کلاس

اراضی با تناسب بحرانی (S₃). بدین ترتیب، واحدهای اراضی که دارای تناسب بینابین باشند، تنها و تنها می‌توانند مشخصات یکی از کلاس‌های از پیش تعریف‌شده تناسب اراضی را اختیار نمایند. چنین تقسیم‌بندی صلب و بدون انعطافی، قادر به نشان دادن واقعیت پیوسته اراضی و تغییرات مکانی خاک نمی‌باشد (۳۲).

توسعه شیوه‌های مدرن (مانند: زمین‌آمار^۲، شبکه عصبی مصنوعی^۳ و منطق فازی^۴) این مشکل را تا حد زیادی حل کرده است و می‌توان با جمع‌آوری داده‌های مناسب، نقشه‌هایی با دقت منطقی تهیه نمود (۷). از این میان، روش فازی، قابلیت و توان بیش‌تری برای ملاحظه و محاسبه تغییرات ویژگی‌های خاک دارد؛ زیرا نمی‌توان برای تغییرپذیری خاک، مرز مشخصی در نظر گرفت. بنابراین، استفاده از یک مدل استنتاج فازی^۵ برای تجزیه و تحلیل ارزیابی تناسب اراضی یک منطقه، جایگزین مناسبی برای روش سنتی می‌تواند باشد (۸). به سبب کارایی بالای منطق فازی

- 2- Geostatistics
- 3- Artificial Neural Network; ANN
- 4- Fuzzy logic
- 5- Fuzzy inference model

- 1- Representative soil profiles

مطالعه نیز نه ویژگی شامل درصد شیب، درصد کربن آلی، قابلیت هدایت الکتریکی، درصد گچ، بافت خاک، اقلیم، درصد سنگریزه، عمق و درصد سدیم تبادل‌ی خاک در ارتباط با گندم، مد نظر قرار گرفتند و وزن‌دهی شدند. نتایج نشان داد که استفاده از منطق فازی برای ارزیابی تناسب اراضی و طبقه‌بندی تغییرات پیوسته، مفید است؛ به‌خصوص در مواردی که تغییرات جزئی در ویژگی‌های اراضی، تغییرات قابل ملاحظه‌ای در سوددهی محصول مورد نظر ایجاد می‌کنند (۱۷). سیکات و همکاران (۲۰۰۵) با کاربرد منطق فازی، دانش و تجربه کشاورزان را برای طبقه‌بندی تناسب اراضی مدل‌سازی کردند. از دید کشاورزان، عواملی مثل فصل کاشت، رنگ خاک، بافت خاک، عمق خاک و شیب در تناسب اراضی برای محصولی خاص بسیار مهم هستند و در این میان، بافت خاک، عمق خاک و شیب به‌دلیل ارتباط مناسب بین نظرات کشاورزان و طبقه‌بندی‌های علمی فازی‌سازی شدند و از تجربه و دانش کشاورزان برای ترکیب نقشه‌های فازی تهیه‌شده با عملگرهای مختلف (مانند: جمع جبری، ضرب جبری، AND، OR و غیره) استفاده شد. نتایج این مطالعه، سودمندی مدل‌سازی فازی بر مبنای دانش و تجربه کشاورز را به خوبی نشان داد (۳۱). کشاورزی و همکاران (۲۰۱۲) از روش مقایسه‌های زوجی در قالب فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP^۳) به‌منظور وزن‌دهی معیارهای مختلف ارزیابی تناسب اراضی یک مزرعه گندم آبی در تاکستان قزوین استفاده کردند. نتایج نشان داد که ضریب هم‌بستگی بین شاخص اراضی^۴ و عملکرد مشاهده‌شده در منطقه مورد مطالعه، به‌ترتیب، ۰/۹۱ و ۰/۸۷ برای روش فازی (با استفاده از تکنیک AHP) و روش پارامتریک بود (۱۸). همچنین، مالکی

و مجموعه‌های فازی در استفاده از داده‌ها و اطلاعات نامطمئن و مبهم و از سوی دیگر، طبیعت فازی بسیاری از خصوصیات خاک، تاکنون در بسیاری از مطالعات زیست‌محیطی، اکولوژیکی، نقشه‌برداری، تناسب اراضی، فرسایش و هدررفت خاک و دیگر مباحث خاک‌شناسی از سامانه‌های فازی استفاده شده است.

تانگ و همکاران (۱۹۹۱) از روش فازی برای ارزیابی اراضی منطقه هامن واقع در استان لیائونینگ چین در رابطه با کشت ذرت استفاده کردند. نتایج نشان داد که در انتخاب محصول مناسب برای این منطقه، روش فازی در مقایسه با روش‌های سنتی بهتر عمل نمود (۳۵). وان‌رانست و همکاران (۱۹۹۶) مجموعه‌های فازی را با روش‌های محدودیت ساده^۱، پارامتریک و رگرسیون چندمتغیره^۲ برای پیش‌بینی تولید کائوچو مورد مقایسه قرار دادند و نشان دادند که بهترین ارتباط آماری بین تولید و شاخص اراضی با استفاده از مدل فازی به‌دست آمد (۳۶). نیسار و همکاران (۲۰۰۰) مدلی را برای تجزیه و تحلیل تناسب اراضی و عملکرد محصول، با تعیین درجه عضویت فازی در سامانه اطلاعات جغرافیایی ارائه کردند. در این مطالعه که در منطقه کالی‌آناکر هندوستان صورت گرفت، نه ویژگی شامل بافت سطحی و زیرسطحی خاک، زه‌کشی خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی، درصد اشباع بازی، شیب، درصد سنگریزه سطحی و زیرسطحی و واکنش خاک با دادن درجه عضویت‌های فازی، وزن‌دهی شدند و سپس با عملگرهای مختلف ترکیب گردیدند. نتایج نشان داد که منطقه موردنظر، تناسب بالایی برای کشت محصول جوز هندی دارد (۲۴). کشاورزی و همکاران (۲۰۱۰) ارزیابی تناسب اراضی با استفاده از طبقه‌بندی فازی را در منطقه زیاران استان قزوین انجام دادند. در این

3- Analytical Hierarchy Process

4- Land index

1- Simple limitation method

2- Multivariate regression

۱۰۰ سانتی متری خاک در محاسبات ارزیابی تناسب اراضی لحاظ می‌شود (۳۳). این در حالی است که تراکم عمده ریشه این گیاهان در عمق‌های کم‌تر از ۶۰ سانتی متری اتفاق می‌افتد (۲۵). به علاوه، ساینس و همکاران (۱۹۹۱) عمق بهینه خاک را دو برابر عمقی در نظر گرفته‌اند که ۶۰ درصد ریشه‌ها در آن واقع شده‌اند (۳۳).

با توجه به این‌که محصول زراعی غالب منطقه شاهدیه یزد، گندم است و نظر به این‌که به دلیل افشان بودن ریشه این محصول، تراکم عمده ریشه‌ها در عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری خاک می‌باشد؛ بنابراین پژوهش حاضر می‌کوشد تا عمق بهینه‌ی خاک به منظور ارزیابی تناسب کمی اراضی برای گندم را با استفاده از نظریه مجموعه‌های فازی در این منطقه تعیین و مقایسه دو شیوه مختلف فازی‌سازی کلاس‌های تناسب اراضی کند.

مواد و روش‌ها

منطقه شاهدیه یزد در فاصله ۱۰ کیلومتری شهر یزد با مساحتی حدود ۱۰۰ هکتار در حد فاصل طول‌های جغرافیایی ۵۴ درجه و ۱۶ دقیقه و ۱۱/۷ ثانیه تا ۵۴ درجه و ۱۷ دقیقه و ۵/۶ ثانیه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۱ درجه و ۵۶ دقیقه و ۵۷/۸ ثانیه تا ۳۱ درجه و ۵۷ دقیقه و ۳۰/۲ شمالی برای این مطالعه مدنظر قرار گرفت (شکل ۱). متوسط ارتفاع منطقه از سطح دریا، ۱۲۳۰ متر است و در یک دوره آمار ۱۷ ساله (۱۳۷۵ تا ۱۳۹۱)، میانگین بارندگی و دمای سالیانه آن، به ترتیب برابر با ۴۸/۱ میلی‌متر و ۲۰/۴ درجه سلسیوس می‌باشند. همچنین، واحد ژئومورفولوژی منطقه دشت می‌باشد و کاربری اصلی آن، کشت آبی گندم است.

به منظور اجرای الگوی نمونه‌برداری در منطقه مطالعاتی، ابتدا نقشه توپوگرافی منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تهیه شد. پس از پیاده کردن محدوده

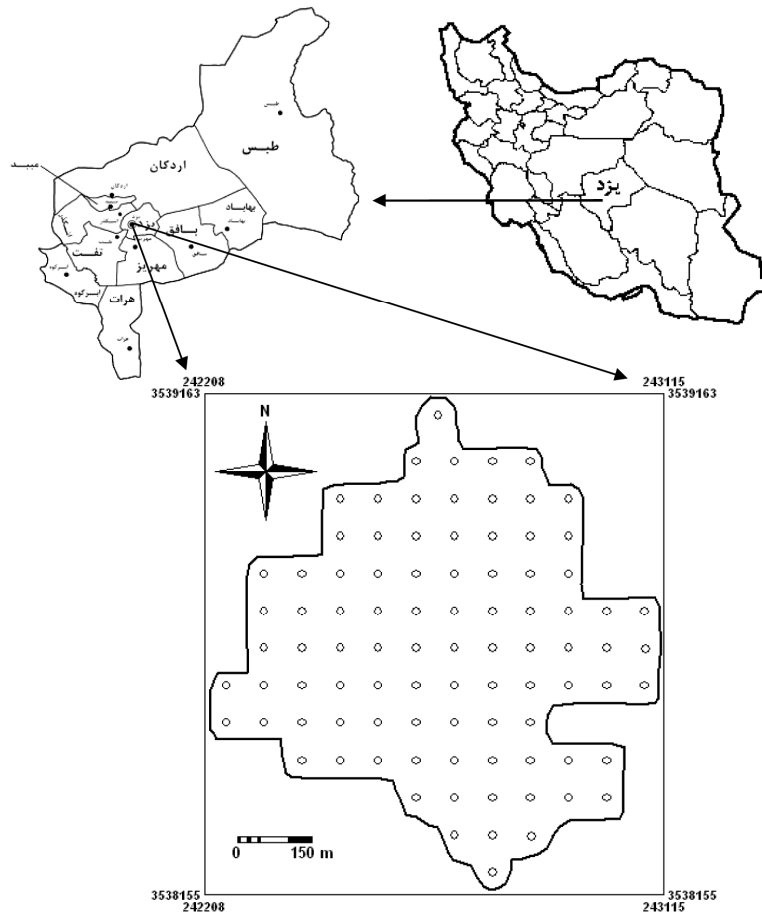
و همکاران (۲۰۱۰) ارزیابی تناسب اراضی برای گندم آبی را با استفاده از روش‌های رایج پارامتریک و تئوری مجموعه‌های فازی در دو منطقه مختلف، یکی در منطقه سردشت بهبهان استان خوزستان و دیگری در منطقه دشت نیریز استان فارس انجام دادند. نتایج نشان داد که برای هر دو منطقه، شاخص تناسب اراضی به دست آمده توسط روش فازی نسبت به روش پارامتریک، همبستگی بیشتری با عملکرد مشاهده شده نشان داد (۲۱). الالم (۲۰۱۳) ارزیابی تناسب اراضی و مقایسه روش‌های پارامتریک و چندمعیاری فازی را برای زیتون در دشت جفرای^۱ لیبی انجام داد. نتایج روش فازی نشان داد که اغلب منطقه مورد مطالعه برای تولید زیتون، بسیار مناسب است در حالی‌که نتایج به دست آمده از روش پارامتریک نشان داد که بسیاری از منطقه مورد مطالعه برای تولید زیتون، نسبتاً مناسب است (۱۲). باقری و همکاران (۲۰۰۹) رویکرد فازی در تبیین تغییرپذیری و طبقه‌بندی تناسب اراضی و مقایسه کارایی آن با روش مرسوم را در منطقه شهرکرد انجام دادند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که در روش مرسوم، کلاس تناسب واحد نقشه، S₂ با خلوص ۱۶/۱ درصد به دست آمد؛ در حالی‌که در روش فازی، علاوه بر آن‌که کلاس اصلی تناسب، S₃ با خلوص ۹۶/۹ درصد تعیین شد، خلوص کلاس S₂ نیز به عنوان کلاس دیگر تناسب واحد نقشه به ۳۴/۴ درصد افزایش یافت. واقعیت کلاس تناسب منطقه نیز همان کلاس S₃ می‌باشد که روش مرسوم قادر به تشخیص آن نبوده است (۳).

از سوی دیگر، عمق خاک به عنوان یکی از ویژگی‌های فیزیکی مؤثر در رشد گیاه، همواره در مطالعات تناسب اراضی مدنظر قرار می‌گیرد. به طور کلی، برای اغلب محصولات زراعی یک‌ساله، عمق

1- Jeffara

سپس از محل تقاطع قطرهای چهارگوشه مزبور با مته از سه عمق صفر تا ۳۰، ۳۰ تا ۶۰ و ۶۰ تا ۱۰۰ سانتی متری نمونه برداری خاک انجام شد و نمونه های خاک و گیاه برداشت شده برای انجام مطالعات آزمایشگاهی، به آزمایشگاه انتقال داده شدند. به علاوه، با توجه به وسعت منطقه مطالعاتی (۱۰۰ هکتار) و بر مبنای مطالعات خاک شناسی نیمه تفصیلی (۲۸)، دو خاکرخ در این منطقه حفر شدند و پس از انتخاب یکی از آنها به عنوان خاکرخ شاهد، از تمامی افق های ژنتیکی آن نمونه برداری شد.

مطالعاتی بر روی این نقشه و اسکن نمودن آن، با استفاده از نرم افزار ایلیوس^۱، منطقه مزبور زمین مرجع^۲ شد. در ادامه، شبکه ای منظم با ابعاد ۷۵ در ۷۵ متر بر روی محدوده مطالعاتی ترسیم شد و بدین ترتیب، مختصات جغرافیایی ۹۰ نقطه مشاهداتی به دست آمد (شکل ۱). پس از تعیین موقعیت نقاط مشاهداتی در صحرا (با استفاده از سامانه مکان یاب جهانی^۳)، بر روی هر نقطه مشاهداتی، چهارگوشه ای^۴ به ابعاد ۵۰×۵۰ سانتی متر و به مرکزیت آن نقطه قرار داده شد و برداشت محصول در سطح مزبور انجام گرفت.



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی به همراه ۹۰ نقطه مشاهداتی.

Figure 1. Location of the study area along with 90 observation points.

- 1- Integrated Land and Water Information System; ILWIS
- 2- Georeference
- 3- Global Positioning System; GPS
- 4- Quadrate

نقطه مشاهداتی و در عمق مربوطه ضرب شد. در این پژوهش برای محاسبه پتانسیل تولید، از مدل فائو (۱۳) استفاده شد که معادله آن به صورت زیر می باشد:

$$Y = \frac{0.36bgm.KLAI.Hi}{\left(\frac{1}{L}\right) + 0.25Ct} \quad (1)$$

که در آن، Y تولید پتانسیل محصول (بر حسب کیلوگرم در هکتار)، L طول دوره رشد، bgm بیشترین شدت تولید زیست توده ای (بیوماس) ناخالص، KLAI ضریب تصحیح معادله بر اساس شاخص سطح برگ، Ct ضریب تصحیح دما و Hi شاخص برداشت^۳ می باشد.

محاسبه های فازی استفاده شده برای این پژوهش به دو شیوه مختلف انجام شدند. در روش اول، فازی سازی شاخص اراضی محاسبه شده برای گندم (که در قالب کمیتی بین صفر تا ۱۰۰ به دست آمده بود)، به صورت مجموعه ها یا بازه های فازی دوزنقه ای (شکل ۲) انجام شد. در این روش، نخست بر اساس روش مرسوم (۳۳) عدد شاخص اراضی به دست آورده شد و سپس این عدد به کلاس تناسب فازی تبدیل گردید. برای نمونه، عدد شاخص اراضی ۷۰ بر اساس روش مرسوم، نشانگر کلاس S₂ می باشد؛ ولی در روش فازی، این عدد نشان دهنده درجه عضویت ۰/۸ برای کلاس S₁؛ درجه عضویت ۱ برای کلاس S₂ و درجه عضویت ۰/۲ برای کلاس S₃ می باشد. این درجه ها عضویت فازی برای شاخص اراضی ۷۰ به صورت زیر نمایش داده می شوند:

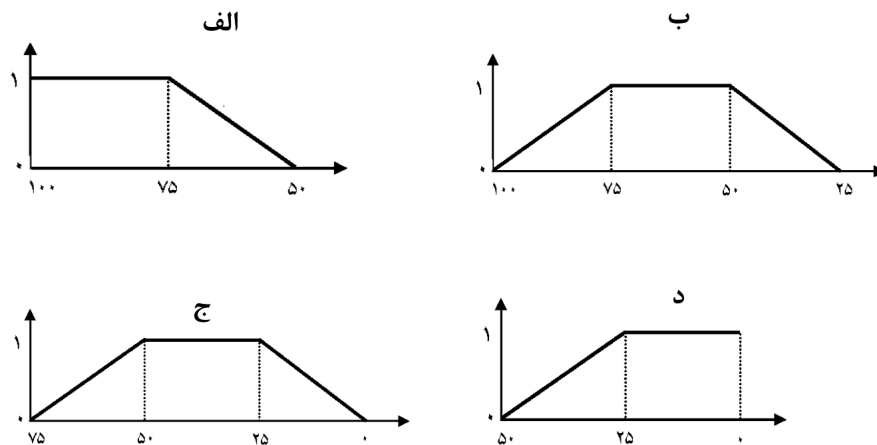
$$P_{V_i} = \{(S_1, 0/8), (S_2, 1/0), (S_3, 0/2), (N, 0/0)\} \quad (2)$$

پس از هواخشک نمودن نمونه های خاک برداشت شده و عبور آن ها از الک دو میلی متری، تجزیه های آزمایشگاهی لازم بر مبنای جدول نیازهای خاک و پستی و بلندی برای کشت آبی گندم (۱۵) بر روی آن ها انجام شد. برای این منظور، تعیین بافت خاک به روش هیدرومتری (۵)، اندازه گیری واکنش خاک در گل اشباع با دستگاه پ هاش متر (۲۶)، اندازه گیری کربنات کلسیم معادل به روش خنثی سازی با اسید کلریدریک (۲۶)، اندازه گیری قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک با استفاده از دستگاه هدایت سنج (۹)، گچ به روش ترسیب با استون (۲۳) و اندازه گیری درصد ذرات درشت به روش حجمی و با استفاده از الک انجام شد. همچنین، سدیم محلول با روش شعله سنجی و کلسیم و منیزیم محلول به ترتیب با استفاده از روش کمپلکسومتری و تیتراسیون توسط ورسین^۱ (۲۶) اندازه گیری شدند. سپس با استفاده از مقادیر سدیم، کلسیم و منیزیم محلول، مقدار عددی نسبت جذب سطحی سدیم (SAR) محاسبه شد.

سپس، از روش پارامتریک ریشه دوم^۲ (۱۹) برای تعیین شاخص اراضی و کلاس تناسب استفاده شد. لازم به ذکر است که به منظور تعیین عمق بهینه خاک برای ارزیابی تناسب کمی اراضی برای گندم، محاسبات تناسب اراضی در سه حالت عمقی صفر تا ۱۰۰، صفر تا ۶۰ و صفر تا ۳۰ سانتی متری انجام گرفتند. همچنین، برای محاسبه عملکرد واقعی گندم، پس از خشک نمودن و توزین محصول برداشت شده از سطح چهارگوشه مربوط به هر نقطه مشاهداتی، عدد محاسبه شده در شاخص برداشت ضرب شد و برای محاسبه عملکرد تخمینی در هر نقطه مشاهداتی، پتانسیل تولید منطقه در شاخص خاک هر

1- EDTA
2- Square root method

3- Harvest index



شکل ۲- بازه‌های فازی ذوزنقه‌ای مورد استفاده برای فازی‌سازی کلاس‌های تناسب اراضی.

(الف: S_1 , ب: S_2 , ج: S_3 , د: N)

Figure 2. Trapezoidal fuzzy intervals used for fuzzification of land suitability classes.

(a: S_1 , b: S_2 , c: S_3 , d: N)

در روش دوم، ابتدا تمامی متغیرهای مورد استفاده در محاسبه کلاس‌های تناسب اراضی منطقه برای گندم، شامل عوامل اقلیمی (از جمله میانگین درجه حرارت در طول فصل رشد، میانگین درجه حرارت در مرحله رویشی، میانگین درجه حرارت در مرحله گلدهی و میانگین درجه حرارت در مرحله رسیدگی) و ویژگی‌های خاک و توپوگرافی (شامل شیب، بافت خاک، درصد ذرات درشت، عمق خاک، کربنات کلسیم معادل، گچ، واکنش خاک، قابلیت هدایت الکتریکی و نسبت جذب سطحی سدیم)، به صورت اعداد فازی تعریف شدند و سپس شاخص اراضی به صورت یک عدد فازی به دست آمد. لازم به ذکر است که اپراتورهای محاسبات فازی شامل اپراتورهای مرسوم جمع، تفریق و ضرب اعداد فازی بودند. معمول‌ترین اعداد فازی مورد استفاده، اعداد فازی مثلثی و ذوزنقه‌ای هستند (۳۴) که در پژوهش حاضر نیز از اعداد فازی مثلثی استفاده شد. در نهایت، برای به دست آوردن مقدار عددی نتیجه روش فازی اعمال شده (فرایند نافازی کردن)، از روش مرکز ثقل^۱

$$P_v = \{(S_1, 0/0), (S_2, 0/96), (S_3, 1/0), (N, 0/04)\} \quad (3)$$

استفاده گردید. بنابراین در روش دوم، هر یک از اعداد مربوط به ویژگی‌های خاک (مانند درصد کربنات کلسیم معادل، بافت خاک و غیره) و اقلیم به یک عدد فازی مثلثی تبدیل شدند. برای نمونه، اعداد فازی ۶۰، ۷۰ و ۸۵ به ترتیب به صورت (۴۰، ۶۰، ۸۵)، (۴۸، ۷۰، ۹۱) و (۶۰، ۸۵، ۱۰۰) در محاسبه‌های وارد شدند. این اعداد با روش ریشه دوم (۱۹) به عدد فازی شاخص اراضی تبدیل شد. برای نمونه، حاصل سه عدد بالا با روش ریشه دوم (۱۹)، عدد غیرمثلثی (۲۱/۴۷، ۴۶/۲۸، ۸۱/۰۸) می‌باشد. با نافازی کردن این عدد غیرمثلثی به روش مرکز ثقل، عدد ۴۹/۰۵ به دست می‌آید که این عدد بر اساس روش مرسوم (۳۳) نشانگر کلاس S_3 می‌باشد؛ ولی در روش فازی، این عدد (۴۹/۰۵) نشان‌دهنده درجه عضویت صفر برای کلاس S_1 ؛ درجه عضویت ۰/۹۶ برای کلاس S_2 ، درجه عضویت ۱ برای کلاس S_3 و درجه عضویت ۰/۰۴ برای کلاس N می‌باشد. این درجات عضویت فازی به صورت زیر نمایش داده می‌شوند:

1- Centroid

مطالعاتی و این که منطقه مطالعاتی جزو مناطق خشک است، خاک‌های آن در محدوده خاک‌های آهکی قوی و خیلی قوی قرار دارند. نگاهی به مقادیر میانگین کربنات کلسیم معادل نشان می‌دهد که مقدار آن از سطح به عمق، تغییر قابل ملاحظه‌ای نداشته است و تقریباً ثابت بوده است. همچنین میانگین رس، از مقادیر کم این ذره در خاک‌های منطقه مطالعاتی حکایت دارد (جدول ۱). در مقابل، هر چند تفاوت چندانی بین میانگین شن از سطح به عمق وجود ندارد؛ اما بالا بودن درصد این ذره باعث ایجاد خاک‌هایی با بافت شن، شن لومی و لوم شنی در منطقه شده است.

مقادیر حداکثر ذرات درشت خاک، از افزایش نسبی این ذرات همگام با افزایش عمق خاک حکایت دارند. با این وجود، میانگین ذرات مزبور بیانگر آن است که مقدار نسبی آن‌ها در خاک‌های مطالعاتی کم است (جدول ۱).

تغییرات میانگین واکنش خاک در سه عمق مطالعاتی، بسیار ناچیز و جزئی می‌باشد. از سوی دیگر، مقدار واکنش خاک‌های مطالعاتی در دامنه خاک‌های آهکی (بین ۷/۵ تا ۸/۵) قرار دارد. بیول و همکاران (۲۰۰۳) اظهار می‌دارند که کانی‌های آهکی به دلیل حلالیت نسبتاً بالا، واکنش‌پذیری و خاصیت قلیایی، به صورت بافر عمل کرده و باعث می‌شوند که مقدار واکنش خاک بیش‌تر خاک‌های آهکی در یک دامنه محدود (۷/۵ تا ۸/۵) قرار گیرند (۶).

نتایج جدول ۱ گویای این واقعیت است که میانگین قابلیت هدایت الکتریکی در هر سه عمق مطالعاتی، در زمره خاک‌های غیرشور (قابلیت هدایت الکتریکی کم‌تر از چهار دسی‌زیمنس بر متر) قرار گرفته است. از سوی دیگر، میانگین نسبت جذب سطحی سدیم خاک‌ها، کم‌تر از ۱۳ بوده و نشانگر غیرسدیمی بودن آن‌ها می‌باشد. با توجه به بالا بودن درصد شن در خاک‌های منطقه و در نتیجه، درشت

که مقادیر نرمالایز شده این درجات عضویت به شکل زیر خواهند بود:

$$P_v = \{(S_1, 0/0), (S_2, 0/48), (S_3, 0/5), (N, 0/2)\} \quad (4)$$

پس از انجام محاسبه‌های فازی و فرایند نافازی کردن، اعداد حاصل مطابق شرح روش اول فازی‌سازی شاخص اراضی، به صورت درجات عضویت فازی برای نشان دادن کلاس‌های مختلف تناسب اراضی تبدیل شدند. به منظور مقایسه نتایج به دست آمده از دو روش فازی مورد استفاده در این پژوهش برای عمق‌های مختلف، از شاخص شباهت ارایه شده توسط سارما (۲۹) به صورت زیر استفاده شد:

$$S = \frac{A \cap B}{A \cup B} = \frac{\min(A, B)}{\max(A, B)} \quad (5)$$

که در آن، S میزان شباهت، A و B درجات عضویت کلاس‌های تناسب اراضی، \cap عملگر اشتراک و \cup عملگر اجتماع فازی می‌باشند. لازم به ذکر است که تمام محاسبه‌های فازی در نرم‌افزار اکسل^۱ (نسخه ۲۰۱۰) انجام گرفتند.

نتایج و بحث

جدول ۱ بیانگر برخی از ویژگی‌های آماری متغیرهای خاکی مورد استفاده برای تعیین کلاس تناسب اراضی گندم به همراه اطلاعات آماری عملکرد واقعی و تخمینی محاسبه شده در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

دی (۱۹۸۳) در رابطه با خاک‌های موجود در مناطق خشک و نیمه‌خشک بیان نمود که اگر درصد کربنات کلسیم معادل کم‌تر از ۵ درصد، بین ۵ تا ۱۵ درصد، ۱۵ تا ۲۵ درصد، ۲۵ تا ۴۰ درصد و بیش از ۴۰ درصد باشد؛ آن‌گاه خاک‌های مزبور به ترتیب در کلاس‌های آهکی ضعیف، متوسط، قوی، خیلی قوی و فوق‌العاده قوی قرار می‌گیرند (۱۰). بنابراین، با توجه به دامنه تغییرات درصد کربنات کلسیم در سه عمق

1- Excel

که می‌تواند ناشی از اثر عوامل ذاتی (مانند مواد مادری آهکی منطقه مطالعاتی) در رفتار این متغیر باشد. از سوی دیگر، به استثنای درصد ذرات درشت در هر سه عمق مطالعاتی، بقیه ویژگی‌ها از تغییرپذیری متوسطی در منطقه برخوردار می‌باشند. اختصاص بالاترین ضریب تغییرات به درصد ذرات درشت را شاید بتوان به اثر ترکیبی عوامل مدیریتی و عوامل ذاتی خاک در منطقه مرتبط دانست. فروغی‌فر و همکاران (۲۰۱۱) نیز استدلال مشابهی در این زمینه ارائه داده‌اند (۱۴). ایوبی و همکاران (۲۰۱۰) نیز اعتقاد دارد که استفاده طولانی‌مدت و مدیریت یکنواخت اراضی می‌تواند منجر به یکنواختی خاک شده و کاهش ضریب تغییرپذیری را به دنبال داشته باشد (۲).

بودن بافت خاک‌ها، این احتمال وجود خواهد داشت که آب آبیاری، املاح محلول را از طریق فرایند آبشویی به اعماق پایین‌تر از ۱۰۰ سانتی‌متری هدایت نموده باشد و در نتیجه، کاهش نسبی شوری و قلیائیت خاک را رقم زده باشد.

تغییرپذیری ویژگی‌های خاک را می‌توان از طریق بررسی ضریب تغییرپذیری آن‌ها بررسی نمود. وای و همکاران (۲۰۰۸) اعلام نمودند که تغییرات کم‌تر از ۱۰ درصد، دلالت بر تغییرپذیری پایین ویژگی مورد نظر و تغییرات بالاتر از ۹۰ درصد، بیانگر تغییرپذیری بالای آن است (۳۷). بر این اساس، درصد شن و واکنش خاک، از تغییرپذیری پایینی برخوردار هستند (جدول ۱). به‌علاوه، از بین ویژگی‌های بررسی شده، واکنش خاک دارای کم‌ترین ضریب تغییرپذیری است

جدول ۱- خلاصه آماری ویژگی‌های خاکی مطالعه‌شده و عملکرد محاسبه‌شده در منطقه.

Table 1. Summary statistics of studied soil properties and calculated yield in the area.

متغیر Variable	عمق Depth (cm)	میانگین Mean	میانه Median	واریانس Variance	حداقل Min	حداکثر Max	CV ^۱ (%)
کربنات کلسیم معادل (%) Carbonate calcium equivalent (%)	0-30	24.9	25	9.7	16	34	12.5
	30-60	24.7	25	10.7	17	33	13.2
	60-100	24.7	26	13.8	14	31	15.0
شن (%) Sand (%)	0-30	80.5	79.5	32.7	70	93.5	7.1
	30-60	81.3	80.5	34.3	59	93.5	7.2
	60-100	80.4	81.4	37.4	60	92.0	7.6
رس (%) Clay (%)	0-30	8.7	8.9	8.13	2.5	14.5	28.0
	30-60	10.2	10	9.4	4.5	22.0	27.5
	60-100	11.1	10	13.2	6.0	24.5	44.9
ذرات درشت (%) Coarse fragments (%)	0-30	3.3	2	15.6	0	22	120.0
	30-60	4.9	3	45.7	1	32	135.5
	60-100	5.9	4	35.1	2	42	100.5
واکنش خاک pH	0-30	8.09	8.13	0.03	7.34	8.45	2.2
	30-60	8.13	8.12	0.02	7.77	8.51	1.7
	60-100	8.09	8.12	0.04	7.53	8.90	1.8
EC (dS m ⁻¹)	0-30	1.61	1.50	0.46	0.75	6.75	45.0
	30-60	1.51	1.44	0.30	0.00	4.40	34.3
	60-100	1.60	1.45	0.40	0.79	5.51	14.2
SAR (mmol l ⁻¹) ^{0.5}	0-30	4.43	4.14	3.67	1.52	13.31	40.1
	30-60	4.78	4.47	5.67	1.61	19.45	49.8
	60-100	4.85	4.67	3.58	1.31	11.02	40.0
عملکرد تخمینی Predicted yield (ton ha ⁻¹)	0-30	4.30	4.1	1.60	1.3	6.20	29.4
	0-60	4.35	4.4	1.14	1.6	6.20	24.5
	0-100	4.32	4.4	0.93	1.6	6.10	22.3
عملکرد واقعی True yield (ton ha ⁻¹)	-----	4.68	4.5	2.63	2.2	8.80	34.6

^۱ ضریب تغییرپذیری (Coefficient of variation)

تن در هکتار محاسبه شده است) و میانگین عملکرد زارع یا همان عملکرد واقعی (که برابر $4/68$ تن در هکتار است)، تفاوت فاحشی مشاهده شد که علت احتمالی آن، علاوه بر ویژگی‌های خاک که سبب می‌شوند شاخص خاک، عددی کمتر از ۱ شود؛ ضعف شدید مدیریت‌های مختلف در مزارع مطالعاتی است.

کلاس و زیرکلاس تناسب اراضی بر اساس داده‌های مربوط به خاک‌رخ شاهد به روش ساینس و همکاران (۳۳) به ترتیب S_2 و S_{2S} به دست آمدند. جدول ۲ بیانگر مقایسه نتایج مزبور با نتایج حاصل برای هر کدام از سه عمق مطالعاتی می‌باشد.

میانگین عملکردهای پیش‌بینی شده (تخمینی) در سه عمق مطالعاتی، تفاوت چندانی با یکدیگر نداشتند، ولی با میانگین عملکرد واقعی، تفاوت ملموس‌تری داشتند (جدول ۱). با این وجود، هم عملکرد واقعی و هم عملکرد تخمینی از تغییرپذیری متوسطی برخوردار بودند. این احتمال وجود دارد که عواملی چون اثرات نابرابر مصرف آب در مزرعه و یا کاربرد غیریکنواخت کود و سموم دفع آفات در طول فصل رشد، در تغییرپذیری تولید محصول گندم مؤثر بوده‌اند. به‌علاوه، شاید بتوان علت آن را در تغییرپذیری متوسط ویژگی‌های خاک جست‌وجو نمود. از سوی دیگر، بین پتانسیل تولید گندم در منطقه (که برابر $7/8$

جدول ۲- نتایج مقایسه کلاس و زیرکلاس تناسب کیفی محاسبه‌شده بر مبنای اطلاعات خاک‌رخ شاهد با دیگر نقاط مشاهداتی در هر کدام از سه عمق مورد مطالعه.

Table 2. Comparison of qualitative land suitability classes and sub-classes calculated based on the representative soil profile information with the rest of the observation points in each of the three-studied depth.

عمق Depth (cm)	تعداد مته دارای زیرکلاس یکسان با خاک‌رخ شاهد number of drills have the same sub-class as the representative soil profile	درصد همخوانی مته‌ها با زیرکلاس خاک‌رخ شاهد Compatible percentage of drills with the sub-class of representative soil profile	تعداد مته دارای کلاس یکسان با خاک‌رخ شاهد number of drills have the same class as the representative soil profile	درصد همخوانی مته‌ها با کلاس خاک‌رخ شاهد Compatible percentage of drills with the class of representative soil profile
0-30	33	36.7	37	41.1
0-60	40	44.4	44	48.9
0-100	55	61.1	59	65.6

مختلف (جدول ۳) و یکسان (جدول ۴)، از شاخص شباهت سارما (۲۹) استفاده شد. همان‌طور که از نتایج جدول ۳ مشخص است در هر دو روش فازی، عمق‌های صفر تا ۶۰ و صفر تا ۱۰۰ سانتی‌متر، بیش‌ترین شباهت را داشتند. با توجه به نتایج جدول ۴، حداقل شباهت دو روش فازی برای عمق‌های یکسان، چیزی در حدود ۸۰ درصد است که می‌توان نتیجه گرفت دو روش فازی مورد استفاده، تفاوت چندانی با هم ندارند.

بررسی جدول ۲ نشان می‌دهد که درصد همخوانی نتایج نقاط مطالعاتی (۹۰ مته مشاهداتی) با خاک‌رخ شاهد در سطح کلاس و زیرکلاس تناسب اراضی برای عمق سوم (صفر تا ۱۰۰ سانتی‌متر)، بالاترین مقدار را دارد. به دیگر سخن، مدنظر قرار دادن عمق صفر تا ۳۰ و یا صفر تا ۶۰ سانتی‌متر در مطالعات سستی ارزیابی تناسب اراضی برای گندم از همخوانی کافی با نتیجه حاصل از خاک‌رخ شاهد برخوردار نمی‌باشد.

به‌منظور مقایسه نتایج به‌دست آمده از دو روش فازی مورد استفاده در این پژوهش برای عمق‌های

جدول ۳- میزان شباهت محاسبه شده در اعماق مختلف برای دو روش فازی مورد استفاده.

Table 3. The degree of similarity calculated at different depths for two fuzzy methods.

درصد شباهت Similarity (%)	عمق Depth (cm)	روش فازی Fuzzy method
79.94	0-60 و 0-30	اول The first
42.44	0-100 و 0-30	
93.40	0-100 و 0-60	
80.59	0-60 و 0-30	دوم The second
56.86	0-100 و 0-30	
93.95	0-100 و 0-60	

جدول ۴- میزان شباهت محاسبه شده در اعماق یکسان برای دو روش فازی مورد استفاده.

Table 4. The degree of similarity calculated in the same depths for two fuzzy methods.

درصد شباهت Similarity (%)	عمق Depth (cm)
80.5	0-30 و 0-30
81.6	0-60 و 0-60
81.8	0-100 و 0-100

آخری، به نظر می‌رسد که استفاده از عمق صفر تا ۶۰ سانتی متر به منظور مطالعات ارزیابی تناسب اراضی برای گندم در منطقه شاهدیه یزد می‌تواند مدنظر پژوهش‌گران قرار گیرد. نتایج این مطالعه با دستورالعمل سائیس و همکاران (۳۳) در خصوص انتخاب عمق دو برابر حداکثر توسعه ریشه (که برای گندم با ریشه‌های افشان، معادل ۶۰ سانتی متر می‌باشد) ((همخوانی دارد. دلاروزا و همکاران (۲۰۰۴) نیز عمق صفر تا ۱۰۰ سانتی متر را برای مدل‌سازی تناسب اراضی محصولات زراعی اسپانیا در مدل Almagra از سیستم MicroLEIS DSS مناسب عنوان نموده‌اند (۱۱). لازم به ذکر است که مدل مذکور تناسب اراضی را به روش سنتی (۱۳) ارزیابی می‌نماید. نتایج پژوهش‌های شهبازی و همکاران (۲۰۰۸) و کمالی و همکاران (۲۰۱۲) نیز به ترتیب در مناطق نیمه‌خشک و خشک ایران با استفاده از مدل مذکور، همبستگی قابل قبول عمق صفر تا ۱۰۰ سانتی متری را با عملکرد مشاهده شده نشان داده‌اند (۱۶، ۳۰).

جدول ۵ نشانگر ضریب همبستگی محاسبه شده بین عملکردهای واقعی و پیش‌بینی شده با هر کدام از شاخص‌های اراضی محاسبه شده به روش‌های سنتی، فازی نوع اول (فازی‌سازی شاخص اراضی) و فازی نوع دوم (فازی‌سازی هر کدام از متغیرهای دخیل در تعیین شاخص اراضی) در عمق‌های سه‌گانه مطالعاتی است. هر چند عملکرد پیش‌بینی شده برای هر یک از عمق‌های مورد مطالعه با شاخص‌های اراضی مزبور، همبستگی مثبت و معنی‌دار دارد؛ ولی عملکرد واقعی تنها برای عمق‌های صفر تا ۶۰ و صفر تا ۱۰۰ سانتی متر چنین رابطه‌ای را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر، عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری مورد استفاده برای محاسبات تناسب اراضی، رابطه معنی‌داری با عملکرد واقعی منطقه مطالعاتی نشان نداده است (جدول ۵). با توجه به مشابهت نتایج مزبور برای عمق صفر تا ۶۰ سانتی متر با عمق صفر تا ۱۰۰ سانتی متر و نیز نظر به بیش‌تر بودن هزینه مطالعات تناسب اراضی در عمق

نتیجه گیری کلی

۱- همبستگی پایین بین عملکرد تخمین زده شده و عملکرد واقعی (مشاهده شده در صحرا) در تمام روش‌ها هم‌چنان حکایت از ناکارآمدی نسبی جداول مورد استفاده برای ارزیابی محصولات زراعی (به‌ویژه گندم) می‌نماید. به‌نظر می‌رسد که در نظر نگرفتن خصوصیات مدیریت مزارع در جداول نیازهای کاربری‌های اراضی از یک‌سو و استفاده از اطلاعات فیزیولوژیکی کلی به‌جای وارد کردن خصوصیات فیزیولوژیکی وارسته‌های خاص هر منطقه از سوی دیگر را بتوان از مشکلات و دلایل عمده این همبستگی پایین عنوان نمود.

۲- اختلاف بین پتانسیل تابشی- حرارتی تولید گندم در منطقه شاهدیه و عملکرد واقعی نیز بر مدیریت ضعیف کشاورزان این منطقه دلالت می‌نماید.

۳- از بالاتر بودن درصد هم‌خوانی نتایج به‌دست آمده در سطح کلاس و زیرکلاس تناسب اراضی برای عمق سوم (صفر تا ۱۰۰ سانتی‌متر) با خاک‌رخ شاهد می‌توان نتیجه گرفت که مد نظر قرار دادن عمق صفر تا ۳۰ و یا صفر تا ۶۰ سانتی‌متر در مطالعات سنتی ارزیابی تناسب اراضی برای گندم از هم‌خوانی کافی با نتیجه به‌دست آمده از خاک‌رخ شاهد برخوردار نمی‌باشد. بنابراین در صورتی که در مطالعه‌ای اطلاع از نوع محدودیت‌ها به‌منظور پیشنهاد دقیق عملیات اصلاحی و عمرانی مد نظر نباشد، استفاده از نتایج خاک‌رخ شاهد تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متری، به روش سنتی کفایت می‌کند و نیازی به انجام محاسبات فازی نخواهد بود.

۴- بر اساس نتایج شاخص شباهت بین زیرکلاس‌های تناسب اراضی عمق صفر تا ۶۰ سانتی‌متر با عمق صفر تا ۱۰۰ سانتی‌متر و نیز نظر به هزینه‌بر و زمان‌بر بودن مطالعات تناسب اراضی در عمق اخیر، به‌منظور

بهینه نمودن روش‌های سنتی، در این پژوهش استفاده از عمق صفر تا ۶۰ سانتی‌متر به‌منظور مطالعات ارزیابی تناسب اراضی برای گندم در منطقه شاهدیه یزد پیشنهاد می‌گردد.

۵- با توجه به سهولت بیشتر روش دوم فازی‌سازی و درصد مطابقت نتایج آن با روش فازی‌سازی اول، در صورت لزوم به انجام ارزیابی تناسب اراضی به روش فازی، استفاده از روش دوم در منطقه مورد مطالعه پیشنهاد می‌شود.

۶- از آن‌جا که تراکم عمده ریشه گیاهان زراعی در عمق‌های کم‌تر از ۶۰ سانتی‌متری است، به‌نظر می‌رسد استفاده از این اعماق بتواند نقش قابل‌توجهی در کاهش زمان و هزینه‌های نمونه‌برداری داشته باشد. همچنین، با توجه به این‌که تغییرپذیری پدیده‌ها در دنیای واقعی، یک ویژگی طبیعی و عمدتاً تدریجی (دارای طبیعت فازی) است، استفاده از روش فازی که قابلیت و توان بیش‌تری برای ملاحظه و محاسبه تغییرات ویژگی‌های خاک را دارد؛ می‌تواند جایگزین مناسبی برای روش سنتی باشد. براساس نتایج، عمق‌های صفر تا ۶۰ و صفر تا ۱۰۰ سانتی‌متر، بیش‌ترین شباهت را با هم دارند که می‌توان نتیجه گرفت استفاده از عمق صفر تا ۶۰ به جای صفر تا ۱۰۰ سانتی‌متر در روش فازی مورد استفاده، تفاوت چندانی با هم ندارند. همچنین، با در نظر گرفتن عملکرد واقعی منطقه نیز عمق‌های صفر تا ۶۰ و صفر تا ۱۰۰ سانتی‌متر، رابطه معنی‌داری را با عملکرد واقعی نشان می‌دهند. بنابراین، نظر به بیش‌تر بودن هزینه مطالعات تناسب اراضی برای عمق صفر تا ۱۰۰ سانتی‌متر، استفاده از عمق صفر تا ۶۰ سانتی‌متر به‌منظور مطالعات ارزیابی تناسب اراضی برای گندم در منطقه شاهدیه یزد پیشنهاد می‌شود.

منابع

1. Ayoubi, Sh., and Jalalian, A. 2006. Land evaluation (agriculture and natural resources). Isfahan University of Technology Press, 396p. (In Persian)
2. Ayoubi, Sh., Mohammad Zamani, S., and Khormali, F. 2010. Wheat yield prediction through soil properties using principle component analysis. Iran. J. Soil Water Res. 49: 1. 51-57.
3. Bagheri, M., Amini Faskhoodi, A., Salehi, M.H., and Hadinezhad, A. 2009. Fuzzy approach in explaining the variability and land suitability classification, and to compare its performance with the conventional method. 3rd Joint Congress on Fuzzy and Intelligent Systems, 24-26 June, Yazd University. (In Persian)
4. Behnia, M.R. 1997. Cold Cereal and Wheat, Barley, Oats and Rye. Tehran University Press, Tehran, 610p.
5. Bouyoucos, G.J. 1951. A recalibration of hydrometer method for making mechanical analysis of soil. Agronomy. 43: 434-438.
6. Buol, S.W., Southard, R.J., Graham, R.C., and McDaniel, P.A. 2003. Soil Genesis and Classification, 5th edition. Iowa State Press, A Blackwell Pub. Co., Ames, Iowa.
7. Burgess, T.M., and Webster, R. 1980. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties: I. the semi-variogram and punctual kriging. J. Soil Sci. 31: 315-331.
8. Burrough, P.A., Macmillan, R.A., and Van Deursen, W. 1992. Fuzzy classification methods for determining land suitability from soil profile observations and topography. J. Soil Sci. 43: 193-210.
9. Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity. P 891-900, In: C.A. Black (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
10. Day, J.H. 1983. The Canadian Soil Information System (CanSIS). Manual for describing soils in field. Agriculture Canada Expert Committee on Soil Survey. Agric. Can., Res. Branch, Ottawa, Ontario.
11. De la Rosa, D., Mayol, F., Diaz-Pereira, E., Fernandez, M., and De la Rosa, D.Jr. 2004. A land evaluation decision support system (MicroLEIS DSS) for agricultural soil protection. Environmental Modeling and Software. 19: 929-942.
12. 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.
13. FAO. 1976. A framework for land evaluation. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. Soils Bulletin, 72p.
14. Foroughifar, H., Jafarzadeh, A.A., Torabi Gelsefidi, H., and Amirabadizadeh, M. 2011. Estimation of soil exchange capacity using artificial neural network. 12th Iranian Soil Congress, 12-14 September, Tabriz University, Tabriz. (In Persian)
15. Givi, J. 1997. Qualitative Evaluation of Land Suitability for Field and Fruit Crops. Technical Bulletin No. 1015. Iranian Soil and Water Research Institute, Tehran, Iran.
16. Kamali, A., Sarmadian, F., and Mahmoodi, Sh. 2012. Land suitability modeling for sustainable agriculture using MicroLEIS DSS and remote sensing in an arid region of Iran. Elixir Agriculture. 42: 6516-6519.
17. Keshavarzi, A., Sarmadian, F., Heidari, A., and Omid, M. 2010. Land suitability evaluation using fuzzy continuous classification (A case study: Ziaran Region). Modern Applied Science. 4: 72-81.
18. Keshavarzi, A., Sarmadian, F., Heidari, A., and Omid, M. 2012. Comparison of boolean and fuzzy classification methods in land suitability evaluation using analytic hierarchy process (case study: Ziaran region). Iran. J. Natur. Resour. 64: 463-476.
19. Khiddir, S.M. 1986. A statistical approach in the use of parametric systems applied to the FAO framework for land evaluation. Ph.D. Thesis state university, Ghent. Belgium, 141p.
20. Koorehpazan Dezfuli, A. 2005. Principles of Fuzzy Set Theory and its Applications in the Modeling of Water Engineering Problems. Iranian Academic Center for Education Culture and Research, Amirkabir University of Technology Branch, 261p.

21. Maleki, P., Landi, A., Sayyad, Gh., Baninemeh, J., and Zareian, Gh. 2010. Application of fuzzy logic to land suitability for irrigated wheat. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. Australia, 2010.
22. Mohamed, H.O. 2000. Land suitability evaluation: improving accuracy of assessments with a new paradigm based on geostatistical estimation and fuzzy set theory. M.Sc. Thesis Submitted to the Trent University, Canada.
23. Nelson, R.E. 1982. Carbonate and gypsum. P 181-196, In: D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A. Tabatabai, C.T. Johnston and M.E. Sumner (Eds.), *Methods of Soil Analysis* (2nd ed). Part 2, Agron. Monog. No: 9. ASA and SSSA. Madison, WI.
24. Nisar, A.T.R., Gopal Rao, K., and Murthy, J.S.R. 2000. GIS-based fuzzy membership model for crop-land suitability analysis. *Agricultural Systems*. 63: 75-95.
25. Noormohammadi, Gh., Siadat, A., and Kashani, A. 1997. *Cereal Cultivation: a Kernel of Wheat*. Shahid Chamran University Press, Ahvaz, 468p. (In Persian)
26. Richards, L.A. 1954. *Diagnosis and Improvement of Saline-Alkali Soils*. U.S.D.A. Handbook, 60. Washington, D.C., U.S.A, 160p.
27. Rossiter, D.G. 1996. A theoretical framework for land evaluation. *Geoderma*. 72: 165-190.
28. Salehi, M.H., and Khademi, H. 2008. *Fundamentals of Soil Mapping*. Iranian Academic Center for Education Culture and Research, Isfahan University of Technology Branch, 210p.
29. Sarma, V.A.K. 2006. *Mapping of the Soil*. Science publishers, NH, USA.
30. Shahbazi, F., De la Rosa, D., Anaya-Romero, M., Jafarzadeh, A.A., Sarmadian, F., Neyshabouri, M.R., and Oustan, S. 2008. Land use planning in Ahar area (Iran) using MicroLEIS DSS. *International Agrophysics*. 22: 277-286.
31. Sicat, R.S., Carranza, E.G.M., and Nidumolu, U.B. 2005. Fuzzy modeling of farmers' knowledge for land suitability classification. *Agricultural Systems*. 83: 49-75.
32. Sohrabi, A., and Mohammadi, J. 2005. Land suitability evaluation for sugar beet using fuzzy continuous model and kriging estimator in Seylakhor plain, Lorestan. 9th Iranian Soil Congress, 6-9 september, College of Agriculture and Natural Resources, Karaj. (In Persian)
33. Sys, C., Van Ranst, E., and Debaveye, J. 1991. *Land Evaluation. Part I: Principles in land evaluation and crop production calculations*. General Administration for Development Cooperation. Agric. Pub. NO. 7, Brussels, Belgium, 247p.
34. Taghizadeh, R., and Fazli, S. 2011. Method of measuring the performance of companies using a combination approach of gray relationship analysis and fuzzy TOPSIS. *J. Indus. Manage. Perspective*. 2: 125-150. (In Persian)
35. Tang, H.J., Debaveye, J., and Van Ranst, E. 1991. Land suitability classification based on fuzzy-set theory. *Pedologie*. 41: 277-290.
36. Van Ranst, E., Tang, H., Groenemans, S., and Sinthurahat, S. 1996. Application of fuzzy logic to land suitability for rubber production in peninsular Thailand. *Geoderma*. 70: 1-19.
37. Wei, J.B., Xiao, D.N., Zeng, H., and Fu, Y.K. 2008. Spatial variability of soil properties in relation to land use and topography in a typical small watershed of to black soil region, northeastern China. *Environmental Geology*. 53: 1663-1672.



Comparison of two fuzzy methods to determine the optimum soil depth in land suitability evaluation for wheat

M. Mahdavi Firoozabadi¹, *I. Esfandiarpour Borujeni², M. Bagheri Bodaghabadi³
and A. Kamali⁴

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Soil Science, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, ²Associate Prof.,
Dept. of Soil Science, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, ³Assistant Prof., Dept. of Geography,
Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran, ⁴Assistant Prof., Dept. of Soil Science,
Vali-e-Asr University of Rafsanjan

Received: 05/11/2015; Accepted: 11/15/2015

Abstract

Background and Objectives: Land suitability evaluation as part of a sustainable agricultural system, leads land utilization to a direction, which can preserve land quality in a desirable level while ensuring the highest income. In the traditional studies of land suitability evaluation, the land units fit between two classes can only view one of the primary classes defined for land suitability. Therefore, the method is not able to show the continuous reality of land and soil spatial variability. The development of modern methods (such as fuzzy logic) has solved this problem to a great extent. Therefore, the main objective of this research was to determine the optimum depth of soil for quantitative land suitability evaluation for wheat production using the fuzzy sets theory and comparison of two different fuzzification methods of land suitability classes in the Shahediyeh region, Yazd.

Materials and Methods: After crop harvesting and taking soil samples from three depths of 0 to 30, 30 to 60 and 60 to 100 cm in 90 observation points, and from genetic horizons of representative pedon, which excavated in the region, the parameters needed for land suitability evaluation of wheat were measured. Then, land suitability classes were calculated using the square root method and were compared in three depths from 0 to 30, 0 to 60 and 0 to 100 cm. Fuzzy calculations used for this study were conducted in two different ways. In the first method, fuzzification of land index calculated for wheat was conducted as trapezoidal fuzzy intervals. In the second method, firstly the variables used to calculate the land suitability classes for wheat, including climatic parameters, and soil and topographic characteristics, were defined as fuzzy numbers, and then the land index was calculated as a triangular fuzzy number. To obtain the numerical values of the result of applied fuzzy method (defuzzification process), the centroid method was used. Finally, to show the different land suitability classes, the resulting numbers were converted to degrees of fuzzy membership. To compare the results of two fuzzy methods used for different depths, the similarity index that presented by Sarma, was used.

Results: The compatibility percentage between the results of representative pedon and observation points was remarkable (more than 60%) only for 0 to 100 cm depth. In addition, the highest compatibility percentage of land suitability class was related to comparison of 0 to 60 and 0 to 100 cm depths in each of the two fuzzy methods. This fact shows that 0 to 60 cm depth could be a relevant alternative for the optimal depth to evaluate land suitability for wheat in the Shahediyeh region. The results also showed that there was no difference between two fuzzy methods for all land suitability classes and at all the studied depths.

Conclusion: Overall, considering the depth of 0 to 30 and/or 0 to 60 cm in the traditional studies of land suitability evaluation for wheat is not sufficient compatible with the results of representative pedon. Therefore, if the study is not intended to offer detailed information on the type of limitations for civil actions, use of the results of representative pedon to a depth of 100 cm based on the traditional method is sufficient and it does not need to fuzzy calculations.

Keywords: Land suitability evaluation, Yield, Wheat, Fuzzy sets theory, Arid zones

* Corresponding Authors; Email: iesfandiarpour@yahoo.com