ارزیابی تناسب اراضی برای گندم آبی در منطقه فلاورجان (اصفهان)، با استفاده از نظریه مجموعه‌های فازی

جهانگرد محمدی[۱] و جواد گیوی[۱]

چکیده

در این مطالعه از نظریه مجموعه‌های فازی، به منظور ارزیابی تناسب اراضی برای گندم آبی در منطقه فلاورجان (اصفهان) استفاده شده است. این روش از نظر تعیین وزن برای خصوصیات مختلف اراضی، و هم چنین نحوه محاسبه شاخص اراضی، با دیگر روش‌های معمول ارزیابی متفاوت می‌باشد.

نتایج حاصل با روش پارامتریک ارزیابی اراضی مقایسه شد. هم‌بستگی بین شاخص اراضی و عملکرد مشاهده شده گندم در سطح منطقه، برای روش مبتنی بر نظریه مجموعه‌های فازی (r=۰/۳۵) بیشتر از روش پارامتریک (r=۰/۱۴) بوده است. هم‌بستگی به مراتب بیشتر مشاهده شده بین شاخص اراضی و عملکرد محصول در روش فازی، نشان دهنده پتانسیل کاربری و مفید بودن این روش در ارزیابی تناسب اراضی است.

واژه‌های کلیدی: *ارزیابی تناسب اراضی، روش پارامتریک، نظریه مجموعه‌های فازی، تابع عضویت، گندم*

مقدمه

به دلیل محدود بودن اراضی در تولید محصولات کشاورزی، بهره برداری از آنها باید براساس توان و ظرفیت تولیدشان صورت گیرد. هدف از ارزیابی تناسب اراضی، اختصاص دادن اراضی به بهترین و درعین حال سودآوردترین نوع کاربری است (۱).

روش‌های مختلفی را می‌توان برای ارزیابی اراضی پیشنهاد نمود. در سال ۱۹۷۶، سازمان خواروبار و کشاورزی جهانی سازمان ملل متحد (فائو) یک چهارچوب کلی به منظور طبقه‌بندی تناسب اراضی ارائه داد (۴). در این چهارچوب، روش مشخصی برای انجام طبقه‌بندی پیشنهاد نشده است.

در سال‌های اخیر مجموعه روش‌هایی براساس چهارچوب فوق ارائه شده است (۵، ۶ و ۱۱). در این روش‌ها که همه از نوع کیفی می‌باشند، میزان تناسب اراضی برای یک نوع کاربری خاص، با مقایسه مشخصات اراضی و یا کیفیت اراضی با

۱. استادیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-05-30]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.1.9.4]

نیازهای آن کاربری مشخص می‌شود. از انواع این روش‌ها می‌توان از روش محدودیت حداکثر (۱۵) و روش پارامتریک (۱۱) نام برد. در ارزیابی کیفی تناسب اراضی، براساس میزان تناسب برای یک کاربرد خاص، اراضی به کلاس‌های مختلفی طبقه‌بندی می‌گردند (۱).

در روش پارامتریک یک درجه‌بندی کمی به هر مشخصه زمین اختصاص داده می‌شود. اگر مشخصه‌ای برای گیاه مورد نظر کاملاً مطلوب باشد، درجه حداکثر ۱۰۰ به آن تعلق می‌گیرد، و در صورت داشتن محدودیت، درجه کمتری به آن داده می‌شود. درجات اختصاص یافته بعداً در محاسبه شاخص زمین به کار خواهد رفت. در این روش ابتدا ارزیابی اقلیم صورت می‌گیرد. شاخص‌های اقلیم و زمین با استفاده از درجات اختصاص داده شده به هر مشخصه، و به کمک روش‌هایی مانند استوری (۱۰) و یا ریشه دوم (۹) محاسبه می‌شوند. با استفاده از شاخص محاسبه شده، کلاس تناسب طبق جدول ۱ تعیین می‌گردد (۱).

در این روش کلاس‌های تناسب اراضی به صورت گروه‌های کاملاً مجزا و گسسته تعریف شده، و توسط حدود مشخص و ثابتی از یکدیگر تفکیک می‌شوند. بدین ترتیب، واحدهای اراضی که دارای تناسب بینابین باشند، تنها و تنها می‌توانند مشخصات یکی از کلاس‌های از پیش تعریف شده تناسب اراضی را اختیار نمایند. برای رفع این نقیصه، و به منظور تعیین تناسب این نوع از واحدهای اراضی، در این مقاله از روش جدید تناسب اراضی، که بر پایه نظریه مجموعه‌های فازی بنا شده، استفاده گردیده است. به منظور مقایسه و بررسی کارایی روش جدید طبقه‌بندی فازی تناسب اراضی، نتایج حاصل از روش پارامتریک (۱) با نتایج این روش مورد مقایسه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مطالعاتی

منطقه فلاورجان به مساحت ۲۲۸۴۳ هکتار در ۱۵ کیلومتری جنوب غربی شهر اصفهان واقع شده است. موقعیت محدوده مطالعاتی در شکل ۱ نشان داده شده است. در این منطقه سه واحد فیزیوگرافی شامل واریزه‌ها و آبرفت‌های بادبزنی شکل سنگ‌ریزه‌دار، دشت‌های آبرفتی و آبرفتی دامنه‌ای، و دشت‌های آبرفتی رودخانه زاینده‌رود وجود دارد. به طور کلی سازندهایی که در منطقه رخنمون شده‌اند مربوط به کرتاسه زیرین و آبرفت‌های جدید دوران چهارم زمین‌شناسی می‌باشند. به استناد آمار هشت ساله ایستگاه هواشناسی اصفهان (۱۳۷۲-۱۳۶۵)، در منطقه اصفهان میانگین سالیانه بارندگی ۱۲۲/۴ میلی‌متر، متوسط دمای سالیانه ۱۳/۸ درجه سانتی‌گراد و متوسط سالیانه رطوبت نسبی ۴۰/۴ درصد است. دی‌ماه با میزان بارندگی ۲۳/۱ میلی‌متر مرطوب‌ترین، و شهریور با صفر میلی‌متر بارندگی خشک‌ترین ماه سال محسوب می‌شود. مقایسه اطلاعات هواشناسی ایستگاه اصفهان با ایستگاه فلاورجان نشان می‌دهد که از اصفهان به طرف فلاورجان میزان بارندگی و متوسط رطوبت نسبی سالیانه افزایش می‌یابد (۱).

قسمت اعظم اراضی مزروعی منطقه مورد مطالعه هر سال زیر کشت قرار داشته و تنها بخش ناچیزی از آن به صورت آیش رها می‌شود. فعالیت‌های کشاورزی صرفاً متکی به آبیاری است. گندم، برنج و جو به ترتیب با ۲۳، ۲۲ و ۱۰ درصد، بیشترین سطح زیرکشت را به خود اختصاص داده‌اند.

در مطالعه‌ای که توسط گیوی (۱) صورت گرفت، تناسب ۲۰۰۰۰ هکتار از اراضی این منطقه برای محصولات عمده و استراتژیک مورد ارزیابی کیفی، کمی و اقتصادی قرار گرفت. در این مطالعه ۳۰ واحد نقشه (۱۸ واحد اراضی) بررسی گردید. غالب خاک‌ها در رده آریدی سول و بخشی از آنها در رده آنتی‌سول قرار می‌گیرند. بعضی از ویژگی‌های مهم واحدهای اراضی در جدول ۲ نشان داده شده است.

نیازهای گندم آبی

به منظور ارزیابی تناسب اراضی برای کاشت نباتات مختلف، تعیین نیازهای آن نباتات از نظر شرایط اقلیمی و خصوصیات خاک ضروری است. برای منطقه مورد مطالعه، جدول ۳ چگونگی اثر مشخصات پستی و بلندی و خاک را بر رشد گندم

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-05-30]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.1.9.4]

جدول ۱. تعیین کلاس‌های تناسب اراضی براساس شاخص اراضی (۱)

شاخص اراضی	کلاس تناسب اراضی
۷۵-۱۰۰	اراضی بسیار مناسب (S1)
۵۰-۷۵	اراضی نسبتاً مناسب (S2)
۲۵-۵۰	اراضی حاشیه‌ای مناسب (S3)
۱۲-۲۵	اراضی در حال حاضر نامناسب (N1)
۰-۱۲	اراضی نامناسب (N2)

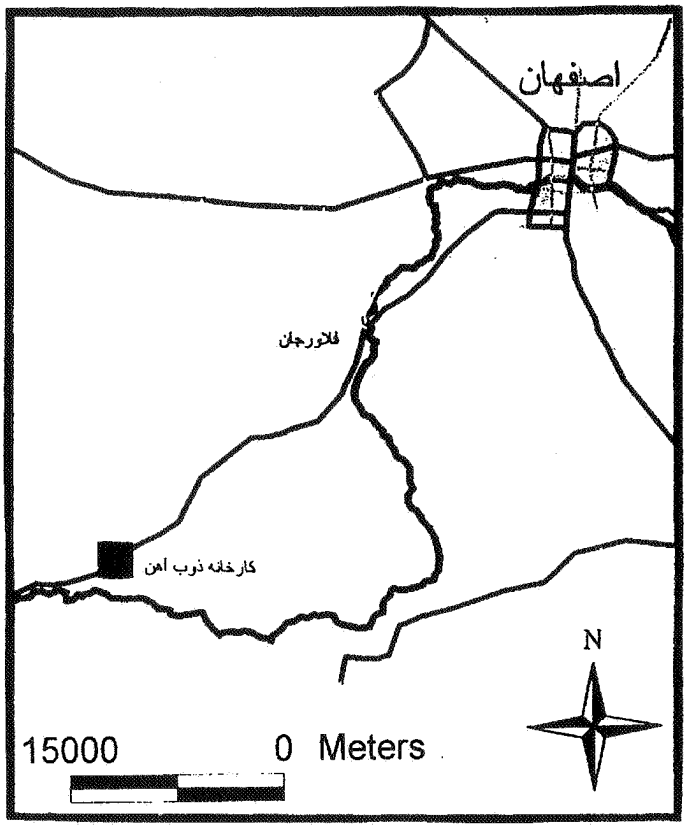
جدول ۲. بعضی از خصوصیات مهم واحدهای اراضی در منطقه مورد مطالعه (۱)

واحد اراضی	شیب (%)	بافت و ساختمان[1]	عمق (cm)	آهک (%)	گچ (%)	پ-هاش	EC (dS/m)	ESP
۱	۵-۲	SC,CL,SCL	۱۴۵	۳۷/۶	۷/۱	۷/۸	۹/۳	۱۷/۹
۲	۲-۱	SC,CL,SCL	۱۴۰	۵۵/۸	۰	۸/۱	۰/۸	۵/۹
۳	۱-۰	SC,SCL	۱۳۰	۴۵/۶	۰	۷/۸	۱/۳	۰
۴	۲-۱	SCL,CL,SL	۱۵۰	۵۱/۵	۰	۷/۸	۳/۱	۴/۲
۵	۲-۰	L	۱۵۰	۴۳/۱	۰	۸/۱	۱/۹	۷/۴
۶	۱-۰	CL	۱۶۰	۴۶/۴	۰	۸	۰/۴	۰/۶
۷	۱-۰	SiL	۱۱۰	۲۶/۷	۰	۷/۸	۰/۶	۰
۸	۱-۰	L,SL	۱۵۰	۲۷/۸	۰	۸	۱/۲	۰
۹	۱-۰	CL	۱۴۰	۳۰/۵	۰	۷/۹	۰/۸	۰
۱۰	۱-۰	CL	۱۵۰	۳۷/۶	۰	۸	۰/۶	۰
۱۱	۱-۰	Cs	۱۵۰	۴۰	۰	۷/۹	۱	۰
۱۲	۱-۰	Si,Cms,Cm.S	۱۶۰	۴۴	۰	۸/۲	۱/۲	۲/۳
۱۳	۱-۰	Cm,S	۱۶۰	۳۸/۳	۰	۸	۰/۸	۰
۱۴	۱-۰	Si,CL	۱۴۵	۳۹/۷	۰	۷/۸	۹/۴	۲۲/۵
۱۵	۱-۰	Cm,S	۱۴۵	۴۵/۲	۰	۸	۱/۶	۰
۱۶	۱-۰	Si,Cs	۱۴۵	۳۵/۱	۰	۸/۱	۱/۲	۴/۷
۱۷	۱-۰	CL	۱۶۰	۳۳/۸	۱/۳	۸	۱۶/۱	۲۴
۱۸	۱-۰	SiCL	۱۵۰	۳۳/۸	۰	۷/۹	۲/۱	۰

۱. Cm: رسی بدون ساختمان، SiCm: رسی سیلتی بدون ساختمان، Cs: رسی با ساختمان بلوکی، SiCs: رسی سیلتی با ساختمان بلوکی، SiCL: لوم رسی سیلتی، CL: لوم رسی، SiL: لوم سیلتی، SC: رسی شنی، L: لومی، SCL: لوم رسی شنی، SL: لوم شنی

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-05-30]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.1.9.4]



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعاتی

آبی نشان می‌دهد (۱). پس از تعیین نیازهای محصول، مشخصات اراضی، که شامل مشخصات اقلیمی نیز می‌شود، با آنها مقایسه و کلاس تناسب زمین برای آن محصول مشخص می‌گردد. جدول ۴ نیازهای اقلیمی گندم آبی را نشان می‌دهد (۱).

نظریه مجموعه‌های فازی

نظریه مجموعه‌های فازی و یا منطق فازی، که در فارسی از آن به منطق گنگ و یا چندارزشی یاد می‌شود، ابتدا توسط زاده (۱۴)، استاد ایرانی‌الاصل دانشگاه برکلی کالیفرنیا، به منظور تعریف و تعیین کمی کلاس‌هایی ارائه شد که به صورت مبهم و ناگویا مانند «عوامل بسیار مهم» و یا «اراضی نسبتاً مناسب»، بیان می‌شوند. این منطق تحت هر عنوانی که بیان گردد، از نظر مبانی و روش‌شناسی در مقابل منطق دوارزشی ارسطویی قرار می‌گیرد.

در تفکر فازی تعیین مرزی مشخص مشکل، و تعلق عناصر مختلف به مفاهیم و موضوعات گوناگون نسبی است. چنین تفکری با طبیعت و محیط پیرامونی انسان بسیار سازگار می‌باشد. فازی بودن به معنای چندارزشی بودن است، و در مقابل منطق دوارزشی، که در آن برای هر سؤال و یا مفهومی تنها دو پاسخ و یا حالت (درست یا نادرست، سیا یا سفید) می‌تواند وجود داشته باشد، قرار می‌گیرد. در حقیقت منطق ارسطویی را می‌توان حالت خاصی از تفکر فازی به حساب آورد.

این موضوع را می‌توان با ذکر یک مثال روشن نمود. اگر در یک کلاس گفته شود که افراد ذکور دستهایشان را بلند کنند، مجموعه‌ای حاصل می‌شود که فازی نبوده، و مخاطبان را می‌توان به دو دسته مذکر و غیرمذکر تقسیم نمود. بدین ترتیب

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-05-30]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.1.9.4]

جدول ۳. اثر مشخصات پستی و بلندی و خاک در رشد گندم آبی (جدول احتیاجات) (۱)

خصوصیات خاک	۱۰۰	۹۵	۸۵	۶۰	۴۰	۲۵
پستی و بلندی:						
الف) شیب (%)	با توجه‌به شیب جانبی					
ب) میکرو رلیف (cm)	۰-۵	۵-۱۵	۱۵-۳۰	۳۰-۶۰	بیشتر از ۶۰	
خیسی زمین:						
الف) سیل‌گیری	بدون محدودیت	-	محدودیت کم	محدودیت متوسط	-	محدودیت شدید
ب) وضعیت زه‌کشی:						
عمق کرومای ۲ و کمتر (cm)	بیشتر از ۱۰۰	۵۰-۱۰۰	۲۰-۵۰	۰-۲۰	-	-
عمق سفره آب زیرزمینی (cm):						
شوری کمتر از ۱/۵ dS/m	بیشتر از ۳	۲-۳	۱-۲	۰/۷۵-۱	۰/۵-۰/۷۵	۰-۰/۵
شوری بیشتر از ۱/۵ dS/m	بیشتر از ۲	۱/۵-۲	۱-۱/۵	۰/۵-۱	۰/۲۵-۰/۵	۰-۰/۲۵
خواص فیزیکی خاک:						
الف) بافت و ساختمان[1]	SiCL,SiCs,SiL,Cs	SCL,L,SC,CL	SL	LS,Cm,SiCm	-	S
ب) عمق خاک (cm)	بیشتر از ۹۰	۶۰-۹۰	۳۰-۶۰	۱۰-۳۰	-	۰-۱۰
ج) میزان آهک (%)	۱۰-۲۵	۲۵-۶۰	۶۰-۸۰	بیشتر از ۸۰	-	-
د) میزان گچ (%)	۰-۱۰	۱۰-۲۵	-	-	-	-
خواص مربوط به حاصلخیزی خاک:						
پ-هاش	۶-۸	۸-۸/۵	بیشتر از ۸/۵	-	-	-
شوری و قلیاییت:						
EC (dS/m)	۰-۴	۴-۸	۸-۱۲	۱۲-۱۶	۱۶-۲۴	بیشتر از ۲۴
ESP	۰-۱۵	۱۵-۲۵	۲۵-۳۵	۳۵-۴۵	-	بیشتر از ۴۵

۱. Cm: رسی بدون ساختمان، SiCm: رسی سیلتی بدون ساختمان، Cs: رسی با ساختمان بلوکی، SiCs: رسی سیلتی با ساختمان بلوکی، SiCL: لوم رسی سیلتی، CL: لوم رسی، SiL: لوم سیلتی، SC: رسی شنی، L: لومی، SCL: لوم رسی شنی، SL: لوم شنی

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-05-30]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.1.9.4]

جدول ۴. اثر اقلیم در رشد گندم آبی (واحد درجه حرارت سانتی‌گراد است) (۱)

مشخصات اقلیمی	۱۰۰	۹۵	۸۵	۶۰	۴۰	۲۵
میانگین درجه حرارت سیکل رشد	۲۰-۱۵	۱۵-۱۲	۱۲-۱۰	۱۰-۸	-	کمتر از ۸
		۲۳-۲۰	۲۵-۲۳	۳۰-۲۵	-	بیشتر از ۳۰
میانگین درجه حرارت مرحله رشد سبزینه‌ای	۱۲-۸	۸-۶	۶-۴	۴-۲	-	کمتر از ۲
		۱۸-۱۲	۲۴-۱۸	۲۸-۲۴	-	بیشتر از ۲۸
میانگین درجه حرارت مرحله گل‌دهی	۲۲-۱۴	۱۴-۱۲	۱۲-۱۰	۱۰-۸	-	کمتر از ۸
		۲۶-۲۲	۳۲-۲۶	۳۶-۳۲	-	بیشتر از ۳۶
میانگین درجه حرارت مرحله رسیدن دانه	۲۴-۱۶	۱۶-۱۴	۱۴-۱۲	۱۲-۱۰	-	کمتر از ۱۰
		۳۰-۲۴	۳۶-۳۰	۴۲-۳۶	-	بیشتر از ۴۲
میانگین درجه حرارت حداقل روزانه سردترین ماه	کمتر از ۸	-	بیشتر از ۸	۱۳-۸	-	بیشتر از ۱۳
میانگین درجه حرارت حداکثر روزانه سردترین ماه	کمتر از ۲۱	-	کمتر از ۲۱	بیشتر از ۲۱	-	بیشتر از ۲۱

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-05-30]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.1.9.4]

منطق ارسطویی پابرجا است. حال اگر از افراد مزبود سؤال شود که آیا از استاد خود راضی هستند، در این صورت تعدادی با اطمینان دست خود را بالا گرفته و عده‌ای نیز دست خود را اصلاً بالا نمی‌آورند. اما اغلب افراد ممکن است بین این دو حالت قرار گیرند. این نشان‌دهنده یک مجموعه فازی است، که هر کدام از عناصر این مجموعه درجه‌ای از راضی بودن را نشان می‌دهند. بنابراین، اگرچه هر کدام از طبقات مورد نظر (کاملاً راضی، راضی، تا حدودی راضی،...) از نظر معنایی و لفظی اطلاعات مهمی را به همراه خود دارد، لیکن از نظر کمی مرز دقیقی را بین این طبقات نمی‌توان متصور شد. از سوی دیگر، طبقه بندی دوگزینه‌ای (نظریه کلاسیک مجموعه‌ها)، که براساس آن یک شیئ تنها و تنها می‌تواند به عضویت یکی از کلاس‌ها در آید، در بسیاری از شرایط نارسا و دارای ضعف است (۲ و ۳).

آنچه توسط زاده (۱۴) پیشنهاد شد، عبارت است از عضویت در یک مجموعه نه تنها به صورت صفر (غیرعضو) و یک (عضو بودن)، بلکه به شکل مقادیر بین صفر و یک، که بیانگر درجه عضویت و متعلق بودن به کلاس است. تابعی که درجه عضویت به یک مجموعه را بیان می‌کند اصطلاحاً تابع عضویت[1] نامیده می‌شود (۲ و ۷). بدین ترتیب درجه اهمیت هر کدام از خصوصیات اراضی را می‌توان توسط این تابع به گونه‌ای تعریف نمود که مهم‌ترین خصوصیت مقدار عددی یک، و کم‌اهمیت‌ترین مشخصه مقدار صفر را اختیار نماید.

به منظور ارزیابی اراضی، توابع عضویت کلاس‌های مختلف تناسب اراضی (S1,...,N2)، برای هر کدام از خصوصیات اراضی می‌بایستی تعیین گردد. چنین توابعی درجه تعلق هر کدام از مشخصات اراضی را به کلاس‌های مختلف تناسب مشخص می‌سازند. چنانچه مقدار یک خصوصیت کاملاً متعلق به کلاس تناسب اراضی مورد نظر باشد، در آن صورت مقدار تابع عضویت مساوی یک، و در صورتی که مطلقاً متعلق به آن کلاس نباشد، برابر با صفر خواهد بود. در شرایطی که خصوصیت مورد نظر تا حدودی به کلاس مربوط تعلق داشته باشد، مقدار و درجه عضویت از طریق تابع عضویت زیر تعیین می‌گردد (۲):

$$MF_{z(x)} = \frac{1}{\left\{1+\left(\frac{z(x)-b_1-d_1}{d_1}\right)^2\right\}} \qquad \text{اگر } Z(x)<b_1+d_1$$

$$MF_{z(x)} = 1 \qquad \text{اگر } b_1+d_1 \le Z(x) \le b_2-d_2$$

$$MF_{z(x)} = \frac{1}{\left\{1+\left(\frac{z(x)-b_2+d_2}{d_2}\right)^2\right\}} \qquad z(x)>b_2-d_2$$

که در آن MF تابع عضویت متغیر Z(x)، b_1 و b_2 به ترتیب حدود آستانه پایینی و بالایی، و d_1 و d_2 عرض منطقه انتقالی تابع عضویت را مشخص می‌سازد.

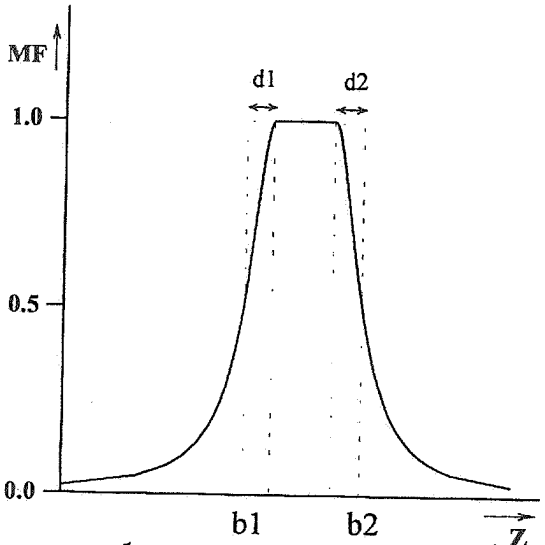
با افزایش مقادیر عرض منطقه انتقالی، مدل فازی تغییرات متغیر مورد نظر در مکان تدریجی‌تر و دارای پیوستگی بیشتری خواهد بود. این تابع در شکل ۲ نمایش داده شده است. تابع مذکور برای توصیف افزایش درجه تعلق داشتن به یک کلاس تناسب اراضی، و مکمل آن به منظور نمایش کاهش درجه عضویت به کار گرفته می‌شود. منحنی‌های تابع عضویت اساس نظریه فازی است. آنها بیانگر این واقعیت هستند که درجات عضویت و تعلق داشتن به صورتی پیوسته و تدریجی تغییر نموده و هیچ گاه به طور ناگهانی از صفر (عدم تعلق) به یک (تعلق کامل داشتن) تغییر نمی‌کنند.

نتایج ارزیابی تمامی خصوصیات موجود در هر واحد اراضی، در مجموعه‌ای به نام ماتریس خصوصیات (R) قرار می‌گیرد. از آن جایی که هر کدام از خصوصیات مورد نظر دارای آثار متفاوتی بر محصول مورد مطالعه هستند، بنابراین تأثیرهای نسبی هر کدام از خصوصیات را می‌توان با توجه به میزان محصول مشاهده شده، به صورت معیار وزنی تعیین نمود. مقادیر وزن‌های هر کدام از خصوصیات، تشکیل ماتریس اوزان (W) را می‌دهد، که بیانگر اثر هر کدام از مشخصه‌های اراضی بر تولید محصول است.

1. Membership function

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-05-30]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.1.9.4]



شکل ۲. نمایش نموداری تابع عضویت زنگوله‌ای مدل فازی به همراه پارامترهای آن. محور افقی نشان‌دهندهٔ مقادیر مشاهده شده متغیر مورد مطالعه، محور عمودی بیانگر درجه عضویت، b_1 و b_2 به ترتیب حدود آستانه پایینی و بالایی، و d_1 و d_2 عرض منطقه انتقالی تابع عضویت در حدود آستانه مورد نظر می‌باشد.

طبقه بندی نهایی تناسب اراضی با استفاده از نظریه مجموعه‌های فازی، از طریق ضرب ماتریس خصوصیات در ماتریس اوزان به دست می‌آید:

$$E = R^{\circ}W$$

همان گونه که ملاحظه می‌گردد، نتیجه نهایی طبقه بندی تناسب اراضی نیز ماتریسی (ماتریس ارزیابی) خواهد بود که هر کدام از عناصر آن بیانگر درجه عضویت واحد زمین مورد نظر در کلاس‌های مختلف تناسب اراضی است.

نتایج و بحث

تعیین توابع عضویت خصوصیات و عملکرد مشاهده شده

برای هر یک از خصوصیات اراضی و اقلیم در هر کدام از کلاس‌های تناسب، تابع عضویت تعریف شد. به طور مثال، تابع عضویت کلاس تناسب S1 برای خصوصیات هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک به صورت زیر ارائه گردید:

$$MF_{S1} = \begin{cases} 1 & \text{اگر } EC < 4\,dS/m \\ \dfrac{1}{\left\{1 + \left(\dfrac{EC-4}{2}\right)^{2}\right\}} & \text{اگر } EC \geq 4\,dS/m \end{cases}$$

که در آن EC هدایت الکتریکی عصاره اشباع (دسی‌زیمنس بر متر) است. عرض منطقه انتقالی تابع عضویت شوری دو دسی زیمنس بر متر انتخاب شد. این متغیر عموماً براساس تجارب و سعی و خطا انتخاب می‌شود (۲).

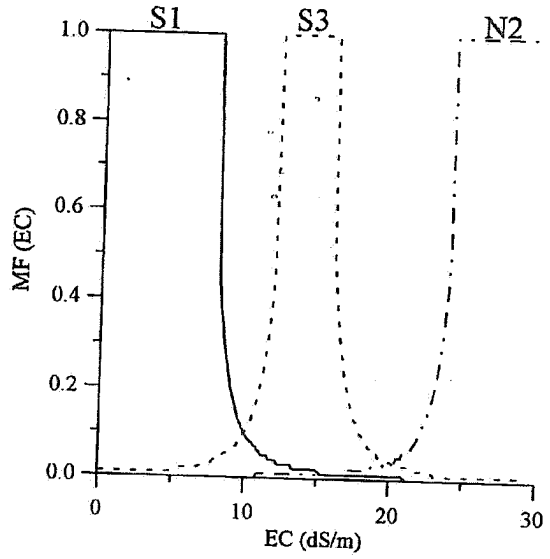
توابع عضویت برای تعدادی از کلاس‌های تناسب (N2، S3 و S1)، به صورت نمودار در شکل ۳ نمایش داده شده است. برای عملکرد مشاهده شده گندم نیز توابعی مشابه براساس جدول ۵ ارائه شد. لازم به یادآوری است که برای تعیین تابع عضویت خصوصیات کیفی، مانند بافت خاک، از نظریه کلاسیک مجموعه‌ها استفاده شد (۱۲ و ۱۳).

محاسبه مقادیر عضویت خصوصیات و عملکرد

مقادیر عضویت خصوصیات مختلف اراضی در هر کدام از کلاس‌های تناسب، با استفاده از توابع عضویت تعریف شده در مرحله قبل، و برای هر کدام از واحدهای اراضی، محاسبه و در ماتریس خصوصیات (R) قرار داده شد. به طور مثال، با استفاده از داده‌های متعلق به واحد زمین شماره یک، ماتریس زیر به دست می‌آید:

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-05-30]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.1.9.4]



شکل ۳. نمایش نموداری توابع عضویت کلاس‌های تناسب (N۲، S۳ و S۱) هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک

	S1	S2	S3	N1	N2
EC	۰/۲۷	۱/۰	۰/۱۵	۰/۰۲	۰/۰۱
ESP	۱/۰	۰/۱۵	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۲
pH	۱/۰	۰/۲۶	۰/۰	۰/۰	۰/۰
Depth	۱/۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰	۰/۰
$CaCO_3$	۱/۰	۰/۰۹	۰/۰۴	۰/۰	۰/۰
....	....	....	....	....	....
....	....	....	....	....	....

که در آن EC، ESP، pH، Depth و $CaCO_3$ به ترتیب عبارتند از هدایت الکتریکی عصاره اشباع، درصد سدیم تبادلی، اسیدیته، عمق و میزان آهک.

عناصر ماتریس فوق، r_{ij}، نشان دهندهٔ مقدار عضویت خصوصیت iام در کلاس تناسب jام است (i=۱,۲,...,۱۷ و j=S۱,S۲,...,N۲). به عنوان مثال، مقدار $r_{1,1}$=۰/۲۷ بیانگر این نکته است که با توجه به مقدار هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در واحد زمین شماره یک و تابع عضویت کلاس تناسب S۱، مقدار عددی عضویت این خصوصیت در کلاس تناسب مربوط برابر با ۰/۲۷ می‌باشد.

جدول ۵. تعیین کلاس تناسب اراضی براساس عملکرد مشاهده شده گندم آبی (۱)

عملکرد مشاهده شده (کیلوگرم در هکتار)	کلاس تناسب اراضی
بیشتر از ۷۲۰۰	S1
۴۸۰۰-۷۲۰۰	S2
۲۴۰۰-۴۸۰۰	S3
کمتر از ۲۴۰۰	N1 , N2

مقادیر عضویت برای عملکرد مشاهده شده نیز برای هر کدام از واحدهای اراضی محاسبه، و در ماتریسی تحت عنوان ماتریس تناسب استاندارد (P) مرتب شد. مثلاً، این ماتریس برای واحد زمین شماره یک عبارت است از:

$$P=\begin{array}{c|ccccc} & S1 & S2 & S3 & N1 & N2 \\ & ۰/۱۰ & ۱/۰ & ۰/۸۲ & ۰/۰۳ & ۰/۰۳ \end{array}$$

عناصر این ماتریس، P_j، درجه عضویت عملکرد مشاهده شده گندم در واحد اراضی شماره یک را در کلاس‌های مختلف تناسب اراضی نشان می‌دهد. به طور مثال، P_3=۰/۸۲ نشان

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-05-30]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.1.9.4]

می‌دهد که واحد مزبور با متوسط عملکرد ۵۵۳۱ کیلوگرم در هکتار، دارای مقدار عضویت ۰/۸۲ در کلاس تناسب S۳ می‌باشد.

تعیین و محاسبه ماتریس اوزان

آثار نسبی و اهمیت هر کدام از خصوصیات اراضی بر تولید محصول را می‌توان از طریق وزن آماری اختصاص داده شده به آنها تعیین نمود. تانگ و همکاران (۱۲) با استفاده از معادلات رگرسیون چندگانه و تکنیک رگرسیون مرحله‌ای[1]، مناسب‌ترین مدل را به همراه خصوصیات مورد نظر انتخاب نمودند. براساس ضرایب جزئی رگرسیون[2]، به هر کدام از خصوصیات وزنی تعلق گرفت. در مطالعه حاضر، به دلیل عدم دست‌یابی به مدل‌های مناسب و معتبر، از روش شبیه‌سازی و تولید تصادفی به منظور تعیین ماتریس اوزان استفاده شد (۱۲ و ۱۳).

بدین منظور، برای ارزیابی هر کدام از خصوصیات هفده‌گانه اراضی (خاک و اقلیم)، به صورت تصادفی، مقادیر بین صفر و یک تولید و به عنوان وزن هر کدام از خصوصیات مزبور در نظر گرفته شد. این عمل ۵۰۰ مرتبه تکرار گردید ((t=۱,...,۵۰۰)). بدین ترتیب ماتریسی از اوزان شبیه‌سازی شده حاصل گردید، که اصطلاحاً ماتریس اوزان مرجع (M) نامیده می‌شود (۱۳). در مرحله بعد، این ماتریس در ماتریس خصوصیات (R) به طریق زیر ضرب گردید:

$$Q_t = M_t \circ R$$

در نظریه مجموعه‌های فازی، عملگر ∘ همانند عمل ضرب در ریاضی عمل می‌نماید، لیکن به جای جمع نمودن حاصل ضرب‌های عناصر هر دو ماتریس، اقدام به تعیین بزرگ‌ترین مقدار موجود می‌شود (۲ و ۱۳). بدین ترتیب ماتریسی حاصل شده که می‌توان آن را ماتریس تناسب اراضی مرجع (Q_t) نامید.

با در اختیار داشتن ماتریس تناسب مرجع (Q_t)، و هم چنین ماتریس تناسب معیار (P)، می‌توان یک مجموعه فازی از ماتریس اوزان (W) برای خصوصیات اراضی مورد نظر تعریف نمود. بدین منظور، برای هر کدام از بردارهای (ماتریس) اوزان مرجع (M_t) مقدار عضویت به صورت زیر تعریف می‌شود (۸):

$$V_{G(M_t)} = ۱ - d\ (Q_t, P)$$

که در آن d عبارت از فاصله عادی[3] شده است:

$$d\ (Q_t, P) = \sqrt{\frac{\left(\sum_{j=۱}^{۵} \left(Q_{tj} - P_j\right)^۲\right)}{۵}}$$

در حقیقت هر چقدر مقادیر تابع عضویت $V_{G(Mt)}$ بزرگ‌تر باشد نشان دهنده نزدیک‌ترین فاصله آماری بین ماتریس‌های P و Q_t است. به عبارت دیگر، میزان این تابع نمایانگر مناسب بودن بردار اوزانی است که می‌توان در محاسبات مورد استفاده قرار داد. بدین ترتیب، برای هر کدام از واحدهای اراضی، می‌توان بهترین بردار اوزان را از میان ۵۰۰ بردار شبیه‌سازی شده انتخاب نمود. به طور مثال، برای واحد زمین شماره دو بزرگ‌ترین مقدار $V_{G(Mt)}$=۰/۸۷ متعلق به اوزان شبیه‌سازی شده در تکرار هفتم بوده است:

$$M_V = \begin{array}{c} \text{EC} \quad \text{ESP} \quad \text{pH} \quad \text{Depth} \quad CaCO_۳ \quad .... \quad .... \\ \left| ۰/۴۸ \quad ۰/۵۹ \quad ۰/۹۹ \quad ۰/۱۸ \quad ۰/۷۸ \quad .... \quad .... \right| \end{array}$$

بدین صورت، برای هر کدام از واحدهای اراضی بهترین بردار اوزان برگزیده شد. مقادیر نهایی ماتریس اوزان برای منطقه مورد مطالعه، از طریق تعیین میانگین بردارهای اوزان برگزیده به دست آمد:

$$W = \begin{array}{c} \text{EC} \quad \text{ESP} \quad \text{pH} \quad \text{Depth} \quad CaCO_۳ \quad .... \quad .... \\ \left| ۰/۵۰ \quad ۰/۶۶ \quad ۰/۶۱ \quad ۰/۳۴ \quad ۰/۶۳ \quad .... \quad .... \right| \end{array}$$

متعاقباً، با در اختیار داشتن ماتریس خصوصیات (R) و ماتریس اوزان (W)، اقدام به محاسبه ماتریس ارزیابی (E) برای هر کدام از واحدهای اراضی شد. به طور مثال، ارزیابی تناسب اراضی واحد شماره یک منجر به ماتریس زیر گردید:

1. Stepwise regression technique
2. Partial regression coefficient
3. Normalize

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-05-30]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.1.9.4]

$$E=\begin{array}{c}\begin{array}{ccccc}S1 & S2 & S3 & N1 & N2\end{array}\\ \left|\begin{array}{ccccc}۰/۸۰ & ۰/۵۰ & ۰/۰۸ & ۰/۰۳ & ۰/۰۱\end{array}\right|\end{array}$$

ماتریس ارزیابی فوق نشان می‌دهد که واحد زمین شماره یک با درجه امکان بیشتری به کلاس تناسب S1 تعلق داشته، زیرا بزرگ‌ترین مقدار عددی عنصر ماتریس مزبور بیانگر درجه تعلق به کلاس تناسب اراضی S1 است. با این حال، واحد زمین مزبور دارای درجه امکان عضویت نسبتاً زیادی در کلاس تناسب S2 نیز می‌باشد.

برای مقایسه نتایج حاصل از روش فازی با روش پارامتریک، اقدام به محاسبه شاخص ارزیابی گردید. بدین منظور، عناصر ماتریس ارزیابی به گونه‌ای تبدیل شده تا مجموع آنها برابر واحد شود. این عمل را اصطلاحاً عادی کردن[1] می‌نامند (۱۳). نتایج نهایی ارزیابی تناسب اراضی برای کشت گندم آبی در جدول ۶ آورده شده است. به منظور مقایسه، نتایج حاصل از روش پارامتریک نیز در این جدول ذکر شده است.

نتایج حاصل از هر دو روش نسبتاً شبیه به هم می‌باشد. ضریب هم‌بستگی محاسبه شده بین شاخص‌های ارزیابی برابر ۰/۶۴ ($P=۰/۰۰۱$) است. ولی در ارزیابی تعدادی از واحدهای اراضی، نتایج کاملاً متفاوتی به دست آمده است. به طور مثال، در حالی که واحدهای اراضی ۱۴ و ۱۷ در روش پارامتریک در کلاس تناسب S3 قرار گرفته‌اند، روش فازی آنها را در کلاس تناسب بالاتری طبقه‌بندی نموده است. این امر ممکن است ناشی از آثار پیرایشی شبیه‌سازی و میانگین‌گیری اوزان انتخاب شده برای خصوصیات اراضی باشد.

به منظور مقایسه و قضاوت در مورد دقت و کارآمدی دو روش طبقه‌بندی تناسب اراضی، هم‌بستگی بین شاخص‌های ارزیابی حاصل از هر کدام از روش‌های پارامتریک و فازی، با عملکرد مشاهده شده گندم محاسبه گردید. نتایج در شکل ۴ نشان داده شده است. ضریب هم‌بستگی برای روش ارزیابی مبتنی بر نظریه مجموعه‌های فازی، به مراتب بزرگ‌تر از روش پارامتریک است. با این حال، هم‌بستگیِ به دست آمده در روش فازی هنوز از حالت مطلوب فاصله بسیار زیادی دارد. هم‌بستگی کم بین شاخص‌های ارزیابی هر دو روش و میزان عملکرد مشاهده شده، احتمالاً ناشی از دقت کم اطلاعات مربوط به میزان عملکرد در هر واحد اراضی، و هم چنین خطاهای اندازه‌گیری بعضی از خصوصیات اراضی است. از سوی دیگر، کم بودن ضرایب هم‌بستگی در هر دو روش را می‌توان علاوه بر موارد فوق، ناشی از این واقعیت دانست که عملکرد زارع تنها بستگی به شاخص زمین نداشته، بلکه عواملی مانند مدیریت نیز در این زمینه نقش دارند (۱).

گرچه نتایج حاصل از این مطالعه در توافق عمومی با مطالعات وان رانست و همکاران (۱۳) و تانگ و همکاران (۱۲)، مبنی بر کارآمدتر بودن روش فازی است، لیکن در مطالعه حاضر نتایج حاصل از روش فازی، به رغم هم‌بستگی بیشتر با عملکرد مشاهده شده گندم در منطقه، تنها نشان‌دهنده برتری نسبی آن در مقایسه با روش پارامتری است.

نتیجه‌گیری

روش ارزیابی اراضی مبتنی بر نظریه مجموعه‌های فازی، از نظر به کارگیری وزن‌های مختلف برای خصوصیات اراضی، از روش‌های معمول ارزیابی متمایز می‌گردد. چنین وزن‌های آماری، آثار نسبی عوامل و خصوصیات مختلف اراضی را بر تولید و عملکرد محصول مورد نظر منعکس می‌سازد. علاوه بر آن، این روش قادر است نه تنها کلاس غالب تناسب اراضی را مشخص سازد، بلکه درجه تعلق واحد اراضی مورد نظر را به دیگر کلاس‌های تناسب تعیین نماید. این گونه اطلاعات را می‌توان در مدیریت مزرعه به کار گرفت.

یکی دیگر از محاسن روش‌های تجزیه و تحلیل مبتنی بر نظریه فازی، انطباق بیشتر نتایج با ماهیت پیوسته و در عین حال مبهم پدیده‌های طبیعی است. با این وجود، دقت نتایج ارزیابی اراضی تا حدود بسیار زیادی وابسته به اوزان تعیین شده برای خصوصیات مختلف اراضی است. شبیه سازی و تولید تصادفی

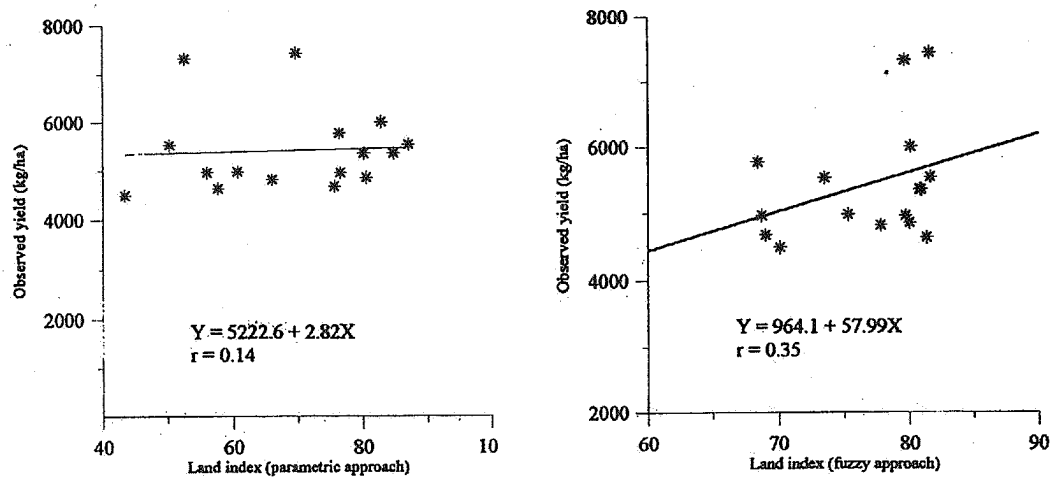
1. Normalization

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-05-30]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.1.9.4]

جدول ۶. نتایج طبقه‌بندی تناسب اراضی برای گندم آبی در منطقه فلاورجان (اصفهان)، با استفاده از روش پارامتریک و مجموعه‌های فازی

واحدهای	روش پارامتریک		روش فازی	
اراضی	شاخص اراضی	کلاس تناسب	شاخص اراضی	کلاس تناسب
۱	۵۰/۳	S2	۷۳/۵	S2
۲	۵۲/۶	S2	۷۹/۷	S1
۳	۵۷/۷	S2	۸۱/۳	S1
۴	۶۰/۷	S2	۷۵	S1/S2
۵	۷۶/۵	S1	۷۹/۷	S1
۶	۸۲/۸	S1	۸۰/۱	S1
۷	۶۹/۷	S2	۸۱/۶	S1
۸	۶۶	S2	۷۷/۸	S1
۹	۸۷	S1	۸۱/۶	S1
۱۰	۸۴/۷	S1	۸۰/۸	S1
۱۱	۸۰/۱	S1	۸۰/۹	S1
۱۲	۷۵/۶	S1	۶۹	S2
۱۳	۷۶/۹	S1	۶۸	S2
۱۴	۴۳/۴	S3	۷۰/۱	S2
۱۵	۵۶	S2	۶۸/۷	S2
۱۶	۸۶/۵	S1	۸۰	S1
۱۷	۳۲/۸	S3	۵۷	S2
۱۸	۸۷	S1	۸۱/۶	S1



شکل ۴. خط برگشت و هم‌بستگی بین شاخص اراضی به دست آمده از روش پارامتریک (چپ) و روش فازی (راست) و عملکرد مشاهده شده گندم آبی. مدل‌ها به همراه ضرایب آنها روی نمودار نشان داده شده است.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-05-30]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.1.9.4]

اوزان مربوط، در مقایسه با مدل‌سازی عملکرد مشاهده شده، و رابطه آن با خصوصیات اراضی، از قطعیت و دقت کمتری برخوردار است. به دیگر سخن، تولید دوباره اوزان به روش فوق ممکن است به مجموعه دیگری از وزن‌ها برای خصوصیات اراضی منجر شود. به نظر می‌رسد برای بهبود و یافتن تکنیک‌های دیگر تعیین اوزان، تحقیقات بیشتری لازم است.

گرچه امروزه در مطالعه و ارزیابی اراضی و دیگر پدیده‌های طبیعی، تمامی تلاش‌ها بر به کارگیری روش‌های کمی متمرکز شده است، لیکن یکی از مشکلات کاربرد نظریه فازی در ارزیابی اراضی، حجم نسبتاً زیاد محاسبات می‌باشد. با این همه، نتایج به دست آمده از روش فازی می‌تواند پژوهشگران علوم خاک را در توسعه و بهبود آن در زمینه‌هایی مانند نوع توابع عضویت، حدود انتقالی، تعیین اوزان مطلوب و غیره بیش از پیش ترغیب کند.

منابع مورد استفاده

۱. گیوی، ج. ۱۳۷۷. ارزیابی کیفی، کمی و اقتصادی تناسب و تعیین پتانسیل تولید اراضی برای محصولات عمده منطقه فلاورجان اصفهان. مؤسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی و اقتصاد کشاورزی، وزارت کشاورزی، تهران.

2. Burrough, P. A. 1989. Fuzzy mathematical methods for soil survey and land evaluation. J. Soil Sci. 40: 477-492.

3. Burrough, P. A., R. A. MacMillan and W. Van Deursen. 1992. Fuzzy classification methods for determining land suitability from profile observations and topography. J. Soil Sci. 43: 193-210.

4. FAO. 1976. A framework for land evaluation. FAO Soils Bulletin 32, Rome.

5. FAO. 1984. Guidelines: Land evaluation for rainfed agriculture. FAO Soils Bulletin 52, Rome.

6. FAO. 1985. Guidelines: Land evaluation for irrigated agriculture. FAO Soils Bulletin 55, Rome.

7. Kerre, E. 1991. Introduction to the Basic Principles of Fuzzy Set Theory and Some of its Applications. Communication and Cognition, Blandijnberg 2, 9000 Gent, Belgium.

8. Ruan, D. 1990. Critical study of widely used fuzzy implication operators and their influence on the inference rules in fuzzy expert systems. Ph.D. thesis, University of Gent, Belgium.

9. Samir, K. R. 1986. A statistical approach in the use of parametric system applied to the FAO framework for land evaluation. Ph.D. thesis, University of Gent, Belgium.

10. Storie, R. E. 1976. Storie Index Soil Rating. Special publication Div. Agric. Sci. No. 3203, Univ. of Calif., Berkeley.

11. Sys, C., E. Van Ranst and J. Debaveye. 1991. Land Evaluation. Part I. General Administration for Development Cooperation, Brussels, Belgium.

12. Tang, H. G., J. Debaveye, D. Ruan and E. Van Ranst. 1991. Land suitability classification based on fuzzy set theory. Pedologie XLI-3: 277-290.

13. Van Ranst, E., H. Tang, R. Groenemans and S. Sinthurahat. 1996. Application of fuzzy logic to land suitability for rubber production in peninsular Thailand. Geoderma 70: 1-19.

14. Zadeh, L. A. 1965. Fuzzy sets. Information and Control 8: 338-353.

15. Zheng, Y. G., H. J. Lu and F. G. He. 1989. A methodology for land suitability evaluation. Land Resources 2: 31-37.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-05-30]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1380.5.1.9.4]