نشریه دانش آب و خاک / جلد 26 شماره 1/1 صفحه‌های 273 تا 290/ سال 1395

کاربرد نظریه مجموعه‌های فازی و روش فائو در تناسب و خوشه‌بندی واحدهای اراضی منطقه مرند برای محصولات آفتابگردان و کلزا

فریدا امیریان[1*]، علی‌اصغر جعفرزاده[2]، فرزین شهبازی[3]، محمدعلی قربانی گلزاری نژاد[4]، مسلم ثروتی[5]

تاریخ دریافت: 92/12/21 تاریخ پذیرش: 94/09/09

[1]- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم خاک، دانشگاه تبریز
[2]-استاد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
[3]-دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
[4]-دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
[5]-استادیار مرکز آموزش عالی شهید باکری میاندوآب، دانشگاه ارومیه
[*]مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: amirian_farida@yahoo.com

چکیده

افزایش جمعیت و محدودیت اراضی قابل‌کشت در دهه‌های اخیر، موجب توجه زیاد به افزایش تولید در واحد سطح و ارزیابی تناسب اراضی شده است. چندین روش از جمله روش‌های محدودیت (بیشینه، تعداد و شدت)، پارامتریک (استوری و ریشه‌دوم) و روش مبتنی بر منطق فازی برای ارزیابی تناسب اراضی ارائه‌شده است که این روش‌های کلاسیک ارزیابی تناسب اراضی، برخلاف روش فازی، قادر به بیان ماهیت پیوسته ویژگی‌های خاک نبوده و کلاس‌های تناسب اراضی را به‌گونه‌ای جمع‌ناپذیر تعریف می‌کنند. بنابراین استفاده از مجموعه‌های فازی در مطالعات ارزیابی تناسب اراضی نسبت به روش‌های کلاسیک، می‌تواند به درک بهتری از آن منجر شود. همچنین شبکه‌های عصبی مصنوعی کوهنن و خوشه‌بندی فازی می‌تواند برای تکمیل اطلاعات و تعیین خاک‌های همگن استفاده گردد. در این مطالعه به‌منظور مقایسه روش‌های فازی و فائو (پارامتریک-ریشه دوم) هم‌بستگی بین شاخص اراضی و عملکرد مشاهده‌شده آفتابگردان و کلزا در سطح منطقه ایجاد شد که همبستگی مذکور برای روش مبتنی بر نظریه مجموعه‌های فازی (به‌ترتیب با ضریب همبستگی 0/709 و 0/617) بیشتر از روش فائو (به‌ترتیب با ضریب همبستگی 0/605 و 0/300) بوده است. این نتایج نشان‌دهنده دقت و پتانسیل بالای کاربری روش منطق فازی نسبت به روش‌های کلاسیک ارزیابی تناسب اراضی هست و این امر ناشی از قابلیت منطق فازی در بیان ماهیت پیوسته فرآیندها می‌تواند بیان شود. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که خاکرخ‌های شاهد 1 و 4 بر اساس روش خوشه-بندی واحدهای اراضی همگن هست و این نتایج می‌تواند در تکمیل اطلاعات استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: تناسب اراضی، خوشه‌بندی، روش ریشه دوم، منطق فازی، منطقه مرند

Application of the Fuzzy Sets Theory and FAO Method on Suitability and Clustering of Land Units in Marand region for Sunflower and Canola Products

F Amirian[1*], A Jafarzadeh[2], F Shahbazi[3], M Ghorbani Golzari Nejad[4], M Servati[5]

Received: 10 February 2014 Accepted: 30 November 2015
1- M.Sc. Graduate., Dept. of Soil Science, University of Tabriz, Iran
2- Prof., Dept. of Soil science, University of Tabriz, Iran
3- Associate prof., Dept. of Soil sicence, University of Tabriz, Iran
4- Associate prof., Dept. of Water sicence and engineering, University of Tabriz, Iran
5-Assistant prof, Shahid Bakery High Education Center of Miandoab, Urmia University, Iran
*Corresponding Author, Email: amirian_farida@yahoo.com

Abstract

In recent decades, increasing of population and limitation of arable lands have led to consider production level increasing and land suitability assessment. Several methods such as limitation (Maximum, Number and intensity), parametric (Story, square root) and a new fuzzy logic based methods have been developed to assess the suitability of lands. Classical methods of land suitability assessment are not able to express the continuous nature of soil properties and define the land suitability classes as non-collectible. Therefore, using of the fuzzy sets in studies of land suitability assessment can lead to a better understanding of them. Also fuzzy clustering and kohonen artificial neural network can be used for homogenous soils determination and requirements data completion. In this study, for comparison of the fuzzy set theory and FAO method, calculated correlation coefficients values between the land index and yield of the sunflower and canola by fuzzy method were (0.709 and 0.617, respectively), more than those with the Parametric method (0.709 and 0.617, respectively).These results demonstrate the high accuracy and potential of the fuzzy logic method in relation to the classical methods of land suitability assessment, and can be described by the capability of the fuzzy logic in expressing the continuous nature of the processes. Obtained results showed that representative profiles of 1 and 4 were homogenous based on landform clustering methods and these results could be used for information completion.

Keywords: clustering, Fuzzy logic, Land suitability, Marand region, Square root method

مقدمه

محققان راه‌حل‌های متعددی را برای علاج عدم توازن رشد جمعیت و میزان غذای تولیدشده جهان، خصوصاً جهان سوم، پیشنهاد نموده‌اند که با توجه به محدودیت منابع، افزایش میزان تولید در واحد سطح بیشتر موردتوجه قرارگرفته است. بدین منظور بایستی کلیه منابع اراضی بررسی‌شده و قدرت بهره‌وری آن‌ها مشخص گردد تا با توجه به نوع قابلیت و استعداد آن‌ها مورد بهره‌وری قرارگرفته و از استفاده غیراصولی، تخریب و انهدام جلوگیری به عمل آید (ایوبی و جلالیان 1385). یکی از این راهکارها ارزیابی تناسب اراضی است که برای تعیین درجه سازگاری اراضی برای یک نوع به‌خصوص از انواع استفاده‌ها به‌کاربرده می‌شود (محمدی1386). دقت روش‌های ارزیابی اراضی برای اهداف کشاورزی به درجه تأثیر کیفیت‌های اراضی انتخاب‌شده روی تولید محصول بستگی دارد.

چندین روش برای ارزیابی اثرات کیفیت اراضی روی تولید محصول پیشنهادشده که از آن جمله می‌توان به روش‌های بیشترین محدودیت، روش پارامتریک استوری و ریشه دوم اشاره نمود. در روش بیشترین محدودیت، رشد محصول توسط محدودکننده‌ترین عامل کنترل‌شده و در روش‌های پارامتریک استوری و ریشه دوم یک درجه کمی به هر ویژگی‌ها از زمین اختصاص داده می‌شود.

تمام این روش‌ها بر مبنای نظریه دو ارزشی بولین استوار بوده و کلاس‌های مختلف تناسب اراضی را به‌گونه‌ای مجزا و گسسته تعریف می‌کنند (محمدی1386) و بدین ترتیب، واحدهای اراضی که دارای تناسب بینابین باشند، تنها می‌توانند مشخصات یکی از کلاس‌های از پیش تعیین‌شده تناسب اراضی را اختیار نمایند (سایس 1991a). در تمامی روش‌های مزبور کلاس‌های تناسب اراضی توسط حدود مشخص و ثابتی از یکدیگر تفکیک می‌شوند و ازآنجایی‌که ویژگی‌های کیفیت اراضی[1] بسیار پیچیده می‌باشند، به‌کارگیری عملیات و عملگرهای مبتنی بر منطق دو ارزشی بولین، موجب نادیده انگاشتن و یا دور ریختن حجم زیادی از اطلاعات مفید در خلال فرایند ارزیابی اراضی می‌گردد. به‌همین دلیل، محققان علوم خاک اقدام به کاربرد نظریه منطق فازی در ارزیابی اراضی، جهت ارزیابی مؤثر و بهینه منابع خاک و آب نموده و برخلاف منطق بولین، منطق فازی درستی هر چیزی را با یک عدد که مقدار آن بین صفر و یک است نشان داده و در این نظریه عضویت به‌صورت دو ارزشی نبوده، بلکه می‌تواند طیفی از اعداد بین صفر تا یک را به‌خود اختصاص دهد (سرمدیان و همکاران 1388، محمدی 1386). بنابراین استفاده از مجموعه‌های فازی در مطالعات ارزیابی تناسب اراضی نسبت به روش‌های مرسوم می‌تواند به درک بهتری از آن منجر شود و نه‌تنها کلاس غالب تناسب اراضی را مشخص می‌سازد، بلکه درجه تعلق واحد اراضی موردنظر را به دیگر کلاس‌های تناسب اراضی تعیین می‌نماید. یکی دیگر از محاسن روش‌های تجزیه‌وتحلیل مبتنی بر نظریه فازی، انطباق نتایج با ماهیت پیوسته و درعین‌حال مبهم پدیده‌های طبیعی بوده و جهت تهیه انواع نقشه‌ها نیز مورداستفاده قرار می‌گیرد و ضمن نیاز به پارامترهای کمتر و کاهش در وقت و هزینه، از دقت بالایی نیز برخوردار است (صادقی پورمروی1390).

در مطالعات انجام‌شده توسط محققان مختلف از جمله جعفرزاده و همکاران (1385)، جعفرزاده و شهبازی (1383)، بادآهنگ و همکاران (1388) و شیحاتا و همکاران (2006) در رابطه با روش‌های فائو (پارامتریک ریشه دوم) نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهنده دقت و کارآیی روش ریشه دوم نسبت به بقیه روش‌های موردمطالعه هست. همچنین مطالعات زیادی در زمینه کاربرد منطق فازی در ارزیابی تناسب اراضی از جمله سرمدیان و همکاران (2010) و ملکی و همکاران (2010) انجام و نتایج هم‌بستگی میان تولید مشاهده‌شده و شاخص اراضی نشان دادند که روش فازی با عامل هم‌بستگی بالاتر، دقت و قابلیت بالاتری در پیش‌بینی تولید دارد. همچنین در تحقیقات انجام‌شده توسط روگر و همکاران (2000)، رودریگو و همکاران (2005) و کوفمن و همکاران (2009) نتایج مشابهی به‌دست‌آمده و همگی مؤید برتری روش فازی نسبت به روش‌های کلاسیک می‌باشند. در این مطالعه نیز به‌دلیل کارآیی بالای روش فازی در بیان ویژگی‌های خاک، از این روش برای ارزیابی تناسب اراضی محصولات رایج در منطقه مرند، واقع در استان آذربایجان شرقی، استفاده و نتایج حاصل با نتایج روش فائو (پارامتریک ریشه دوم) مورد مقایسه قرارگرفته است.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مطالعاتی

منطقه موردمطالعه در شرق شهرستان مرند و در محدوده جغرافیایی "55 '23 °38 تا "59 '28 °38 عرض شمالی و "16 '49 °45 تا "12 '57 °45 طول شرقی قرار دارد (شکل 1). به استناد آمار 11 ساله ایستگاه هواشناسی شهرستان مرند (2011- 2000)، بخش‌های موردمطالعه دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد بوده و توزیع بارندگی نامنظم هست. میانگین باران سالیانه 358/32 میلی‌متر در سال با بیشینه بارش 65/42 میلی‌متر در فروردین‌ماه و کمینه 9/3 میلی‌متر در مردادماه هست. از

1- Land qualities

نظر درجه حرارت گرم‌ترین و سردترین ماه‌های سال به‌ترتیب مرداد با 26/14 درجه سلسیوس و دی با2/41- درجه سلسیوس بوده و متوسط درجه حرارت سالیانه ℃ 12/79 و متوسط رطوبت نسبی سالیانه 49/25 درصد هست (بی‌نام1390). برای انجام این تحقیق در اطراف روستای بنگین کندی، دولت‌آباد کندی و هجاوان 5 خاکرخ شاهد انتخاب و مطالعه گردید و بر اساس کلید رده‌بندی (بی‌نام 2014) تمامی خاک‌ها در رده اینسپتی‌سول قرار گرفتند که در جدول 1 برخی از ویژگی‌های مهم آن‌ها نشان داده‌شده است.

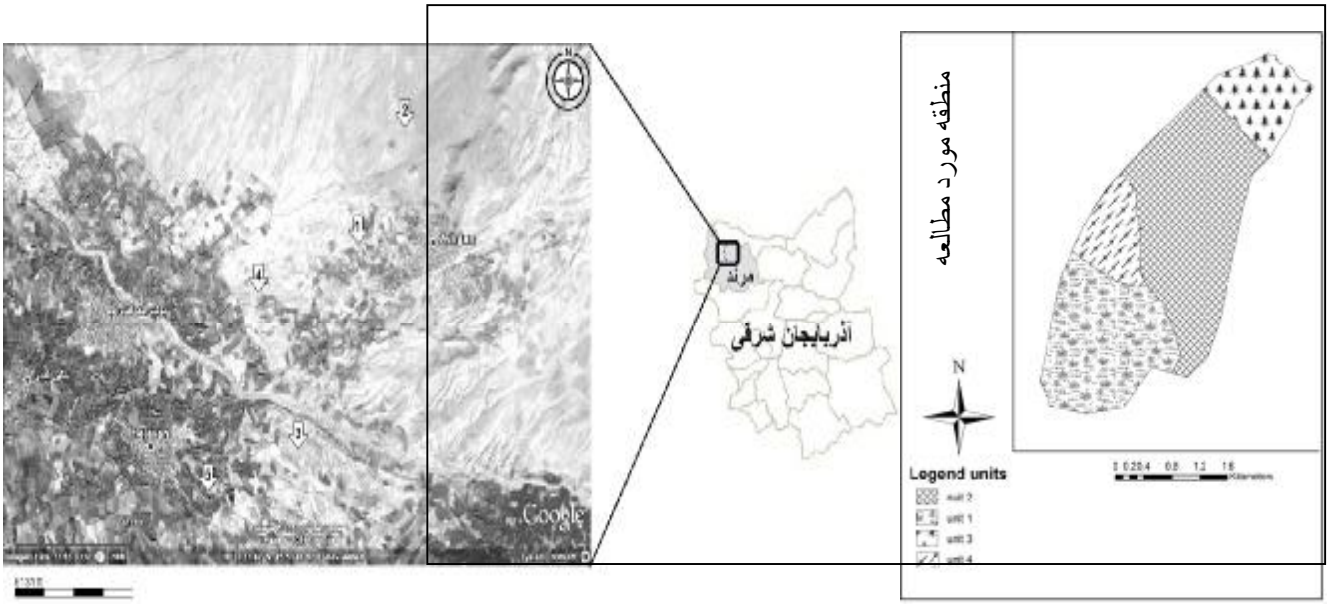
جدول 1- میانگین ویژگی‌های مهم خاک و زمین‌نما برای خاکرخ‌های موردمطالعه.

خاکرخ شاهد	شیب (%)	بافت خاک[1]	ذرات درشت‌تر از شن(%)	عمق خاک (cm)	CCE (%)	OC (%)	EC ($dS.m^{-1}$)	ESP (%)	pH
1	0-1	L	15/01	151	9/14	0/82	0/93	0/16	7/84
2	0-3	SCL	26/36	151	6/68	0/45	0/4	0/08	7/54
3	0-1	C	6/36	140	9/17	0/62	1/39	0/08	7/46
4	0-2	SL	17/11	140	7/80	0/08	2/7	0/46	7/63
5	0-2	CL	27/13	>150	5/64	0/12	1/14	0/15	7/67

1، L: لومی، SCL: لوم رسی شنی، C: رسی، SL: لوم شنی، CL: لوم رسی

نیازهای زمین‌نما و خاک برای محصولات موردمطالعه

نیازهای محصولات ذکرشده شامل نیازهای اقلیم، زمین‌نما و خاکی است که بسته به نوع محصول تغییر می‌کنند. برای منطقه موردمطالعه میانگین دمای دوره رشد برای آفتابگردان و کلزا به‌ترتیب 21/99 و 16/29 درجه سلسیوس هست و جهت تعیین نیازهای اقلیمی از جدول 2 و نیازهای زمین‌نما و خاک آفتابگردان و کلزا به‌ترتیب از جداول ارائه‌شده توسط تانگ و همکاران (1997) و سایس و همکاران (1993) استفاده‌شده است.



شکل 1- موقعیت جغرافیایی (برگرفته‌شده از Google Earth) و نقشه واحدهای اراضی منطقه موردمطالعه .

روش پارامتریک- ریشه دوم

در این روش به هر ویژگی یک درجه به‌صورت کمی اختصاص داده می‌شود و اگر ویژگی برای گیاه موردنظر کاملاً در حد مطلوب باشد، درجه بیشینه (100) و اگر همان ویژگی دارای محدودیت باشد، درجه کمتری با توجه به محدودیتی که دارد (بین 0 تا 100) برای آن در نظر گرفته می‌شود. در مرحله اول ارزیابی اقلیمی صورت می‌گیرد. سپس با توجه به درجه‌های اختصاص داده‌شده به هر ویژگی اراضی یا اقلیمی شاخص‌های اقلیم و زمین به‌روش ریشه دوم محاسبه‌شده و کلاس تناسب با توجه به‌روش سایس و همکاران (1991a) تعیین می‌شود (ایوبی و جلالیان 1385). در این روش کلاس‌های نهایی تناسب اراضی با توجه به مقدار عددی شاخص اراضی به 5 دسته بسیار مناسب یا S_1 (100-75)، نسبتاً مناسب یا S_2 (75-50)، مناسب یا S_3 (50-25)، در حال حاضر نامناسب یا N_1 (25-12) و نامناسب دائمی یا N_2 (12-0) تقسیم می‌شوند.

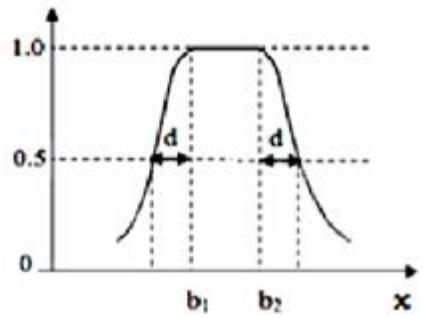
جدول 2- محدوده کلاس‌های تناسب اراضی برای میانگین دمای دوره رشد (درجه سلسیوس) محصولات موردمطالعه (سایس و همکاران1993، عبیری1386).

محصول	کلاس، درجه محدودیت و مقیاس امتیازدهی					
	S_1		S_2	S_3	N_1	N_2
	0	1	2	3	4	4
	100 95	85	60	40	25	0
آفتابگردان	22- 20	20- 18	18- 16	16- 13	-	<13
	24- 22	26- 24	28- 26	30- 28	-	>30
کلزا	13/5- 12/5	12- 12/5	12- 11	11- 9	-	<9
	-	14- 13/5	15- 14	17- 15	-	>17

نظریه مجموعه‌های فازی

نظریه منطق فازی، جایگزینی برای واژه‌ها و مفاهیم کلاسیک و رایج درجه عضویت مجموعه‌ها است، که قالب و صورت‌بندی ریاضی آن، توسط دانشمند ایرانی‌تبار به نام لطفی عسکر زاده، معروف به زاده، در سال 1965 میلادی (زاده 1965) با ارائه نظریه مجموعه‌های فازی به ثمر رسید. این نظریه بر پایه نگاشت تابع عضویت در دامنه اعداد واقعی استوار بوده و در حقیقت تعمیمی از منطق کلاسیک دو ارزشی است. آنچه توسط زاده پیشنهاد گردیده، عبارت است از عضویت در یک مجموعه نه‌تنها به‌صورت صفر (غیر عضو) و یک (عضو بودن)، بلکه به شکل مقادیر بین صفر و یک که بیانگر درجه عضویت و متعلق بودن به کلاس هست (محمدی1386). چنین توابعی، درجه تعلق هر کدام از مشخصات اراضی را به کلاس‌های مختلف تناسب اراضی مشخص می‌سازند. چنانچه مقدار یک ویژگی، کاملاً متعلق به کلاس تناسب موردنظر باشد، مقدار تابع عضویت، برابر یک و درصورتی‌که مطلقاً متعلق به آن کلاس نباشد، برابر صفر خواهد بود (صادقی پورمروی1390). بدیهی است که در شرایطی که ویژگی موردنظر تا حدودی به کلاس مربوط تعلق داشته باشد، مقدار و درجه عضویت از طریق تابع عضویت زیر تعیین می‌گردد.

$$MF_x = \begin{cases} \frac{1}{\left[1+\left(\frac{x-b_1}{d}\right)^2\right]} & x < b_1 \\ 1 & b_1 \le x \le b_2 \\ \frac{1}{\left[1+\left(\frac{x-b_2}{d}\right)^2\right]} & x > b_2 \end{cases} \quad [1]$$



شکل 2- نمایش نموداری تابع عضویت زنگوله‌ای کندل (اقتباس از سرمدیان و همکاران 2010).

در رابطه 1، MF_X[2] تابع عضویت متغیر $Z(x)$ ، b_1 و b_2 به‌ترتیب حدود آستانه پایینی و بالایی، و d_1 و d_2 عرض منطقه انتقالی تابع عضویت را مشخص می‌سازد (محمدی 1386). متغیر d عموماً بر اساس تجارب و صحیح و خطا انتخاب می‌شود (سرمدیان و همکاران 1388). نمودار این تابع در شکل 2 نمایش داده‌شده که تابع عضویت اساس مجموعه فازی را تشکیل داده و نشان‌دهنده این است که درجات عضویت به‌صورت تدریجی و پیوسته تغییر می‌کنند.

نتایج ارزیابی تمامی ویژگی‌ها و کیفیات اراضی هر واحد در مجموعه‌ای به‌نام ماتریس ویژگی‌ها (Q) قرار می‌گیرند که در این ماتریس ستون‌ها کلاس‌های تناسب اراضی و سطرها ویژگی‌های زمین‌نما، خاک و اقلیم را نشان می‌دهند. ازآنجایی‌که اهمیت و نقش هر کدام از ویژگی‌ها و کیفیت‌های موردنظر بر عملکرد محصول متفاوت است، بنابراین تأثیر نسبی هرکدام از ویژگی‌ها را می‌توان با توجه به عملکرد مشاهده‌شده در واحد، به‌صورت معیار وزنی تعیین نمود. این وزن‌ها، آرایه‌های ماتریس اوزان (W) با ابعاد n×1 را تشکیل می‌دهند که در آن n نشان‌دهنده ویژگی‌های زمین‌نما، خاک و اقلیم هست. به‌منظور شبیه‌سازی و تولید وزن‌ها، برای هر کدام از ویژگی‌های اراضی، به‌صورت تصادفی، مقادیر بین صفر و یک تولید می‌گردند و به‌عنوان وزن‌های اولیه در نظر گرفته می‌شوند. این عمل با کمک نرم‌افزار متلب[3] بیش از 1000 بار انجام شد. بدین ترتیب ماتریسی از اوزان شبیه‌سازی‌شده حاصل گردید که اصطلاحاً "ماتریس اوزان مرجع (M)" نامیده می‌شود. به‌منظور تعیین وزن‌های نهایی، ابتدا ماتریس اوزان مرجع در ماتریس ویژگی‌ها اراضی ضرب می‌گردد که ماتریس حاصل را "ماتریس تناسب اراضی مرجع (Q_t) می‌گویند. همزمان تابع عضویت تولید محصول در منطقه نیز با توجه به رابطه ۱ به‌دست‌آمده و بر اساس تولید محصول برای هر کلاس در هر واحد اراضی درجات عضویت محاسبه می‌گردد و در ماتریسی تحت عنوان "ماتریس تناسب معیار (استاندارد)" قرار می‌گیرد. عناصر ماتریس تناسب معیار، بیان‌گر درجه عضویت عملکرد مشاهده‌شده هر یک از محصولات و خاکرخ‌های موردمطالعه برای کلاس‌های مختلف تناسب اراضی هستند. سپس اقدام به مقایسه ماتریس تناسب مرجع (Q_t) با ماتریس تناسب معیار (P) می‌گردد که هدف از این مقایسه، تعیین شباهت بین دو ماتریس از طریق تعریف یک معیار فاصله‌ای، تحت عنوان "فاصله نرمال شده (d)" است:

$$V_{G(Mt)} = 1 - d(Q_t , P) \quad [2]$$

$$d(Q_t , P)^n = \sqrt{\frac{\left[\sum_{j=1}^{5}(Q_{tj} - P_j)^n\right]}{5}} \quad [3]$$

1 -Membership Function

2- Matlab

مقادیر تابع عضویت $V_{G(Mt)}$ از صفر تا 1 تغییر می‌کند و هر قدر مقادیر آن بزرگ‌تر باشد نشان‌دهنده نزدیک‌ترین فاصله آماری بین ماتریس‌های P و Q_t است. به‌عبارت‌دیگر، میزان این تابع نمایانگر مناسب بودن ماتریس اوزانی است که می‌توان در محاسبات مورداستفاده قرار داد. بدین ترتیب، برای هر کدام از واحدهای اراضی می‌توان بهترین ماتریس اوزان شبیه‌سازی‌شده را انتخاب و ارزیابی نهایی تناسب اراضی را از طریق ضرب (ترکیب) ماتریس کیفیت‌های اراضی در ماتریس اوزان به‌دست آورد:

$$E=W \circ Q \quad [4]$$

o نشان‌دهنده یک عملگر ریاضی بنام ترکیب است. در این رابطه E، عبارت از ماتریس ارزیابی یا تناسب اراضی است و عناصر ماتریس ارزیابی، بیان‌گر درجه عضویت واحد اراضی موردنظر در کلاس‌های مختلف تناسب اراضی هست و نمی‌توان یک کلاس قطعی را برای واحد اراضی مربوطه در نظر گرفت. برای سنجش میزان این عدم قطعیت می‌توان از شاخص پیشنهادی براگ و همکاران (1997)، معروف به شاخص ابهام یا CI استفاده کرد که به‌صورت رابطه 5 است:

$$CI_p = 1 - \left(b_{p,max} - b_{p,2^{nd}max}\right),\ CI \in [0\ 1] \quad [5]$$

در این رابطه $b_{p,max}$ بیشترین مقدار درجه عضویت واحد اراضی p، و $b_{p,2^{nd}max}$ ماقبل بیشترین (یا دومین داده بزرگ) درجه عضویت واحد اراضی p هستند. این شاخص که بین صفر تا 1 متغیر است، چنین تفسیر می‌شود که ایستگاه با CI بزرگ‌تر (نزدیک به 1) دارای عدم قطعیت بیشتر در تعلق به کلاس اختصاص‌یافته خواهد بود و برعکس. برای بررسی کمی، بازه صفر تا به پنج قسمت تقسیم و نام‌گذاری می‌شود که شامل ابهام ناچیز (0 تا 0/2)، خیلی کم (0/2 تا 0/4)، کم (0/4 تا 0/6)، زیاد (0/6 تا 0/8) و خیلی زیاد (1 تا 0/8) هستند. تعیین این شاخص برای واحدهای اراضی، می‌تواند جهت سنجش عملیات انجام‌شده مفید باشد. برای مقایسه نتایج حاصل از ارزیابی فازی اراضی با روش‌های معمول (مانند روش پارامتریک)، عناصر ماتریس ارزیابی (E) را می‌توان به‌گونه‌ای تبدیل کرد که مجموع آن‌ها برابر واحد گردد (نرمال کردن). به‌عبارت‌دیگر، از این طریق می‌توان شاخص اراضی را به‌دست آورد (صادقی پورمروی1390) که در این تحقیق برای محاسبه شاخص اراضی رابطه‌های زیر پیشنهاد می‌شود:

$$E_{norm} = \frac{E}{\Sigma(E)} \quad [6]$$

$$Li = \Sigma(Li_{mean} \times E_{norm}) \quad [7]$$

در رابطه‌های 6 و 7: E_{norm}: ماتریس ارزیابی نرمال شده، Li_{mean}: میانگین کمینه و بیشینه شاخص اراضی در کلاس‌های موردنظر (از جدول 4)، E: مقدار عددی هر کدام از عناصر ماتریس ارزیابی و Li: شاخص فازی اراضی هست.

خوشه‌بندی

خوشه به مجموعه‌ای از داده‌ها گفته می‌شود که به هم شباهت داشته باشند. در خوشه‌بندی سعی می‌شود تا داده‌ها به خوشه‌هایی تقسیم شوند که شباهت بین داده‌های درون هر خوشه بیشینه و شباهت بین داده‌های درون خوشه‌های متفاوت به کمینه برسد (کلر 2003) و برای این کار از دو مقیاس دیویس بولدین[4] و انحراف معیار که در ادامه توضیح داده خواهند شد، استفاده می‌شود. روش‌های خوشه‌بندی به دو شاخه اصلی تقسیم می‌شوند. روش‌های سخت یا کلاسیک که در آن یک شیء به‌طور کامل به یک گروه تعلق دارد و روش‌های نرم یا فازی که در آن یک شیء به تمام خوشه‌ها با درجه عضویت‌های مختلف تعلق دارد. هدف اصلی این روش‌ها چه سخت یا فازی، تفکیک یک ماتریس داده با n نمونه و p متغیر به c زیرگروه همگن با دسته‌بندی دقیق نمونه‌های

۱ -Davies Bouldin measure

مرتبط به خوشه‌های مشخص است. در شرایط واقعی خوشه‌بندی فازی بسیار طبیعی‌تر از خوشه‌بندی سخت است، چون داده‌های موجود در مرز خوشه‌های مختلف مجبور به تعلق کامل به یکی از خوشه‌ها نیستند و با درجه تعلقی بین 0 تا 1 که نشان‌دهنده تعلق نسبی آن‌هاست تفکیک می‌شوند (بی‌نام 1997). در این تحقیق از روش خوشه‌بندی فازی و روش شبکه عصبی کوهنن برای تعیین خاک‌های همگن و مقیاس‌های دیویس بولدین و انحراف معیار به‌منظور تعیین تعداد خوشه‌های مناسب استفاده‌شده است. مقیاس دیویس برای نشان دادن تشابه میان خوشه‌ها به‌وجود آمده است و تناسب بخش‌های مختلف داده را مقایسه می‌کند. هر چه مقدار این دو مقیاس کمتر باشد تعداد خوشه موردنظر مناسب‌تر است.

نتایج و بحث

در این قسمت ابتدا بر اساس اطلاعات اقلیمی، خاک، زمین‌نما، مشخصات دوره‌های رشد (جدول 3) و نیازهای تیپ‌های بهره‌وری موردمطالعه، همچنین با توجه به اطلاعات آماری تولید محصولات موردنظر در منطقه، ارزیابی تناسب اراضی با روش فائو و روش منطق فازی، انجام و نتایج بررسی، جمع‌بندی و نهایتاً در جدول 4 آورده شده و همچنین نقشه تناسب اراضی در هر دو روش فازی و پارامتریک ریشه دوم ارائه‌شده است.

جدول 3-مراحل رشد تیپ‌های بهره‌وری ذکرشده برای منطقه مرند بر اساس عرف محلی.

نوع محصول	تهیه زمین	کاشت	دوره رشد رویشی	دوره گلدهی	مرحله رسیدن	برداشت	دوره رشد	طول تقریبی دوره رشد (روز)
آفتابگردان	اواخر فروردین	اول اردیبهشت	1 اردیبهشت تا 20 تیر	20 تیر تا 5 مرداد	5 مرداد تا 25 شهریور	25 شهریور	1 اردیبهشت تا 25 شهریور	148
کلزا	15 شهریور	اول مهر	1 مهر تا 20 آبان+15 فروردین تا 20 اردیبهشت	20 اردیبهشت تا 15 خرداد	15 خرداد تا 10 تیر	10 تیر	1 مهر تا 20 آبان+15 فروردین تا 10 تیر	137

جدول 4- نتایج نهایی ارزیابی تناسب اراضی برای محصولات و خاکرخ‌های موردمطالعه به‌روش پارامتریک.

خاکرخ	آفتابگردان		کلزا	
	شاخص اراضی	کلاس تناسب	شاخص اراضی	کلاس تناسب
1	36/86	S_3	0/60	N_2
2	25/85	S_3	0/43	N_2
3	32/66	S_3	0/63	N_2
4	22/02	N_1	0/37	N_2
5	23/57	N_1	0/46	N_2

پس از محاسبه شاخص اراضی، به‌منظور تعیین حدود کمی کلاس‌های تناسب اراضی برای عملکرد مشاهده‌شده در منطقه موردمطالعه، تولید پتانسیل با روش AEZ با استفاده از پارامترهای مربوطه (جدول 5) تعیین و تولید بحرانی به‌دست‌آمده (جدول 6)، در محاسبه مرز بین کلاس‌ها استفاده شدند (جدول 7). می‌توان معادله نهایی برای برآورد تولید پتانسیل محصول را به‌صورت رابطه زیر مطرح نمود:

$$Y = \frac{0.36\ bgm \cdot K_{LAI} \cdot H_i}{\frac{1}{L} - 0.25\ C_t} \quad [8]$$

در رابطه بالا Y، bgm، K_{LAI}، H_i، L و C_t به‌ترتیب نشان‌دهنده تولید پتانسیل، بیشینه نرخ تولید زیست‌توده ناخالص، بیشینه نرخ رشد، شاخص برداشت، طول فصل رشد و ضریب تنفس می‌باشند که مقادیر آن‌ها در جدول 5 آورده شده است.

جدول 5- مقادیر موردنیاز برای محاسبه تولید پتانسیل (سایس1993، کریمی و عزیزی1376).

محصول	Bgm	K_{LAI}	H_i	L	C_t
آفتابگردان	534/97	0/8	0/355	148	0/006
کلزا	338/49	0/9	0/275	137	0/004

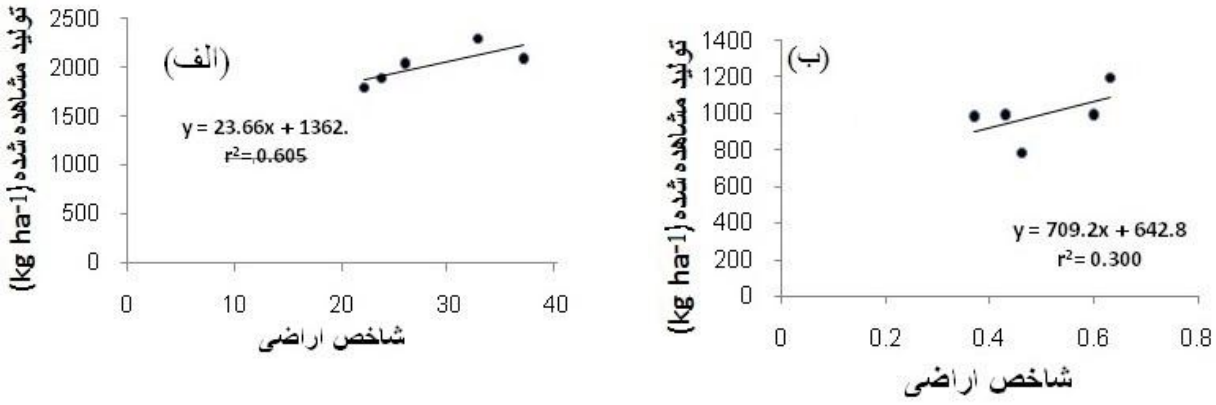
جدول 6- تولید پتانسیل و تولید بحرانی برای محصولات موردمطالعه.

تولید($kg\ ha^{-1}$)	آفتابگردان	کلزا
تولید پتانسیل	6604/31	3667/13
تولید بحرانی	1190	1251

.جدول 7- حدود کلاس‌های تناسب اراضی منطقه برای محصولات موردمطالعه.

محصول	تولید ($kg\ ha^{-1}$)			
	S_1	S_2	S_3	N
آفتابگردان	> 5199/49	1666 – 5199/49	1071 – 1666	<1071
کلزا	>2750/35	1751/4 – 2750/35	1125/9 – 1751/4	<1125/9

به‌منظور بررسی دقت ارزیابی، برای هر یک از محصولات موردمطالعه، هم‌بستگی میان شاخص اراضی به‌دست‌آمده در روش فائو ریشه دوم و میانگین پنج‌ساله تولید مشاهده‌شده به‌روش پلات‌گذاری در منطقه موردمطالعه (شکل 3)، ایجاد شد که به شرح زیر هست.



شکل 3- هم‌بستگی بین شاخص اراضی و تولید مشاهده‌شده آفتابگردان (الف) و کلزا (ب).

در شکل 3، پایین بودن ضریب هم‌بستگی به‌دست‌آمده نسبت به شرایط ایده‌آل برای هر محصول با روش پارامتریک ریشه‌دوم، نشان‌دهنده دقت پایین و ضعیف بودن روش مذکور در پیش‌بینی تولید مشاهده‌شده در واحد سطح است. همچنین توزیع نقاط در اطراف خط برازش شده نامنظم بوده که این امر بیان‌گر صحت پایین روش پارامتریک ریشه‌دوم است. با مطالعه دقت و صحت روش پارامتریک برای محصولات موردمطالعه، این روش برای آفتابگردان نسبت به کلزا دارای بیشترین دقت و صحت هست. لازم به ذکر است که در مورد کلزا به‌دلیل محدودیت شدید اقلیمی، دامنه شاخص اراضی برای خاکرخ‌های موردمطالعه بسیار کم بوده و تولید مشاهده‌شده نسبت به بقیه محصولات، کمتر برآورد شده است.

محاسبه شاخص اراضی با روش منطق فازی

ماتریس‌های ویژگی‌ها و اوزان، با روش‌های ذکرشده در این مقاله، به‌دست آمد. برای محاسبه ماتریس تناسب معیار، مقدار عضویت برای عملکرد مشاهده‌شده هر یک از محصولات و خاکرخ‌ها محاسبه و در ماتریس تناسب معیار (P) مرتب شد و نتایج به شرح زیر هست. در جدول زیر P_1، P_2، P_3، P_4 و P_5 به‌ترتیب نشان‌دهنده ماتریس‌های تناسب معیار برای خاکرخ‌های 1، 2، 3، 4 و 5 می‌باشند.

جدول 8-ماتریس‌های تناسب معیار به‌دست‌آمده برای آفتابگردان و کلزا.

	آفتابگردان					کلزا				
P	S_1	S_2	S_3	N_1	N_2	S_1	S_2	S_3	N_1	N_2
P_1	0/019	1	0/105	0/063	0/063	0/017	0/100	0/605	1	1
P_2	0/018	1	0/131	0/070	0/070	0/017	0/100	0/605	1	1
P_3	0/022	1	0/052	0/045	0/045	0/148	0/170	1	0/935	0/935
P_4	0/016	1	0/553	0/119	0/119	0/017	0/097	0/568	1	1
P_5	/017	1	0/288	0/095	0/095	0/013	0/063	0/177	1	1

برای آفتابگردان در تمامی خاکرخ‌ها تولید مشاهده‌شده دارای درجه عضویت 1 در کلاس S_2 هست. به‌عنوان‌مثال خاکرخ شماره 4، با متوسط عملکرد 2300 کیلوگرم در هکتار (تولید واقعی) با درجه عضویت 1 در کلاس S_2 قرارگرفته، و دارای درجه عضویت 0/55 در کلاس تناسب S_3 نیز هست. در مورد کلزا خاکرخ‌های 1 و 2 با عملکرد 1000 کیلوگرم در هکتار(تولید واقعی)، به‌دلیل یکسان بودن عملکرد مشاهده‌شده، ماتریس تناسب معیار یکسان به‌دست‌آمده است.

عناصر ماتریس‌های بالا نشان‌دهنده درجه عضویت تولید مشاهده‌شده محصولات و خاکرخ‌های موردمطالعه، به هر کدام از کلاس‌های تناسب اراضی هست، برای مثال ماتریس مربوط به خاکرخ شاهد شماره 1 برای آفتابگردان نشان‌دهنده تعلق بیشتر تولید مشاهده‌شده این خاکرخ به کلاس تناسب S2 هست. ماتریس‌های تناسب معیار به‌دست‌آمده، برای تعیین ماتریس اوزان، به طریقی که قبلاً توضیح داده شد، استفاده و در نهایت با ضرب ماتریس‌های ویژگی‌ها و اوزان، ماتریس ارزیابی نهایی تناسب اراضی به‌دست آمد. عناصر ماتریس ارزیابی نشان‌دهنده درجه عضویت هر کدام از محصولات و خاکرخ‌های موردمطالعه به کلاس‌های تناسب اراضی می‌باشند. در ادامه ماتریس تناسب اراضی برای محصولات

و خاکرخ‌های موردمطالعه ارائه‌شده است. در جدول زیر E_1، E_2، E_3، E_4 و E_5 به‌ترتیب نشان‌دهنده ماتریس‌های ارزیابی اراضی برای خاکرخ‌های شماره 1، 2، 3، 4 و 5 می‌باشند.

جدول9-ماتریس‌های ارزیابی اراضی به‌دست‌آمده برای آفتابگردان و کلزا.

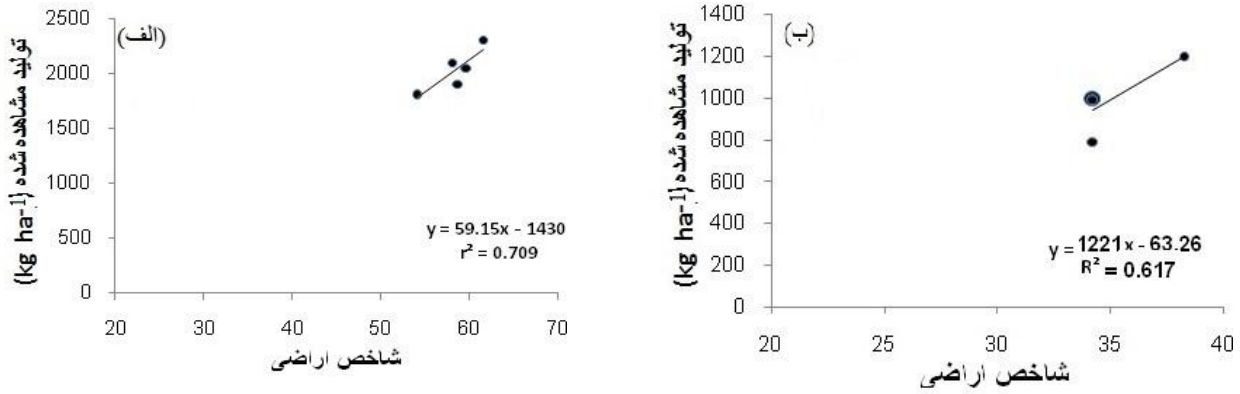
کلزا						آفتابگردان					
وضعیت ابهام در خاکرخ‌ها	N_2	N_1	S_3	S_2	S_1	وضعیت ابهام در خاکرخ‌ها	N_2	N_1	S_3	S_2	S_1	E
کم	0/2789	0/0000	0/8412	0/1099	0/0383	خیلی کم	0/0212	0/0212	0/2588	0/9547	0/0777	E_1
خیلی کم	0/3315	0/0003	1/000	0/1705	0/1493	خیلی کم	0/0282	0/0001	0/2389	0/9523	0/1545	E_2
کم	0/2684	0/0001	0/8096	0/1057	0/0368	خیلی زیاد	0/0387	0/0008	0/0567	0/4337	0/5066	E_3
زیاد	0/1521	0/0000	0/4587	0/0599	0/0209	کم	0/0123	0/0002	0/5511	1/000	0/0438	E_4
کم	0/2794	0/0001	0/8427	0/1101	0/0383	خیلی کم	0/0307	0/0008	0/2828	0/9834	0/1428	E_5

برای آفتابگردان در مورد خاکرخ شماره 5 ماتریس ارزیابی نشان می‌دهد که خاکرخ مذکور با درجه امکان بیشتری به کلاس تناسب S_2 تعلق بوده و دارای ابهام خیلی کمی است که نشان می‌دهد شاخص اراضی برای خاکرخ مذکور به کلاس S_2 نسبت به سایر کلاس‌ها دارد. در مورد کلزا ماتریس ارزیابی برای خاکرخ شماره 3 نشان می‌دهد که خاکرخ مذکور با درجه امکان بالاتر در کلاس S_3 قرار دارد، اما به‌طورقطع نمی‌توان کلاس تناسب اراضی را برای آن تعیین کرد چون با توجه به وضعیت ابهام کم مقداری نیز به سایر کلاس‌ها تعلق دارد.

به‌منظور مقایسه شاخص‌های اراضی به‌دست‌آمده در روش مجموعه‌های فازی و روش پارامتریک، شاخص اراضی در روش مجموعه‌های فازی از فرمول‌های 6 و 7 محاسبه، و نتایج در جدول 10 ارائه گردید و به‌منظور بررسی دقت روش فازی، همبستگی میان شاخص اراضی و تولید مشاهده‌شده محصولات و خاکرخ‌های موردمطالعه محاسبه و به‌صورت شکل 4، ارائه گردید. لازم به ذکر است که در نمودار (ب)، به‌دلیل نزدیک بودن تولید مشاهده‌شده در خاکرخ‌های 1، 2 و 5، نقاط نشان-دهنده آن‌ها تقریباً در یک نقطه قرار گرفته است.

جدول 10- نتایج نهایی ارزیابی فازی تناسب اراضی برای محصولات و خاکرخ‌های موردمطالعه.

خاکرخ	آفتابگردان		کلزا	
	شاخص اراضی	کلاس تناسب	شاخص اراضی	کلاس تناسب
1	58/1032	S_2	34/2475	S_3
2	59/7987	S_2	34/2476	S_3
4	61/5687	S_2	38/276	S_3
5	54/1857	S_2	34/2465	S_3
6	58/8443	S_2	34/2506	S_3

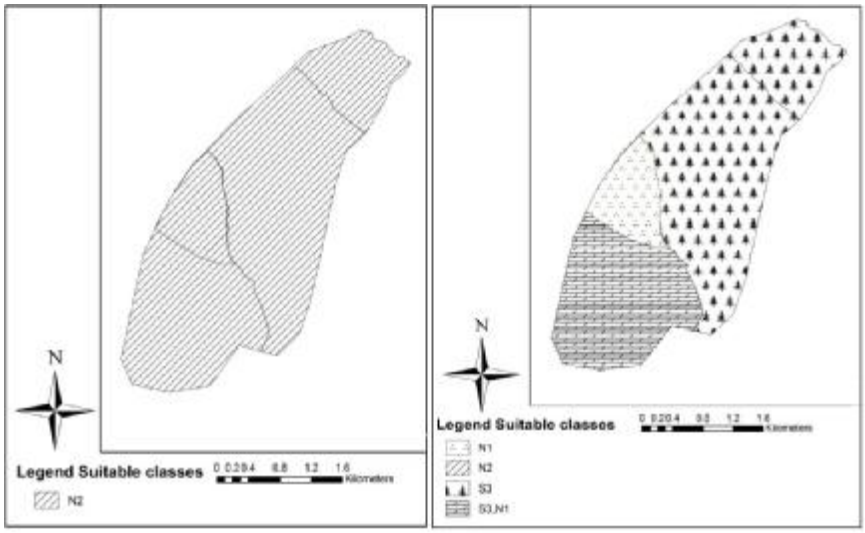


شکل 4- همبستگی میان شاخص اراضی به‌دست‌آمده و تولید مشاهده‌شده آفتابگردان (الف) و کلزا (ب).

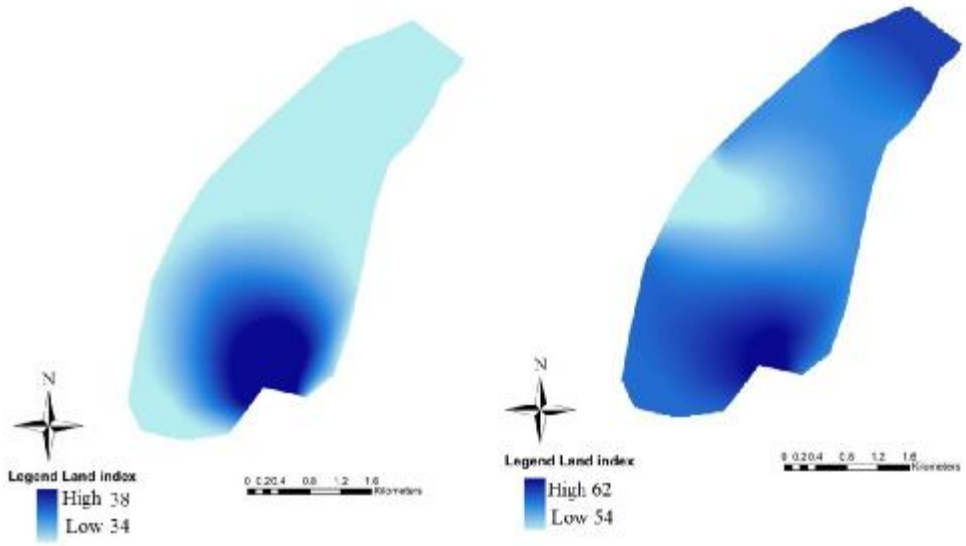
در شکل‌های بالا، بالا بودن ضریب همبستگی به‌دست‌آمده نسبت به‌روش ریشه دوم نشان‌دهنده همبستگی بالای میان تولید مشاهده‌شده و شاخص اراضی، و توانایی بالای روش فازی در برآورد تولید مشاهده‌شده در واحد سطح و نزدیک بودن نقاط به خط برازش نشان‌دهنده صحت بالای این روش نسبت به‌روش فائو (پارامتریک-ریشه‌دوم) هست. همچنین افزایش قابل‌توجه ضریب همبستگی کلزا نسبت به‌روش ریشه دوم نشان‌دهنده کارایی بالاتر روش فازی در مورد این محصول هست.

نقشه کلاس‌های تناسب اراضی

در این قسمت بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از روش فائو (پارامتریک ریشه دوم) و مجموعه‌های فازی، نقشه کلاس-های تناسب اراضی با استفاده از نرم‌افزار GIS ارائه‌شده است.



شکل 5- نقشه تناسب اراضی برای کشت آفتابگردان (سمت راست) و کلزا (سمت چپ) در روش فائو.



شکل 6- نقشه تناسب اراضی برای کشت آفتابگردان (سمت راست) و کلزا (سمت چپ) در روش فازی.

مقایسه دقت روش‌های ارزیابی موردمطالعه

در بیشتر خاکرخ‌ها و محصولات موردمطالعه، نتایج دو روش کاملاً متفاوت هست. روش فازی کلاس‌های تناسب اراضی را بالاتر برآورد کرده، که یکی از دلایل احتمالی این امر تولید تصادفی اوزان شبیه‌سازی‌شده است. هم‌بستگی بین شاخص اراضی و عملکرد مشاهده‌شده آفتابگردان و کلزا در سطح منطقه، برای روش مبتنی بر نظریه مجموعه‌های فازی (به‌ترتیب با ضریب همبستگی 0/709 و 0/617) بیشتر از روش پارامتریک (به‌ترتیب با ضریب همبستگی 0/605 و 0/300) بوده است که بالاتر بودن هم‌بستگی ذکرشده در روش فازی نشان‌دهنده دقت و پتانسیل بالای کاربری این روش نسبت به روش‌های سنتی ارزیابی تناسب اراضی هست.

مقایسه نقشه‌های تناسب اراضی در روش فائو و مجموعه‌های فازی

نقشه‌های ارائه‌شده در شکل 5 و 6 در هر دو روش بیانگر مناسب بودن کاشت آفتابگردان نسبت به کلزا برای منطقه موردمطالعه می‌باشند. در روش فائو (پارامتریک ریشه‌دوم)، خاک‌های موردمطالعه با مرزهایی به واحدهای اراضی تقسیم‌شده و تناسب با توجه به این مرزها تعیین می‌شود که این با ماهیت پیوسته و تفکیک‌ناپذیر خاک‌ها در طبیعت مغایرت دارد اما در روش منطق فازی، خاک‌ها تفکیک نشده‌اند و تغییرات شاخص اراضی برای محصولات موردمطالعه به‌صورت تدریجی و پیوسته نشان داده‌شده است. با مقایسه نقشه‌های تناسب اراضی در هر دو روش، به‌وضوح کارآیی و صحت بالای روش منطق فازی نسبت به‌روش فائو قابل‌مشاهده است.

خوشه‌بندی

در این مطالعه برای تعیین خاک‌های همگن از نظر برخی از ویژگی‌های اراضی از روش خوشه‌بندی فازی استفاده و نتایج آن با روش شبکه عصبی کوهنن مورد مقایسه قرار خواهد گرفت (کیا 1388). کوهنن شبکه‌ای طراحی کرد که تنها پارامتر معلوم آن نرون‌های ورودی است درحالی‌که وزن‌ها و نرون‌های خروجی به‌عنوان پارامترهای مجهولی هستند که باید پیدا شوند. اساس کار شبکه بر مبنای کم کردن فاصله خود از الگوهای ورودی

است، که این کار توسط مقیاس مشخصی انجام می‌شود. مقدار وزن‌ها با تکرار به‌دست می‌آید و شبکه به‌صورت غیرخطی عمل می‌کند (کیا 1388). برای خوشه‌بندی در هر دو روش از برنامه رایانه‌ای طراحی‌شده در محیط متلب، استفاده گردیده است. توضیح اینکه طراحی برنامه رایانه-ای توسط محققین صورت گرفته است.

خوشه‌بندی فازی

ابتدا بایستی ویژگی‌های موردنظر به‌صورت فایل اکسل ذخیره و در برنامه طراحی‌شده در این تحقیق وارد شوند. در این مطالعه از میانگین وزنی ویژگی‌های درصد رس، درصد سیلت، درصد شن، درصد ذرات درشت‌تر از شن، درصد آهک، pH، درصد کربن آلی، EC (dS/m)، درصد شیب، عمق خاک (Cm) و حداکثر درصد سدیم تبادلی تا عمق یک متری استفاده‌شده است. در برنامه اکسل ردیف‌ها و ستون‌ها به‌ترتیب نشان‌دهنده شماره خاکرخ‌ها و ویژگی‌های موردنظر می‌باشند. پس از واردکردن داده‌های مربوط به هر یک از ویژگی‌ها و خاکرخ‌ها، برنامه اجراشده و تعداد خوشه‌ها با شاخص دیویس بولدین و انحراف معیار داده‌ها به‌دست می‌آید. . در جداول 11 تا 13، مقادیر درجه عضویت خاکرخ‌ها در هر خوشه مشخص و بر اساس بیشترین درجه عضویت، خوشه نماینده برای هر خاکرخ انتخاب‌شده است. به‌عبارت‌دیگر، هر خاکرخ علاوه بر خوشه نماینده با درجه عضویت کمتر به بقیه خوشه‌ها نیز تعلق دارد، که با ماهیت پیوسته خاک‌ها سازگار است.

جدول 11- نتایج خوشه‌بندی فازی خاکرخ‌های موردمطالعه برای 2 خوشه.

خاکرخ	خوشه		گروه نماینده
	1	2	3
1	0/012853	0/097637	0/889509	3
2	0/040461	0/079681	0/879859	3
3	0/001128	0/999707	0/000262	2
4	0/004382	0/023073	0/972545	3
5	0/999996	0/003308	0/000546	1

جدول12-نتایج خوشه‌بندی فازی خاکرخ‌های موردمطالعه برای 3 خوشه.

خاکرخ	خوشه		گروه نماینده
	1	2	
1	0/995881	0/004119	1
2	0/896568	0/103432	1
3	0/936595	0/063405	1
4	0/991624	0/008376	1
5	0/000194	0/999806	2

جدول 13- نتایج خوشه‌بندی فازی خاکرخ‌های موردمطالعه برای 4 خوشه.

گروه نماینده	خوشه			
	4	3	2	1
2	0/019143	0/001767	0/966156	0/012934
4	0/999998	0/50678	0/090040	0/003423
1	0/000003	0/00987	0/09234	1
2	0/029957	0/001969	0/958027	0/01004
3	0/09845	1	0/09859	0/000546

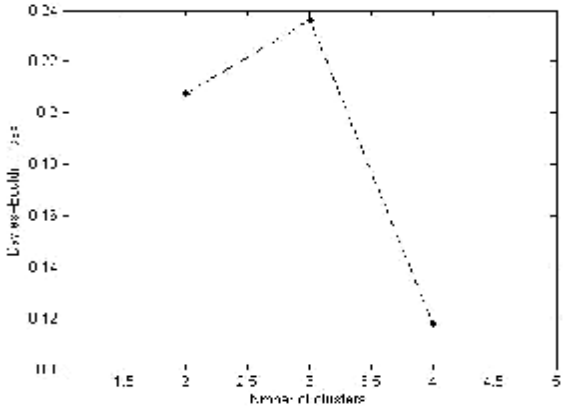
برای انتخاب تعداد خوشه‌ها، از شاخص دیویس و انحراف معیار استفاده‌شده، که بر اساس آن‌ها تعداد خوشه با کمترین مقدار انحراف معیار و شاخص دیویس مناسب‌تر است. لازم به ذکر است مقیاس *دیویس بولدین* برای نشان دادن تشابه میان خوشه‌ها به‌وجود آمده است و تناسب بخش‌های مختلف داده را مقایسه می‌کند. این مقیاس به تعداد خوشه‌های جداشده و یا روش جداسازی خوشه‌ها بستگی ندارد و می‌تواند به‌عنوان راهنمای الگوریتم جداسازی خوشه‌ها استفاده شود.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در شکل‌های 7 و 8، مقدار شاخص دیویس و انحراف معیار برای تعداد 4 خوشه کمتر از بقیه است که این همگن بودن خاکرخ‌های 1 و 4 را تأیید می‌کند، اما باید توجه داشت که خاکرخ‌های مذکور با درجات عضویت پایین‌تر به سایر خوشه‌ها نیز تعلق دارند.

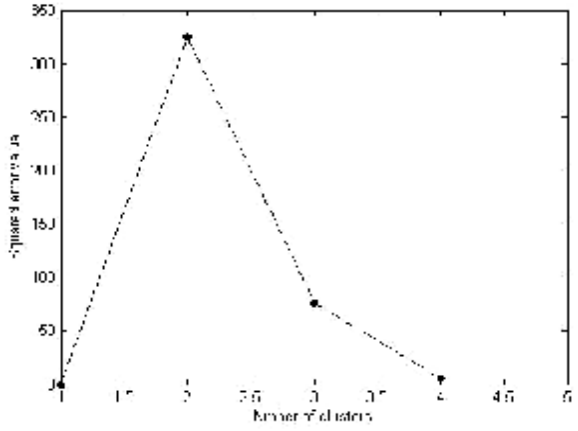
خوشه‌بندی با روش شبکه عصبی کوهنن

همانند قسمت‌های قبل ویژگی‌های اراضی تعیین و وارد برنامه‌ای که آماده کرده‌ایم، می‌شوند. پس از اجرای برنامه نتایج به‌دست‌آمده به شرح زیر هست.

در جداول 14 تا 17،خاکرخ‌های همگن در یک خوشه قرار می‌گیرند، اما برخلاف روش خوشه‌بندی فازی در اینجا هر خاکرخ تنها می‌تواند متعلق به یک خوشه باشد که این یکی از نقص‌های خوشه‌بندی توسط شبکه عصبی کوهنن هست. برای تعیین تعداد مناسب خوشه‌ها، مانند روش‌های قبل، از شاخص دیویس و انحراف معیار داده‌ها استفاده و نتایج در شکل‌های 9 و 10 ارائه‌شده است.



شکل 7- مقادیر انحراف معیار تعداد خوشه‌های به‌دست‌آمده از روش خوشه‌بندی فازی.



شکل 8- مقادیر شاخص دیویس تعداد خوشه‌های به‌دست‌آمده از روش خوشه‌بندی فازی.

جدول 14-خاک‌های قرارگرفته در 2 خوشه.

خوشه	خاکرخ
1	1
1	2
1	3
1	4
2	5

جدول15- خاک‌های قرارگرفته در 3 خوشه.

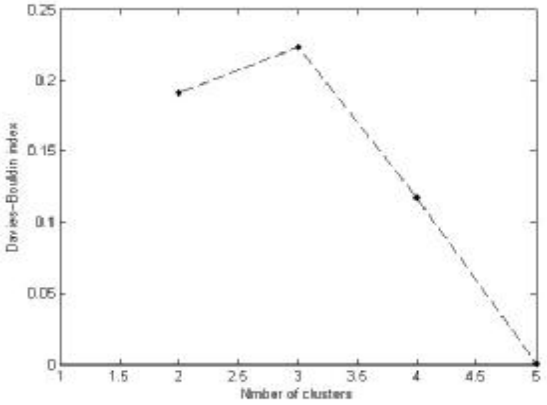
خوشه	خاکرخ
3	1
3	2
1	3
3	4
2	5

جدول 16- خاک‌های قرارگرفته در 4 خوشه.

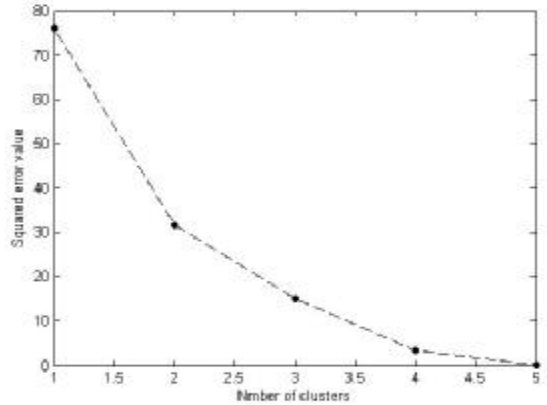
خوشه	خاکرخ
4	1
3	2
1	3
4	4
2	5

جدول 17- خاک‌های قرارگرفته در 5 خوشه.

خوشه	خاکرخ
5	1
3	2
1	3
4	4
2	5



شکل 9- مقادیر انحراف معیار تعداد خوشه‌های به‌دست‌آمده از روش شبکه عصبی کوهنن.



شکل 10- مقادیر شاخص دیویس تعداد خوشه‌های به‌دست‌آمده از روش شبکه عصبی کوهنن.

بر اساس شاخص دیویس و انحراف معیار نشان داده‌شده در شکل‌های بالا، تعداد 4 خوشه دارای کمترین میزان شاخص دیویس و انحراف معیار هست. لازم به ذکر است تعداد خوشه مساوی با تعداد خاکرخ‌های موردمطالعه، به‌دلیل صفر بودن شاخص دیویس و مقدار انحراف معیار به‌عنوان تعداد خوشه مناسب در نظر گرفته نمی‌شود. بنابراین، تعداد 4 خوشه بهترین حالت را برای خوشه‌بندی خاکرخ‌های موردمطالعه نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده خاکرخ‌های 1 و 4 در یک خوشه قرارگرفته و همگن می‌باشند.

نتیجه‌گیری کلی

در این مطالعه روش فازی به‌عنوان روشی نوین در علوم خاک به‌کاربرده شده و دقت و صحت بالای

به‌دست‌آمده در این روش نشان‌دهنده کارآیی بیشتر آن نسبت به روش‌های رایج است که تحقیقات قبلی در این رابطه را نیز تأیید می‌نماید. ملکی و همکاران (2010) نتایج مشابهی را برای ارزیابی تناسب اراضی گندم آبی در روش فازی به‌دست آوردند با این تفاوت که اختلاف میان ضرایب تبیین در روش فازی (0/8) و روش پارامتریک (0/84) کمتر از اختلاف ضرایب تبیین به‌دست‌آمده در این مطالعه هست. در تحقیق انجام‌شده توسط تانگ و همکاران (1997) نیز ضرایب همبستگی روش‌های کلاسیک و روش فازی به‌دست‌آمده برای ذرت (به‌ترتیب 0/81 و 0/85) و گندم (به‌ترتیب 0/9 و 0/95) دارای تفاوت کمی هست، اما بااین‌حال روش فازی به‌دلیل در نظرگیری کلاس‌های بینابین و همچنین ضرایب متفاوت به هر یک از ویژگی‌های اراضی می‌تواند نتایج قابل‌قبول‌تری ارائه نماید و این نکته بیانگر برتری روش فازی نسبت به روش‌های کلاسیک ارزیابی تناسب اراضی است. به‌عبارت‌دیگر در این مطالعه با توجه به بالاتر بودن اختلاف میان ضرایب تبیین در دو روش، با قطعیت بیشتری می‌توان برتری روش فازی را بیان کرد. روش فازی به‌دلیل تولید اوزان تصادفی برای هر یک از ویژگی‌های اراضی با روش‌های رایج ارزیابی اراضی متفاوت بوده و به‌همین دلیل از دقت و کارآیی بالاتری برخوردار است. لیکن به‌دلیل تصادفی بودن اوزان انتخاب‌شده، تولید مجدد آن‌ها ممکن است به مجموعه جدیدی از وزن‌ها بیانجامد، لذا بررسی تکنیک‌های جدید برای تولید اوزان شبیه‌سازی‌شده ضروری به‌نظر می‌رسد. همچنین روش فازی کلاس‌های تناسب اراضی را بالاتر از روش پارامتریک برآورد کرده، که یکی از دلایل احتمالی این امر ممکن است به‌کار بردن ویژگی‌های اقلیمی مشترک بین تمامی محصولات موردمطالعه باشد. لذا پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی از تمامی ویژگی‌های اقلیمی مربوط به هر محصول برای تعیین شاخص تناسب اراضی در روش فازی استفاده شود.

اگرچه نتایج برتری نسبی روش فازی را نسبت به‌روش فائو (پارامتریک-ریشه‌دوم) نشان می‌دهد، اما هم‌بستگی بیان‌شده در روش فازی هنوز دور از آنچه که انتظار داریم هست، شاید به این دلیل است که میزان تولید محصول تنها وابسته به شاخص‌های اراضی نبوده و سایر عوامل مانند مدیریت مزرعه نیز مؤثر بوده و بایستی در نظر گرفته شوند. به‌هرحال به‌دلیل نوپا بودن روش فازی در علوم خاکشناسی، نیاز به تحقیقات بیشتر احساس می‌شود.

همچنین به‌منظور تعیین خاک‌های همگن از دو روش خوشه‌بندی فازی و شبکه عصبی کوهنن استفاده شد. در روش خوشه‌بندی فازی درجه تعلق هر خاکرخ به هر خوشه مشخص‌شده و به‌همین دلیل خوشه‌بندی فازی نسبت به شبکه عصبی کوهنن از ارجحیت بیشتری برخوردار هست. طبق نتایج به‌دست‌آمده از هر دو روش خوشه‌بندی، به‌دلیل پایین بودن شاخص دیویس و انحراف معیار، تعداد 4 خوشه مناسب‌ترین حالت و خاکرخ‌های 1 و 4 به‌عنوان خاک‌های همگن شناخته شدند. در روش خوشه‌بندی فازی هر یک از خاکرخ‌ها با درجه عضویت متفاوت به‌تمامی خوشه‌ها تعلق داشته و در نهایت خوشه‌ای که دارای بیشترین درجه عضویت بود به‌عنوان گروه نماینده انتخاب گردید. طبق نتایج به‌دست‌آمده از این روش، محصولات مناسب کاشت در واحد اراضی مربوط به خاکرخ 1 در واحد اراضی خاکرخ شاهد 4 نیز مناسب خواهند بود و بالعکس، که این امر در مطالعات خاکشناسی تأثیر به‌سزایی از لحاظ تأمین اطلاعات لازم دارد. به‌عبارت‌دیگر، در مطالعات خاک‌ها در صورت فقدان اطلاعات مربوط به واحدهای اراضی موردنظر می‌توان از اطلاعات و توصیه‌های مربوط به واحدهای اراضی همگن با واحدهای موردنظر استفاده نمود.

منابع مورداستفاده

ایوبی ش و جلالیان ا، 1385. ارزیابی اراضی (کاربردهای کشاورزی و منابع طبیعی)، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان.

بادآهنگ ک. باقرنژاد م و غفاری پ، 1388. ارزیابی تناسب اراضی برای سه تیپ بهره‌وری گندم، جو و سیب‌زمینی به روش‌های محدودیت و پارامتریک در اراضی منطقه آزادگان از زیرحوضه‌های سد زاینده رود. صفحه‌های 673 تا 675. مجموعه مقالات یازدهمین کنگره علوم خاک ایران، 21 تا 23 تیر ماه، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیع گرگان، گرگان.

بی نام، 1390. اطلاعات اقلیمی مرند، سازمان هواشناسی استان آذربایجان شرقی.

جعفرزاده ع ا و شهبازی ف. 1383، ارزیابی کیفی تناسب اراضی منطقه خوشه مهر بناب برای محصولات گندم، جو، یونجه، پیاز، چغندر و ذرت. مجله دانش کشاورزی، جلد 14، شماره 4، صفحه‌های 69 تا 86.

جعفرزاده ع ا. نیشابوری م ر و ممتاز ح ر، 1385. ارزیابی کیفی تناسب اراضی یخفروزان اهر برای برخی از گیاهان زراعی متداول کشت در منطقه. مجله دانش کشاورزی، جلد 16، شماره 3، صفحه‌های 67 تا 81.

سرمدیان ف. کشاورزی ع و عسگری م، 1388. ارزیابی تناسب اراضی برای گندم آبی در منطقه تاکستان با استفاده از نظریه مجموعه-های فازی. صفحه‌های 519 تا 521. مجموعه مقالات یازدهمین کنگره علوم خاک ایران، 21 تا 23 تیر ماه، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیع گرگان، گرگان.

صادقی‌پور مروی م، 1390. کاربرد مجموعه‌های فازی در خاکشناسی. صفحه‌های 212 تا 215. مجموعه مقالات دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران، 12 تا 14 شهریور، دانشگاه تبریز، تبریز.

عبیری ص، 1386. تهیه جدول نیازهای اقلیمی و خاکی برای ارزیابی تناسب اراضی کشت کلزا در شرایط ایران براساس روش فائو. پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه تربیت مدرس.

کریمی م و عزیزی م، 1376. آنالیزهای رشد گیاهان زراعی، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

کیا م. 1388. طراحی شبکه‌های عصبی، انتشارات نشر کیان.

محمدی ج، 1386. پدومتری- جلد چهارم: نظریه سامانه‌های فازی، انتشارات پلک.

Anonymous, 1997. S-PLUS 4 Guides to Statistics, Data Analysis Products Division, MathSoft, Seattle. Kluwer Academic Publisher, USA.

Anonymous, 2014. Keys to Soil Taxonomy. Soil Survey Staff, US Depart. Of Agriculture, 12th edition. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.

Burrough PA, Van Gaans PFM and Hoostmans R, 1997. Continuous classification in soil survey: spatial correlation, confusion and boundaries. Geoderma 77: 115-135.

Keller F, 2003. Clustering. Computer Science Saarland University, Tutorial Slides, Germany.

Kaufmann M, Tobias S, Schulin R, 2009. Quality evaluation of restored soils with a fuzzy logic expert system. Elsevier Biologicl Variability 151: 290-302.

Kaufman A and Gupta MM, 2009. Introduction to Fuzzy Arithmetic. Proc of SPIE Edited by Christopher M. U. Neale, Antonino Maltese.

Maleki P, Landi A, Sayyad Gh, Baninemeh J and Zareian Gh. 2010. Application of fuzzy logic to land suitability for irrigated wheat. Pp: 321-327. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, Brisbane, Australia.

Rodrigo S, Sicat A, Emmanuel JM, Carranza U and Bhaskar N, 2005. Fuzzy modeling of farmers' knowledge for land suitability classification. Agricultural Systems 83: 49–75.

Roger MC, Durk R, Cazemier P, 2000. Representing and processing uncertain soil information for mapping soil hydrological properties. Computers and Electronics in Agriculture 29: 41-57.

Sarmadian, F, Keshavarzi A, Rajabpour B and Askari S, 2010. Application of MCDM method in Fuzzy Modeling of Land Suitability Evaluation. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. 1-6 August, Brisbane, Australia.

Shehata S M, 2006. Land suitability of North Delta Region for Sakha-93 Wheat Cultivar. Egypt Journal of Agriculture 84 (4): 1003-1014.

Sys C, Van Ranst E and Debaveye J, 1991a. Land Evaluation. Part I: Principles in Land Evaluation and Crop Production Calculation. General Administration for Development Cooperation. Agric. Publ. No: 7. Brussels, Belgium.

Sys C, Van Ranst E and Debaveye J, 1993. Land Evaluation. Part III: Crop Requirements. International Training Center for Post Graduate Soil Scientists. Ghent University: Ghent. Belgium,

Tang H, Van Ranst E and Groenemans R. 1997. Application of Fuzzy set theory to land suitability assessment. Trends in Soil Sience 2: 191-203.

Zadeh LA, 1965. Fuzzy sets, Information and Control Journal 8: 338-353.