

کاربرد سامانه استنتاج فازی برای تخمین عملکرد سیبزمینی، یونجه و گندم در شهر کیان

اردوان کمالی^{1*}، حسین شیرانی²، فاطمه رحمتی³

تاریخ دریافت: 94/03/06 تاریخ پذیرش: 95/04/01

1 و 2 به ترتیب استادیار و دانشیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

3 دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: a.kamali@vru.ac.ir

چکیده

در این پژوهش کارآیی سامانه استنتاج فازی برای پیش‌بینی عملکرد محصولات مهم شهر کیان، استان چهارمحال و بختیاری مورد ارزیابی قرار گرفت و با روش‌های مبتنی بر منطق ارسطویی بولین (روش سنتی) مقایسه شد. برای این منظور پس از نمونه‌برداری از خاک 21 نقطه مشاهداتی با فواصل یک کیلومتر در یک کیلومتر به‌روش معمول مطالعات خاکشناسی نیمه‌تفصیلی، انجام تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی بر روی آن‌ها و تعیین میانگین وزنی خصوصیات مزبور تا عمق یک متری خاک، تناسب کمی اراضی به‌دو روش ریشه دوم (روش سنتی مبتنی بر منطق بولین) و سامانه استنتاج فازی (از طریق محاسبه توابع عضویت کلاس‌های تناسب اراضی) برای سه محصول گندم، سیبزمینی و یونجه تعیین شد. همچنین با استفاده از پارامترهای اقلیمی و بر اساس مدل فائو، تولید پتانسیل محصولات در منطقه مورد مطالعه تعیین شد و در پی آن عملکرد محصول در نقاط نمونه‌برداری شده، پیش‌بینی شد. نتایج ارزیابی به‌دو روش سامانه استنتاج فازی و روش سنتی از طریق مقایسه ضریب تبیین معادلات رگرسیونی بین شاخص اراضی و تولید مشاهده شده (واقعی) در صحرا مقایسه گردید. ضریب تبیین مدل بولین برای کاربری‌های گندم، یونجه و سیبزمینی به‌ترتیب برابر با 0/74، 0/6 و 0/64 و برای مدل فازی، به‌ترتیب 0/75، 0/71 و 0/89 به‌دست آمد. نتایج نشان داد که ارزیابی تناسب اراضی به‌روش سامانه استنتاج فازی، کارآیی بالاتری نسبت به روش مبتنی بر منطق بولین در این منطقه دارد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم ممدانی، تخمین عملکرد، تناسب اراضی، روش پارامتریک، سامانه استنتاج فازی

Application of Fuzzy Inference System to Predict the Yield of Potato, Alfalfa and Wheat in Shahr-e-Kian area

A Kamali^{1*}, H Shirani², F Rahmati³

Received: 27 may 2015

Accepted: 21 June 2016

^{1,2-} Respectively, Assist. and Assoc. Prof., Dept. of Soil Sci, Vali-e-Asr Univ. of Rafsanjan, Iran

³⁻ M.Sc Geraduate, Dept. of Soil Sci, Vali-e-Asr Univ. of Rafsanjan, Iran

* Corresponding Author, Email: a.kamali@vru.ac.ir

Abstract

In this study the efficiency of fuzzy inference system to predict the main crops yield of Shahr-e-Kian area in Chaharmahal and Bakhtiari province was evaluated and compared to the Boolean logic-based land evaluation methods. To do this, soil samples were collected and analyzed physicochemically from 21 observation points located on the centers of a 1 km by 1 km grid framework in the study area according to the routine semi-detailed soil survey studies. Weighted average of soil characteristics up to depth of 1 m was used. Then the quantitative land suitability for wheat, alfalfa and potato using square root (conventional Boolean-based method) and fuzzy inference system (by calculating the membership functions of each land suitability class) approaches was determined. Also, the potential yields of the selected crops were calculated based on FAO model using the climatic parameters of the studied area. The expected yield for each observation points was predicted afterward. The accuracy assessment of fuzzy inference system and Boolean methods were carried out by comparing the regression coefficients between calculated land indices and observed (actual) yields in the field. The observed correlation coefficients for wheat, potato and alfalfa were 0.738, 0.642 and 0.6 in Boolean approach, respectively and the coefficients were 0.749, 0.885 and 0.713 in fuzzy inference system, respectively. The results showed that the fuzzy inference system approach had higher efficiency than Boolean method in this area.

Keywords: Fuzzy logic, Land suitability, Mamdani algorithm, Parametric approach, Yield prediction

مقدمه

زمان تا کنون مطالعات متعددی در این زمینه هم در جهان و هم در ایران انجام شده است (جلالیان و همکاران 1385، فرج‌نیا 1386، بریموه و استین 2004، جلالیان و همکاران 1386). روش‌های رایج در ارزیابی اراضی، مبتنی بر منطق دو ارزشی بولین¹ می‌باشند که کلاس‌های مختلف تناسب اراضی را به صورت گروه‌های مجزا و گسسته تعریف کرده و توسط حدود مشخص و ثابتی از

روش ارزیابی کمی تناسب اراضی مطرح شده توسط فائو (بی‌نام 1976) چارچوب واحدی برای تعیین سازگاری اراضی برای نوع خاصی از انواع استفاده‌ها ارائه می‌دهد (سایز و همکاران 1991). این روش با توجه به محدودیت‌های موجود در خاک و اراضی به پیش‌بینی مقدار عملکرد محصول در هر واحد اراضی می‌پردازد و بر این اساس، درجه سازگاری یا تناسب اراضی را برای هر محصول مشخص می‌نماید. از آن

¹ Boolean

نظریه در مناطق مختلف کشور انجام شده است. در این راستا کشاورزی و همکاران (2010) و مالکی و همکاران (2010) ارزیابی تناسب اراضی را در مناطق متفاوتی از ایران برای گندم آبی و ثروتی و همکاران (1393) در تناسب اراضی را برای یونجه در منطقه خواجه با استفاده از نظریه مجموعه‌های فازی با روش‌های کلاسیک و سنتی ارزیابی اراضی (مانند روش پارامتریک) مقایسه کردند و همبستگی بیشتری بین شاخص اراضی و عملکرد مشاهده شده در سطح منطقه خود برای روش مبتنی بر نظریه مجموعه‌های فازی نسبت به روش پارامتریک مشاهده کردند. به دلیل پتانسیل‌های موجود در کشاورزی منطقه شهر کیان شهرکرد پیرامون تولید و صادرات، هدف از این پژوهش به‌کارگیری مدل پیوسته فازی در کنار مجموعه ابزار مکانی به منظور طبقه‌بندی پیوسته تناسب اراضی همچنین مقایسه کارایی روش سامانه استنتاج فازی در پیش‌بینی عملکرد محصول سیبزمینی، یونجه و گندم آبی با روش‌های رایج ارزیابی تناسب اراضی است.

مواد و روش‌ها

بخشی از اراضی منطقه شهر کیان استان چهارمحال بختیاری به مساحت حدود 1500 هکتار، واقع در دو کیلومتری شرق شهرستان شهرکرد و بین طول‌های جغرافیایی 45° و 50° تا $49'$ و 50° شرقی و عرض‌های جغرافیایی $25'$ و 32° تا $29'$ و 32° شمالی برای این پژوهش انتخاب شده است (شکل 1). متوسط ارتفاع این ناحیه از سطح دریا 2200 متر است و اراضی مورد بررسی بر روی واحدهای فیزیوگرافی مخروط‌افکنه و دشت دامنه‌ای قرار گرفته‌اند. آب و هوای منطقه، نیمه‌خشک (بی‌نام 1392) و رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک‌های آن به‌ترتیب زیریک² و مزیک³ (بی‌نام 2014) هستند.

یکدیگر تفکیک می‌کنند (محمدی و گیوی 1380). این روش‌ها دارای معایب عدیده‌ای به‌منظور توصیف قابلیت‌ها و تناسب اراضی برای کاربری‌های مختلف و نارسایی‌هایی در انعکاس تغییرپذیری مکانی خصوصیت‌های خاک می‌باشند که منجر به نادیده گرفتن بخش قابل ملاحظه‌ای از اطلاعات می‌شوند. همچنین در این روش‌ها کلاس‌های تناسب اراضی توسط حدود مشخص و ثابتی از یکدیگر تفکیک می‌شوند و مرز بین کلاس‌های تناسب اراضی پیوسته نیست. به این ترتیب واحدهای اراضی که دارای تناسب بینابین باشند، فقط می‌توانند مشخصات یکی از کلاس‌های از پیش تعریف شده را به‌خود اختصاص دهند. برای رفع این نقیصه و تعیین تناسب این واحدها می‌توان از روش نوین تناسب اراضی که بر طبق نظریه‌های مجموعه‌های فازی استوار است، استفاده نمود. مجموعه‌های فازی، یکی از مناسب‌ترین گزینه‌ها در ارزیابی منابع اراضی شناخته شده‌اند. در این نظریه، عضویت به‌صورت دو ارزشی نبوده، بلکه می‌تواند اعداد بین صفر و یک را به‌خود اختصاص دهد. تفکر فازی که در فارسی از آن به‌عنوان منطق گنگ و یا چند ارزشی یاد می‌شود، از دهه 60 میلادی توسط زاده (1965)، استاد ایرانی‌الاصول دانشگاه برکلی کالیفرنیا، به‌منظور تعریف و تعیین کمی کلاس‌هایی که به‌صورت مبهم و ناگویا بیان می‌شوند، در برابر منطق دو ارزشی ارسطویی ارایه شد (محمدی و گیوی 1380). در این نظریه، مرز مشخصی بین دو کلاس وجود ندارد، همه چیز نسبی است و با مفاهیم پیچیده‌تر زندگی و محیط زیست انسان سازگاری بیشتری دارد. پس از آن پژوهشگران دیگری (مک براتنی و همکاران 1992، مک براتنی و اده 1997، ژانگ و همکاران 2012، ژانگ و همکاران 2015، آتیجوسان و همکاران 2015) کاربرد این نظریه را در ارزیابی اراضی برای محصولات کشاورزی و تخمین عملکرد محصولات در واحدهای خاک و اراضی پیشنهاد نمودند و با مقایسه روش مبتنی بر سامانه استنتاج فازی با روش معمول و سنتی ارزیابی اراضی نتایج قابل قبول‌تری به‌دست آوردند. در ایران نیز در سال‌های اخیر پژوهش‌هایی به‌کمک این

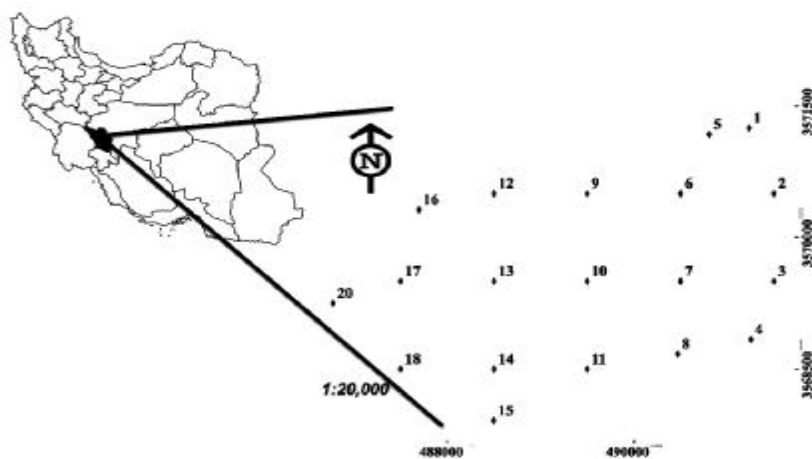
² Xeric

³ Mesic

در مرحله بعد، با توجه به زراعی بودن محصولات مورد بررسی و عمق توسعه ریشه آن‌ها (حدود یک متر) خاک‌های منطقه به چهار لایه 25 سانتی-متری تقسیم شدند و با اعمال ضرایب $1/25$ ، $1/75$ ، $0/25$ و $0/75$ به ترتیب از لایه‌های بالا به پایین (سایز و همکاران 1991) میانگین وزنی خصوصیات خاک هر نقطه تا عمق 100 سانتی‌متری به دست آمد؛ سپس در روش پارامتریک به همراه نتایج به دست آمده از آمار هواشناسی، با جدول‌های سطوح محدودیت هریک از خصوصیت‌های اراضی مقایسه شدند و درجه محدودیت خصوصیات مذکور برای هریک از محصولات تعیین شدند. درجات محدودیت به دست آمده به کمک رابطه 1 با هم تلفیق شدند و شاخص اراضی برای نقطه نمونه برداری محاسبه شد (سایز و همکاران 1991).

$$I = R_{\min} (A/100 * B/100 * C/100 * \dots)^{1/2} \quad [1]$$

به منظور برآورد عملکرد محصول در هر قطعه زمین در این پژوهش از روش ارزیابی کمی تناسب اراضی به روش فائو (بی‌نام 1976) که توسط سایز و همکاران (1991) تشریح شده است، به دو روش پارامتریک ریشه‌ی دوم (روش سنتی) و سامانه استنتاج فازی استفاده گردید. به این ترتیب که ابتدا اطلاعات مورد نیاز درباره خصوصیات اراضی لازم شامل خصوصیات اقلیمی (درجه حرارت، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی) از آمار 63 ساله (93-1329) ایستگاه هواشناسی سینوپتیک شهرکرد (بی‌نام 1392) و خصوصیات زمین و خاک (وضعیت رطوبتی، ویژگی‌های فیزیکی خاک شامل بافت، میزان سنگ ریزه سطحی، درصد آهک، درصد گچ و عمق خاک و در نهایت خصوصیات حاصل‌خیزی) با نمونه‌برداری از خاک منطقه مورد بررسی قرار گرفتند.



شکل 1- محدوده مورد مطالعه و محل نقاط نمونه‌برداری.

آمده از رابطه 1 بر اساس جدول 1 به کلاس تناسب اراضی تبدیل گردید.

در این رابطه I شاخص اراضی، R_{\min} کوچک‌ترین درجه مربوط به خصوصیات اراضی، A ، B ، C و ... سایر خصوصیات اراضی می باشند. شاخص اراضی به دست

جدول 1- رابطه بین شاخص‌های اراضی و کلاس‌های تناسب اراضی (سایز و همکاران 1991).

کلاس تناسب	عالی	خوب	متوسط	نامناسب موقتی	نامناسب دائمی
علامت	S1	S2	S3	N1	N2
شاخص	75-100	50-75	25-50	12/5-25	0-12/5

برداشت⁸، L طول فصل رشد، Ct ضریب تنفس⁹ می‌باشد. در پایان همبستگی میان عملکرد پیش‌بینی شده با عملکرد مشاهده‌شده در صحرا بررسی شد. عملکرد مشاهده‌شده میانگین عملکرد پنج ساله کشاورزان است که از طریق پرسش‌نامه‌هایی در صحرا و کنترل آن‌ها با اداره جهادکشاورزی چهارمحال و بختیاری تعیین شدند. به‌منظور بررسی نقش مدیریت اراضی در توجیه تفاوت بین عملکرد پیش‌بینی شده و عملکرد مشاهده‌شده (واقعی)، از شاخص مدیریت¹⁰ ارایه شده توسط گیوی (1377) استفاده شد. این شاخص از تقسیم متوسط عملکرد کشاورز (عملکرد واقعی) بر پتانسیل تولید محاسبه شد و نتیجه آن براساس جدول 2 در تعیین سطح مدیریت مورد استفاده قرار گرفت.

در روش فازی، شاخص اراضی توسط مدلی که در نرم‌افزار MATLAB تعریف شد، به‌دست آمد. به‌این منظور برای هر یک از خصوصیات اراضی و اقلیم در هر کدام از درجات محدودیت، تابع عضویت مربوط به آن تعریف شد. با توجه به ماهیت خصوصیات اراضی مورد مطالعه (تغییرات کم این خصوصیات) و چگونگی اثر آن‌ها بر عملکرد محصولات مورد بررسی، مدل زنگوله‌ای برای این مطالعه انتخاب گردید (محمدی 1385). ورودی مدل، خصوصیات خاک و اقلیم و خروجی آن، کلاس‌های تناسب اراضی در نظر گرفته-

سایز و همکاران (1991) برای جلوگیری از تداخل بین خصوصیات اراضی در روش پارامتریک اعلام کردند که بیشتر از هشت ویژگی اراضی در محاسبات استفاده نشود. در این پژوهش با توجه به این‌که منطقه مورد مطالعه نیمه‌خشک است از هفت خصوصیت (جدول 3) برای تعیین شاخص اراضی به-روش ریشه دوم استفاده شد. عملکرد پیش‌بینی شده⁴ برای هر نقطه از حاصل‌ضرب شاخص خاک (بدون در نظر گرفتن ویژگی اقلیم در رابطه 1) محاسبه شده برای آن نقطه در عملکرد تابشی- گرمایی یا عملکرد پتانسیل منطقه تعیین شد. عملکرد پتانسیل بیشترین عملکردی است که با توجه به ویژگی‌های ژنتیکی رقم محصول، شرایط مناسب خاک و اقلیم به‌ویژه تابش و درجه حرارت، در صورت مدیریت عالی و فقدان سایر شرایط نامطلوب نظیر حمله آفات، باد و طوفان، گرما و سرمازدگی و غیره می‌تواند تولید شود. این عملکرد به-روش فائو (سایز و همکاران 1991) و از رابطه 2 محاسبه گردید.

$$Y=0.36bgm.KLAI.Hi/(1/L) \quad [2]$$

در رابطه 2، Y میزان تولید پتانسیل⁵ بر حسب کیلوگرم در هکتار، bgm میزان بیشینه تولید زیست توده ناخالص⁶ بر حسب کیلوگرم در هکتار در ساعت، KLAI ضریب شاخص سطح برگ⁷، Hi شاخص

⁴Predicted yield⁵ Potential yield⁶ Maximum gross biomass production rate⁷ Leaf area index⁸ Harvest index⁹ Respiration coefficient¹⁰ Management index (MI)

روش ممدانی، یک تابع عضویت برای خروجی آن ایجاد شد. به عنوان مثال قاعده اول برای محصول یونجه به این صورت است که اگر مقادیر تمام خصوصیات خاک و اقلیم بیشترین درجه عضویت را به کلاس S1 و 0 داشته باشند، کلاس تناسب اراضی نیز S1 و 0 است (رابطه 3).

If (CaCO₃ is S1,0) and [3]
(Coarse fragment is S1,0),... Then (Class is S1,0)

جدول 2- ارتباط بین شاخص مدیریت با سطح مدیریت مزرعه (گیوی 1377).

سطح مدیریت	شاخص مدیریت (MI)
بالا	MI < 0/75
متوسط	0/5 < MI < 0/75
پایین	MI < 0/5

خروجی نهایی سیستم به یک عدد کلاسیک با استفاده از روش‌های غیرفازی‌ساز تبدیل شد. در این مرحله با استفاده از رابط غیرفازی‌سازی مرکز ثقل¹²، مقدار حقیقی شاخص اراضی خروجی تعیین گردید و پس از ضرب در شاخص خاک هر نقطه و برآورد عملکرد آن نقطه، همبستگی میان عملکرد پیش‌بینی شده با عملکرد مشاهده‌شده در صحرا بررسی شد.

نتایج و بحث

نتایج میانگین وزنی با اعمال ضرایب وزنی برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های منطقه مورد مطالعه در جدول 3 نشان داده شده‌اند. لازم به ذکر است که مقدار گچ در خاک‌های مذکور بسیار ناچیز بود که نتایج آن در جدول 3 نشان داده نشده‌است. نتایج تجزیه‌های آزمایشگاهی خاک‌های منطقه (جدول 3) نشان داد که این خاک‌ها از نظر شوری و سدیمی بودن، گچ و ذرات درشت‌تر از دو میلی‌متر فاقد محدودیت یا با

شد. به این صورت که مقادیر محدوده تابع عضویت در هر یک از کلاس‌ها با استفاده از جداول مربوط به تعیین کلاس‌های تناسب اراضی تعیین گردید. برای فازی‌سازی متغیرهای ورودی و خروجی، با توجه به دامنه تغییرات آن‌ها شش کلاس به نام‌های S1,1، S1,0، S2، S3، N1، N2 برای هر یک از متغیرها در نظر گرفته شد. همچنین برای ارزیابی کمی و عملکرد مشاهده‌شده نیز توابع مشابهی تعیین گردید. برای تعیین پارامترهایی که به‌ازای آن‌ها درجه عضویت توابع برابر با یک می‌باشد، از جداول مربوط به تعیین کلاس‌های تناسب اراضی استفاده گردید. تعیین سایر پارامترهای تابع عضویت که تعیین‌کننده شکل تابع است، کمی مشکل‌تر می‌باشد و تجربی است. پارامترهای مختلفی برای توابع عضویت انتخاب شد و پس از مقایسه نتایج نهایی مدل با نتایج مشاهده‌ای، بهترین پارامترهایی که منجر به ایجاد مقادیر بالاتری از ضریب تبیین گردید، انتخاب شدند. به عنوان مثال برای محصول یونجه، برای تعیین پارامترهای تابع عضویت برای کلاس S1 و 0، متغیر pH با توجه به جدول، دامنه [7 14] و پارامترهای [6/93] 0/344 9/44 به صورت تجربی و به طوری که از همبستگی بین شاخص‌های اراضی به دست آمده و عملکرد واقعی بیشترین ضریب تبیین به دست بیاید، در نظر گرفته شد. در این قسمت از مدل، مقادیر خصوصیات اراضی و اقلیم وارد تابع عضویت مربوط به هر یک از کلاس‌های تناسب اراضی گردید.

تابع عضویت مورد استفاده برای محصول یونجه و برای واکنش خاک برای کلاس S1,0 در شکل 2 آمده است.

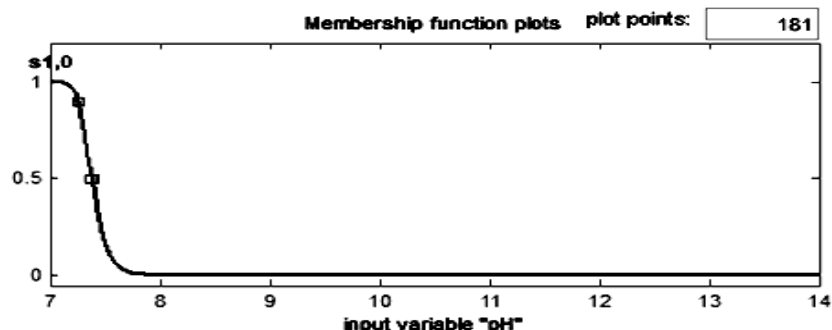
در گام بعدی قواعد سامانه استنتاج فازی¹¹ تعیین گردیدند. به این صورت که در هر یک از قواعد، اثر خصوصیت‌های خاک و اقلیم بر عملکرد محصولات مورد نظر تعیین گردید و برای هر یک از قواعد تعریف‌شده در شاخص‌های ورودی، با استفاده از

¹²Centroid defuzzification interface

¹¹ Rule-based fuzzy system

(سایز و ورهی 1972، سایز و همکاران 1991).

محدودیت جزئی هستند و محدودیت عمده منطقه بیشتر مربوط به بافت، واکنش و تا حدودی آهک می‌باشد



شکل 2- تابع عضویت کلاس S1,0 برای متغیر pH در عملکرد یونجه.

جدول 3- میانگین وزنی برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با اعمال ضرایب وزنی در منطقه مورد مطالعه.

نقطه	بافت	آهک (%)	pH	ذرات درشت (%)	SAR (meq l ⁻¹) ^{0.5}	EC (dS m ⁻¹)	نقطه	بافت	آهک (%)	pH	ذرات درشت (%)	SAR (meq l ⁻¹) ^{0.5}	EC (dS m ⁻¹)
1	CL	29/5	8/3	0	0/3	0/6	12	L	30/1	7/9	11/5	0/3	1/2
2	SiL	28/6	8	0/7	0/3	0/8	13	L	29/1	7/8	10	0/5	0/5
3	L	28/2	7/6	6/1	0/5	0/4	14	SiCL	29/6	7/9	0	0/6	0/7
4	SiCL	28/8	7/5	0	0/6	0/5	15	CL	29/1	8/1	0	0/5	0/5
5	CL	29/4	7/5	0	0/5	0/4	16	L	28/4	7/8	4/5	0/3	0/5
6	SiL	29/7	7/9	10/2	0/5	1/4	17	SiL	29/6	7/7	2/9	0/5	0/9
7	L	28/7	7/9	8/1	0/6	0/7	18	CL	29/3	7/3	6/7	0/3	0/7
8	SiL	29/7	8	0	0/3	0/6	19	L	29/3	8/1	0	0/5	0/5
9	SiCL	28/8	8	0	0/5	0/5	20	L	29/3	7/7	0	0/5	0/5
10	SiL	28/8	8/9	0	0/3	1	21	SiCL	28/9	7/9	8/4	0/5	0/7
11	SiL	28/4	7/9	0	0/3	0/7							

SiL: Silt Loam, CL:Clay Loam, SiCL: Silty Clay Loam, L: Loam, SL: Sandy Loam, Si: Silt, C:Clay, SCL: Sandy Clay Loam

بلندی و خیزی خاک در منطقه مورد پژوهش، کلاس تناسب اراضی به‌روش پارامتریک (ریشه دوم) تعیین شدند و همراه نتایج ارزیابی به‌روش فازی در جدول 4 آورده شده‌اند.

از مقایسه ویژگی‌های جدول‌های 1 و 3 با جداول نیازهای اقلیمی، خاک و توپوگرافی محصولات گندم، یونجه و سیبزمینی فاریاب ارایه‌شده توسط گیوی (1376)، با توجه به عدم وجود محدودیت‌های پستی و

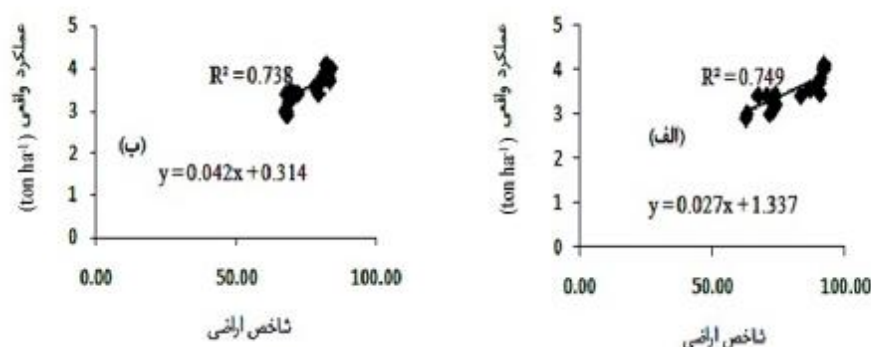
جدول 4- کلاس تناسب کیفی اراضی برای محصولات مورد بررسی به دو روش پارامتریک (ریشه‌ی دوم) و فازی.

کلاس تناسب اراضی						نقطه	کلاس تناسب اراضی						نقطه
کندم		یونجه		سیب زمینی			کندم		یونجه		سیب زمینی		
پارامتریک	فازی	پارامتریک	فازی	پارامتریک	فازی		پارامتریک	فازی	پارامتریک	فازی	پارامتریک	فازی	
S2s	S2s	S2cf	S2f	N1cf	S3cf	12	S2s	S2s	S2cf	S1	S3cf	S3cf	1
S2s	S2s	S2cf	S2f	S2cf	S2cf	13	S1	S1	S2cf	S1	S3cf	S3cf	2
S2s	S2s	S2cf	S1	S3cf	S3cf	14	S2s	S2s	S2cf	S1	S3cf	S3cf	3
S1	S1	S2cf	S1	S3cf	S3cf	15	S1	S1	S2cf	S1	S3cf	S3cf	4
S2s	S2s	S2cf	S2f	N1cf	S3cf	16	S2s	S2s	S2cf	S1	S3cf	S3cf	5
S2s	S2s	S2cf	S1	S3cf	S3cf	17	S1	S1	S2cf	S2f	S3cf	S3cf	6
S1	S1	S2cf	S1	S3cf	S3cf	18	S2s	S2s	S2cf	S2f	S3cf	S3cf	7
S2s	S2s	S2cf	S1	S3cf	S3cf	19	S1	S1	S2cf	S1	S3cf	S3cf	8
S2s	S2s	S2cf	S1	S3cf	S3cf	20	S1	S1	S2cf	S1	S3cf	S3cf	9
S2s	S2s	S2cf	S2f	S3cf	S3cf	21	S1	S1	S2cf	S1	N1cf	S3cf	10
							S1	S1	S2cf	S1	S3cf	S3cf	11

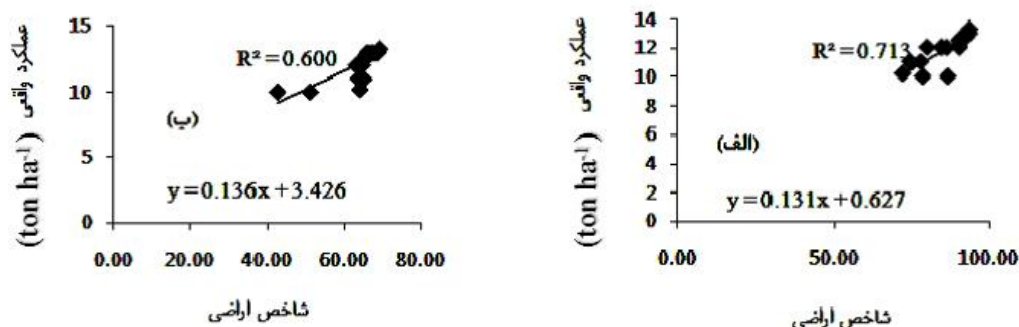
c: محدودیت‌های مربوط به اقلیم، f: محدودیت‌های مربوط به خصوصیات حاصل‌خیزی خاک، s: محدودیت‌های مربوط به خصوصیات فیزیکی خاک

9/57، 26/80 و 50/72 تن در هکتار در منطقه مورد مطالعه تعیین شدند. نتایج حاصل‌ضرب ارقام مذکور در شاخص خاک محاسبه شده به‌دو روش فازی و پارامتریک، برای هر یک از محصولات که به میزان عملکرد پیش‌بینی شده منجر گردید به منظور مقایسه نتایج حاصل از دو مدل فازی و ریشه دوم با عملکرد واقعی مورد استفاده قرارگرفت (شکل‌های 3 تا 5).

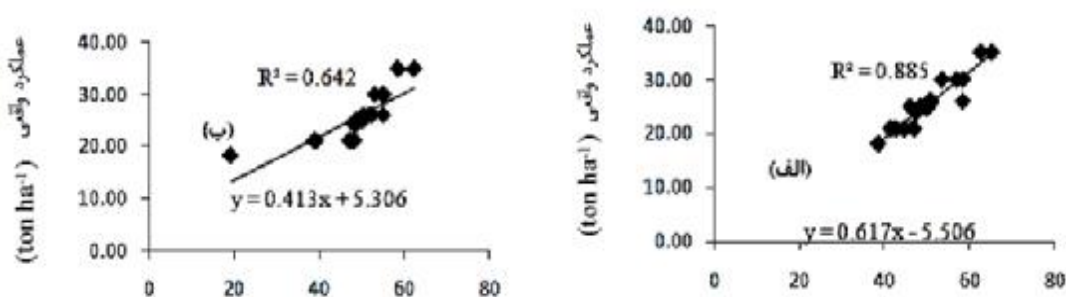
عملکرد پتانسیل (تابشی-حرارتی) محصولات مورد بررسی بر اساس روش فائو (سایز و همکاران 1991)، با در نظر گرفتن درصد رطوبت قسمت اقتصادی آن‌ها هنگام برداشت (15، 20 و 79 درصد به-ترتیب برای گندم، یونجه و سیب‌زمینی) و شاخص برداشت یا نسبت وزن بخش اقتصادی به کل زیست توده گیاه (0/45، 0/85 و 0/65 به‌ترتیب برای گندم، یونجه و سیب‌زمینی) (سایز و همکاران 1991)، به‌ترتیب



شکل 3- همبستگی بین شاخص اراضی با تولید مشاهده‌شده گندم به‌روش فازی (الف) و روش ریشه دوم (ب).



شکل 4- همبستگی بین شاخص اراضی با تولید مشاهده شده یونجه به روش فازی (الف) و روش ریشه دوم (ب).



شکل 5- همبستگی بین شاخص اراضی با تولید مشاهده شده سیبزمینی به روش فازی (الف) و روش ریشه دوم (ب).

به طوری که از جدول 5 قابل مشاهده است برای سیبزمینی در این منطقه بهترین مدیریت و برای گندم آبی پایین ترین سطح مدیریت اعمال می شود. بر اساس نتایج جدول 5 و مقایسه شکل های 3 تا 5 می توان نتیجه گرفت که روش ریشه دوم در پیش بینی تولید محصولات گندم و یونجه که با سطح مدیریت پایین تا متوسط اداره می شوند، نسبت به مدل فازی مناسب تر عمل نموده است؛ در حالی که در مورد محصول سیبزمینی که سطح مدیریت بالاتری داشته است، استفاده از مدل فازی نسبت به روش پارامتریک ریشه دوم، دارای کارایی بالاتری است و به این ترتیب پیچیدگی مراحل انجام آن در مقابل نتیجه رضایت بخش برآورد عملکرد محصول قابلیت توجیه بیشتری دارد که این نتیجه تاکنون کمتر مورد توجه پژوهشگران دیگر قرار گرفته است.

مقایسه ضریب همبستگی بین نتایج عملکرد پیش بینی شده و عملکرد واقعی نشان داد که برای تمام محصولات مورد مطالعه، روش فازی بیشتر از روش ریشه دوم با واقعیت همخوانی داشت. یافته های این پژوهش با نتایج ژانگ و همکاران (2015)، آتیجوسان و همکاران (2015)، ثروتی و همکاران (1393)، کشاورزی و سرمدیان (2009) و کشاورزی و همکاران (2010) مطابقت داشت. با این حال همچنان بین دو عملکرد مشاهده شده و پیش بینی شده اختلاف وجود دارد. محققین متعددی مهم ترین عامل این اختلاف را به سطح مدیریت پایین کشاورزان ارتباط داده اند (جلالیان و همکاران 1386، کمالی و همکاران 2012). برای بررسی وضعیت مدیریت مزارع در منطقه مورد مطالعه، مقادیر شاخص مدیریت به هر دو روش مورد مقایسه قرار گرفتند (جدول 5).

جدول 5- شاخص مدیریت برای محصولات مورد مطالعه.

محصول	شاخص مدیریت		سطح مدیریت	
	روش ریشه دوم	روش فازی	روش ریشه دوم	روش فازی
گندم	0/4	0/4	پایین	پایین
یونجه	0/5	0/5	متوسط	متوسط
سیب زمینی	0/8	0/9	بالا	بالا

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که منطقه مورد مطالعه از تناسب بالایی برای گندم و یونجه آبی برخوردار است و تناسب بحرانی (کم) برای سیب‌زمینی آبی دارد. محدودیت عمده اراضی برای این محصولات شرایط اقلیمی و ویژگی‌های حاصل‌خیزی خاک (از جمله واکنش خاک) می‌باشند. مقایسه دو مدل سنتی (روش

منابع مورد استفاده

- بی‌نام، 1392. پایگاه اینترنتی سازمان هواشناسی کشور. www.weather.ir.
- ثروتی م، جعفرزاده ع، قربانی م، شهبازی ف و دواتگر ن، 1393. ارزیابی تناسب اراضی برای یونجه در منطقه خواجه با استفاده از روش پارامتریک (ریشه دوم) و نظریه مجموعه‌های فازی. دانش خاک و آب، جلد 24، شماره 3، صفحه‌های 93 تا 105.
- جلالیان ا، بازگیر م، گیوی ج و ایوبی ش، 1385. ارزیابی کیفی، کمی و اقتصادی تناسب اراضی دیمزارهای منطقه تالاندشت استان کرمانشاه برای محصولات منطقه. علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، دوره 10، شماره 4 (الف)، صفحه‌های 91 تا 106.
- جلالیان ا، رستمی نیا م، ایوبی ش و امینی ا، 1386. ارزیابی کیفی، کمی و اقتصادی تناسب اراضی برای گندم، ذرت و کنجد در دشت مهران، استان ایلام. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، جلد 11، شماره 42، صفحه‌های 393 تا 403.
- فرج نیا ا، 1386. ارزیابی تناسب اراضی و تعیین پتانسیل تولید چغندر قند در دشت یکانات مرند. چغندر قند، جلد 23، شماره 1، صفحه‌های 43 تا 54.
- گیوی ج، 1376. ارزیابی کیفی تناسب اراضی برای نباتات زراعی و باغی. نشریه فنی شماره 1015، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، تهران.

پارامتریک) و فازی در برآورد عملکرد محصولات مورد بررسی نشان داد که روش فازی به دلیل در نظر گرفتن مرزهای تدریجی برای کلاس‌های تناسب اراضی (که در روش‌های معمول انجام نمی‌شود)، دارای انطباق بیشتری با ماهیت پیوسته و در عین حال مبهم پدیده‌های طبیعی است. همچنین در اراضی که مقادیر خصوصیات آن‌ها برابر و یا نزدیک حدود کلاس‌های تناسب می‌باشند، کارایی بهتری نسبت به مدل بولین دارد. علت پایین بودن ضریب تبیین در هر دو روش فازی و پارامتریک، این است که عملکرد زارع فقط به شاخص زمین بستگی ندارد بلکه عواملی مثل مدیریت نیز در رسیدن به بیشترین عملکرد مورد انتظار نقش دارد. با این حال در صورت وجود سطح مدیریت پایین در مزرعه همچنان استفاده از روش سنتی در تخمین میزان عملکرد منطقه است.

گیوی ج، 1377. ارزیابی کیفی، کمی و اقتصادی تناسب و تعیین پتانسیل تولید اراضی برای محصولات عمده منطقه فلاورجان اصفهان. مؤسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی و اقتصادی کشاورزی، معاونت برنامه‌ریزی و بودجه، وزارت کشاورزی، تهران.

محمدی ج، 1385. پدومتری: نظریه سامانه‌های فازی. انتشارات پلک. تهران.

محمدی ج و گیوی ج، 1380. ارزیابی تناسب اراضی برای گندم آبی در منطقه فلاورجان (اصفهان) با استفاده از نظریه مجموعه‌های فازی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، جلد 5، شماره 1، صفحه‌های 103 تا 116.

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

Anonymous, 2014. Keys to Soil Taxonomy. 12th ed., NRCS. USDA.

Atijosan A, Muibi K, Ogunyemi S, Adewoyin J, Badru R, Alaga A and Shaba A, 2015. Agricultural land suitability assessment using fuzzy logic and geographic information system techniques. International Journal of Scientific Research in Science & Technology 1(5): 113-118.

Braimoh AK and Stein A, 2004. Land evaluation for Maize based on Fuzzy set and interpolation. Environmental Management 33(2): 226-238.

Kamali A, Sarmadian F and Mahmoudi S, 2012. Land suitability modeling for sustainable agriculture using MicroLEIS DSS and remote sensing in an arid region of Iran. Elixir Agriculture 42: 6516-6519.

Keshavarzi, A and Sarmadian F, 2009. Investigation of fuzzy set theory's efficiency in land suitability assessment for irrigated wheat in Qazvin province using Analytic hierarchy process (AHP) and multivariate regression methods. Proc. 'Pedometrics 2009' Conf, 26-28 August, Beijing, China.

Keshavarzi A, Sarmadian F, Heidari A and Omid M, 2010. Land suitability evaluation using fuzzy continuous classification (a case study: Ziaran region). Canadian Center of Science and Education. Modern Applied Science 4(7): 72-81.

Maleki P, Landi A, Sayyad Gh, Baninemeh J and Zareian Gh, 2010. Application of fuzzy logic to land suitability for irrigated wheat. Pp. 21-24. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, Brisbane, Australia.

McBratney AB, De Grujter JJ and Brus DJ, 1992. Spatial prediction and mapping of continuous soil classes. Geoderma 54: 39-64.

McBratney AB and Odeh OA, 1977. Application of fuzzy sets in soil science: fuzzy logic, fuzzy measurements and fuzzy decisions. Geoderma 77: 85-113.

Sys C, Vanranst E and Debaveye J, 1991. Land Evaluation part 1: Principles in Land Evaluation and Crop Production Calculation. General Administration for Development Cooperation. Agricultural Publication No. 7. Brussels, Belgium.

Sys C and Werheye W, 1972. Principles of Land Classification in Arid and Semi-Arid Regions. International Training Center for Post-graduate Soil Scientists, Ghent, Belgium.

Zhang Y, Zhang HND and Song W, 2012. Agricultural land use optimal allocation system in developing area: Application to Yili watershed, Xinjiang Region. Chinese Geographical Science 22: 232-244.

Zhang J, Su Y, Wu J and Liang H, 2015. GIS based land suitability assessment for tobacco production using AHP and fuzzy set in Shandong province of China. Computers and Electronics in Agriculture 114 (C): 202-211.

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