DOI: 10.22059/ijswr.2020.308462.668707 تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۲، شماره ۱، فروردین ۱۴۰۰ (ص ۲۲-۱۰۹)

Assessment of Soil Fertility Using Fuzzy Membership Functions and AHP in Paddy Fields (Case Study: Research Fields Goldasht, Amol)

SEYEDE FATEMEH NABAVI[1], NAFISEH YAGHMAEIAN MAHABADI[1*], SHAHRAM MAHMOUDSOLTANI[2]
1. Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran.
2. Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran
(Received: Aug. 18, 2020- Revised: Nov. 21, 2020- Accepted: Nov. 30, 2020)

ABSTRACT

Considering the effective role of soil fertility in advanced agriculture, preparing soil fertility map for better planning and achievement of specific management on based soil spatial variability seems necessary. The purpose of this study was to prepare a soil fertility map for rice, based on the effective parameters on soil fertility including organic carbon, total nitrogen, available phosphorus and potassium, clay and cation exchange capacity by integrated AHP with two types of Kandel and S-shaped fuzzy membership functions. For this purpose, soil samples were collected in 50 observation points and their physical and chemical properties were measured. Interpolation of these points for the studied parameters was done by kriging method. Then the fuzzy map of each parameter was prepared by defining the S-shaped and Kandel membership functions and weighted using AHP method. Finally, by integrating them in GIS environment, soil fertility map was prepared for rice. Fertility maps obtained from S-shaped and Kandel membership functions showed that 95.73% and 53.68% of the studied area have high and very high fertility, respectively. Comparison of fertility maps through re-sampling points to control the accuracy of the maps showed that the fertility map resulting from S-shaped fuzzy membership function (64%) is more efficient and realistic than Kandel membership function (40%). Therefore, the integration of AHP with the S-shaped fuzzy membership function can quantify and classify the soil fertility of the studied area and be useful for managing fertilizer use and monitoring soil nutrition changes.

Keywords: S-Shaped Fuzzy Membership Function, Kandel Fuzzy Membership Function, Fertility Map, Rice.

ارزیابی حاصلخیزی خاک با استفاده از توابع عضویت فازی و AHP در اراضی شالیزاری (مطالعه موردی: مزارع پژوهشی گل‌دشت، آمل)

سیده فاطمه نبوی[۱]، نفیسه یغمائیان مهابادی[۱*]، شهرام محمود سلطانی[۲]

۱. گروه علوم خاک، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

۲. مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۵/۲۸- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۹/۱- تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۹/۱۰)

چکیده

با توجه به نقش مؤثر حاصلخیزی خاک در کشاورزی پیشرفته، تهیه نقشه حاصلخیزی خاک جهت برنامه‌ریزی بهتر و دستیابی به مدیریت ویژه بر پایه تغییرات مکانی خاک ضروری به نظر می‌رسد. هدف از این پژوهش تهیه نقشه حاصخیزی خاک برای کشت برنج بر اساس پارامترهای مؤثر در حاصلخیزی خاک شامل کربن آلی، ازت کل، فسفر و پتاسیم قابل استفاده، رس و گنجایش تبادل کاتیونی از طریق تلفیق AHP با دو نوع تابع عضویت فازی کندل و S شکل می‌باشد. به این منظور نمونه‌برداری خاک در ۵۰ نقطه مطالعاتی انجام و ویژگی‌های مذکور اندازه‌گیری شدند. درون‌یابی این نقاط برای پارامترهای مورد مطالعه از طریق روش کریجینگ انجام شد. سپس نقشه فازی هر یک از پارامترها با تعریف توابع عضویت S شکل و کندل تهیه شده و با استفاده از روش AHP وزن‌دار شدند. در نهایت از تلفیق آن‌ها در محیط GIS نقشه حاصلخیزی خاک برای برنج تهیه شد. نقشه‌های حاصلخیزی به‌دست آمده از توابع عضویت S شکل و کندل نشان می‌دهد که به ترتیب ۹۵/۷۳ و ۵۳/۶۸ درصد از منطقه مورد مطالعه دارای حاصلخیزی زیاد و خیلی زیاد می‌باشد. مقایسه نقشه‌های حاصلخیزی از طریق نقاط نمونه‌برداری مجدد برای کنترل دقت نقشه‌ها نشان می‌دهد که نقشه حاصلخیزی حاصل از تابع عضویت فازی S شکل (۶۴ درصد) نسبت به تابع عضویت کندل (۴۰ درصد) از کارآیی و تطابق بیشتری با واقعیت برخوردار است. بنابراین تلفیق AHP با تابع عضویت فازی S شکل می‌تواند با دقت قابل قبولی وضعیت حاصلخیزی منطقه مورد مطالعه را به صورت کمی و طبقه‌بندی شده ارائه کرده و برای مدیریت مصرف کود و پایش تغییرات تغذیه‌ای خاک مفید واقع شود.

واژه‌های کلیدی: تابع عضویت فازی S شکل، تابع عضویت فازی کندل، نقشه حاصلخیزی، برنج.

مقدمه

خاک بزرگ‌ترین و مطمئن‌ترین بستر ۹۵ درصد از تولیدات غذایی در جهان بوده و در آینده نزدیک نیز چشم اندازی برای جایگزینی آن وجود ندارد (FAO, 2015). همچنین خاک به عنوان یکی از مهم‌ترین اجزای محیط زیست بوده و بسیاری از ویژگی‌های آن بر روی رشد و عملکرد گیاه تاثیر معنی‌دار داشته و تغییر در این ویژگی‌ها تغییرپذیری عملکرد را در پی خواهد داشت (Bouman *et al.*, 2007). عدم یکنواختی ویژگی‌های خاک در یک منطقه، تحت تاثیر خصوصیات ذاتی (مانند مواد مادری و عوامل خاکسازی) و عوامل غیرذاتی یا بیرونی (مانند اقدامات مدیریتی خاک و مزرعه، کود دهی و نوع محصولات کشاورزی) می‌باشند (Yemefack *et al.*, 2005) که به طور مستقیم و غیر مستقیم بر تغییرات کمیت و کیفیت محصول اثرگذار است (Silva Cruz *et al.*, 2011). بنابراین شناخت تغییرات ویژگی‌های خاک و ارتباط آن‌ها با پاسخ گیاه اساساً می‌تواند اثر بخشی نهاده‌ها و در نهایت افزایش تولید محصول در واحد سطح را در پی داشته باشد (Virgilio *et al.*, 2007). با توجه به نقش مؤثر حاصلخیزی خاک در کشاورزی پیشرفته، تهیه نقشه حاصلخیزی خاک جهت برنامه ریزی علمی و دستیابی به مدیریت زراعی ویژه بر پایه تغییرات مکانی خاک ضروری به نظر می‌رسد.

در مدیریت زراعی سنتی برنج، توصیه و مصرف کودهای شیمیایی در بیشتر اراضی شالیزاری به‌صورت یکنواخت و بدون در نظر گرفتن وضعیت عناصر غذایی در خاک انجام می‌گیرد. این مسئله با دور شدن از اصول تغذیه متعادل، منجر به افزایش و انباشت عناصر غذایی در قسمت‌هایی از خاک می‌شود که عناصر غذایی در آن بخش‌ها در حد کفایت بوده و از طرف دیگر در مناطقی که کمبود این عناصر غذایی وجود دارد، این نقص به قوت خود باقی مانده و یا تشدید خواهد شد؛ در نتیجه افزایش هزینه تولید، افت کمی و کیفی عملکرد و آلودگی‌های زیست محیطی در اراضی شالیزاری پدیدار می‌گردد (Guo *et al.*, 2016; Choi

* نویسنده مسئول: yaghmaeian_na@guilan.ac.ir

et al., 2017). به دلیل تغییرات زیاد درون مزرعه‌ای و ماهیت پویای عناصر غذایی خاک، نقشه‌های رایج حاصلخیزی خاک اطلاعات کافی را در اختیار کشاورزان قرار نداده است؛ بنابراین نیاز است از روش‌های مدرن‌تری در کشاورزی دقیق استفاده شود. در این راستا روش فازی یکی از بهترین مدل‌هایی است که جهت تهیه انواع نقشه‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. این روش ماهیت پیوسته تغییرات اراضی را در نظر گرفته و در انعکاس تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک کارآیی بیشتری دارد (Servati *et al.*, 2014). لذا می‌توان از این مدل جهت تهیه نقشه حاصلخیزی خاک استفاده کرد (Kweon, 2012).

فرایند تحلیل سلسله مراتبی[۱] (AHP) به عنوان یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری‌های چندمعیاری مطرح است. در این روش با توجه به اینکه پارامترهای مؤثر در حاصلخیزی خاک دارای تاثیر متفاوتی بر روی رشد گیاه می‌باشند، هرکدام بر اساس درجه اهمیتی که دارند، طبق نظرات کارشناسان، وزن‌دهی می‌شوند (Aama Azghadi *et al.*, 2010). تلفیق دانش کاربران و اطلاعات کارشناسان خاک و زراعت، بخش مهمی از پیشرفت مؤثر در مدیریت خاک را تشکیل می‌دهند، به‌طوری که منجر به پیشرفت دانش سنتی گردیده و بر جنبه‌های زیست محیطی، اقتصادی (Beckford and Barker, 2007) و بهبود برنامه‌ها و مدیریت زراعی اثر گذار خواهند بود (Barrera *et al.*, 2006; Ali, 2003). Dobermann *et al.* (2003)، Sunila *et al.* (2004) و Sicat *et al.* (2005) از مدل فازی برای ارزیابی حاصلخیزی برنج استفاده کردند. Aama Azghadi *et al.* (2010) در پژوهشی به منظور تهیه نقشه حاصلخیزی خاک از نظر کربن آلی، فسفر و پتاسیم جهت کشت گندم در دشت شاوور استان خوزستان از مدل تحلیل سلسله مراتبی و منطق فازی استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که تهیه نقشه حاصلخیزی به‌صورت تفکیکی می‌تواند به‌عنوان گامی اولیه و مؤثر در مطالعات حاصلخیزی خاک و استفاده بهینه از کودها مطرح باشد. تاثیر مثبت پتاسیم قابل استفاده، گنجایش تبادل کاتیونی، ازت کل، فسفر قابل استفاده و کربن آلی بر عملکرد برنج توسط محققین مختلف تایید شده است (Fageria, 2001; Liu *et al.*, 2014; Fairhurst *et al.*, 2007; Saito *et al.*, 2006; Zhu *et al.* (2010). در پژوهشی از توابع عضویت فازی برای تهیه نقشه حاصلخیزی در مزارع گندم و سویا در هیلونگجیانگ چین استفاده و گزارش کردند که نتایج حاصل از این روش با واقعیت تطابق بیش تری نشان می‌دهند. Salehi *et al.* (2013) در مطالعه‌ای نقشه حاصلخیزی خاک برای کشت برنج را در اراضی شالیزاری شهرستان جویبار مازندران با استفاده از منطق فازی و AHP تهیه کردند، نتایج آن‌ها نشان داد که نقشه به‌دست آمده به دلیل استفاده از توابع عضویت فازی و وزن‌دهی به پارامترهای مؤثر در حاصلخیزی تطابق بیشتری با واقعیت دارد. Aishah *et al.* (2010) به بررسی خصوصیات شیمیایی خاک‌های شالیزاری مالزی پرداختند. نقشه‌های حاصل از روش کریجینگ نشان داد که بخشی وسیعی از منطقه دارای نیتروژن اضافی می‌باشد.

با توجه به این‌که سطح وسیعی از مناطق شمالی کشور زیر کشت برنج می‌باشد و برنج یک گیاه مهم در تغذیه بیش از نیمی از جمعیت جهان و مهم‌ترین محصول راهبردی برای شمال کشور و دومین منبع غذایی بعد از گندم در کشور محسوب می‌شود؛ بیشتر از سایر محصولات نیاز به ارزیابی توان تولید برای دست یافتن به عملکردهای بیشتر در این مناطق دارد. در نتیجه این پژوهش با هدف تهیه نقشه حاصخیزی خاک برای کشت برنج بر اساس پارامترهای مؤثر در حاصلخیزی خاک شامل کربن آلی، ازت کل، فسفر و پتاسیم قابل استفاده، رس و گنجایش تبادل کاتیونی خاک در شهرستان آمل با استفاده از منطق فازی و AHP و همچنین مقایسه نقشه‌های حاصلخیزی خاک با استفاده از دو تابع عضویت کندل و S شکل اجرا شد.

مواد و روش‌ها

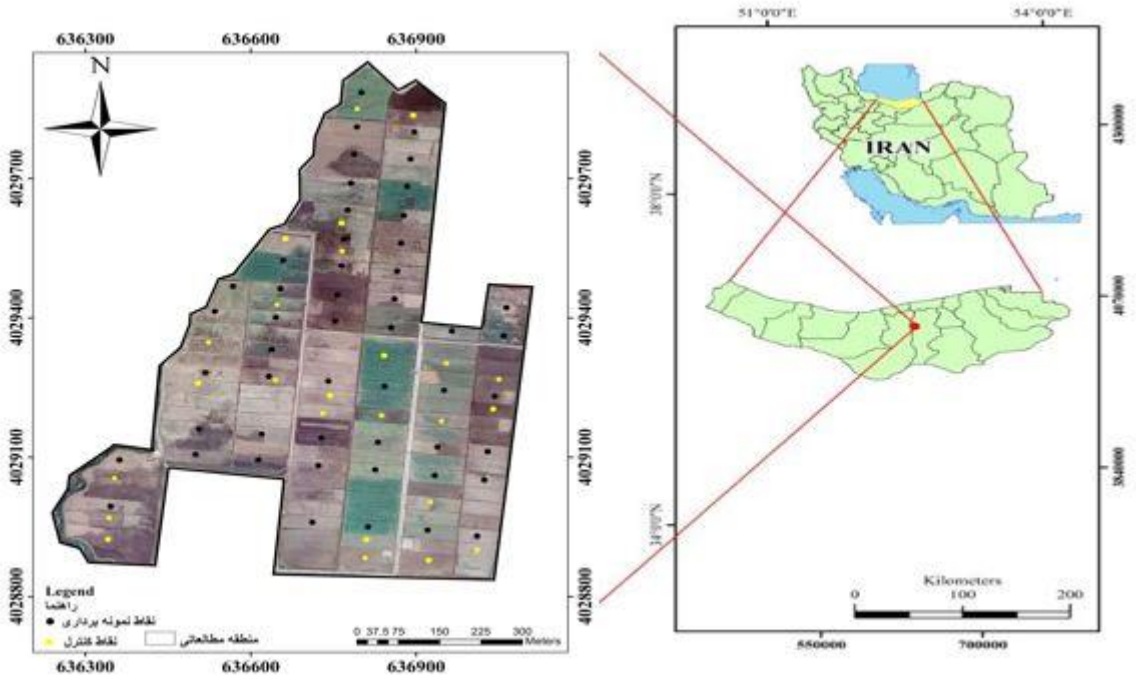
منطقه مورد مطالعه در بخشی از مزارع پژوهشی گل‌دشت آمل، معاونت مؤسسه تحقیقات برنج کشور، بین طول‌های جغرافیایی ″۳۰ ′۳۰ °۵۲ تا ″۳۰ ′۳۲ °۵۲ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ″۳۰ ′۲۳ °۳۶ تا ″۳۰ ′۲۴ °۳۶ شمالی و مساحتی بالغ بر ۷۲ هکتار واقع گردیده است (شکل۱). رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک، به‌ترتیب اکوئیک و یودیک، و ترمیک (Banai, 1998) و سیمای اراضی منطقه، دشت دامنه‌ای با شیب کمتر از ۱ درصد است. متوسط ارتفاع منطقه از سطح دریا، ۷۶ متر می‌باشد و کاربری اصلی آن، کشت آبی برنج می‌باشد.

جهت نیل به اهداف ذکر شده، تعداد ۵۰ نقطه مشاهداتی براساس الگوی نمونه‌برداری شبکه‌ای منظم با ابعاد ۷۰ در ۱۳۰ متر و ۲۵ نقطه کنترل مورد بررسی قرار گرفت که مدیریت زراعی در آن‌ها تقریباً شبیه بود. طول و عرض جغرافیایی نقاط مورد مطالعه توسط سیستم موقعیت‌یاب جهانی[۲] (GPS) تعیین شد. سپس از هر نقطه یک نمونه خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری تهیه شد. پس از هوا خشک کردن نمونه‌های خاک و عبور از الک

۱. Analytic Hierarchy Process; AHP

۲. Global Positioning System; GPS

دو میلی‌متری، درصد رس به روش هیدرومتری (Carter, 2000)، پتاسیم قابل استفاده به روش عصاره‌گیری با استات‌آمونیوم (Westerman, 1990)، فسفر قابل استفاده به روش بی کربنات‌سدیم (Olsen and Sommer, 1982)، ازت کل خاک به روش کجلدال (Bremner and Mulvaney, 1982)، درصد کربن آلی به روش والکی بلاک (Walkley and Black, 1934) و گنجایش تبادل کاتیونی با استفاده از روش استات سدیم (Bower *et al.*, 1952) اندازه‌گیری شدند. مجموعه ویژگی‌های خاک شامل مقدار رس، کربن آلی و گنجایش تبادل کاتیونی در افق سطحی توسط Dobermann and Oberthur (1997) و Sys *et al.* (1993) برای تعیین کیفیت حاصلخیزی ذاتی خاک استفاده شده است. بر این اساس مقدار رس، کربن آلی، فسفر و پتاسیم قابل استفاده، ازت کل و گنجایش تبادل کاتیونی به عنوان پارامترهای مؤثر در حاصلخیزی خاک اراضی شالیزاری منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شدند. به منظور اندازه‌گیری عملکرد، برداشت محصول در پلاتی به وسعت یک مترمربع به مرکزیت محل‌های نمونه‌برداری خاک انجام شد. این داده‌ها با عملکرد کل هر کرت مربوط به محل نمونه‌گیری صحت‌سنجی گردید.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری

جهت تهیه نقشه‌های فازی نیاز به توابع عضویت می‌باشد. مفهوم تابع عضویت از اهمیت ویژه‌ای در تئوری مجموعه‌های فازی برخوردار است؛ چرا که تمام اطلاعات مربوط به یک مجموعه فازی به وسیله تابع عضویت آن، توصیف و در تمام کاربردها و مسائل تئوری‌های فازی از آن استفاده می‌شود (Koorehpazan Dezfuli, 2005). در این مطالعه از دو نوع تابع عضویت S شکل (رابطه۱) و کندل (رابطه ۲) استفاده گردید.

(رابطه۱)

$$MF_X = \begin{cases} 0 & x \le a \\ 2\left[\frac{x-a}{b-a}\right]^2 & a < x \le \frac{a+b}{2} \\ 1-2\left[\frac{x-b}{b-a}\right]^2 & \frac{a-b}{2} \le x < b \\ 1 & x \ge b \end{cases}$$

در رابطه فوق MF تابع عضویت متغیر X، حدود a و b ارزش های بکار رفته برای هر یک از پارامترهای مورد مطالعه بوده و مقدار آن‌ها به ترتیب براساس حدود بحرانی و مطلوبیت پارامترها جهت کشت برنج مطابق با خصوصیات منطقه و بر اساس نظرات کارشناسان موسسه تحقیقات برنج کشور و بررسی منابع و پژوهش‌های انجام شده (Delsouz Khaki *et al.*, 2017; Dobermann and Oberthur, 1997; Dobermann and Fairhurst, 2000; Kavoosi and Malakoti, 2006) تعیین شدند (جدول۱). حد بحرانی عنصر غذایی در خاک عبارت است از مقدار قابل جذب آن عنصر به صورتی که در کمتر از آن حد احتمال پاسخ گیاه به مصرف کود زیاد می‌باشد و حد مطلوبیت حدی است که بیشتر از آن گیاه به غلظت عنصر مورد نظر، واکنش افزایش عملکرد نشان نمی‌دهد یا عکس‌العمل گیاه خیلی کم است یعنی

نیاز به افزایش کود در خاک نیست (Bagherzadeh *et al.*, 2018). در رابطه ۲، MF تابع عضویت متغیر X، b_1 و b_2 حدود آستانه بالایی و پایینی و d یک پارامتر تجربی بوده و عرض منطقه انتقالی تابع عضویت را مشخص می‌سازد. مقدار b و d برای استفاده در محاسبه توابع عضویت کندل هر یک از ویژگی‌های مطالعه شده خاک بر پایه پیشنهاد Dobermann and Oberthur (1997) و مشورت با کارشناسان خبره موسسه تحقیقات برنج کشور تعیین شدند (جدول۲). بر اساس جدول‌های (۱) و (۲) حاصلخیزی مطلوب برای کشت برنج زمانی حاصل خواهد شد که ازت (٪) ≤ ۰/۱۷، فسفر ($mg.kg^{-1}$) ≤ ۱۲، پتاسیم ($mg.kg^{-1}$) ≤ ۲۵۰، کربن آلی (٪) ≤ ۲، گنجایش تبادل کاتیونی ($cmol^{+}.kg^{-1}$) ≤ ۲۰ و رس (٪)≤ ۳۵ باشد.

(رابطه۲)

$$MF_X = \frac{1}{[1+(\frac{x-b_1}{d})^2]} \qquad x < b_1$$
$$MF_X = 1 \qquad b_1 \le x \le b_2$$
$$MF_X = \frac{1}{[1+(\frac{x-b_2}{d})^2]} \qquad x < b_2$$

جدول ۱- مقادیر a و b تعیین شده برای پارامترهای مؤثر در حاصلخیزی خاک برای تابع عضویت S شکل

ویژگی‌های خاک	a	b
ازت (%)	۰/۰۶	۰/۱۷
فسفر ($mg.kg^{-1}$)	۸	۱۲
پتاسیم ($mg.kg^{-1}$)	۲۰۰	۲۵۰
کربن آلی (%)	۰/۵	۲
گنجایش تبادل کاتیونی($cmol^{+}.kg^{-1}$)	۱۰	۲۰
رس (%)	۳	۳۵

جدول ۲- مقادیر b و d تعیین شده برای پارامترهای مؤثر در حاصلخیزی خاک برای تابع عضویت کندل

ویژگی‌های خاک	b	d
ازت (%)	۰/۱۷	۰/۰۲
فسفر ($mg.kg^{-1}$)	۱۲	۲
پتاسیم ($mg.kg^{-1}$)	۲۵۰	۱۲
کربن آلی (%)	۲	۰/۲۵
گنجایش تبادل کاتیونی ($cmol^{+}.kg^{-1}$)	۲۰	۲
رس (%)	۳۵	۳

در این پژوهش ابتدا نقشه اولیه برای هریک از پارامترهای مورد مطالعه با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ تهیه شده و سپس نقشه‌های فوق براساس توابع عضویت ذکر شده به نقشه‌های فازی تبدیل شدند. اساسی‌ترین شیوه سنجش در روش AHP، مقایسه دوتایی است که توسط ماتریس مقایسات دوتایی[۱] (PCM) انجام می‌گیرد. این شیوه از این جهت اهمیت دارد که پیچیدگی‌های مفهومی فرآیند تصمیم‌گیری را به‌دلیل آن‌که در هر زمان تنها دو مؤلفه را در نظر گرفته و مقایسه می‌کند، شدیداً کاهش می‌دهد. همچنین استفاده از نظرات چندین کارشناس به طور همزمان، امکان تعدیل اوزان را برای دستیابی به نسبت سازگاری قابل قبول ($CR^{۲} \le 0.10$) فراهم می‌آورد. با توجه به اینکه هر یک از ویژگی‌های خاک دارای تاثیر متفاوتی روی حاصلخیزی خاک هستند، اهمیت نسبی هر یک از ویژگی‌ها توسط کارشناسان و متخصصان مربوطه مورد مقایسه دوتایی قرار گرفت. برای این منظور، یک مقیاس ۹ نقطه‌ای که اقدام به درجه‌بندی نسبی ارجحیت‌ها برای دو ویژگی می‌کند، مورد استفاده قرارگرفت (Saaty and Vargas, 2001) (جدول۳).

پس از تهیه نقشه‌های فازی با استفاده از توابع عضویت کندل و S شکل برای هریک از پارامترها و وزن‌های بدست آمده از روش AHP، وزن پارامترها در نقشه فازی بدست آمده بر اساس رابطه ۳ (Zhao *et al.*, 2010) اعمال شده و از تلفیق آن‌ها در محیط GIS نقشه حاصلخیزی خاک برای گیاه برنج در منطقه مورد مطالعه تهیه شد (شکل۲).

(رابطه ۳)

$$\begin{cases} \mu_A(X) = f(x) = W_1.\mu_{A1} + \cdots + W_k.\mu_{AK} \\ \mu_A(X) = \sum_{j=1}^{k} W_j.\mu_{Aj(x)} \qquad x \in X \\ \sum_{j=1}^{k} W_j = 1 \qquad W_j > 0 \end{cases}$$

$\mu_A(X)$ تابع عضویت مربوط به هر یک از پارامترها و w وزن اختصاص داده شده به هر کدام از پارامترها است.

جدول ۳- مقیاس ۹ نقطه‌ای درجه‌بندی نسبی ارجحیت‌ها برای تولید ماتریس مقایسه‌ی جفت به جفت (Saaty and Vargas, 2001)

تعریف	شدت معیار
اهمیت یکسان	۱
اهمیت یکسان تا متوسط	۲
اهمیت متوسط	۳
اهمیت متوسط تا زیاد	۴
اهمیت زیاد	۵
اهمیت زیاد تا خیلی زیاد	۶
اهمیت خیلی زیاد	۷
اهمیت بسیار زیاد	۸
اهمیت فوق العاده	۹

برای ارزیابی و کنترل دقت نقشه‌های حاصلخیزی تهیه

۱. Pair Comparison Matrix; PCM

2. Consistency Ratio; CR

شده، نقاط کنترل به صورت تصادفی انتخاب و استفاده شد. لازم به ذکر است که تمام محاسبه‌های مورد نیاز برای انجام این تحقیق در محیط نرم افزار اکسل و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم افزار SPSS ver16 و پهنه‌بندی با استفاده از روش کریجینگ معمولی در محیط نرم‌افزاری Arc GIS 10.3 صورت گرفت.

نتایج و بحث

آماره‌های توصیفی ویژگی‌های خاک و عملکرد برنج

خلاصه برخی آماره‌های توصیفی ویژگی‌های مؤثر در حاصلخیزی خاک منطقه مورد مطالعه در جدول (۴) ارائه شده است. تغییرپذیری ویژگی‌های خاک را می‌توان از طریق بررسی ضریب تغییرپذیری[۱] (CV) آن‌ها بررسی نمود. بر اساس تقسیم‌بندی Wilding and Dress (1983) پارامتر ضریب تغییرات کمتر از ۱۵ درصد، تغییرپذیری کم، ۱۵ تا ۳۵ درصد تغییرپذیری متوسط و بیش‌تر از ۳۵ درصد تغییرپذیری بالا را نشان می‌دهند. بر این اساس، درصد رس، گنجایش تبادل کاتیونی و ازت کل دارای تغییرپذیری کم، کربن آلی، پتاسیم قابل استفاده و عملکرد دارای تغییرپذیری متوسط و فسفر قابل استفاده دارای تغییرپذیری زیاد می‌باشد. ضریب تغییرات بالای فسفر قابل استفاده را می‌توان به تحرک پایین این عنصر و در نتیجه تغییرات موضعی آن مرتبط ساخت (MahmoudSoltani *et al.*, 2017). Zhao *et al.* (2010) در پژوهشی بیان کردند که بالا بودن ضریب تغییرات در متغیرهای حاصلخیزی خاک نشان دهنده تغییرات مکانی شدید است و در این شرایط استفاده از یک الگوی مناسب در مصرف کود می‌تواند در بهبود عملکرد، مؤثر باشد. ShakouriKatigari *et al.* (2019) کمترین ضریب تغییرات را برای گنجایش تبادل کاتیونی (۸ درصد) و رس (۷ درصد) و Liu *et al.* (2014) بیش‌ترین ضریب تغییرات را برای فسفر قابل استفاده (۷۴ درصد) در اراضی شالیزاری گزارش کردند. کربن آلی به دلیل توانایی در تأمین، نگهداری و آزادسازی مواد غذایی و اصلاح خصوصیات فیزیکی خاک نقش حیاتی برروی رشد و نمو گیاه بازی می‌کند (Li *et al.*, 2007). در منطقه مورد بررسی به دلیل انجام عملیات تجهیز، نوسازی و یکپارچه‌سازی اراضی و به دنبال آن عدم بازگشت مناسب خاک سطحی و همچنین کاشت گیاه پر توقع ذرت دانه ای به مدت طولانی و خروج کاه در پایان هر فصل زراعی مقدار میانگین کربن آلی خاک کمتر از ۱/۵ درصد است. بررسی مقادیر گنجایش تبادل کاتیونی در شالیزارهای منطقه نشان از مقادیر قابل توجه‌ی آن دارد. Doberman and Oberthur (1997) گنجایش تبادل کاتیونی مناسب برای کشت برنج را بیشتر از $20\ cmol^{+}.kg^{-1}$ دانستند. Owliaie and Najafi (2012) در مطالعه خاک‌های شالیزاری یاسوج بیان نمودند که کشت طولانی مدت برنج موجب افزایش رس، کربن آلی و گنجایش تبادل کاتیونی شده است. میانگین فسفر قابل استفاده ۲۵/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم در شالیزارهای منطقه می‌تواند به دلیل مصرف مستمر کود فسفاته توسط شالیکاران در فصل زراعی و بی‌تحرکی این عنصر در خاک باشد. MahmoudSoltani *et al.* (2017) در پژوهشی به بررسی شکل‌های مختلف فسفر در خاک‌های شالیزاری شهرستان صومعه‌سرا پرداختند. آن‌ها بیان کردند که علت بالا بودن فسفر قابل استفاده در بیشتر خاک‌های مطالعه شده را می‌توان به کودهی مستمر و بی‌تحرکی فسفر در خاک نسبت داد که باعث افزایش مقدار فسفر ذاتی خاک در این مناطق می شود. میانگین عملکرد برنج ۳/۹۸ تن بر هکتار و دامنه تغییرات آن بین ۲/۸۲ و ۶/۶ تن در هکتار است. تغییرات در عملکرد تابعی از خصوصیات ژنتیکی گیاه، شرایط اقلیمی، ویژگی‌های خاک و عوامل مدیریت زراعی است. مجموعه این عوامل مختلف و اثرات متقابل آن‌ها منجر به تغییرپذیری عملکرد برنج در اراضی شالیزاری می‌گردد. تغییرات در عملکرد تابعی از خصوصیات ژنتیکی گیاه، شرایط اقلیمی، ویژگی‌های خاک و عوامل مدیریت زراعی است. مجموعه این عوامل مختلف و اثرات متقابل آن‌ها منجر به تغییرپذیری عملکرد برنج در اراضی شالیزاری می‌گردد.

جدول ۴- برخی ویژگی‌های آماری پارامترهای مؤثر در حاصلخیزی خاک

پارامتر	میانگین	حداقل	حداکثر	ضریب تغییرات (درصد)
ازت (%)	۰/۱۳	۰/۰۹	۰/۱۹	۱۳
فسفر ($mg.kg^{-1}$)	۲۵/۱	۲/۲	۸۰/۴	۸۲
پتاسیم ($mg.kg^{-1}$)	۳۱۲/۹	۱۶۸/۰	۴۴۵/۰	۱۸
کربن آلی (%)	۱/۴	۱/۰	۲/۰	۱۶
گنجایش تبادل کاتیونی ($cmol^{+}.kg^{-1}$)	۳۶/۶	۲۹/۰	۴۳/۰	۷
رس (%)	۵۴/۱	۴۸/۰	۶۲/۰	۶
عملکرد ($ton.ha^{-1}$)	۳/۹۸	۲/۸۲	۶/۶۰	۲۶

تهیه نقشه حاصلخیزی خاک و عملکرد

با توجه به مقادیر حداقل فسفر و پتاسیم قابل استفاده (جدول۴) و مقادیر حد بحرانی آن‌ها (جدول۱) به نظر می‌رسد قسمت‌هایی از منطقه مورد مطالعه از نظر حاصلخیزی خاک دچار مشکل باشند. بنابراین با تهیه نقشه حاصلخیزی خاک منطقه، این نواحی مشخص خواهد شد و با ارائه گروه‌های حاصلخیزی مشخص، در

۱. coefficient of variation; CV

مدیریت تغذیه گیاه و خاک مفید خواهد بود. برای این منظور با استفاده از کریجینگ در محیط GIS، نقشه درون‌یابی پارامترها تهیه شد. کریجینگ به‌عنوان بهترین تخمین‌گر خطی نااریب شناخته شده است که می‌تواند اثر داده‌های پرت را کاهش دهد (Tesfahunegn *et al.*, 2011). در پژوهشی Kazemi *et al.* (2012) تغییرات مکانی مقادیر ازت کل، فسفر و پتاسیم قابل استفاده در اراضی کشاورزی استان گلستان را مورد ارزیابی قرار دادند، نتایج به‌دست آمده حاکی از آن است که روش کریجینگ بهترین الگو برای تخمین ازت کل، فسفر و پتاسیم قابل استفاده در این منطقه می‌باشد. سپس با اعمال روابط ۱ و ۲ (توابع عضویت S شکل و کندل) بر پارامترهای مورد مطالعه نقشه‌های فازی آن‌ها به‌طور جداگانه تهیه گردید (با توجه به محدودیت حجم مقاله، این نقشه‌ها ارائه نشده است).

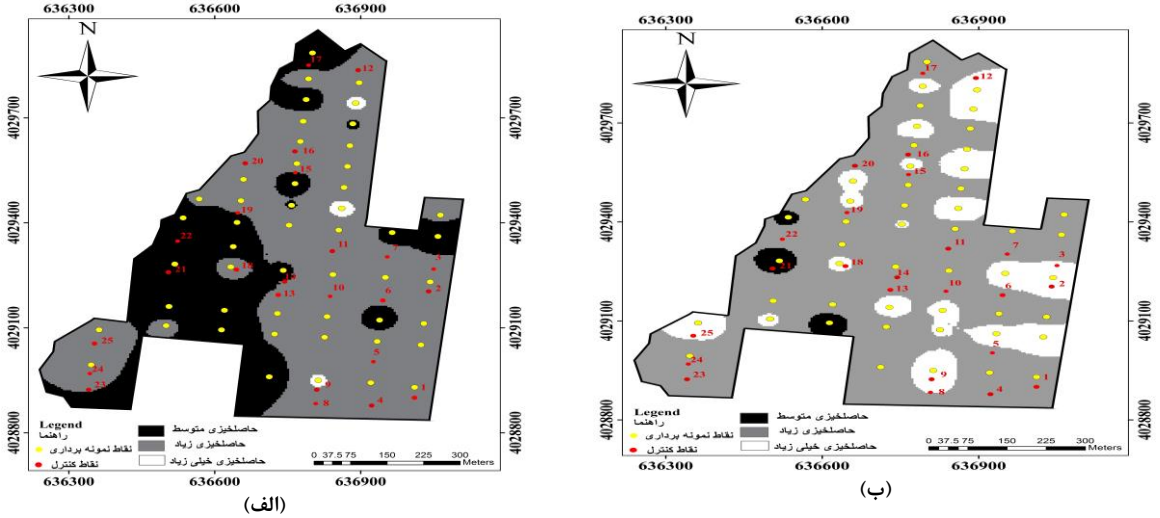
در این مرحله نقشه‌های فازی پارامترهای مورد بررسی، بر اساس درجه اهمیت و تاثیرشان بر حاصلخیزی با استفاده از نظرات کارشناسان و متخصصان با روش AHP وزن دهی شدند. جدول (۵) ماتریس مقایسات جفت به جفت به همراه وزن معیارهای مؤثر در حاصلخیزی برای برنج در روش AHP را نشان می‌دهد. اوزان بدست آمده نشان می‌دهد که رس، گنجایش تبادل کاتیونی و مقدار کربن آلی از اثرگذارترین خصوصیات حاصلخیزی بر تولید برنج در منطقه مطالعاتی هستند. یکی از ویژگی‌های روش AHP، تعیین مقدار عددی سازگاری قضاوت‌ها است. نسبت سازگاری (CR) محاسبه شده در این پژوهش، ۰/۰۳ بدست آمد. هرگاه نسبت سازگاری مساوی و کمتر از ۰/۱ باشد، سازگاری قابل قبول و معقولی در مقایسات جفت به جفت وجود دارد (Ozturk and Batuk, 2010) بنابراین مقایسه‌های انجام شده از سازگاری منطقی برخوردار هستند. Dengiz *et al.* (2015) در مطالعات خود جهت تعیین تناسب اراضی برای کشت برنج با استفاده از روش Fuzzy-AHP بیشترین وزن را برای مقدار رس و کربن آلی خاک و نسبت سازگاری را ۰/۰۹ بدست آوردند.

جدول ۵- ماتریس مقایسات جفت به جفت و وزن مربوط به معیارها

پارامتر	ازت (٪)	فسفر ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم ($mg.kg^{-1}$)	گنجایش تبادل کاتیونی ($cmol^{+}.kg^{-1}$)	رس (٪)	کربن آلی (٪)	وزن
ازت (٪)	۱	۱/۳	۱/۳	۱/۴	۱/۴	۱/۲	۰/۰۶۰
فسفر ($mg.kg^{-1}$)	۳	۱	۱	۱/۳	۱/۳	۱/۲	۰/۱۰۹
پتاسیم ($mg.kg^{-1}$)	۳	۱	۱	۱/۳	۱/۳	۱/۲	۰/۱۰۹
گنجایش تبادل کاتیونی ($cmol^{+}.kg^{-1}$)	۴	۳	۳	۱	۱	۱	۰/۲۵۸
رس (٪)	۴	۳	۳	۱	۱	۱	۰/۲۵۸
کربن آلی (٪)	۲	۲	۲	۱	۱	۱	۰/۲۰۶

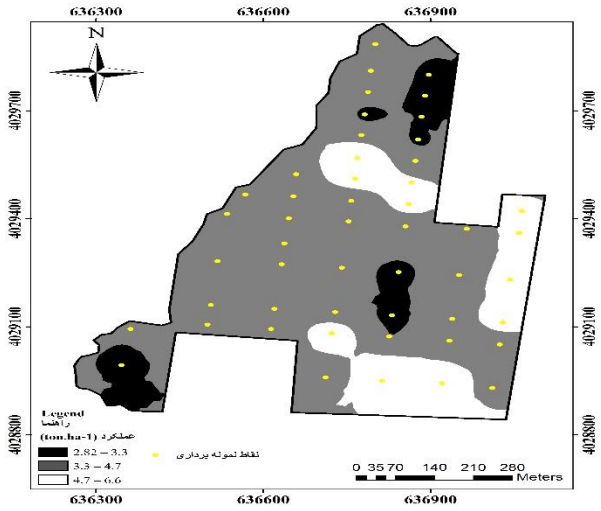
در نهایت لایه‌ها از طریق رابطه ۳ با یکدیگر تلفیق شده و نقشه نهایی حاصلخیزی خاک با استفاده از توابع عضویت S شکل و کندل تهیه شدند (شکل ۲). تغییرات رنگ از سفید به سیاه نشان دهنده تغییر حاصلخیزی خیلی زیاد به متوسط جهت کشت برنج می‌باشد. بر طبق نتایج بدست آمده با استفاده از تابع عضویت کندل، حدود ۴۶/۳۲ درصد از خاک منطقه مورد مطالعه دارای حاصلخیزی متوسط، ۵۱/۶۸ درصد دارای حاصلخیزی زیاد و ۲ درصد دارای حاصلخیزی خیلی زیاد و با استفاده از تابع عضویت S شکل، حدود ۴/۲۷ درصد از خاک منطقه مورد مطالعه دارای حاصلخیزی متوسط، ۸۰/۶۸ درصد دارای حاصلخیزی زیاد و ۱۵/۰۵ درصد دارای حاصلخیزی خیلی زیاد برای کشت برنج هستند. نقشه عملکرد برنج در منطقه مورد مطالعه در شکل (۳) ارائه شده است. طبق نتایج بدست آمده اکثریت منطقه دارای میانگین عملکرد ۴ تن در هکتار می‌باشد. همچنین بالاترین مقادیر عملکرد به صورت پراکنده در بخش‌های شرقی و جنوب شرقی مزرعه به ثبت رسیده است که در این بخش‌ها کشاورزانی با مدیریت زراعی خوب و توانمند کشت و زرع می‌نمایند. در قسمت میانی و جنوب غربی منطقه به دلیل ایجاد شرایط غرقاب و تهویه نامناسب و در قسمت شمالی منطقه به دلیل عملیات تجهیز و نوسازی نامناسب (عدم بازگرداندن خاک سطحی) و عمق کم خاک اثرات موضعی مخربی بر روی عملکرد داشته و نتایج نشان می دهد که در این مناطق مقدار عملکرد کمتر از ۳/۳ تن در هکتار می‌باشد. مقایسه چشمی[۱] نقشه عملکرد منطقه با نقشه های فازی، نشان از همخوانی بیشتر نقشه عملکرد با نقشه حاصلخیزی بدست آمده با تابع عضویت S شکل دارد.

۱. Visual interpretation



(الف) (ب)

شکل ۲- نقشه حاصلخیزی خاک با استفاده از توابع عضویت (الف)؛ کندل. (ب)؛ S شکل



شکل ۳- نقشه عملکرد برنج در منطقه مورد مطالعه

مقایسه دو روش فازی تهیه نقشه حاصلخیزی خاک با استفاده از نقاط کنترل

از آنجاییکه نوع تابع عضویت یکی از پارامترهای تاثیرگذار بر ارزیابی حاصلخیزی خاک با استفاده از منطق فازی می‌باشد، لذا یکی ازاهداف این مطالعه مقایسه دو تابع عضویت کندل و S شکل می‌باشد که بتوان به کمک نتایج حاصله با انتخاب تابع عضویت مناسب، دقت و صحت روش ارزیابی حاصلخیزی خاک مبتنی بر نظریه مجموعه های فازی را بالا برد. مقایسه نقشه‌های به‌دست آمده از دو نوع تابع عضویت فازی S شکل و کندل نشان می‌دهد که این دو نقشه همپوشانی زیادی باهم ندارند. به منظور بررسی کارآیی و دقت نقشه‌ها، ۲۵ نمونه خاک با پراکنش جغرافیایی مناسب در کل منطقه مورد مطالعه تهیه شدند (شکل ۲). برای کنترل دقت نقشه‌ها، پارامترهای مورد نظر در حاصلخیزی خاک در این پژوهش در نمونه‌های مجدد برداشته شده، اندازه‌گیری شدند که نتایج در جدول (۶) ارائه شده است. مقدار فازی هر پارامتر با استفاده از توابع عضویت کندل و S شکل (رابطه ۱ و ۲) تعیین شده و با اعمال وزن هر پارامتر در مقدار فازی آن، عدد فازی نمونه از طریق رابطه ۴ محاسبه شد (Mokarram and Bardideh, 2013). سپس گروه‌های حاصلخیزی نمونه با توجه به جدول (۷) مشخص گردیده و با نقشه‌های فازی حاصل از دو نوع تابع عضویت (شکل ۲) مقایسه شد. از ۲۵ نقطه کنترل، ۹ نقطه با گروه‌های حاصلخیزی نقشه فازی تابع S شکل و ۱۵ نقطه با گروه‌های حاصلخیزی نقشه فازی تابع کندل تطابق نداشت. بنابراین با توجه به تعداد نقاطی که گروه‌های حاصلخیزی

نقشه‌های فازی را تایید می‌کند، دقت نقشه به‌دست آمده از تابع S شکل، ۶۴ درصد و با استفاده از تابع کندل، ۴۰ درصد می‌باشد. بنابراین نقشه حاصلخیزی تهیه شده با استفاده از تابع عضویت Sشکل با واقعیت تطابق بیشتری دارد که با نتایج Zhao *et al.* (2010)، Davatgar *et al.* (2012) و Salehi *et al.* (2013) هماهنگی دارد. Seyed Mohammadi *et al.* (2016) در مطالعه‌ای به بررسی حاصلخیزی خاک نواحی مرکزی استان گیلان برای برنج پرداختند و نشان دادند که دقت نقشه به‌دست آمده با استفاده از توابع S شکل حدود ۸۷ درصد و با استفاده از روش بولین ۶۰ درصد بوده است. Momtaz and Servati (2017) در مقایسه سه تابع عضویت کندل، کوچی و ذوزنقه‌ای در ارزیابی تناسب اراضی بخشی از استان مازندران برای برنج دریافتند که همبستگی بین شاخص اراضی و عملکرد مشاهده شده در سطح منطقه، برای نظریه مجموعه‌های فازی با تابع عضویت کندل (۰/۹۸) بیشتر از توابع کوچی (۰/۷۵) و ذوزنقه‌ای (۰/۷۹) بود و اختلاف نسبتاً زیاد ضریب همبستگی محاسبه شده، نشان از دقت بالای تابع عضویت کندل دارد. Sarmadian and Keshavarzi (2014) به منظور ارزیابی و تعیین حاصلخیزی خاک برای کشت گندم در منطقه کوهین استان قزوین، از سامانه هیبرید فازی-تحلیل سلسله مراتبی استفاده کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که نتایج حاصل از روش فازی برای تعیین حاصلخیزی خاک با واقعیت نزدیکتر است و به لحاظ حاصلخیزی برای کشت گندم، بیشتر وسعت منطقه در کلاس متوسط حاصلخیزی قرار دارد.

(رابطه ۴)

عددفازی) =۰/۰۶ × مقدار فازی ازت کل) + (۰/۱۰۹× مقدار فازی پتاسیم قابل دسترس) + (۰/۱۰۹× مقدار فازی فسفر قابل دسترس+ (۰/۲۵۸× مقدار فازی رس) + (۰/۲۰۶× مقدار فازی کربن آلی) + (۰/۲۵۸ × مقدار فازی گنجایش تبادل کاتیونی)

جدول ۶- ارزیابی نقشه‌های دو روش فازی با استفاده از نقاط کنترل

نمونه خاک	ازت (٪)	فسفر ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم ($mg.kg^{-1}$)	کربن آلی (٪)	گنجایش تبادل کاتیونی ($cmol^{+}.kg^{-1}$)	رس (٪)	نقشه فازی S شکل			نقشه فازی کندل		
							عدد فازی	گروه حاصلخیزی	همخوانی با نقشه	عدد فازی	گروه حاصلخیزی	همخوانی با نقشه
۱	۰/۱۴	۱۱	۲۳۷	۱/۲۵	۳۹	۵۶	۰/۸۱	زیاد	دارد	۰/۶۹	متوسط	ندارد
۲	۰/۱۳	۱۰/۴	۲۱۹	۱/۴۴	۳۴	۵۳	۰/۸۰	زیاد	ندارد	۰/۶۸	متوسط	ندارد
۳	۰/۱۱	۶۵/۸	۲۸۶	۱/۱۵	۳۷	۵۶	۰/۹۱	خیلی زیاد	دارد	۰/۶۶	متوسط	ندارد
۴	۰/۱۴	۳۳/۶	۳۰۲	۱/۴۴	۴۰	۵۶	۰/۸۹	خیلی زیاد	دارد	۰/۷۸	زیاد	دارد
۵	۰/۱۲	۵۲/۶	۳۵۶	۱/۴۸	۲۷	۴۹	۰/۸۹	زیاد	دارد	۰/۷۴	متوسط	ندارد
۶	۰/۱۴	۵/۴	۲۸۰	۱/۳۲	۳۹	۵۸	۰/۷۶	زیاد	دارد	۰/۶۷	متوسط	ندارد
۷	۰/۱۴	۲۶/۴	۳۰۹	۱/۶۳	۳۶	۵۲	۰/۹۵	خیلی زیاد	ندارد	۰/۷۰	متوسط	ندارد
۸	۰/۰۹	۷۱	۴۰۱	۱/۴۴	۳۴	۵۴	۰/۸۳	زیاد	دارد	۰/۷۴	متوسط	ندارد
۹	۰/۱۶	۱۲/۳	۴۰۱	۱/۶۳	۳۹	۵۶	۰/۹۶	خیلی زیاد	دارد	۰/۸۴	زیاد	دارد
۱۰	۰/۱۴	۱۲/۱	۴۰۱	۱/۴۴	۳۴	۵۴	۰/۹۶	خیلی زیاد	ندارد	۰/۶۹	متوسط	ندارد
۱۱	۰/۰۹	۶/۱	۳۰۹	۰/۹۷	۳۷	۵۶	۰/۷۶	زیاد	دارد	۰/۶۵	متوسط	ندارد
۱۲	۰/۱۲	۱۹/۱	۲۸۶	۱/۲۶	۳۷	۵۸	۰/۸۳	زیاد	ندارد	۰/۷۶	زیاد	دارد
۱۳	۰/۱۳	۱۴	۳۳۲	۱/۲۶	۳۱	۵۱	۰/۸۴	زیاد	دارد	۰/۷۶	زیاد	دارد
۱۴	۰/۱۲	۱۲/۳	۴۳۰	۱/۱۹	۳۶	۴۸	۰/۸۹	زیاد	دارد	۰/۷۶	زیاد	دارد
۱۵	۰/۱۴	۱۲/۱	۴۰۱	۱/۴۴	۳۴	۵۴	۰/۹	زیاد	دارد	۰/۷۷	زیاد	ندارد
۱۶	۰/۱۵	۵۵/۹	۳۵۶	۱/۶۲	۳۵	۴۸	۰/۹۵	خیلی زیاد	ندارد	۰/۸۲	زیاد	دارد
۱۷	۰/۰۹	۷۱	۴۰۱	۱/۰۰	۴۳	۵۶	۰/۸	زیاد	دارد	۰/۵۶	متوسط	دارد
۱۸	۰/۱۳	۴۵/۱	۳۳۲	۱/۳۷	۲۹	۴۹	۰/۹۱	خیلی زیاد	دارد	۰/۷۷	زیاد	دارد
۱۹	۰/۱۶	۲۰/۴	۳۰۹	۱/۶۶	۳۷	۵۶	۰/۹۶	خیلی زیاد	ندارد	۰/۷۶	زیاد	ندارد
۲۰	۰/۱۲	۱۸	۳۰۹	۰/۴	۳۷	۵۲	۰/۷۷	زیاد	دارد	۰/۷۴	متوسط	ندارد
۲۱	۰/۱۱	۶/۳	۲۶۳	۱/۱۹	۴۰	۶۰	۰/۷۴	متوسط	دارد	۰/۶۶	متوسط	دارد
۲۲	۰/۱۴	۱۳/۶	۴۰۵	۱/۴۸	۳۶	۵۲	۰/۸۹	زیاد	دارد	۰/۷۰	متوسط	دارد
۲۳	۰/۱۸	۱۲/۲	۳۰۹	۱/۸۴	۳۹	۵۸	۰/۹۹	خیلی زیاد	ندارد	۰/۹۳	خیلی زیاد	ندارد
۲۴	۰/۱۹	۶۵/۸	۴۰۵	۱/۹۴	۳۶	۵۲	۰/۹۹	خیلی زیاد	ندارد	۰/۶۳	متوسط	ندارد
۲۵	۰/۰۷	۱۳/۶	۲۱۹	۰/۵۹	۳۶	۵۴	۰/۶۶	متوسط	ندارد	۰/۶۵	متوسط	ندارد

جدول ۷- گروه‌های حاصلخیزی خاک و عدد فازی آن‌ها (Bardideh and Mokarram, 2013)

عدد فازی	گروه حاصلخیزی
۰ - ۰/۲۵	حاصلخیزی خیلی کم
۰/۲۵ – ۰/۵	حاصلخیزی کم
۰/۵ – ۰/۷۵	حاصلخیزی متوسط
۰/۷۵ – ۰/۹	حاصلخیزی زیاد
۰/۹ – ۱	حاصلخیزی خیلی زیاد

مقایسه میانگین پارامترهای مؤثر در حاصلخیزی خاک

مقایسه میانگین پارامترهای مؤثر در تهیه نقشه فازی تابع S شکل در گروه‌های حاصلخیزی و مقادیر حد بحرانی (a) و حد مطلوبیت (b) تابع عضویت در شکل (۴) ارائه شده است.

فسفر و پتاسیم قابل استفاده

میانگین گروه با حاصلخیزی متوسط و زیاد در پارامترهای فسفر و پتاسیم قابل استفاده از حد بحرانی بیشتر است؛ بنابراین در صورت اضافه نشدن کود، کاهش عملکرد شدید رخ نخواهد داد؛ ولی چون مقادیر میانگین از حد مطلوبیت کمتر است، افزایش کود می‌تواند تاثیر محسوسی در افزایش عملکرد داشته باشد (Dobermann and Fairhurst, 2000; Kweon, 2012). میانگین گروه با حاصلخیزی خیلی زیاد در مورد پارامترهای فسفر و پتاسیم قابل استفاده، از حد مطلوبیت بیشتر بوده بنابراین اضافه شدن کود نه تنها در افزایش عملکرد برنج در این گروه تاثیر نخواهد داشت، بلکه سبب افزایش هزینه تولید و مشکلات زیست محیطی می‌شود. با افزایش طول دوره غرقاب و کشت و کار مستمر و طولانی برنج و همچنین خشک و مرطوب شدن فصلی، میزان پتاسیم قابل استفاده خاک می‌تواند کاهش یابد (Olde Venterink, 2002). بالا بودن میزان فسفر خاک می‌تواند با مقادیر زیاد کربن آلی و حفظ فسفر خاک و همچنین استفاده نامتعارف از کودهای فسفره مرتبط باشد (Wu and Tiessen, 2002).

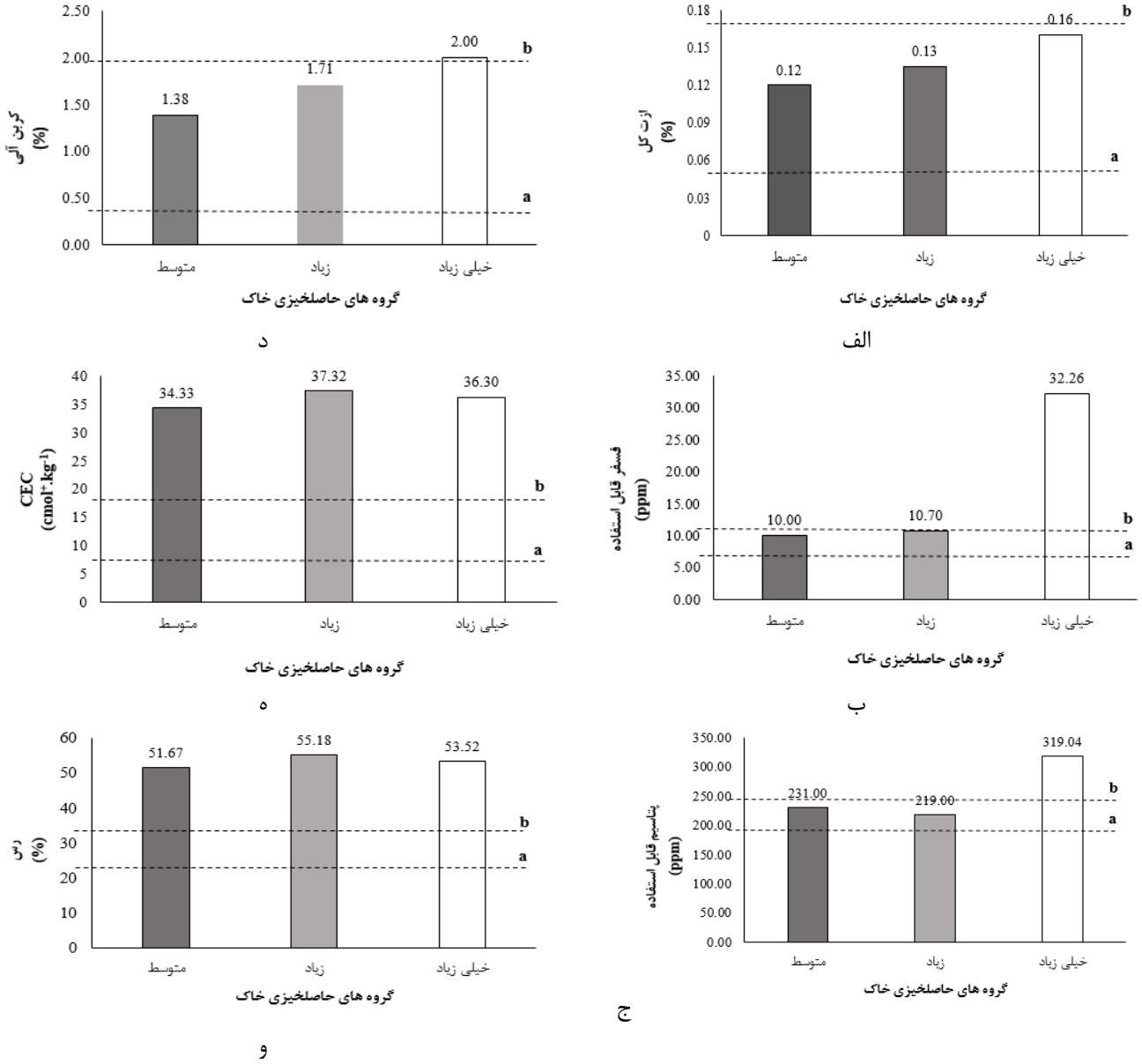
ازت و کربن

مقادیر میانگین ازت کل و کربن آلی در گروه‌های با حاصلخیزی متوسط و زیاد از حد بحرانی بیشتر است. در گروه حاصلخیزی خیلی زیاد، مقادیر میانگین ازت کل از حد مطلوبیت کمتر و در مورد کربن آلی برابر با حد مطلوبیت است؛ بنابراین اگر مواد آلی و کود ازت به خاک اضافه شود، در افزایش عملکرد محصول برنج تأثیر محسوسی خواهد داشت. اضافه شدن مواد آلی در خاک بر عملکرد محصول مؤثر خواهد بود و با توجه به رابطه کربن آلی با ازت کل و فسفر قابل استفاده در جبران کمبود آن‌ها نیز اثر مثبت خواهد داشت. از دلایل عمده افزایش کربن آلی در خاک می‌توان به عملیات گل خرابی در اراضی شالیزاری اشاره نمود که با برقراری شرایط غیرهوازی در خاک منجر به کندشدن تجزیه‌ی ماده آلی می‌شود. نقشه حاصلخیزی خاک منطقه (شکل۲) و نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که برخی قسمت‌های منطقه از نظر حاصلخیزی دچار کمبود می‌باشند که می‌تواند باعث محدودیت رشد برنج و نهایتا افت عملکرد در منطقه مورد مطالعه شود. از جمله دلایلی که باعث تغییرات غلظت ازت در خاک‌ها می‌شود، می‌توان به ماهیت این عنصرغذایی اشاره کرد. از آنجایی که منبع تامین ازت در خاک‌ها (بارندگی، ماده آلی، کودهای حیوانی و شیمیایی، بقایای محصول اعم از ریشه و کلش، تثبیت توسط باکتری‌های همزیست و موجودات غیرهمزیست) بسیار متفاوت و فراوان است، نیاز بالای گیاه به این عنصر و هدر رفت آن از طریق آبشویی و تصعید می‌تواند باعث کاهش ازت در اراضی شالیزاری شود (ShakouriKatigari *et al*., 2019).

رس و گنجایش تبادل کاتیونی

مقادیر میانگین رس و گنجایش تبادل کاتیونی در تمام گروه‌های حاصلخیزی، بیشتر از مقادیر حد بحرانی و مطلوبیت است (شکل ۴)؛ بنابراین از نظر حاصلخیزی، کمبودی برای کشت برنج در منطقه ایجاد نمی‌کنند. هرچندکه مقدار رس و گنجایش تبادل کاتیونی از جمله ویژگی‌های مؤثر بر حاصلخیزی ذاتی خاک هستند که بر نگهداری و عرضه عناصر غذایی برای گیاه نقش مهمی را ایفا می‌کنند؛ اما تغییر در این ویژگی‌ها به کندی رخ می دهد و کشت متمرکز برنج می‌تواند کمتر تحت تاثیر آن‌ها قرار بگیرد (Delsouz Khaki *et al*., 2015). در برخی مطالعات عواملی چون حضور ذرات معلق ریزدانه در آب آبیاری و تجزیه و تخریب بیش‌تر ناشی از عملیات گل‌خرابی، از دلایل افزایش رس و سنگین تر شدن بافت خاک شالیزاری ذکر شده است (Cheng *et al*., 2009).

با توجه به توضیحات ارائه شده مشخص می‌شود که تابع فازی S شکل با ارائه یک نقشه با دقت قابل قبول و گروه‌های حاصلخیزی مناسب، یک راهکار برای مدیریت مناسب تغذیه خاک و گیاه ارائه می‌نماید. کوئن (2012) Kweon و Seyed Mohammadi *et al*. (2016) بیان داشتند که تفکیک یک منطقه از نظر حاصلخیزی به چندین گروه باعث می‌شود که نواحی دارای کمبود شناسایی شده و مدیریت تغذیه گیاه تسهیل شود.



شکل ۴- مقایسه میانگین پارامترها در گروه‌های حاصلخیزی خاک. نقشه فازی S شکل (a: حد بحرانی، b: حد مطلوبیت)
(الف): ازت کل، (ب): فسفر قابل‌استفاده، (ج): پتاسیم قابل‌استفاده، (د): کربن آلی، (ه): گنجایش تبادل کاتیونی، (و): رس.

نتیجه‌گیری

روش‌های نوین فازی پدیده‌ای مهم در کشاورزی دقیق بوده و توانایی تبیین تغییرات مکانی متغیرهای مؤثر بر رشد و نمو گیاهان زراعی را داشته و با تولید و طبقه‌بندی نقشه‌های حاصلخیزی خاک براساس پارامترهای مؤثر بر تولید اقتصادی گیاهان به‌صورت پهنه‌هایی با تفاوت‌های ساختاری مشخص و قابل مدیریت، تاثیر فراوانی در ارتقا سطح کیفی و کمی تولیدات کشاورزی ایفا می‌کند. از سوی دیگر نقشه حاصلخیزی خاک نیز به عنوان یکی از ابزارهای مهم برای تغذیه متعادل عناصر غذایی محسوب می‌شود. در این پژوهش پارامترهای مؤثر بر حاصلخیزی خاک شالیزاری شامل کربن آلی، ازت کل، فسفر و پتاسیم قابل استفاده، درصد رس و گنجایش تبادل کاتیونی برای تهیه نقشه حاصلخیزی خاک جهت کشت برنج استفاده شدند. با توجه به مقادیر حداقل برخی پارامترهای مورد مطالعه در این پژوهش که از حد بحرانی کمتر است، به نظر می‌رسد که برخی از نواحی منطقه از نظر حاصلخیزی دچار مشکل باشد که می‌تواند باعث محدودیت رشد برنج و نهایتا افت عملکرد در منطقه مورد مطالعه شود. نقشه‌های حاصلخیزی به دست آمده از توابع عضویت S شکل و کندل نشان می‌دهد که به ترتیب ۹۵/۷۳ و ۵۳/۶۸ درصد از منطقه مورد مطالعه دارای حاصلخیزی زیاد و خیلی زیاد

می‌باشد. نتایج حاصل از روش فازی S شکل با توجه به پارامترهای مورد مطالعه با واقعیت تطابق بیشتری دارد؛ زیرا نقشه فازی S شکل از ۲۵ نقطه کنترل مورد استفاده برای بررسی دقت نقشه، با ۱۶ نقطه تطابق داشته در صورتی که نقشه بدست آمده با روش فازی کندل فقط با ۱۰ نقطه تطابق داشت. همچنین مقایسه چشمی نقشه عملکرد محصول با نقشه حاصلخیزی بدست آمده با روش فازی S شکل نشان از همخوانی بیشتر آن‌ها دارد. بنابراین می‌توان اذعان داشت که تلفیق AHP با تابع عضویت فازی S شکل در محیط GIS می‌تواند با دقت قابل قبولی وضعیت حاصلخیزی منطقه مورد مطالعه را به صورت کمی و طبقه‌بندی شده ارائه کرده و برای مدیریت مصرف کود و پایش تغییرات تغذیه‌ای خاک مفید واقع شود. این نقشه‌ها می‌تواند راهنمای خوبی برای مدیران و بهره‌برداران کشاورزی در راستای مدیریت مزرعه با نرخ متغیر و متناسب با شرایط خاک و به طور ویژه مکانی باشد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Aama Azghadi, A., Khorassani, R., Mokarram, R. and Moezi, A. (2010). Soil fertility evaluation based on soil K, P and organic matter factors for wheat by using fuzzy logic-AHP and GIS techniques. *Journal of Water and Soil*, *24*(5), 973-984. (In Farsi)

Aishah, A.W., Zauyah, S., Anuar, A. R. and Fauziah, C.I. (2010). Spatial variability of selected chemical characteristic of paddy soils in Sawash Sempadon, Selangor, Malaysia. *Malaysian Journal of Soil Science*, *14*, 27-39.

Ali, A.M.S. (2003). Farmers knowledge of soils and the sustainability of agriculture in a saline water ecosystem in southwestern Bangladesh. *Geoderma*, *111*, 333-353

Bagherzadeh, A., Gholizadeh, A. and Keshavarzi, A. (2018). Assessment of soil fertility index for potato production using integrated Fuzzy and AHP approaches, northeast of Iran. *Eurasian Journal of Soil Science*, *7*(3), 203-212.

Banai, M.H. (1998). A map of the soil and moisture regime of Iranian soils. Soil and water research institute, Tehran. (In Farsi)

Barrera-Bassols, N., Zinck, J. and Van Ranst, E. (2006). Symbolism, knowledge a management of soil and land resources in indigenous communities: Ethnopedology at global, regional and local scales. *Catena*, *65*(2), 118-137.

Beckford, C. and Barker, D. (2007). The role and value of local knowledge in Jamaican agriculture: adaption and change in small-scale farming. *Geographical Journal*, *173*(2), 118-128.

Bouman, B.A., Barker, R., Humphreys, E., Tuong, T.P., Atlin, G., Bennett, J. and Fujimoto, N. (2007). Rice: feeding the billions (No. 612-2016-40554).

Bower, C.A., Reitemeier, R.F. and Fireman, M. (1952). Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil Science*, *73*(4), 251-262.

Bremner, J.M. and Mulvaney, C.S. (1982). Nitrogen total 1. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties, (methods of soil analysis), 595-624.

Carter, M.R. (2000). Soil sampling and methods of analysis. pp: 499-511.

Cheng, Y.Q., Yang, L.Z., Cao, Z.H., Ci. E. and Yin. Sh. (2009). Chronosequential changes of selected pedogenic properties in paddy soils as compared with non-paddy soils. *Geoderma*, *151*(1-2), 31-41

Choi, W.J., Kwak, J.H. and Lim, S.S. (2017). Synthetic fertilizer and livestock manure differently affect 15N in the agricultural landscape: A review. *Agricultural Ecosystems and Environment*, *237*, 1–15.

Davatgar, N., Neishabouri, M.R. and Sepaskhah. A.R. (2012). Delineation of site specific nutrient management zones for a paddy cultivated area based on soil fertility using fuzzy clustering. *Geoderma*, *173*, 111-118.

Delsouz Khaki, B., Honarjoo, N., Davatgar, N., Jalalian, A. and Torabi Gelsefidi, H. (2017). Land Suitability Evaluation and Inherent Soil Fertility Quality for Rice Cultivation in Paddy Fields of Shaft and Fouman Counties. *Journal of Soil Research (Soil and Water Sciences)*, *32* (1), 116-128. (In Farsi)

Delsouz Khaki, B., Honarjoo, N., Dvatgar, N. and Jalalian, A. (2015). Predicting rice grain yield using soil fertility qualities: Inherent soil fertility potential and nutrient availability (Case Study: Southern half of Foumanat plain in north of Iran) International Conference on Chemical, *Agricultural and Biological Sciences Istanbul (Turkey)*.137-143.

Dengiz, O., Ozyazici, M.A. and Saglam, M. (2015). Multi-criteria assessment and geostatistical approach for determination of rice growing suitability sites in Gokirmak catchment. *Paddy and Water Environment*, *13*(1), 1-10.

Dobermann, A. and Fairhurst, T.H. (2000). Rice: Nutrient disorders and nutrient management. Handbook Series, Potash and Phosphate Institute (PPI), Potash & Phosphate Institute of Canada (PPIC) and International Rice Research Institute (IRRI), Makati City 1271, Philippines. ISBN 981-04-2742-5

Dobermann, A. and Oberthur, T. (1997). Fuzzy mapping of soil fertility a case study on irrigated riceland in the philippines. *Geoderma*, *77*(2), 317-339.

Dobermann, A., Witt, C., Abdulrachman, S., Gines, H.C., Nagarajan, R., Son, T.T. and Tan, P.S. (2003). Soil fertility and indigenous nutrient supply in irrigated rice domains of Asia. *Agronomy Journal*, *95*(4), 913-923.

Fageria, N.K. (2001). Nutrient management for improving upland rice productivity and

sustainability. *Soil Science and Plant Analysis*, *32*, 2603 -2629.

Fairhurst, T., Buresh, R. and Dobermann, A. (2007). Rice: A practical guide to nutrient management. Second edition, International Plant Nutrition Institute., International Potash Institute. Pp 92.

FAO. (2015). Healthy soils are the basis for healthy food production. FAO 2015 I4405E/1/02.15.

Guo, L., Wu, G. and Li, Y. (2016). Effects of cattle manure compost combined with chemical fertilizer on topsoil organic matter, bulk density and earthworm activity in a wheat–maize rotation system in Eastern China. *Soil and Tillage Research*, *156*, 140–147.

Kavoosi, M. and Malakoti, M.J. (2006). Determination of available potassium critical level with ammonium acetate extractor in Guilan paddy soils. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, *3*, 113–123. (In Farsi)

Kazemi PoshtMasari, H., Tahmasebi, Z., Kamkar, B., Shatai, Sh. and Sadeghi, S. (2012). Evaluation of geostatistical methods for estimating and zoning of primary nutrients in some agricultural lands of Golestan province, Water and Soil Science, *22*(1), 201-220. (In Farsi)

Koorehpazan Dezfuli, A. (2005). Principles of fuzzy set theory and its applications in the modeling of water engineering problems. Iranian Academic Center for Education Culture and Research, Amirkabir University of Technology Branch, 261p. (In Farsi)

Kweon, G. (2012). Delineation of site-specific productivity zones using soil properties and topographic attributes with a fuzzy logic system. *Biosystem Enginearing*, *112*(4), 261- 277.

Li, G.L., Chen, J., Sun, Z.Y. and Tan, M.Z. (2007). Establishing a minimum data set for soil quality assessment based on soil properties and land-use changes. *Acta Ecologica Sinica*, *27*(7), 2715-2724.

Liu, Z., Zhou W., Shen, J., He, P., Lei, Q. and Liang, G. (2014). A simple assessment on spatial variability of rice yield and selected soil chemical properties of paddy fields south China. *Geoderma*, *235*, 39-47.

Mahmoudsoltani, S., Davatgar, N., Shakouri, M. and Paykan, M. (2017). Spatial variability of phosphorus fractions in paddy soils. *Journal of Water and Soil Conservation*, *24*(5), 93-109. (In Farsi)

Mokarram, M. and Bardideh, M. (2013). Soil fertility evaluation for wheat cultivation by fuzzy theory approach and compared with Boolean method and soil test method in GIS area. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, *96*, 111- 123. (In Farsi)

Momtaz, H. and Servati, M. (2017). Comparison of three membership function in land suitability by fuzzy set theory in Amol region, IRAN. *Applied Soil Research, 5(1),* 57-66. (In Farsi)

Olde Venterink, H., Davidsson, T.E., Kiehl, K. and Leonardson, L. (2002). Impact of drying and rewetting on N, P and K dynamics in a wetland soil. *Plant and Soil*. 243:1, 119-130.

Olsen, S.R. and Sommers. L.E. (1982). Phosphorus. In: Page A L., Miller R.H. and Keeney D.R. (Eds.), Methods of soil analysis- Part 2. *American Society of Agronomy, Madison*, pp: 403-430.

Owliaie, H.R and Najafi Ghiri, M. (2012). Effect of long-term rice cultivation on physico-chemical properties and clay mineralogy of soils in Yasouj region. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, *17*(65), 39-49. (In Farsi)

Ozturk, D. and Batuk, F. (2010). Analytic hierarchy process for spatial decision making. *Journal of Engineering and Natural Sciences*, *28*, 124–137.

Saaty, T.H. and Vargas, L.G. (2001). Models, methods, concepts, and applications of the analytic hierarchy process. Kluwer Academic, 160p.

Saito, K., Linquist, B., Atlin, G.N., Phanthaboon, K., Shirawa, T. and Horie, T. (2006). Response of traditional and improved upland rice cultivars to N and P fertilizer in northern Laos. *Field Crops Research*, *96*, 216-223.

Salehi, N., Ghajar Sepanlou, M. and Jafari Gorzin, B. (2013). An evaluation of soil fertility using soil organic carbon, potassium, phosphorus and salinity factors for rice cultivation by fuzzy logic and AHP techniques. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, *5*(19), 2233- 2241.

Sarmadian, F. and Keshavarzi. A. (2014). The use of a hybrid fuzzy-AHP system on the evaluation and mapping of soil fertility. *Journal of Soil and Water Resources Conservation, 3(2),* 45-56. (In Farsi)

ShakouriKatigari, M., Mahmoudsoltani, Sh., Karbalai Aghamolki, M.T. and Keshtekar Talemi, F. (2019). Relationship between yield and a soil quality index in paddy fields. *Journal of Water and Soil*, *33*(2), 198-213. (In Farsi)

Servati M., Jafarzadeh A.A., Ghorban M.A., Shahbazi F., and Davatgar, N. (2014). Comparison of the FAO and Albero models in prediction of irrigated wheat production potentials in the Khajeh region. *Journal of Water and Soil Science*, *24*, 1-14. (In Farsi)

Seyed Mohammadi, J., Esmaeelnejad, L. and Ramezanpour, H. (2016). Increasing efficiency of soil fertility map for rice Cultivation Using Fuzzy Logic, AHP and GIS. *Journal of Water and Soil*, *30*(4), 1114-1129. (In Farsi)

Sicat, S., Rodrigo, Carranza, M., Emmanuel, J. and Nidumolu, U.B. (2005). Fuzzy modeling of farmer s knowledge for land suitability. *Agricultural Systems*, *83*, 49-75.

Silva Cruz, J., De Assis Junior, R.N., Rocha Matias, S.S. and Camacho Tamayo, J.H. (2011). Spatial variability of an Alfisols cultivated with sugarcane. *Cienciae Investigacion Agraria*, *38*(1), 155-164.

Sunila, R., Laine, E. and Kermenova, O. (2004). Fuzzy model and kriging for imprecise soil polygon boundaries. In 1st International Conference on Advances in Mineral Resources Management and

Environmental Geotechnology. Heliotopos Conferences.

Sys, I.C., Van Ranst, E., Debaveye, I.J., and Beenaert. F. (1993). *Land evaluation (Part IIII). Crop Requirements.* 199p. General Administration for Development Cooperation, Brussels. Belgium.

Tesfahunegn, G.B., Tamene, L. and Vlek, P.L. (2011). Catchment-scale spatial variability of soil properties and implications on site-specific soil management in northern Ethiopia. *Soil and Tillage Research, 117*, 124-139.

Virgilio, N.D., Monti, A. and Venturi, G. (2007). Spatial variability of switchgrass (*Panicum virgatum L.*) yield as related to soil parameters in a small field. *Field Crops Research, 101*, 232–239.

Walkley, A. and Black, I.A. (1934). An examination of the Degtiareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science, 37*, 29-38.

Westerman, R.E.L. (1990). Soil testing and plant analysis. *Soil Science Society of America, Mandison Wisconzin, USA.*

Wilding, L.P. and Dress. L.R. (1983). Spatial variability and pedology. In: L.P. Wilding, N.E. Smeckand and G.F. Hall (eds.), Pedogenesis and Soil Taxonomy. I. Concepts and Interactions. Elsvier Science Pub. 83-116.

Yemefack, M., Rossiter, D.G. and Njomana, R. (2005). Multi-scale characterization of soil variability within an agricultural landscape mosaic system in southern Cameroon. *Geoderma, 125*, 117-143.

Wu, R. and Tiessen, H. (2002). Effect of land use on soil degradation in alpine grassland soil. China. *Soil Science Society of America Journal*. 66(5): 1648-1655.

Zhao, J.H., Hou, H.Y., Ren, A.Q., Zhang, H. and Han, Y.Q. (2010). Comprehensive evaluation of tobacco ecological suitability of Henan province based on GIS. *Agricultural Sciences, 9*, 583-592.