ASPI | Afarand Scholarly Publishing Institute; Turkey
ISSN: 2538-4384; Geographical Research. 2023;38(4):541-548 10.58209/geores.38.4.541

Temporal Variability of Some Soil Fertility indicators in the Agricultural Lands of East Azerbaijan Province

ARTICLE INFO

Article Type
Original research

Authors
Farajnia A.[1]* *PhD*

How to cite this article
Farajnia A. Temporal Variability of Some Soil Fertility indicators in the Agricultural Lands of East Azerbaijan Province. Geographical Research. 2023;38(4):541-548.

[1]East Azerbaijan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, Tabriz, Iran

Correspondence
Address: East Azerbaijan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, Abbasi Street, Tabriz, Iran. Postal Code: 5255179531
Phone: +98 (41) 35276824
Fax: +98 (41) 35280942
farajnia1966@yahoo.com

Article History
Received: November 6, 2023
Accepted: December 9, 2023
ePublished: December 16, 2023

ABSTRACT

Aims The characteristics of soil exhibit variability across different locations, and it is of utmost significance to aptly identify these variations and effectively incorporate them into the strategic planning and efficient management of agricultural lands. This study was conducted with the objective of monitoring the fertility of soil in the agricultural lands of East Azerbaijan province over a period of 15 years by examining the spatial and temporal variations of organic carbon, available phosphorus, and potassium.

Methodology It was an applied study carried out in 2023 in East Azerbaijan province. The methodology involved the preparation of spatial variation maps for soil organic carbon, available phosphorus, and potassium using the Inverse Distance Weighting (IDW) approach. These maps were created based on the analysis of 9000 soil samples collected between 2002 and 2006 from all counties within the province. The preparation of these maps occurred from 2020 to 2022, using data from 1400 databases, and the homogeneous areas of the studied properties were classified according to the standards set by the Soil and Water Research Institute.

Findings The findings demonstrated a notable reduction in the expanse of lands containing organic carbon levels below one percent; Consequently, by 2022, the territory of these lands had diminished to less than half of its previous size. Conversely, the area encompassing land with organic carbon levels surpassing 1% exhibited a marked increase, reaching over 660000 ha. Over the course of these years, there was a substantial decline in the quantity of available phosphorus, resulting in a decrease to less than 10 mg/kg across an expanse exceeding 1260000 ha. Conversely, the amount of potassium exhibited minimal alteration throughout this period.

Conclusion Notably, the area of land exhibiting an organic carbon content below the critical threshold has experienced a significant reduction, amounting to less than half. Conversely, the area of land with organic carbon surpassing the critical threshold has expanded. Furthermore, the quantity of absorbable phosphorus has exhibited a noteworthy decrease during this time period, resulting in over 85% of agricultural lands currently suffering from a deficiency in phosphorus. In contrast to these aforementioned elements, the quantity of soil-absorbable potassium has remained relatively stable throughout this period.

Keywords East Azerbaijan Province; Geographical Information System; Organic Carbon; Soil Nutrient

CITATION LINKS

[Armstrong Brown *et al.*, 1998] A proposal for a European soil monitoring ...; [Amin, 1994] Soil and water pollution, a ...; [Anonymous, 2020] State of Fertilizer Consumption ...; [Asgari, 2011] Spatial statistics analysis with ...; [Biradar *et al.*, 2020] Assessment of soil fertility through GIS ...; [Carter, 2002] Soil quality for sustainable land ...; [Eskandari *et al.*, 2018] Digital mapping of soil organic carbon ...; [Eastman *et al.*, 1998] Multi-criteria and multi-objective decision ...; [Falah *et al.*, 2006] Investigation the effect of potassium biological fertilizer ...; [Farajnia & Motalebifarrd, 2020] Fertility profile of the soils of East Azarbaijan ...; [Farajnia, 2010] Sustainable development of agriculture with ...; [Gotway *et al.*, 1996] Comparison of kriging and inverse-distance methods ...; [Godwin & Miller, 2003] A review of the technologies for mapping ...; [Huber *et al.*, 2001] Proposal for a European soil monitoring ...; [Karimian, 2012] Fertilizer research in Iran: A glance at ...; [Karimian, 1994] Consequences of excessive use ...; [Karlen *et al.*, 2008] Soil quality assessment: Past, ...; [Malakouti *et al.*, 2016] Potassium in agriculture «the role ...; [Malakouti & Gheibi, 1997] Determining the critical limit ...; [Maleki *et al.*, 2014] Mapping soil organic matter using topographic ...; [Momeni, 2001] Modeling spatial structure of soil nutrient ...; [Nosratpour *et al.*, 2010] Investigation of spatial distribution of soil ...; [Prabhavati *et al.*, 2015] Soil fertility mapping using GIS in three ...; [Robinson & Metternicht, 2006] Testing the performance of spatial interpolation ...; [Saadat, 2018] Soil quality monitoring in ...; [Saleh Rastin, 1994] Biofertilizers ...; [Smith & Trines , 2006] Agricultural measures for mitigating climate ...; [Sun *et al.*, 2003] Evaluation of spatial and temporal changes ...; [Weber & Englund, 1992] Evaluation and comparison of spatial ...;

Copyright© 2023, the Authors | Publishing Rights, ASPI. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

تغییرات زمانی برخی از عوامل حاصلخیزی خاک در اراضی کشاورزی استان آذربایجان شرقی

اصغر فرجنیا* PhD
مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی، تبریز، ایران

چکیده

اهداف: وجود تغییرات مکانی در خصوصیات خاک امری طبیعی است ولی شناخت این تغییرات به ویژه در اراضی کشاورزی جهت برنامه ریزی دقیق و مدیریت امری اجتناب‌ناپذیر است. این پژوهش با هدف پایش وضعیت حاصلخیزی خاک‌ها براساس تغییرات مکانی و زمانی عناصر کربن آلی، فسفر و پتاسیم قابل جذب در اراضی کشاورزی استان آذربایجان شرقی در فاصله زمانی ۱۵ سال (۱۴۰۱-۱۳۸۵) انجام گرفت.

روش‌شناسی: پژوهش حاضر از نوع کاربردی بوده و در سال ۱۴۰۲ در استان آذربایجان شرقی انجام شد. ابتدا نقشه‌های تغییرات مکانی کربن آلی، فسفر و پتاسیم قابل جذب از روی نتایج آنالیز ۹۰۰۰ نمونه خاک که در فاصله سال‌های ۱۳۸۱-۱۳۸۵ از اراضی زراعی کلیه شهرستان‌های استان جمع‌آوری شده بودند، با استفاده از روش عکس فاصله وزنی تهیه شدند. نقشه‌های مذکور در فاصله سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۱ نیز براساس داده‌های ۱۴۰۰ پایگاه داده، تهیه و پهنه‌های همگن ویژگی‌های مورد بررسی براساس استانداردهای موسسه تحقیقات خاک و آب کلاس‌بندی شدند.

یافته‌ها: سطح اراضی با کربن آلی کمتر از ۱٪ (فقیر) کاهش قابل توجهی داشت؛ به طوری که در سال ۱۴۰۱ سطح این اراضی به کمتر از نصف کاهش یافت. ولی سطح اراضی که کربن آلی در آنها بالاتر از ۱٪ بود به بیش از ۶۶۰ هزار هکتار افزایش یافت. مقدار فسفر قابل جذب خاک طی این سال‌ها به صورت قابل توجهی کاهش یافت. به طوری که در بیش از ۱۲۶۰ هزار هکتار فسفر قابل جذب خاک به کمتر از ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم کاهش یافت. برعکس این دو عنصر مقدار پتاسیم طی این دوره تغییر چندانی نداشت.

نتیجه‌گیری: سطح اراضی با کربن آلی زیر حد بحرانی به طور قابل توجهی کاهش پیدا کرده است و به کمتر از نصف کاهش یافته است ولی سطح اراضی که کربن آلی در آنها بالاتر از حد بحرانی است افزایش یافته است. مقدار فسفر قابل جذب خاک طی این بازه زمانی به صورت قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است و در حال حاضر بیش از ۸۵٪ اراضی کشاورزی به کمبود فسفر مبتلا هستند. برعکس این دو عنصر مقدار پتاسیم قابل جذب خاک طی دوره مورد مطالعه تغییر چندانی نداشته است.

کلیدواژگان: استان آذربایجان شرقی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، عناصر غذایی خاک، کربن آلی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۱۸
*نویسنده مسئول: farajnia1966@yahoo.com

مقدمه

با توجه به افزایش جمعیت نیاز به تولید بیشتر مواد غذایی احساس می‌شود. بهترین راه نیل به این مهم با وجود محدودبودن سطح اراضی قابل کشت، افزایش تولید در واحد سطح است. در بین نهاده‌های کشاورزی مصرف متعادل کودهای شیمیایی بیشتر از سایر نهاده‌ها در افزایش تولید محصولات کشاورزی موثر است. در این راستا، بهترین و عاقلانه‌ترین راه برای تعیین مقدار کود مصرفی، انجام توصیه کودی براساس آزمون خاک است [Malakouti *et al.*, 2016].

خاک به عنوان یکی از منابع پایه از محیط پیرامون خود مجزا نبوده و به طور پیوسته با آنها برهمکنش دارد. تاثیر اقلیم، هوا، منابع آب سطحی و زیرزمینی و کیفیت آنها، تغییرات اجتماعی (جمعیت، شهرنشینی، مهاجرت و غیره) و پیامدهای آن (تغییر کاربری، فاضلاب و غیره) همه و همه حاکی از این ارتباط تنگاتنگ و پیچیده است. تفسیر تغییرات رخداده و پیش‌بینی تغییرات در آینده، نیازمند در اختیارداشتن اطلاعاتی است که از دیگر عوامل موثر بر تغییرات کیفیت خاک است. به همین دلیل جمع‌آوری و تدوین این داده‌ها امری بسیار مهم و ضروری در پایش خاک به‌شمار می‌رود. امروزه با برخورداری از امکانات رایانه‌ای و نیز با به‌کارگیری علم سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی با ایجاد بانک‌های اطلاعاتی می‌توان اطلاعات را به صورت زمینی جمع‌آوری، طبقه‌بندی و به‌روز نموده و با انجام تحلیل‌های مکانی اطلاعات سودمندی از وضعیت مکانی عناصر غذایی و روند تغییرات آنها دست یافت و وضعیت این عوامل را به صورت نقشه ارایه نمود [Eastman *et al.*, 1998].

با تهیه نقشه حاصلخیزی خاک امکان تغذیه متعادل خاک و گیاه فراهم می‌شود. برای تهیه این نقشه‌ها مقدار موجود عناصر غذایی خاک اندازه‌گیری و علاوه بر مقدار موجود عناصر در مناطق مختلف، نسبت‌های آنها به یکدیگر نیز مشخص و بر این اساس می‌توان سبدهای غذایی خاک و گیاه مناسب برای مناطق مختلف تدارک دید و توصیه نمود. از طرفی، بخش اجرا نیز این امکان را پیدا می‌کند که سبدهای غذایی خاک و گیاه را به طور منطقه‌ای به شکلی مناسب در اختیار کشاورزان قرار دهد. نقشه‌های حاصلخیزی خاک یک منطقه کشاورزی امکان توصیه مقدار کودهای شیمیایی مورد نیاز را بر پایه تغییرات ساختار مکانی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه برای آن منطقه فراهم می‌آورد [Momeni, 2001]. از موارد کاربرد نقشه‌های حاصلخیزی می‌توان به تخمین بنیه غذایی خاک‌ها، تعیین نیاز کودی گیاهان در مزارع منفرد یا یک منطقه و بهینه‌کردن مصرف کودهای کشاورزی حاوی عناصر پرمصرف و ریزمغذی از طریق محدودکردن مصرف آنها در مزارعی که خاک آنها دچار کمبود هستند و یا فقط اعمال عنصری که کمبود آن برای گیاه ویژه‌ای مشخص باشد اشاره کرد [Farajnia, 2010].

مصرف کودهای شیمیایی در ایران از سال ۱۳۲۵ با واردات ۱۱ تن از انواع کودهای شیمیایی آغاز شد و از سال ۱۳۳۰ وزارت کشاورزی واردات کود به کشور را به عهده گرفت. در ابتدا، تعادل نسبتاً خوبی بین مصرف کودهای آلی و شیمیایی وجود داشت ولی این تعادل دوام چندانی نیافت به طوری که از اواسط دهه پنجاه مصرف کودهای شیمیایی به‌ویژه مصرف کودهای ازته و فسفاته بیشتر از بقیه کودها رایج شد و مصرف کودهای پتاسیمی و آلی به بوته فراموشی سپرده شد [Karimian, 2012]. مصرف کودهای شیمیایی در ایران رو به افزایش است، میزان مصرف آنها از ۵۰۰ هزار تن در سال به ۱/۵ میلیون تن در سال ۱۳۶۸، ۲/۲ میلیون تن در سال ۱۳۷۸ و ۲/۷ میلیون تن در سال ۱۳۹۷ رسید که نصف این مقدار از واردات تامین شد [Anonymous, 2020].

افزایش روزافزون کاربرد کودهای شیمیایی به دلیل تجمع این عناصر در خاک و محصولات کشاورزی و یا انتقال آنها به سفره آب‌های زیرزمینی و آلوده‌نمودن آنها سلامتی جامعه را به مخاطره افکنده است. اختصاص یارانه به واردات کود و قیمت پایین آن منجر به استفاده بی‌رویه از این کودها شد به طوری که نتایج آنالیز خاک در مناطق مختلف کشور محققین را بر آن داشت که با انتشار مقالاتی به آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی هشدار دهند. از جمله این محققین می‌توان به *کریمیان*، *صالح راستین*، *امین*، *فرج نیا* و *نصرت‌پور* و همکاران [Karimian, 1994; Saleh Rastin, 1994; Amin, 1994; Farajnia, 2010; Nosratpour *et al.*, 2010] اشاره نمود. از آن پس سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی با توسعه آزمایشگاه‌های خاک‌شناسی خصوصی، سعی کرد که مصرف کود براساس آزمون خاک را ترویج نماید و همچنین تحقیقات در زمینه نیاز کودی محصولات کشاورزی را توسعه داد.

در زمینه ارزیابی مستقیم حاصلخیزی خاک پژوهش‌های زیادی در ایران در فاصله سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۰ صورت گرفته است. این پژوهش‌ها اغلب در چهار محور مقدار، منبع، زمان و روش مصرف کودهای شیمیایی بود. در بین روش‌های ارزیابی غیرمستقیم حاصلخیزی خاک، آزمون خاک بیشترین حجم پژوهش‌های گذشته را به خود اختصاص داده است. با توسعه امکانات رایانه‌ای و علم سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و با ایجاد بانک‌های اطلاعاتی امکان جمع‌آوری اطلاعات زمینی دارای مختصات جغرافیایی فراهم شد. با طبقه‌بندی داده‌ها و انجام تحلیل‌های مکانی، اطلاعات سودمندی از وضعیت مکانی عوامل خاکی به صورت نقطه‌ای و نقشه‌های سطحی به‌دست آمد. برای تهیه این نقشه‌ها مقدار موجود عناصر غذایی اصلی و کم‌مصرف اندازه‌گیری و علاوه بر مقدار موجود عناصر در مناطق مختلف، نسبت‌های آنها به یکدیگر نیز مشخص می‌شود. به عبارت دیگر تهیه نقشه حاصلخیزی خاک امکان اعمال قانون لبیگ را در تولید انبوه محصولات کشاورزی در سطوح منطقه‌ای فراهم می‌آورد و بر این اساس می‌توان سبدهای غذایی خاک و گیاه مناسب برای مناطق مختلف تدارک دید و توصیه نمود. نتایج تحقیقات در زمینه حد بحرانی عناصر غذایی و خاک در کتابی تحت عنوان حد بحرانی عناصر غذایی محصولات استراتژیک و توصیه صحیح کودی در کشور منتشر شده است [Malakouti & Gheibi, 1997]. حاصل این پژوهش‌ها یافتن حدود بحرانی عناصر غذایی و برآورد واکنش محصولات زراعی و باغی به مصرف کود با توجه به شرایط خاک و مدیریت‌های زراعی ویژه هر منطقه بود.

عناصر غذایی نظیر ازت، فسفر و پتاسیم قبل از اینکه برای گیاهان قابل جذب باشند عمدتاً توسط میکروب‌ها و طی فرآیندهای پیچیده بازیافت می‌شوند. بنابراین، خواص بیوشیمیایی خاک برای رشد و بهبود گیاهان ضروری است [Sun *et al.*, 2003]. با این حال، بسیاری از این خواص تحت تاثیر فعالیت‌های طبیعی نظیر باد، باران، آتش‌سوزی و خشکسالی قرار می‌گیرند. از جمله کاهش رطوبت و نفوذپذیری، رواناب سطحی و فرسایش که به نوبه خود می‌تواند منجر به از بین‌رفتن مواد مغذی و حاصلخیزی خاک شوند. علاوه بر آن فعالیت‌های بشر نظیر کوددهی، آبیاری، شخم‌زنی و چرای دام باعث تخریب جوامع میکروبی و تغییر لایه‌های آلی در خاک شده و غلظت عناصر غذایی را تحت تاثیر قرار می‌دهد [Godwin & Miller, 2003]. بنابراین ویژگی‌های خاک، هم به صورت مکانی و هم با گذشت زمان از سطح مزرعه تا مقیاس وسیع‌تر تغییر نموده و تحت تاثیر عوامل ذاتی (خاک‌سازی، مواد مادری، جانداران، پستی و بلندی، اقلیم و زمان) و عوامل بیرونی (مدیریت خاک، کوددهی و تناوب گیاهی) هستند. ضمن آگاهی از غیرهمگن‌بودن خاک، لازم است تغییرات ویژگی‌های خاک پایش و کمّی شده تا فهم و درک کامل‌تری از پیامدهایی که مدیریت در طول زمان در آن ایجاد نموده را شناسایی و نهایتاً به عملیات زراعی مناسب منجر شود [Karlen *et al.*, 2008]. انجام پایش منوط به انتخاب نقاط و پایگاه‌های مطالعاتی و نمونه‌برداری دوره‌ای است. البته در جهان تجربیات متنوعی برای انتخاب پایگاه‌ها وجود دارد. برای پایش تغییرات عناصر غذایی از کرت‌های ثابت استفاده نمودند و مدیریت‌های مختلف را در سال‌های زراعی در این کرت‌ها اعمال نموده و تغییرات این عناصر در طول زمان تحت تاثیر این مدیریت‌ها را بررسی نموده‌اند. با این حال *سان* و همکاران [Sun *et al.*, 2003] معتقدند روش کرت‌های دایم بسیار زمان‌بر بوده و در بسیاری از موارد پرهزینه است [Huber *et al.*, 2001]. برای پایش کیفیت خاک و بررسی وضع موجود و وضع آتی خاک‌های مختلف در کشورهای اروپایی پروپوزالی تهیه شده و در یک نشست مشترک نکته نظرات همه کشورها در این پیشنهاد اعمال شده است. سپس سایت‌هایی براساس ویژگی‌های موقعیت زمین و کاربری اراضی انتخاب شدند. در مرحله بعد شبکه‌ای طراحی شده که کلیه داده‌های جمع‌آوری‌شده در طول زمان در این شبکه ثبت شده‌اند. پس از ارزیابی صحت، داده‌ها به اطلاعات تبدیل و به سهولت در اختیار کارشناسان خاک و سایر کاربران در کشورهای عضو قرار می‌گیرند. امروزه این پایگاه متمرکز داده‌های خاک‌های اروپا به توسعه نرم‌افزاری به نام EPR منجر شد که امکان دسترسی در زمان واقعی به اطلاعات دقیق و به‌روز را فراهم می‌کند [Armstrong Brown *et al.*, 1998].

در ایران شرح پایش خاک‌های کشاورزی به همت موسسه تحقیقات خاک و آب در ۳۰۰۰ پایگاه انتخابی در اراضی دیم و آبی کشور طی سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۹۰ اجرا شد. نمونه‌برداری به صورت شبکه‌بندی و فواصل شبکه‌ها ۷ کیلومتر طراحی شده بود. نمونه خاک‌های اخذشده از این پایگاه‌ها به صورت نمونه مرکب به شعاع ۲۵ متر تهیه و پس از انتقال به آزمایشگاه کلیه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آنها اندازه‌گیری شد. نتایج این پژوهش به صورت گزارش در سال ۱۳۹۷ انتشار یافت [Saadat, 2018]. این پژوهش تغییرات مکانی عوامل فیزیکی و شیمیایی را در خاک‌های کشاورزی کشور برآورد نمود؛ اما به منظور بررسی تغییرات زمانی، لازم است این بررسی پس از چند سال در همه یا بخشی از پایگاه‌ها تکرار شود. پژوهش حاضر به عنوان بخشی از برنامه مدیریت جامع حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه و با هدف پایش وضعیت حاصلخیزی خاک‌ها

و تغییرات مکانی و زمانی کربن آلی، فسفر و پتاسیم قابل جذب در استان آذربایجان شرقی انجام گرفت.

این پژوهش به منظور بررسی تغییرات مکانی و زمانی کربن آلی، فسفر و پتاسیم قابل جذب در خاک های استان آذربایجان شرقی صورت گرفت.

روش‌شناسی

پژوهش حاضر از نوع کاربردی بوده و در سال ۱۴۰۲ در استان آذربایجان شرقی انجام شد. این استان در شمال غرب ایران و بین مدارهای ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۲۶ دقیقه عرض شمالی و بین نصف‌النهارهای ۴۵ درجه و ۵ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۲ دقیقه طول شرقی قرار دارد. مساحت استان برابر ۴۵۸۰۰ کیلومتر مربع است و ۲/۸٪ مساحت کل کشور را تشکیل می‌دهد. آب و هوای استان به طور کلی سرد و نیمه‌خشک است. وسعت اراضی کشاورزی استان را حدود ۱۸۰۰۰ کیلومتر مربع برآورد می‌کنند که معادل ۳۹٪ استان و حدود ۹٪ اراضی قابل کشت کشور را شامل می‌شود.

در این پژوهش نقشه‌های عوامل حاصلخیزی در دو سری زمانی تهیه شدند. ابتدا، در فاصله سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۵ اراضی زراعی کلیه شهرستان‌های استان در ابعاد ۱۰۰۰×۱۰۰۰ متر مربع شبکه‌بندی شده و مختصات جغرافیایی هرکدام از نقاط (۹۰۰۰ پایگاه) به صورت UTM وارد دستگاه GPS شد تا در امر ناوبری، برای تعیین موقعیت دقیق نقاط نمونه‌گیری به‌کار گرفته شود. پس از عزیمت به منطقه، به تهیه نمونه مرکب خاک اقدام شد. بدین منظور ۵ نمونه خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک تهیه و مخلوط شدند. سپس ۲ کیلوگرم نمونه خاک بسته‌بندی و مشخصات محل نمونه‌برداری ثبت و به آزمایشگاه خاک و آب منتقل شد. پس از آماده‌سازی، میزان کربن آلی، فسفر و پتاسیم قابل جذب در کلیه نمونه‌ها اندازه‌گیری شد [Malakouti & Gheibi, 1997]. همین عملیات پس از حدود ۱۵ سال در فاصله سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۱ در ۱۴۰۰ پایگاه تکرار شد (جدول ۱).

جدول ۱) برخی ویژگی‌های آماری کربن آلی، فسفر و پتاسیم قابل جذب در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک

ویژگی	سال	واحد	حداقل	حداکثر	میانگین	ضریب تغییرات (%)
کربن آلی	۱۳۸۵	%	۰/۰۹	۱۵/۸	۰/۹۲	۹۰/۵
	۱۴۰۱		۰/۰۹	۱۲/۵	۰/۷۸	۷۹/۰۳
فسفر قابل دسترس	۱۳۸۵	mg/kg	۰/۱۲	۸۳/۶	۱۲/۴	۶۹/۲۵
	۱۴۰۱		۰/۰۶	۵۴/۱۰	۸/۵۱	۸۴/۰۸
پتاسیم قابل دسترس	۱۳۸۵	mg/kg	۱۹/۸۲	۳۴۵۰	۴۲۵/۷	۵۵/۹۱
	۱۴۰۱		۲۰/۲	۲۳۵۰	۴۲۰/۹	۴۸/۶۴

به منظور تبدیل اطلاعات نقطه‌ای به اطلاعات سطحی از روش درون‌یابی معکوس فاصله وزنی (IDW)، روش اسپلاین (Spline)، روش کریجینگ معمولی و کریجینگ جهانی براساس مدل‌های مختلف شبه‌واریوگرام (Semi-Variogram) استفاده شد. داده‌های نقطه‌ای داده‌هایی هستند که در مکان یا مکان‌های معینی اندازه‌گیری می‌شوند. به منظور تهیه نقشه‌های توزیع مکانی و مطالعه الگوهای مکانی، داده‌های نقطه‌ای طی فرآیند درون‌یابی به سطح تعمیم می‌یابند. درون‌یابی مکانی فرآیندی است که در آن با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری‌شده در نقاط معلوم، مقادیر این عوامل در نقاط مجهول تخمین زده می‌شود [Robinson & Metternicht, 2006] و داده‌های نقطه‌ای را طی فرآیند درون‌یابی به سطح تعمیم داده و نقشه‌های سطحی یا موضوعی (Tematic map) مختلف مورد نیاز را تهیه نمود. روش‌های درون‌یابی، مجموعه‌ای از مدل‌های مختلف ریاضی و آماری را برای پیش‌بینی مقادیر نامعلوم به‌کار می‌گیرند. آنچه مسلم است شباهت نقاط مجهول به نزدیک‌ترین نقاط معلوم یا اصل نزدیک‌ترین همسایه پایه روش‌های درون‌یابی است و اینکه چگونه این اصل مورد استفاده قرار می‌گیرد بستگی به مدل انتخابی دارد [Asgari, 2011]. در مرحله بعدی، انتخاب مناسب‌ترین روش درون‌یابی با استفاده از روش اعتبار متقاطع (Cross Validation) براساس معیارهای MAE و MBE صورت گرفت. بدین صورت که در هرکدام از روش‌های درون‌یابی، مقادیر مشاهده‌ای به صورت موقت از مجموعه داده‌ها حذف و مجدداً پروسه درون‌یابی با استفاده از بقیه نمونه‌ها اجرا شده و مقدار جدیدی برای آن نقطه برآورد می‌شود. در نهایت، از طریق مقایسه آماری مقادیر مشاهده‌ای با مقادیر برآورد شده متناظر با آن می‌توان اقدام به صحت‌سنجی روش‌های مختلف درون‌یابی نموده و چنانچه مقدار عددی معیارهای یادشده صفر یا نزدیک به صفر باشد نشانگر مناسب‌بودن روش درون‌یابی بوده و هرچه از صفر فاصله داشته باشد نشانگر انحراف از مطلوبیت درون‌یابی یا به عبارت دیگر انحراف از مقادیر واقعی خواهد بود و نبایستی از آن روش برای تهیه نقشه‌های سطحی استفاده کرد. بعد از آنکه مناسب‌ترین روش درون‌یابی مشخص شد، نقشه‌های سطحی با روش درون‌یابی انتخابی تهیه شد. پهنه‌های همگن از نظر مقادیر کربن آلی، فسفر و پتاسیم قابل جذب براساس استانداردهای ارایه‌شده از طرف موسسه تحقیقات خاک و آب [Malakouti & Gheibi, 1997] و با استفاده از روش کلاس‌بندی مجدد (Re-classify) در محیط نرم‌افزاری Arc GIS ۱۰/۷ تعیین و نقشه‌های سطحی این عوامل تهیه شدند.

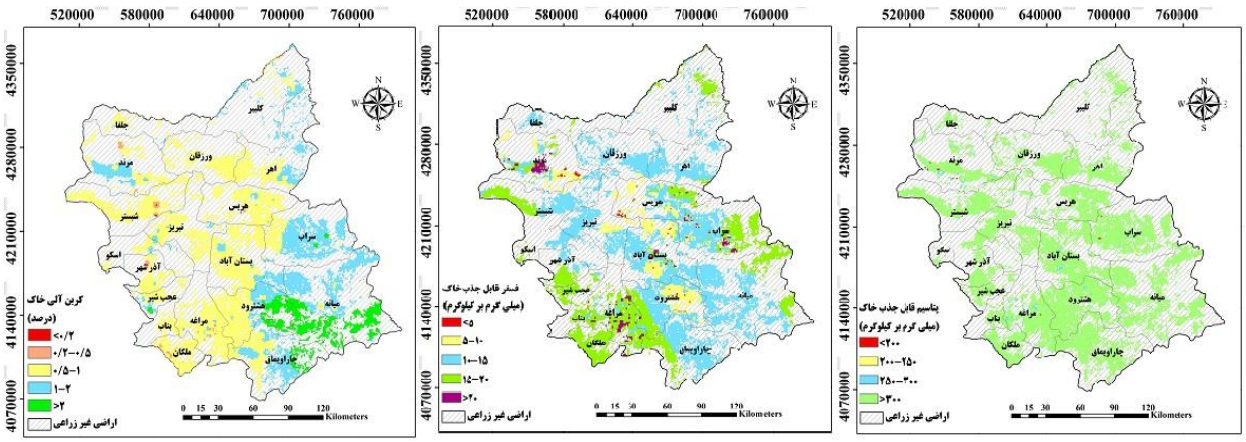
یافته‌ها

نتایج ارزیابی دقت حاصل از روش‌های مختلف درون‌یابی در جدول ۲ ارایه شده است. کمترین مقدار خطای مشاهده‌شده، در روش معکوس فاصله وزنی بود. روش کریجینگ هم در رده بعد از آن قرار گرفت. بنابراین براساس روش عکس فاصله وزنی، نقشه‌های سطحی عناصر کربن آلی، فسفر و پتاسیم قابل جذب خاک برای دو دوره تهیه شد (شکل ۱).

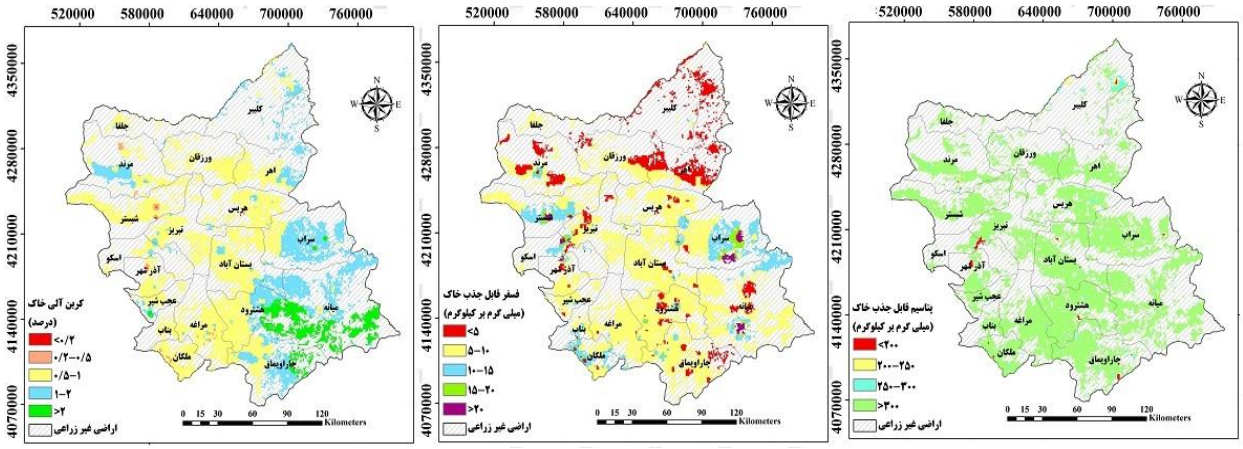
جدول ۲) مقایسه روش‌های مختلف درون‌یابی فضایی

روش	MBE	MAE
اسپیلاین	۰/۵۲	۱۶۳
کریجنگ	۰/۷۹	۲۷۵
معکوس فاصله وزنی	۰/۸۴	۱۸۵/۵
کریجینگ جهانی	۰/۶۶	۲۸۸/۵

الف)



ب)



شکل ۱) تغییرات مکانی کربن آلی، فسفر و پتاسیم قابل جذب در خاک‌های استان آذربایجان شرقی؛ الف) سال ۱۳۸۵؛ ب) سال ۱۴۰۱

نقشه تغییرات مکانی کربن آلی در خاک‌های استان آذربایجان شرقی نشان داد در ۱۶ سال گذشته تغییرات زیادی در میزان و پراکنش این عنصر صورت گرفته است. در اراضی با کربن آلی فقیر (۰/۵-۰/۲) کاهش قابل توجهی صورت گرفته؛ به طوری که تا سال ۱۴۰۱ سطح این اراضی به کمتر از نصف کاهش یافت. اما سطح اراضی که کربن آلی در آنها در محدوده ۲-۱٪ قرار داشت از ۲۷۱ هزار هکتار به ۵۰۶ هزار هکتار و نیز سطح اراضی با کربن آلی بیش از ۲٪ از ۹۱ هزار هکتار به ۱۶۵ هزار هکتار افزایش یافت (جدول ۳).

تغییرات فسفر قابل جذب خاک در این فاصله زمانی بیشتر از کربن آلی بود و برعکس کربن آلی مقدار فسفر قابل جذب خاک به صورت قابل توجهی کاهش یافت. همان‌طور که در جدول ۴ ملاحظه می‌شود در سال ۱۳۸۵ مقدار فسفر در ۱۰/۵٪ اراضی استان زیر حد بحرانی بود در صورتی که این مقدار به بیش از ۸۵٪ اراضی در سال ۱۴۰۱ رسید.

نقشه تغییرات مکانی پتاسیم قابل دسترس خاک نشان داد در ۱۶ سال گذشته تغییرات اندکی در میزان و پراکنش این عنصر در خاک‌های کشاورزی استان صورت گرفته و قسمت عمده اراضی استان دارای پتاسیم بیش از ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بودند. به عبارت دیگر مقدار پتاسیم قابل جذب خاک بیش از حد بحرانی بود (جدول ۵).

جدول ۳) مساحت کلاس‌های مختلف کربن آلی در خاک‌های استان آذربایجان شرقی

میزان کربن آلی (%)	سال ۱۳۸۵	سال ۱۴۰۱
<۰/۲ (خیلی فقیر)	۴۸۹/۴	۷۰۶/۸
۰/۵-۰/۲ (فقیر)	۳۳۰۱۰/۷	۱۶۲۵۶/۲
۱-۰/۵ (متوسط)	۱۳۹۸۴۳۶/۶	۱۱۰۶۴۷۹/۲
۲-۱ (خوب)	۲۷۱۶۱۸/۶	۵۰۶۰۶۱/۴
۲< (خیلی خوب)	۹۱۴۵۵	۱۶۵۵۰۶/۷

جدول ۴) مساحت کلاس‌های مختلف فسفر قابل جذب در خاک‌های استان آذربایجان شرقی

میزان فسفر قابل جذب	سال ۱۳۸۵	سال ۱۴۰۱
۵< (خیلی فقیر)	۵۸۸۴	۲۵۵۸۵۸
۱۰-۵ (فقیر)	۱۸۳۵۷۴	۱۲۶۴۵۶۴
۱۵-۱۰ (کفایت)	۱۰۳۱۴۸۶	۲۱۲۸۶۱
۱۵< (زیاد)	۵۷۴۰۶۵	۶۱۷۲۶

جدول ۵) مساحت کلاس‌های مختلف پتاسیم قابل دسترس در خاک‌های استان آذربایجان شرقی

میزان پتاسیم قابل دسترس	سال ۱۳۸۵	سال ۱۴۰۱
۲۰۰< (خیلی فقیر)	۱۳۱۴/۲	۸۴۸۱/۳
۲۵۰-۲۰۰ (فقیر)	۵۵۷۴/۲	۱۶۳۷۴
۳۰۰-۲۵۰ (خوب)	۱۸۱۶۴	۳۴۶۳۳
۳۰۰< (زیاد)	۱۷۶۹۹۵۷/۹	۱۷۳۵۵۲۲

بحث

روش عکس فاصله وزنی عملکرد بهتری نسبت به سایر روش‌های مورد بررسی داشت و نقشه عناصر کربن آلی، فسفر و پتاسیم براساس حدود بحرانی آنها [Malakouti & Gheibi, 1997] به کلاس‌های مختلف شامل خیلی فقیر، فقیر، متوسط، زیاد و خیلی زیاد گروه‌بندی شد. این نتایج با نتایج مطالعات زیادی مطابقت دارد [Weber & Englund, 1992; Gotway *et al.*, 1996; Robinson & Metternicht, 2006]؛ که گزارش نموده‌اند مدل IDW برای پهنه‌بندی عوامل خاکی نسبت به سایر روش‌ها برتری دارد.

افزایش میزان کربن آلی خاک در شهرستان‌های میانه، سراب، چاراویماق و مرند در ۱۵ سال گذشته به افزایش مصرف کودهای آلی و به‌ویژه کودهای اسید هیومیک برای محصولات اقتصادی نظیر برنج، سیب‌زمینی و گوجه‌فرنگی و باغات میوه نسبت داد. به عنوان مثال در شهرستان میانه زراعت برنج به عنوان یک محصول پردرآمد جایگزین محصولات گندم، جو سورگوم و یونجه شده است و زارعین تمایل زیادی به مصرف اسید هیومیک برای افزایش عملکرد این محصول دارند. چراکه قیمت این محصول در پنج سال گذشته افزایش قابل توجهی یافته است [Farajnia & Motalebifarrd, 2022]. کربن آلی خاک‌های کشاورزی نقش عمده‌ای در حاصلخیزی خاک، تولید زراعی و به طور کلی پایداری خاک ایفا می‌کند [Smith *et al.*, 2007]. مواد آلی خاک علاوه بر تامین عناصر غذایی بر بسیاری از ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژی خاک تاثیر شگرفی دارد. بنابراین آگاهی از وضعیت مواد آلی و تغییرات آن با توجه به نقش‌های چندجانبه آن بر کیفیت خاک امری ضروری است [Carter, 2002]. *اسکندری* و همکاران [Eskandari *et al.*, 2018] نقشه سطحی کربن آلی را برای شهرستان مریوان تهیه و گزارش نموده‌اند که اراضی جنگلی، تالاب‌ها و اراضی زراعی به‌ترتیب بیشترین کربن آلی را داشته‌اند. *ملکی* و همکاران [Maleki *et al.*, 2014] با استفاده از زمین آمار نقشه توزیع سطحی کربن آلی خاک‌های منطقه توشن استان گلستان را تهیه نموده و ابراز داشتند که با افزایش ارتفاع و درجه شیب میزان کربن آلی خاک کاهش می‌یابد.

دلیل کاهش شدید مصرف کود فسفاته در ۱۵ سال گذشته به افزایش قیمت این کود برمی‌گردد. به دلیل ارزان‌بودن این کودها در دهه هفتاد و پیش‌تر از آن مصرف این کود در اراضی کشاورزی به‌خصوص مزارع پیاز، گوجه‌فرنگی و سیب‌زمینی و نیز باغات میوه در استان آذربایجان شرقی بسیار زیاد بوده و تا ۴۰ کیسه می‌رسید؛ به طوری که در نتایج آنالیز مربوط به سال ۱۳۸۵ داده‌های بالای ۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌وفور مشاهده می‌شود و مقدار این عنصر در بیش از یک میلیون هکتار از اراضی استان بیش از ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود [Farajnia & Motalebifarrd, 2022]. از اوایل دهه هفتاد محققین بسیاری در کشور به مصرف زیاد کودهای شیمیایی هشدار دادند. *کریمیان*، *سجادی* و *امین* به مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی اشاره نموده و خطر آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی را یادآور شده‌اند [karimian, 2012; Amin, 1994]. موسسه تحقیقات خاک و آب نیز با اجرای طرح ملی واسنجی فسفر در اراضی زراعی نقاط مختلف کشور گام بزرگی برای مصرف کود با آزمون خاک برداشته و توصیه نموده است که در اراضی که فسفر قابل جذب خاک از ۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بیشتر باشد از مصرف کودهای فسفاته اجتناب شود [Malakouti & Gheibi, 1997]. دولت نیز با افزایش قیمت این کود و عدم اختصاص یارانه به کودهای کشاورزی سعی در کاهش مصرف آن نمود. در نتیجه مصرف کودهای فسفاته به مقدار زیادی کاهش یافته و در بسیاری از مزارع به صفر رسیده که نتیجه آن کاهش قابل ملاحظه مقدار فسفر قابل جذب در اراضی زراعی بوده است؛ به طوری که امروزه شاهد هستیم اغلب اراضی کشاورزی از کمبود این عنصر اصلی رنج می‌برند و مصرف کودهای فسفاته در استان آذربایجان شرقی از حدود ۵۷ هزار تن در سال ۱۳۸۶ به‌تدریج کاهش یافته و به حدود ۶ هزار تن در سال ۱۴۰۰ رسید. همین روند کاهش مصرف کودهای شیمیایی فسفاته را در کشور نیز شاهد هستیم. مصرف کودهای فسفاته تا سال ۱۳۶۵ تقریباً صفر بوده اما پس از آن به‌سرعت افزایش یافته است؛ به طوری که در سال ۱۳۷۲ به ۶۰۰ هزار تن رسیده است [karimian, 2012]. این کاهش شدید فسفر خاک دولت را بر آن داشته است که قیمت کود فسفاته را به نصف کاهش دهد. به طوری که در سال ۱۴۰۱ قیمت این کود از یک میلیون و یکصد هزار تومان به دلیل عدم استقبال کشاورزان به نصف این مبلغ در همان سال کاهش یافته و تحویل کود اوره با قیمت یارانه‌ای منوط به خرید کود سوپرفسفات تریپل شده است.

مصرف سولفات پتاسیم به‌ویژه با افزایش قیمت این کود کاهش پیدا کرد، اما به طور ژنتیکی اراضی کشاورزی این منطقه از کشور دارای مقادیر بالای پتاسیم بودند. با این حال مساحت اراضی با پتاسیم بیش از ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک حدود ۳۰۰ هزار هکتار کاهش پیدا کرد. *ملکوتی* و همکاران [Malakouti *et al.*, 2016] معتقدند که مصرف کودهای پتاسه تاثیر مثبتی بر عملکرد محصولات کشاورزی داشته و مصرف پتاسیم به‌خصوص در زراعت‌های پرمحصول مانند سیب‌زمینی، گوجه‌فرنگی و محصولات گلخانه‌ای حتی در خاک‌هایی که پتاسیم قابل جذب خاک بیش از حد بحرانی باشد عملکرد محصول را افزایش داده است. از طرف دیگر، برخی محققین مانند *فلاح* [Falah, 2006] گزارش نموده‌اند که میزان پتاسیم قابل جذب خاک در طول فصل رشد کاهش پیدا کرده است. بنابراین با اشاره به اثرات مفید پتاسیم بر رشد گیاه و از دیدگاه اثر آن بر کاهش تنش خشکی و مقاومت به سرما، مصرف کودهای پتاسه را توصیه نموده‌اند. *بیرادار* و همکاران [Biradar *et al.*, 2020] در یک زیرحوضه در منطقه کاراناتاکای هند نقشه‌های عناصر غذایی را تهیه و اظهار نموده‌اند نقشه‌های حاصلخیزی به کشاورزان کمک می‌کند تا محدودیت‌های مرتبط با مواد مغذی در تولید محصول را شناسایی کرده و بر آن غلبه کنند. در پژوهش دیگری که در سه حوضه آبخیز مختلف در هند صورت گرفت گزارش شده است که نقشه‌های حاصلخیزی علاوه بر نشان‌دادن وضع موجود، می‌توانند

برای بررسی دوره‌ای تغییرات و مشاهده روند تغییرات حاصلخیزی خاک ایده‌آل باشند [Prabhavati *et al.*, 2015].

این پژوهش نشان داد که میزان و نوع کود مصرفی می‌تواند بستگی به عوامل مختلفی داشته باشد اما قیمت این نهاده و نیز نوع محصول بیشترین تاثیر را روی میزان کود مصرفی دارد. مصرف کود در دهه هفتاد به دلیل قیمت پایین آن بسیار فراتر از نیاز گیاه بود، اما افزایش قیمت کود و نیز هشدار محققین در خصوص تجمع بقایای کود در خاک و محصولات کشاورزی باعث شد که مصرف آن کاهش یابد. اما کاهش مصرف کود در محصولاتی مانند گندم به دلیل قیمت پایین آن منجر به عدم تمایل به مصرف شده است. برای رفع این مشکل بایستی قیمت محصولات کشاورزی به‌ویژه گندم براساس هزینه‌ها تعیین شود نه درآمد قشر آسیب‌پذیر، و دولت برای تامین نان که قوت اصلی مردم کشور می‌باشد میزان یارانه نقدی و نیز دهک‌های یارانه‌بگیر را افزایش دهد و اجازه دهد قیمت نان نیز همانند سایر کالاها براساس عرضه و تقاضا تعیین شود و از تعیین قیمت دستوری برای گندم و نان پرهیز کند. کاهش شدید مصرف کود طی چند سال اخیر سبب تخلیه خاک‌ها از عناصر غذایی شده و علاوه بر کمیت، کیفیت محصول تولیدی را کاهش داده است؛ که این خود اثرات جبران‌ناپذیری بر سلامت جامعه و رشد کودکان دارد. لذا پیشنهاد می‌شود که دولت در سیاست‌های خود تجدید نظر نموده و از متخصصین مربوطه در تعیین تنوع کودهای یارانه‌ای و نیز قیمت آنها کمک بگیرد.

نتیجه‌گیری

سطح اراضی با کربن آلی زیر حد بحرانی کاهش قابل توجهی داشته است و به کمتر از نصف کاهش یافته است. ولی سطح اراضی که کربن آلی در آنها بالاتر از حد بحرانی است افزایش یافته است. مقدار فسفر قابل جذب خاک طی این سال‌ها به صورت قابل توجهی کاهش یافته است. برعکس این دو عنصر مقدار پتاسیم طی این دوره تغییر چندانی نداشته است.

تشکر و قدردانی: موردی از سوی نویسنده گزارش نشده است.
تاییدیه اخلاقی: موردی از سوی نویسنده گزارش نشده است.
تعارض منافع: موردی از سوی نویسنده گزارش نشده است.
سهم نویسندگان: اصغر فرجنیا (نویسنده اول) پژوهشگر اصلی (۱۰۰٪)
منابع مالی: موردی از سوی نویسنده گزارش نشده است.

منابع

- Armstrong Brown S, Loveland P, Holman I, Arrouays D, Eckelmann W, Vogel H (1998). A proposal for a European soil monitoring network: Content, coverage and users. Proceedings of the 16th World Congress of Soil Science. Montpellier, France.
- Amin SA (1994). Soil and water pollution, a quick look. Proceedings of the 4th Iranian Soil Sciences Congress. Isfahan: College of Agricultural Engineering, Isfahan University of Technology. p. 5. [Persian]
- Anonymous (2020). State of Fertilizer Consumption in Iran. Final Report. [Persian]
- Asgari A (2011). Spatial statistics analysis with ArcGIS. Tehran: Publications of Information and Communication Technology Organization. [Persian]
- Biradar B, Jayadeva HM, Channakeshava S, Geetha KN, Sannagoudar MS, Pavan AS, et al (2020). Assessment of soil fertility through GIS techniques and thematic mapping in micro-watershed of Hassan, Karnataka. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 9(4):3218-3228.
- Carter MR (2002). Soil quality for sustainable land management. Agronomy Journal. 94(1):38-47.
- Eskandari Sh, Nabiollahi K, Taghizadeh-Mehrjardi R (2018). Digital mapping of soil organic carbon (case study: Marivan, Kurdistan province). Journal of Water and Soil. 32(4):737-750. [Persian].
- Eastman J, Jain H, Tolendano J (1998). Multi-criteria and multi-objective decision making for land allocation using GIS. In: Beinat E, Nijkamp P, editors. Multicriteria analysis for land-use management. Environment & Management. Dordrecht: Springer. 9:277-251.
- Falah A, Saleh Rastin N, Besharati H (2006). Investigation the effect of potassium biological fertilizer on the changes of different forms of potassium in the soil. Proceedings of the Soil Environment and Sustainable Development Conference. Karaj, Iran. [Persian]
- Farajnia A, Motalebifarrd R (2022). Fertility profile of the soils of East Azarbaijan province. Technical magazine. 5614. [Persian]
- Farajnia A (2010). Sustainable development of agriculture with optimal use of fertilizer (case study: Varzghan city in East Azarbaijan province). Proceedings of the 1st Conference on Sustainable Agriculture and Cleaner Product. Isfahan, Iran. [Persian]
- Gotway CA, Ferguson RB, Hergert GW, Peterson TA (1996). Comparison of kriging and inverse-distance methods for mapping soil parameters. Soil Science Society of America. 60(4):1237-1247.
- Godwin RJ, Miller PCH (2003). A review of the technologies for mapping within field variability. Biosystems Engineering. 84(4):393-407.
- Huber S, Syed B, Freudenschu A, Ernstsen V, Loveland P (2001). Proposal for a European soil monitoring and assessment for framework. Copenhagen: European Environment Agency.
- Karimian N (2012). Fertilizer research in Iran: A glance at the past, a guide for the future. Iranian Journal of Soil Research. 25(4) 265-278. [Persian]
- Karimian NA (1994). Consequences of excessive use of phosphorus chemical fertilizers. Proceedings of the 4th Iranian Soil Sciences Congress. Isfahan: College of Agricultural Engineering, Isfahan University of Technology. p. 20. [Persian]
- Karlen DL, Andrews SS, Wienhold BJ, Zobeck TD (2008). Soil quality assessment: Past, present and future. Journal of Integrative Biosciences. 6(1):3-14.
- Malakouti MJ, Shahabi AA, Bazargan K (2016). Potassium in agriculture «the role of potassium in the production of healthy agricultural products». Tehran: Moballeghan Publications. [Persian]
- Malakouti MJ, Gheibi MN (1997). Determining the critical limit of nutritional elements of strategic products and correct recommendation of fertilizers in the country. Karaj: Publication of Agricultural Education. [Persian]
- Maleki S, Khormali F, Karimi AR (2014). Mapping soil organic matter using topographic attributes and geostatistic approaches in Toshan area, Golestan

Agriculture. 50(2):97-108.
- Saadat S (2018). Soil quality monitoring in agricultural lands. Soil and Water Research Institute of Iran. No: 54676. [Persian]
- Saleh Rastin N (1994). Biofertilizers. Proceedings of the 4th Iranian Soil Sciences Congress. Isfahan: College of Agricultural Engineering, Isfahan University of Technology. p. 17. [Persian]
- Smith P., Trines E (2006). Agricultural measures for mitigating climate change: will the barriers prevent any benefits to developing countries? International journal of Agriculture sustainability. 4(173-185).
- Sun B, Zhou S, Zhao Q (2003). Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China. Geoderma. 115(1-2):85-99.
- Weber D, Englund E (1992). Evaluation and comparison of spatial interpolators. Mathematical Geology. 24(4):381-391.
province, Iran. Journal of Soil Research. 28(2):459-468. [Persian]
- Momeni A (2001). Modeling spatial structure of soil nutrient variables and organic matter as a basis for implementing precision agriculture in the Marvdasht plain, Iran. Soil and Water Sciences. (special issue):1-12. [Persian]
- Nosratpour S, Ardalan M, Farajnia A, Esmali Ouri A (2010). Investigation of spatial distribution of soil fertility factors in Maraghe farms by means of geographic information systems. Watershed Management Researches. 23(2):1-10. [Persian]
- Prabhavati K, Dasog DS, Patil PL, Sahrawat KL, Wani SP (2015). Soil fertility mapping using GIS in three agro-climatic zones of Belgaum district, Karnataka. Journal of the Indian Society of Soil Science. 63(2):173-180.
- Robinson TP, Metternicht G (2006). Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. Computer and Electronics in