J. Soil and Plant Interactions, Vol. 15, No. 2, Summer 2024, pp. 49-64. **Research Article**

https://jspi.iut.ac.ir EISSN: 2783-5286 https://doi.org/10.47176/jspi.15.2.20951

The Temporal and Spatial Variations of Some Soil Properties in Wheat-Cultivated Farms of Khuzestan Province

A.R. Jafarnejhadi[1*] and F. Meskini-Vishkaee

(Received: 10 January 2024; Accepted: 24 May 2024)

Abstract

By evaluating the temporal and spatial variations of soil properties, it is possible to identify the existing potential and limitations for the development of sustainable agriculture. This research was conducted with the aim of investigating the temporal and spatial variations of some soil properties in wheat-cultivated lands of Khuzestan province. Two sets of soil samples including 212 and 718 samples were collected from surface soil (0–30 cm) in wheat farms of Khuzestan province (15 cities) on 2011 and 2021, respectively. The soil pH, calcium carbonate equivalent, salinity, organic carbon, and available phosphorus and potassium were measured in the samples. The results showed that the average calcium carbonate equivalent in the studied soils was 46.3% and the average pH of the soils was 7.4. The results showed that the wheat-cultivated lands with soil salinity restrictions increased from 42 to 59% in ten years past. Although, the highest average soil salinity (> 12 dS m^{-1}) was revealed in the southern parts of Khuzestan province and in the cities of Shadgan (16.2 dS m^{-1}) and Handijan (14.2 dS m^{-1}), respectively, but the highest rate of temporal changes of soil salinity occurred in Gotvand (209% increase) and Behbahan (191% increase). Moreover, the average of the soil organic carbon content in the wheat fields of the province decreased by 0.1% after ten years (from 0.76 to 0.66 %), and the fields with restriction of the soil organic carbon (less than 1%) increased from 77% on 2011 to 90% on 2021. Temporal changes of soil available phosphorus and potassium in the wheat fields were not significant in 80 and 67% of the studied cities, respectively. The results showed that despite the different rates of temporal and spatial changes of various soil properties, in general, agricultural management of wheat-cultivated farms in the last decade has increased soil limitations with different intensities, which strongly affects production sustainability in agriculture of the province.

Keywords: Soil degradation, Soil salinity, Soil organic carbon, Sustainable agriculture.

Background and Objective: By determining the temporal and spatial variations of soil properties, it is possible to identify the existing potential and limitations for sustainable agricultural development (Tumsavas et al., 2019). In addition to indicating soil ecosystem services and functions, soil properties also reflect soil response to different farm managements (Lehmann et al., 2020). Therefore, this research was conducted with the aim of investigating the temporal and spatial changes of some soil properties in wheat-cultivated lands of Khuzestan province.

1- Soil and Water Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran.
* Corresponding author, Email: ar.jafarnejadi@areeo.ac.ir

Methods: Two sets of soil samples including 212 and 718 samples were collected from surface soil (0–30 cm) in wheat farms of Khuzestan province (15 cities) on 2011 and 2021, respectively. Soil properties including pH, calcium carbonate, electrical conductivity of saturated extract (salinity), organic carbon, available phosphorous, and available potassium were measured. The SPSS v.19 statistical software and independent *t* test at the probability level of 5% were used to determine significant temporal variation of soil properties. Moreover, mapping and spatial variations of soil properties were determined by GIS v.10.3 software.

Results: The results showed that the mean of calcium carbonate content in the wheat-cultivated soils of Khuzestan province was 46.3% and the mean value of soil pH changed from 7.43 to 7.48 in 2011 and 2021, respectively. In 2011, about 42% of the wheat-cultivated lands faced soil salinity restrictions, but after ten years, this limitation reached to 59% of the wheat-cultivated lands in Khuzestan province (i.e., 23% increase). The results revealed that the means of soil salinity in the central part of Khuzestan province, including Ahvaz, Bavi and Shushtar, Ramshir and Mahshar were less than 4 dS m^{-1}, while Shadegan, Hendijan and Ramhormoz (southern part of the province) had a mean value of soil salinity more than 12 dS m^{-1}. The evaluation of temporal variations in soil salinity over a ten-years period showed that there was no significant variation in the 11 studied cities. While a significant increase in the mean soil salinity of wheat-cultivated farms was observed in four studied cities involving Omidie (89%), Ramhormoz (171%), Behbahan (191%) and Gotvand (209%). The mean soil organic carbon content decreased from 0.76 to 0.66 % and only 23 and 10 % of the studied soil samples in 2011 and 2021, respectively, had soil organic carbon content more than one percent. Within a period of ten years, four cities of Khuzestan province (in the northern and southern parts) including Shush (15%), Shushtar (32%), Handijan (21%) and Mahshahr (29%) showed a significant decrease in soil organic carbon content. The results showed that the temporal changes of soil available phosphorus and potassium were not significant in 80 and 67% of the studied cities, respectively. A significant decrease in soil available phosphorus was observed in Shushtar city (31%) and a significant decrease in soil available potassium was also highlighted in Shush (25%), Mahshahr (18%) and Hoizeh (15%) cities.

Conclusions: The results showed that the mean value of soil salinity in the two cities of Gotvand (with soil salinity less than 4 dS m^{-1}, and 0.5 to 1% soil organic carbon) and Behbahan (with soil salinity level in the range of 4–8 dS m^{-1}, and organic carbon content of 0.5 to 1%) is in a caution condition. However, the trend of soil quality degradation in the wheat-cultivated fields of these two cities is very severe (209 and 191% increase in soil salinity of Gotvand and Behbahan, respectively). The results showed that despite the different rates of temporal and spatial changes of different soil properties, in general, agricultural management of wheat-cultivated farms in the last decade has increased soil limitations with different intensities, which strongly affects production sustainability in agriculture of the province.

References:

1. Lehmann, J., Bossio, D.A., Knabner, I.K., Rillig, M.C., 2020. The concept and future prospects of soil health. Nat. Rev. Earth Environ. 1, 544–553. doi: 10.1038/s43017-020-0080-8.
2. Tumsavas, Z., Tekin, Y., Ulusoy, Y., Mouazen, A.M., 2019. Prediction and mapping of soil clay and sand contents using visible and near-infrared spectroscopy. Biosys. Eng. 177, 90–100. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.06.008.

روابط خاک و گیاه/ سال پانزدهم / شماره دوم / تابستان ۱۴۰۳ / صفحات ۶۴-۴۹ مقاله پژوهشی
https://doi.org/10.47176/jspi.15.2.20951 EISSN: 2783-5286 https://jspi.iut.ac.ir

تغییرات زمانی و مکانی برخی از ویژگی‌های خاک در مزارع زیر کشت گندم در استان خوزستان

علیرضا جعفرنژادی[1*] و فاطمه مسکینی ویشکایی

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۳/۴)

چکیده

با بررسی تغییرات زمانی و مکانی ویژگی‌های خاک می‌توان پتانسیل و محدودیت‌های موجود برای توسعه کشاورزی پایدار را شناسایی نمود. این پژوهش با هدف بررسی تغییرات زمانی و مکانی برخی از ویژگی‌های خاک در زمین‌های زیر کشت گندم در استان خوزستان انجام شد. داده‌ها از ۱۵ شهرستان استان خوزستان شامل ۲۱۲ و ۷۱۸ نمونه خاک از لایه ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری مزارع گندم به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۴۰۰ جمع‌آوری شدند. مقادیر pH، کربنات کلسیم معادل، شوری، کربن آلی، فسفر و پتاسیم قابل دسترس خاک در نمونه‌ها اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که میانگین کربنات کلسیم معادل در خاک‌های مورد بررسی برابر ۴۶/۳٪ و میانگین pH خاک‌ها برابر ۷/۴ بود. از سال ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰، زمین‌های زیر کشت گندم دارای خاک با محدودیت شوری (> 4 dS m^{-1}) از ۴۲ به ۵۹ درصد افزایش یافته است. با وجود این‌که، بیش‌ترین میانگین شوری خاک (بیش از ۱۲ dS m^{-1}) در بخش‌های جنوبی استان خوزستان و به‌ترتیب در شهرستان‌های شادگان (۱۶/۲ dS m^{-1}) و هندیجان (۱۴/۲ dS m^{-1}) مشاهده شد اما بیش‌ترین نرخ تغییرات زمانی شوری خاک در شهرستان گتوند (۲۰۹ درصد افزایش) و بهبهان (۱۹۱ درصد افزایش) رخ داد. با گذشت ده سال، میانگین درصد کربن آلی خاک در مزارع گندم استان به میزان ۰/۱ (از ۰/۷۶ به ۰/۶۶ درصد) کاهش یافت و مزارع دارای محدودیت کربن آلی خاک (کم‌تر از ۱ درصد) از ۷۷ درصد در سال ۱۳۹۰ به ۹۰ درصد در سال ۱۴۰۰ رسید. تغییرات زمانی فسفر و پتاسیم قابل دسترس خاک در مزارع گندم به‌ترتیب در ۸۰ و ۶۷ درصد از شهرستان‌های مورد بررسی معنی‌دار نبود. نتایج نشان داد که علی‌رغم متفاوت بودن نرخ تغییرات زمانی و مکانی ویژگی‌های مختلف خاک، به‌طور کلی مدیریت‌های رایج در کشت گندم موجب افزایش محدودیت‌های خاک با شدت‌های متفاوتی شده است که می‌تواند پایداری تولید در کشاورزی استان را به‌شدت تحت تأثیر قرار دهد.

واژه‌های کلیدی: تخریب خاک، شوری خاک، کربن آلی خاک، کشاورزی پایدار.

۱- بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: ar.jafarnejadi@areeo.ac.ir

مقدمه

توجه به جنبه‌های پایداری و حفاظت از خاک، آب، انرژی و محیط زیست به‌صورت فزاینده مورد توجه بوده است (Ghaemi et al., 2013). یکی از روش‌های تعیین و بیان عوامل گسترده مؤثر بر این شاخص‌ها مفهوم و واژه امنیت و کیفیت خاک است. امنیت خاک چارچوبی است که خاک را به‌عنوان یک جزء جدایی‌ناپذیر از اهداف پایداری زیست‌محیطی جهانی برای رسیدگی به چالش‌های زندگی بشر در نظر می‌گیرد (Crookston et al., 2021). این چالش‌ها شامل امنیت آب، غذا و انرژی، تعدیل آثار تغییرات آب و هوایی، حفاظت از تنوع زیستی و حفظ خدمات اکوسیستم است (Amundson et al., 2015).

به‌عنوان یک مفهوم چندوجهی، امنیت خاک برای اطمینان از تأمین دسترسی، کیفیت و امکان استفاده تمام انسان‌ها از غذا و آب تعریف می‌شود. اما، به‌طور کلی کیفیت خاک به‌صورت توان خاک برای انجام کارکردهای خود در چهارچوب یک اکوسیستم و نوع بهره‌برداری مشخص با حفظ فعالیت بیولوژیک و در نظرگرفتن تعادل و پایداری محیط زیست و افزایش سلامت گیاه، دام و انسان تعریف می‌شود (McBratney et al., 2014). آگاهی از وضعیت کیفیت خاک در کشاورزی و منابع طبیعی برای مدیریت بهینه زمین‌ها و رسیدن به بهره‌وری اقتصادی بیشینه ضروری است. در کشورهای در حال توسعه به علت آسیب‌پذیری خاک‌های کشاورزی از نظر زیست‌محیطی، توجه به کیفیت خاک دارای اهمیت اقتصادی فراوانی است (Armenise et al., 2013). به‌منظور دستیابی به مدیریت پایدار خاک و پیش‌بینی خطرهای تخریب خاک، تعیین روشی مناسب برای ارزیابی کیفیت خاک اهمیت دارد (Yanbing et al., 2009). از آنجایی که کیفیت خاک مستقیماً قابل اندازه‌گیری نیست، معمولاً از را اندازه‌گیری ویژگی‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک وضعیت کیفیت خاک بیان می‌شود (Larson and Pierce, 1991; Moebius et al., 2007). کیفیت پویای خاک به ویژگی‌هایی از خاک مربوط می‌شود که این ویژگی‌ها در اثر نوع استفاده از خاک و مدیریت انسان در طول در سال‌های اخیر توجه به تولید محصول و افزایش عملکرد با زمان تغییر می‌کنند (Moebius et al., 2016). بنابراین شاخص‌های قابل تفسیر و مناسب کیفیت خاک علاوه بر اینکه نشان‌دهنده کارکردهای اکوسیستمی خاک هستند بیان‌گر پاسخ خاک به تغییرات مدیریت خارج از تکرار چرخه‌های طبیعی سالانه نیز می‌باشند (Lehmann et al., 2020).

پژوهشگران زیادی اثر نوع مدیریت‌های اعمال‌شده بر زمین‌ها را بر کیفیت یا برخی از ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک بررسی نموده‌اند. Khormali et al. (2009) دریافتند که جنگل‌زدایی و عملیات زراعی، باعث کاهش ماده آلی، گنجایش تبادل کاتیونی، پایداری خاکدانه و تنفس میکروبی خاک و در نتیجه کاهش شدید کیفیت خاک می‌شود. همچنین Ayeneh et al. (2013) در یک بررسی پنج ساله در خوزستان نشان دادند که نوع مدیریت و تناوب اعمال‌شده می‌تواند باعث تغییر در برخی ویژگی‌های خاک گردد. شوری خاک کم‌تر در برخی تناوب‌های زراعی در مقایسه با تناوب رایج منطقه، نشان‌دهنده اثربخشی مدیریت تنوع کشت بر میزان شوری خاک بود. ولی در تناوب رایج منطقه با توجه به نبود کشت در تابستان، به علت تبخیر از سطح خاک، شوری خاک افزایش یافت.

در ایران، شوری یک مسئله فراگیر و محدودکننده تولید کشاورزی پایدار است، به‌طوری‌که قسمت‌های زیادی از مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور، به‌ویژه فلات مرکزی، دشت‌های ساحلی جنوب و دشت خوزستان، مبتلا به سطوح مختلف شوری هستند (Moemeni, 2010). در کشور ایران، حدود ۷/۳ میلیون هکتار از زمین‌های کشاورزی دارای مشکل شوری هستند. وجود آب و خاک شور در این مناطق سبب شده است دشواری‌های زیادی برای رشد و نمو محصولات کشاورزی به‌وجود آید. شوری آب و خاک موجب کاهش عملکرد و اختلال در جذب عناصر غذایی توسط گیاه می‌گردد. گیاهان در شرایط شور با محدودیت جذب آب و عناصر غذایی، و سمیّت برخی عناصر روبرو شده و عملکرد آن‌ها متأثر از شوری خواهد بود (Jafarnejhadi et al., 2022). بنابراین بررسی میزان شوری

خاک برای مدیریت بهتر زمین‌ها به‌منظور تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، ضروری به‌نظر می‌رسد. علاوه بر این، ماده آلی خاک نیز سهم بسیار مهمی در حاصلخیزی و کیفیت خاک دارد و به‌عنوان یکی از شاخص‌های اصلی کیفیت و توان تولید خاک به‌شمار می‌رود (Marinari et al., 2000). اهمیت کیفیت خاک، باعث ایجاد تحول در نگرش نسبت به مدیریت کربن در خاک شده، به‌طوری‌که راهکارهای مدیریتی را به‌سوی افزایش ذخایر کربن سوق داده است. کربن آلی، یکی از اجزای کیفیت و سلامت خاک محسوب شده و دارای پتانسیل قابل توجهی است که تحت تأثیر مدیریت اعمال‌شده بر خاک قرار می‌گیرد. مواد آلی در کنترل اسیدیته، گنجایش نگهداری آب و عناصر غذایی خاک نقش اساسی دارند (Merino et al., 2004).

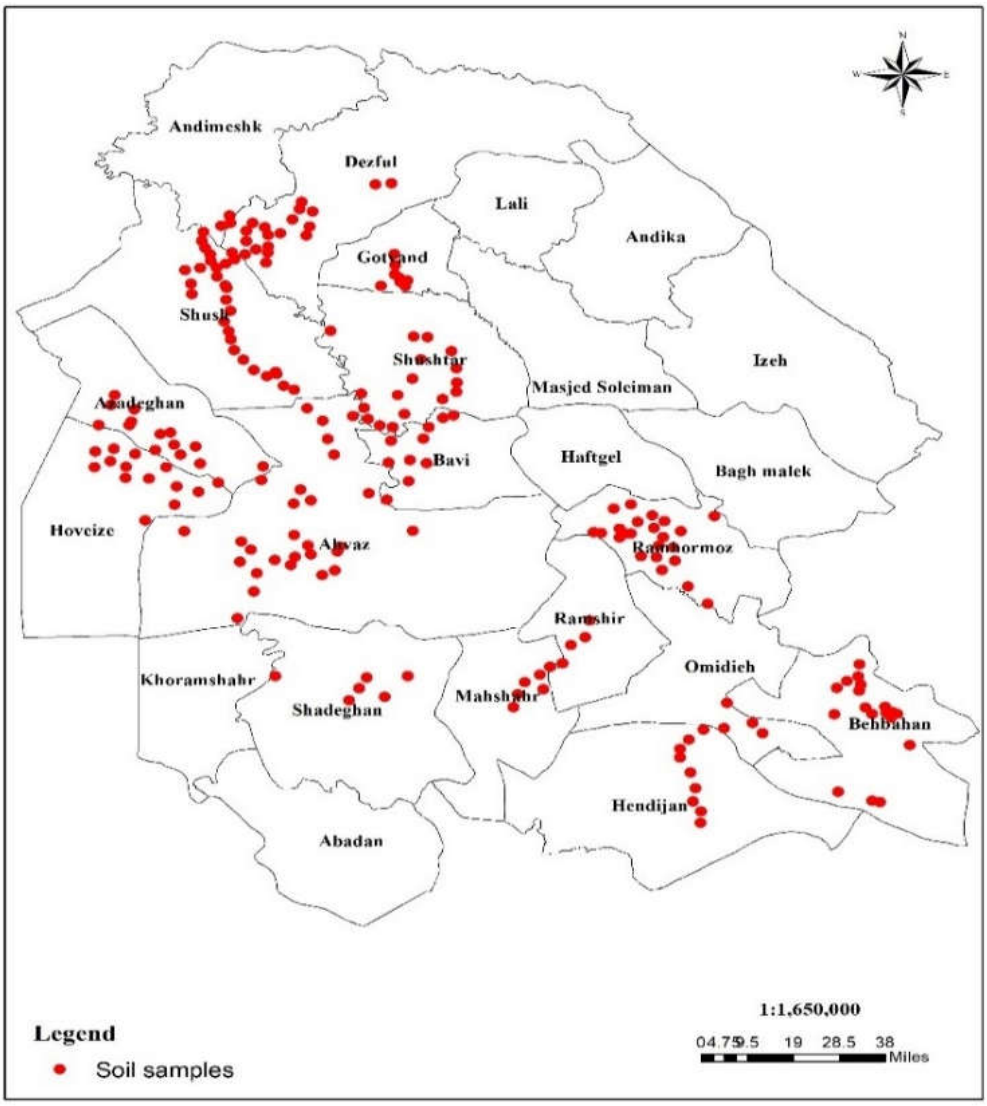
استان خوزستان با دارا بودن بیش از ۴۰۰ هزار هکتار سطح زیر کشت گندم آبی با میانگین عملکرد چهار تن در هکتار نقش بسزایی در تولید گندم در کشور دارد (Ahmadi et al., 2019). براساس نتایج پژوهش‌های موجود، بیش‌تر خاک‌های استان دارای مسائل و مشکلاتی مانند شوری و آهک زیاد و نبود تعادل تغذیه‌ای هستند (Balali et al., 2001). علاوه بر این، اقلیم خشک و نیمه‌خشک استان خوزستان موجب کاهش تاب‌آوری خاک‌های زراعی این منطقه، کاهش حاصلخیزی خاک، افزایش سرعت تجزیه ماده آلی خاک، فشردگی و کاهش کیفیت فیزیکی خاک‌های کشاورزی استان شده است (Meskini-Vishkaee et al., 2020). براساس پژوهش‌های Jafarnejhadi et al. (2019) در سال‌های اخیر به‌دلیل کشاورزی فشرده، عدم رعایت تناوب زراعی، مدیریت نامناسب منابع آب و خاک و افزایش وقوع تنش‌های محیطی همچون خشکسالی، منابع آب و خاک استان خوزستان تخریب شده است. با توجه به این‌که برای مدیریت پایدار زمین‌ها، اطلاع از کارکردها و ویژگی‌های خاک و تغییرات زمانی و مکانی آن‌ها ضروری است، با تعیین شاخص‌های کیفیت خاک می‌توان پتانسیل‌ها و محدودیت‌های موجود برای توسعه کشاورزی پایدار هر منطقه را شناسایی نمود (Tumsavas et al., 2019). بنابراین این پژوهش، با هدف بررسی تغییرات زمانی و مکانی برخی از ویژگی‌های خاک در زمین‌های زیر کشت گندم استان خوزستان انجام شد.

مواد و روش‌ها

استان خوزستان با مساحت ۶۳۶۳۳/۶ کیلومتر مربع بین ′۵۷ °۲۹ تا ′۰ °۳۳ عرض شمالی و ′۴۰ °۴۷ تا ′۳۳ °۵۰ طول شرقی در جنوب غربی ایران قرار دارد. نمونه‌برداری خاک به‌صورت مرکب و از لایه ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر مزارع زیر کشت گندم واقع در ۱۵ شهرستان استان خوزستان شامل اهواز، باوی، بهبهان، دشت آزادگان، دزفول، هندیجان، هویزه، رامهرمز، شادگان، شوش، شوشتر، گتوند، رامشیر، امیدیه و ماهشهر در سال‌های ۱۳۹۰ (۲۱۲ نمونه خاک) و ۱۴۰۰ (۷۱۸ نمونه خاک) انجام شد (شکل ۱). پس از آماده‌سازی نمونه‌های خاک (نمونه خاک‌های سال ۱۳۹۰ و ۱۴۰۰) در آزمایشگاه، pH خاک در گل اشباع با استفاده از pHمتر، درصد کربن آلی خاک به روش اکسیداسیون تر (Nelson and Sommers, 1996)، رسانایی الکتریکی عصاره اشباع خاک با استفاده از ECمتر، فسفر قابل دسترس خاک به‌روش اولسن (Olsan, 1995) و پتاسیم قابل دسترس خاک به روش استخراج با استات آمونیوم (Simard, 1993) اندازه‌گیری شد. علاوه براین، مقدار کربنات کلسیم معادل نمونه‌های خاک تنها در نمونه‌های خاک سال ۱۳۹۰ تعیین شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌های مورد بررسی با استفاده از نرم‌افزار SPSS v.19 و بررسی تغییرات زمانی ویژگی‌های مختلف مورد بررسی در دو دوره زمانی با استفاده از آزمون تی مستقل (*t*-Independent test) در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. تغییرات مکانی شاخص‌های مورد بررسی با استفاده از نرم‌افزار GIS 10.3 مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

نتایج آمار توصیفی داده‌های مورد بررسی نشان داد که میانگین درصد کربنات کلسیم معادل در خاک‌های زیر کشت گندم استان خوزستان ۴۶/۳ درصد به‌دست آمد (جدول ۱). بیش‌ترین



شکل ۱. توزیع مکانی نقاط نمونه‌برداری خاک سطحی در سال ۱۳۹۰ (استان خوزستان)

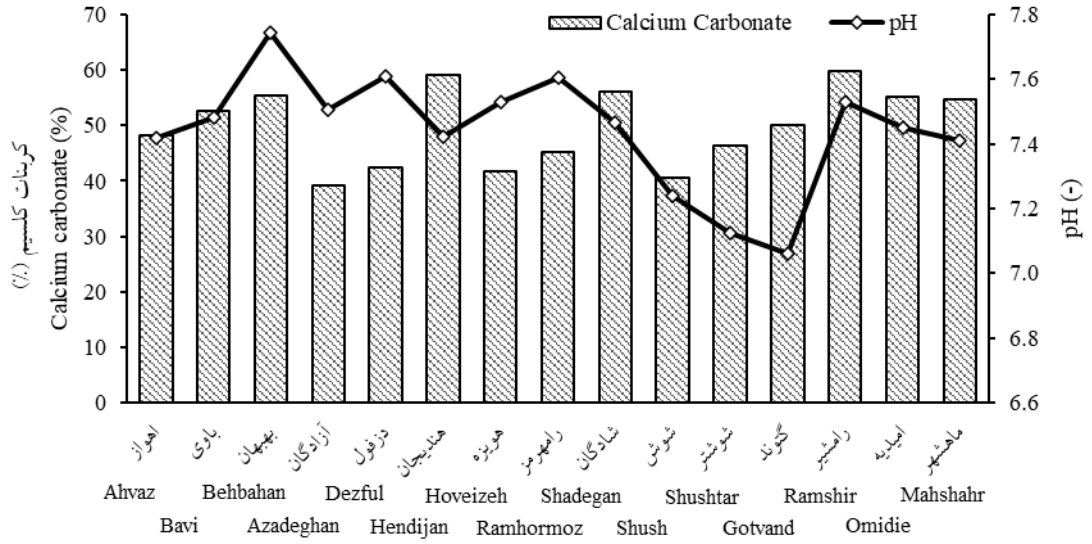
Fig. 1. Spatial distribution of soil surface sampling points in 2011 (Khuzestan province)

میانگین درصد کربنات کلسیم معادل در خاک‌های مناطق هندیجان، شادگان و بهبهان (بیش از ۵۰ درصد) و کم‌ترین میانگین آن در خاک‌های مزارع زیر کشت گندم در دشت آزادگان مشاهده شد (شکل ۲). Asghari Hajshejani and Jafari (2017) نیز مقدار کربنات کلسیم معادل در خاک‌های خوزستان را ۳۰ تا ۵۰ درصد گزارش کردند. همچنین میانگین pH خاک‌های کشاورزی زیر کشت گندم در استان تقریباً برابر ۷/۵ و دامنه تغییرات آن از ۶/۶ تا ۸/۴ به‌دست آمد. بیش‌ترین میانگین pH خاک در مزارع زیر کشت گندم شهرستان‌های بهبهان (۷/۷۴)، دزفول (۷/۶۱) و رامهرمز (۷/۶۰) و کم‌ترین آن در خاک‌های شهرستان شوشتر (۷/۱) و سپس شوش (۷/۲۴) مشاهده شد (شکل ۲). نتایج نشان داد که مقادیر pH خاک‌های کشاورزی زیر کشت استان خوزستان در بازه زمانی ده‌ساله، تغییر معنی‌داری نداشته و مقادیر میانگین، کمینه و بیشینه pH خاک در هر دو مجموعه داده (سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۴۰۰) تقریباً مشابه به‌دست آمد. نبود تغییرات زمانی معنی‌دار در pH خاک‌های استان به دلیل مقادیر زیاد کربنات کلسیم معادل خاک است؛ کانی‌های کربناتی به‌دلیل واکنش‌پذیری و خاصیت قلیایی،

جدول ۱. آماره‌های توصیفی ویژگی‌های خاک در مزارع گندم استان خوزستان

Table 1. Descriptive statistics of soil properties in wheat fields of Khuzestan province

کشیدگی Kurtosis	چولگی Skewness	انحراف معیار Standard deviation	بیشینه Max	کمینه Min	میانگین Mean	سال Year	ویژگی خاک Soil property
1.2	0.01	8.84	75	15	47	2011	کربنات کلسیم معادل (٪) Calcium carbonate equivalent (%)
0.27	0.018	0.26	8.40	6.80	7.44	2011	واکنش (–)
-0.046	-0.22	0.28	8.35	6.70	7.48	2021	pH (-)
0.31	0.18	0.29	1.62	0.03	0.76	2011	کربن آلی (٪)
2.4	1.05	0.29	1.97	0.05	0.70	2021	Organic carbon (%)
16.38	3.4	6.07	47.2	0.67	5.01	2011	رسانایی الکتریکی ($dS\ m^{-1}$)
31.7	4.7	9.78	101.3	0.56	7.44	2021	Electrical conductivity ($dS\ m^{-1}$)
6.2	2.24	7.57	44.0	0.47	8.29	2011	فسفر قابل دسترس ($mg\ kg^{-1}$)
5.5	2.1	6.2	39.8	1.24	8.78	2021	Available phosphorous ($mg\ kg^{-1}$)
3.6	1.4	65.6	470	62	171	2011	پتاسیم قابل دسترس ($mg\ kg^{-1}$)
3	1.1	43.6	383	70	165	2021	Available potassium ($mg\ kg^{-1}$)



شکل ۲. میانگین درصد کربنات کلسیم معادل و pH خاک در شهرستان‌های مختلف استان خوزستان **(۱۳۹۰)**

Fig. 2. Average soil calcium carbonate equivalent and pH in different cities of Khuzestan province (2011)

به‌صورت بافر عمل کرده و موجب می‌شود pH بیش‌تر خاک‌های آهکی در دامنه ۷/۵ تا ۸/۵ قرار گیرد (Shahbazi and Besharati, 2013). همچنین مقادیر زیاد کربنات کلسیم خاک موجب کاهش فراهمی و جذب عناصر غذایی به‌ویژه ریزمغذی‌ها به‌وسیله ریشه گیاهان می‌شود (Barrow and Hartemink, 2023).

براساس نتایج جدول (۱) در سال ۱۳۹۰، شوری نمونه‌های خاک مورد بررسی در دامنه ۰/۶۷ تا ۴۷/۲ $dS\ m^{-1}$ متغیر بوده،

جدول ۲. گروه‌بندی خاک‌های زیر کشت گندم در استان خوزستان براساس شوری خاک

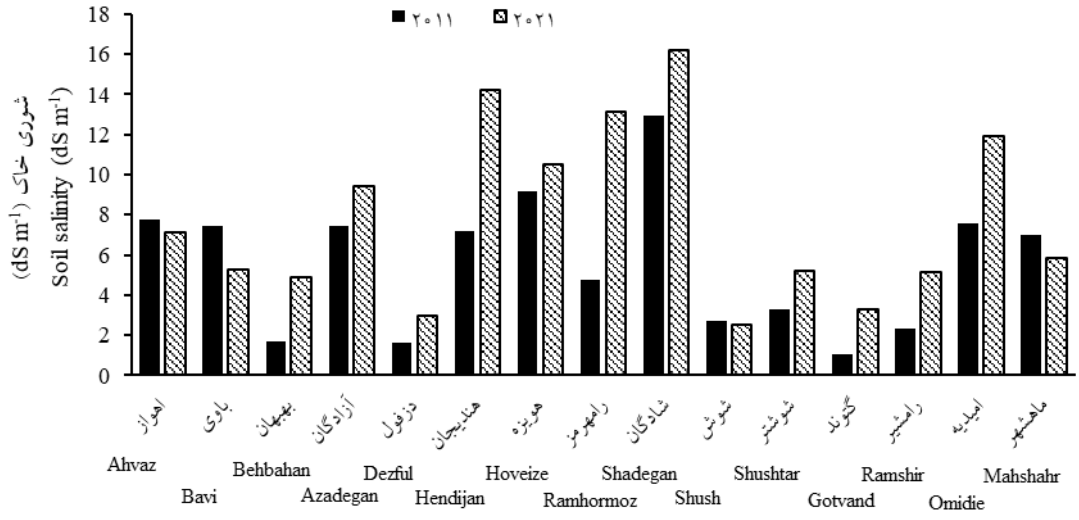
Table 2. Classification of wheat-cultivated soils in Khuzestan province based on soil salinity

	رسانایی الکتریکی خاک ($dS\ m^{-1}$) Soil electrical conductivity ($dS\ m^{-1}$)			
	< 4	4–8	8–12	12 <
نمونه خاک‌های سال ۱۳۹۰ Soil samples of 2011	58 %	24 %	11 %	7 %
نمونه خاک‌های سال ۱۴۰۰ Soil samples of 2021	41 %	35 %	10 %	14 %

به‌طوری‌که حدود ۵۸ درصد از خاک‌های مزارع زیر کشت گندم در استان دارای شوری کم‌تر از $4\ dS\ m^{-1}$ (خاک غیرشور)، ۲۴ درصد دارای شوری ۴ تا $8\ dS\ m^{-1}$ و ۱۸ درصد دارای شوری بیش‌تر از $8\ dS\ m^{-1}$ بودند (جدول ۲). اما در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱، شوری خاک مزارع گندم استان خوزستان دارای میانگین $7/44\ dS\ m^{-1}$ و دامنه تغییرات ۰/۵۶ تا $101\ dS\ m^{-1}$ بود و تنها ۴۱ درصد خاک‌های مورد بررسی شوری کم‌تر از $4\ dS\ m^{-1}$ داشته و غیرشور بودند (جدول ۲). نتایج نشان می‌دهد که تا سال ۱۳۹۰، حدود ۴۲ درصد از زمین‌های زیر کشت گندم با محدودیت شوری خاک مواجه بوده‌اند، اما پس از گذشت ده سال، ۵۹ درصد از خاک زمین‌های زیر کشت گندم در استان خوزستان با مشکل شوری خاک مواجه شدند (۱۷ درصد افزایش). با توجه به این‌که حد آستانه تحمل شوری در بیش‌تر واریته‌های گندم ۶ تا $8\ dS\ m^{-1}$ گزارش شده است (USDA-ARS, 2005)، درصد مزارع زیر کشت گندم استان خوزستان با محدودیت شوری برای رشد و عملکرد گندم با گذشت ده سال از ۱۸ درصد به ۲۴ درصد افزایش یافته است. SeyedJalali et al. (2019) مقادیر ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد کاهش عملکرد گندم به‌ترتیب در شوری‌های خاک ۷/۴، ۱۱، ۱۵ و $20\ dS\ m^{-1}$ گزارش کرده‌اند.

در سال ۱۳۹۰، بیش‌ترین میانگین شوری خاک در شهرستان شادگان ($12/97\ dS\ m^{-1}$) و سپس هویزه ($9/16\ dS\ m^{-1}$) و کم‌ترین میانگین شوری خاک در مزارع گندم شهرستان‌های گتوند ($1/06\ dS\ m^{-1}$)، بهبهان ($1/68\ dS\ m^{-1}$) و دزفول ($dS\ m^{-1}$ ۱/۶۲) مشاهده شد (شکل ۳). پس از گذشت ده سال، مزارع گندم در شهرستان‌های شمالی استان خوزستان عمدتاً دارای میانگین شوری خاک کم‌تر از $4\ dS\ m^{-1}$ بودند (شکل ۴- الف) درحالی‌که میانگین شوری خاک در مزارع گندم شهرستان‌های بخش مرکزی استان شامل اهواز، شوشتر، رامشیر، ماهشهر و باوی در محدوده ۴ تا $8\ dS\ m^{-1}$ قرار داشت و بیش‌ترین میانگین شوری خاک (بیش از $12\ dS\ m^{-1}$) در بخش‌های جنوبی استان خوزستان و به‌ترتیب در شهرستان‌های شادگان ($dS\ m^{-1}$ ۱۶/۲) و هندیجان ($14/2\ dS\ m^{-1}$) مشاهده شد (شکل ۴- الف). البته باید به این نکته توجه نمود که میانگین شوری خاک در مزارع گندم شهرستان‌های واقع در غرب استان خوزستان شامل دشت آزادگان ($9/41\ dS\ m^{-1}$) و هویزه ($10/5\ dS\ m^{-1}$) از بخش مرکزی استان بیش‌تر و از بخش‌های جنوبی استان کم‌تر بود (شوری ۸ تا $12\ dS\ m^{-1}$).

مقدار کربن آلی در لایه ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک‌های زیر کشت گندم در سال ۱۳۹۰ از ۱/۷۱ تا ۰/۰۳ درصد متغیر بوده و میانگین کربن آلی خاک برابر ۰/۷۶ درصد بود. درحالی‌که در سال ۱۴۰۰، میانگین کربن آلی در مجموع نمونه خاک‌های مورد بررسی از ۰/۷۶ به ۰/۶۶ درصد کاهش یافت و محدوده تغییرات کربن آلی خاک‌ها از ۰/۰۳ تا ۱/۸۹ درصد مشاهده شد (جدول ۱). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که افزایش ۰/۱ درصد کربن آلی خاک می‌تواند موجب افزایش ۲۸۶ کیلوگرم در هکتار عملکرد گندم شود (SeyedJalali et al., 2019). بنابراین ۰/۱ درصد کاهش میانگین کربن آلی خاک طی ده سال می‌تواند بر



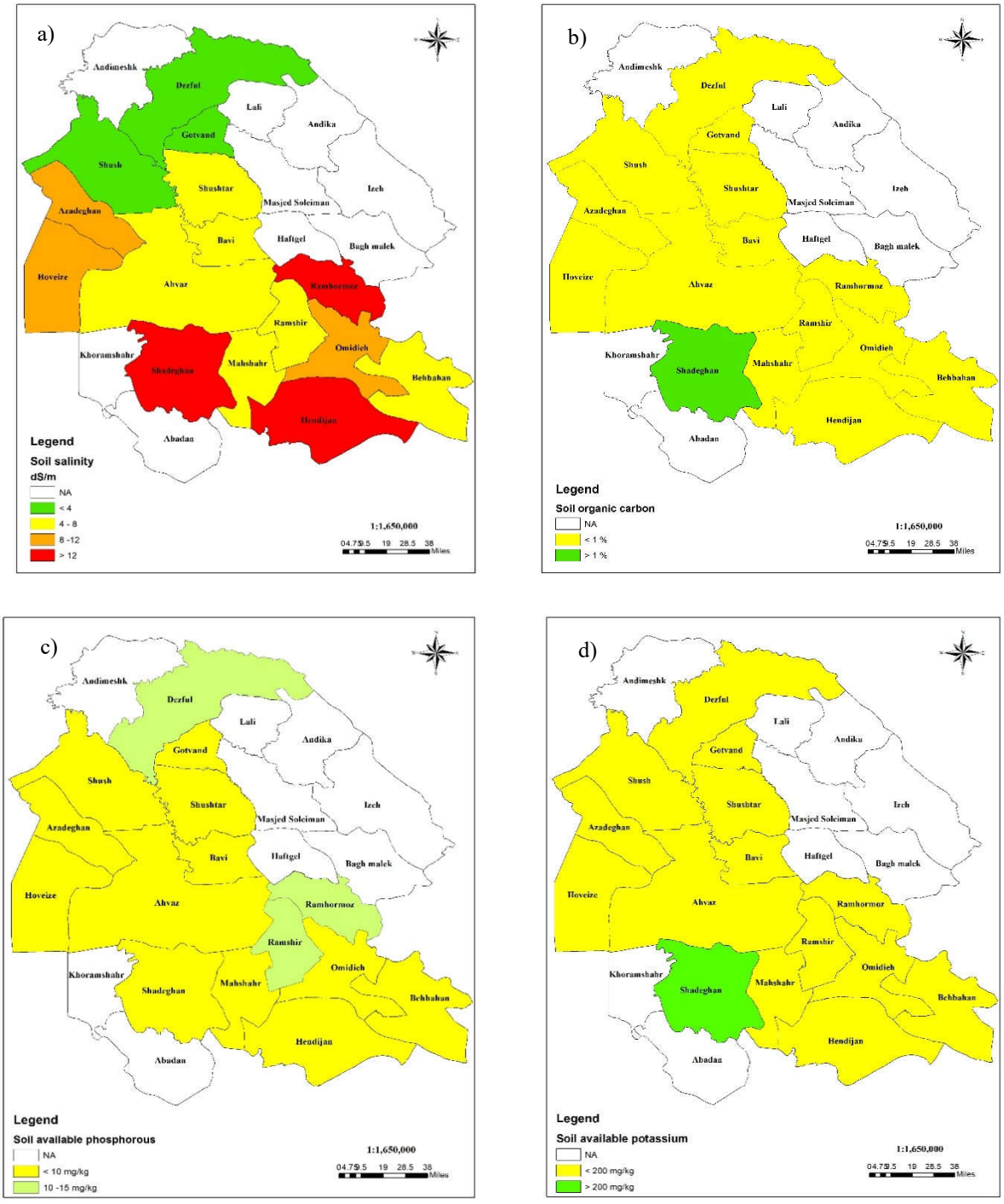
شکل ۳. میانگین شوری خاک در شهرستان‌های مختلف استان خوزستان

Fig. 3. Average soil salinity in different cities of Khuzestan province

عملکرد نهایی گندم در سطح استان بسیار تأثیرگذار باشد. علاوه بر این، با توجه به این‌که خاک‌های با محتوای کربن آلی کم‌تر از یک درصد به‌عنوان خاک‌های دچار کمبود کربن آلی شناخته می‌شوند (Elsen et al., 2004)، تنها ۲۳ و ۱۰ درصد از نمونه خاک‌های مورد بررسی به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۴۰۰ دارای کربن آلی بیش از یک درصد بودند (جدول ۳). به عبارت دیگر، محدودیت کمبود کربن آلی خاک‌های مورد بررسی از ۷۷ درصد در سال ۱۳۹۰ به ۹۰ درصد در سال ۱۴۰۱ افزایش یافت (۱۳ درصد افزایش محدودیت).

پس از گذشت ده سال تغییرات محتوای کربن آلی خاک‌های استان بدین گونه بوده است که باوجود این‌که در سال ۱۳۹۰، ۵۰ درصد خاک‌ها دارای بیش از ۰/۷۵ درصد کربن آلی بودند اما با گذشت ده سال مقدار کربن آلی در تنها ۳۰ درصد از خاک‌های مورد بررسی در این دامنه قرار گرفتند. کاهش کربن آلی خاک در اثر گذشت زمان موجب شد تا ۵ درصد از این خاک‌ها در گروه خاک‌های دارای کربن آلی کم‌تر از ۰/۵ درصد و ۱۵ درصد آن‌ها در گروه خاک‌های حاوی ۰/۷۵–۰/۵ درصد کربن آلی قرار گیرند (جدول ۳). این کاهش را می‌توان علاوه بر وجود دمای زیاد و اکسیداسیون سریع این مواد، به سوزاندن کاه و کلش بقایای محصولات کشاورزی، و استفاده کم‌تر از کودهای سبز و کودهای آلی موجود نیز نسبت داد (Jafarnejhadi and Meskini-Vishkaee, 2023). در واقع، مقدار ماده آلی خاک به‌وسیله توازن بین افزودن مواد آلی و هدررفت (تجزیه) آن کنترل می‌شود. مکانیسم‌های افزایش یا کاهش ماده آلی خاک به‌شدت به عوامل و فعالیت‌های مدیریت مزارع بستگی دارد. Mousavi et al. (2022) نیز محتوای کربن آلی خاک کم‌تر از ۰/۵ درصد را به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده حاصلخیزی خاک‌ها برای دستیابی به اهداف کشاورزی پایدار گزارش کردند.

براساس نمونه خاک‌های سال ۱۳۹۰، میانگین محتوای کربن آلی خاک‌های تمام شهرستان‌های مورد بررسی در استان خوزستان کم‌تر از یک درصد بود. در سال ۱۴۰۰ نیز میانگین کربن آلی خاک در تمام شهرستان‌های مورد بررسی، به جز شادگان، در محدوده ۰/۵ تا ۱ درصد قرار داشت (شکل ۴- ب). بیش‌ترین کربن آلی خاک در مزارع گندم شهرستان رامهرمز و دشت آزادگان با میانگین ۰/۹۶ درصد و کم‌ترین آن در شهرستان امیدیه با میانگین ۰/۵۶ درصد به‌دست آمد (شکل ۵). تغییرات محتوای کربن آلی خاک در بازه زمانی ده‌ساله بیان‌گر افزایش محتوای کربن آلی خاک در شهرستان شادگان به میزان ۴۳ درصد (افزایش کربن آلی خاک از ۰/۷۲ به ۱/۰۲ درصد)



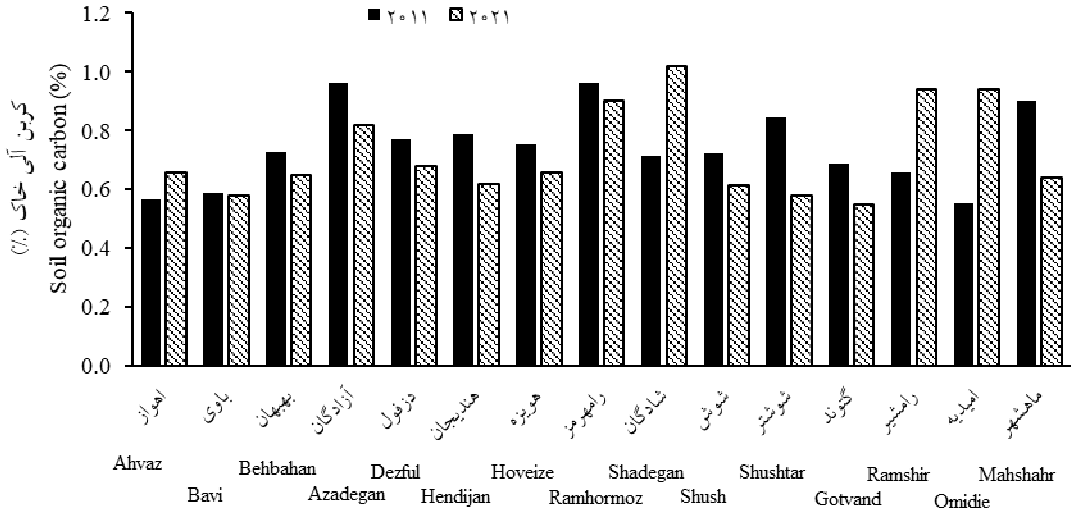
شکل ۴. الف) پراکنش میانگین شوری خاک (الف)، کربن آلی خاک (ب)، فسفر قابل دسترس خاک (ج) و پتاسیم قابل دسترس خاک (د) در مزارع زیر کشت گندم در شهرستان‌های مختلف استان خوزستان (سال ۱۴۰۰)

Fig. 4. a) Spatial distribution of average soil salinity (a), soil organic carbon (b), soil available phosphorous (c), and soil available potassium (d) in wheat-cultivated fields in different cities of Khuzestan province (2021)

جدول ۳. گروه‌بندی خاک‌های زیر کشت گندم در استان خوزستان براساس محتوای کربن آلی خاک

Table 3. Classification of wheat-cultivated soils in Khuzestan province based on soil organic carbon content

کربن آلی خاک (٪) Soil organic carbon (%)				
> 1	0.75–1	0.5–0.75	< 0.5	
23 %	27 %	30 %	20 %	نمونه خاک‌های سال ۱۳۹۰ Soil samples of 2011
10 %	20 %	45 %	25 %	نمونه خاک‌های سال ۱۴۰۰ Soil samples of 2021



شکل ۵. میانگین مقدار کربن آلی خاک در شهرستان‌های مختلف استان خوزستان

Fig. 5. Average soil organic carbon content in different cities of Khuzestan province

است. هرچند بیش‌ترین درصد افزایش محتوای کربن آلی به میزان ۶۹ درصد و در شهرستان امیدیه مشاهده شد، با این‌حال میانگین کربن آلی خاک در این شهرستان در سال ۱۴۰۰ نیز کم‌تر از یک درصد به‌دست آمد (شکل ۵).

میانگین فسفر قابل دسترس خاک در کل نمونه‌های خاک از مزارع گندم استان خوزستان از $8/28\ mg\ kg^{-1}$ در سال ۱۳۹۰ به $8/78\ mg\ kg^{-1}$ در سال ۱۴۰۰ افزایش یافت (جدول ۱). هر دو زمان ، بیش از ۸۰ درصد نمونه‌های خاک دارای فسفر قابل دسترس کم‌تر از $15\ mg\ kg^{-1}$ بودند و در محدوده کمبود برای گندم قرار داشتند (جدول ۴). Noarem et al. (2023) گزارش نمودند که کمبود فسفر و گنجایش کم جذب آن توسط گیاه از چالش‌های مهم تولید محصولات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. میانگین غلظت پتاسیم قابل دسترس خاک نیز از ۱۷۱ به $165\ mg\ kg^{-1}$ کاهش یافت (جدول ۱). این در حالی است که مزارع دارای کمبود پتاسیم برای رشد گندم (کم‌تر از $200\ mg\ kg^{-1}$) از ۷۱ درصد در سال ۱۳۹۰ به ۸۳ درصد در سال ۱۴۰۰ افزایش یافت (جدول ۴).

مقادیر میانگین فسفر و پتاسیم قابل دسترس خاک در شهرستان‌های مختلف استان خوزستان در دو دوره زمانی ۱۳۹۰ و ۱۴۰۰ در شکل (۶) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که میانگین فسفر قابل دسترس خاک در هر دو دوره زمانی مورد بررسی کم‌تر از حد بهینه برای رشد مطلوب گندم است ($15\ mg\ kg^{-1}$). در سال ۱۳۹۰، بیش‌ترین میانگین فسفر قابل دسترس خاک در شهرستان‌های دزفول ($14/7\ mg\ kg^{-1}$)، امیدیه

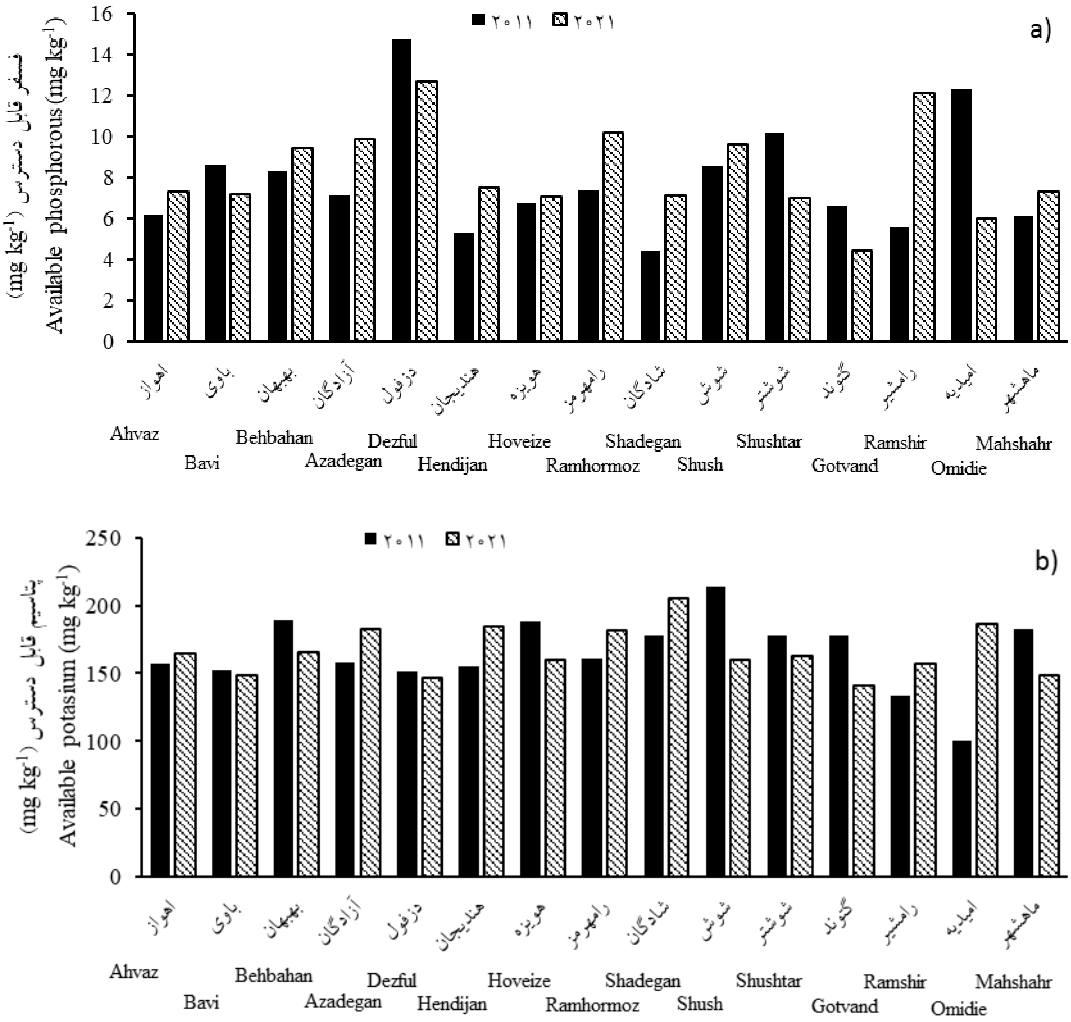
جدول ۴. گروه‌بندی خاک‌های زیر کشت گندم در استان خوزستان براساس مقدار فسفر و پتاسیم قابل دسترس خاک

Table 4. Classification of wheat-cultivated soils in Khuzestan province based on soil available phosphorous and potassium contents

پتاسیم قابل دسترس ($mg\ kg^{-1}$) Available potassium		فسفر قابل دسترس ($mg\ kg^{-1}$) Available phosphorous		
200 <	< 200	> 15	< 15	
29 %	71 %	14 %	86 %	نمونه خاک‌های سال ۱۳۹۰ Soil samples of 2011
17 %	83 %	13 %	87 %	نمونه خاک‌های سال ۱۴۰۰ Soil samples of 2021

($12/3\ mg\ kg^{-1}$) و شوشتر ($10/2\ mg\ kg^{-1}$) مشاهده شد. پس از گذشت ده سال نیز بیش‌ترین میانگین فسفر قابل دسترس خاک در شهرستان دزفول ($12/7\ mg\ kg^{-1}$) مشاهده شد (شکل ۶- الف). Feizi Asl et al. (2020) حد بحرانی فسفر قابل دسترس خاک برای تولید گندم را ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش نمودند. براین اساس، میانگین فسفر قابل دسترس خاک تنها در سه شهرستان‌های رامهرمز، رامشیر و دزفول در حد کفایت بود و سایر شهرستان‌های مورد بررسی در محدوده کم‌تر از حد بحرانی برای گندم قرار داشتند (شکل ۴-ج). پتاسیم قابل دسترس خاک روند متفاوتی نسبت به فسفر نشان داد به گونه‌ای‌که تفاوت معنی‌داری بین میانگین پتاسیم قابل دسترس خاک در شهرستان‌های مختلف استان (به جز شهرستان امیدیه) مشاهده نشد (شکل ۶-ب).

بررسی تغییرات زمانی شوری خاک در بازه زمانی ده‌ساله در شکل (۷- الف) نشان داد که در ۱۱ شهرستان مورد بررسی تغییرات معنی‌داری وجود نداشت (براساس نتایج آزمون t مستقل و سطح احتمال ۵ درصد). تنها در سه شهرستان واقع در شرق و جنوب شرقی استان خوزستان (بهبهان، رامهرمز و امیدیه) و شهرستان گتوند افزایش معنی‌داری در میانگین شوری خاک مشاهده شد. بیش‌ترین درصد افزایش معنی‌دار میانگین شوری خاک به‌ترتیب در مزارع گندم شهرستان‌های گتوند (۲۰۹ درصد)، بهبهان (۱۹۱ درصد) و رامهرمز (۱۷۸ درصد) مشاهده شد (افزایش میانگین شوری خاک به میزان بیش از دو برابر). عوامل مختلفی مانند عوامل اقلیمی، فیزیکی، فنی و مدیریتی بر افزایش شوری خاک تأثیرگذار هستند، اما با توجه به این‌که عوامل اقلیمی و فیزیکی قابل تغییر نیستند، لازم است عوامل فنی و مدیریتی را بهبود داد (Noory et al., 2016). میانگین مقدار کربن آلی خاک در هفت شهرستان استان خوزستان تغییرات زمانی معنی‌داری نداشت اما میانگین آن پس از گذشت ده سال در شهرستان‌های واقع در بخش مرکزی استان خوزستان شامل اهواز، رامشیر، شادگان و امیدیه به میزان ۱۶ تا ۶۹ درصد افزایش یافت (شکل ۷-ب). در بازه زمانی ده‌ساله، کاهش مقدار کربن آلی خاک در چهار شهرستان استان خوزستان شامل شوش (۱۵ درصد)، شوشتر (۳۲ درصد)، هندیجان (۲۱ درصد) و ماهشهر (۲۹ درصد) معنی‌دار بود. نتایج پژوهش‌های Mirzashahi (2017) نیز در ارزیابی روند تغییرات محتوای کربن آلی خاک در شهرستان‌های شمال استان خوزستان نشان داد که درصد زمین‌های کشاورزی با کم‌تر از یک درصد کربن آلی خاک در سال ۱۳۳۸ به ۱۰۰ درصد در سال ۱۳۹۰ رسیده است که تأییدکننده روند کاهشی محتوای کربن آلی در خاک‌های کشاورزی شمال استان است. باید توجه نمود که درصد تغییرات زمانی مقدار کربن آلی خاک نسبت به شوری خاک دارای روند کندتری است؛ در واقع تغییر محتوای کربن آلی خاک پدیده‌ای زمان‌بر و وابسته به شرایط اقلیمی، خاکی و مدیریتی است (Campbell et al., 2007). کاهش کربن آلی خاک در خاک‌های کشاورزی استان را می‌توان به مدیریت رایج کشاورزی منطقه از جمله خاک‌ورزی فشرده و شدید، تک‌کشتی بودن مزارع، استفاده از ارقام جدید و پرمحصول، سوزاندن



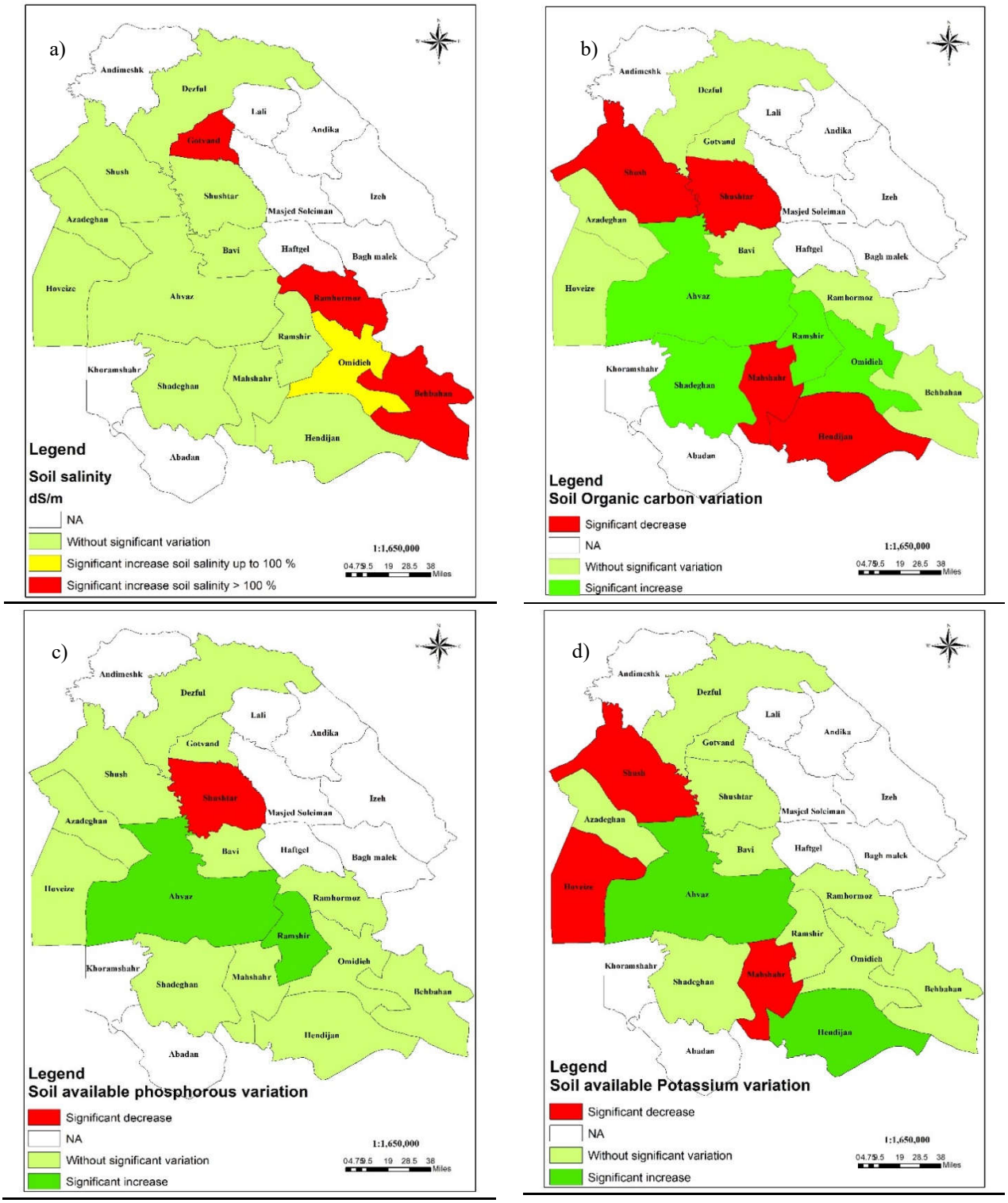
شکل ۶. میانگین فسفر (الف) و پتاسیم (ب) قابل دسترس خاک در شهرستان‌های مختلف استان خوزستان

Fig. 6. Average soil available phosphorous (a) and potassium (b) in different cities of Khuzestan province

بقایای محصول، مدیریت نامناسب آبیاری، کاربرد نامتعادل کودهای شیمیایی و استفاده محدود از کودهای آلی و اتکای زیاد به کنترل شیمیایی آفات و بیماری‌ها نسبت داد (Mirzashahi, 2017). نتایج نشان داد که تغییرات زمانی فسفر و پتاسیم قابل دسترس خاک به‌ترتیب در ۱۲ و ۱۰ شهرستان استان خوزستان معنی‌دار نبود (شکل ۷–ج و د). کاهش معنی‌دار فسفر قابل دسترس خاک تنها در شهرستان شوشتر (۳۱ درصد) و کاهش معنی‌دار پتاسیم قابل دسترس در شهرستان‌های شوش (۲۵ درصد)، ماهشهر (۱۸ درصد) و هویزه (۱۵ درصد) مشاهده شد.

نتیجه‌گیری

این پژوهش، با هدف بررسی تغییرات زمانی و مکانی برخی از ویژگی‌های خاک در زمین‌های زیر کشت گندم استان خوزستان انجام شد. نتایج نشان داد که به دلیل مقدار کربنات کلسیم معادل زیاد خاک در مزارع گندم استان خوزستان، pH خاک طی ده سال از ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰ تغییرات معنی‌داری نداشته است. اما، روند تغییرات زمانی و مکانی میانگین شوری، کربن آلی، فسفر و پتاسیم قابل دسترس خاک‌های زیر کشت گندم در استان خوزستان نشان‌دهنده تخریب و کاهش کیفیت خاک‌های کشاورزی در اثر مدیریت‌های رایج در منطقه بود. با گذشت ده



شکل ۷. الف) تغییرات زمانی میانگین شوری خاک (الف)، کربن آلی خاک (ب)، فسفر قابل دسترس خاک (ج) و پتاسیم قابل دسترس خاک (د) در شهرستان‌های مختلف استان از سال ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰. افزایش یا کاهش معنی‌دار تغییرات زمانی ویژگی‌های مورد بررسی در هر شهرستان براساس نتایج آزمون *t*-test مستقل در سطح احتمال ۵ درصد ارائه شده است.

Fig. 7. Temporal variations of average soil salinity (a), soil organic carbon content (b), soil available phosphorous (c) and soil available potassium (d) in different cities of Khuzestan province since 2011 to 2021. The significant increase or decrease of temporal variations of the studied properties in each city is based on the independent *t*-test results at the 5% probability level.

سال و انجام مدیریت‌های زراعی در کشت گندم در شهرستان‌های مختلف استان، بیش‌ترین و کم‌ترین شدت تغییرات معنی‌دار ویژگی‌های خاک به‌ترتیب در شوری خاک (۸۹ تا ۲۰۹ درصد افزایش) و پتاسیم قابل دسترس خاک (از ۱۵ درصد کاهش تا ۱۸ درصد افزایش) مشاهده شد. همچنین تغییرات زمانی کربن آلی و پتاسیم قابل دسترس خاک به‌ترتیب در ۵۰ و ۳۳ درصد شهرستان‌های مورد بررسی معنی‌دار به‌دست آمد که نشان‌دهنده تأثیرپذیری زیاد ویژگی‌های خاک از شرایط اقلیمی و مدیریت مزارع گندم در منطقه است.

تشکر و سپاسگزاری

نویسندگان از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان و سازمان جهاد کشاورزی استان خوزستان برای حمایت معنوی و مادی از این پژوهش تشکر و قدردانی می‌نمایند.

تضاد منافع

نویسندگان مقاله اذعان دارند هیچ‌گونه تضاد منافعی با شخص، شرکت یا سازمانی برای این پژوهش ندارند.

منابع مورد استفاده

1. Amundson, R., Berhe, A.A., Hopmans, J.W., Olson, C., Sztein, A.E., Sparks, D.L., 2015. Soil and human security in the 21st century. Science 80, 348.
2. Armenise, E., Redmile-Gordon, M.A., Stellacci, A.M., Ciccarese, A., Rubino, P., 2013. Developing a soil quality index to compare soil fitness for agricultural use under different managements in the Mediterranean environment. Soil Till. Res. 130, 91–98.
3. Asgari Hafshejani, N., Jafari, S., 2017. The study of particle size distribution of calcium carbonate and its effects on some soil properties in khuzestan province. Iran Agric. Res. 36(2), 71–80.
4. Ayeneh, L., Ghoosheh, M., Mousavi-Fazl, M.H., Dehghani, A., PoorAzar, R., Gilani, A., Khajeh Zadeh, Y., Hamule, H., Javadzadeh, M., 2013. Study on agronomic and economic wheat-based rotation with some crops in south of Khuzestan Province. Final Report of Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center. Ahvaz, Iran. (In Persian)
5. Barrow, N.J., Hartemink, A., 2023. The effects of pH on nutrient availability depend on both soils and plants. Plant Soil 487, 21–37.
6. Campbell, C.A., Vanden Bygaart, A.J., Grant, B., Zentner, R.P., McConkey, B.G., Lemke, R., Gregorichl, E.G., Fernandez, M.R., 2007. Quantifying carbon sequestration in a conventionally tilled crop rotation study in southwestern Saskatchewan. Can. J. Soil Sci. 87, 23–38.
7. Crookston, B.S., Yost, M.A., Bowman, M., Veum, K., Cardon, G., Norton, J., 2021. Soil health spatial-temporal variation influence soil security on Midwestern, U.S. farms. Soil Security 3, 100005.
8. Feizi Asl, E., 2020. Evaluation of soil fertility status in Northwest of Iran drylands by Nutrient Index Value (NIV). Water Soil 34, 897–919.
9. Ghaemi, M., Astaraei, A.R., Sanaeinejad, S.H., Nassiri Mahalati, M., Emami, H., 2013. Chemical quality assessment of wheat-maize cultivated soils by using soil quality models in an agricultural region of Southeast Mashhad. Iran. J. Soil Res. 27(4), 463–473. (In Persian with English abstract)
10. Jafarnejadi, A.R., Mousavifazl, S.M.H., Javadzadeh, M., 2019. Evaluation of some effective soil physical and chemical properties on soil water retention in dominant calcareous soil series in Khuzestan province. J. Agric. Eng. 42(3), 33–47. (In Persian with English abstract)
11. Jafarnejhadi, A., Meskini-Vishkaee, F., 2023. Overview of the status and management of soil fertility and plant nutrition in Khuzestan. Technical Report of Soil and Water Research Institute, Karaj, Iran. (In Persian)
12. Jafarnejhadi, A.R., Meskini-Vishkaee, F., Mousavi-Fazl, M.H., Ayeneh, L., Behbahani, L., 2022. Evaluating the effect of iron and zinc micronutrient on wheat quantitative and qualitative yield under salinity stress in Khuzestan climate. Agric. Eng. 44(4), 347–361. (In Persian with English abstract)
13. Khormali, F., Ajami, M., Ayoubi, S., Srinivasarao, Ch., Wani, S.P., 2009. Role of deforestation and hill slope position on soil quality attributes of loess-derived soils in Golestan province, Iran. Agric. Ecosys. Environ. 134, 178–189.
14. Larson, W.E., Pierce, F.J., 1991. Conservation and enhancement of soil quality. Proceeding of Evaluation for Sustainable Land Management in the Developing World, International Board for Soil Research. Bangkok, pp. 175–203.

15. Lehmann, J., Bossio, D.A., Knabner, I.K., Rillig, M.C., 2020. The concept and future prospects of soil health. Nat. Rev. Earth Environ. 1, 544–553.
16. Marinari, S., Masciandro, B., and Grego, S., 2000. Influence of organic and mineral fertilizer on soil physical properties. Geoderma 72, 9–17.
17. McBratney, A., Field, D.J., Koch, A., 2014. The dimensions of soil security. Geoderma 213, 203–213.
18. Meskini-Vishkaee, F., Jafarnejadi, A.R., Mousavi-Fazl, M.H., 2020. Evaluation of soil physical quality in dominant series of calcareous soils in south west of Iran. Polish J. Soil Sci. 2, 225–243.
19. Mirzashahi, K., 2017. Periodic study of soil organic carbon in plains of Khuzestan and providing Extensions. Land Manag. J. 5(1), 1–12. (In Persian with English abstract)
20. Moebius, B.N., Moebius-Clune, D. J., Gugino, B.K., Idowu, O.J., chindelbeck, R.R., Ristow, A.J., van Es, H.M., Thies, J.E., Shayler, H. A., McBride, M. B., Wolfe, D.W., Abawi, G.S., 2016. Comprehensive Assessment of Soil Health, The Cornell Framework Manual, Third Edition.
21. Moebius, B.N., Van Es, H.M., Schindelbeck, R.R., Idowu, O.J., Clune, D.J., Thies, J.E., 2007. Evaluation of laboratory-measured soil physical properties and indicators of soil physical quality. Soil Sci. 172, 895–912.
22. Mousavi, S.R., Sarmadian F., Omid M., Bogaert P., 2022. Three-dimensional mapping of soil organic carbon using soil and environmental covariates in an arid and semi-arid region of Iran. Measurement 201, 111706.
23. Naorem, A., Jayaraman S., Dang Y.P., Dalal R.C., Sinha N.K., Rao C.S., Patra A.K., 2023. Soil constraints in an arid environment—challenges, prospects, and implications. Agronomy 13, 220.
24. Nelson, D.W., Sommers L.E., 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., Tabatabai, M.A., Johnston, C.T., Sumner, M.E. (Eds.), Methods of Soil Analysis Part 3. Chemical Methods. SSSA Book Series No. 5, SSSA and ASA, Madison, WI, pp. 961–1010.
25. Noory, H., Deyhool, M., vazifedoost, M., Noroozi, A.A., 2016. Long term evaluation of temporal and spatial changes in soil salinity (Garmsar irrigation and drainage network). Iran. J. Soil Water Res. 47(3), 449–457. (In Persian with English abstract)
26. Olsen, S.R., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. United States Department of Agriculture, Washington.
27. Reynolds, W.D., Bowman, B.T., Drury, C.F., Tan, C.S., Lu, X., 2002. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. Geoderma 110, 131–146.
28. Santin, C., Doerr, S.H., 2016. Fire effects on soils: the human dimension. Philos. Trans. R. Soc. B. 371, 201–215.
29. Shahbazi, K., Besharati, H., 2013. Overview of agricultural soil fertility status of Iran. Land Manag. J. 1(1), 1–15. (In Persian with English abstract)
30. Simard, R.R., 1993. Ammonium-acetate extractable elements. In: Martin, R., Carter, M.R. (Ed.), Soil Sampling and Methods of Analysis. Lewis Publisher, Boca Raton, Florida, USA, pp. 39–43.
31. Seyedjalai, A., Navidi, M.N., Zeynoldinimeymand, A., Mohammadesamaeil, Z., 2019. Vegetative needs of crops, Research Organization and Agricultural Education and Promotion, Soil and Water Institute. (In Persian)
32. Tumsavas, Z., Tekin, Y., Ulusoy, Y., Mouazen, A.M., 2019. Prediction and mapping of soil clay and sand contents using visible and near-infrared spectroscopy. Biosys. Eng. 177, 90–100.
33. USDA-ARS, 2005. George E. Brown Jr Salinity Laboratory, Riverside, CA, USA (http://www.ars.usda.gov/Services/docs.htm?docid=8908)
34. Yanbing, Q., Darilek, J.L., Biao, H., Yongcun, Z., Sun, W., Gu, Z., 2009. Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. Geoderma 149, 325–334.