Evaluating the Temporal and spatial Variation of Some Soil properties in Wheat-Cultivated Farms of Khuzestan Province

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

نسخه پیش از انتشار

Abstract

Soil properties as soil quality indicators not only express the soil functions and ecosystem services, but are also a tool for evaluating different farm managements. This research was conducted with the aim of investigating the temporal and spatial variation 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 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 (more than 12 dS m^{-1}) was revealed in the southern parts of Khuzestan province and respectively in the cities of Shadgan (16.2 dS m^{-1}) and Handijan (14.2 dS m^{-1}), but the greatest rate of temporal changes of soil salinity occurred in Gotvand (209% increase) and Behbahan (191% increase). Moreover, the mean value of organic carbon decreased from 0.76 to 0.66% and only 23 and 10% of the studied soil samples had more than one percent of soil organic carbon on 2011 and 2021, respectively. Temporal changes of soil available phosphorus and potassium in 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 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.

Keywords: Soil degradation, Salinity, 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. In addition to indicating soil ecosystem services and functions, soil properties also reflect soil response to different farm managements. 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.

Methods: Two sets of soil samples including 212 and 718 samples from were collected from surface soil (0-30 cm) in wheat farms of Khuzestan province (15 cities) on 2011 and 2021, respectively. Soil properties including soil acidity (pH), calcium carbonate, electrical conductivity of saturated soil extract (salinity), soil

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: arjafarnejady@gmail.com

organic carbon, soil available phosphorous, and soil available potassium were measured. 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 value of calcium carbonate in wheat-cultivated soils of Khuzestan province was 46.3% and the mean value of soil pH varied 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 (23% increase). The results revealed mean value of soil salinity in the central part of Khuzestan province, including Ahvaz, Bavi and Shushtar, Ramshir and Mahshar was 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 dSm^{-1}. The evaluation of temporal variations in soil salinity over a ten-year 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 for studied cities involving Omidie (89 %), Ramhormoz (171 %), Behbahan (191 %) and Gotvand (209 %). The mean value of soil organic carbon 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 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. The results showed that the temporal changes of soil available phosphorus and potassium were not significant in 80 and 67 % of 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 show that although the mean value of soil salinity in the two cities of Gotvand (with salinity less than 4 dSm^{-1}, and 0.5 to 1% organic carbon) and Behbahan (with soil salinity level in the range of 4-8 dSm^{-1}, and organic carbon content of 0.5 to 1 percent) is in a caution condition. However, the trend of soil properties degradation in 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.

References:

1. 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 Journal of Soil Science, 2: 225–243. DOI: 10.17951/pjss/2020.53.2.225

2. Mirzashahi, K. 2017. Periodic study of soil organic carbon in plains of Khuzestan and providing Extensions. Land Management Journal, 5(1): 1–12. (In Persian with English abstract)

3. Noory, H., Deyhool, M., vazifedoost, M., and Noroozi, A.A. 2016. Long term Evaluation of temporal and spatial changes in soil salinity (Garmsar irrigation and drainage network). Iranian Journal of Soil and Water Research. 47 (3): 449–457. (In Persian with English abstract)

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

علیرضا جعفرنژادی[1*] و فاطمه مسکینی ویشکایی

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 اراضی زیر کشت گندم در استان خوزستان انجام شد. داده‌ها از ۱۵ شهرستان استان خوزستان شامل ۲۱۲ و ۷۱۸ نمونه خاک از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری مزارع گندم به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۴۰۰ جمع‌آوری شدند. pH خاک، کربنات کلسیم، شوری، کربن آلی، فسفر و پتاسیم قابل دسترس خاک اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که میانگین کربنات کلسیم در خاک‌های موردمطالعه ۴۶/۳٪ و میانگین pH خاک‌ها ۷/۴ بود. از سال ۱۳۹۰ تا ۱۴۰۰، اراضی زیر کشت گندم دارای خاک با محدودیت شوری ($> 4\ dS\ m^{-1}$) از ۴۲ درصد به ۵۹ درصد افزایش یافته است. با وجود این‌که، بیش‌ترین میانگین شوری خاک (بیش از ۱۲ دسی‌زیمنس در متر) در بخش‌های جنوبی استان خوزستان و به‌ترتیب در شهرستان‌های شادگان (۱۶/۲ dSm^{-1}) و هندیجان (۱۴/۲ dSm^{-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 کربن آلی خاک در مزارع گندم استان ۰/۱ کاهش یافت و مزارع دارای محدودیت کربن آلی (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 مطالعه معنی‌دار نبود. نتایج نشان داد که علی‌رغم متفاوت بودن نرخ تغییرات زمانی و مکانی ویژگی‌های مختلف خاک، به‌طور کلی مدیریت‌های رایج در گشت 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، کربن آلی، کشاورزی پایدار.

مقدمه

در سال‌های اخیر توجه به تولید محصول و افزایش عملکرد با توجه به جنبه‌های پایداری و حفاظت از خاک، آب، انرژی و محیط زیست به‌صورت فزاینده مورد توجه بوده است

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: arjafarnejady@gmail.com

نسخه پیش از انتشار

(Ghaemi et al., 2013). یکی از روش‌های تعیین و بیان پارامترهای گسترده مؤثر بر این خصوصیات مفهوم و اصطلاح امنیت و کیفیت خاک است. امنیت خاک چارچوبی است که خاک را به‌عنوان یک جزء جدایی ناپذیر از اهداف پایداری زیست محیطی جهانی برای رسیدگی به چالش‌های حیات بشر در نظر می‌گیرد (Crookston et al., 2021). این چالش‌ها شامل امنیت آب، غذا و انرژی، کاهش تغییرات آب و هوایی، حفاظت از تنوع زیستی و حفظ خدمات اکوسیستم است (Amundson et al., 2015). به‌عنوان یک مفهوم چند وجهی، امنیت خاک برای اطمینان از تأمین دسترسی، کیفیت و امکان استفاده تمام بشریت از غذا و آب تعریف می‌شود. اما، به‌طور کلی کیفیت خاک به‌صورت ظرفیت خاک در عمل به وظیفه خود در چهارچوب یک اکوسیستم و نوع بهره‌برداری مشخص با حفظ فعالیت بیولوژیکی 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 اراضی و رسیدن به حداکثر بهره‌وری اقتصادی ضروری است. در کشورهای در حال توسعه به علت آسیب‌پذیری خاک‌های کشاورزی از نظر زیست محیطی، توجه به کیفیت خاک دارای اهمیت اقتصادی فراوانی می‌باشد (Armenise et al., 2013). به‌منظور دستیابی به مدیریت پایدار خاک و پیش‌بینی خطرات تخریب خاک، تعیین روشی مناسب برای ارزیابی کیفیت خاک دارای اهمیت می‌باشد (Yanbing et al., 2009). از آنجایی که کیفیت خاک مستقیماً قابل اندازه‌گیری نیست، معمولاً از طریق اندازه‌گیری خصوصیات مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی وضعیت کیفیت خاک بیان می‌شود (Larson and Pierce, 1991; Moebius et al., 2007). کیفیت پویای خاک به ویژگی‌هایی از خاک برمی‌گردد که این ویژگی‌ها در اثر نوع استفاده از خاک و مدیریت انسان در طول زمان تغییر می‌کند (Moebius et al., 2016). بنابراین شاخص‌های قابل تفسیر و مناسب کیفیت خاک علاوه بر اینکه نشان‌دهنده خدمات و عملکردهای اکوسیستمی خاک هستند حاکی از پاسخ خاک به تغییرات مدیریت خارج از تکرار چرخه‌های طبیعی سالانه نیز می‌باشند (Lehmann et al., 2020). پژوهشگران زیادی اثر نوع مدیریت‌های اعمال شده بر اراضی 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، ظرفیت تبادل کاتیونی، پایداری خاکدانه، میزان 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 اعمال شده می‌تواند باعث تغییر در برخی ویژگی‌های خاک گردد و کمتر بودن میزان شوری خاک در برخی تناوب‌های انتخابی در مقایسه با تناوب رایج منطقه، نشان‌دهنده اثر بخشی مدیریت تنوع کشت محصولات بر میزان شوری خاک می‌باشد و در تناوب رایج منطقه با توجه به عدم کشت در تابستان به علت تبخیر از سطح خاک شوری خاک افزایش می‌یابد.

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 اراضی کشاورزی دارای مشکلات شوری هستند. وجود آب و خاک شور در این مناطق سبب شده مشکلات عدیده‌ای 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 عناصر غذایی، آب و سمیّت برخی عناصر قرار گرفته و عملکرد آن‌ها متأثر از شوری خواهد بود (Jafarnejhadi et al., 2022). لذا بررسی میزان شوری خاک و اطلاع از میزان این خصوصیت جهت مدیریت بهتر اراضی به‌منظور تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه ضروری به‌نظر می‌رسد. علاوه بر این، مواد آلی خاک نیز سهم بسیار مهمی در حاصلخیزی و کیفیت خاک دارد و به‌عنوان یکی از شاخص‌های

ا صلی کیفیت و توان تولید خاک به شمار می‌رود (Marinari et al., 2000). اهمیت کیفیت خاک، باعث ایجاد تحول در نگرش نسبت به مدیریت کربن در خاک شده، به‌طوری‌که راهکارهای مدیریتی را به سوی 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 اعمال شده بر خاک قرار می‌گیرد. مواد آلی در کنترل ا سیدیته، ظرفیت نگهداری آب و عناصر غذایی نقش ا سا سی 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 هکتار نقش بسزایی در تولید گندم در کشور دارد (Ahmadi et al., 2019). براساس نتایج پژوهش‌های موجود، بیش‌تر خاک‌های استان دارای مسائل و مشکلاتی نظیر شوری بالا، آهک زیاد و عدم تعادل تغذیه‌ای هستند (Balali et al., 2001). علاوه بر این، اقلیم خشک و نیمه خشک استان خوزستان موجب کاهش تاب‌آوری خاک‌های زراعی این منطقه، کاهش حاصلخیزی خاک، افزایش سرعت تجزیه مواد آلی خاک و فشردگی و کاهش کیفیت فیزیکی خاک‌های ارا ضی کشاورزی ا ستان شده است (Meskini-Vishkaee et al., 2020). براساس مطالعات Jafarnejhadi et al. (2019) در سال‌های اخیر به‌دلیل کشاورزی فشرده، عدم رعایت تناوب زراعی، مدیریت نامنا سب منابع آب و خاک و افزایش وقوع تنش‌های محیطی همچون خشکسالی، منابع آب و خاک ا ستان خوز ستان تخریب شده ا ست. با توجه به این که برای مدیر یت پا یدار اراضی، اطلاع از کارکرد و ویژگی‌های خاک و تغییرات زمانی و مکانی آن ضروری است و با ا ستفاده از تعیین شاخص‌های کیفیت خاک می‌توان پتانسیل و محدودیت‌های موجود برای تو سعه 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 اراضی زیر گندم استان خوزستان انجام شد.

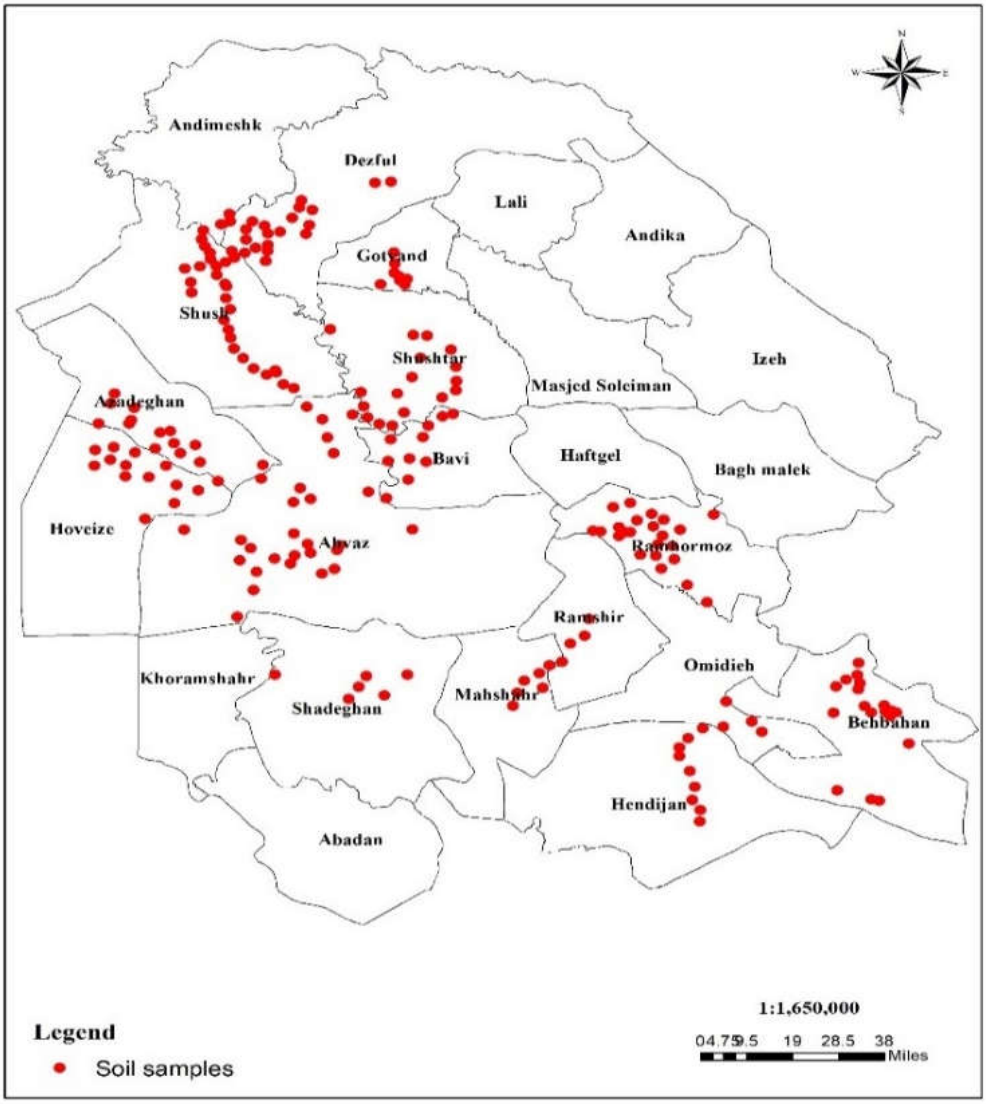
مواد و روش‌ها

استان خوزستان با مساحت ۶۳۶۳۳/۶ کیلومتر مربع بین ۲۹ درجه تا ۵۷ دقیقه تا ۳۳ درجه و صفر دقیقه عرض شمالی از خط استوا و ۴۷ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۳ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ در جنوب غربی ایران قرار دارد. نمونه‌برداری خاک به‌صورت مرکب و از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر مزارع زیرکشت گندم واقع در ۱۵ شهر ستان ا ستان خوز ستان 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 آماده سازی نمونه‌های خاک (نمونه خاک‌های سال ۱۳۹۰ و ۱۴۰۰) در آزمایشگاه، pH خاک در گل اشباع با استفاده از pHمتر، کربن آلی خاک به روش اکسیداسیون تر (Nelson and Sommers, 1996)، هدایت الکتروليکی عصاره اشباع خاک با استفاده از ECمتر، فسفر قابل دسترس خاک به‌روش اولسن (Olsan, 1995) و پتاسیم قابل دسترس خاک (Simard, 1993) اندازه‌گیری شد. علاوه براین، مقدار محتوای کربنات کلسیم نمونه‌های خاک تنها در نمونه‌های خاک سال ۱۳۹۰ تعیین شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌های مورد مطالعه با استفاده از نرم افزار SPSS v.19 و بررسی تغییرات زمانی ویژگی‌های مختلف مورد مطالعه در دو دوره زمانی با استفاده از آزمون تی مستقل (Independent T-test) در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. تغییرات مکانی شاخص‌های مورد مطالعه با استفاده از نرم افزار GIS 10.3 مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

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

نسخه پیش از انتشار



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

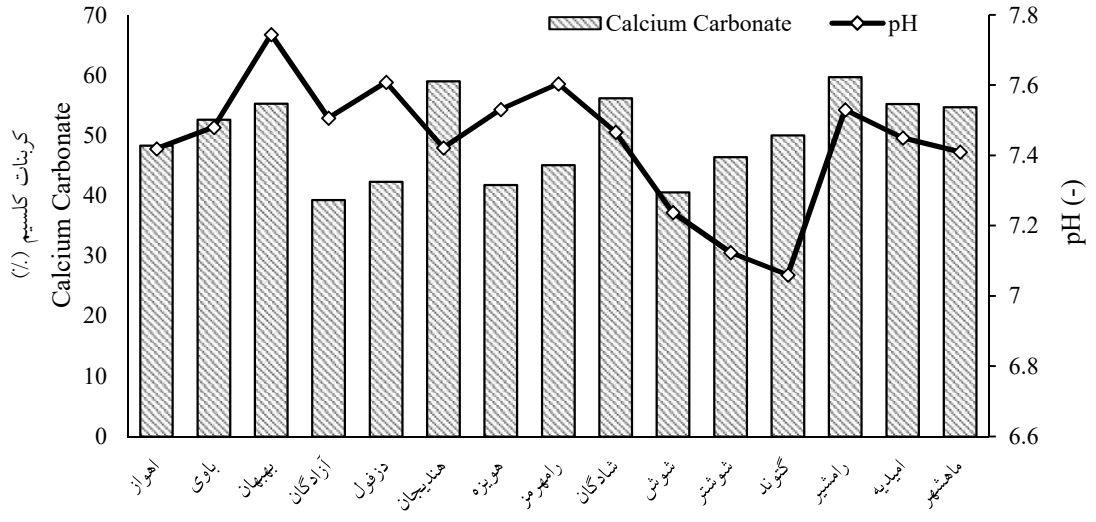
Figure 1. Spatial distribution of soil surface sampling points in 2011 (Khuzestan province)

شادگان و بهبهان (بیش از ۵۰ در صد) و کم‌ترین میزان میانگین آن در خاک‌های مزارع زیر کشت گندم در دشت آزادگان مشاهده شد (شکل ۲). Asghari Hajshejani and Jafari (2017) نیز مقدار کربنات کلسیم در خاک‌های خوزستان را ۳۰ تا ۵۰ درصد گزارش کردند. علاوه بر این، میانگین pH خاک‌های کشاورزی زیر کشت گندم در استان تقریباً ۷/۵ و دامنه تغییرات آن از ۶/۶ تا ۸/۴ به‌دست آمد. بیش‌ترین میانگین pHخاک در مزارع زیر کشت گندم شهرستان‌های بهبهان (۷/۷۴)، دزفول (۷/۶۱) و رامهرمز (۷/۶۰) و کم‌ترین در 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 ده ساله، تغییر معنی‌داری نداشته و مقادیر میانگین، کمینه و بیشینه pH خاک در هر دو مجموع داده (سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۴۰۰) تقریباً مشابه به‌دست آمد. عدم وجود تغییرات زمانی معنی‌دار در pH خاک‌های استان به دلیل محتوای بالای کربنات کلسیم خاک است کانی‌های کربناتی به‌دلیل حلالیت نسبتاً بالا، واکنش‌پذیری و خاصیت قلیایی، به‌صورت بافر عمل کرده و موجب

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

Table 1. Descriptive statistics of soil quality indicators 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 properties
1.2	0.01	8.84	75	15	47	2011	کربنات کلسیم (٪) Lime (%)
0.27	0.018	0.26	8.4	6.8	7.44	2011	واکنش خاک (–)
-0.046	-0.22	0.28	8.35	6.7	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	شوری ($dS\ m^{-1}$)
31.7	4.7	9.78	101.3	0.56	7.44	2021	Electrical Conductivity
6.2	2.24	7.57	44	0.47	8.29	2011	فسفر قابل دسترس ($mgkg^{-1}$)
5.5	2.1	6.2	39.8	1.24	8.78	2021	Available Phosphorous
3.6	1.4	65.6	470	62	171	2011	پتاسیم قابل دسترس ($mgkg^{-1}$)
3	1.1	43.6	383	70	165	2021	Available Potassium



شکل ۲. میانگین کربنات کلسیم و pH خاک در شهرستان‌های مختلف استان خوزستان

Figure 2. Average soil calcium carbonate and pH in different cities of Khuzestan province

می‌شـــود pH بیش‌تر خاک‌های آهکی در دامنه بین ۷/۵ تا ۸/۵ قرار گیرد (Shahbazi and Besharati, 2013). همچنین محتوای بالای کربنات کلسـیم خاک موجب کاهش قابلیت دسـترسـی و جذب عنا صر غذایی به‌ویژه ریزمغذی‌ها به‌و سیله ریـشه گیاهان می‌شود (Barrow and Hartemink, 2023).

براساس نتایج جدول (۱) در سال ۱۳۹۰، شوری نمونه‌های خاک مورد مطالعه در دامنه ۰/۶۷ تا ۴۷/۲ دســـی‌زیمنس در متر بوده، به‌طوری‌که حدود ۵۸ درصد از خاک‌های مزارع زیر کشت

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

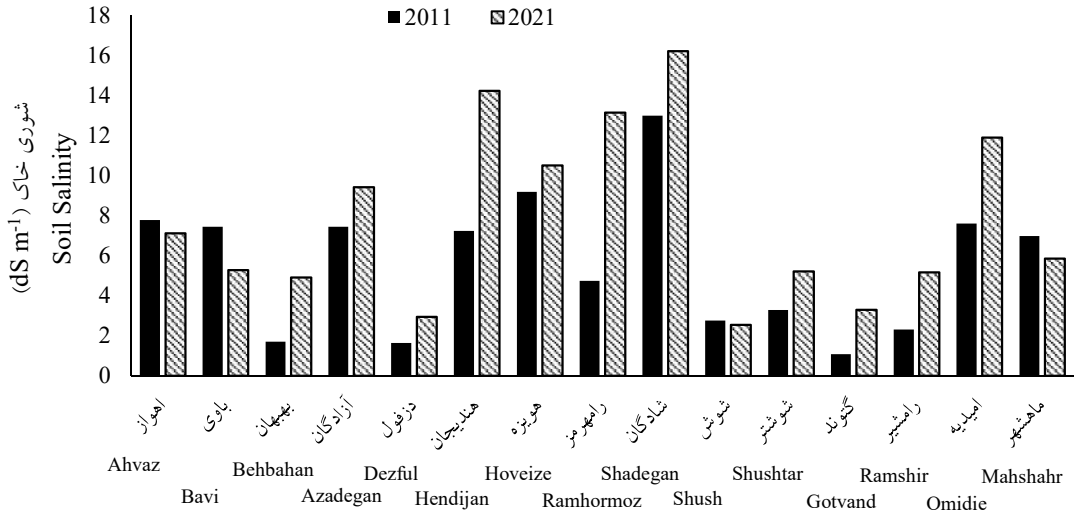
	شوری خاک (dSm^{-1}) Electrical Conductivity			
	< 4	4-8	8-12	12 <
نمونه خاک‌های سال ۱۳۹۰ Soil samples on 2011	58 %	24 %	11 %	7 %
نمونه خاک‌های سال ۱۴۰۰ Soil samples on 2021	41 %	35 %	10 %	14 %

گندم در استان دارای شوری کم‌تر از ۴ دسی‌زیمنس در متر (خاک غیرشور)، ۲۴ درصد بین ۴ تا ۸ دسی‌زیمنس در متر و ۱۸ درصد بیش‌تر از ۸ دسی‌زیمنس در متر بودند (جدول ۲). اما، در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱، شوری خاک مزارع گندم استان خوزستان با میانگین ۷/۴۴ دسی‌زیمنس در متر و دامنه تغییرات از ۰/۵۶ تا ۱۰۱ دسی‌زیمنس در متر مشاهده شد و تنها ۴۱ درصد خاک‌های مورد مطالعه شوری کم‌تر از ۴ دسی‌زیمنس در متر داشتند و غیر شور بودند (جدول ۲). نتایج نشان می‌دهد که تا سال ۱۳۹۰، حدود ۴۲ درصد از اراضی زیر کشت گندم با محدودیت شوری خاک مواجه بوده‌اند، اما پس از گذشت ده سال، ۵۹ درصد از خاک اراضی زیر کشت گندم در استان خوزستان با مشکل شوری خاک مواجه هستند (۱۷ درصد افزایش). با توجه به این‌که حد آستانه تحمل شوری در بیش‌تر واریته‌های گندم ۶ تا ۸ دسی‌زیمنس در متر گزارش شده است (USDA-ARS, 2005)، درصد مزارع زیر کشت گندم استان خوزستان با محدودیت شوری بر رشد و عملکرد گندم با گذشت ده سال از ۱۸ درصد به ۲۴ درصد افزایش یافته است. سیدجلالی و همکاران (SeyedJalali et al., 2019) ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد کاهش عملکرد گندم در شوری‌های خاک ۷/۴، ۱۱، ۱۵ و ۲۰ دسی‌زیمنس در متر را گزارش کرده‌اند.

در سال ۱۳۹۰، بیش‌ترین میانگین شوری خاک در شهرستان شادگان (۱۲/۹۷ دسی‌زیمنس در متر) و سپس هویزه (۹/۱۶ dSm^{-1}) و کم‌ترین میانگین شوری خاک در مزارع گندم شهرستان‌های گتوند (۱/۰۶ dSm^{-1})، بهبهان (۱/۶۸ dSm^{-1}) و دزفول (۱/۶۲ dSm^{-1}) مشاهده شد (شکل ۳). پس از گذشت ده سال، مزارع گندم در شهر ستان‌های شمالی استان خوزستان عمدتاً دارای میانگین شوری خاک کم‌تر از ۴ دسی‌زمینس در متر 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 ۸ دسی‌زیمنس در متر قرار داشت و بیش‌ترین میانگین شوری خاک (بیش از ۱۲ دسی زیمنس در متر) در بخش‌های جنوبی استان خوزستان و به‌ترتیب در شهرستان‌های شادگان (۱۶/۲ dSm^{-1}) و هندیجان (۱۴/۲ dSm^{-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 (۹/۴۱ dSm^{-1}) و هویزه (۱۰/۵ dSm^{-1}) از بخش مرکزی استان بیش‌تر و از بخش‌های جنوبی استان کم‌تر بود (شوری ۸ تا ۱۲ دسی‌زیمنس در متر).

مقدار کربن آلی در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک‌های زیر کشت گندم در سال ۱۳۹۰ از حداکثر ۱/۷۱ درصد تا حداقل ۰/۰۳ درصد متغیر بوده و میانگین کربن آلی خاک به میزان ۰/۷۶ درصد بود. درحالی‌که در سال ۱۴۰۰، میانگین کربن آلی در مجموع نمونه خاک‌های مورد مطالعه 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

نسخه پیش از انتشار



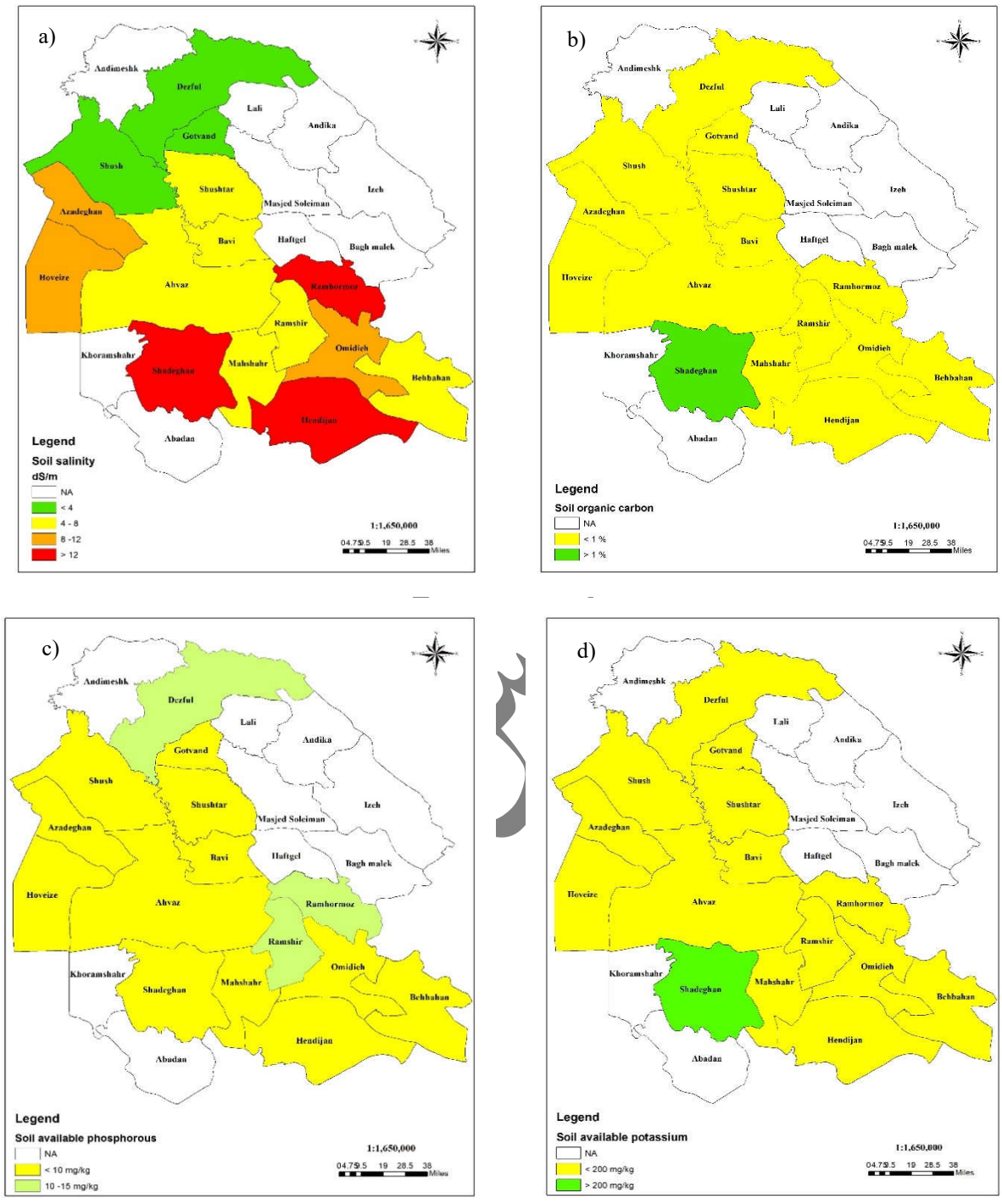
شکل ۳. میانگین شوری خاک در شهرستان‌های مختلف استان خوزستان

Figure 3. Average soil salinity (dS m^{-1}) in different cities of Khuzestan province

(SeyedJalali et al., 2019). بنابراین ۰/۱ درصد کاهش میانگین کربن آلی خاک طی ده سال می‌تواند بر عملکرد نهایی گندم در سطح استان بسیار تأثیرگذار باشد. علاوه بر این، با توجه به این که خاک‌هایی با محتوای کربن آلی کم‌تر از یک درصد به‌عنوان خاک‌های دچار فقر کربن آلی شناخته می شوند (Elsen et al., 2004)، نتایج نشان داد که تنها ۲۳ و ۱۰ درصد از نمونه خاک‌های مورد مطالعه به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۴۰۰ دارای کربن آلی بیش از یک درصد بودند (جدول ۳). به عبارت دیگر، محدودیت کمبود کربن آلی خاک از ۷۷ درصد نمونه‌های خاک در سال ۱۳۹۰ به ۹۰ درصد خاک‌های مورد مطالعه 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 تنها ۳۰ درصد از خاک‌های مورد مطالعه در این دامنه کربن آلی 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 ۰/۵ –۰/۷۵ درصد کربن آلی قرار گیرد (جدول ۳). این کاهش را می‌توان علاوه بر وجود درجه حرارت بالا و اکسیداسیون سریع این مواد، به سوزاندن کاه و کلش بقایای محصولات کشاورزی، عدم استفاده از کودهای سبز و کودهای آلی موجود نیز نسبت داد (Jafarnejhadi and Meskini-Vishkaee, 2023). در واقع، مقدار ماده آلی خاک به‌وسیله تعادل بین اضافه‌شدن مواد آلی، مقدار هدر رفت و تجزیه آن کنترل می‌شود. مکانیسم‌های اضافه شدن و کاهش مواد آلی به‌شدت زیر تأثیر عوامل و فعالیت‌های مدیریت مزارع هستند. Mousavi et al. (2022) نیز محتوای کم‌تر از ۰/۵ کربن آلی خاک را به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده تولید پذیری خاک‌ها برای دستیابی به اهداف کشاورزی پایدار گزارش کردند.

در مناطق مورد مطالعه براساس نمونه خاک‌های سال ۱۳۹۰، بیش‌ترین میانگین کربن آلی خاک در مزارع گندم شهرستان رامهرمز و دشت آزادگان با میانگین ۰/۹۶ درصد و کم‌ترین در شهرستان امیدیه با میانگین ۰/۵۶ درصد به‌دست آمد (شکل ۵). بنابراین در سال ۱۳۹۰، میانگین محتوای کربن آلی خاک‌های تمام شهرستان‌های مورد مطالعه در استان خوزستان کم‌تر از یک درصد بود. این در حالی است که تغییرات محتوای کربن آلی خاک در بازه زمانی ده ساله حاکی از افزایش محتوای کربن آلی خاک در شهرستان شادگان به میزان ۴۳ درصد (افزایش



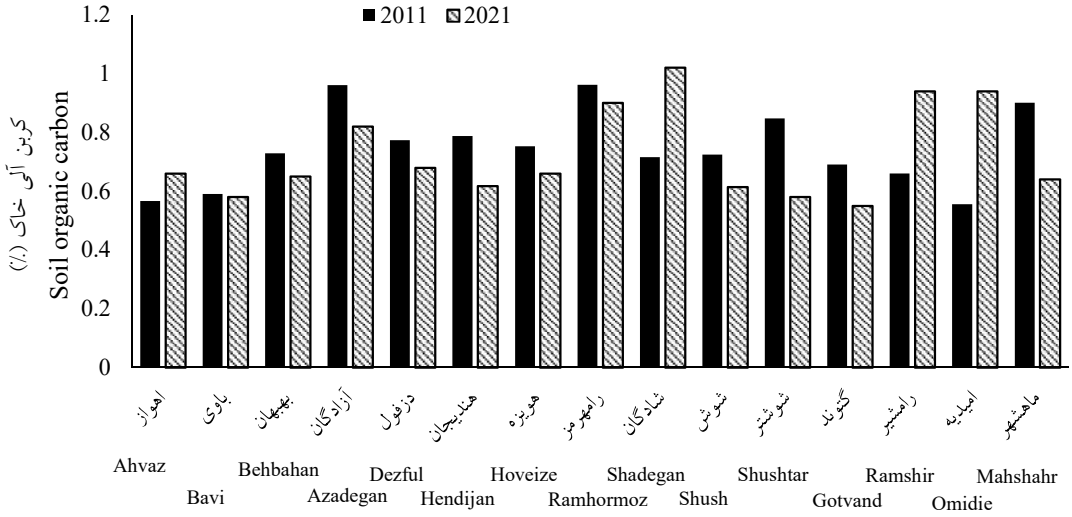
شکل ۴. الف) پراکنش میانگین شوری خاک (الف)، کربن آلی خاک (ب)، فسفر قابل دسترس خاک (ج) و پتاسیم قابل دسترس خاک (د) در مزارع زیر کشت گندم در شهرستان‌های مختلف استان خوزستان (براساس نمونه خاک‌های سال ۱۴۰۰)

Figure 4. a) Spatial distribution of average soil salinity (a), soil organic carbon (b), soil available P (c), Soil available K (d) in wheat 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 (٪) Organic carbon (%)				
> 1	0.75 -1	0.5 -0.75	< 0.5	
23 %	27 %	30 %	20 %	نمونه خاک‌های سال ۱۳۹۰ Soil samples on 2011
10 %	20 %	45 %	25 %	نمونه خاک‌های سال ۱۴۰۰ Soil samples on 2021



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

Figure 5. Average soil organic carbon (%) in different cities

کربن آلی خاک از ۰/۷۲ به ۱/۰۲ درصد) است. هرچند بیش ترین درصد افزایش محتوای کربن آلی به میزان ۶۹ درصد و در شهر ستان امیدیه اتفاق افتاد اما با این وجود، میانگین کربن آلی خاک در این شهر ستان در سال ۱۴۰۰ نیز کم‌تر از یک در صد مشاهده شد (شکل ۵). نتایج نشان می‌دهد که در سال ۱۴۰۰، میانگین کربن آلی خاک در تمام شهرستان‌های مورد مطالعه به جز شادگان، در محدوده ۰/۵ تا ۱ درصد قرار داشت (شکل ۴-ب).

میانگین فسفر قابل دسترس خاک در کل نمونه‌های خاک از مزارع گندم استان خوزستان از ۸/۲۸ میلی‌گرم در کیلوگرم در سال ۱۳۹۰ به ۸/۷۸ میلی‌گرم در کیلوگرم در سال ۱۴۰۰ افزایش یافت (جدول ۱). هر دو دوره زمانی مورد مطالعه، بیش از ۸۰ در صد نمونه‌های خاک دارای فسفر قابل دسترس کم‌تر از mg kg^{-1} ۱۵ بودند و در محدوده کمبود برای گندم قرار داشتند (جدول ۴). Noarem et al. (2023) گزارش نمودند که کمبود فسفر و ظرفیت کم جذب آن توسط گیاه از چالش‌های مهم تولید محصولات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک است. میانگین پتاسیم قابل دسترس خاک نیز از ۱۷۱ به ۱۶۵ میلی‌گرم در کیلوگرم کاهش یافت (جدول ۱). این در حالی است که مزارع دارای کمبود پتاسیم برای رشد گندم (کم‌تر از ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) 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

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

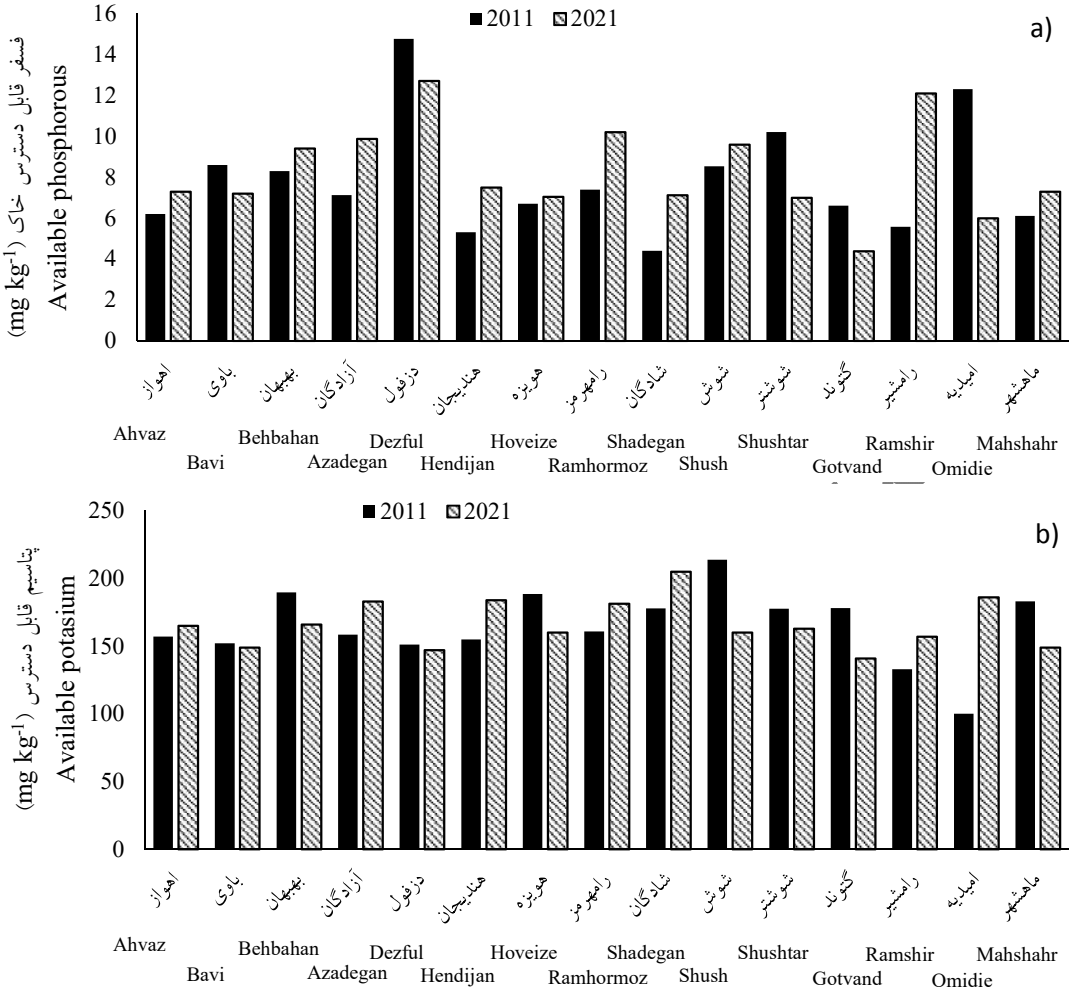
Table 4. Classification of wheat cultivated soils in Khuzestan province based on soil available phosphorous and potassium

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 on 2011
17 %	83 %	13 %	87 %	نمونه خاک‌های سال ۱۴۰۰ Soil samples on 2021

و ۱۴۰۰ در شکل (۶) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که میانگین فسفر قابل دسترس خاک در هر دو دوره زمانی مورد مطالعه کم‌تر از حد بهینه برای رشد مطلوب گندم است ($mg\ kg^{-1}$ ۱۵). در سال ۱۳۹۰، بیش‌ترین میانگین فسفر قابل دسترس خاک در شهرستان‌های دزفول ($mg\ kg^{-1}$ ۱۴/۷)، امیدیه ($mg\ kg^{-1}$ ۱۲/۳) و شوشتر ($mg\ kg^{-1}$ ۱۰/۲) مشاهده شد. پس از گذشت ده سال نیز بیش‌ترین میانگین فسفر قابل دسترس خاک در شهرستان دزفول ($mg\ kg^{-1}$ ۱۲/۷) مشاهده شد (شکل ۶- الف). Feiziasl 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 شهرستان رامهرمز، رامشیر و دزفول در حد کفایت بود و سایر شهرستان‌های مورد مطالعه در محدوده کم‌تر از حد بحرانی برای گندم قرار داشتند (شکل ۴-ج). پتاسیم قابل دسترس خاک روند متفاوتی از فسفر را 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 ده ساله در شکل (۷- الف) نشان داد که در ۱۱ شهرستان موردمطالعه تغییرات معنی‌داری وجود نداشت (براساس نتایج آزمون تی 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 معنی‌دار 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 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 کربن آلی خاک در هفت شهرستان استان خوزستان تغییرات زمانی معنی‌داری را نشان نداد اما میانگین کربن آلی خاک 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 ده ساله، چهار شهرستان استان خوزستان شامل شوش (۱۵ درصد)، شوشتر (۳۲ درصد)، هندیجان (۲۱ درصد) و ماهشهر (۲۹ درصد) کاهش معنی‌دار کربن آلی خاک را نشان داد. نتایج مطالعات Mirzashahi (2017) نیز در ارزیابی روند تغییرات محتوای کربن آلی خاک در شهرستان‌های شمال استان خوزستان نشان داد که درصد اراضی کشاورزی با کم‌تر از یک درصد کربن آلی در سال ۱۳۳۸ به ۱۰۰ درصد در سال ۱۳۹۰ رسیده است که بیانگر و تأییدکننده روند نزولی محتوای کربن آلی خاک‌های کشاورزی شمال استان است. باید توجه نمود که درصد تغییرات زمانی 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

نسخه پیش از انتشار



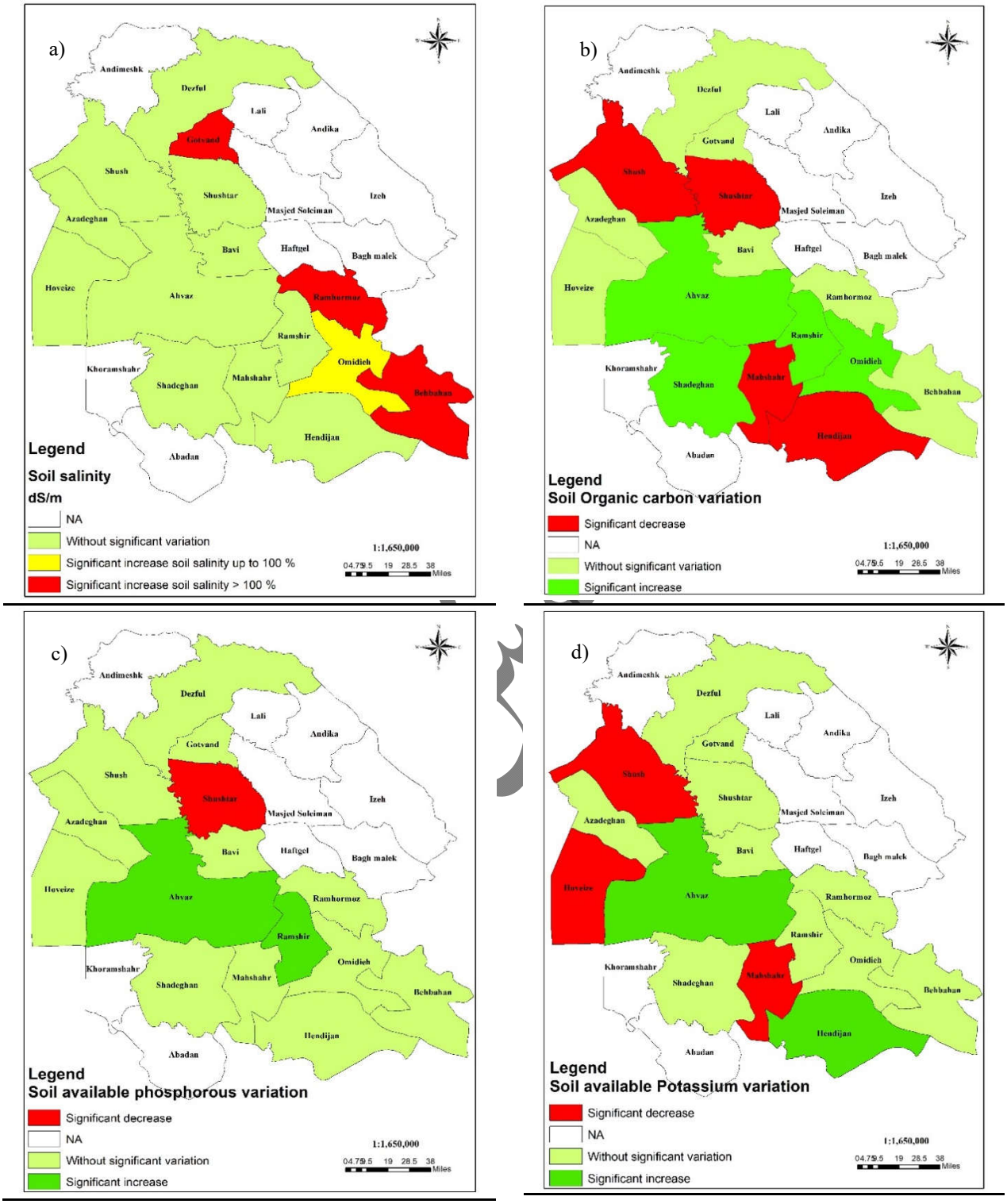
شکل ۶. میانگین فسفر (الف) و پتاسیم (ب) قابل دسترس خاک در شهرستان‌های مختلف استان خوزستان

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

است (Campbell et al., 2007). کاهش کربن آلی خاک در خاک‌های کشاورزی استان را می‌توان به مدیریت رایج کشاورزی منطقه از جمله شخم فشرده، تک کشتی بودن مزارع، استفاده از ارقام جدید و پرمحصول، سوزاندن 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 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 اراضی زیر کشت گندم استان خوزستان انجام شد. نتایج نشان داد که به دلیل بالابودن محتوای کربنات کلسیم خاک در مزارع گندم استان خوزستان، pH خاک طی ده سال گذشته 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 حاکی از



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 مطالعه در هر شهرستان براساس نتایج آزمون t-test مستقل در سطح احتمال ۵ درصد است.

Figure 7. Temporal variations of average soil salinity (a), soil organic carbon (b), soil available P (c) and soil available K (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.

تخریب کیفیت خاک‌های کشاورزی در اثر مدیریت‌های رایج در منطقه بود. با گذشت ده سال و انجام مدیریت‌های زراعی در کشت گندم در شهرستان‌های مختلف استان، بیش‌ترین و کم ترین شدت تغییرات معنی‌دار در 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 گردید. همچنین تغییرات زمانی کربن آلی خاک و پتاسیم قابل دسترس خاک به‌ترتیب در ۵۰ و ۳۳ درصد شهرستان‌های مورد مطالعه 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., and Rubino, P., 2013. Developing a soil quality index to compare soil fitness for agricultural use under different managements in the Mediterranean environment. Soil and Tillage Research 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 Agricultural Research 36(2), 71–80.
4. Ayeneh, L., ghoosheh, M., Mousavi-Fazl, M.H., Dehghani, A., PoorAzar, R., Gilani, A., Khajeh Zadeh, Y., hamule, H. and Javadzadeh, M., 2013. Study on agronomic and economic wheat- based rotation with some crops in sought 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. and Fernandez, M.R., 2007. Quantifying carbon sequestration in a conventionally tilled crop rotation study in southwestern Saskatchewan, Canadian Journal of Soil Science 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. Faizi Asl, E., 2020. Evaluation of Soil Fertility Status in Northwest of Iran drylands by Nutrient Index Value (NIV). Water and Soil 34, 897–919.
9. Ghaemi, M., Astaraei, A.R., Sanaeinejad, S.H., Nassiri Mahalati, M. and Emami, H., 2013. Chemical Quality Assessment of Wheat-Maize Cultivated Soils by Using Soil Quality Models in an Agricultural Region of Southeast Mashhad. Iranian Journal of Soil Research 27(4), 463–473. (In Persian with English abstract)
10. Jafarnejadi, A.R., Mousavifazl, S.M.H., Javadzadeh, M., 2019. Evaluation of some soil physical and chemical properties on soil water retention in dominant calcareous soil series in Khuzestan province. Journal of Agricultural Engineering 42(3), 33–47. (In Persian with English abstract)
11. Jafarnejhadi, A., and 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. Agricultural Engineering 44(4), 347–361. (In Persian with English abstract)
13. Khormali, F., Ajami, M., Ayoubi, S., Srinivasarao, Ch., and Wani, S.P., 2009. Role of deforestation and hill slope position on soil quality attributes of loess-derived soils in Golestan province, Iran. Agriculture, Ecosystems and Environment 134, 178–189.

نسخه پیش از انتشار

14. Larson, W.E., and 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, 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 Journal of Soil Science 2, 225–243.
19. Mirzashahi, K., 2017. Periodic study of soil organic carbon in plains of Khuzestan and providing Extensions. Land Management Journal 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., and 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., and Thies, J.E., 2007. Evaluation of laboratory-measured soil physical properties and indicators of soil physical quality. Soil Science 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. Methods of Soil Analysis part 3- chemical methods. pp. 961–1010.
25. Noory, H., Deyhool, M., vazifedoost, M., and Noroozi, A.A., 2016. Long term Evaluation of temporal and spatial changes in soil salinity (Garmsar irrigation and drainage network). Iranian Journal of Soil and Water Research 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., and Doerr, S.H., 2016. Fire effects on soils: the human dimension, Philosophical Transactions of the Royal Society B. 371, 201–215.
29. Shahbazi, K. and Besharati, H., 2013. Overview of Agricultural Soil Fertility Status of Iran. Land Management Journal 1(1), 1–15. (In Persian with English abstract)
30. Simard, R.R., 1993. Ammonium-acetate extractable elements. In: Carter, M.R. (Ed.), Soil sampling and methods of analysis. Lewis, Boca Raton, FL, pp. 39–42.
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. and Mouazen, A.M., 2019. Prediction and mapping of soil clay and sand contents using visible and near-infrared spectroscopy. Biosystems Engineering 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. and Gu Z., 2009. Evaluating soil quality indices in an agricultural region of Jiangsu Province, China. Geoderma 149, 325–334.