

## **The long-term effects of different agricultural management practices on selected soil chemical properties**

**Mahmoud Arzhangnia<sup>1</sup>, Ghobad jalali<sup>2\*</sup>, Javad Zamani<sup>2</sup>, Farideh Abbaszadeh Afshar<sup>2</sup>**

1. M.Sc. in Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Jiroft, Iran.
- \*2. Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Jiroft, Iran.

\*Email Address: [gh.jalali@ujiroft.ac.ir](mailto:gh.jalali@ujiroft.ac.ir)

### **Article Info**

**Article Type:**  
Research Paper

### **Article History:**

Received Date:

**2025/05/20**

Revised Date:

**2025/07/06**

Accepted Date:

**2025/07/08**

Published Date:

**2025/09/29**

### **Keywords:**

Soil quality,  
Land-use change,  
Agricultural management,  
Soil properties.

### **ABSTRACT**

Soil quality is influenced by both inherent factors such as parent material and climatic conditions, and acquired factors, including soil management practices and land-use changes. Therefore, a comprehensive understanding of these factors and their interactions is essential for achieving sustainable soil management. The present study was conducted to investigate the long-term effects of different agricultural management practices on soil properties in the Jiroft plain. Four land-use types were selected: uncultivated land (as control), agricultural fields under a potato–onion rotation system, citrus orchards, and greenhouse cultivation. Surface soil samples were collected from three different locations, each with three replications. The measured soil parameters included pH, electrical conductivity (EC), sodium adsorption ratio (SAR), organic carbon, cation exchange capacity (CEC), and available phosphorus and potassium. The results revealed that different agricultural management practices significantly influenced soil characteristics. The highest pH values were observed in agricultural and orchard lands, while the lowest pH was recorded in greenhouse soils. Moreover, greenhouse and agricultural land uses led to a significant increase in soil electrical conductivity, indicating elevated salinity and potentially adverse effects of intensive cultivation. Conversely, organic carbon content was higher in orchard soils and, to a lesser extent, in greenhouse soils compared to uncultivated lands. The cation exchange capacity was significantly greater in orchard soils than in other land uses, particularly the control, which showed a strong positive correlation with clay content and soil organic matter. Furthermore, the concentrations of available phosphorus and potassium were markedly higher in greenhouse and agricultural soils, likely due to the intensive application of chemical fertilizers. Overall, the findings demonstrate that land-use changes and agricultural management practices play a critical role in altering soil properties. Consequently, continuous monitoring of these parameters is vital to ensure the sustainability of agricultural production.

### **Cite this article:**

Mahmoud Arzhangnia, Ghobad jalali, Javad Zamani, Farideh Abbaszadeh Afshar (2025). The long-term effects of different agricultural management practices on selected soil chemical properties, Journal of Environmental Sciences Studies, 10(3), Pages 10560-10574.

## EXTENDED ABSTRACT

### Introduction

Human interventions, particularly land-use changes and agricultural management practices, exert a profound and lasting influence on soil quality indicators. Numerous studies have demonstrated that such interventions can significantly alter soil physical and chemical properties. Practices like excessive application of chemical fertilizers often degrade soil quality, while appropriate management techniques such as conservation tillage, crop residue retention, and the use of organic or manure-based fertilizers can help maintain or even improve soil health. A thorough review of the global literature reveals that the effects of land-use change on soil characteristics are highly dependent on ecosystem type and climate conditions. For instance, findings from temperate and tropical humid ecosystems differ markedly from those observed in arid and semi-arid climates. Meta-analyses have shown that land-use change often has a more pronounced and enduring impact on soil organic carbon (SOC) than climatic variation alone, with reported declines in SOC reaching up to 30% in some cases. The conversion of natural ecosystems such as primary forests or grasslands into agricultural lands has also been associated with significant reductions in SOC, cation exchange capacity (CEC), and increases in soil salinity (EC). However, these impacts vary based on land-use history, soil type, and management intensity. While long-term land-use changes can lead to either beneficial or adverse outcomes, most evidence suggests that, in the absence of sustainable management, converting natural land to intensive agriculture typically accelerates soil degradation processes, including nutrient depletion, erosion, and reduced water-holding capacity. On the other hand, implementing sustainable agricultural practices may enhance certain soil quality indicators particularly when organic inputs are emphasized. These findings underscore the need for region-specific assessments, as generalizations from one ecological zone may not be valid in another. In this context, the Jiroft Plain an agriculturally vital region in southern Iran with a dry to semi-arid climate has received limited research attention regarding the impacts of land-use change on soil quality. Given its strategic importance in national food production, this study aims to investigate the long-term effects of different land-use types on key soil chemical properties in the Jiroft region, with the goal of informing sustainable soil and land management strategies.

### Materials and methods

Geologically, the Jiroft Plain is situated within the Central Iranian sedimentary basin and is delineated from the Kavir Basin by the Jebalbarez mountain range, which trends northwest to southeast. Additionally, it forms part of the Bazzman-Sahand volcanic belt. The study area is geographically positioned at 28°35'14"N latitude and 57°48'14"E longitude. Within the Jiroft Plain, three agricultural zones characterized by distinct land-use types were selected: rangeland (non-cultivated land adjacent to agricultural areas), arable land (cultivated under an annual potato-onion rotation), orchards (citrus), and greenhouse cultivation (greenhouse cucumber). The selection of these sites was guided by two primary criteria: long-term land-use stability (no changes over several years) and a minimum of 20 years of continuous cultivation following the specified cropping system. For each land-use category, three composite soil samples were collected, each comprising ten subsamples taken from a standard soil depth. The analyses included determination of soil clay content via the hydrometer method, organic carbon content by the Walkley-Black method, soil pH in saturated paste, electrical conductivity in saturated extract, available phosphorus using the Olsen method, exchangeable potassium by the one-normal ammonium acetate method, and cation exchange capacity (CEC) through ammonium acetate and sodium acetate extractions. Sodium concentration in the saturated paste extract was measured using flame photometry, while calcium and magnesium concentrations were quantified by atomic absorption spectroscopy. Subsequently, the Sodium Adsorption Ratio (SAR) was calculated based on these measurements.

### Results and discussion

The analysis of variance results demonstrated that land-use type exerted a statistically significant effect (at the 1% probability level) on all examined soil properties. Comparative analysis of mean pH values revealed that soils under arable and orchard land uses exhibited higher pH levels than those under greenhouse cultivation across all three study regions. Additionally, the comparison of mean values indicated that agricultural management practices, particularly greenhouse cultivation and the cultivation of onions and potatoes, significantly increased soil salinity compared to uncultivated lands in all regions. Furthermore, although soils under agricultural land uses displayed higher Sodium Adsorption Ratio (SAR) values than uncultivated soils across all study sites, this increase did not reach statistical significance. Organic carbon content varied substantially among the land uses, ranging from 0.06% to

1.34%, with the highest concentration observed in orchard soils within region 2 and the lowest in uncultivated soils in region 3. Cation exchange capacity (CEC) under different land uses ranged from 3.86 to 12.40  $\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$ , with orchard lands in region 2 exhibiting the highest values, while the lowest CEC was recorded in uncultivated soils in region 1. The studied land uses also had a significant positive impact on soil phosphorus and potassium contents. The elevated concentrations of these nutrients in greenhouse soils were primarily attributed to the intensive application of chemical fertilizers containing phosphorus and potassium, in contrast to the control (uncultivated) soils. Given phosphorus's relative immobility in soil, it tends to accumulate rather than leach, especially under excessive fertilizer application aimed at increasing crop yield. The reduced phosphorus levels observed in uncultivated lands were attributed to the absence of fertilizer inputs. Notably, phosphorus toxicity has recently emerged as a challenge in certain greenhouses within the Jiroft region, imposing additional costs on farmers for soil remediation.

### **Conclusion**

Land use and land management practices, particularly over the long term, lead to significant changes in soil properties. Addressing this issue across various regions of the country is essential to prevent uncontrolled soil degradation. Generally, natural land uses, due to the absence of soil disturbance, contribute more effectively to soil conservation compared to other land-use types. Although converting land to agricultural use may enhance certain soil characteristics such as organic matter content, cation exchange capacity, and even soil salinity this improvement does not necessarily imply the absence of soil degradation associated with such changes. The application of fertilizers, especially chemical fertilizers, in agricultural lands can lead to the accumulation of elements like phosphorus in the soil, necessitating careful monitoring. To safeguard soil health, appropriate land management practices must be adopted in the region's agricultural lands. Furthermore, sustainable soil management in regional agriculture requires regular assessment of soil properties ideally at intervals of a few years to effectively evaluate the impacts of land-use changes.



## تأثیر طولانی مدت مدیریت‌های مختلف کشاورزی بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک

محمود ارژنگ‌نیا<sup>۱</sup>، قباد جلالی<sup>۲\*</sup>، جواد زمانی<sup>۲</sup>، فریده عباس زاده افشار<sup>۲</sup>

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران.

۲\*- استادیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران.

\*ایمیل نویسنده مسئول: gh.jalali@ujiroft.ac.ir

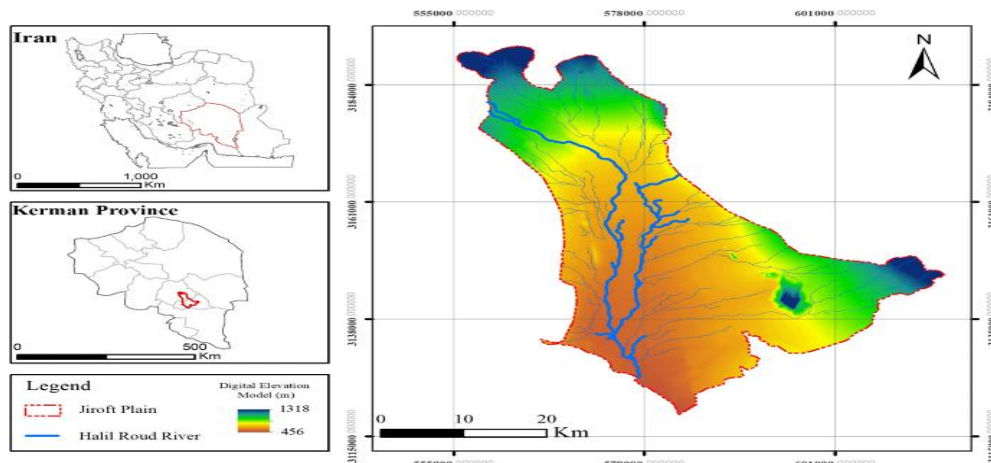
اطلاعات مقاله	چکیده
<b>نوع مقاله:</b> مقاله علمی پژوهشی	<p>کیفیت خاک تحت تأثیر عوامل ذاتی مانند ماده مادری و شرایط اقلیمی قرار دارد، اما عوامل اکتسابی از جمله شیوه‌های مدیریت خاک و تغییرات کاربری اراضی نیز نقش مهمی در تعیین آن ایفا می‌کنند. بنابراین، شناخت دقیق تأثیرات این عوامل و تعامل بین آن‌ها برای دستیابی به مدیریت پایدار خاک ضروری است. پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات بلندمدت انواع مدیریت کشاورزی بر ویژگی‌های خاک در دشت جیرفت انجام گرفت. چهار نوع کاربری شامل اراضی کشت‌نشده (شاهد)، اراضی زراعی با تناوب کشت سیب‌زمینی و پیاز، اراضی باغی مرکبات و اراضی گلخانه‌ای انتخاب شدند. نمونه‌برداری از خاک سطحی در سه منطقه مختلف و با سه تکرار انجام شد. پارامترهای pH، هدایت الکتریکی (EC)، نسبت جذب سدیم (SAR)، کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) و میزان فسفر و پتاسیم قابل جذب اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد که روش‌های مختلف مدیریت کشاورزی تأثیر قابل توجهی بر ویژگی‌های خاک دارند. بیشترین مقدار pH در اراضی زراعی و باغی و کمترین در اراضی گلخانه‌ای مشاهده شد. همچنین، اراضی گلخانه‌ای و زراعی باعث افزایش معنادار هدایت الکتریکی خاک شدند که این موضوع بیانگر افزایش شوری و اثرات منفی احتمالی فعالیت‌های کشاورزی است. در مقابل، میزان کربن آلی در اراضی باغی و تا حدی در اراضی گلخانه‌ای نسبت به اراضی کشت‌نشده بالاتر بود. ظرفیت تبادل کاتیونی در اراضی باغی به طور معناداری بیشتر از سایر کاربری‌ها، به ویژه اراضی شاهد، بود که این پارامتر همبستگی مثبت و معناداری با درصد رس و ماده آلی خاک داشت. همچنین، فسفر و پتاسیم قابل جذب در خاک اراضی گلخانه‌ای و زراعی افزایش چشمگیری داشت که احتمالاً ناشی از مصرف بیشتر کودهای شیمیایی است. در مجموع، یافته‌ها نشان می‌دهد که تغییر کاربری اراضی و شیوه‌های مدیریت کشاورزی نقش مهمی در تغییر ویژگی‌های خاک دارند؛ بنابراین، پایش مستمر این پارامترها برای حفظ پایداری تولید کشاورزی امری حیاتی است.</p>
<b>تاریخ دریافت:</b> ۱۴۰۴/۰۲/۳۰	
<b>تاریخ بازنگری:</b> ۱۴۰۴/۰۴/۱۵	
<b>تاریخ پذیرش:</b> ۱۴۰۴/۰۴/۱۷	
<b>تاریخ انتشار:</b> ۱۴۰۴/۰۷/۰۷	
<b>کلید واژه‌ها:</b> کیفیت خاک، تغییر کاربری اراضی، مدیریت کشاورزی، ویژگی‌های خاک.	

خاک به عنوان یکی از اجزای اساسی طبیعت، دارای دو نوع تغییرپذیری اساسی است: نخست، تغییرپذیری ذاتی که ناشی از تعامل پیچیده عوامل طبیعی تشکیل دهنده آن است، از جمله ماده مادری، شرایط اقلیمی، تنوع زیستی، توپوگرافی و زمان دوم، تغییرپذیری اکتسابی که تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی همچون روش‌های مدیریت کشاورزی، تغییرات در الگوهای کاربری اراضی و فرآیندهای تخریبی مانند فرسایش قرار دارد. علاوه بر این عوامل، مؤلفه‌های متعددی مانند تأثیرات ریزوسفر (منطقه اطراف ریشه گیاهان)، حضور آلاینده‌ها و تغییرات در پوشش گیاهی نیز نقش مهمی در تعیین کیفیت و عملکرد خاک ایفا می‌کنند (Tellen and Yerima, 2018). تغییرات در کاربری اراضی و پوشش گیاهی نه تنها ساختار فیزیکی خاک بلکه فرآیندهای بیولوژیکی و شیمیایی آن را دستخوش تحول می‌سازند؛ این تحولات می‌توانند در مقیاس وسیع‌تر موجب تشدید روند تغییرات محیط زیستی و تسریع تغییرات جهانی شوند (Hollister et al., 2010). امروزه، تبدیل اراضی جنگلی و مراتع به زمین‌های کشاورزی به یکی از مهم‌ترین مسائل زیست‌محیطی جهانی تبدیل شده است که تأثیرات گسترده‌ای بر پایداری محیط زیست و تغییرات اقلیمی دارد. شواهد علمی متعددی نشان داده‌اند که تغییر کاربری اراضی و به تبع آن تغییر در ساختار اکوسیستم‌ها، تأثیر عمیقی بر چرخه‌های ژئوشیمیایی و فرآیندهای خاک دارد؛ از جمله این تأثیرات می‌توان به تغییرات ماندگار در خصوصیات کلیدی خاک نظیر کاهش کربن آلی خاک و تغییر در اسیدیته اشاره کرد که این عوامل، به طور مستقیم بر روند پایداری خاک و احتمال فرسایش آن اثرگذار هستند (Bahrami et al., 2010). یکی از روش‌های مؤثر برای ارزیابی نقش کاربری اراضی در حفظ و مدیریت پایدار خاک، اندازه‌گیری شاخص‌های کیفیت خاک است. کیفیت خاک به طور مستقیم قابل اندازه‌گیری نیست، اما از طریق سنجش مجموعه‌ای از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک می‌توان وضعیت آن را مورد ارزیابی قرار داد. این ویژگی‌ها که به عنوان شاخص‌های کیفیت خاک شناخته می‌شوند، به شدت به تغییرات ناشی از مدیریت خاک حساس بوده و می‌توانند نمایانگر سلامت و عملکرد خاک باشند. فعالیت‌های انسانی از جمله تغییرات در الگوی کاربری اراضی و شیوه‌های مدیریت، تأثیرات چشمگیری بر این شاخص‌ها دارند (حاج‌عباسی و همکاران، ۱۳۸۶). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که تغییر کاربری اراضی معمولاً تأثیرات قابل توجه و درازمدتی بر خصوصیات خاک بر جای می‌گذارد (Borrelli et al., 2017). به علاوه، شیوه‌های مدیریتی متفاوت در کشاورزی، به ویژه استفاده از کودهای شیمیایی، می‌تواند کیفیت خاک را تحت تأثیر منفی یا مثبت قرار دهد. با این حال، به کارگیری عملیات مدیریتی مناسب مانند روش‌های شخم مؤثر، مدیریت بقایای گیاهی و کاربرد کودهای آلی و دامی می‌تواند از تخریب خاک جلوگیری کرده و روند احیای خاک را تسریع بخشد (مولایی آرپناهی و همکاران، ۱۳۹۹). از این رو، شناخت دقیق این عوامل و اثرات متقابل آن‌ها، برای توسعه استراتژی‌های مدیریت پایدار خاک ضروری است تا بتوان ضمن حفظ کیفیت خاک، پایداری اکوسیستم‌های کشاورزی را تضمین نمود. بررسی نتایج متاآنالیزهای جهانی نشان می‌دهد که پاسخ ویژگی‌های خاک نسبت به تغییر کاربری، بسته به شرایط اقلیمی متنوع است. به عبارت دقیق‌تر، Beillouin و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای چندملیتی دریافتند که تغییر کاربری زمین تأثیر پایداری بر کربن آلی خاک دارد تا تغییرات صرف اقلیمی، و کاهش کربن آلی خاک تا ۳۰ درصد را در برخی موارد گزارش کردند. همچنین، Rumpel و همکاران (۲۰۲۰) با بررسی دقیق مناطق گرمسیری نشان دادند که تبدیل جنگل اولیه به زمین‌های کشاورزی، تا ۳۰-۲۵ درصد کاهش کربن آلی خاک ایجاد کرده و ضمن تبدیل به مرتع نیز ۱۲ درصد کاهش مشاهده شده است. این داده‌ها تأکید می‌کند که شدت و جهت تغییرات در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، از جمله کربن آلی خاک، EC و CEC، بسیار وابسته به بستر اقلیمی و نوع اکوسیستم است و نمی‌توان نتایج یک منطقه را به دیگر مناطق تعمیم داد. با این حال، نتیجه مشترک این پژوهش‌ها آن است که تغییر کاربری اراضی، به‌ویژه در بازه‌های زمانی بلندمدت، می‌تواند به‌طور قابل توجهی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک را دستخوش تغییر کند. این تغییرات می‌توانند بسته به نوع کاربری جدید، شرایط اقلیمی، ویژگی‌های اولیه خاک و نحوه مدیریت زمین، آثار مثبت یا منفی برجای بگذارند. برای مثال، مطالعاتی مانند Don و همکاران (۲۰۱۱) نشان داده‌اند که تبدیل جنگل‌ها و مراتع طبیعی به اراضی زراعی اغلب با کاهش معنی‌دار کربن آلی خاک همراه است که این امر همزمان منجر به کاهش حاصلخیزی، افزایش شوری، افت ظرفیت نگهداری آب و تخریب ساختار خاک می‌شود. در مقابل، در برخی موارد خاص، کاربرد روش‌های مدیریت پایدار در اراضی کشاورزی می‌تواند باعث بهبود برخی شاخص‌های کیفی خاک شود، مانند افزایش مواد آلی در نتیجه استفاده از کودهای آلی یا بقایای گیاهی. با این حال، روند کلی حاصل از اکثر مطالعات حکایت از آن دارد که تبدیل اراضی طبیعی به کشاورزی، در صورت نبود مدیریت علمی و پایدار، منجر به افت کیفیت خاک و تسریع فرسایش و تخریب آن خواهد شد. بنابراین این تفاوت‌ها اهمیت درک بسترهای بوم‌شناختی و مدیریتی در تحلیل تغییرات خاک و نیز لزوم مطالعات منطقه‌محور را برجسته می‌سازد (محمدی، ۱۳۹۵). دشت جیرفت با ویژگی‌های اقلیمی خشک تا نیمه‌خشک و جایگاه برجسته در تولید محصولات زراعی و باغی، یکی از مناطق راهبردی کشاورزی ایران محسوب می‌شود. با این حال، تحقیقات محدودی درباره تأثیر تغییر کاربری اراضی بر ویژگی‌های خاک این منطقه صورت گرفته است. بر این اساس، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی تأثیرات کاربری‌های مختلف اراضی بر شاخص‌های مهم شیمیایی خاک در این منطقه انجام شد تا بتواند به تدوین راهکارهای بهینه مدیریت خاک و ارتقاء پایداری کشاورزی منطقه کمک نماید.

## ۲- روش انجام تحقیق

### • منطقه مورد مطالعه

این پژوهش با نمونه برداری از خاک در بخشی از دشت جیرفت انجام شد. دشت جیرفت به دلیل شرایط خاص اقلیمی و موقعیت جغرافیایی خود، یکی از قطب‌های مهم کشاورزی کشور محسوب می‌شود و تولیدکننده محصولات متنوعی همچون مرکبات، خرما، پیاز و سیب‌زمینی است. این دشت بخشی از حوضه آبخیز جازموریان در جنوب استان کرمان بوده و از نظر زمین‌شناسی، بخشی از حوضه ساختاری رسوبی ایران مرکزی است که توسط رشته‌کوه‌های جبال بارز با جهت شمال غربی - جنوب شرقی از حوضه کویر جدا شده و قسمتی از کمربند آتش‌فشانی بزمان-سهند را تشکیل می‌دهد. از لحاظ خاک‌شناسی، بخش‌های جنوبی این دشت دارای خاک‌هایی با مواد آلی فراوان و قابلیت بالا برای بهره‌برداری‌های کشاورزی هستند. منطقه مورد مطالعه در مختصات جغرافیایی  $28^{\circ}35'14''$  شمالی و  $57^{\circ}48'14''$  شرقی واقع شده است. این منطقه در ارتفاع حدود ۶۵۰ متری از سطح دریا قرار دارد و دارای متوسط بارش سالانه ۱۹۳ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه ۲۴ درجه سانتی‌گراد است. رژیم‌های حرارتی و رطوبتی خاک‌های منطقه به ترتیب هایپرترمیک و اریدیک تشخیص داده شده‌اند (نادریان‌فر و همکاران، ۱۴۰۰). موقعیت جغرافیایی منطقه نمونه‌برداری شده (دشت جیرفت) بر روی نقشه ایران در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (دشت جیرفت)

### • نمونه‌برداری خاک

در دشت جیرفت، سه منطقه کشاورزی با کاربری‌های مختلف شامل اراضی مرتعی (به عنوان اراضی بکر مجاور زمین‌های کشاورزی)، زراعی (تحت کشت سالانه سیب‌زمینی و پیاز)، باغی (مرکبات) و گلخانه‌ای (کشت خیار سبز) انتخاب شدند. معیارهای انتخاب این مناطق شامل ثبات کاربری اراضی طی سال‌های گذشته (فاقد تغییر کاربری) و سابقه بیش از ۲۰ سال فعالیت کشاورزی مستمر با الگوی مشخص در هر کاربری بود که بر اساس اطلاعات حاصل از مصاحبه با کشاورزان محلی تأیید شد. نمونه‌برداری خاک در آذرماه انجام گرفت و از هر کاربری، سه نمونه مرکب (هرکدام متشکل از ده نمونه فرعی) از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر برداشت شد. با در نظر گرفتن سه تکرار برای هر نوع کاربری، در مجموع ۳۶ نمونه خاک از سه منطقه مجزا جمع‌آوری گردید.

### • آنالیز آزمایشگاهی

برخی از ویژگی‌های خاک در این مطالعه با استفاده از روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شدند. درصد رس با روش هیدرومتری (Bouyoucos, 1951) تعیین شد. مقدار کربن آلی از طریق روش والکلی و بلاک (Walkley and Black, 1934) محاسبه گردید. اندازه‌گیری اسیدیته (pH) در گل اشباع و هدایت الکتریکی (EC) در عصاره اشباع انجام گرفت (Page, 1982). فسفر قابل جذب به روش اولسن بر پایه استخراج با بیکربنات سدیم (Nelson and Sommers, 1982)، و پتاسیم قابل جذب با استفاده از استات آمونیوم یک نرمال (Knudsen et al., 1982) استخراج و تعیین شد. ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) نیز با استفاده از روش استات آمونیوم و استات سدیم (Banat et al., 2005, Al-Khashman, 2013) اندازه‌گیری گردید. غلظت سدیم از عصاره گل اشباع استخراج و با دستگاه فلیم‌فوتومتر قرائت شد، در حالی که غلظت‌های کلسیم و منیزیم نیز از عصاره گل اشباع استخراج و با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل Perkin Elmer Analyst 800) اندازه‌گیری شدند. پس از آن، شاخص نسبت جذب سدیم (Sodium Adsorption Ratio یا SAR) با استفاده از داده‌های مربوط به غلظت یون‌ها و بر اساس فرمول استاندارد، محاسبه گردید (Page, 1982).

## • آنالیز آماری

پس از تعیین و محاسبه نتایج تحقیق، داده‌ها در قالب طرح آماری آشیانه‌ای (Nested) با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ تحلیل شدند و مقایسه میانگین‌ها با آزمون توکی در سطح معنی‌داری ۵ درصد انجام گرفت.

## ۳- نتایج

## • تأثیر منطقه‌های مورد بررسی بر ویژگی‌های خاک

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱)، مشخص شد که تأثیر مناطق مورد بررسی بر ویژگی‌های خاک معنی‌دار نبوده است. این یافته نشان می‌دهد که انتخاب مناطق مورد مطالعه به‌درستی انجام شده و تغییرات مشاهده‌شده در ویژگی‌های خاک بیشتر ناشی از عوامل دیگری است که مهم‌ترین آن‌ها نوع کاربری اراضی یا مدیریت کشاورزی است، که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول ۱. آنالیز واریانس ویژگی‌های خاک در کاربری‌های مختلف اراضی

میانگین مربعات (MS)							درجه آزادی	منابع تغییرات
P	K	CEC	OC	EC	pH	SAR		
<sup>ns</sup> ۳۷۷/۹۹	<sup>ns</sup> ۸۷۸۶۹/۰۵	<sup>ns</sup> ۲/۹۶	<sup>ns</sup> ۰/۳۱	<sup>ns</sup> ۳۴/۱۷	<sup>ns</sup> ۰/۱۶۷	<sup>ns</sup> ۱۰/۷۸	۲	منطقه
<sup>**</sup> ۲۸۸۰/۵۴	۱۸۴۲۲۱/۴۴ <sup>**</sup>	۲۲/۸۳ <sup>**</sup>	<sup>**</sup> ۰/۴۸	<sup>**</sup> ۸۲/۰۱	<sup>**</sup> ۰/۰۶۸	<sup>**</sup> ۴۳/۹۸	۹	کاربری
۲۴/۴۶	۶۲۹/۳۸	۱/۵۵	۰/۰۱۵	۲/۶۰	۰/۰۱۳	۱/۲۱	۲۴	خطا
۱۷/۷۱	۱۰/۱۲	۱۴/۵۹	۲۵/۲۸	۲۴/۸۹	۱/۵۳	۲۱/۰۲		ضریب تغییرات (%)
۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۸۵	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۷۵	۰/۹۳		ضریب تبیین

"نمادهای ns، \* و \*\* به ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح ۵ درصد ( $p < 0.05$ ) و معنی‌داری در سطح ۱ درصد ( $p < 0.01$ ) هستند."

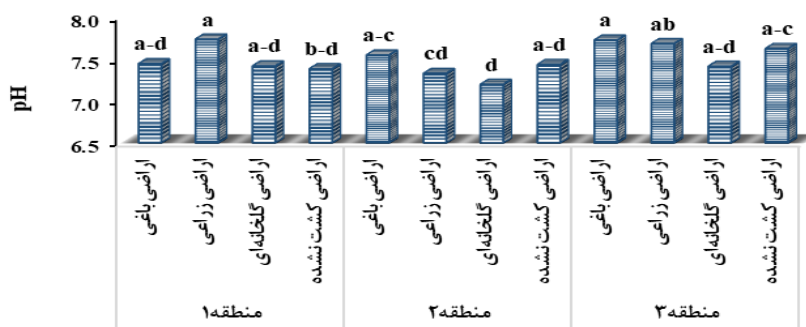
## • تأثیر کاربری‌های مختلف بر ویژگی‌های خاک

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر نوع کاربری اراضی بر تمامی ویژگی‌های خاک مورد بررسی در سطح معنی‌داری یک درصد معنادار بوده است (جدول ۱). در ادامه، نتایج مقایسه میانگین‌های ویژگی‌های مورد مطالعه به‌صورت مجزا ارائه و تحلیل می‌شود.

## • مقدار pH خاک

مقایسه میانگین تأثیر کاربری‌های کشاورزی مورد مطالعه بر مقدار pH خاک نشان داد که مقدار pH در اراضی زراعی منطقه ۱ و اراضی باغی مناطق ۲ و ۳ در مقایسه با سایر کاربری‌ها در همان مناطق بیشتر بود. با این حال، تنها افزایش معنی‌دار pH در اراضی زراعی منطقه ۱ نسبت به اراضی کشت‌نشده (شاهد) مشاهده شد (شکل ۲). تغییرات مقدار pH خاک تحت تأثیر کاربری‌های مختلف در محدوده ۷/۲ تا ۷/۷ قرار داشت که نشان‌دهنده تأثیر نوع کاربری و روش‌های مدیریتی بر این پارامتر است. به طور کلی، مقدار pH در کاربری‌های زراعی و باغی در هر سه منطقه مورد مطالعه از مقدار آن در کاربری گلخانه‌ای بیشتر بود. در این میان، کاربری گلخانه‌ای در منطقه ۲ با کاهش معنی‌دار pH خاک نسبت به سایر کاربری‌های کشاورزی در همان منطقه همراه بود و کمترین مقدار pH (۷/۲۰) در کل کاربری‌ها و مناطق، در این کاربری مشاهده شد. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، مقدار pH خاک در تمامی کاربری‌های مورد بررسی در هر سه منطقه بالاتر از ۷ بوده است. کاربری‌های مناطق ۲ و ۳ نسبت به کاربری‌های منطقه ۱ از الگوی تغییرات مشابهی در کاهش و افزایش pH برخوردار هستند؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که عوامل مؤثر بر مقدار pH خاک در این اراضی تا حد زیادی مشابه بوده‌اند. در پژوهشی توسط طاعتی و همکاران (۱۳۹۹) گزارش شده است که مصرف کودهای شیمیایی و دامی و روش‌های خاکورزی تأثیر قابل توجهی بر مقدار pH خاک دارند، به‌طوری‌که این تأثیر در عمق‌های بالای ۳۰ سانتی‌متری خاک نسبت به اعماق کمتر بیشتر است. همچنین، در مطالعه‌ای دیگر بیان شده است که افزایش مقدار pH خاک می‌تواند ناشی از فعالیت‌های مدیریتی مختلفی مانند کاهش بقایای آلی خاک به دلیل چرای دام و سوزاندن بقایای گیاهی، کوددهی با کودهای شیمیایی و دامی، و افزودن کود دامی در اثر چرای دام باشد (Geissen et al., 2009). ملک‌پور و همکاران (۱۳۹۰) نیز گزارش کردند که فعالیت‌های کشاورزی، به واسطه تأثیر بر کربن آلی و میکروارگانیسم‌های خاک، می‌توانند منجر به افزایش مقدار pH خاک در اراضی کشاورزی شوند. در پژوهشی که توسط بوستانی و همکاران (۱۳۹۸) انجام شد، افزودن کودهای شیمیایی، تجزیه سریع‌تر ماده آلی خاک، افزایش مقدار دی‌اکسید کربن و آبشویی کربنات‌های محلول ناشی از برهم خوردن ساختار خاک (خاک‌ورزی) به عنوان عوامل مؤثر در کاهش مقدار pH خاک معرفی شدند. به عبارت دیگر، ماده مادری و عوامل مدیریتی مانند استفاده از

کودهای دامی و شیمیایی، مصرف سموم مختلف، خاک‌ورزی و آبیاری را می‌توان از دلایل تأثیرگذار در کاهش مقدار pH خاک در اراضی کشاورزی دانست. اگرچه این عوامل به طور نسبی و جزئی در مناطق ۲ و ۳ مطالعه حاضر اثرگذار بوده‌اند، اما می‌توانند از دلایل اصلی کاهش مقدار pH در اراضی گلخانه‌ای و زراعی (کشت سیب‌زمینی و پیاز) نسبت به کاربری‌های کشت‌نشده و باغی باشند.



کاربری‌های مختلف در مناطق مورد بررسی

شکل ۲. مقایسه میانگین تأثیر کاربری‌های مورد مطالعه بر مقدار pH خاک در مناطق بررسی شده

### • مقدار هدایت الکتریکی (EC) خاک

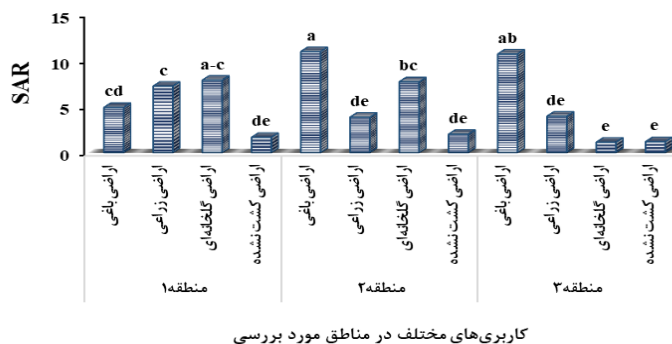
نتایج نتایج مقایسه میانگین اثر انواع کاربری اراضی نشان داد که مدیریت‌های کشاورزی، به‌ویژه کشت گلخانه‌ای و زراعت پیاز و سیب‌زمینی، به‌طور معنی‌داری موجب افزایش شوری خاک در مقایسه با اراضی کشت‌نشده در تمامی مناطق مورد بررسی شده‌اند (شکل ۳). میزان هدایت الکتریکی (EC) خاک در کاربری‌های مختلف بین ۰/۵۴ تا ۹/۲ دسی‌زیمنس بر متر متغیر بود؛ به‌طوری‌که بالاترین مقدار EC در اراضی گلخانه‌ای، به‌ویژه در منطقه ۳، و پایین‌ترین مقدار آن در اراضی کشت‌نشده، به‌ویژه در منطقه ۱، با مقدار ۰/۵۴ دسی‌زیمنس بر متر ثبت شد. شایان ذکر است که نمونه‌برداری از تمام کاربری‌ها به‌صورت هم‌زمان و تحت شرایط اقلیمی یکسان (در آذرماه) انجام شده است. از این رو، تفاوت‌های مشاهده‌شده در میزان شوری خاک را می‌توان عمدتاً ناشی از تفاوت‌های بلندمدت در شیوه‌های مدیریتی اراضی، نظیر نوع کشت، میزان و نوع مصرف نهاده‌ها (به‌ویژه کودهای شیمیایی)، و الگوهای آبیاری دانست. همان‌گونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، بیشترین افزایش در هدایت الکتریکی (EC) خاک مربوط به کاربری‌های گلخانه‌ای و زراعی، و در مرتبه بعدی باغی بوده است. این افزایش احتمالاً ناشی از مصرف مداوم کودهای آلی و شیمیایی در این نوع کاربری‌هاست. هرچند بخشی از مقادیر EC ممکن است به ویژگی‌های ماده مادری خاک در مناطق مختلف مرتبط باشد، اما با توجه به مقدار بسیار پایین EC در اراضی کشت‌نشده که می‌توان آن را به‌عنوان شاخصی از شوری ناشی از ماده مادری در نظر گرفت می‌توان نتیجه گرفت که مدیریت‌های کشاورزی اثر منفی قابل توجهی بر افزایش EC داشته‌اند. به‌منظور اطمینان از دقت نتایج، این بخش از آزمایش به دلیل اهمیت موضوع و شواهد اثر منفی مدیریت‌های کشاورزی، دو بار تکرار شد. هرچند در تکرارها نوسانات جزئی مشاهده شد، اما الگوی کلی اثر منفی مدیریت‌های کشاورزی بر شوری خاک در مناطق مختلف تغییر محسوسی نداشت. کریمیان و همکاران (۱۴۰۰) در مطالعه‌ای گزارش کردند که با وجود نبود الگوی منظم در تغییرات هدایت الکتریکی (EC) خاک در اراضی مختلف، افزایش کاربرد نهاده‌های کشاورزی، به‌ویژه کودهای شیمیایی، با افزایش قابل توجه EC خاک همراه بوده است. در این پژوهش، بالاترین میزان EC در اراضی تحت کاربری‌ای مشاهده شد که بیشترین مقدار نهاده در آن استفاده شده بود. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که در اراضی پرنهاده، مصرف گسترده کودهای شیمیایی تأثیر مستقیمی بر افزایش شوری خاک دارد. در مطابقت با این یافته‌ها، در پژوهش حاضر نیز مشاهده شد که اراضی کشت‌نشده دارای مقادیر بسیار پایین EC بودند، در حالی که بالاترین مقادیر این شاخص در اراضی کشاورزی، به‌ویژه در کاربری گلخانه‌ای، ثبت شد. این هم‌راستایی نتایج نشان می‌دهد که مدیریت‌های پرنهاده در اراضی کشاورزی، به‌ویژه مصرف زیاد کودها، نقش مؤثری در افزایش شوری خاک دارند. همچنین مطالعات دیگری نیز بر این موضوع تأکید کرده‌اند که عوامل مختلفی بر تغییرات EC خاک مؤثرند؛ از جمله نوع خاک، روش آبیاری، میزان مصرف کود و برنامه توزیع آن‌ها در زمین‌های کشاورزی (Lupwayi et al., 2004).



شکل ۳. مقایسه میانگین تأثیر کاربری‌های مورد مطالعه بر مقدار شوری خاک (EC) در مناطق بررسی شده

#### • نسبت جذب سدیم (SAR) خاک

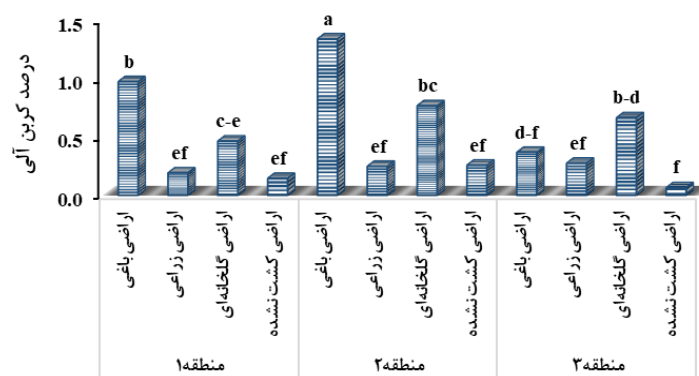
نتایج نتایج مقایسه میانگین اثر انواع کاربری اراضی (زراعی، باغی، گلخانه‌ای و کشت‌نشده) بر نسبت جذب سدیم (SAR) خاک نشان داد که در منطقه ۱، کاربری‌های زراعی و گلخانه‌ای، در منطقه ۲، کاربری‌های باغی و گلخانه‌ای، و در منطقه ۳، کاربری باغی، به‌طور معنی‌داری موجب افزایش مقدار SAR در مقایسه با اراضی کشت‌نشده شده‌اند. هرچند در سایر کاربری‌های کشاورزی نیز مقادیر SAR نسبت به اراضی کشت‌نشده بیشتر بود، اما این افزایش از نظر آماری معنی‌دار نبود (شکل ۴). دامنه تغییرات SAR خاک در میان کاربری‌های مختلف بین ۱/۱۱ تا ۱۰/۹۳ بود که تمامی این مقادیر کمتر از حد بحرانی SAR (۱۳) قرار داشتند. بیشترین مقدار SAR در بین کلیه کاربری‌ها و مناطق مورد بررسی مربوط به اراضی باغی در منطقه ۲، و کمترین مقدار مربوط به اراضی کشت‌نشده در منطقه ۳ با مقدار ۱/۱۱ ثبت شد. همان‌گونه که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، بیشترین افزایش نسبت جذب سدیم (SAR) مربوط به اراضی باغی در مناطق ۲ و ۳ بوده است. این افزایش می‌تواند ناشی از مدیریت‌های ناصحیح، از جمله نوع آبیاری و ضعف در مدیریت منابع آبی در اراضی باغی باشد. مقدار پایین SAR در اراضی کشت‌نشده بیانگر آن است که سهم مواد مادری در افزایش این شاخص ناچیز بوده و آنچه بیش از همه در افزایش SAR مؤثر است، اقدامات مدیریتی در اراضی کشاورزی است. عواملی نظیر نوع سامانه آبیاری، کیفیت منابع آب، و شیوه کوددهی (از جمله نسبت و نوع کودهای مصرفی) می‌توانند نسبت سدیم به کلسیم و منیزیم را افزایش داده و در نتیجه موجب افزایش SAR خاک شوند. اگرچه شرایط اقلیمی و زمین‌شناسی از عوامل پایه در بروز شوری و سدیمی شدن خاک‌ها به شمار می‌روند، آبیاری با منابع آب شور و با کیفیت پایین نیز یکی از علل مهم در افزایش SAR خاک محسوب می‌شود (تقی‌زاده‌قصاب و همکاران، ۱۳۹۸). در منطقه مورد مطالعه نیز کاربرد متداول کود دامی در اراضی کشاورزی می‌تواند یکی از دلایل تأثیرگذار در تغییرات مشاهده‌شده SAR باشد. کابلی و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی گزارش کردند که تغییرات غلظت سدیم در خاک، در مقایسه با کلسیم و منیزیم، نقش تعیین‌کننده‌تری در افزایش یا کاهش نسبت جذب سدیم (SAR) دارد. این تفاوت به دلیل پایداری نسبی مقادیر کلسیم و منیزیم در خاک و نوسانات بیشتر غلظت سدیم است. یافته‌های پژوهش حاضر نیز مؤید این موضوع است؛ به‌طوری‌که تطابق و شباهت آشکاری بین الگوی تغییرات سدیم و تغییرات SAR مشاهده شد. این همخوانی بیانگر آن است که تغییرات SAR عمدتاً تحت تأثیر نوسانات سدیم خاک بوده و تغییرات کلسیم و منیزیم نقش کمتری در این زمینه ایفا می‌کنند. بر این اساس، هر عامل خارجی که موجب افزایش یا کاهش سدیم خاک شود، می‌تواند به‌طور مستقیم بر مقدار SAR تأثیر بگذارد. این نتایج با یافته‌های گزارش‌شده توسط کابلی و همکاران (۱۳۹۷) هم‌راستا و قابل تطبیق است.



شکل ۴. مقایسه میانگین تأثیر کاربری‌های مورد مطالعه بر مقدار نسبت جذب سدیم خاک (SAR) در مناطق بررسی شده

## • مقدار کربن آلی خاک

نتایج مقایسه میانگین اثر انواع کاربری اراضی (زراعی، باغی، گلخانه‌ای و کشت‌نشده) بر میزان کربن آلی خاک در شکل ۵ ارائه شده است. به‌طور کلی، کاربری‌های کشاورزی موجب افزایش نسبی کربن آلی خاک در مقایسه با اراضی کشت‌نشده شدند؛ با این حال، این افزایش تنها در برخی موارد از نظر آماری معنی‌دار بود. به‌طور مشخص، افزایش کربن آلی در اراضی باغی منطقه ۱، باغی و گلخانه‌ای منطقه ۲، و گلخانه‌ای منطقه ۳ نسبت به اراضی کشت‌نشده در همان مناطق معنی‌دار گزارش شد. دامنه تغییرات کربن آلی خاک در بین کاربری‌های مورد مطالعه بین ۰/۰۶ تا ۱/۳۴ درصد بود که بیانگر تغییرپذیری قابل توجه این شاخص در کاربری‌های مختلف است. بیشترین مقدار کربن آلی مربوط به اراضی باغی منطقه ۲ و کمترین مقدار آن مربوط به اراضی کشت‌نشده در منطقه ۳ ثبت شد. افزایش کربن آلی در کاربری‌های باغی مورد مطالعه احتمالاً ناشی از ورود مستمر لاشبرگ‌ها و بقایای گیاهی به خاک طی سال‌ها، همراه با کاربرد منظم کودهای آلی است. علاوه بر این، پوشش گیاهی دائمی در باغات موجب حفاظت بهتر کربن آلی در خاک نسبت به اراضی زراعی می‌شود که ممکن است دوره‌هایی بدون پوشش گیاهی داشته باشند. در اراضی گلخانه‌ای، به دلیل برداشت متوالی و مصرف بالاتر کودهای آلی نسبت به اراضی زراعی، میزان کربن آلی نیز بیشتر است. همچنین، تفاوت در روش‌های خاک‌ورزی، به‌ویژه خاک‌ورزی شدید در اراضی زراعی، می‌تواند باعث افزایش تجزیه مواد آلی و کاهش کربن آلی خاک شود. فعالیت میکروبی خاک و شرایط فیزیکی-شیمیایی خاک نیز نقش مهمی در تثبیت یا از دست رفتن کربن آلی دارند. مقدار پایین کربن آلی در اراضی کشت‌نشده احتمالاً به دلیل نبود فعالیت کشاورزی، کاهش ورودی مواد آلی و عدم استفاده از کودهای دامی است. علاوه بر این، نوع و مدت زمان استفاده از کودهای آلی نیز در میزان تجمع کربن آلی خاک تأثیرگذار است. در مطالعه‌ای که توسط Chibsa و Ta'a (۲۰۰۹) انجام شد و تأثیر چهار نوع کاربری مختلف بر درصد ماده آلی خاک بررسی گردید، گزارش شده است که کاربری‌های تحت کشت درختان نسبت به اراضی زراعی و کشت‌نشده دارای مقادیر بالاتری از ماده آلی خاک بوده‌اند. این یافته‌ها با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد. از جمله عوامل مؤثر در تغییرات مثبت یا منفی مقدار ماده آلی خاک می‌توان به زمان نمونه‌برداری، شیوه بهره‌برداری از اراضی پس از تغییر کاربری (نوع کاربری جدید)، وضعیت پوشش گیاهی شامل نوع و تراکم گیاهان، روش‌های خاک‌ورزی به‌کار گرفته شده (Bowman et al., 1990) و همچنین درصد رس موجود در خاک (Li et al., 2010) اشاره کرد. این عوامل به‌صورت مشترک در تعیین میزان تغییرات ماده آلی خاک نقش بسزایی دارند. یکی از عوامل مهم در کاهش میزان کربن آلی در اراضی زراعی، مصرف بی‌رویه و نامتادل کودهای شیمیایی، به‌ویژه کودهای حاوی نیتروژن، بدون استفاده هم‌زمان از کودهای آلی است. استفاده مداوم از کودهای نیتروژنه به‌تنهایی، به‌ویژه در بلندمدت، منجر به برهم خوردن تعادل عناصر غذایی خاک و به‌ویژه نسبت کربن به نیتروژن (C/N) می‌شود. این اختلال در نسبت C/N، با تسریع فرآیند تجزیه ماده آلی، کاهش ذخایر کربن آلی خاک را به‌دنبال دارد و در نهایت منجر به افت کیفیت خاک می‌شود (Manna et al., 2007). این وضعیت در اراضی زراعی تحت کشت محصولات فشرده و پرتغذیه مانند پیاز و سیب‌زمینی، که معمولاً به مصرف بالای کودهای نیتروژنه نیاز دارند، بیشتر مشاهده می‌شود. در مقایسه، اراضی باغی و گلخانه‌ای غالباً دارای سیستم‌های مدیریت متفاوتی هستند که ممکن است شامل کاربرد ترکیبی کودهای آلی و شیمیایی باشد، و همین موضوع می‌تواند در توجیه سطوح بالاتر ماده آلی در این کاربری‌ها نسبت به اراضی زراعی، مطابق با یافته‌های مطالعه حاضر، نقش داشته باشد.

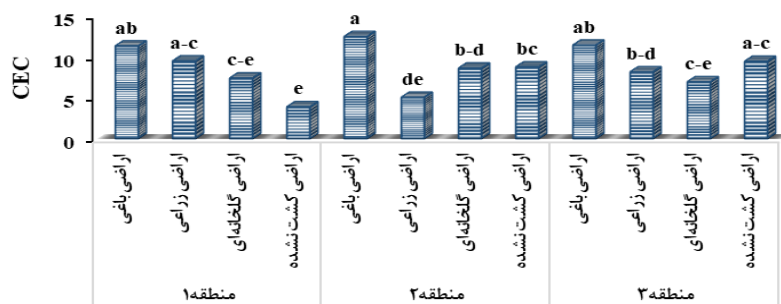


کاربری‌های مختلف در مناطق مورد بررسی

شکل ۵. مقایسه میانگین تأثیر کاربری‌های مورد مطالعه بر مقدار کربن آلی خاک در مناطق بررسی شده

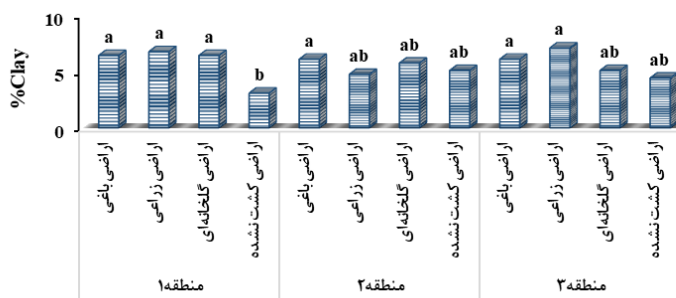
## • ظرفیت تبادل کاتیونی

نتایج مقایسه میانگین تأثیر کاربری‌های زراعی، باغی، گلخانه‌ای و کشت‌نشده بر ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) خاک در شکل ۶ نشان داده شده است. تغییرات مقدار CEC خاک تحت تأثیر کاربری‌های مورد مطالعه بین ۳/۸۶ تا ۱۲/۴۰ میلی‌اکی‌والان بر ۱۰۰ گرم خاک بوده است؛ به‌گونه‌ای که بیشترین مقدار CEC مربوط به اراضی باغی منطقه ۲ و کمترین مقدار مربوط به اراضی کشت‌نشده منطقه ۱ بود. بر اساس تقسیم‌بندی ارائه‌شده توسط Hazelton و Murphy (۲۰۱۶)، میزان ظرفیت تبادل کاتیونی خاک‌های مورد مطالعه در محدوده کم تا خیلی کم قرار دارد. مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از CEC و تأثیر کاربری‌ها بر مقدار رس خاک (شکل ۷) نشان می‌دهد که بخش عمده‌ای از بار منفی مؤثر در ظرفیت تبادل کاتیونی ناشی از رس خاک است. علاوه بر این، وجود ماده آلی و افزایش درصد کربن آلی، به‌ویژه در اراضی باغی (شکل ۵)، باعث افزایش معنی‌دار CEC در این کاربری شده است. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، کاربری‌های باغی در هر سه منطقه بررسی شده دارای مقدار CEC بالای ۱۰ میلی‌اکی‌والان بر ۱۰۰ گرم خاک بوده‌اند که این امر بیانگر توانایی بالاتر این اراضی در نگهداری مواد مغذی مورد نیاز رشد گیاه نسبت به سایر کاربری‌ها است. با توجه به رابطه مستقیم ظرفیت تبادل کاتیونی با مقادیر رس و ماده آلی خاک و بررسی نتایج مربوط به این دو شاخص در اراضی باغی، دلیل بالا بودن مقدار CEC در این اراضی به خوبی قابل توجیه است. ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های شیمیایی خاک محسوب می‌شود که نقش اساسی در تغذیه گیاه، حفظ تعادل یون‌ها و کنترل آبشویی آلاینده‌ها دارد (Tang et al., 2009). این شاخص بیانگر توانایی خاک در جذب، نگهداری و تبادل کاتیون‌ها (مانند  $Ca^{2+}$ ،  $Mg^{2+}$ ،  $K^+$  و  $NH_4^+$ ) است که برای تغذیه گیاهان حیاتی‌اند. از منظر کشاورزی، CEC عاملی کلیدی در حفظ پایداری شیمیایی خاک و ایجاد خاصیت بافری در برابر تغییرات pH به‌شمار می‌رود، به‌طوری‌که خاک‌های با CEC بالا می‌توانند مواد مغذی را بهتر ذخیره کرده و در دوره‌های کمبود، آن‌ها را تدریجاً در اختیار گیاه قرار دهند (مظفری و همکاران، ۱۳۹۹). افزون بر آن، در حوزه‌های مهندسی و زیست‌محیطی نیز از CEC به‌عنوان معیاری برای ارزیابی توانایی خاک در جذب آلاینده‌ها و کاهش خطر انتقال آن‌ها به منابع آب استفاده می‌شود. مواد آلی و رس‌های موجود در خاک، به‌دلیل دارا بودن بارهای سطحی و سطح ویژه بالا، نقشی کلیدی در افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) ایفا می‌کنند. به‌طور کلی، افزایش درصد رس و ماده آلی در خاک، موجب افزایش تعداد مکان‌های تبادل یونی و در نتیجه افزایش مقدار CEC می‌گردد (Saidian et al., 2016). در همین راستا، بیات و همکاران (۱۳۹۰) گزارش کردند که بین درصد شن و مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی رابطه‌ای منفی وجود دارد؛ به این دلیل که ذرات شن به‌واسطه سطح ویژه بسیار پایین، توان تبادل کاتیونی قابل توجهی ندارند. بنابراین، افزایش مقدار شن در خاک منجر به کاهش ظرفیت تبادل کاتیونی می‌شود. یافته‌های این پژوهش با نتایج گزارش‌شده توسط Amini و همکاران (۲۰۰۵) و Salehi و همکاران (۲۰۰۸) مطابقت دارد، و به‌طور نسبی با نتایج مطالعه حاضر نیز همخوانی نشان می‌دهد. این نتایج بر اهمیت بافت خاک و نقش اجزای کلوئیدی آن در تعیین ظرفیت نگهداری عناصر غذایی در سامانه‌های خاک تأکید دارد.



کاربری‌های مختلف در مناطق مورد بررسی

شکل ۶. مقایسه میانگین تأثیر کاربری‌های مورد مطالعه بر ظرفیت تبادل کاتیونی خاک در مناطق بررسی شده



کاربری‌های مختلف در مناطق مورد بررسی

شکل ۷. مقایسه میانگین تأثیر کاربری‌های مورد مطالعه بر درصد رس خاک در مناطق بررسی شده

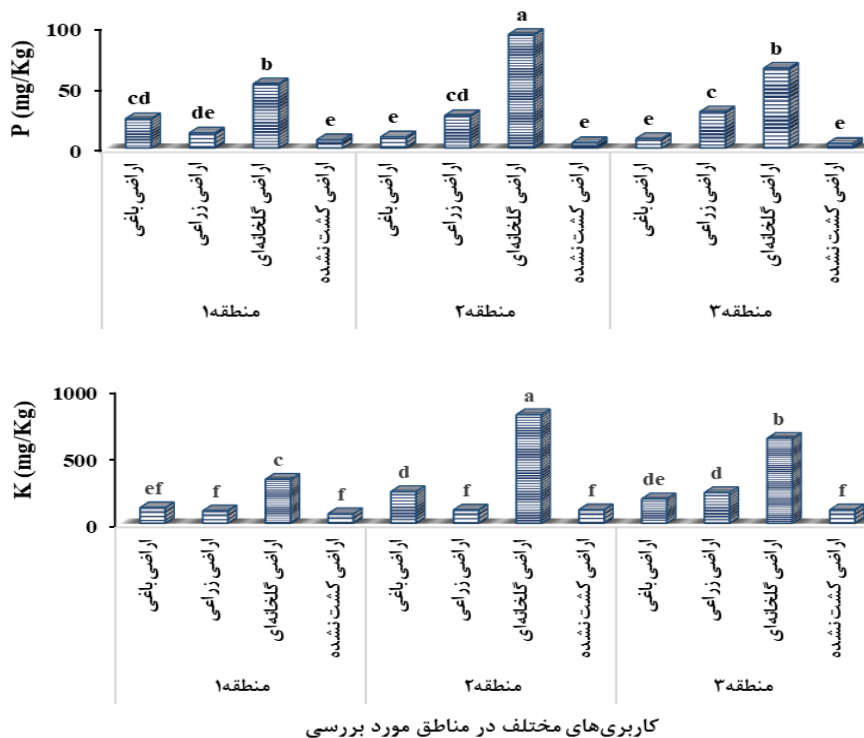
مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) به طور قابل توجهی تحت تأثیر سه پارامتر کلیدی شامل pH، درصد رس، و میزان کربن آلی خاک قرار دارد (Ćirić et al., 2023). نتایج تحلیل همبستگی نشان داد که بین CEC و این سه عامل، روابط مثبتی وجود دارد؛ به گونه‌ای که ضریب همبستگی بین CEC و درصد کربن آلی برابر با ۰/۸۲، بین CEC و درصد رس برابر با ۰/۷۶، و بین CEC و pH برابر با ۰/۳۱ محاسبه شد. اگرچه همبستگی بین CEC و pH از نظر آماری معنادار نبود، اما همبستگی آن با درصد رس و کربن آلی در سطح بالایی معنی‌دار بود. این یافته‌ها نشان می‌دهد که در خاک‌های مورد بررسی، نقش کربن آلی و بافت خاک (به‌ویژه درصد رس) در تعیین ظرفیت تبادل کاتیونی بسیار پررنگ‌تر از pH است. بر این اساس، مدل رگرسیون خطی چندگانه‌ای که از ترکیب این سه متغیر مستقل (pH، درصد رس، و درصد کربن آلی) برای پیش‌بینی CEC به‌دست آمد، توانست طبق رابطه یک ارتباط بین ویژگی‌های خاک و ظرفیت تبادل کاتیونی را به‌خوبی تبیین کند.

$$\text{CEC} = -8.21 + 0.72\text{pH} + 0.89\text{Clay}(\%) + 5.12\text{OC}(\%) \quad R^2 = 0.85 \quad \text{رابطه یک}$$

بر اساس این معادله و با در نظر گرفتن ضرایب آن، تأثیر ماده آلی در خاک‌های مورد مطالعه بر مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی بیش از دو پارامتر دیگر بوده است.

#### • مقدار فسفر و پتاسیم قابل جذب در خاک

نتایج نتایج حاصل از مقایسه میانگین اثر انواع کاربری اراضی بر مقادیر فسفر و پتاسیم قابل جذب (شکل ۸)، نشان‌دهنده افزایش معنادار این عناصر در اراضی تحت مدیریت‌های کشاورزی، به‌ویژه در کاربری‌های گلخانه‌ای و زراعی (با تناوب کشت پیاز و سیب‌زمینی)، در مقایسه با اراضی کشت‌نشده است. این افزایش عمدتاً به استفاده گسترده و مستمر از کودهای شیمیایی حاوی فسفر و پتاسیم در این سیستم‌های کشاورزی برمی‌گردد. در کاربری گلخانه‌ای، مدیریت تغذیه گیاهی اغلب به‌صورت دقیق و با مصرف کودهای مایع یا جامد غنی از فسفر و پتاسیم انجام می‌گیرد که در بلندمدت می‌تواند به تجمع این عناصر در خاک منجر شود. فسفر به‌عنوان عنصری با تحرک محدود در خاک، به‌سادگی شسته نمی‌شود و در صورت مصرف مکرر، در خاک انباشته می‌گردد (Sauvadet et al., 2016). این امر می‌تواند باعث افزایش غلظت آن در خاک اراضی گلخانه‌ای و زراعی شود، در حالی که مقادیر پایین‌تر فسفر در اراضی کشت‌نشده ناشی از عدم مصرف کودهای فسفوره است. از سوی دیگر، افزایش پتاسیم نیز می‌تواند به استفاده طولانی‌مدت از کودهای پتاسیمی در این اراضی نسبت داده شود. با وجود مزایای تغذیه‌ای این عناصر، باید توجه داشت که مصرف بی‌رویه آن‌ها می‌تواند پیامدهای منفی نیز به دنبال داشته باشد. به‌عنوان مثال، گزارش‌هایی از منطقه جیرفت حاکی از بروز مسمومیت فسفوری در برخی گلخانه‌هاست، که منجر به اختلال در جذب سایر عناصر کم‌مقدار و افزایش هزینه‌های اصلاح خاک برای کشاورزان شده است. این مسئله لزوم بازنگری در برنامه‌های تغذیه‌ای و اتخاذ مدیریت بهینه کوددهی را برجسته می‌سازد تا ضمن حفظ بهره‌وری، از تجمع مضر عناصر در خاک جلوگیری شود.



شکل ۸- مقایسه میانگین تأثیر کاربری‌های مورد مطالعه بر مقدار فسفر و پتاسیم خاک در مناطق بررسی شده

جهان تیغ و جهان تیغ (۱۳۹۸) گزارش کردند که تغییرات مقدار فسفر در اراضی تحت کاربری کشاورزی به نحوه مدیریت این اراضی، به ویژه مصرف کودهای فسفاته در لایه سطحی خاک، وابسته است؛ به طوری که افزایش مصرف این کودها، به خصوص در اراضی گلخانه‌ای، موجب تجمع و افزایش فسفر در خاک می‌شود. از سوی دیگر، با توجه به اینکه بخش اعظم فسفر خاک به صورت ترکیبی با ماده آلی تجزیه می‌شود، کاهش ماده آلی در اراضی بایر که ناشی از تخریب پوشش گیاهی است، یکی از دلایل اصلی پایین بودن مقدار فسفر خاک در این مناطق محسوب می‌شود. در مقابل، پتاسیم یکی از عناصر متحرک در خاک بوده که جذب آن توسط گیاهان سریع‌تر از فسفر صورت می‌گیرد و به دلیل سرعت بالای آبشویی، به سرعت از محدوده در دسترس گیاه خارج می‌شود (جعفری و همکاران، ۱۳۸۹). بنابراین، مقادیر بالای پتاسیم در کاربری‌های کشاورزی مورد بررسی، به ویژه در گلخانه‌ها، ناشی از مصرف سالانه این عنصر در خاک است و برخلاف فسفر، این پتاسیم تجمع یافته محسوب نمی‌شود. عواملی نظیر نبود کانون‌های غنی از پتاسیم مانند ایلیت، کمبود ماده آلی به عنوان جاذب، آبشویی و تحرک زیاد پتاسیم، نیاز شدید گیاه به این عنصر و در نتیجه جذب آن توسط گیاه، و همچنین هدررفت پتاسیم از طریق فرسایش بادی و آبی، از مهم‌ترین دلایل کمبود پتاسیم در خاک به شمار می‌روند. در مقابل، کوددهی با کودهای پتاسیم‌دار دلیل اصلی افزایش این عنصر در خاک محسوب می‌شود (مقیم‌نژاد، ۱۳۹۳). بنابراین، میزان بالای پتاسیم در خاک‌های گلخانه‌ای در تحقیق حاضر می‌تواند ناشی از مصرف این کودها باشد.

#### ۴- نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که نوع کاربری اراضی و نحوه مدیریت آن‌ها تأثیرات قابل توجهی بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک در منطقه دشت جیرفت دارد. به طور خاص، اراضی گلخانه‌ای و زراعی موجب افزایش معنی‌دار شوری خاک (EC) و غلظت برخی عناصر غذایی مانند فسفر و پتاسیم شدند که احتمالاً ناشی از مصرف مکرر و بی‌رویه کودهای شیمیایی است. از سوی دیگر، اراضی باغی به دلیل پوشش دائمی گیاه و بازگشت بقایای گیاهی، نسبت به سایر کاربری‌ها عملکرد مطلوب‌تری در حفظ یا افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) و کربن آلی خاک داشتند. این ویژگی‌ها نقشی کلیدی در حفظ ساختار خاک، نگهداری آب و عناصر غذایی ایفا می‌کنند. در مقابل، اراضی بکر یا کشت‌نشده به‌رغم پایین‌تر بودن برخی شاخص‌های حاصل‌خیزی، از ثبات اکولوژیکی بالاتری برخوردار بودند و کمترین میزان تخریب فیزیکی و شیمیایی را نشان دادند. با وجود این یافته‌ها، پژوهش حاضر با محدودیت‌هایی نیز همراه بود؛ از جمله تمرکز بر عمق سطحی خاک (۰ تا ۳۰ سانتی‌متر)، تعداد محدود مناطق نمونه‌برداری، عدم بررسی ویژگی‌های زیستی خاک (مانند جمعیت میکروبی و فعالیت آنزیمی) و نیز عوامل اقتصادی و اجتماعی مرتبط با شیوه‌های مدیریت اراضی. این محدودیت‌ها می‌تواند قابلیت تعمیم نتایج را کاهش دهد. بنابراین پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی، ابعاد یادشده نیز لحاظ شوند تا درک جامع‌تری از پویایی خاک تحت تأثیر کاربری‌ها حاصل گردد. از منظر کاربردی، این مطالعه تأکید می‌کند که برای دستیابی به مدیریت پایدار خاک، باید استراتژی‌های مشخصی در دستور کار قرار گیرد. این موارد شامل: (۱) استفاده از تناوب زراعی مناسب و پرهیز از کشت مداوم یک محصول، (۲) کاهش وابستگی به کودهای شیمیایی از طریق کاربرد کودهای آلی، کمپوست و زیستی، (۳) تقویت ماده آلی خاک از طریق مدیریت بقایای گیاهی، (۴) اصلاح الگوی آبیاری، به ویژه در اراضی گلخانه‌ای، جهت جلوگیری از تجمع نمک‌ها در خاک، و (۵) انجام پایش‌های ادواری (مثلاً هر سه تا پنج سال) برای بررسی تغییرات کیفیت خاک و اصلاح برنامه‌های مدیریتی. همچنین پیشنهاد می‌شود نهادهای مسئول، دستورالعمل‌های مشخصی برای مدیریت خاک در انواع کاربری‌ها تدوین و به بهره‌برداران ارائه دهند تا ضمن حفظ بهره‌وری، از تخریب تدریجی منابع خاک جلوگیری شود. اتخاذ چنین رویکردی می‌تواند گامی مؤثر در جهت افزایش پایداری تولیدات کشاورزی و حفاظت بلندمدت از منابع خاک در مناطق مشابه باشد.

#### منابع

- Al-Khashman, O. A. 2013. Assessment of heavy metals contamination in deposited street dusts in different urbanized areas in the city of Ma'an, Jordan. *Environmental Earth Sciences*, Vol. 70, p. 2603–2612.
- Amini, M., et al. 2005. Neural network models to predict cation exchange capacity in arid regions of Iran. *European Journal of Soil Science*, Vol. 56, p. 551–559.
- Bahrami, A., et al. 2010. Land-use change and soil degradation: A case study, North of Iran. *Agriculture and Biology Journal of North America*, Vol. 1, p. 600–605.
- Banat, K., et al. 2005. Heavy metals in urban soils of central Jordan: should we worry about their environmental risks? *Environmental Research*, Vol. 97, p. 258–273.
- Beillouin, D. et al. 2023. Land-use and land-management change outweigh climate change in affecting soil carbon. *Nature Communications*, Vol. 14, p. 3934.
- Borrelli, P., et al. 2017. An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nature Communications*, Vol. 8, p. 2013.

- Bouyoucos, G. J. 1951. A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils. *Soil Science*, Vol. unknown.
- Bowman, R., et al. 1990. Changes in soil properties in a central plains rangeland soil after 3, 20, and 60 years of cultivation. *Soil Science*, Vol. 150, p. 851–857.
- Chibsa, T. & Ta'a, A. 2009. Assessment of soil organic matter under four land use systems in Bale Highlands, Southeast Ethiopia. *World Applied Sciences Journal*, Vol. 6, p. 1231–1246.
- Ćirić, V., et al. 2023. The implication of cation exchange capacity (CEC) assessment for soil quality management and improvement. *Agriculture & Forestry*, Vol. 69.
- Don, A. et al. 2011. Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks – a meta-analysis. *Global Change Biology*, Vol. 17, p. 1658–1670.
- Geissen, V., et al. 2009. Effects of land-use change on some properties of tropical soils—an example from Southeast Mexico. *Geoderma*, Vol. 151, p. 87–97.
- Hazelton, P. & Murphy, B. 2016. *Interpreting soil test results: What do all the numbers mean?* CSIRO Publishing.
- Hollister, E. B., et al. 2010. Shifts in microbial community structure along an ecological gradient of hypersaline soils and sediments. *The ISME Journal*, Vol. 4, p. 829–838.
- Knudsen, D., et al. 1982. Lithium, sodium, and potassium. *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties*, Vol. 9, p. 225–246.
- Li, Y.-L., et al. 2010. Variability of soil carbon sequestration capability and microbial activity of different types of salt marsh soils at Chongming Dongtan. *Ecological Engineering*, Vol. 36, p. 1754–1760.
- Lupwayi, N., et al. 2004. Decomposition of crop residues under conventional and zero tillage. *Canadian Journal of Soil Science*, Vol. 84, p. 403–410.
- Manna, M. C., et al. 2007. Long-term fertilization, manure and liming effects on soil organic matter and crop yields. *Soil and Tillage Research*, Vol. 94, p. 397–409.
- Nelson, D. W. & Sommers, L. E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties*, Vol. 9, p. 539–579.
- Page, A. L. 1982. *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties.* Soil Science Society of America.
- Rumpel, C. et al. 2020. The role of soils in contributing to climate change mitigation and adaptation. *Nature Sustainability*, Vol. 3, p. 391–398.
- Saidian, M., et al. 2016. Effect of clay and organic matter on nitrogen adsorption specific surface area and cation exchange capacity in shales (mudrocks). *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, Vol. 33, p. 1095–1106.
- Salehi, M. H., et al. 2008. Developing soil cation exchange capacity pedotransfer functions using regression and neural networks and the effect of soil partitioning on the accuracy and precision of estimation. *International Meeting on Soil Fertility, Land Management and Agroclimatology*, Turkey, p. 345–356.
- Sauvadet, M., et al. 2016. Comparing the effects of litter quantity and quality on soil biota structure and functioning: Application to a cultivated soil in Northern France. *Applied Soil Ecology*, Vol. 107, p. 261–271.
- Tang, L., et al. 2009. Artificial neural network approach for predicting cation exchange capacity in soil based on physico-chemical properties. *Environmental Engineering Science*, Vol. 26, p. 137–146.
- Tellen, V. A. & Yerima, B. P. 2018. Effects of land use change on soil physicochemical properties in selected areas in the North West region of Cameroon. *Environmental Systems Research*, Vol. 7, p. 1–29.
- Walkley, A. & Black, I. A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, Vol. 37, p. 29–38.
- بوستانی، ح.، نجفی قیری، م. و محمودی، ع.، ۱۳۹۸. اثر تغییر کاربری اراضی بر شکل‌های شیمیایی پتاسیم و قابلیت استفاده برخی عناصر غذایی خاک در منطقه داراب، استان فارس. *تحقیقات کاربردی خاک*، دوره ۷، شماره ۳، ص ۱۹۱–۱۸۰.
- بیات، ح.، دواتگر، ن. و معلمی، س.، ۱۳۹۰. استفاده از سطح ویژه برای بهبود تخمین ظرفیت تبادل کاتیونی خاک از طریق شبکه‌های عصبی مصنوعی، نشریه دانش آب و خاک، دوره ۲۲، شماره ۴، ص ۱۱۹–۱۰۵.
- تقی‌زاده‌قصاب، ا.، صفادوست، آ. و مصدقی، م.، ۱۳۹۸. اثر شوری و سدیمی بودن آب آبیاری بر برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک، مدیریت آب در کشاورزی، دوره ۶، شماره ۲، ص ۱۴۴–۱۳۳.

- جعفری، م.، آذرنیوند، ح.، حاجی‌بگلو، ع. و علیزاده، ا.، ۱۳۸۹. بررسی کیفیت لاشبرگ و اندام هوایی و تأثیر آن بر خاک رویشگاه چهار گونه مرتعی (ارزیابی موردی: همد آسرد)، نشریه مرتع و آبخیزداری، دوره ۶۳ شماره ۳، ص ۳۱۸-۳۰۷.
- جهان‌تیغ، م. و جهان‌تیغ، م.، ۱۳۹۸. بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و فرسایش در مناطق خشک (مطالعه موردی: منطقه‌ی هیرمند سیستان)، پژوهش‌های فرسایش محیطی، دوره ۹، شماره ۴، ص ۱۱۸-۹۲.
- حاج‌عباسی، م. ع.، بسالت‌پور، ا. و مللی، ا. ر.، ۱۳۸۶. اثر تبدیل مراتع به اراضی کشاورزی بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های جنوب و جنوب غربی اصفهان، علوم آب و خاک، دوره ۱۱، شماره ۴۲، ص ۵۳۴-۵۲۵.
- طاعتی، ع.، سرمیدان، ف.، متقیان، ح. و موسوی، س. ر.، ۱۳۹۹. پهنه‌بندی برخی ویژگی‌های سطحی و عمقی پروفیل خاک با استفاده از تکنیک زمین‌آمار در بخشی از اراضی دشت قزوین، فصلنامه انسان و محیط زیست، دوره ۱۸، شماره ۱.
- کابلی، س. ح.، فخری، ف.، جعفری، ع. ا. و بیات، پ.، ۱۳۹۷. بررسی تغییرات برخی خصوصیات خاک در رویشگاه‌های طبیعی گیاه لگجی (*Capparis spinosa*) در استان بوشهر، نشریه علمی - پژوهشی مرتع و آبخیزداری، دوره ۷۱، شماره ۲، ص ۴۳۸-۴۳۱.
- کریمیان کیشادری، م.، کوچکی، ع. و نصیری محلاتی، م.، ۱۴۰۰. تأثیر روش‌های مدیریتی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در بوم‌نظام‌های کشاورزی استان اصفهان، بوم‌شناسی کشاورزی، دوره ۱۳، شماره ۴، ص ۵۹۲-۵۸۱.
- محمدی، ص.، ۱۳۹۵. بررسی اثر کاربری‌های مختلف اراضی بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک در منطقه جمال‌آباد شهرستان بافت، نشریه علمی - پژوهشی مرتع و آبخیزداری، دوره ۶۹ شماره ۴، ص ۱۰۷۳-۱۰۶۳.
- مظفری، ح.، موسوی، س. ع. ا. و احمدی، ف.، ۱۳۹۹. بهبود برآورد ظرفیت تبادل کاتیونی خاک با استفاده از ابعاد فرکتالی، تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۱، شماره ۱۲، ص ۳۱۰۲-۳۰۸۸.
- مقیمی‌نژاد، ف.، جعفری، م.، زارع چاهوکی، م. ع.، قاسمی‌آریان، ی. و کهندل، ا.، ۱۳۹۳. مقایسه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بین دو منطقه قرق و چراشده (مطالعه موردی: نظرآباد کرج)، تحقیقات مرتع و بیابان ایران، دوره ۲۱، شماره ۴، ص ۶۵۰-۶۴۳.
- ملک‌پور، ب.، احمدی، ت. و کاظمی‌مازندرانی، س. س.، ۱۳۹۰. تأثیر تغییر کاربری اراضی مرتعی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در کهنه لاشک کجور شهرستان نوشهر، فصلنامه علوم و فنون منابع طبیعی، دوره ۶، شماره ۳، ص ۱۲۶-۱۱۵.
- مولایی‌آرپناهی، م.، صالحی، م. ح.، کریمیان اقبال، م. و مصلح، ز.، ۱۳۹۹. تأثیر تغییر کاربری اراضی بر برخی از شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی کیفیت خاک، منطقه بازفت (استان چهارمحال و بختیاری)، آب و خاک، دوره ۳۴، شماره ۳، ص ۷۲۰-۷۰۷.
- نادریان‌فر، م.، فاریابی، ا.، کوهستانی، ش. و صفوی‌گردینی، م.، ۱۴۰۰. بررسی تغییرات نوسانات سطح آب زیرزمینی در حوضه آبریز هلیل رود جیرفت، نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، سال ۱۱، شماره ۴، ص ۱۵۹-۱۴۱.