

## The effect of land use changes on soil organic carbon and determination of the affecting soil factors in a bio-sequence (Case study: Jazink region of Sistan plain)

Farahnaz Akbari-Shahriari<sup>1</sup>, Naser Boroomand<sup>2</sup>, Ali Shahriari<sup>3</sup>,  
Ebrahim Shirmohammadi<sup>\*4</sup>, Bahman Fazeli-Nasab<sup>5</sup>

1. M.Sc. Student, Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Jiroft, Jiroft, Iran. E-mail: [akfarnaz20@gmail.com](mailto:akfarnaz20@gmail.com)
2. Associate Prof., Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran. E-mail: [nboroomand@uk.ac.ir](mailto:nboroomand@uk.ac.ir)
3. Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Faculty of Water and Soil Engineering, University of Zabol, Zabol, Iran. E-mail: [shahriari.ali@uoz.ac.ir](mailto:shahriari.ali@uoz.ac.ir)
4. Corresponding Author, Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Faculty of Water and Soil Engineering, University of Zabol, Zabol, Iran. E-mail: [eshirmohammadi@uoz.ac.ir](mailto:eshirmohammadi@uoz.ac.ir)
5. Instructor, Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Agriculture Institute, Research Institute of Zabol, Zabol, Iran. E-mail: [bfazeli@uoz.ac.ir](mailto:bfazeli@uoz.ac.ir)

---

---

### Article Info

**Article type:**  
Research Full Paper

**Article history:**  
Received: 12.11.2022  
Revised: 03.18.2023  
Accepted: 04.09.2023

**Keywords:**  
Agriculture,  
Landscape,  
Path analysis,  
Soil organic matter,  
Vegetation cover

### ABSTRACT

**Background and Objectives:** Soil organic carbon (SOC) is one of the most important components of soils that affects other characteristics of soil. SOC is also influenced by other soil characteristics. Studies showed that change in land use from pasture and forest to agriculture decreased SOC. However, this is not always true and it depends on various factors, especially the methods of organic matter management in the farm. This study was conducted with the aims of investigating the effect of changes in land use from forest and pasture to agriculture on the level of SOC and determining direct and indirect effects of soil characteristics on SOC in a bio-sequence of Sistan plain. Also, determining the direct and indirect effects of effective soil characteristics on the amount of SOC were other goals of this research.

**Materials and Methods:** The studied bio-sequence was located in Jezink region, by the Hirmand river in the northeast of the Sistan plain and in the southwest of the border of Iran and Afghanistan. In November 2016, a total of 25 soil samples (5 soil samples from each vegetation) was collected by supervised randomized manner from the depth of 0-20 cm of each of places that had dense vegetation of *Populus euphratica* and *Tamarix ramosissima* (the forest covers), of *Desmostachya bipinnata* and *Suaeda vermiculata* (the pasture covers), and the crop of *Triticum aestivum* (with 15 years old land use change). Then, 28 physical, chemical and biological characteristics of the soil including percentage of SOC were measured and calculated. Statistical analysis of data in the form of completely randomized design, comparison of average SOC data with the least significant difference test, Pearson correlation between the measured soil characteristics, and stepwise regression analysis to identify significant effective factors on the changes SOC was performed by Statistix10 software. Then, the direct and indirect effects of those characteristics on the amount of SOC was calculated by Path 2 software.

---

**Results:** Changes in the population of phosphate-solubilizing bacteria 37%, phosphate-solubilizing fungi 44%, total phosphate-solubilizing microorganisms 39%, bacteria 51%, fungi 46%, total microorganisms 51%; and also the changes in the amounts of organic carbon 39%, clay 68%, silt 71%, sand 81%, electrical conductivity (EC) 37%, sodium 56%, potassium 81%, nitrogen 67%, calcium 56% and magnesium 37% were affected by vegetation covers. The highest SOC was measured in vegetation cover of *P. euphratica* with a value of 1.24%. *P. euphratica* had organic carbon 2.21, 1.69, 1.94 and 1.86 times more than that of *T. aestivum*, *D. bipinnata*, *S. vermiculata* and *T. ramosissima*, respectively. However, there was no significant difference in organic matter between vegetation covers of *T. aestivum*, *T. ramosissima*, *D. bipinnata* and *S. vermiculata*. SOC had the strongest positive ( $r=0.63$ ) and negative ( $r= -0.60$ ) significant ( $P\leq 0.01$ ) correlation coefficients with the population of phosphate-solubilizing fungi and the sodium concentration of the soil solution, respectively. Also, based on the results of stepwise regression analysis and path analysis, the population of phosphate-solubilizing fungi and cation exchange capacity (CEC) were, respectively, the most effective positive influencing factors. The population ratio of phosphate-solubilizing microorganisms on the total microorganisms, as well as soil EC, were respectively the most effective factors negatively influenced the percentage of SOC in the study area.

**Conclusion:** In general, the most sensitive land use to changes is *P. euphratica* forest. Therefore, in order to improve soil quality and increase carbon storage in arid and semi-arid regions, in addition to maintaining and developing *P. euphratica* forest cover, it is suggested that the management and improvement of soil characteristics include: the population of phosphate-solubilizing fungi, CEC, The population ratio of phosphate-solubilizing microorganisms and EC should also be considered.

---

Cite this article: Akbari-Shahriari, Farahnaz, Boroomand, Naser, Shahriari, Ali, Shirmohammadi, Ebrahim, Fazeli-Nasab, Bahman. 2023. The effect of land use changes on soil organic carbon and determination of the affecting soil factors in a bio-sequence (Case study: Jazink region of Sistan plain). *Journal of Water and Soil Conservation*, 30 (1), 131-150.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jwsc.2023.20864.3604

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

---

## اثر تغییر کاربری زمین بر میزان کربن آلی خاک و تعیین ویژگی‌های خاکی مؤثر بر آن در یک توالی زیستی (مطالعه موردی: منطقه جزینک دشت سیستان)

فرحناز اکبری شهریاری<sup>۱</sup>، ناصر برومند<sup>۲</sup>، علی شهریاری<sup>۳</sup>، ابراهیم شیرمحمدی<sup>۴\*</sup>، بهمن فاضلی‌نسب<sup>۵</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران. رایانامه: [akfarnaz20@gmail.com](mailto:akfarnaz20@gmail.com)
۲. دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. رایانامه: [nboroomand@uk.ac.ir](mailto:nboroomand@uk.ac.ir)
۳. استادیار گروه علوم خاک، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران. رایانامه: [shahriari.ali@uoz.ac.ir](mailto:shahriari.ali@uoz.ac.ir)
۴. نویسنده مسئول، استادیار گروه علوم خاک، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران. رایانامه: [eshirmohammadi@uoz.ac.ir](mailto:eshirmohammadi@uoz.ac.ir)
۵. مربی گروه زراعت و اصلاح نباتات، پژوهشکده کشاورزی، پژوهشگاه زابل، زابل، ایران. رایانامه: [bfazeli@uoz.ac.ir](mailto:bfazeli@uoz.ac.ir)

اطلاعات مقاله	چکیده
<b>نوع مقاله:</b> مقاله کامل علمی- پژوهشی	<b>سابقه و هدف:</b> کربن آلی خاک (SOC) از مهم‌ترین اجزاء خاک‌ها است که سایر ویژگی‌های خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد و خود نیز از دیگر ویژگی‌های خاک تأثیر می‌پذیرد. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که تغییر کاربری اراضی مرتعی و جنگلی به اراضی زراعی در اغلب موارد باعث کاهش SOC می‌شود؛ ولی این موضوع همیشه صادق نیست و به عوامل مختلف به‌خصوص شیوه‌های مدیریت مواد آلی در مزرعه بستگی دارد. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی جنگلی و مرتعی دشت سیستان به اراضی کشاورزی، در یک توالی زیستی (که دارای بیش‌ترین شباهت از نظر فاکتورهای خاک‌سازی هستند) بر میزان SOC انجام شد. هم‌چنین تعیین اثرات مستقیم و غیرمستقیم ویژگی‌های مؤثر معنی‌دار خاک بر میزان SOC از اهداف دیگر این پژوهش بود.
<b>تاریخ دریافت:</b> ۰۱/۰۹/۲۰ <b>تاریخ ویرایش:</b> ۰۱/۱۲/۲۷ <b>تاریخ پذیرش:</b> ۰۲/۰۱/۲۰	
<b>واژه‌های کلیدی:</b> پوشش گیاهی، تجزیه علیت، کشاورزی، ماده آلی خاک، منظر	<b>مواد و روش‌ها:</b> توالی زیستی مورد مطالعه در منطقه جزینک، کنار رود هیرمند در شمال شرق دشت سیستان و در جنوب غربی مرز مشترک ایران و افغانستان، قرار داشت. در آبان ماه ۱۳۹۵ از عمق ۰-۲۰ سانتی متری خاک هر یک از پوشش‌های جنگلی <i>Populus euphratica</i> و <i>Tamarix ramosissima</i> مرتعی <i>Desmostachya bipinnata</i> و <i>Suaeda vermiculata</i> و هم‌چنین زراعی <i>Triticum aestivum</i> (با ۱۵ سال سابقه تغییر کاربری) و فقط از نقاطی که پوشش گیاهی متراکم داشت مجموعاً ۲۵ نمونه خاک (۵ نمونه خاک از هر یک از پوشش‌های گیاهی)، به صورت تصادفی نظارت‌شده برداشت گردید. سپس ۲۸ ویژگی فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک از جمله درصد SOC اندازه‌گیری شد. تجزیه آماری داده‌ها در قالب طرح کاملاً

تصادفی، مقایسه میانگین داده‌های SOC با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار و همبستگی پیرسون میان ویژگی‌های خاکی اندازه‌گیری گردید. تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام نیز برای شناسایی ویژگی‌های مؤثر معنی‌دار بر تغییرات SOC به وسیله نرم‌افزار Statistix10 انجام شد. سپس با تجزیه علیت اثرات مستقیم و غیرمستقیم آن ویژگی‌ها بر میزان SOC به وسیله نرم‌افزار Path 2 محاسبه گردید.

**یافته‌ها:** تغییرات در جمعیت باکتری‌های حل‌کننده فسفات ۳۷٪، قارچ‌های حل‌کننده فسفات ۴۴٪، کل میکروارگانیزم‌های حل‌کننده فسفات ۳۹٪، باکتری‌ها ۵۱٪، قارچ‌ها ۴۶٪، کل میکروارگانیزم ۵۱٪؛ و همچنین تغییرات در مقادیر کربن آلی ۳۹٪، رس ۶۸٪، سیلت ۷۱٪، شن ۸۱٪، قابلیت هدایت الکتریکی (EC) ۳۷٪، سدیم ۵۶٪، پتاسیم ۸۱٪، نیتروژن ۶۷٪، کلسیم ۵۶٪ و منیزیم ۳۷٪، متأثر از پوشش گیاهی بود. بیش‌ترین درصد SOC در پوشش گیاهی *P. euphratica* با مقدار ۱/۲۴٪ اندازه‌گیری شد؛ و نسبت به *T. aestivum* و *D. bipinnata* *S. vermiculata* و *T. ramosissima* به ترتیب ۲/۲۱، ۱/۶۹، ۱/۹۴ و ۱/۸۶ برابر درصد کربن آلی بیش‌تری داشت. البته میان پوشش‌های گیاهی *T. ramosissima* *T. aestivum* *D. bipinnata* و *S. vermiculata* از نظر این صفت تفاوت آماری معنی‌دار مشاهده نشد. درصد SOC با جمعیت قارچ‌های حل‌کننده فسفات و غلظت سدیم محلول خاک به ترتیب قوی‌ترین ضرایب همبستگی مثبت ( $r=0/63$ ) و منفی ( $r=-0/60$ ) معنی‌دار ( $P\leq 0/01$ ) را داشتند. همچنین براساس نتایج تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام و تجزیه علیت، جمعیت قارچ‌های حل‌کننده فسفات و ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) به ترتیب مؤثرترین عوامل اثرگذار مثبت؛ و نسبت جمعیت میکروارگانیزم‌های حل‌کننده فسفات بر جمعیت کل میکروارگانیزم‌ها و نیز EC خاک به ترتیب مؤثرترین عوامل اثرگذار منفی بر درصد SOC در منطقه مورد مطالعه بودند.

**نتیجه‌گیری:** به‌طورکلی حساس‌ترین کاربری به تغییرات، جنگل *P. euphratica* است. بنابراین در جهت ارتقای کیفیت خاک و افزایش ذخیره کربن در مناطق خشک و فوق خشک علاوه بر حفظ و توسعه پوشش جنگلی *P. euphratica* پیشنهاد می‌گردد که مدیریت و بهبود ویژگی‌های خاک شامل: جمعیت قارچ‌های حل‌کننده فسفات، CEC، نسبت جمعیت میکروارگانیزم‌های حل‌کننده فسفات و EC نیز مورد توجه قرار گیرد.

استناد: اکبری شهریاری، فرحناز، برومند، ناصر، شهریار، علی، شیرمحمدی، ابراهیم، فاضلی‌نسب، بهمن (۱۴۰۲). اثر تغییر کاربری زمین بر میزان کربن آلی خاک و تعیین ویژگی‌های خاکی مؤثر بر آن در یک توالی زیستی (مطالعه موردی: منطقه جزینک دشت سیستان). پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۳۰(۱)، ۱۵۰-۱۳۱.

DOI: 10.22069/jwsc.2023.20864.3604



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

## مقدمه

خاک پیچیده‌ترین و متنوع‌ترین زیست‌بوم در جهان است. خاک علاوه بر تأمین حدود ۹۹ درصد مواد غذایی بشریت، خدمات گسترده‌ای از ذخیره‌سازی کربن و تنظیم گازهای گلخانه‌ای، کاهش سیلاب و غیره به انسان‌ها ارائه می‌دهد (۱). امروزه به سبب رشد سریع جمعیت، فشارهای بی‌سابقه‌ای بر خاک‌های زراعی به‌واسطه افزایش تولید محصولات کشاورزی وارد می‌شود. علاوه بر این پوشش‌های طبیعی سطح زمین نیز در حال تخریب و تبدیل به اراضی زراعی‌اند (۱). پژوهش‌ها نشان می‌دهد که تغییر کاربری زیست‌بوم‌های طبیعی به زیست‌بوم‌های مدیریت‌شده مانند اراضی زراعی، در اغلب موارد اثرات زیانباری بر ویژگی‌های خاک دارد (۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸). تبدیل جنگل‌ها و مراتع به اراضی کشاورزی باعث تخریب یا اختلال در زیست‌بوم‌های طبیعی و کاهش ظرفیت تولید فعلی یا آینده خاک می‌گردد. این امر می‌تواند به دلیل فرسایش خاک (۲)، تخریب ساختمان و کاهش پایداری خاکدانه‌ها، تغییر بافت و فشردگی، افزایش شوری، تغییرات pH و کاهش رطوبت خاک (۳، ۴، ۵) تغییر در ویژگی‌های زیستی خاک (۶، ۷) و حاصلخیزی خاک باشد (۸). باین‌وجود مهم‌ترین ویژگی خاک که معمولاً در تبدیل اراضی مرتعی و جنگلی به کشاورزی کاهش پیدا می‌کند، کربن آلی خاک (SOC<sup>۱</sup>) است (۱، ۹، ۱۰). در حقیقت SOC بخشی از چرخه بسیار بزرگ کربن در جهان (خاک، گیاهان، اقیانوس و جو) است. تخمین زده می‌شود که ذخیره کربن تا عمق یک متری از سطح خاک‌ها حدود ۱۵۰۰-۲۴۰۰ گیگاتن کربن باشد (۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴) که به ترتیب حدوداً ۳-۱/۹ و ۳/۸-۴ برابر کربن موجود در اتمسفر و گیاهان کره زمین می‌باشد (۱۲). هم‌چنین از این مقدار کربن

ذخیره شده در خاک‌ها، حدود ۴۷۰ GtC در خاک‌های مناطق خشک (تا عمق یک متری از سطح خاک) قرار دارد (۱۵). البته منبع ذخیره‌ای کربن خاک ثابت و ساکن نیست و به‌طور مداوم میان منابع ذخیره‌ای مختلف کربن در جهان به شکل‌های مختلف در حال تبادل و جریان است (۱۶). این ماده به علت مشخصه‌های خاص خود ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و زیستی خاک را به‌طور قابل‌توجهی تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. به همین دلیل از فاکتورهای مهم در تعیین کیفیت خاک به‌شمار می‌رود (۱۷، ۱۸). یکی از نقش‌های ویژه SOC جلوگیری از فرسایش خاک است. زیرا این ماده بر بهبود ویژگی‌های فیزیکی خاک (مانند ساختمان، تخلخل و تراکم خاک) تأثیر بی‌بدیلی دارد و از این طریق فرسایش‌پذیری خاک را کاهش می‌دهد. ولی به هر دلیلی وقتی که فرسایش خاک رخ می‌دهد، به علت خروج تمام یا قسمتی از SOC خاک، کاهش حاصلخیزی و فعالیت زیستی خاک نیز به دنبال آن اتفاق می‌افتد (۱۹). علاوه بر این SOC از طرق مختلف، و معمولاً به‌صورت غیرمستقیم در کیفیت زندگی انسان تأثیر دارد. به‌عنوان مثال SOC یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در ظرفیت نگهداری آب و تخلخل خاک (۲۰، ۲۱). تغییرات جهانی آب‌وهوا (۲۲)، حاصلخیزی و باروری خاک، تنوع زیستی، ساختار جامعه میکروبی و جانوری خاک (۶، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۶)، توسعه پایدار خاک (۲۷) و غیره است. باید توجه داشت که اهمیت حفظ و نگهداری SOC در مناطق خشک و نیمه‌خشک دنیا بسیار بیش‌تر از مناطق پرباران است. زیرا به دلیل شرایط محیطی، اقتصادی و اجتماعی حاکم بر این مناطق (۱۲، ۱۸، ۲۸) به نظر می‌رسد تغییر کاربری اراضی به کاربری‌های نامتناسب در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌مراتب اثرات مخرب‌تری بر ویژگی‌های خاک مخصوصاً SOC داشته باشد. هم‌چنین ممکن است اغلب برنامه‌های

1- Soil organic carbon

معنی‌دار در تغییرات SOC را شناسایی کرد (۳۴، ۳۵). سپس با انجام تجزیه علیت می‌توان اثرات مستقیم و غیرمستقیم آن‌ها بر میزان SOC را محاسبه نمود (۳۶، ۳۷).

به دلایل ذکر شده این پژوهش با هدف بررسی تأثیر تغییر کاربری‌های اراضی مرتعی و جنگلی دشت سیستان به اراضی کشاورزی، در یک توالی زیستی (واقع در حاشیه رود هیرمند که از نظر فاکتورهای خاکسازي شباهت بسیار زیادی داشتند) بر میزان SOC انجام شد. هم‌چنین تعیین اثرات مستقیم و غیرمستقیم ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و زیستی موثر معنی‌دار خاک بر میزان SOC، از اهداف دیگر این پژوهش بود.

### مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه، دشت سیستان در جنوب شرقی ایران واقع شده و از نظر زمین‌شناسی، این دشت حاصل گسترش بلوک هلمند و تحت پوشش رسوبات دریاچه‌ای نئوژن و کواترن می‌باشد (۳۸). به‌طورکلی این منطقه دارای ویژگی‌های مانند آب و هوای خشک، بارش متوسط سالانه حدود ۵۰ میلی‌متر، رطوبت نسبی کم، میانگین دمای حداقل، متوسط و حداکثر سالانه به ترتیب ۱۴/۵، ۲۲ و ۲۹/۵ درجه سانتی‌گراد و تبخیر بالقوه تقریباً ۴۸۲۰ میلی‌متر و خشکسالی‌های مکرر می‌باشد. علاوه بر این، این منطقه دارای بادهای و طوفان‌های شن زیاد است. از معروفترین آن‌ها می‌توان به بادهای ۱۲۰ روزه سیستان که یکی از مداوم‌ترین و شدیدترین بادهای در جهان است، اشاره نمود (۳۹، ۴۰، ۴۱). هم‌چنین ضعیف بودن ساختمان خاک در این مناطق به‌خصوص در بستر خشک دریاچه هامون باعث ایجاد فرسایش بادی و گرد و غبار شدید در منطقه می‌شود (۳۹، ۴۰، ۴۱). منطقه مورد مطالعه بخشی از جزینک بود که در کنار

احیاء این اراضی نیز موفقیت‌آمیز نباشد یا در مدت‌زمان طولانی‌تری و با صرف هزینه‌های بسیار زیاد قابلیت اجرا داشته باشد. بنابراین ضروری است تا این موضوع در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور بررسی گردد. هم‌چنین برای مقایسه تغییرات SOC به‌طور هم‌زمان در پوشش‌های مختلف گیاهان مرتعی، جنگلی و کشاورزی بهتر است مکان‌هایی برای مطالعه انتخاب شوند که بیش‌ترین شباهت را از نظر فاکتورهای خاک‌سازي داشته باشند؛ که این مکان‌ها در بعضی موارد می‌تواند در یک چشم‌انداز از دشت‌ها قابل‌دسترس باشد. با این‌وجود کم‌تر مورد توجه پژوهش‌گران قرار گرفته است.

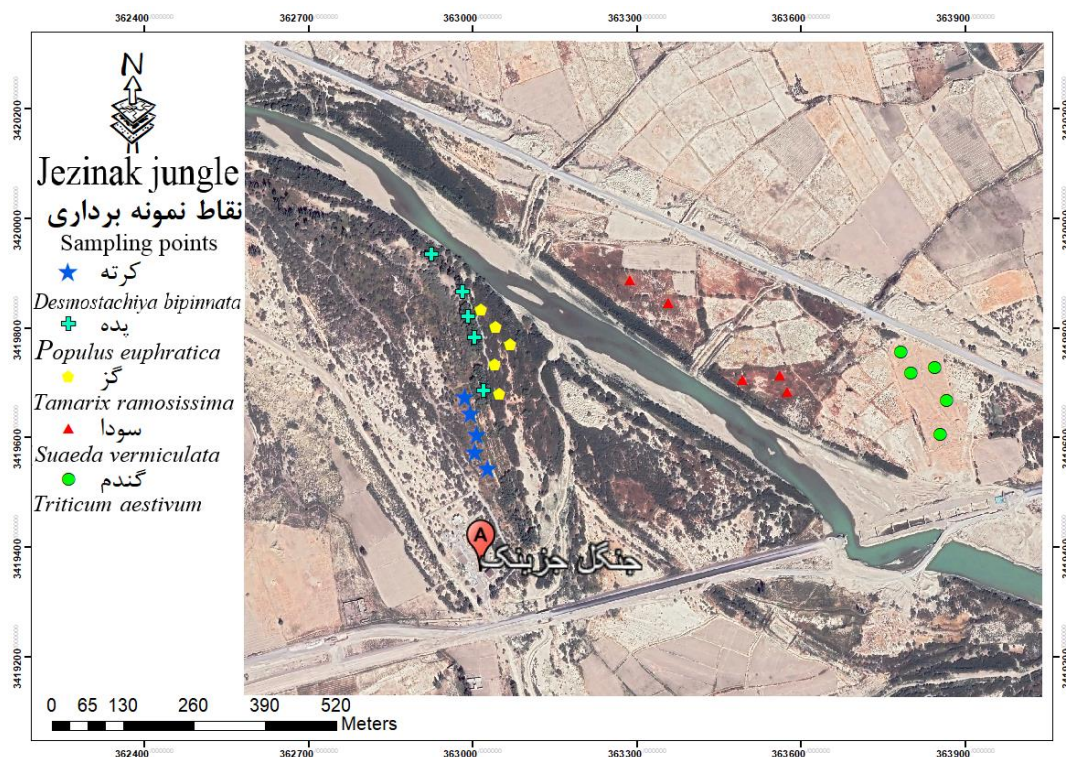
علاوه بر این باید توجه داشت که در کاربری‌های مختلف اراضی بسته به شرایط مدیریتی، ویژگی‌های خاک، توپوگرافی و آب‌وهوا، میزان SOC می‌تواند متفاوت باشد. زیرا این جزء (SOC) نیز با دیگر اجزاء زیست‌بوم خاک ارتباط دارند و از همدیگر تأثیر می‌پذیرند (۹، ۱۴، ۲۹، ۳۰). با در نظر گرفتن اهمیت SOC در کیفیت خاک و اثرات آن بر زندگی انسان‌ها؛ بررسی و شناخت روابط بین SOC و دیگر ویژگی‌های خاک اهمیت ویژه می‌یابد. زیرا با شناخت عوامل، میزان و نوع اثر هر یک از آن‌ها بر میزان SOC، می‌توان در تشخیص و مدیریت صحیح این ماده بارز خاک بهره جست. یکی از روش‌های مناسب برای تعیین و شناسایی ویژگی‌ها یا فرآیندهای مؤثر بر افزایش میزان SOC، تعیین همبستگی بین آن و دیگر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک است (۳۱، ۳۲، ۳۳). با این‌وجود، همبستگی ساده (مانند همبستگی پیرسون) نمی‌تواند مبنای قضاوت مناسب برای تعیین ماهیت ارتباط صفات خاکی با SOC باشد. در صورتی‌که با استفاده از انجام تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام، از میان تعداد زیادی صفات خاکی اندازه‌گیری و محاسبه‌شده، می‌توان ویژگی‌های مؤثر



تعداد ۵ نمونه خاک ۲ کیلوگرمی برای انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی (مجموعاً ۲۵ نمونه خاک) و نیز ۵ نمونه خاک ۲۰۰ گرمی (مجموعاً ۲۵ نمونه خاک) برای انجام آزمایش‌های زیستی، تهیه شد. لازم به ذکر است که نمونه‌های مورد استفاده برای آزمایش‌های زیستی در یخچال سیار (با دمای حدود ۴ درجه سانتی‌گراد) به آزمایشگاه منتقل شدند. هم‌چنین طبق اظهارات افراد محلی تغییر کاربری اراضی طبیعی به کشاورزی (کشت گندم) در سال ۱۳۸۰ صورت گرفته است.

رود هیرمند در شمال شرق دشت سیستان و در جنوب غربی مرز مشترک ایران و افغانستان قرار داشت (شکل ۱).

به‌منظور بررسی تغییرات ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک‌ها در کاربری‌های مختلف اراضی (در یک توالی زیستی) تنها از نقاط متراکم هر یک از پنج پوشش گیاهی با کاربری‌های جنگلی مرتعی *Tamarix ramosissima* و *Populus euphratica Suaeda* و *Desmostachya bipinnata* و هم‌چنین زراعی *Triticum aestivum* و *vermiculata* در آبان ماه ۱۳۹۵ از عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری خاک



شکل ۱- عکس هوایی منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری (سیستم تصویر WGS1984 و سیستم مختصات UTM زون ۴۱ شمالی).

Figure 1. Aerial photograph of the study area and sampling points (WGS1984 UTM Zone 41N).

خاک، قابلیت هدایت الکتریکی، ظرفیت تبادل کاتیونی، کربنات کلسیم معادل، کربن آلی کل، نیتروژن کل، فسفر قابل‌دسترس، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و

پس از عبور نمونه‌های خاک از الک ۲ میلی‌متری، بر اساس روش‌های استاندارد ویژگی‌هایی از خاک شامل: درصد ذرات شن، سیلت و رس (۴۲)؛ واکنش

شیمیایی و زیستی خاک، ویژگی‌های مؤثر معنی‌دار در تغییرات SOC شناسایی و انتخاب شدند. سپس با انجام تجزیه علیت<sup>۲</sup> اثرات مستقیم و غیرمستقیم آن ویژگی‌ها بر میزان SOC محاسبه گردید (۳۶، ۳۷).

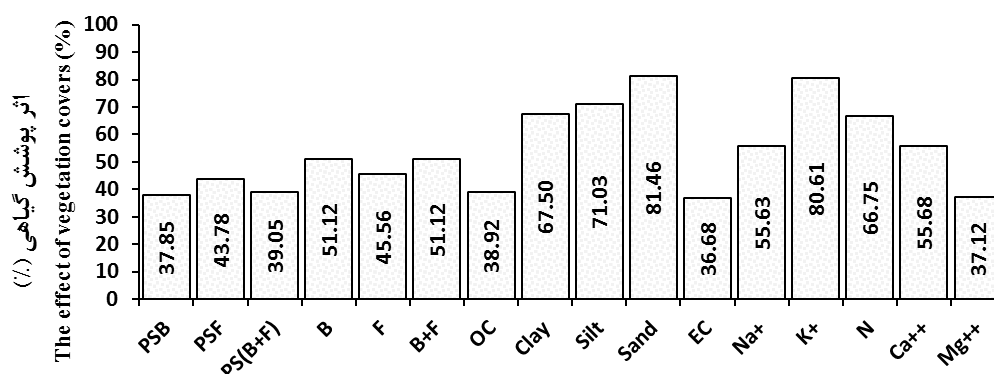
### نتایج و بحث

برای بیان تأثیر پوشش گیاهی بر تغییرات ویژگی‌های خاک می‌توان گفت تغییرات در جمعیت باکتری‌های حل‌کننده فسفات ۳۷٪، قارچ‌های حل‌کننده فسفات ۴۴٪، کل میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات ۳۹٪، باکتری‌ها ۵۱٪، قارچ‌ها ۴۶٪، کل میکروارگانیسم‌ها ۵۱٪ و همچنین تغییرات در مقادیر کربن آلی ۳۹٪، رس ۶۸٪، سیلت ۷۱٪، شن ۸۱٪، EC ۳۷٪، سدیم ۵۶٪، پتاسیم ۸۱٪، نیتروژن ۶۷٪، کلسیم ۵۶٪ و منیزیم ۳۷٪، متأثر از پوشش گیاهی بودند (شکل ۲). پژوهش‌های متعددی (۱، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۱۰) بیانگر این موضوع است که ریشه گیاهان با اثرات فیزیکی و مخصوصاً ترشحات خود باعث تغییر در ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک‌ها می‌گردند. البته در شرایط مکانی و محیطی مختلف تأثیر هر یک از پوشش‌های گیاهی بر تغییرات صفات خاکی معمولاً متفاوت است.

سدیم محلول (۴۳)؛ جمعیت باکتری‌ها (B)، جمعیت قارچ‌ها (F)، جمعیت باکتری‌های حل‌کننده فسفات (PSB)، جمعیت قارچ‌های حل‌کننده فسفات (PSF) اندازه‌گیری شد (۴۴، ۴۵، ۴۶). سپس جمعیت کل میکروارگانیسم‌ها (مجموع جمعیت باکتری‌ها و قارچ‌ها (B+F))، جمعیت میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات (مجموع جمعیت حل‌کننده فسفات باکتریایی و قارچی (PS (B+F)) محاسبه شد. در ادامه نیز نسبت‌های جمعیتی قارچ‌ها بر باکتری‌ها (F/B)، باکتری‌ها بر قارچ‌ها (B/F)، باکتری‌ها بر کل میکروارگانیسم‌ها (B/(B+F))، قارچ‌ها بر کل میکروارگانیسم‌ها (F/(B+F))، حل‌کننده‌های فسفات قارچی بر حل‌کننده‌های فسفات باکتریایی (PSF/PSB)، باکتری‌های حل‌کننده فسفات بر باکتری (PSB/B)، باکتری‌های حل‌کننده فسفات بر کل میکروارگانیسم‌ها (PSB/(B+F))، قارچ‌های حل‌کننده فسفات بر قارچ (PSF/F)، قارچ‌های حل‌کننده فسفات بر کل میکروارگانیسم‌ها (PSF/(B+F))، کل میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات بر کل میکروارگانیسم‌ها (PS(B+F)/(B+F))، محاسبه گردید.

تجزیه آماری داده‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۵ تیمار (نوع پوشش گیاهی) و پنج تکرار به وسیله نرم‌افزار Statistix10 انجام شد. سپس تأثیر پوشش گیاهی بر تغییرات هر یک از ویژگی‌های معنی‌دار خاک (براساس جدول تجزیه واریانس)، محاسبه شد. مقایسه میانگین داده‌های SOC نیز با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام گردید. همچنین همبستگی پیرسون میان SOC و دیگر صفات خاک محاسبه شد. با انجام تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام<sup>۱</sup> نیز از میان صفات فیزیکی،





شکل ۲- تأثیر پوشش گیاهی بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک.

Figure 2. The effect of vegetation covers on the physical, chemical and biological characteristics of the soil.

در اراضی زراعی نسبت به اراضی جنگلی شوند (۲۹، ۴۷، ۴۸). با توجه به نتایج پژوهش حاضر نیز می‌توان گفت که مدیریت اراضی زراعی گندم در مدت زمان تغییر کاربری از نظر این صفت به صورت قابل قبولی بوده است. چون تراز عوامل تأثیرگذار بر SOC به گونه‌ای بوده که مانع از کاهش معنی‌دار SOC شده است. تخمین زده می‌شود که حدود ۷۰ درصد از ذخایر کربن در زیست بوم‌های خاکی متعلق به رویشگاه‌های جنگلی است (۴۹). بنابراین از نظر SOC، برتری پوشش جنگلی *P. euphratica*، نسبت به پوشش‌های زراعی (*T. aestivum*)، مرتعی (*S. vermiculata* و *D. bipinnata*) منطقی است. دلیل برتری پوشش جنگلی *P. euphratica* از نظر این صفت، نسبت به دیگر پوشش‌های گیاهی و حتی نسبت به پوشش جنگلی *T. ramosissima* را شاید در کالبدشناسی و فیزیولوژی این گیاه بتوان یافت. زیرا *P. euphratica* جزء درختان متوسط سایز خزان‌کننده با تاج پوشش بزرگ است که مقاومت بالایی به تنش‌های دمایی، خشکی، شوری و قلیائیت دارد. به طوری که این گیاه می‌تواند در شرایط تششی نشاط و سرزندگی خود را حفظ کند و فعالیت فتوسنتزی خود را ادامه دهد (۵۰، ۵۱). این در حالی

برای بیان تأثیر پوشش گیاهی بر کربن آلی خاک تجزیه واریانس داده‌ها انجام گرفت که نشان داد که تأثیر پوشش‌های مختلف گیاهی بر میزان SOC در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است (جدول ۱). بیش‌ترین درصد SOC در پوشش‌های گیاهی *P. euphratica* با ۱/۲۴ درصد وجود داشت و نسبت به *T. aestivum*، *D. bipinnata* و *S. vermiculata* به ترتیب ۲/۲۱، ۱/۶۹، ۱/۹۴ و ۱/۸۶ برابر درصد کربن آلی بیش‌تری داشت. البته میان پوشش‌های گیاهی *T. aestivum*، *T. ramosissima*، *D. bipinnata* و *S. vermiculata* از نظر این صفت تفاوت آماری معنی‌دار مشاهده نشد (شکل ۳). پژوهش‌ها نشان می‌دهد که تبدیل اراضی مرتعی و جنگلی به اراضی زراعی غالباً باعث کاهش ذخیره SOC می‌شود (۱، ۹، ۱۰، ۴۷). ولی این موضوع همیشه صادق نیست و به عوامل زیادی از جمله مدیریت کشت و کار بستگی دارد. به‌عنوان مثال افزایش سطح سبز اراضی، کاهش عملیات کشت و کار، برگرداندن بقایای گیاهان زراعی به خاک، استفاده از کودهای آلی و شیمیایی در جهت افزایش حاصلخیزی خاک از مواردی هستند که حتی می‌تواند باعث افزایش SOC

SOC می‌شوند. علاوه بر این *P. euphratica* به علت شرایط و ویژگی‌های منحصر به فرد خود در مناطق بیابانی جلب‌کننده بسیاری از پرندگان و حیوانات وحشی برای لانه‌سازی و استراحت آن‌هاست. بنابراین فضولات آن‌ها نیز به مرور زمان با خاک مخلوط شده و در نهایت باعث افزایش SOC می‌شوند.

است که حدود ۲۰ درصد از کربن تثبیت شده طی فرایند فتوسنتز از طریق ترشحات ریشه‌ای گیاهان به خاک اضافه می‌شود (۵۲). بنابراین این گیاه به طور مستقیم از طریق ریزش شاخ و برگ به پای درختان و هم‌چنین افزودن مقدار قابل‌توجهی از مواد فتوسنتزی به صورت ترشحات ریشه‌ای به خاک، باعث افزایش

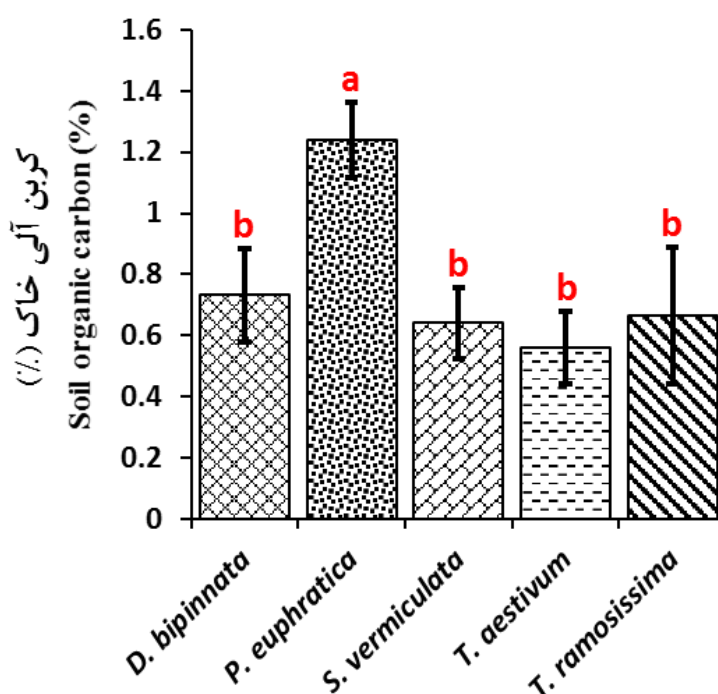
جدول ۱- تجزیه واریانس تأثیر پوشش‌های مختلف گیاهی بر میزان کربن آلی خاک.

**Table 1. ANOVA of the effect of different vegetations cover on soil organic carbon content.**

میانگین مربعات کربن آلی خاک Mean square (MS) of soil organic carbon	درجه آزادی Degrees of freedom (df)	منبع Source
5.84*	4	پوشش‌های گیاهی Vegetations Cover
1.87	20	خطا Error
1.32	ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of Variation (CV) %	

\* معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد ( $P \leq 0.05$ )

\* Significant at  $P \leq 0.05$



شکل ۳- تأثیر پوشش گیاهی بر درصد کربن آلی خاک.

**Figure 3. The effect of vegetation covers on soil organic carbon percentage.**

دلگن و همکاران (۲۰۱۷) نیز نشان می‌دهد که SOC و نیتروژن کل خاک به‌طور معنی‌داری با بسیاری دیگر از شاخص‌های کیفیت خاک ارتباط دارد (۳). با در نظر گرفتن CEC بالا در مواد آلی، افزایش آن در خاک‌ها باعث افزایش CEC کل خاک و افزایش جذب و نگهداری کاتیون‌های محلول در سطوح تبادل آن می‌گردد (۵۳) که در نهایت منجر به کاهش کاتیون‌های محلول خاک از جمله سدیم خواهد شد. همچنین مواد آلی خاک به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ذخیره‌گاه‌های نیتروژن در خاک سطحی شناخته می‌شود (۵۴). علاوه بر این جمعیت غالب میکروارگانیسم‌های خاک را هتروتروف‌ها تشکیل می‌دهند که از مواد آلی خاک به‌عنوان منبع کربن و انرژی استفاده می‌کنند. بنابراین منطقی به نظر می‌رسد که افزایش مواد آلی با افزایش جمعیت باکتریایی و قارچی و همچنین میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات همبستگی مثبت و معنی‌دار داشته باشد که نتایج پژوهش ویکرام و همکاران (۲۰۰۷) بیانگر این موضوع است (۵۵).

بر اساس جدول ۲، درصد SOC با هر یک از صفات شامل: جمعیت قارچ‌های حل‌کننده فسفات، CEC، جمعیت میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات، جمعیت باکتری‌های حل‌کننده فسفات، جمعیت قارچ‌ها، جمعیت قارچ‌های حل‌کننده فسفات بر کل میکروارگانیسم‌ها، نیتروژن کل، جمعیت قارچ‌ها بر باکتری‌ها، جمعیت قارچ‌ها بر کل میکروارگانیسم‌ها و نیز جمعیت باکتری‌ها بر کل میکروارگانیسم‌ها، همبستگی مثبت و معنی‌داری (به ترتیب از قوی‌ترین به ضعیف‌ترین) داشت. البته میان درصد SOC با سدیم محلول خاک همبستگی منفی و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. با توجه به نتایج همبستگی پیرسون افزایش مواد آلی خاک باعث کاهش میزان سدیم محلول خاک و همچنین افزایش CEC، نیتروژن کل، جمعیت کل باکتری‌ها، قارچ‌ها و کل میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات می‌شود. البته برعکس این موارد یعنی تغییرات در این صفات می‌تواند درصد SOC را نیز تغییر دهد. پژوهش‌های

جدول ۲- همبستگی (پیرسون) میان صفات فیزیکی، شیمیایی، زیستی و کربن آلی خاک.

Table 2. Correlation (Pearson) between physical, chemical, biological characteristics and soil organic carbon.

	PSB	PSF	PS(B+F)	B	F	B+F	PSB/B	PSB/(B+F)	PSF/F	PSF/(B+F)	PS/(B+F)/(B+F)	PSF/PSB	F/B	F/(B+F)	B/(B+F)	B/F	CCE	CEC	Clay	Silt	Sand	EC	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	P	N	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	pH
OC	0.48*	0.63**	0.51**	0.38 <sup>ns</sup>	0.48*	0.38 <sup>ns</sup>	0.30 <sup>ns</sup>	0.30 <sup>ns</sup>	0.14 <sup>ns</sup>	0.47*	0.35 <sup>ns</sup>	0.18 <sup>ns</sup>	0.43*	0.45*	-0.43*	-0.08 <sup>ns</sup>	0.34 <sup>ns</sup>	0.53**	0.33 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>	-0.16 <sup>ns</sup>	-0.29 <sup>ns</sup>	-0.60**	-0.02 <sup>ns</sup>	0.34 <sup>ns</sup>	0.46*	-0.31 <sup>ns</sup>	-0.29 <sup>ns</sup>	-0.06 <sup>ns</sup>

<sup>ns</sup>، \* و \*\* به ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج (P ≤ ۰/۰۵) و یک درصد (P ≤ ۰/۰۱)

<sup>ns</sup>، \* and \*\* Non-significant, Significant at P ≤ 0.05 and P ≤ 0.01 respectively

جمعیت کل میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات بر کل میکروارگانیسم‌ها و EC است (جدول ۳). بنابراین چهار صفت مذکور جزء صفات اولیه خاکی مؤثر بر تغییرات SOC به حساب می‌آیند. با توجه به

برای انتخاب صفات مؤثر بر تغییرات کربن آلی خاک بر اساس تجزیه رگرسیون گام به گام ۷۲/۲ درصد از تغییرات SOC مربوط به اثر صفات: جمعیت قارچ‌های حل‌کننده فسفات، CEC، نسبت

مجموع تغییرات CEC، ۳۳/۳ درصد مربوط به اثر نیتروژن کل خاک است (جدول ۵). تغییرات نسبت جمعیت میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات بر کل میکروارگانیسم‌ها نیز ۱۰۰ درصد متأثر از نسبت‌های جمعیتی قارچ‌های حل‌کننده فسفات بر کل میکروارگانیسم‌ها؛ و باکتری‌های حل‌کننده فسفات بر کل میکروارگانیسم‌ها است (جدول ۶). ۶۵/۲ درصد از تغییرات EC نیز متأثر از غلظت‌های منیزیم و پتاسیم خاک می‌باشد (جدول ۷).

اهمیت این چهار صفت در تغییرات SOC تجزیه رگرسیون گام به گام برای هر یک از صفات جمعیت قارچ‌های حل‌کننده فسفات، CEC، نسبت جمعیت میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات بر کل میکروارگانیسم‌ها و EC نیز انجام شد. بدین ترتیب عوامل ثانویه خاکی مؤثر بر تغییرات SOC تعیین شد. بر این اساس ۹۴/۹ درصد از تغییرات جمعیت قارچ‌های حل‌کننده فسفات، مربوط به اثر صفات جمعیت کل میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات، و باکتری‌های حل‌کننده فسفات است (جدول ۴).

جدول ۳- رگرسیون خطی گام به گام برای درصد کربن آلی خاک.

**Table 3. Stepwise linear regression for organic carbon percentage.**

ضریب تبیین رگرسیون R <sup>2</sup> regression	میانگین مربعات رگرسیون Mean square regression	ضرایب بتای استاندارد شده Standardized coefficients of beta				مدل‌ها Models
		EC	PS(B+F)/(B+F)	CEC	PSF	
0.401	1.514**	-	-	-	0.633**	Model 1
0.535	1.011**	-	-	0.382*	0.525**	Model 2
0.632	0.796**	-	-0.496*	0.466**	0.879**	Model 3
0.722	0.682**	-0.339*	-0.646**	0.567**	0.863**	Model 4

\* و \*\* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج (P ≤ ۰/۰۵) و یک درصد (P ≤ ۰/۰۱)

\* and \*\* Significant at P ≤ 0.05 and P ≤ 0.01 respectively

جدول ۴- رگرسیون خطی گام به گام برای جمعیت قارچ‌های حل‌کننده فسفات.

**Table 4. Stepwise linear regression for population of phosphate solubilizing fungi.**

ضریب تبیین رگرسیون R <sup>2</sup> regression	میانگین مربعات رگرسیون Mean square regression	ضرایب بتای استاندارد شده Standardized coefficients of beta		مدل‌ها Models
		PSB	PS(B+F)	
0.777	8.332**	-	0.882**	Model 1
0.949	5.087**	-5.578*	6.445**	Model 2

\* و \*\* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج (P ≤ ۰/۰۵) و یک درصد (P ≤ ۰/۰۱)

\* and \*\* Significant at P ≤ 0.05 and P ≤ 0.01 respectively

جدول ۵- رگرسیون خطی گام به گام برای ظرفیت تبادل کاتیونی.

**Table 5. Stepwise linear regression for cation exchangeable capacity.**

مدل‌ها Models	ضرایب بتای استاندارد شده Standardized coefficients of beta	میانگین مربعات رگرسیون Mean square regression	ضریب تبیین رگرسیون R <sup>2</sup> regression
Model 1	0.577**	21.200**	0.333

\*\* معنی دار در سطح احتمال یک درصد ( $P \leq 0.01$ )

\*\* Significant at  $P \leq 0.01$

جدول ۶- رگرسیون خطی گام به گام برای نسبت جمعیت کل میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات بر جمعیت کل میکروارگانیسم‌ها.

**Table 6. Stepwise linear regression for population ratio of phosphate solubilizing microorganisms on population of total microorganisms.**

مدل‌ها Models	ضرایب بتای استاندارد شده Standardized coefficients of beta		میانگین مربعات رگرسیون Mean square regression	ضریب تبیین رگرسیون R <sup>2</sup> regression
	PSF/(B+F)	PSB/(B+F)		
Model 1	-	0.991**	2.746**	0.982
Model 2	0.156**	0.910**	1.398**	1.000

\*\* معنی دار در سطح احتمال یک درصد ( $P \leq 0.01$ )

\*\* Significant at  $P \leq 0.01$

جدول ۷- رگرسیون خطی گام به گام برای قابلیت هدایت الکتریکی.

**Table 7. Stepwise linear regression for electrical conductivity.**

مدل‌ها Models	ضرایب بتای استاندارد شده Standardized coefficients of beta		میانگین مربعات رگرسیون Mean square regression	ضریب تبیین رگرسیون R <sup>2</sup> regression
	K	Mg		
Model 1	-	0.729**	1614.374**	0.532
Model 2	0.347*	0.710**	989.662**	0.652

\* و \*\* به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج ( $P \leq 0.05$ ) و یک درصد ( $P \leq 0.01$ )

\* and \*\* Significant at  $P \leq 0.05$  and  $P \leq 0.01$  respectively

غیرمستقیم آن از طریق جمعیت قارچ‌های حل‌کننده فسفات، نسبت جمعیت میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات بر کل میکروارگانیسم‌ها و EC به ترتیب ۰/۲۳۷، ۰/۲۳۳- و ۰/۰۴۱- بود که مجموعاً باعث ایجاد همبستگی ۵۲/۹ درصدی بین CEC و SOC شد. اثر مستقیم نسبت جمعیت میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات بر کل میکروارگانیسم‌ها، ۰/۶۲۹- و

تجزیه علیت: اثر مستقیم قارچ‌های حل‌کننده فسفات ۰/۸۴۸ و اثرات غیرمستقیم آن از طریق CEC، نسبت جمعیت میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات بر کل میکروارگانیسم‌ها، و EC به ترتیب ۰/۱۵۸، ۰/۴۷۸- و ۰/۱۰۰ بود که مجموعاً باعث ایجاد همبستگی ۶۲/۹ درصدی بین جمعیت قارچ‌های حل‌کننده فسفات و SOC شد. اثر مستقیم CEC ۰/۵۶۵ و اثرات

فقط همبستگی نیتروژن با CEC قابل محاسبه شد؛ که برابر با ۵۷/۷ درصد بود (شکل ۵).

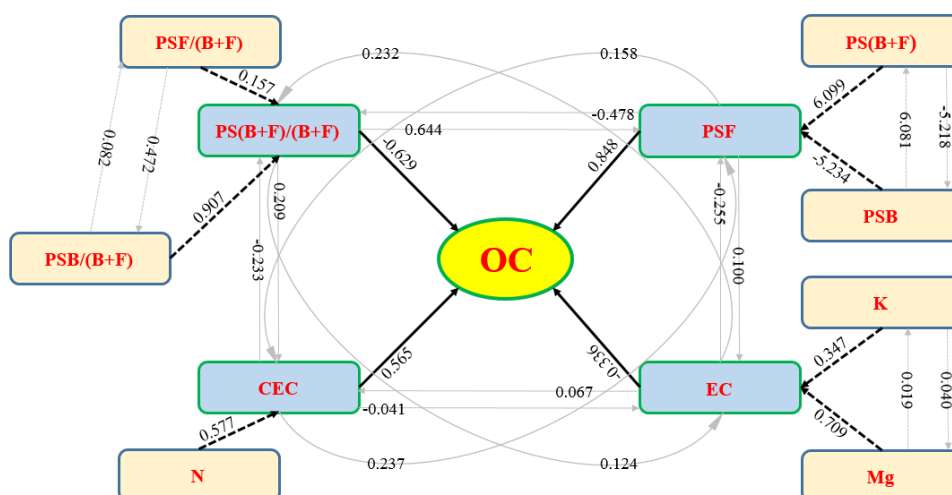
نسبت جمعیت میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات بر کل میکروارگانیسم‌ها: اثر مستقیم نسبت جمعیت باکتری‌های حل‌کننده فسفات بر کل میکروارگانیسم‌ها، ۰/۹۰۷ و اثرات غیرمستقیم آن از طریق نسبت جمعیتی قارچ‌های حل‌کننده فسفات بر کل میکروارگانیسم‌ها، ۰/۰۸۲ بود که مجموعاً باعث ایجاد همبستگی ۹۹ درصدی بین جمعیت باکتری‌های حل‌کننده فسفات بر کل میکروارگانیسم‌ها؛ و جمعیت میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات بر کل میکروارگانیسم‌های خاک شد. همچنین اثر مستقیم نسبت جمعیت قارچ‌های حل‌کننده فسفات بر کل میکروارگانیسم‌ها، ۰/۱۵۷ و اثر غیرمستقیم آن از طریق نسبت جمعیت باکتری‌های حل‌کننده فسفات بر کل میکروارگانیسم‌ها، ۰/۴۷۲ بود که مجموعاً باعث ایجاد همبستگی ۶۲/۹ درصدی بین قارچ‌های حل‌کننده فسفات بر کل میکروارگانیسم‌ها؛ و نسبت جمعیت میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات بر کل میکروارگانیسم‌های خاک شد. اثرات باقی‌مانده هم برابر ۰/۰۴۱ بود (شکل ۵).

اثر مستقیم منیزیم، ۰/۷۰۹ و اثرات غیرمستقیم آن از طریق پتاسیم، ۰/۰۱۹ بود که مجموعاً باعث ایجاد همبستگی ۷۲/۸ درصدی بین منیزیم و EC خاک شد. همچنین اثر مستقیم پتاسیم، ۰/۳۴۷ و اثر غیرمستقیم آن از طریق منیزیم، ۰/۰۴۰ بود که مجموعاً باعث ایجاد همبستگی ۰/۳۸۸ درصدی بین پتاسیم و EC خاک شد. اثرات باقی‌مانده هم برابر ۰/۵۹۰ بود (شکل ۵).

اثرات غیرمستقیم آن از طریق جمعیت قارچ‌های حل‌کننده فسفات، CEC و EC به ترتیب ۰/۶۴۴، ۰/۲۰۹ و ۰/۱۲۴ بود که مجموعاً باعث ایجاد همبستگی ۳۴/۹ درصدی بین نسبت جمعیت میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات بر کل میکروارگانیسم‌ها و SOC شد. اثر مستقیم EC، ۰/۳۳۶- و اثرات غیرمستقیم آن از طریق جمعیت قارچ‌های حل‌کننده فسفات، CEC و جمعیت میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات بر کل میکروارگانیسم‌ها به ترتیب ۰/۲۵۵-، ۰/۰۶۷ و ۰/۲۳۲ بود که مجموعاً باعث ایجاد همبستگی ۲۹- درصدی بین EC و SOC شد. اثرات باقیمانده هم برابر ۰/۵۳۷ بود (شکل ۵).

اثر مستقیم جمعیت میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات، ۶/۰۹۹ و اثرات غیرمستقیم آن از طریق جمعیت باکتری‌های حل‌کننده فسفات، ۵/۲۱۸- بود که مجموعاً باعث ایجاد همبستگی ۸۸/۲ درصدی بین جمعیت میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات و جمعیت قارچ‌های حل‌کننده فسفات خاک شد. همچنین اثر مستقیم جمعیت باکتری‌های حل‌کننده فسفات، ۵/۲۳۴- و اثرات غیرمستقیم آن از طریق جمعیت کل میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات، ۶/۰۸۱ بود که مجموعاً باعث ایجاد همبستگی ۸۴/۷ درصدی بین جمعیت باکتری‌های حل‌کننده فسفات و جمعیت قارچ‌های حل‌کننده فسفات خاک شد. اثرات باقی‌مانده هم برابر ۰/۲۴ بود (شکل ۵).

چون بر اساس روش رگرسیون گام به گام فقط اثر نیتروژن بر تغییرات CEC معنی‌دار گردید. بنابراین



شکل ۴- تجزیه علیت صفات اولیه و ثانویه موثر بر کربن آلی خاک.

Figure 4. Path analysis of primary and secondary effective characteristics on soil organic carbon.

حاصلخیزی خاک است (۶۰) که افزایش آن می‌تواند زمینه‌ساز افزایش تولید مواد آلی توسط پوشش‌های مختلف گیاهی و نهایتاً ورود آن‌ها به خاک باشد. علاوه بر این افزایش EC (شوری) نیز از طریق تنش‌های اسمزی و یونی باعث کاهش رشد و فعالیت گیاهان می‌شوند (۶۱). به‌طور کلی می‌توان گفت که افزایش CEC، جمعیت و فعالیت قارچ‌های حل‌کننده فسفات و هم‌چنین کاهش شوری خاک از طریق بهبود رشد و نمو گیاهان و افزایش ترشح مواد آلی از ریشه و نیز اضافه کردن بقایای آلی خود به خاک باعث افزایش مواد آلی خاک می‌شوند.

### نتیجه‌گیری کلی

تنها تغییر کاربری اراضی جنگلی *P. euphratica* به کاربری زراعی با پوشش گیاه *T. aestivum* باعث کاهش معنی‌دار درصد کربن آلی خاک شد. بر این اساس حساس‌ترین کاربری نسبت به تغییرات، جنگل *P. euphratica* است. هم‌چنین ویژگی‌های جمعیت قارچ‌های حل‌کننده فسفات و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک به ترتیب مؤثرترین عوامل تأثیرگذار مثبت و نسبت میکروارگانیزم‌های حل‌کننده فسفات بر

بر اساس نتایج تجزیه علیت، جمعیت قارچ‌های حل‌کننده فسفات و CEC به ترتیب مؤثرترین عوامل تأثیرگذار مثبت و نسبت جمعیت میکروارگانیزم‌های حل‌کننده فسفات بر جمعیت کل میکروارگانیزم‌ها و نیز EC خاک به ترتیب مؤثرترین ویژگی‌های تأثیرگذار منفی بر میزان SOC بودند. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که میکروارگانیزم‌های حل‌کننده فسفات علاوه بر فراهمی عناصر غذایی مختلف مخصوصاً فسفر، می‌توانند با تولید هورمون‌های محرک رشد گیاهان، کاهش اثرات مضر آفت‌کش‌ها بر گیاهان، کنترل عوامل بیماری‌زای گیاهی، جلوگیری از افزایش اتیلن تنشی و کمک به افزایش تولید آنتی‌اکسیدان‌ها در گیاهان، رشد گیاهان را بهبود بخشند (۵۶). در این میان نیز قارچ‌های حل‌کننده فسفات از نظر برخی از این ویژگی‌ها مخصوصاً از نظر حل‌کنندگی فسفات نسبت به باکتری‌های حل‌کننده فسفات برتری دارند (۵۷، ۵۸). البته همیشه و در همه شرایط این میکروارگانیزم‌ها اثرات مثبت بر رشد گیاهان و خاک ندارند که پژوهش‌های دلفیم و همکاران (۲۰۱۸) بیانگر این موضوع است (۵۹). ظرفیت تبادل کاتیونی نیز یکی از مهم‌ترین صفات مؤثر و مرتبط با افزایش



### تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

### مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: نمونه‌برداری، آنالیز آزمایشگاهی و آماده‌سازی داده‌ها؛ نویسنده دوم: طرح تحقیق و نظارت تحقیق، تحلیل و تفسیر نتایج و نگارش مقاله؛ نویسنده سوم: طرح تحقیق و نظارت تحقیق، تحلیل و تفسیر نتایج و نگارش مقاله؛ نویسنده چهارم: آماده‌سازی داده‌ها، آنالیز داده‌ها، تحلیل و تفسیر نتایج و نگارش مقاله، بازبینی مقاله؛ نویسنده پنجم: مشارکت در طرح و روش تحقیق، تحلیل و تفسیر نتایج و نگارش مقاله.

### اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر عملی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنها می‌باشد.

### حمایت مالی

حمایت مالی از این پژوهش از طرف دانشگاه جیرفت و دانشگاه زابل صورت پذیرفت.

جمعیت کل میکروارگانیسم‌ها و قابلیت هدایت الکتریکی خاک به ترتیب مؤثرترین عوامل تأثیرگذار منفی بر درصد کربن آلی خاک در منطقه جزینک دشت سیستان بودند. بنابراین در جهت ارتقای کیفیت خاک و افزایش ذخیره کربن در این مناطق (خاک‌های مناطق خشک و فوق خشک) علاوه بر حفظ و توسعه پوشش جنگلی *P. euphratica*؛ پیشنهاد می‌گردد که مدیریت و بهبود ویژگی‌های جمعیت و نسبت میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات، ظرفیت تبادل کاتیونی و قابلیت هدایت الکتریکی خاک‌ها بیش‌تر مورد توجه قرار گیرد.

### تقدیر و تشکر

بدین وسیله از حمایت‌های مالی معاونت محترم پژوهش و فن‌آوری دانشگاه زابل در انجام بخشی از این پژوهش با منبع گرنت پژوهشی به شماره‌های IR-UOZ-GR-2742 و IR-UOZ-GR-0605 سپاسگزاری می‌گردد.

### داده‌ها و اطلاعات

داده‌ها و اطلاعات این پژوهش مربوط به پایان‌نامه فوق‌لیسانس نویسنده اول است که با مکاتبه با نویسنده مسئول قابل دسترس می‌باشند. این پژوهش در سال ۱۳۹۵ در منطقه جزینک دشت سیستان اجرا شد.

### منابع

1. Kopittke, P.M., Menzies, N.W., Wang, P., McKenna, B.A., and Lombi, E. 2019. Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International*. 132: 105078.
2. Fu, A., Cai, Y., Sun, T., and Li, F. 2021. Estimating the Impact of Land Cover Change on Soil Erosion Using Remote Sensing and GIS Data by USLE Model and Scenario Design. *Hindawi*. 6633428: 1-10.
3. Delelegn, Y.T., Purahong, W., Blazevic, A., Yitaferu, B., Wubet, T., Göransson, H., and Godbold, D.L. 2017. Changes in land use alter soil quality and aggregate stability in the highlands of northern Ethiopia. *Scientific Reports*. 7: 13602.
4. Panday, D., Ojha, R.B., Chalise, D., Das, S., and Twanabasu, B. 2019. Spatial variability of soil properties under different land use in the Dang district of Nepal. *Cogent Food and Agriculture*. 5: 1600460.

5. Assefa, F., Elias, E., Soromessa, T., and Ayele, G.T. 2020. Effect of Changes in Land-Use Management Practices on Soil Physicochemical Properties in Kabe Watershed, Ethiopia. *Air, Soil and Water Research*. 13: 1-16.
6. Szoboszlay, M., Dohrmann, A.B., Poeplau, C., Don, A., and Tebbe, C.C. 2017. Impact of land-use change and soil organic carbon quality on microbial diversity in soils across Europe. *FEMS Microbiology Ecology*. 12: 93.
7. Bakshandeh, E., Hossieni, M., Zeraatpisheh, M., and Francaviglia, R. 2019. Land use change effects on soil quality and biological fertility: A case study in northern Iran. 95: 103119.
8. Willy, D.K., Muyanga, M., Mbuvi, J., and Jayne, T. 2019. The effect of land use change on soil fertility parameters in densely populated areas of Kenya. *Geoderma*. 343: 254-262.
9. Sabina, Y., Eshara, J., Md. Ashik, M., Mominul, A.K.M.I., Md. Parvez, A., Md. Harun, O.R., and Sirinapa, C. 2020. Effect of land use on organic carbon storage potential of soils with contrasting native organic matter content. *International Journal of Agronomy*. 8042961: 1-9.
10. Andrade, E.M., Valbrun, W., Almeida, A.M.M., Rosa, G., and Silva, A.G.R. 2020. Land-use effect on soil carbon and nitrogen stock in a seasonally dry tropical forest. *Agronomy*. 10: 158.
11. Scharlemann, J.P.W., Tanner, E., Hiederer, R., and Kapos, V. 2014. Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool, *Carbon management*, 5: 1. 81-91.
12. FAO and ITPS. 2015. Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy.
13. Tifafi, M., Guenet, B., and Hatté, C. 2018. Large differences in global and regional total soil carbon stock estimates based on Soil Grids, HWSD, and NCSCD: Inter comparison and evaluation based on field data from USA, England, Wales, and France. *Global Biogeochemical Cycles*. 32: 1. 42-56.
14. Batjes, N.H. 2019. Technologically achievable soil organic carbon sequestration in world croplands and grasslands. *Land degradation and development*. 30: 1. 25-32.
15. Plaza, C., Zaccone, C., Sawicka, K., Mendez, A.M., Tarquis, A., Gasco, G., Heuvelink, G.B.M., Schuur, E.A.G., and Maestre, F.T. 2018. Soil resources and element stocks in drylands to face global issues. *Scientific Reports*. 8: 13788.
16. Kane, D. 2015. Carbon Sequestration Potential on Agricultural Lands: A Review of Current Science and Available Practices. National Sustainable Agriculture Coalition Breakthrough Strategies and Solutions, LLC.
17. Vaneeckhaute, C., Ghekiere, G., Michels, E., Vanrolleghem, P.A., Tack, F.M.G., and Meers, E. 2014. Assessing Nutrient Use Efficiency and Environmental Pressure of Macronutrients in Biobased Mineral Fertilizers: A Review of Recent Advances and Best Practices at Field Scale. *Advances in Agronomy*. 128: 137-180.
18. Rojas, M.M., Erickson, T.E., Dixon, K.W., and Merritt, D.J. 2016. Soil quality indicators to assess functionality of restored soils in degraded semiarid ecosystems. *Restoration Ecology*. pp. 1-10.
19. Jendoubi, D., Liniger, H., and Speranza, C.I. 2019. Impacts of land use and topography on soil organic carbon in a Mediterranean landscape (north-western Tunisia). *Soil*. 5: 239-251.
20. Kerr, D.D., and Ochsner, T.E. 2020. Soil organic carbon more strongly related to soil moisture than soil temperature in temperate grasslands. *Soil Science Society of America Journal*. 84: 587-596.
21. Piaszczyk, W., Lasota, J., and Błonska, E. 2020. Effect of organic matter released from deadwood at different decomposition stages on physical properties of forest soil. *Forests*. 11: 24.

22. Fu, C., Chen, Z., Wang, G., Yu, X., and Yu, G. 2021. A comprehensive framework for evaluating the impact of land use change and management on soil organic carbon stocks in global drylands. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 48: 103-109.
23. Thiele-Brunh, S., Bloem, J., de Vries, F. T., Kalbitz, K., and Wagg, C. 2012. Linking soil biodiversity and agricultural soil management. *Environmental Sustainability*. 4: 523-528.
24. Powlson, D., ZuCong, C., and Lemanceau, P. 2015. Soil Carbon: Science, Management and Policy for Multiple Benefits. Soil carbon dynamics and nutrient cycling. Chapter. 7: 1-98.
25. FAO. 2017. Soil Organic Carbon: the hidden potential. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, Italy. pp. 1-76.
26. Smith, P., Soussana, J.F., Angers, D., Schipper, L., Chenu, C., Rasse, D.P., ... and Klumpp, K. 2019. How to measure, report and verify soil carbon change to realize the potential of soil carbon sequestration for atmospheric greenhouse gas removal. *Global Change Biology*. 26: 1. 219-241.
27. Montanarella, L., and Panagos, P. 2021. The relevance of sustainable soil management within the European Green Deal. *Land Use Policy*. 100: 104950.
28. Ngugi, R.K., and Nyariki, D.M. 2005. Rural livelihoods in the arid and semi-arid environments of Kenya: Sustainable alternatives and challenges. *Agriculture and Human Values*. 22: 65-71.
29. Arunrat, N., Pumijumnong, N., Sereenonchai, S., and Chareonwong, U. 2020. Factors controlling soil organic carbon sequestration of highland agricultural areas in the Mae Chaem Basin, Northern Thailand. *Agronomy*. 10: 305.
30. Ayoubi, S., Mirbagheri, Z., and Mosaddeghi, M.R. 2020. Soil organic carbon physical fractions and aggregate stability influenced by land use in humid region of northern Iran. *International Agrophysics*. 34: 343-353.
31. Lawrence, C.R., Harden, J.W., Xu, X., Schulz, M.S., and Trumbore, S.E. 2015. Long-term controls on soil organic carbon with depth and time: A case study from the Cowlitz River Chronosequence, WA USA. *Geoderma*. 247-248: 73-87.
32. Gubler, A., Wächter, D., Schwab, P., Müller, M., and Keller, A. 2019. Twenty-five years of observations of soil organic carbon in Swiss croplands showing stability overall but with some divergent trends. *Environmental Monitoring and Assessment*. 191: 277.
33. Devi, A.S. 2021. Influence of trees and associated variables on soil organic carbon: a review. *Journal of Ecology and Environment*. 45: 5.
34. Silhavy, R., Silhavy, P., and Prokopova, Z. 2017. Analysis and selection of a regression model for the Use Case Points method using a stepwise approach. *The Journal of Systems and Software*. 125: 1-14.
35. Zhang, P., Wang, J., Jiang, L., Zhou, T., Yan, X., Yuan, L., and Chen, W. 2020. Influence analysis and stepwise regression of coal mechanical parameters on uniaxial compressive strength based on orthogonal testing method. *Energies*. 13: 3640.
36. Egerer, M.H., Liere, H., Lin, B.B., Jha, S. Bichier, P., and Philpott. S.M. 2018. Herbivore regulation in urban agroecosystems: Direct and indirect effects. *Basic and Applied Ecology*. 29: 44-54.
37. Shirmohammadi, E., Alikhani, H.A., Pourbabaei, A.A., and Etesami, H. 2020. Improved phosphorus (P) uptake and yield of rainfed wheat fed with P fertilizer by drought-tolerant phosphate-solubilizing fluorescent pseudomonads strains: a field study in drylands. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. pp. 1-17.
38. Whitney, J.W. 2006. Geology, water, and wind in the lower Helmand Basin, southern Afghanistan: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report. pp. 2006-5182.

39. Miri, A., Maleki, S., and Middleton, N. 2021. An investigation into climatic and terrestrial drivers of dust storms in the Sistan region of Iran in the early twenty-first century. *Science of the Total Environment*. 757: 143952.
40. Miri, A., Moghaddamnia, A., Pahlavanravi, A., and Panjehkeh, N., 2010. Dust storm frequency after the 1999 drought in the Sistan region, Iran. *Climate Research*. 41: 1. 83-90.
41. Rashki, A., Rautenbach, deW.C.J., Eriksson, P.G., Kaskaoutis, D.G., and Gupta, P. 2013. Temporal changes of particulate concentration in the ambient air over the city of Zahedan, Iran. *Air Quality, Atmosphere and Health*. 6: 123-135.
42. SSSA. 2002. Soil Science Society of America, 677 S. Segoe Road, Madison, WI 53711, USA. *Methods of Soil Analysis. Part 4. Physical Methods*. SSSA Book Series, No. 5.
43. SSSA and ASA. 1996. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, 677 S. Segoe Rd., Madison, WI 53711, USA. *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*-SSSA Book Series No. 5.
44. SSSA. 1994. Soil Science Society of America, 677 S. Segoe Road, Madison, WI 53711, USA. *Methods of Soil Analysis. Part 2. Microbiological and Biochemical Properties*. SSSA Book Series, No. 5.
45. Zhou, X.G., and Everts, K.L. 2007. Effects of Host Resistance and Inoculum Density on the Suppression of Fusarium Wilt of Watermelon Induced by Hairy Vetch. *Plant Disease*. 91: 1. 92-96.
46. Pikovskaya, R.I. 1948. Mobilization of phosphorus in soil connection with the vital activity of some microbial species. *Microbiologiya* 17: 362-370.
47. Xiang, Y., Liu, Y., Yue, X., Yao, B., Zhang, L., He, J., Luo, Y., Xu, X., and Zong, J. 2021. Factors controlling soil organic carbon and total nitrogen stocks following afforestation with *Robinia pseudoacacia* on cropland across China. *Forest Ecology and Management*. 494: 119274.
48. Liu, J., Dang, P., Gao, Y., Zhu, H., Zhu, H., Zhao, F., and Zhao, Z. 2018. Effects of tree species and soil properties on the composition and diversity of the soil bacterial community following afforestation. *Forest Ecology and Management*. 427: 342-349.
49. Liu, X., Yang, T., Wang, Q., Huang, F., and Li, L. 2018. Dynamics of soil carbon and nitrogen stocks after afforestation in arid and semi-arid regions: A meta-analysis. *Science of the Total Environment*. 618: 1658-1664.
50. James, R.A., Rivelli, A.R., Munns, R., and von Caemmerer, S. 2002. Factors affecting CO<sub>2</sub> assimilation, leaf injury and growth in salt stressed durum wheat. *Functional Plant Biology*. 29: 1393-1403.
51. Shi, H., Shi, Q., Zhou, X., Imin, B., Li, H., Zhang, W., and Kahaer, Y. 2021. Effect of the competition mechanism of between co-dominant species on the ecological characteristics of *Populus euphratica* under a water gradient in a desert oasis. *Global Ecology and Conservation*. 27: e01611.
52. Haichar, F.Z., Marol, C., Berge, O., Rangel-Castro, J.I., Prosser, J.I., Balesdent, J., Heulin, T., and Achouak, W. 2008. Plant host habitat and root exudates shape soil bacterial community structure. *ISME Journal*, 2: 1221-1230.
53. Meimaroglou, N., and Mouzakis, C. 2019. Cation Exchange Capacity (CEC), texture, consistency and organic matter in soil assessment for earth construction: The case of earth mortars. *Construction and Building Materials*. 221: 27-39.
54. Xu, Y., Shen, Q., and Ran, W. 2003. Content and distribution of forms of organic N in soil and particle size fractions after long-term fertilization. *Chemosphere*. 50:6. 739-45.
55. Vikram, A., Alagawadi, A.R., Hamzehzarghani, V., and Krishnaraj, P.U. 2007. Factors related to the occurrence of phosphate solubilizing bacteria and their isolation in vertisols. *International Journal of Agricultural Research*. 2: 571-580.
56. Etesami, H., and Maheshwari, D.K. 2018. Use of plant growth promoting

- rhizobacteria (PGPRs) with multiple plant growth promoting traits in stress agriculture: Action mechanisms and future prospects. *Ecotoxic and Environ Safe*. 156: 225-246.
57. Saxena, J., Minaxi and Jha, A. 2014. Impact of a phosphate solubilizing bacterium and an arbuscular mycorrhizal fungus (*Glomus etunicatum*) on growth, yield and P concentration in wheat plants. *CLEAN - Soil Air Water*. 42: 9. 1248-1252.
58. Ceci, A., Pinzari, F., Russo, F., Maggi, O., and Persiani, A.M. 2018. Saprotrophic soil fungi to improve phosphorus solubilisation and release: In vitro abilities of several species. *Ambio*. 47: 1. 30-40.
59. Delfim, J., Schoebitz, M., Paulino, L., Hirzel, J., and Zagal, E. 2018. Phosphorus availability in wheat, in volcanic soils inoculated with phosphate-solubilizing *Bacillus thuringiensis*. *Sustainability*. 10: 144.
60. Cotrufo, M.F., and Lavalley, J.M. 2022. Chapter One - Soil organic matter formation, persistence, and functioning: A synthesis of current understanding to inform its conservation and regeneration. *Advances in Agronomy*. 172: 1-66.
61. Santos, T.B., Ribas, A.F., Souza, S.G.H., Budzinski, I.G.F., and Domingues, D.S. 2022. Physiological Responses to Drought, Salinity, and Heat Stress in Plants: A Review. *Stresses*. 2: 1. 113-135.