

بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک (مطالعه موردی در منطقه لوشان، استان گیلان)

چکیده

تغییر کاربری اراضی به طور مستقیم و غیرمستقیم بر ویژگی‌های خاک تأثیر می‌گذارد که این امر می‌تواند اثرات قابل توجهی بر روی سلامت خاک و بهره‌وری کشاورزی داشته باشد. این مطالعه با هدف بررسی تغییرات ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، در نتیجه تغییر کاربری اراضی از بایر به شالیزار و باغ زیتون در منطقه لوشان استان گیلان صورت گرفته است. نتایج نشان داد که تغییر کاربری اراضی به شالیزار و باغ زیتون منجر به ایجاد تغییرات قابل توجهی در ویژگی‌های خاک شده است که بیشتر این تغییرات در جهت مثبت بوده و سبب بهبود ویژگی‌های کیفی خاک شده است. در بخش ویژگی‌های فیزیکی، تغییر کاربری به شالیزار و باغ زیتون موجب افزایش درصد رس و سیلت و کاهش میزان شن نسبت به اراضی بایر گردید. میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها نیز به طور قابل توجهی افزایش یافت، به طوری که مقدار آن در باغ زیتون $3/73$ برابر و در شالیزار $1/53$ برابر زمین بایر بود. ویژگی‌های شیمیایی خاک نیز تحت تأثیر مثبت تغییر کاربری قرار گرفتند. مقدار کربن آلی، نیتروژن کل و عناصر غذایی مانند فسفر و پتاسیم، به طور معناداری افزایش یافتند. برای مثال، مقدار کربن آلی در شالیزار حدود $3/9$ برابر و در باغ زیتون حدود $2/8$ برابر زمین بایر بود. در سطح بیولوژیکی، شاخص‌هایی مانند کربن زیست‌توده میکروبی به طور محسوسی افزایش یافت، به طوری که کربن زیست‌توده میکروبی در شالیزار حدود 4 برابر و در باغ زیتون نزدیک به 3 برابر زمین بایر بود. در مجموع، نتایج پژوهش بیانگر آن است که تغییر کاربری از بایر به شالیزار و باغ زیتون موجب بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک شده و نقش مؤثری در ارتقاء سلامت خاک، افزایش بهره‌وری کشاورزی و پایداری منابع طبیعی ایفا می‌کند.

کلیدواژه‌ها: باغ زیتون، تغییر کاربری اراضی، شالیزار، کربن آلی خاک، ویژگی‌های خاک

Assessment of the Impact of Land Use Change on Soil Physical, Chemical, and Biological Properties: A Case Study in the Loshan Region, Gilan Province

Abstract

Land use change can significantly influence soil properties, both directly and indirectly, with important implications for soil health and agricultural productivity. This study aimed to assess the effects of converting barren land into paddy fields and olive orchards on soil physical, chemical, and biological properties in the Loshan region of Gilan Province, Iran. The results showed that land use change led to notable improvements in soil quality. Physically, the conversion increased clay and silt content while decreasing sand content compared to barren land. The mean weight diameter of soil aggregates increased significantly 3.73 times in olive orchards and 1.53 times in paddy fields indicating improved soil structure. Chemically, soil fertility improved. The levels of organic carbon, total nitrogen, and key nutrients such as potassium and Potassium were significantly higher in the cultivated lands. Organic carbon content was approximately 3.9 times higher in paddy fields and 2.8 times higher in olive orchards than in barren soils. Biologically, the soil's microbial activity increased. Microbial biomass carbon rose nearly fourfold in paddy fields and nearly threefold in olive orchards. In summary, converting barren land to paddy fields and olive orchards positively affected soil health by improving its physical, chemical, and biological properties, thus supporting higher agricultural productivity and long-term natural resource sustainability.

Keywords: Olive Orchard, Land Use Change, Paddy Field, Soil Organic Carbon, Soil Properties

مقدمه

در دهه‌های اخیر، گسترش شهرنشینی، توسعه صنعتی و کشاورزی صنعتی منجر به تغییرات قابل توجهی در کاربری اراضی و پوشش گیاهی شده است (Gao et al., 2024). این تغییرات می‌توانند به صورت مستقیم یا غیرمستقیم بر ویژگی‌های خاک اثر بگذارند و اغلب موجب کاهش کیفیت و تخریب خاک می‌شوند. در نتیجه، تخریب خاک و برهم خوردن چرخه‌های مواد مغذی به دغدغه‌ای جدی در سطح جهانی تبدیل شده است (Jiang et al. 2023; Xiong et al. 2024). به دلیل پیامدهای این روابط بر عملکرد اکوسیستم‌های طبیعی، بهره‌وری کشاورزی و پایداری محیط‌زیست، رابطه بین کاربری و پوشش زمین و ویژگی‌های خاک توجه بسیاری از پژوهشگران را به خود جلب کرده است. درک چگونگی تأثیر تغییرات کاربری و پوشش اراضی بر ویژگی‌های خاک، برای

پیش‌بینی و کاهش اثرات این تغییرات بر دگرگونی پوشش سطحی، سلامت خاک و حاصلخیزی آن ضروری است (Chen et al. 2023). تغییر در کاربری اراضی می‌تواند به تغییر در فراوانی و تنوع گونه‌های گیاهی، تغییر در انباشت مواد آلی خاک و همچنین دگرگونی در الگوهای تابش نور خورشید و بارندگی منجر شود. این تغییرات، ویژگی‌هایی همچون ساختار خاک، تهویه، ظرفیت نگهداری رطوبت، نفوذپذیری و کیفیت آب‌های زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Lai et al. 2020; Padbhushan et al. 2022). افزون بر این، تغییرات کاربری زمین می‌تواند فعالیت میکروبی و بازتولید مواد آلی در خاک را نیز دگرگون کرده و به بهبود زیست‌شناسی خاک کمک کند (Geremew et al. 2023). اثرات گوناگون کاربری‌های مختلف زمین بر ویژگی‌های خاک می‌تواند مثبت یا منفی باشد، که شدت و جهت این تأثیرات به نوع کاربری جایگزین بستگی دارد. به‌عنوان نمونه، تبدیل مراتع به اراضی کشاورزی ممکن است فرسایش خاک را تشدید کند، در حالی که جنگل‌کاری می‌تواند فرسایش را کاهش داده و ذخیره کربن خاک را افزایش دهد (Kumar et al. 2021).

مانند بسیاری از مناطق دیگر جهان، تغییرات کاربری زمین در ایران نیز به‌ویژه در چند دهه اخیر تأثیرات قابل‌توجهی بر کیفیت خاک، بهره‌وری محصولات کشاورزی و پایداری محیط‌زیست داشته است. تخریب زمین که تحت تأثیر فرسایش خاک، کاهش حاصلخیزی و افزایش وقوع سیلاب‌ها پس از تغییر کاربری زمین رخ می‌دهد، تهدیدی جدی برای عملکرد و خدمات اکوسیستم‌ها در سراسر کشور به‌شمار می‌رود (Khormali et al., 2009). با وجود این نگرانی‌ها و تهدید ناشی از تغییرات کاربری و تخریب برای بهره‌وری زمین و پایداری اکوسیستم، مطالعات بسیار کمی برای تعیین کمیت تغییرات در ویژگی‌های خاک و ذخیره سازی کربن در مناطق شمالی ایران انجام شده است. منطقه لوشان در استان گیلان دارای انواع کاربری‌های مختلف از جمله شالیزارهای برنج، باغ‌های زیتون و زمین‌های بایر است. وجود اقلیم مناسب، حمایت دولت و سازمان‌های کشاورزی، شرایط بسیار مساعدی را برای افزایش مساحت زیر کشت زیتون در منطقه فراهم کرده است. در نتیجه، این منطقه تغییرات قابل‌توجهی را در کاربری زمین تجربه کرده است به طوری که بسیاری از زمین‌های بایر به باغ‌های زیتون تبدیل شده‌اند. از آنجایی که تاکنون پژوهشی در منطقه لوشان در زمینه تأثیر تغییر کاربری بر ویژگی‌های خاک به عنوان یکی از اساسی‌ترین اجزا در کشاورزی پایدار انجام نشده است، دانسته‌های ما درباره اثر کشت زیتون بر خاک منطقه لوشان که یکی از قطب‌های مهم کشت زیتون در کشور ایران است، بسیار جزئی است. بنابراین هدف اصلی این پژوهش، بررسی تغییرات ایجادشده در خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک در پی تبدیل اراضی بکر با پوشش طبیعی نیمه‌بیابانی به باغ‌های زیتون و شالیزار در منطقه لوشان است. در این راستا، پژوهش حاضر به دنبال تحلیل جامع اثرات ناشی از تغییر کاربری زمین بر کیفیت خاک بوده و اهداف جزئی آن شامل موارد زیر است:

- ارزیابی تأثیر نوع کاربری زمین بر ساختار فیزیکی خاک و پیامدهای آن بر ویژگی‌هایی همچون نفوذپذیری، فرسایش‌پذیری و رشد ریشه.
- بررسی تغییرات در حاصلخیزی شیمیایی خاک و توانایی آن در تأمین عناصر غذایی ضروری برای گیاهان.
- سنجش سلامت زیستی خاک با تأکید بر نقش پوشش گیاهی و فعالیت‌های کشاورزی.
- ارزیابی نقش کاربری اراضی در افزایش ذخیره کربن آلی خاک و نقش آن در کاهش اثرات تغییرات اقلیمی.
- ارائه بینش‌های مدیریتی به‌منظور انتخاب مناسب‌ترین نوع کاربری برای حفظ و ارتقاء کیفیت خاک در مناطق مشابه.

در این پژوهش فرض بر این است که تبدیل اراضی بایر به باغ‌های زیتون و شالیزار می‌تواند اثر مثبت بر خاک گذاشته و سبب افزایش کیفیت خاک منطقه شود. نوآوری اصلی این پژوهش در بررسی جامع و هم‌زمان تأثیر تغییر کاربری اراضی از بایر به دو نوع کاربری متفاوت (شالیزار و باغ زیتون) بر مجموعه‌ای از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک در منطقه لوشان گیلان است. برخلاف بسیاری از مطالعات پیشین که تغییر کاربری را به صورت محدود و بررسی کرده‌اند، این تحقیق با رویکردی یکپارچه توانسته اثرات ترکیبی تغییر کاربری را بر کیفیت کلی خاک ارزیابی نماید. همچنین تمرکز بر تغییر کاربری در اقلیم و شرایط بومی شمال ایران (منطقه لوشان) که تاکنون کمتر مورد توجه بوده، به ارزش نوآورانه و کاربردی این پژوهش می‌افزاید. نتایج این مطالعه

می‌تواند به درک بهتر تاثیرات تغییر کاربری اراضی بر کیفیت خاک کمک کند و راهکارهای مدیریتی مناسبی برای بهبود پایداری کشاورزی و حفظ اکوسیستم ارائه دهد.

پیشینه پژوهش

در سال‌های اخیر، پژوهش‌های متعددی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر ویژگی‌های مختلف خاک را بررسی کرده‌اند. برای مثال، مطالعه‌ای توسط Wang et al. (2022) نشان داد که تبدیل زمین‌های بایر به زمین‌های زراعی می‌تواند ویژگی‌های فیزیکی خاک مانند چگالی ظاهری، تخلخل و ظرفیت نگهداری آب را به‌طور چشمگیری بهبود بخشد؛ این تغییرات عمدتاً به افزایش فعالیت‌های کشاورزی و افزودن مواد آلی به خاک نسبت داده می‌شود. در مطالعه‌ای مشابه، Yuan et al. (2024) تأثیر چهار نوع کاربری شامل جنگل، مرتع، زمین بایر و مزارع گندم را بر ویژگی‌های خاک ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که کاربری جنگلی و مرتعی سبب افزایش چشمگیر کربن آلی، فسفر کل، آب قابل دسترس، چگالی ظاهری، نیتروژن کل و زی‌توده میکروبی گردید؛ در حالی که pH خاک در مقایسه با اراضی بایر کاهش یافت. در مقابل، اراضی زیر کشت گندم کاهش در این پارامترها را نسبت به زمین بایر نشان دادند. مطالعه‌ای دیگر توسط Zhang et al. (2019) نشان داد که تبدیل کاربری زمین به شالیزار می‌تواند ویژگی‌های شیمیایی خاک را تحت تأثیر قرار دهد؛ به‌طوری‌که استفاده فراوان از آب و کودهای شیمیایی در شالیزارها معمولاً موجب افزایش غلظت عناصر غذایی نظیر نیتروژن، فسفر و پتاسیم شده و به بهبود حاصلخیزی خاک و افزایش عملکرد محصول می‌انجامد.

تبدیل اراضی طبیعی به زمین‌های زراعی و باغی می‌تواند ترکیب و فعالیت جوامع میکروبی و فرآیندهای بیوشیمیایی خاک را دگرگون سازد. Yuefeng et al. (2014) نشان دادند که تبدیل زمین‌های بایر به باغ‌های زیتون تأثیر قابل توجهی بر ویژگی‌های زیستی خاک دارد؛ به‌طوری‌که استفاده از مالچ‌های آلی و مدیریت بهینه بقایای گیاهی در این باغ‌ها موجب افزایش فعالیت میکروبی خاک نسبت به زمین‌های بایر شده است. این افزایش فعالیت میکروبی می‌تواند چرخه مواد مغذی را بهبود داده و پایداری خاک را افزایش دهد. همچنین، مطالعه‌ای توسط Chen et al. (2023) که اثرات بلندمدت تغییرات کاربری زمین بر ویژگی‌های خاک را در مناطق مختلف جهان بررسی کرده بود، نشان داد که تبدیل زمین به باغ‌های زراعی، به‌ویژه باغ‌های زیتون، باعث افزایش قابل توجه کربن آلی خاک و بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن می‌شود. این تغییرات موجب ارتقاء ظرفیت نگهداری رطوبت خاک و کاهش فرسایش می‌گردد.

در ایران نیز مطالعات متعددی در زمینه تأثیر تغییر کاربری اراضی بر ویژگی‌های خاک انجام شده است. به‌عنوان نمونه، پژوهشی توسط حیدری و همکاران (۱۴۰۱) به بررسی اثرات تغییر کاربری از جنگل و مرتع به اراضی کشاورزی در منطقه سراب بادیه واقع در استان کرمان شاه پرداخته است. نتایج این مطالعه نشان داد که تغییر کاربری اراضی موجب کاهش چشمگیر در برخی ویژگی‌های کلیدی خاک می‌شود؛ به‌ویژه میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، کربن آلی، نیتروژن کل و ضریب متابولیکی به‌طور معناداری کاهش یافتند، به‌طوری‌که ضریب متابولیکی در عمق ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متری تا حدود ۹۲ درصد کاهش نشان داد. همچنین، مطالعه‌ای توسط احمدی‌وند و همکاران (۱۴۰۲) در دشت جیرفت با هدف بررسی اثر نوع کاربری اراضی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک انجام شد. در این تحقیق با نمونه‌برداری از چهار نوع کاربری شامل زراعی، کشاورزی رهاشده، نخلستان و جنگل طبیعی مشخص شد که تغییر کاربری اراضی تأثیر قابل توجهی بر بافت خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی، کربن آلی، رطوبت هیگروسکوپی و هدایت الکتریکی دارد و رها شدن اراضی کشاورزی طی دو دهه گذشته باعث کاهش ماده آلی و حاصل‌خیزی خاک شده است.

مواد و روش‌ها

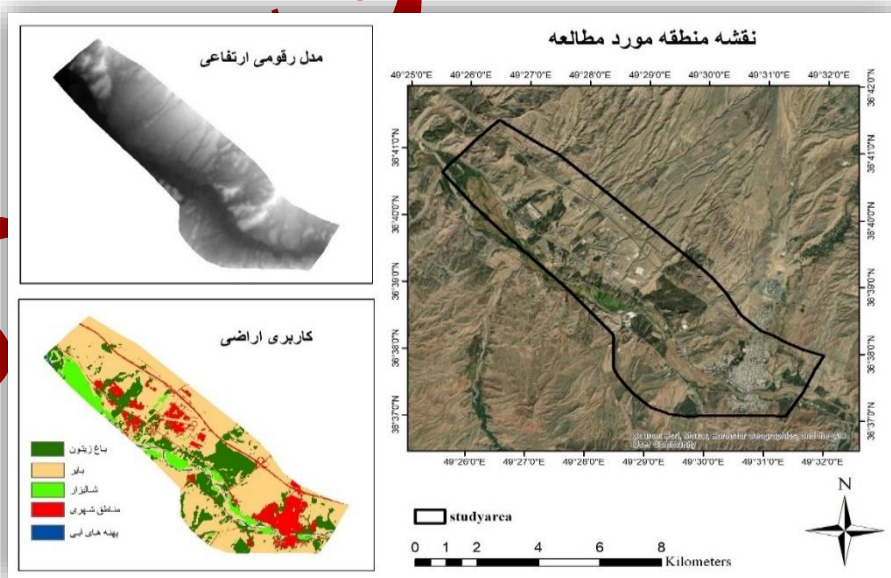
منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه به وسعت ۳۰۰۰ هکتار مشتمل بر منطقه لوشان از توابع شهرستان رودبار در استان گیلان واقع در شمال ایران است. این منطقه در سامانه مختصات UTM، در زون ۳۹ بین نقاط 36° 36' و 36° 42' و 49° 25' و 49° 32' متر شرقی قرار دارد (شکل ۱). براساس اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی، میانگین سالیانه بارندگی منطقه به مقدار ۲۷۳ میلی‌متر و

میانگین سالیانه دما حدود ۱۷ درجه سلیسیوس و متوسط رطوبت نسبی ۶۰ درصد است. ارتفاع منطقه بین ۲۷۰ تا ۵۸۰ متر از سطح دریا متغیر است. خاک منطقه در دو رده اریدی سول و انتی سول قرار دارد. اقلیم منطقه لوشان از نوع نیمه خشک است که مهم‌ترین ویژگی آن بارش کم و خشکی هوا است. این منطقه دارای انواع مختلف کاربری اراضی از جمله شالیزار، باغ‌های زیتون، بدنه‌های آبی، مناطق شهری و زمین‌های بایر است. الگوی کاربری اراضی در این منطقه تحت تأثیر ویژگی‌های اقلیمی، توپوگرافی و فعالیت‌های انسانی قرار دارد. به طور کلی، الگوی کاربری اراضی در منطقه مطالعه به شکل زیر است (شکل ۱):

- اراضی تحت کشت برنج (حدود ۲۰۵ هکتار): در این منطقه در برخی نواحی در اطراف رود سپیدرود شالیزار مشاهده می‌شود.
- اراضی بایر (حدود ۱۸۰۰ هکتار): در برخی نقاط به ویژه در مناطق مرتفع‌تر و خشک‌تر، اراضی بایر با پوشش گیاهی مناطق نیمه بیابانی وجود دارد که به دلیل کمبود آب و خاک ضعیف، در حال حاضر برای کشاورزی مناسب نیستند.
- مناطق مسکونی و شهری (حدود ۳۶۵ هکتار): شهر لوشان و روستاهای اطراف آن، به عنوان مناطق مسکونی و شهری بخش کوچکی از الگوی کاربری اراضی را تشکیل می‌دهند. این مناطق عمدتاً در دشت‌های کوچک و دامنه‌های کوهستانی قرار دارند.
- باغ‌های زیتون (حدود ۶۰۵ هکتار): زیتون‌کاری یکی از فعالیت‌های اقتصادی مهم در لوشان است. باغات زیتون در مناطق کم‌شیب‌تر و در حاشیه رودخانه‌ها و مناطق با دسترسی به آب زیرزمینی دیده می‌شود.
- بدنه‌های آبی (حدود ۲۵ هکتار): رودخانه سپیدرود که از میان منطقه مورد مطالعه عبور می‌کند و آب مصرفی شالیزارها و برخی از باغ‌ها را تامین می‌کند.

آب و هوای مناسب این منطقه برای کشت زیتون بسیار مطلوب است. به همین دلیل این منطقه در طی حدود ۲۵ سال گذشته تغییرات قابل توجهی در کاربری زمین داشته است و بسیاری از زمین‌های بایر به باغ‌های زیتون تبدیل شده‌اند. با توجه به این شبکه پیچیده از استفاده از زمین و تحولات اخیر در کاربری و پوشش زمین، این منطقه محل مطالعه مناسبی برای دستیابی به اهداف مطالعه حاضر است.



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه

نمونه برداری و آنالیز خاک

برای بررسی تغییرات ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، نمونه‌های مرکب خاک از هر نوع کاربری اراضی در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر برداشت شد. برای هر نوع کاربری، سه تکرار در نظر گرفته شد. در هر بلوک، سه نوع تغییر کاربری زمین مورد مطالعه قرار گرفت و از هر کاربری، نمونه‌برداری از هفت نقطه مختلف انجام و پس از اختلاط، یک نمونه مرکب تهیه گردید. نمونه‌ها در آزمایشگاه در شرایط دمای محیط خشک شدند. برای مطالعات بیولوژیکی، نمونه‌ها مطابق با روش‌های استاندارد و با استفاده از تجهیزات استاندارد برداشت شده، تحت شرایط زنجیره سرد به محیط‌های مناسب انتقال داده شدند و تا زمان انجام آزمایش‌ها در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در یخچال نگهداری شدند (حیدری و همکاران، ۱۴۰۱).

آزمایش‌های فیزیکی شامل تعیین بافت خاک (نسبت رس، سیلت و شن) با استفاده از روش هیدرومتری با قرائت کامل (Gee et al., 1986) و اندازه‌گیری پایداری خاکدانه‌ها^۱ (MWD) از طریق روش الک تر (Kemper et al., 1986) بود. اندازه‌گیری pH خاک در نسبت ۱:۱ خاک به آب با استفاده از pH متر انجام شد (Knudsen et al., 1982). هدایت الکتریکی^۲ (EC) از طریق عصاره اشباع اندازه‌گیری گردید (Knudsen et al., 1982). مقدار کربن آلی باروش واکلی و بلک (Walkley and Black, 1934)، نیتروژن کل با روش کج‌لادل (Hesse, 1971)، و فسفر قابل جذب با روش اولسن اندازه‌گیری شدند (Olsen et al., 1954). غلظت پتاسیم^۳ (K) در عصاره اشباع با استفاده از فلیم‌فتمتر (Knudsen et al., 1982) تعیین گردید.

برای ارزیابی ویژگی‌های بیولوژیکی خاک، نمونه‌ها در ماه مهر سال ۱۴۰۳ برداشت شده و سپس کربن زی‌توده میکروبی^۴ (MBC) با روش تدخین-استخراج (Alef and Nannipieri, 1995) تعیین گردید. همچنین ضریب متابولیک میکروبی^۵ (qCO₂) نیز به عنوان میزان دی‌اکسید کربن تولیدشده ناشی از تنفس هر واحد زی‌توده میکروبی در واحد زمان محاسبه گردید و به صورت mg CO₂:mg MBC⁻¹·24 h⁻¹ گزارش شد (Estefan et al., 2013).

تحلیل‌های آماری

تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار IBM SPSS Statistics (نسخه ۲۶) و Microsoft Excel انجام شد. سطح معنی‌داری در آزمون‌ها برابر با $p < 0.01$ در نظر گرفته شد. برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف^۶ و برای یکنواختی واریانس‌ها از آزمون لون^۷ در SPSS استفاده شد. به منظور بررسی تفاوت معنی‌دار ویژگی‌های خاک از تحلیل واریانس دوطرفه^۸ همراه با آزمون تعقیبی دانکن^۹ برای مقایسه میانگین‌ها استفاده گردید.

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی خاک

نتایج مربوط به تجزیه واریانس ویژگی‌های فیزیکی خاک در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که کاربری‌های مختلف از نظر درصد شن، جرم مخصوص ظاهری و میانگین قطر خاکدانه‌ها اختلاف معنی‌داری باهم دارند ($P < 0.01$). همچنین مشاهده شد بین مقادیر رس و سیلت در کاربری‌های باغ زیتون و شالیزار اختلاف معنی‌داری وجود ندارد اما با کاربری بایر دارای اختلاف معنی‌داری هستند. بنابراین می‌توان اعلام کرد تغییر کاربری از زمین بایر به شالیزار و باغ زیتون توانسته است بر ویژگی‌های فیزیکی خاک تاثیر گذار باشد.

¹ Mean weigh diameter

² Electrical conductivity

³ Potassium

⁴ Microbial Biomass Carbon

⁵ Microbial metabolic rate

⁶ Kolmogorov-Smirnov

⁷ Levene's Test

⁸ Two-way ANOVA

⁹ Duncan

جدول ۱. مقایسه میانگین ویژگی‌های فیزیکی خاک در انواع مختلف کاربری

Land Use	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	MWD (mm)
OLIVE	۳۷/۶۰ ^a	۳۵/۳۳ ^a	۲۷/۰۶ ^b	۳/۲۸ ^a
BARE	۳۶/۵۰ ^b	۳۳/۴۳ ^b	۳۰/۰۶ ^a	۰/۸۸ ^c
PADDY	۳۸/۴۳ ^a	۳۶/۱۶ ^a	۲۵/۴۰ ^c	۱/۳۵ ^b
F	۵۷/۰۵	۷۹/۰۸	۲۲۵/۳۷	۵۴۱/۳۵

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری ندارند ($P < 0.01$)
Clay: درصد رس، Silt: درصد سیلت، Sand: درصد شن، MWD: میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها

جدول ۲. درصد تغییرات ویژگی‌های فیزیکی خاک در کاربری‌های مختلف

ویژگی‌های فیزیکی	باغ زیتون در مقایسه با زمین‌های بایر	شالیزار در مقایسه با زمین‌های بایر	باغ زیتون در مقایسه با شالیزار
Clay	+۳/۰۱	+۵/۲۹	-۲/۱۶
Silt	+۵/۶۸	+۸/۱۷	-۲/۳۰
Sand	-۹/۹۹	-۱۵/۵۱	+۶/۵۴
MWD	+۲۷۲/۷۳	+۵۳/۴۱	+۱۴۲/۹۶

بافت خاک

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر تغییر کاربری بر مقدار رس، سیلت و شن در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی‌دار است و تغییر کاربری از زمین‌های بایر به شالیزار و باغ زیتون سبب تغییر در اندازه ذرات خاک شده است اما این تغییرات چشمگیر نیستند (جدول ۱). همان‌طور که نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد با تغییر کاربری از زمین بایر به شالیزار و باغ زیتون مقدار رس به ترتیب ۵/۲۹ و ۳/۰۱ درصد و مقدار سیلت نیز ۸/۱۷ و ۵/۶۸ درصد افزایش یافته است. اما تغییر کاربری سبب کاهش مقدار شن در خاک شده و به ترتیب کاهش ۱۵/۵۱ و ۹/۹۹ درصدی شن را کاربری‌های شالیزار و باغ زیتون شاهد بودیم.

تغییرات مقادیر اندازه نسبی ذرات خاک نشان می‌دهد مقدار رس و سیلت در کاربری شالیزار و باغ زیتون بیشتر از زمین بایر است. بیشترین مقدار رس مربوط به کاربری شالیزار با میانگین ۳۸/۴ درصد و کمترین مقدار رس مربوط به کاربری بایر با میانگین ۳۶/۵ درصد است (شکل ۲a). میانگین مقدار سیلت در کاربری‌های باغ زیتون و شالیزار با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند اما مقدار سیلت در کاربری بایر به طور معنی‌داری ($P < 0.01$) کمتر از سایر کاربری‌ها است. در مقابل مقدار شن در زمین‌های بایر (۳۰/۶٪) به مقدار قابل توجهی بیشتر از شالیزار و باغ زیتون است و کمترین مقدار شن مربوط به شالیزار (۲۵/۴٪) است (شکل ۲a). نتایج این تحقیق نشان داد زمین‌های بایر دارای ساختار خاک ضعیف و مقدار بالای شن هستند و مقدار رس و سیلت در آن‌ها کمتر از سایر کاربری‌ها است. در مقابل شالیزارها و باغ‌های زیتون دارای درصد بالاتری از رس و سیلت و درصد کمتری از شن هستند. کمتر بودن مقدار رس در اراضی بایر نسبت به شالیزار و باغ زیتون را می‌توان به بیشتر بودن رس قابل انتشار در اراضی بایر نسبت داد که در نتیجه آن مقداری از رس از این اراضی در اثر شستشو و فرسایش از بین رفته است. بنابراین مقدار رس کاربری بایر کمتر از شالیزار و باغ زیتون است. علت اینکه رس شالیزار و باغ زیتون کمتر شستشو یافته و از بین رفته است را می‌توان به وجود مقادیر بیشتری از ماده آلی و همچنین حضور ریشه گیاهان در این کاربری‌ها نسبت داد که سبب به وجود آمدن خاکدانه و ایجاد چسبندگی بین ذرات شده و میزان رس قابل انتشار را کاهش داده است. زیرا ماده آلی و ریشه گیاهان نقش کلیدی در پایداری خاکدانه‌ها دارند، و در نبود آن‌ها، ذرات

رسی تمایل بیشتری به جداسازی و انتشار دارند. به علاوه تحقیقات نشان داده‌اند در کاربری‌های کشاورزی به دلیل شکسته شدن خاکدانه‌ها بر اثر عملیات خاکورزی، خاکدانه‌ها به خاکدانه‌هایی ریزتر و یا ذرات ریز اولیه تبدیل می‌شوند که این عامل نیز می‌تواند بیشتر بودن مقدار رس در کاربری‌های شالیزار و باغ زیتون را توجیه کند. اندازه خاکدانه‌ها به طور مستقیم با مقدار و پایداری رس موجود در خاک در ارتباط است. رس به عنوان یکی از مؤلفه‌های اصلی در تشکیل خاکدانه‌ها، به‌ویژه در کنار ماده آلی، نقش چسبنده دارد و باعث تجمع ذرات ماسه، سیلت و رس به صورت خاکدانه می‌شود. هنگامی که خاکدانه‌ها بر اثر خاکورزی یا فرسایش می‌شکنند، ممکن است به ذرات اولیه ریزتر مانند ذرات رس تجزیه شوند. بنابراین، در شرایطی مانند کاربری کشاورزی که خاکورزی رایج است، شکسته شدن خاکدانه‌ها ممکن است باعث افزایش نسبی درصد رس اندازه‌گیری شده شود، چرا که ذرات درشت‌تر به ذرات ریز تبدیل شده‌اند. به عبارت دیگر، افزایش مقدار رس می‌تواند هم ناشی از افزایش واقعی محتوای رس خاک باشد و هم ناشی از تجزیه ساختاری خاکدانه‌ها و تبدیل آن‌ها به ذرات ریز اولیه (Ishiyulo et al., 2023).

دلیل دیگری که احتمالاً سبب بالاتر بودن مقدار رس در کاربری شالیزار نسبت به کاربری‌های باغ زیتون و اراضی بایر شده است را می‌توان به قرار گرفتن شالیزارها در این منطقه مطالعاتی در کنار رودخانه و آبیاری با آب رودخانه نسبت داد که در اثر رسوبگذاری توسط آب رودخانه، مقدار رس افزایش یافته است. در راستای تایید این نتایج مطالعات زیادی نیز نشان داده‌اند که مدیریت آبیاری و افزودن مواد آلی به بهبود ساختار خاک کمک می‌کند (Joshi and Garkoti, 2023). لازم به ذکر است که بافت خاک در هر سه کاربری باغ زیتون، شالیزار و بایر از نوع لوم رسی (CL) است و مساحت منطقه مورد مطالعه آنقدر زیاد نبود که تفاوت در مقادیر درصد ذرات خاک، ناشی از اتفاقاتی غیر از تأثیر کاربری‌های مورد مطالعه باشد. به طور کلی باید اشاره کرد که در صد ذرات اولیه خاک در مقیاس طبیعی و در وسعت زیاد به سادگی تغییر نمی‌کند. اما ممکن است تغییر کاربری به دلیل اثر بر ویژگی‌های مختلف خاک از جمله ساختمان خاک، نفوذپذیری، ماده آلی و سایر ویژگی‌های خاک، بر میزان شست و شوی رس‌ها، هوادیدگی و تشکیل رس‌ها، فرسایش و از دست رفتن ذرات با اندازه‌های مختلف و یا تریب ذرات انتقالی از سایر نقاط، بر درصد ذرات اولیه خاک نیز موثر باشد و بتواند در گذر زمان تغییراتی را در درصد ذرات اولیه خاک ایجاد کند (Torres et al., 2020).

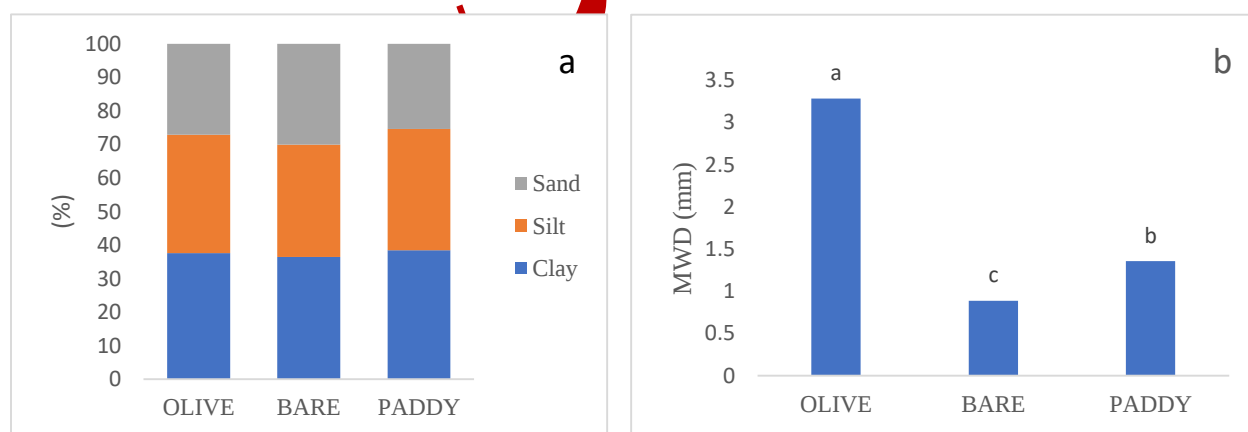
میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها

بین مقادیر میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در کاربری‌های مختلف تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود دارد (جدول ۱). کاربری‌های باغ زیتون و بایر به ترتیب با $3/28$ و $0/88$ میلی‌متر، بیشترین و کمترین مقدار میانگین وزنی خاکدانه‌ها را دارند (شکل 2b). نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد مقدار MWD به طور قابل توجهی در کاربری باغ زیتون بیشتر از شالیزار و زمین بایر است. تغییر کاربری از زمین بایر به باغ زیتون سبب $2/43$ برابر شدن مقدار MWD شده است در حالی که مقدار آن در کاربری شالیزار $53/41$ درصد بیشتر از مقدار MWD در زمین‌های بایر است. مطالعات نشان داده پایداری خاکدانه تابعی از محتوای مواد آلی خاک است و با افزایش مقدار مواد آلی افزایش می‌یابد (Chen et al., 2023). در شالیزار و باغ زیتون مواد آلی در مقایسه با زمین‌های بایر به طور قابل توجهی بیشتر است که باعث خاکدانه سازی و افزایش میزان خاکدانه‌های درشت در مقایسه با خاکدانه‌های ریز می‌شود، بنابراین میزان MWD در این کاربری‌ها بیشتر از کاربری بایر است. به غیر از اثر پوشش گیاهی بر مقدار مواد آلی خاک، توسعه کشت و کار و وجود ریشه گیاهان در شالیزار و باغ زیتون نسبت به اراضی بایر می‌تواند سبب افزایش مقدار پایداری خاکدانه شود. بسیاری از مطالعات قبلی نشان داده‌اند که مقاومت به فرسایش خاک به طور قابل توجهی تحت تأثیر سیستم ریشه پوشش گیاهی یا محصولات زراعی قرار می‌گیرد (Wang et al., 2022). وجود ریشه‌های گیاه در پروفیل خاک می‌تواند ساختار خاک را بهبود بخشد و استحکام برشی خاک را افزایش دهد که به نوبه خود فرسایش پذیری خاک را کاهش می‌دهد یا مقاومت در برابر فرسایش را تقویت می‌کند (Jiang et al., 2023).

دلیل کمتر بودن MWD شالیزار نسبت به باغ زیتون در حالی که مقدار ماده آلی شالیزار بیشتر از باغ زیتون است می‌تواند به علت عملیات گلخراشی در شالیزار باشد. این بهم خوردگی که سبب می‌شود آب در خاک نفوذ نکند باعث می‌شود خاکدانه‌های بزرگ شکسته

شده و به خاکدانه‌های ریزتر تبدیل شود و در نتیجه مقدار MWD کاهش یابد. علاوه بر این می‌توان به نقش عملیات کشاورزی در کاهش مقدار MWD در شالیزار اشاره نمود. زیرا با فشار ادوات کشاورزی در سطح خاک، خاکدانه‌های درشت تخریب شده و به ذرات ریزتری تبدیل می‌شوند. کاهش ماده آلی و فعالیت میکروبی، کاهش و از بین رفتن پوشش گیاهی منطقه و شبکه گسترده ریشه‌های گیاهان و هیف‌های قارچی، افزایش مقدار سیلت و افزایش فرسایش‌پذیری خاک از دلایل مهم در کاهش MWD خاک است (Khormali et al., 2009). در تایید نتایج این پژوهش Tellen et al. (2018) نیز در تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که با تغییر کاربری اراضی جرم مخصوص ظاهری و حقیقی خاک تغییر می‌کند.

دو عامل مهم در تشکیل و پایداری خاکدانه‌ها وجود مواد چسبنده ذرات خاک به یکدیگر، مانند مواد آلی و زمان کافی برای تاثیرگذاری مواد آلی است. عملیات خاکورزی و تردد ماشین‌آلات منجر به شکستن و خرد شدن خاکدانه‌های درشت‌تر می‌شود که با ادامه این روند ماده آلی در معرض تجزیه بیشتر میکروبی و واکنش‌های اکسیداتی قرار می‌گیرد و از بین می‌رود. عملیات شخم متناوب و به هم خوردن خاک، زمان کافی برای تاثیرگذاری عوامل خاکدانه سازی را کاهش می‌دهد. در نهایت خاکدانه‌های ریزتر تشکیل می‌شود که با فرسایش بیشتری همراه هستند. در نتیجه بر سی پایداری خاکدانه‌ها در کاربری‌های مختلف در شمال اتیوپی چنین گزارش شده است که پایداری خاکدانه‌ها در خاک‌های زراعی به‌طور معنی‌داری کمتر از کاربری‌های مرتع و جنگل است (Delegan et al., 2017). محققان ارتباط چسبندگی بین کربن آلی خاک و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در نواحی نیمه خشک مرکزی ایران گزارش کرده‌اند که حاکی از اهمیت کربن آلی خاک در پایداری خاکدانه در مناطق نیمه خشک می‌باشد (Safari et al., 2019). Hartemink et al. (2008) اثرات تغییر پوشش زمین را بر منابع خاک مورد مطالعه قرار دادند. نتیجه نشان داد که تبدیل پوشش گیاهی بومی به سیستم‌های کاربری اراضی مدیریت شده توسط انسان باعث کاهش پایداری ساختمان خاک، کاهش ذخایر مواد مغذی و کاهش کربن آلی خاک می‌شود. علاوه بر این، تبدیل پوشش گیاهی طبیعی به کاربری‌های دیگر، زمین را در معرض فرسایش در مناطق شیبدار قرار می‌دهد. (Chen et al., 2023) نیز در پژوهشی با هدف تعیین اثرات تغییر نوع کاربری بر فرسایش‌پذیری خاک به این نتیجه دست یافتند که MWD و SOM، به‌طور معنی‌داری با نوع کاربری اراضی تغییر می‌کنند. آن‌ها اعلام کردند حداکثر مقدار این خصوصیات خاک در کمربند جنگلی و کمترین مقدار آن‌ها در کاربری جاده مشاهده شد.



شکل 2. مقایسه میانگین ویژگی‌های فیزیکی خاک در کاربری‌های مختلف

ویژگی‌های بیولوژیکی خاک

نتایج مربوط به تجزیه واریانس ویژگی‌های بیولوژیکی خاک (جدول ۳) نشان می‌دهد اختلاف معنی‌داری بین ویژگی‌های بیولوژیکی خاک در سطح یک درصد وجود دارد و تغییر کاربری از زمین بایر به شالیزار و باغ زیتون سبب ایجاد تفاوت در ویژگی‌های بیولوژیکی خاک شده است. همبستگی بالا بین تغییرات کاربری با ویژگی‌های بیولوژیکی خاک نیز صحت نتایج فوق را تایید می‌کند.

جدول ۳. مقایسه میانگین ویژگی‌های بیولوژیکی خاک در انواع مختلف کاربری

Land Use	MBC (mg/kg)	qco ₂ (mgCO ₂ ·mg MBC ⁻¹ 24h ⁻¹)
OLIVE	۲۵۳/۶۳ ^b	۰/۲۱۳ ^b
BARE	۸۹/۷۱ ^c	۰/۳۱۶ ^a
PADDY	۳۵۳/۱۶۷ ^a	۰/۲۲۶ ^b
F	۹۹/۶۷	۲۷/۹۷

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری ندارند ($P < 0.01$)
MBC: کربن زی‌توده میکروبی، qCO₂ ضریب متابولیکی

جدول ۴. درصد تغییرات ویژگی‌های بیولوژیکی خاک در کاربری‌های مختلف

ویژگی‌های بیولوژیکی	باغ زیتون در مقایسه با زمین‌های بایر	شالیزار در مقایسه با زمین‌های بایر	باغ زیتون در مقایسه با شالیزار
MBC	۲۸۲/۶۸	+۲۹۳/۶۷	-۲۸/۱۸
qCO ₂	-۱۲/۹۱	-۲۸/۴۸	-۶/۱۹

کربن زی‌توده میکروبی

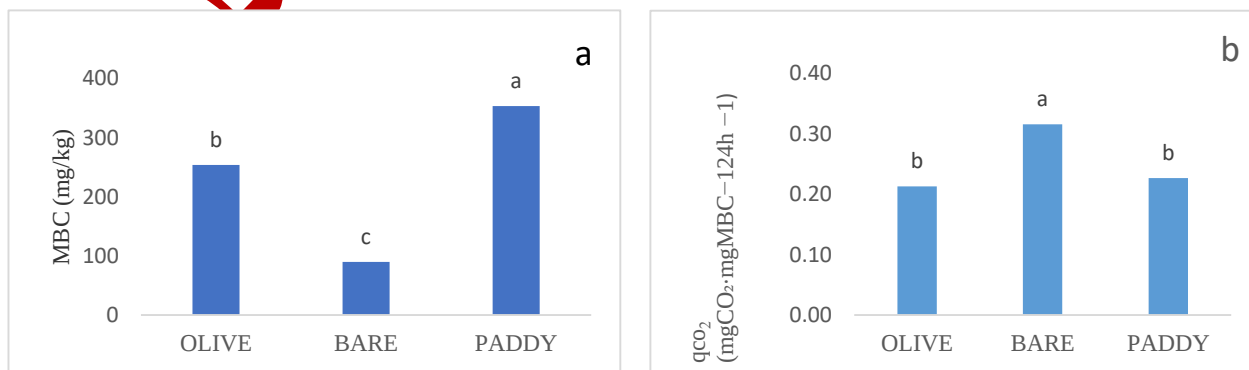
با تغییر کاربری از زمین بایر به باغ زیتون و شالیزار مقدار تنفس میکروبی افزایش یافته است (شکل 3a). با توجه به نتایج تجزیه واریانس در جدول (۳) مقدار این ویژگی در کاربری‌های مختلف با هم تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد داشت. بیشترین و کمترین مقدار تنفس میکروبی مربوط به کاربری‌های شالیزار و بایر با مقادیر ۳۵۳/۱۶ و ۸۹/۷۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک است (شکل 3a). تغییرات نسبی مقدار MBC در کاربری‌های مختلف نشان داد با تغییر کاربری از اراضی بایر به شالیزار و باغ زیتون مقدار کربن زیست توده میکروبی به ترتیب ۳/۹۴ و ۲/۸۲ برابر افزایش یافته است (جدول ۴). ترشحات ریشه گیاهان رشد میکروبی را تحریک می‌کند و در نتیجه زیتوده میکروبی را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، نتایج پژوهش‌های فرالولی نشان داده است که رابطه مثبت و معنی‌داری بین مقدار کربن آلی و نیتروژن کل با مقدار کربن زیست‌توده میکروبی وجود دارد (Beheshti et al., 2011; Kumar et al., 2021). بنابراین مقدار کربن زیست‌توده میکروبی توسط مقدار ماده آلی خاک کنترل می‌شود، در نتیجه افزایش کربن زیست‌توده میکروبی با افزایش مقادیر ماده آلی و نیتروژن کل در اثر تغییر کاربری از زمین بایر به باغ زیتون و شالیزار قابل توجه است. از دلایل دیگر متفاوت بودن مقدار کربن زیست‌توده میکروبی در کاربری‌های مختلف می‌توان به حساسیت این پارامتر به تغییرات مدیریت عملیات کشاورزی اشاره نمود. تغییر کاربری اراضی باعث تغییر شرایط مختلف خاک می‌گردد و منجر به تغییر کمیت و کیفیت سوبسترا در خاک می‌شود و در پی آن فعالیت و جمعیت میکروبی خاک تغییر می‌کند (Tiefenbacher et al., 2021).

MBC نشان دهنده جزء زنده SOC است و در نظر گرفته می‌شود که اثر پوشش گیاهی را در سیستم‌های خاک منعکس می‌کند (Mendoza et al., 2020). خاک کاربری‌های شالیزار و باغ زیتون به دلیل اینکه حاوی مقادیر بیشتری از بقایای زمینی و زیست توده ریشه هستند، بیشترین میزان MBC را دارند. MBC می‌تواند یک شاخص حساس از تغییرات SOC باشد زیرا سرعت تغییرات آن بیشتر است. از این رو، روند تغییر در مقدار MBC برای پیش‌بینی روندهای بلندمدت تغییرات در SOC پیشنهاد شده است (Padbhushan et al., 2020). Schroeder et al. (2024) کربن زی‌توده میکروبی خاک‌های جمع‌آوری شده از مزارع در منطقه زیر

قطبی یوکان، کانادا، از جمله ۱۴ جفت زمین تبدیل شده جنگل به علفزار و ۱۵ جفت زمین تبدیل شده جنگل به زمین زراعی را بررسی کردند. نتایج نشان داد که کربن زی‌توده میکروبی پس از تبدیل به علفزار و زمین زراعی به طور قابل توجهی افزایش یافته است. دلیل اصلی پایین بودن MBC در کاربری بایر کم بودن ورودی کربن است. زمین‌های بایر با پوشش نیمه بیابانی در مقایسه با شالیزار و باغ زیتون مقدار کمتری ماده آلی و نیتروژن کل دارند که نشان دهنده شرایط تنش برای ریز جانداران خاک در این کاربری است (Kumar et al., 2021). مقدار کمتر تنفس میکروبی در زمین‌های بایر نشان می‌دهد که به ازای هر واحد کربن آلی که به خاک افزوده شده، ریز جانداران مقدار بیشتری از آن را تنفس و یا معدنی نموده‌اند. بنابراین حجم بیشتری از کربن به دی اکسید کربن تبدیل شده و مقدار کمتری از آن صرف رشد، تکثیر و تشکیل زیست‌توده میکروبی می‌شود. این نتایج همسو با تغییرات کربن زیست‌توده میکروبی است و مقدار این دو پارامتر تغییرات یکدیگر را در اثر تغییر کاربری تایید می‌کنند.

ضریب متابولیکی

تغییرات نسبی مقدار qCO_2 در کاربری‌های مختلف نشان داد با تغییر کاربری از اراضی بایر به شالیزار و باغ زیتون مقدار ضریب متابولیکی به ترتیب ۲۸/۴۸ و ۳۲/۱ درصد کاهش یافت (جدول ۴). با توجه به نتایج تجزیه واریانس در جدول (۳) مقدار این ویژگی در کاربری‌های باغ زیتون و شالیزار تفاوت معنی‌داری باهم ندارد اما با مقدار آن در کاربری بایر تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد دارد. زمین بایر دارای بالاترین مقدار ضریب متابولیکی است (۰/۳۱۶)، در حالی که این مقدار برای شالیزار و باغ زیتون کمتر است (۰/۲۲۶ و ۰/۲۱۲) (شکل 3b). مقادیر پایین‌تر qCO_2 در شالیزار و باغ زیتون نشان می‌دهد که میکروارگانیسم‌ها به طور موثرتری از کربن برای فعالیت‌های متابولیکی استفاده می‌کنند. این می‌تواند نشان‌دهنده کارایی بالاتر اکوسیستم میکروبی در این خاک‌ها باشد. در مقابل، زمین بایر با qCO_2 بالاتر، نشان‌دهنده شرایط استرس‌آورتر برای میکروارگانیسم‌ها و مصرف ناکارآمدتر کربن است. مقدار پایین کسر متابولیکی در زمین‌های کشاورزی بیانگر آن است که به ازای هر واحد کربن آلی که به خاک افزوده گردیده، ریز جانداران مقدار بیشتری از آن را تنفس و یا معدنی نموده‌اند بنابراین حجم بیشتری کربن به دی اکسید کربن تبدیل شده و مقدار کمتری از آن صرف رشد، تکثیر و تشکیل زیست‌توده میکروبی می‌شود. در راستای تایید این نتایج مشاهده شد (Golchin and Askari, 2008) تغییرات کسر متابولیکی را در سه کاربری اراضی جنگل، مرتع و کشاورزی بررسی کردند و مشاهده نمودند که کسر متابولیکی در خاک‌های کشاورزی کمترین مقدار را در مقایسه با دو کاربری دیگر دارد. نتایج تحقیقات متعددی نشان داده همبستگی منفی بین ضریب فعالیت متابولیکی با کربن آلی خاک، کربن زیست‌توده میکروبی و نسبت میکروبی وجود دارد، زیرا در صورت کاهش کربن آلی، کربن زیست‌توده میکروبی خاک کاهش یافته و میزان تنفس میکروبی در شرایط تنش افزایش می‌یابد که نشان دهنده کاهش کیفیت خاک است. Beheshti et al. (2011) گزارش کردند که ضریب فعالیت متابولیکی میکروبی در خاک‌های کشت شده در مقایسه با خاک‌های بکر مرتعی بیشتر است.



شکل ۳. مقایسه میانگین ویژگی‌های بیولوژیکی خاک در کاربری‌های مختلف

ویژگی‌های شیمیایی خاک

نتایج تجزیه واریانس برای ویژگی‌های شیمیایی خاک (جدول ۵) نشان می‌دهد که تغییرات کاربری اراضی بر همه ویژگی‌های شیمیایی خاک در این منطقه تأثیر گذاشته است. همبستگی بالا بین تغییرات کاربری با ویژگی‌های شیمیایی خاک نیز این نتیجه را تأیید می‌کند.

جدول ۵. مقایسه میانگین ویژگی‌های شیمیایی خاک در انواع مختلف کاربری

Land Use	OC (%)	N (mg/kg)	P (mg/kg)	K (mg/kg)	pH	EC (S/m)
OLIVE	۱/۳۰ ^b	۰/۰۳ ^b	۱۳/۳۹ ^b	۱۰۵/۲۶ ^a	۸/۳۰ ^b	۴/۰۹ ^d
BARE	۰/۴۶ ^c	۰/۰۷ ^c	۱۱/۳۱ ^c	۱۳/۶۱ ^c	۸/۴۳ ^a	۳/۴۳ ^c
PADDY	۱/۷۹ ^a	۰/۲۸ ^a	۱۴/۴۴ ^a	۴۱/۴۲ ^b	۷/۱۶ ^c	۳/۷۹
F	۱۳۳۹/۹	۲۹۳۲/۰۰	۱۸۲۹۶/۲۶	۲۳۳۷۸/۱۲	۵۹۰۲/۴	۲۸۳/۹۱

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری ندارند ($P < 0.01$)
 OC: کربن آلی، N: نیتروژن کل، P: فسفر قابل جذب، K: پتاسیم قابل جذب، pH: اسیدیته خاک، EC: هدایت الکتریکی

جدول ۶. درصد تغییرات ویژگی‌های شیمیایی خاک در کاربری‌های مختلف

ویژگی‌های بیولوژیکی	باغ زیتون در مقایسه با زمین‌های بایر	شالیزار در مقایسه با زمین‌های بایر	باغ زیتون در مقایسه با شالیزار
OC	+۱۸۲/۶۱	-۲۹۸/۱۳	-۲۷/۳۷
N	+۱۸۵/۷۱	+۳۰۰/۰۰	-۲۸/۵۷
P	+۱۸/۴۲	-۲۷/۷۱	-۷/۲۸
K	+۶۷۳/۵۲	+۲۰۰/۳۹	+۱۵۴/۲۶
pH	-۱/۴۳	-۱۴/۹۷	+۱۵/۹۲
EC	+۱۹/۵۹	+۱۰/۸۲	+۷/۹۱

کربن آلی

اثر نوع کاربری بر مقدار کربن آلی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است (جدول ۵). بیشترین مقدار کربن آلی خاک در شالیزار (۱/۷۹ درصد) و کمترین مقدار آن در زمین‌های بایر (۰/۴۶ درصد) مشاهده شد که با یکدیگر تفاوت چشمگیری دارند (شکل 4a). این نتایج نشان می‌دهد تغییر نوع کاربری زمین به تغییر در مقدار ماده آلی موجود در خاک منجر شده است. به طوری که در اثر تبدیل زمین بایر به شالیزار و باغ زیتون شاهد ۳/۸۹ و ۲/۸۲ برابر شدن مقادیر OC هستیم (جدول ۶).

مقدار کم ماده آلی در زمین‌های بایر به دلیل مقدار کم رطوبت خاک، حاصلخیزی کمتر خاک در این کاربری و در نتیجه آن محدودیت رشد گیاه است. بنابراین دلیل کمتر بودن مقدار ماده آلی در این خاک، تراکم کم پوشش گیاهی و تولید ماده آلی کم است. در مقابل مشاهده شد تبدیل زمین‌های بایر به باغ زیتون و شالیزار سبب افزایش کربن آلی خاک شده است. این مساله می‌تواند در نتیجه ریزش‌های برگ در باغ زیتون و رها کردن کاه و کلش در شالیزارها بعد از برداشت محصول باشد. استفاده از کودهای دامی نیز

می‌تواند سبب افزایش ماده آلی خاک در کاربری‌های باغ زیتون و شالیزار باشد.

بیشتر بودن ماده آلی شالیزار نسبت به سایر کاربری‌ها می‌تواند به دلیل ورود ماده آلی بیشتر به خاک از طریق بقایای گیاهی و هدر رفت کمتر کربن آلی به دلیل تجزیه کمتر در اثر شرایط غرقابی کشت برنج و قرار نگرفتن در معرض اکسیداسیون باشد. در واقع می‌توان عنوان کرد یکی از مهم‌ترین دلایل بالاتر بودن کربن آلی در شالیزارها این است که این اراضی به مدت چندین ماه از سال غرقاب هستند و این شرایط احیایی و عدم وجود اکسیژن کافی، از تجزیه ماده آلی جلوگیری می‌کند.

کشاورزی و در نتیجه آن تخریب زمین بر روی کیفیت و کمیت کربن آلی در خاک و خاکدانه‌ها تاثیر زیادی می‌گذارد. در حقیقت کشاورزی (افزایش اکسیداسیون ماده آلی خاک به دلیل شخم) بر مقادیر ماده آلی و ازت کل خاک تاثیر معنی دار داشته و موجب کاهش مقدار آن‌ها می‌شود (Abera et al., 2011). مطالعات نشان داده‌اند فعالیت‌های کشاورزی از جمله برداشت ماده آلی به صورت محصول، سوزاندن بقایای گیاهی، تخریب خاکدانه‌ها بر اثر عملیات خاک‌ورزی و در معرض حمله میکروبی قرار گرفتن ماده آلی محبوس شده درون آن‌ها، افزایش تهویه خاک بر اثر شخم و به دنبال آن افزایش سرعت تجزیه بقایای آلی توسط ریز جانداران خاک، افزایش فرسایش خاک سطحی بر اثر شخم و به دنبال آن اثر کشت و کار و مصرف نامتعادل کودهای شیمیایی مخصوصاً کودهای نیتروژنه و برهم خوردن تعادل خاک و نسبت C/N، همگی موجب کاهش میزان ماده آلی در خاک می‌شوند (Beheshti et al., 2011). محققان با بررسی اثر کاربری‌های مختلف اراضی بر مقدار کربن آلی و دانه بندی خاک در فلات‌های لسی چین به این نتیجه رسیدند که میزان کربن آلی خاک و مقدار پایداری خاکدانه‌ها در اراضی جنگلی و مراتع نسبت به اراضی کشاورزی بیشتر است (Liu et al., 2013). Xia et al. (2024) اثرات تغییرات کاربری زمین بر کربن آلی و نیتروژن کل خاک را بررسی نمودند. نتایج نشان داد تبدیل تالاب به زمین‌های زراعی، جنگلی و زمین‌های ساختمانی، منجر به کاهش قابل توجهی در محتوای SOC و TN شد.

یافته‌های بسیاری برای کاهش SOC هنگامی که سیستم‌های جنگلی بومی به اکوسیستم‌های کشاورزی مدیریت شده تبدیل شدند، از سایر مناطق جهان گزارش شده است (Jiang et al., 2023; Gao et al., 2024). مثلاً Li et al. (2024) به مطالعه بر روی اثر تغییر کاربری از مراتع به جنگل کاشته شده و زمین‌های زراعی در منطقه نیمه خشک شمال شرقی چین پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد پس از تبدیل مرتع به جنگل کاشته شده و زمین زراعی میزان SOC به مقدار ۵/۷۱ و ۱۳/۵۹ درصد کاهش یافت. در پژوهش دیگر Jiang et al. (2023) نشان دادند که تغییر کاربری اراضی و عمق خاک به طور معنی داری غلظت SOC مربوطه تأثیر می‌گذارد. با تبدیل جنگل‌های طبیعی به باغ‌ها و زمین‌های زراعی، مقدار ذرات درشت خاک (بیش از ۰/۲۵ میلی‌متر) و SOC کاهش یافت و در نتیجه مقاومت خاک در برابر فرسایش ناشی از جریان آب تضعیف شد. اما نتایج این پژوهش نشان می‌دهد در اثر تبدیل زمین‌های بایر با پوشش طبیعی نیمه بیابانی به کاربری‌های کشاورزی مدیریت شده افزایش SOC رخ می‌دهد. این نتایج با نتایج Nanganoa et al. (2019) که به بررسی اثر کاربری‌های مختلف اراضی بر خواص فیزیکی-شیمیایی خاک در مناطق گرمسیری کامرون پرداختند مطابقت دارد. آن‌ها نیز به این نتیجه رسیدند که با تغییر کاربری اراضی ماده آلی افزایش یافته و منجر به اثر مثبت بر کیفیت خاک شده است. همچنین Wang et al. (2023) و Buraka et al. (2020) نیز در نتیجه پژوهش خود بر روی اثر تغییر کاربری بر خصوصیات خاک به این نتیجه دست یافتند که جنگل کاری و تلاش برای احیای جنگل و تبدیل زمین از کشاورزی به اکوسیستم‌های طبیعی سبب بهبود خواص خاک می‌شود. آن‌ها اعلام کردند این تغییرات باعث افزایش محتوای مواد آلی، افزایش چرخه مواد مغذی، بهبود ساختمان خاک و ارتقای تنوع میکروبی و کمک به سلامت و پایداری خاک می‌شود.

نیتروژن

نتایج آنالیز واریانس (جدول ۵) بیانگر آن است که مقدار نیتروژن کل در کاربری‌های مختلف دارای تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۰/۰۱ است. به طوری که بیشترین مقدار آن ۰/۲۸ گرم بر کیلوگرم در کاربری شالیزار و کمترین مقدار آن ۰/۰۷ گرم بر کیلوگرم در کاربری بایر مشاهده شد که تفاوت قابل توجهی با هم دارند (شکل 4b). با توجه به تغییرات نسبی مقدار N در کاربری‌های مختلف مشاهده می‌شود که با تغییر کاربری از زمین بایر به شالیزار و باغ زیتون مقادیر نیتروژن به ترتیب ۴ و ۲/۸۵ برابر شده است.

(جدول ۶). نیتروژن یکی از عناصر اصلی مغذی خاک است که برای رشد گیاهان ضروری است و رایج ترین ماده معدنی مورد استفاده در برنامه‌های کوددهی محصولات باغی است (Zipori et al., 2020). همانطور که مشاهده می‌شود (شکل 4b) تغییر کاربری زمین از بایر با پوشش نیمه‌بیابانی به شالیزار و باغ زیتون سبب افزایش چشمگیر مقدار نیتروژن خاک داشته شده است. زمین‌های بایر معمولاً دارای کمترین مقدار نیتروژن قابل دسترس هستند. این می‌تواند به دلیل کمبود پو شش گیاهی، کمبود مواد آلی و فرآیندهای طبیعی کمینه مانند تجزیه مواد آلی باشد. در مقابل مقدار بیشتر نیتروژن کل در خاک شالیزار و باغ زیتون به دلیل ماده آلی است که غنی از نیتروژن بوده و به مرور زمان به خاک افزوده می‌شود. قسمت بیشتر نیتروژن خاک در مواد آلی نگهداری می‌شود. تغییرات نیتروژن کل شبیه و همسو با تغییرات کربن آلی است و هرگونه تغییر در میزان ماده آلی خاک بر اثر تغییر کاربری زمین باعث تغییر مقدار نیتروژن کل نیز می‌شود (Zhu et al., 2024). شالیزارها معمولاً از طریق کوددهی، از جمله کودهای نیتروژنی، میزان نیتروژن خاک را افزایش می‌دهند. همچنین شرایط غرقابی و مدیریت آبیاری می‌تواند کمک کند تا نیتروژن در خاک حفظ شود و کاهش نیتروژن از طریق شسته‌شده کمتر باشد. در شرایط غرقابی، به دلیل اشباع شدن فضاهای خالی خاک از آب، اکسیژن کاهش یافته و شرایط بی‌هوازی غالب می‌شود. این وضعیت باعث کاهش سرعت معدنی شدن نیتروژن و جلوگیری از نیتریفیکاسیون (تبدیل آمونیوم به نیترات) می‌شود. از آنجا که نیترات فرم بسیار متحرک نیتروژن در خاک است و به راحتی در اثر آبشویی از دست می‌رود، محدود شدن فرآیند نیتریفیکاسیون در شرایط غرقابی منجر به کاهش نیترات و در نتیجه کاهش شسته‌شده نیتروژن می‌شود. افزون بر این، در خاک‌های غرقاب، بخشی از نیتروژن به صورت آمونیوم (NH_4^+) باقی می‌ماند که به دلیل بار مثبت، توسط ذرات خاک نگه داشته می‌شود و کمتر در معرض آبشویی قرار می‌گیرد. بنابراین، غرقابی بودن خاک می‌تواند از طریق محدود کردن تبدیل آمونیوم به نیترات، به حفظ نیتروژن در خاک کمک کند. با این حال، باید توجه داشت که در صورت تداوم طولانی مدت شرایط غرقابی و در نبود مدیریت صحیح، ممکن است فرآیند نیتریفیکاسیون نیز فعال شده و باعث اتلاف نیتروژن به صورت گاز شود (Hayashi, 2022).

در باغ‌های زیتون نیز استفاده از کودهای نیتروژنی معمول است، اما شرایط خاک و مدیریت آبیاری می‌تواند به شدت بر نحوه جذب و استفاده نیتروژن تأثیر بگذارد (Zipori et al., 2020). باغ‌های زیتون به دلیل پوشش گیاهی پایدار و مدیریت خاک بهتر، ممکن است مقدار نیتروژن بیشتری نسبت به زمین‌های بایر داشته باشند. به طور کلی نتایج این تحقیق نشان می‌دهد تغییر کاربری از زمین بایر به شالیزار و باغ زیتون به طور کلی منجر به افزایش نیتروژن قابل دسترس در خاک می‌شود. این امر به دلیل استفاده از کودهای نیتروژنی، بهبود شرایط خاک از نظر مواد آلی و مدیریت آبیاری بهتر است. افزایش نیتروژن در خاک می‌تواند منجر به بهبود حاصلخیزی خاک و افزایش تولید محصول شود، اما مدیریت دقیق برای جلوگیری از اتلاف نیتروژن و مشکلات زیست‌محیطی مرتبط با مصرف بیش از حد کودهای نیتروژنی ضروری است. این نتایج مطابق با نتایج تحقیقات Zhang et al. (2019) و Zhu et al. (2024) است که به این نتیجه دست یافتند که محتوای TN خاک در کاربری بایر به طور قابل توجهی کمتر از بقیه کاربری‌های زمین است. آن‌ها دلیل مقدار کم نیتروژن خاک در کاربری بایر را محیط ضعیف خاک که منجر به کاهش تنوع گیاهی و در نتیجه تجزیه خاکدانه‌ها، افزایش فرسایش و از دست دادن شدید مواد مغذی می‌شود نسبت دادند.

فسفر

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که تغییر کاربری اراضی بر میزان فسفر تأثیر معنی داری در سطح احتمال یک درصد داشته است (جدول ۵). مقایسه میانگین نشان می‌دهد که فسفر خاک در کاربری‌های شالیزار و بایر با مقادیر ۱۴/۴۴ و ۱۳/۳۹ میلی گرم بر کیلوگرم به ترتیب بیشتری و کمترین مقدار را دارد (شکل 4c). اگرچه بین مقادیر فسفر در کاربری‌های شالیزار و باغ زیتون اختلاف معنی داری وجود ندارد، اما به طور کلی می‌توان بیان کرد تغییر کاربری از زمین بایر به شالیزار و باغ زیتون سبب افزایش ۲۷/۶۵ و ۱۸/۴۲ درصدی مقدار فسفر در خاک شده است (جدول ۶). این افزایش مقدار فسفر در اثر تغییر کاربری مفید بوده و باعث اصلاح خاک شده است. در زمین‌های بایر با پوشش نیمه‌بیابانی، معمولاً مقدار مواد آلی و مغذی از جمله فسفر کم است. این می‌تواند به دلیل فرسایش خاک، کمبود مواد آلی و محدودیت در تجزیه و چرخه مواد مغذی باشد. با تغییر کاربری از بایر به شالیزار و باغ زیتون، معمولاً

انتظار می‌رود که مقدار فسفر خاک افزایش یابد، زیرا مدیریت بهتر زمین، کوددهی و حفظ خاک موجب افزایش مواد مغذی مانند فسفر می‌شود. با این حال، میزان و نحوه تغییر بستگی به روش‌های مدیریتی و شرایط محلی دارد. به طور خاص، مقدار و نوع کودهای استفاده شده و شرایط آبیاری می‌تواند تأثیر عمده‌ای بر میزان فسفر قابل دسترس در خاک داشته باشد (Gava et al., 2022).

در شالیزارها معمولاً برای افزایش حاصلخیزی خاک و بهبود رشد گیاهان نیاز به کوددهی بالا دارند، به همین منظور کودهای فسفره در شالیزارها به فراوانی مصرف می‌شود. مصرف این کودها می‌تواند باعث افزایش مقدار فسفر در خاک شود (Jiang et al., 2021). از طرف دیگر شرایط غرقابی در شالیزارها ممکن است موجب تغییر در شیمی خاک شود، که می‌تواند بر دسترسی فسفر به گیاهان و میزان آن در خاک تأثیر بگذارد. فسفر در شرایط غرقابی معمولاً به شکل‌های مختلفی از جمله فسفات‌های آهن و آلومینیوم ته‌نشین می‌شود که ممکن است برای گیاهان قابل جذب نباشد (Arunrat et al., 2022; Palihakkara et al., 2024). در باغ‌های زیتون نیز، استفاده از کودهای آلی و معدنی به طور متداول برای افزایش حاصلخیزی خاک و بهبود عملکرد درختان انجام می‌شود. این کودها می‌توانند موجب افزایش فسفر قابل دسترس در خاک شوند. علاوه بر این حضور پوشش گیاهی دائمی مانند درختان زیتون می‌تواند موجب کاهش فرسایش خاک و حفظ مواد مغذی مانند فسفر شود (McGrath et al., 2001).

پتاسیم

نتایج آنالیز واریانس (جدول ۵) بیانگر آن است که مقدار پتاسیم در کاربری‌های مختلف دارای تفاوت معنی داری در سطح احتمال یک درصد است. به طوری که بیشترین مقدار آن ۱۲۵/۲۶ گرم بر کیلوگرم در کاربری باغ زیتون و کمترین مقدار آن ۱۳/۶۱ گرم بر کیلوگرم در کاربری بایر مشاهده شد که تفاوت قابل توجهی باهم دارند (شکل 4d). تغییرات نسبی مقدار K در کاربری‌های مختلف نشان می‌دهد که در اثر تغییر کاربری از زمین بایر به شالیزار و باغ زیتون مقدار پتاسیم به ترتیب ۳/۰۴ و ۷/۷۴ برابر شده است (جدول ۶). افزایش چشمگیر مقدار پتاسیم در اثر تغییر کاربری از زمین بایر به باغ زیتون و شالیزار نشان می‌دهد این تغییر کاربری از نظر فاکتور پتاسیم مفید بوده و باعث اصلاح خاک شده است. نتایج تحقیقات مختلف نشان داده در زمین‌های بایر، معمولاً سطح پتاسیم در خاک پایین است (حیدری و همکاران، ۱۴۰۱). کوددهی و مدیریت بهتر خاک می‌تواند منجر به افزایش پتاسیم در خاک شود. این افزایش، بهبود حاصلخیزی خاک و عملکرد محصول را به دنبال خواهد داشت. علت بالاتر بودن مقدار پتاسیم در کاربری باغ زیتون این است که در باغ‌های زیتون، پتاسیم به عنوان یک عنصر ضروری برای رشد و تولید محصول با کیفیت بالا مورد نیاز است و معمولاً برای تأمین این نیاز از کودهای پتاسیمی استفاده می‌شود. با این حال، در صورت عدم مدیریت صحیح، پتاسیم ممکن است در سطح ریشه‌ها تجمع یابد یا به لایه‌های پایین‌تر خاک شسته شود. شالیزارها نیز معمولاً به پتاسیم بالایی نیاز دارند، زیرا پتاسیم نقش مهمی در رشد گیاهان و مقاومت آن‌ها به بیماری‌ها دارد. برای تأمین این نیازها از کودهای پتاسیمی استفاده می‌شود، که می‌تواند مقدار پتاسیم خاک را افزایش دهد. با این حال، شستشوی پتاسیم در شرایط غرقابی نیز ممکن است رخ دهد. Levy et al. (2018) دریافتند که پایداری خاکدانه، معیاری از ساختار خاک، با افزایش سطوح پتاسیم افزایش می‌یابد. این موضوع در این تحقیق نیز صدق می‌کند و پایداری خاکدانه‌ها در کاربری باغ زیتون و شالیزار با مقادیر K بیشتر نسبت به کاربری بایر مشاهده شد. این نتایج با نتایج حاصل از پژوهش‌های بسیاری از پژوهشگران از جمله Yuan et al. (2024) و Tellen et al. (2018) مطابقت دارد. مانند یافته‌های این پژوهش، آن‌ها نیز اعلام نمودند که تغییر کاربری‌های بکر و دست نخورده به اراضی کشاورزی سبب ایجاد تغییرات در مقدار مواد مغذی خاک از جمله نیتروژن، فسفر و پتاسیم می‌شود.

واکنش خاک

بین مقادیر pH در کاربری‌های مختلف تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد وجود دارد (جدول ۵). بیشترین مقدار pH مربوط به کاربری بایر با مقدار ۸/۴۲ بود و کمترین مقدار pH در کاربری شالیزار با مقدار ۷/۱۶ مشاهده شد (شکل 4e). با توجه به شکل 4e می‌توان مشاهده کرد تغییر کاربری از زمین بایر به باغ زیتون و شالیزار سبب کاهش مقدار pH خاک شده است. همچنین تغییرات نسبی مقدار pH در کاربری‌های مختلف نشان می‌دهد با تغییر کاربری از بایر به شالیزار و باغ زیتون، pH به

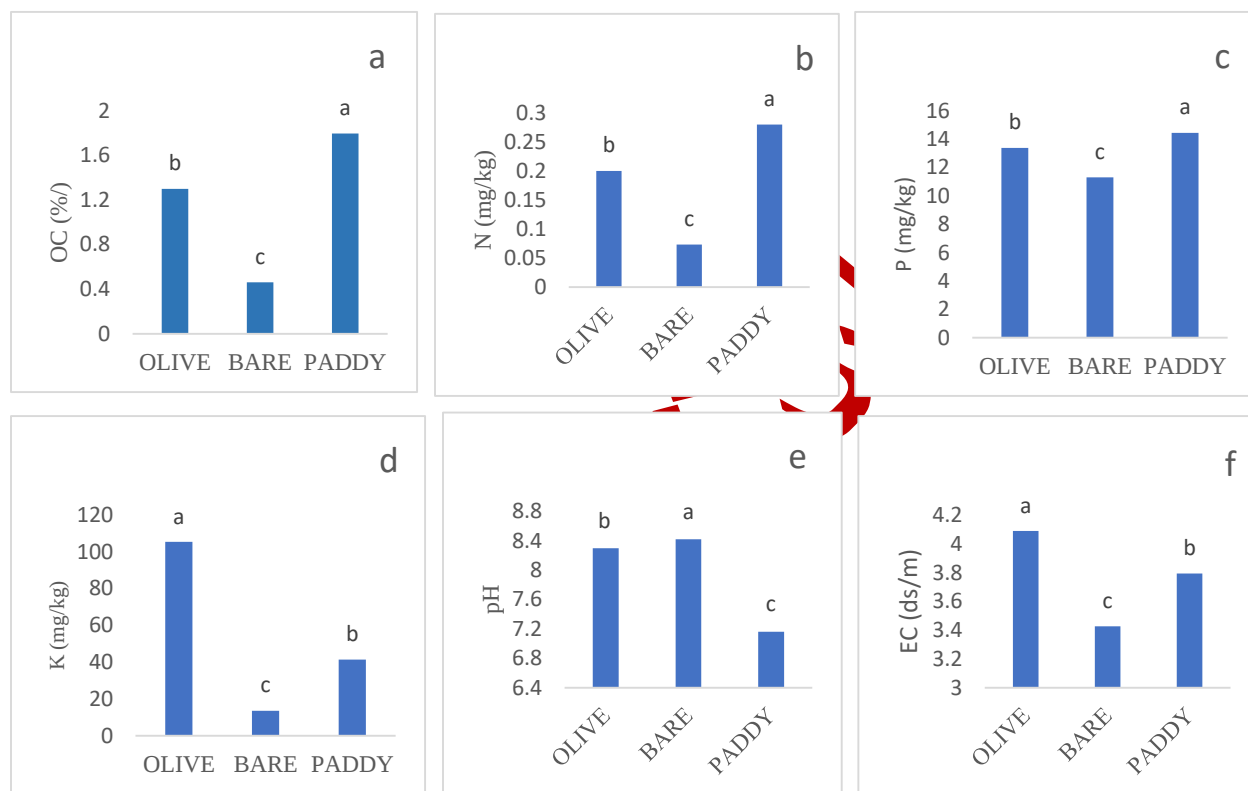
مقدار ۱۴/۹۷ و ۱/۴۳ در صد کاهش می‌یابد (جدول ۶). احتمالاً افزایش ماده آلی و مصرف کودهای دامی و شیمیایی مختلف تو سط زارعین، pH خاک را در کاربری‌های باغ زیتون و شالیزار کاهش داده است. همان طور که مشاهده می‌شود (جدول ۵) تغییر کاربری از اراضی بکر به شالیزار سبب شده است pH خاک از حالت قلیایی با مقدار ۸/۲ به حالت خنثی با مقدار حدود ۷ کاهش یابد که علت آن را می‌توان به شرایط غرقابی شالیزارها نسبت داد. مطالعات نشان می‌دهد در اراضی غرقاب pH به سمت خنثی میل می‌کند، به‌طوری‌که اگر خاک ابتدا قلیایی با شد pH کاهش می‌یابد تا به حد خنثی برسد و همچنین اگر خاک اسیدی با شد pH افزایش پیدا می‌کند تا به درجه خنثی برسد (Zakavi et al., 2021). این نتایج نشان می‌دهد تبدیل کاربری بایر به سایر کاربری‌ها می‌تواند بر مقدار pH خاک اثرگذار باشد و مقادیر آن را بسته به نوع کاربری ایجاد شده کم یا زیاد کند. تحقیقات مختلف نشان داده که اسیدیته خاک بر بسیاری از ویژگی‌ها مانند قابلیت استفاده از عناصر غذایی، تحرک عناصر سنگین و فعالیت ریزجانداران موثر است و ممکن است در اثر مدیریت‌های مختلف تغییر کند (NRCS, 1966). اسیدیته خاک یکی از ویژگی‌های مهم در بیان حاصلخیزی یک خاک محسوب می‌شود و به مقدار زیادی بیانگر باروری خاک و توان رشد گیاه در آن است. این ویژگی می‌تواند به دلیل به هم خوردگی خاک در اثر تغییر کاربری و اصلاحات خاک در کاربری‌های مدیریت شده تغییر کند (Rabbi et al., 2015). مطالعات نشان داده‌اند اضافه شدن کودهای مختلف، ریزش برگ‌ها و بقایای مختلف گیاهی و نوع مدیریت آبیاری در کاربری‌های مختلف می‌تواند بر مقدار مواد اسیدی و قلیایی در خاک و در نتیجه تغییر مقدار pH آن تاثیر داشته باشد. گزارش شده است که تشدید تغییر کاربری در pH پایین‌تر خاک به طور مثبت بر pH تاثیر می‌گذارد و منجر به آردست دادن SOC از طریق افزایش سرعت تجزیه در اثر بهبود رشد و فعالیت میکروبی می‌شود (Malik et al., 2018). نتایج برخی از مطالعات نشان داده‌اند که در pH کاربری‌های مختلف تفاوت معنی‌داری مشاهده می‌شود که این تفاوت‌ها را می‌توان به تفاوت ناشی از مدیریت نسبت داد. (Tellen et al., 2018) نیز در نتیجه تحقیقی مشابه اعلام کردند که تغییر کاربری از جنگل به کشاورزی سبب کاهش مقدار pH شده است. از آنجا که اکثر باغات زیتون در خاک‌های آهکی با pH بالاتر از ۷ رشد می‌کنند، بنابراین مقدار بالای pH خاک در منطقه مشکلی ایجاد نمی‌کند و کشت زیتون در زمین‌های بایر این منطقه با مشکل از نظر اسیدیته خاک مواجه نخواهد بود و نیاز به اصلاح pH نیست. اما تحت این شرایط، در دسترس بودن عناصر ریزمغذی ممکن است محدود شود (Zipori et al., 2020). یکی از راه‌های غلبه بر این مشکل محلول پاشی عناصر ریزمغذی است که به نظر می‌رسد در این موارد از کاربرد خاکی کلات‌ها مؤثرتر باشد.

هدایت الکتریکی

نتایج تجزیه واریانس قابلیت هدایت الکتریکی در کاربری‌های مختلف در جدول ۵ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود اثر کاربری در سطح احتمال یک درصد بر میزان هدایت الکتریکی معنی‌دار است. مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد کاربری باغ زیتون و شالیزار با مقادیر ۴/۰۹ و ۳/۷۹ دارای بیشترین میزان هدایت الکتریکی بوده‌اند و در مقابل کاربری بایر با مقدار ۳/۴۲ کمترین میزان هدایت الکتریکی را داشته است (شکل ۴f). این نتایج نشان می‌دهد تغییر کاربری از زمین بایر به شالیزار و باغ زیتون سبب افزایش قابلیت هدایت الکتریکی شده است. نتایج تغییرات نسبی مقادیر EC نیز به ترتیب افزایش ۱۰/۸۲ و ۱۹/۵۹ در صدی EC در اثر تغییر کاربری را نشان می‌دهد (جدول ۶).

دلیل افزایش EC در اراضی کشاورزی احتمالاً به دلیل کوددهی و عملیات کشت و کار بوده است. مصرف کودهای حیوانی که حاوی مقادیر زیادی نمک‌های محلول هستند، می‌تواند قابلیت هدایت الکتریکی خاک در کاربری‌های کشاورزی نسبت به زمین‌های بایر افزایش دهد. از دیگر دلایل افزایش EC در شالیزار و باغ زیتون می‌توان به بالاتر بودن مقادیر SOC در این کاربری‌ها نسبت به اراضی بایر اشاره کرد. در اثر فعالیت میکروبی کربن آلی خاک تجزیه شده و به املاح معدنی قابل جذب برای گیاه تبدیل می‌شود که این املاح سبب افزایش EC خاک می‌شود (Maniket al., 2019). علاوه بر این تجمع املاح ناشی از آب آبیاری نیز از دلایل دیگر افزایش شوری خاک در کاربری‌های شالیزار و باغ زیتون است که می‌تواند باعث افزایش EC نسبت به اراضی بایر شود. نتایج تحقیقات نشان داده در زمین‌های کشاورزی و باغات در مقایسه با زمین‌های دست نخورده، انجام عملیات خاک‌ورزی به‌ویژه

خاک‌ورزی سنتی سبب افزایش EC می‌شود. لایه سطحی خاک در زمین‌های کشاورزی همواره در معرض تخریب به وسیله ادوات کشاورزی قرار دارد که منجر به تخریب ساختمان خاک و کاهش خلل و فرج برای انتقال املاح محلول می‌گردد. بنابراین حرکت املاح از لایه‌های سطحی به عمق خاک نیز کاهش می‌یابد و املاح حاصل از آبیاری و کوددهی در سطح خاک تجمع می‌یابد (Beheshti et al., 2011). نتایج مطالعات زیادی مطابق با نتایج حاصل از این پژوهش است و پژوهشگران به افزایش هدایت الکتریکی در اثر تخریب اراضی بکر و کشت و کار روی این اراضی اشاره داشته‌اند (Cotrufo et al., 2022).



شکل 4. مقایسه میانگین ویژگی‌های شیمیایی خاک در کاربری‌های مختلف

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که تغییر کاربری اراضی از حالت بایر به شالیزار و باغ زیتون تأثیرات مثبت و معناداری بر بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک دارد. از جمله این تأثیرات می‌توان به افزایش کربن آلی، نیتروژن کل، فعالیت میکروبی و پایداری خاکدانه‌ها اشاره کرد که همگی در راستای ارتقاء سلامت خاک و افزایش بهره‌وری کشاورزی بسیار جایز اهمیت‌اند. این یافته‌ها کاربردهای گسترده‌ای در برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه اراضی کشاورزی داشته و می‌تواند به عنوان راهمایی مؤثر برای سیاست‌گذاران، کشاورزان و مدیران منابع طبیعی جهت احیای اراضی بایر، افزایش پایداری زیست‌محیطی و بهبود کیفیت خاک مورد استفاده قرار گیرد. با این حال، این تحقیق محدود به یک منطقه خاص (لوشان در استان گیلان) بوده و ویژگی‌های خاک تنها در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری مورد بررسی قرار گرفته است؛ از این‌رو تعمیم نتایج به دیگر مناطق با اقلیم و شرایط متفاوت نیازمند احتیاط است. همچنین، بررسی بلندمدت تغییرات ایجاد شده و اثرات آن بر لایه‌های عمقی خاک در این مطالعه مد نظر قرار نگرفته است. بنابراین، انجام تحقیقات گسترده‌تر در مناطق مختلف، با در نظر گرفتن تغییرات زمانی و عمقی خاک، به همراه بررسی جنبه‌هایی همچون تنوع زیستی خاک، عملکرد محصولات زراعی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، می‌تواند درک جامع‌تری از اثرات تغییر کاربری اراضی فراهم

آورد. در نهایت، نتایج این پژوهش بر اهمیت مدیریت آگاهانه و مبتنی بر دانش تغییر کاربری اراضی در جهت بهبود کیفیت خاک، افزایش بهره‌وری کشاورزی و حفظ منابع طبیعی تأکید می‌کند.

"هیچگونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

References

- احمدی وند مسلم، زمانی باب‌گهری جواد، شکفته حسین، عباس‌زاده افشار فریده. تأثیر کاربری اراضی بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک. پژوهش‌های فرسایش محیطی. ۱۴۰۲؛ ۱۳ (۲): ۲۱۰-۲۳۴
- حیدری، ناهید، موسوی، سید بهمن، بهشتی آل‌آقا، علی، رخس، فاطمه و کریمی، اسماعیل. (۱۴۰۱). تأثیر تغییر کاربری اراضی بر برخی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک. تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۳(۷)، ۱۶۲۵-۱۶۴۳.
- Ahmadi Vand, M., Zamani Babgaheri, J., Shekofta, H., & Abbaszadeh Afshar, F. (2023). The effect of land use on some physical and chemical properties of soil. *Environmental Erosion Research Journal*, 13(2), 210-234. (In Persian).
- Alef, K. and P. Nannipieri. (1995). *Methods in Applied Soil Microbiological and Biochemistry*. Academic Press INC.
- Anderson, J. P. (1982). Soil respiration. *Methods of soil analysis: part 2 chemical and microbiological properties*, 9, 831-871.
- Arunrat, N., Sereenonchai, S., Kongsurakan, P., & Hatano, R. (2022). Assessing soil organic carbon, soil nutrients and soil erodibility under terraced paddy fields and upland rice in Northern Thailand. *Agronomy*, 12(2), 537.
- Beheshti, A. A. A., Raiesi, F., & GOLCHIN, A. (2011). The effects of soil disturbance due to land use change of forest lands to cultivated lands on biological soil quality indices of forest ecosystems of Northern Iran.
- Beillouin, D., Corbeels, M., Demenois, J., Berre, D., Boyer, A., Fallois, A., ... & Cardinael, R. (2023). A global meta-analysis of soil organic carbon in the Anthropocene. *Nature Communications*, 14(1), 3700.
- Buraka, T., Elias, E., & Lelago, A. (2022). Soil organic carbon and its' stock potential in different land-use types along slope position in Coka watershed, Southern Ethiopia. *Heliyon*, 8(8).
- Chen, S., Zhang, G., Zhu, P., Wang, C., & Wan, Y. (2023). Impact of land use type on soil erodibility in a small watershed of rolling hill northeast China. *Soil and Tillage Research*, 227, 105597.
- Cotrufo, M. F., Haddix, M. L., Kroeger, M. E., & Stewart, C. E. (2022). The role of plant input physical-chemical properties, and microbial and soil chemical diversity on the formation of particulate and mineral-associated organic matter. *Soil Biology and Biochemistry*, 168, 108648.
- de Pierri Castilho, S. C., Cooper, M., Dominguez, A., & Bedano, J. C. (2016). Effect of land use changes in eastern amazonia on soil chemical, physical, and biological attributes. *Soil Science*, 181(3/4), 133-147.
- Gao, H., Gong, J., Liu, J., & Ye, T. (2024). Effects of land use/cover changes on soil organic carbon stocks in Qinghai-Tibet plateau: A comparative analysis of different ecological functional areas based on machine learning methods and soil carbon pool data. *Journal of Cleaner Production*, 434, 139854.
- Gava, C. A. T., Giongo, V., Signor, D., & Fernandes-Júnior, P. I. (2022). Land-use change alters the stocks of carbon, nitrogen, and phosphorus in a Haplic Cambisol in the Brazilian semi-arid region. *Soil Use and Management*, 38(1), 953-963.
- Geremew, B., Tadesse, T., Bedadi, B., Gollany, H. T., Tesfaye, K., & Aschalew, A. (2023). Impact of land use/cover change and slope gradient on soil organic carbon stock in Anjeni watershed, Northwest Ethiopia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(8), 971.
- Golchin, A., & Asgari, H. (2008). Land use effects on soil quality indicators in north-eastern Iran. *Soil Research*, 46(1), 27-36.
- Hartemink, A. E., Veldkamp, T., & Bai, Z. (2008). Land cover change and soil fertility decline in tropical regions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32(3), 195-213.

Hayashi, K. (2022). Nitrogen cycling and management focusing on the central role of soils: A review. *Soil Science and Plant Nutrition*, 68(5-6), 514-525.

Hesse P.R. 1971. A text book of soil chemical analysis. John Murray. London

Heydari, N., Mousavi, S. B., Beheshti Al Agha, A., Rakhsh, F., & Karimi, E. (2022). The effect of land use change on some physical, chemical, and biological properties of soil. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53(7), 1625–1643. (In Persian).

Iheshiulo, E. M. A., Larney, F. J., Hernandez-Ramirez, G., Luce, M. S., Liu, K., & Chau, H. W. (2023). Do diversified crop rotations influence soil physical health? A meta-analysis. *Soil and Tillage Research*, 233, 105781.

Jiang, B., Jianlin, S. H. E. N., Minghong, S. U. N., Yajun, H. U., Jiang, W., Juan, W. A. N. G., ... & Jinshui, W. U. (2021). Soil phosphorus availability and rice phosphorus uptake in paddy fields under various agronomic practices. *Pedosphere*, 31(1), 103-115.

Jiang, W., Li, Z., Xie, H., Ouyang, K., Yuan, H., & Duan, L. (2023). Land use change impacts on red state soil aggregates and associated organic carbon in diverse soil layers in subtropical China. *Science of The Total Environment*, 856, 159194.

Joshi, R. K., & Garkoti, S. C. (2023). Influence of vegetation types on soil physical and chemical properties, microbial biomass and stoichiometry in the central Himalaya. *Catena*, 222, 106835.

Khormali, F., Ajami, M., Ayoubi, S., Srinivasarao, C., & Wani, S. P. (2009). Role of deforestation and hillslope position on soil quality attributes of loess-derived soils in Golestan province, Iran. *Agriculture, ecosystems & environment*, 134(3-4), 178-189.

Knudsen D., Peterson G.A. and Pratt P.F. (1982). Lithium, sodium and potassium. p. 225-246. In: A.L. Page (ed) *Methods of Soil Analysis*. Part 2. America Society of Agronomy, Madison, WI.

Kumar, A., Padbhushan, R., Singh, Y. K., Kohli, A., and Ghosh, M. (2021). Soil Organic Carbon under Various Land Uses in Alfisols of Eastern India. *Indian J. Agril. Sci.* 91 (7), 975–979.

Lai, X., Zhu, Q., Zhou, Z., Liao, K., & Lv, L. (2020). Optimizing the spatial pattern of land use types in a mountainous area to minimize non-point nitrogen losses. *Geoderma*, 360, 114016.

Levy, G. J., Dag, A., Raviv, M., Zipori, I., Medina, S., Saadi, I., ... & Laor, Y. (2018). Annual spreading of olive mill wastewater over consecutive years: Effects on cultivated soils' physical properties. *Land Degradation & Development*, 29(1), 176-187.

Li, C., Wang, H., Zhao, L., & Shen, H. (2024). Effect of long-term land use change on soil organic carbon fractions and functional groups. *Arid Land Research and Management*, 38(2), 182-200.

Liu, Z., Cao, S., Sun, Z., Wang, H., Qu, S., Lei, N., ... & Dong, Q. (2021). Tillage effects on soil properties and crop yield after land reclamation. *Scientific Reports*, 11(1), 4611.

Malik, A. A., Puissant, J., Buckeridge, K. M., Goodall, T., Jehmlich, N., Chowdhury, S., ... & Griffiths, R. I. (2018). Land use driven change in soil pH affects microbial carbon cycling processes. *Nature communications*, 9(1), 3591.

Manik, S. N., Pengilley, G., Dean, G., Field, B., Shabala, S., & Zhou, M. (2019). Soil and crop management practices to minimize the impact of waterlogging on crop productivity. *Frontiers in plant science*, 10, 140.

McGrath, D. A., Smith, C. K., Gholz, H. L., & Oliveira, F. D. A. (2001). Effects of land-use change on soil nutrient dynamics in Amazonia. *Ecosystems*, 4, 625-645.

Mendoza, B., Béjar, J., Luna, D., Osorio, M., Jimenez, M., and Melendez, J. R. (2020). Differences in the Ratio of Soil Microbial Biomass Carbon (MBC) and Soil Organic Carbon (SOC) at Various Altitudes of Hyperalic Alfisol in the Amazon Region of Ecuador. *F1000Res* 9, 443. doi:10.12688/f1000research.22922.1.

- Nanganoa, L. T., Okolle, J. N., Missi, V., Tueche, J. R., Levai, L. D., & Njukeng, J. N. (2019). Impact of Different Land-Use Systems on Soil Physicochemical Properties and Macrofauna Abundance in the Humid Tropics of Cameroon. *Applied and Environmental Soil Science*, 2019(1), 5701278.
- Padbhushan, R., Kumar, U., Sharma, S., Rana, D. S., Kumar, R., Kohli, A., ... & Gupta, V. V. (2022). Impact of land-use changes on soil properties and carbon pools in India: A meta-analysis. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 794866.
- Padbhushan, R., Sharma, S., Rana, D. S., Kumar, U., Kohli, A., and Kumar, R. (2020). Delineate Soil Characteristics and Carbon Pools in Grassland Compared to Native Forestland of India: A Meta-Analysis. *Agronomy* 10, 1969. doi:10.3390/agronomy10121969
- Palihakkara, J., Burkitt, L., Jeyakumar, P., & Attanayake, C. P. (2024). Exploring Phosphorus Dynamics in Submerged Soils and Its Implications on the Inconsistent Rice Yield Response to Added Inorganic Phosphorus Fertilisers in Paddy Soils in Sri Lanka. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 24(1), 1-20.
- Rabbi, S. M. F., Tighe, M., Delgado-Baquerizo, M., Cowie, A., Robertson, F., Dalal, R., ... & Baldock, J. (2015). Climate and soil properties limit the positive effects of land use reversion on carbon storage in Eastern Australia. *Scientific Reports*, 5(1), 17866.
- Schroeder, J., Peplau, T., Pennekamp, F., Gregorich, E., Tebbe, C. C., & Poeplau, C. (2024). Deforestation for agriculture increases microbial carbon use efficiency in subarctic soils. *Biology and Fertility of Soils*, 60(1), 17-34.
- 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*, 7(1), 1-29.
- Tiefenbacher, A., Sandén, T., Haslmayr, H.-P., Miloczki, J., Wenzel, W., and Spiegel, H. (2021). Optimizing Carbon Sequestration in Croplands: A Synthesis. *Agronomy* 11 (5), 882. doi:10.3390/agronomy11050882
- Torres, J. L. R., Costa, D. D. D. A., Silveira, B. D. S., Vieira, D. M. D. S., & Lemes, E. M. (2020). Soil physical attributes in long-term soil management systems (Tillage and No-till). *Journal of Agricultural Science*, 12(4), 194.
- Walkley A. and Black I.A. (1934). An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29-37.
- Wang, H., Zhang, G. H., & Wang, J. (2022). Plant community near-surface characteristics as drivers of soil erodibility variation along a slope gradient in a typical semiarid region of China. *Catena*, 212, 106108.
- Xia, S., Song, Z., Yu, B., Fan, Y., Tony, V., Guo, L., ... & Wang, H. (2024). Land use changes and edaphic properties control contents and isotopic compositions of soil organic carbon and nitrogen in wetlands. *Catena*, 241, 108031.
- Xiong, J., Shao, X., Li, N., Yuan, H., Liu, E., & Wu, M. (2024). Effects of land-use on soil C, N, and P stocks and stoichiometry in coastal wetlands dependent on soil depth and latitude. *Catena*, 240, 107999.
- Yuan, J., Yao, Y., Guan, Y., Sadiq, M., Li, J., Liu, S., ... & Yan, L. (2024). Effects of land use patterns on soil properties and nitrous oxide flux on a semi-arid environmental conditions of Loess Plateau China. *Global Ecology and Conservation*, 51, e02899.
- Yuefeng, G., Fucang, Q., Yunfeng, Y. A. O., & Wei, Q. I. (2014). Effects of land use changes on soil organic carbon and soil microbial biomass carbon in low hills of North Yanshan Mountains. *Range Management and Agroforestry*, 35(1), 15-21.
- Zakavi, N., Karimi, A., & Sheini Dashtegol, A. (2021). Influence of Flooding and Waterlogging Conditions on Soil Chemical Characteristics and Nutrient Status (Case Study: Hakim Farabi Agro-industry). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 52(6), 1617-1627.
- Zhang, W., Xu, Y., Gao, D., Wang, X., Liu, W., Deng, J., ... & Ren, G. (2019). Eoenzymatic stoichiometry and nutrient dynamics along a revegetation chronosequence in the soils of abandoned land and Robinia pseudoacacia plantation on the Loess Plateau, China. *Soil Biology and Biochemistry*, 134, 1-14.

Zhu, Z., Chen, J., Hu, H., Zhou, M., Zhu, Y., Wu, C., ... & Wang, J. (2024). Soil quality evaluation of different land use modes in small watersheds in the hilly region of southern Jiangsu. *Ecological Indicators*, 160, 111895.

Zipori, I., Erel, R., Yermiyahu, U., Ben-Gal, A., & Dag, A. (2020). Sustainable management of olive orchard nutrition: A review. *Agriculture*, 10(1), 11.

Abstract

Objective:

Land use change is a key factor that significantly influences the physical, chemical, and biological properties of soil, potentially enhancing or degrading soil quality and agricultural productivity. This study aimed to investigate the effects of converting barren lands into olive orchards and rice paddies on various soil characteristics in the Loshan region of Gilan Province, northern Iran. The main focus was placed on assessing soil organic carbon stock along with other indicators of soil health and fertility.

Methodology:

To evaluate the impact of land use change, soil samples were collected from three land use types—barren lands, olive orchards, and rice paddies—at a depth of 30 cm. A range of soil properties was measured using standard laboratory methods. These included organic matter content, nutrient levels (nitrogen, phosphorus, potassium), aggregate stability, microbial biomass carbon. The collected data were statistically analyzed to compare soil characteristics among the different land uses and determine significant changes.

Findings:

The results revealed that converting barren land into agricultural uses—specifically olive orchards and rice paddies—led to substantial improvements in key soil properties. Organic matter content increased from 0.46% in barren soils to 1.30% in olive orchards and 1.79% in rice paddies. Total nitrogen levels and microbial activity significantly increased in rice paddies, while olive orchards showed notable improvements in aggregate stability and cation exchange capacity.

Furthermore, both rice paddies and olive orchards exhibited enhanced biological activity, as evidenced by higher microbial biomass carbon, indicating more active microbial communities and faster decomposition of organic matter. Improvements in soil physical structure were also observed, including aggregate stability in cultivated lands compared to barren soils. These positive changes suggest that land use conversion simultaneously benefits the physical, chemical, and biological dimensions of soil health.

Conclusion:

The transformation of barren land into rice paddies and olive orchards results in meaningful enhancements in soil quality. These improvements include higher organic matter and nutrient content, improved soil structure, increased biological activity, and greater soil organic carbon storage all of which contribute to increased agricultural productivity and long-term sustainability of farming systems. Therefore, strategic and informed land use planning is recommended as an effective approach to improve soil health, conserve natural resources, and mitigate the impacts of climate change.

Author Contributions

Conceptualization, K.M. and A.G.; Methodology, K.M.; software, S.H.; validation, S.H., M.S.A. and K.M.; Formal Analysis, S.H.; Investigation, S.H.; Resources, S.H.; Data Curation, A.G.; Writing—Original Draft Preparation, S.H.; Writing—Review and Editing, A.G.; Visualization, S.H.; Supervision, K.M.; Project Administration, A.G.; Funding Acquisition, S.H. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.”

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data Availability Statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank all participants of the present study.

Ethical considerations

The study was approved by the Ethics Committee of the University of Zanjan
The authors avoided data fabrication, falsification, plagiarism, and misconduct