نشریه

ترویج و توسعه آبخیزداری
Extension and Development of Watershed Management

سال سیزدهم- شماره ۵۱- زمستان ۱۴۰۴ Vol. 13, No. 51, Winter 2026

بررسی تأثیر عملیات احیای بیولوژیک بر ویژگی‌های شیمیایی خاک (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) در جنگل دست کاشت جیرفت (تل سیاه)

سعید نیک‌نفس دهقانی[۱]، فرشاد سلیمانی ساردو[۲]* و علی آذره[۳]

تاریخ دریافت ۱۴۰۴/۰۲/۱۳ تاریخ پذیرش ۱۴۰۴/۰۹/۱۰
DOI:/ 10.22034/wmji.2025.2059615.1113

چکیده

احیای بیولوژیک یکی از رویکردهای مؤثر در بهبود کیفیت شیمیایی خاک، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، محسوب می‌شود. این پژوهش در سال ۱۴۰۳ باهدف بررسی تأثیر عملیات احیای بیولوژیک بر غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در خاک جنگل‌کاری دست کاشت منطقه تل سیاه واقع در شهرستان جیرفت، استان کرمان، انجام شد. نمونه‌برداری خاک از مناطق احیاشده و شاهد، در دو عمق انجام شد و داده‌ها با آزمون آماری ANOVA تحلیل گردید. نتایج نشان داد که غلظت فسفر در منطقه احیاشده در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متر برابر با ۸/۳۶۴۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در عمق ۳۰-۱۵ سانتی‌متر ۸/۳۴۳۴ میلی‌گرم بود، درحالی‌که این مقادیر در منطقه شاهد به ترتیب ۳/۹۰۸۰ و ۲/۴۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم بودند. میزان نیتروژن نیز در منطقه احیاشده برای دو عمق به ترتیب ۰/۰۲۱۸ و ۰/۰۱۴۸ درصد برآورد شد، درحالی‌که در منطقه شاهد به ۰/۰۰۵۵ و ۰/۰۰۳۷ درصد کاهش یافت. پتاسیم در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متر در منطقه احیاشده ۳/۰۵۲۶ میلی‌گرم و در شاهد ۳/۹۸۲۶ میلی‌گرم بود، درحالی‌که در عمق ۳۰-۱۵ سانتی‌متر، مقدار آن در منطقه احیاشده ۲/۹۶۵۳ و در شاهد ۴/۰۱۷۳ میلی‌گرم ثبت شد. این یافته‌ها نشان‌دهنده تأثیر مثبت عملیات احیای بیولوژیک بر فسفر و نیتروژن خاک است، هرچند تأثیر آن بر پتاسیم به عمق و موقعیت مکانی وابسته بوده است.

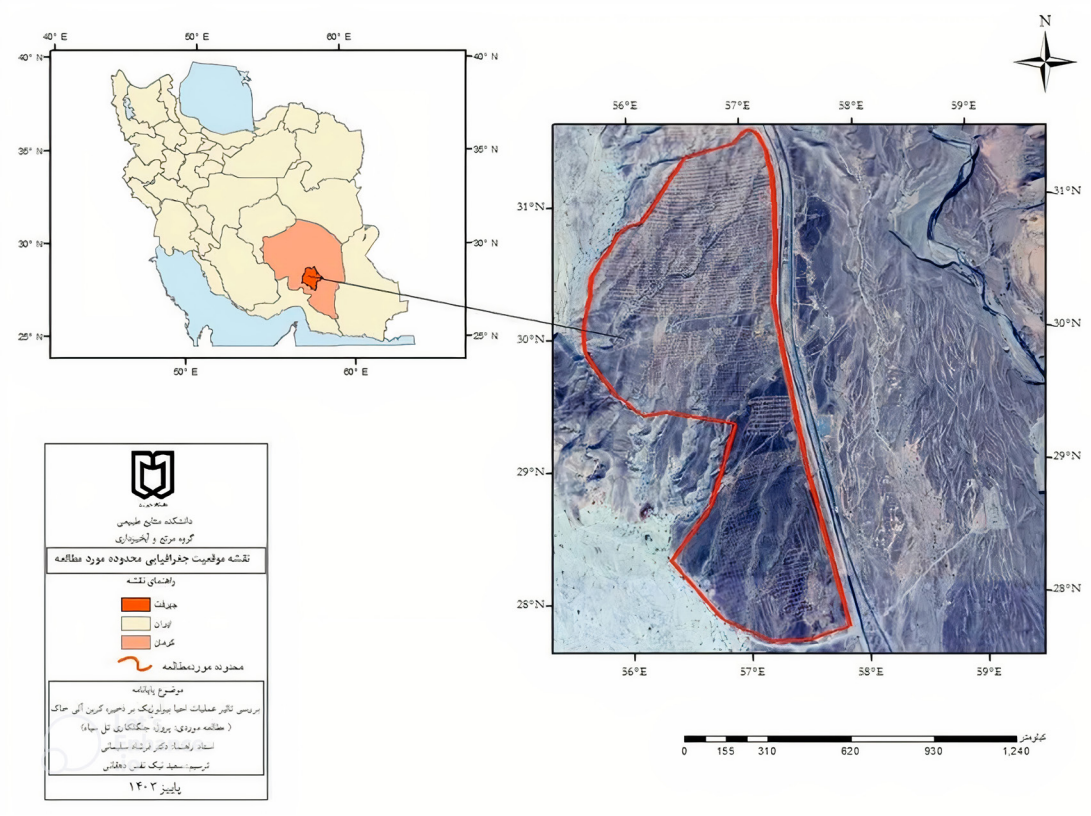
۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیز داری، گروه مهندسی طبیعت،دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین دانشگاه کاشان، ایران،
۲- دانشیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه جیرفت، ایران. نویسنده و مسئول، Email: f.soleimani@ujiroft.ac.ir
۳- دانشیار گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه جیرفت، ایران.

واژگان کلیدی: ***احیای بیولوژیک، کیفیت شیمیایی خاک، جنگل‌کاری، جیرفت.***

مقدمه

خاک به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی، نقشی اساسی در پایداری بوم‌سازگان‌های خشکی ایفا می‌کند و تأمین‌کننده عناصر غذایی ضروری برای پوشش گیاهی و حیات‌وحش است [۸]. در این بوم‌سازگان‌ها، چرخه مواد آلی و معدنی از طریق فرآیندهای بیولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی تنظیم می‌شود. بااین‌حال، تخریب اراضی، تغییرات کاربری زمین و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع طبیعی، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، منجر به کاهش حاصلخیزی خاک و افت کیفیت آن شده است [۱۶]. این مسئله با تغییرات منفی در چرخه عناصر غذایی و کاهش ذخیره کربن آلی خاک همراه است و بوم‌سازگان‌ها را با چالش‌های متعدد مواجه می‌کند [۱۹].

در این میان، عملیات احیای بیولوژیک یکی از راهکارهای کلیدی برای بهبود کیفیت خاک و بازسازی اراضی تخریب‌شده محسوب می‌شود. اقداماتی همچون جنگل‌کاری، استفاده از گیاهان تثبیت‌کننده نیتروژن، افزایش مواد آلی خاک و بهبود پوشش گیاهی، از مهم‌ترین روش‌های احیایی هستند که می‌توانند به افزایش عناصر مغذی خاک ازجمله نیتروژن (N)، فسفر (P) و پتاسیم (K) منجر شوند [۲]. مطالعات مختلف نیز نشان داده‌اند که اجرای چنین طرح‌هایی در نقاط گوناگون جهان تأثیر مثبتی بر وضعیت عناصر غذایی خاک دارد. برای مثال، پژوهش‌ها در بنگلادش و ایران حاکی از آن است که جنگل‌کاری با گونه‌های تثبیت‌کننده نیتروژن می‌تواند به افزایش غلظت نیتروژن خاک منجر شود [۷ و ۱۴]. هم‌چنین تحقیقات در چین و ایران نشان داده‌اند که جنگل‌کاری و بهبود پوشش گیاهی از طریق افزایش فعالیت میکروبی و تجزیه مواد آلی، دسترسی گیاهان به فسفر را افزایش می‌دهد [۷ و ۲۲]. در خصوص پتاسیم نیز، نتایج پژوهش‌های انجام‌شده در ترکیه و ایران بیانگر آن است که عملیات احیای بیولوژیک می‌تواند با بهبود شرایط خاک و استفاده از گونه‌های بومی، موجب افزایش سطح پتاسیم قابل‌دسترس شود [۱ و ۲۱]. افزون بر این، برخی مطالعات تأکید کرده‌اند که احیای بیولوژیک علاوه بر عناصر اصلی، سبب ارتقای ماده آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و pH خاک می‌شود و درنهایت شرایط مطلوب‌تری برای رشد گیاهان فراهم می‌کند [۲۶ و ۱۶]. با توجه به یافته‌های فوق، بررسی تغییرات نیتروژن، فسفر و پتاسیم در خاک‌های تحت



شکل ۱: موقعیت منطقه موردمطالعه

عملیات احیایی می‌تواند دیدگاه روشنی از میزان موفقیت این روش‌ها ارائه دهد. منطقه تل سیاه در جیرفت طی سال‌های اخیر به دلیل تخریب اراضی و کاهش پوشش گیاهی با افت کیفیت خاک مواجه شده است. اجرای پروژه‌های جنگل‌کاری و احیای بیولوژیک در این منطقه فرصتی ارزشمند برای ارزیابی اثرات این اقدامات بر ویژگی‌های شیمیایی خاک فراهم کرده است. بر این اساس، پژوهش حاضر باهدف بررسی تغییرات عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در خاک پس از اجرای عملیات احیای بیولوژیک در منطقه تل سیاه انجام شد تا کارایی این روش‌ها در بهبود کیفیت خاک و افزایش حاصلخیزی آن مشخص شود.

مواد و روش

منطقه مطالعاتی

برای انجام این پژوهش از پروژه جنگل‌کاری تل سیاه در اطراف شهرستان جیرفت نمونه‌برداری خاک انجام گرفت (شکل ۱). منطقه تل سیاه در پنج کیلومتری شرق جیرفت با مساحت حدود ۲۵۳۹ هکتار قرارگرفته است. میانگین بارندگی آن با توجه به آمار ایستگاه هواشناسی جیرفت که نزدیک‌ترین ایستگاه به منطقه است، ۱۷۳/۵ میلی‌متر در سال می‌باشد و دمای سالانه آن، بین ٤- تا ٤٩ درجه سلسیوس متغیر است. از سال ۱۳۹٤ سازمان منابع طبیعی جنوب استان کرمان اقدام به کشت گونه کهور ایرانی[1] در این منطقه کرده و آن را به یک جنگل مصنوعی تبدیل نموده است.

روش پژوهش

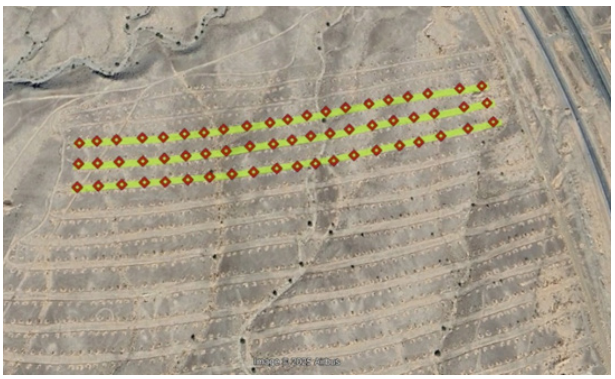
برای نمونه‌برداری از خاک به‌منظور تعیین میزان کربن ذخیره‌شده، ترانسکت‌ها و پلات‌ها در منطقه احیا مستقر شدند. در این راستا، سه ترانسکت ۲۰۰ متری بافاصله ۳۰ متر از یکدیگر به‌صورت تصادفی- سیستماتیک قرار گرفت و سپس ۱۰ پلات سه مترمربعی به‌طور تصادفی در طول هر ترانسکت مستقر شد. در هر پلات، پروفیل زیر تاج پوشش گیاه برای نمونه‌برداری حفر گردید. نمونه‌برداری در عمق‌های صفر تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متری انجام شد. درمجموع، ٦۰ نمونه خاک از هر منطقه (احیا و شاهد) برداشت گردید. موقعیت نقاط پروفیل خاک در روی نقشه موقعیت منطقه در شکل (۲) قابل‌مشاهده می‌باشد. منطقه شاهد به‌گونه‌ای انتخاب شد که ازنظر ویژگی‌های محیطی با منطقه احیا قابل‌مقایسه باشد. به‌طور مشخص، شیب زمین، نوع و بافت خاک، پوشش گیاهی طبیعی و کاربری اراضی در منطقه شاهد با منطقه احیا مشابه بوده است. تنها تفاوت این دو منطقه در اجرای عملیات احیای بیولوژیک بوده و سایر شرایط اولیه یکسان در نظر گرفته‌شده است تا نتایج مقایسه از اعتبار علمی برخوردار باشند. درنهایت، ۱۲۰ نمونه خاک برای انجام آزمایش‌های شیمیایی و فیزیکی به آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشگاه جیرفت منتقل گردید تعیین درصد کربن آلی نمونه‌های خاک به روش والکلی و بالک انجام شد. با داشتن مقدار درصد کربن آلی در واحد وزن خاک

1. Prosopis Cineraria

و وزن مخصوص ظاهری در یک عمق مشخص، می‌توان کربن آلی در واحد سطح را از طریق رابطه زیر محاسبه کرد (۹).

$$Cc(g/m2)= 10000 \times OC(\%)\times Bd\ (g/cm3) \times e\ (cm)$$

در این رابطه، Cc میزان کربن ذخیره‌شده در سطح یک مترمربع، OC درصد کربن آلی در عمق مشخصی از خاک و Bd جرم مخصوص ظاهری برحسب گرم بر سانتی‌متر مکعب و e ضخامت خاک برحسب سانتی‌متر است. شکل (۳) نحوه نمونه‌برداری از خاک در پای نمونه‌های گیاهی را نمایش می‌دهد.



شکل ۲: موقعیت نقاط پروفیل خاک در روی نقشه موقعیت منطقه

شکل ۳: نمونه‌برداری از خاک پای نمونه‌های گیاهی

تجزیه‌وتحلیل داده

برای تجزیه‌وتحلیل اطلاعات گردآوری‌شده از روش‌های آمار توصیفی و آمار استنباطی استفاده شد. در این راستا، آزمون t مستقل و تحلیل واریانس یک‌طرفه (ANOVA) به کمک نرم‌افزار SPSS به کار گرفته شد. استفاده از آمار توصیفی باهدف تلخیص اطلاعات جمع‌آوری‌شده و شناخت بیشتر جامعه موردبررسی صورت پذیرفته است، زیرا هدف آمار توصیفی، توصیف، استخراج نکات اساسی و ترکیب اطلاعات به کمک زبان اعداد است. هدف آمار استنباطی، به‌طورکلی انجام استنباط درباره پارامترهای جامعه از طریق تجزیه‌وتحلیل اطلاعات موجود در داده‌های نمونه و هم‌چنین سنجش عدم اطمینانی است که در این استنباط‌ها وجود دارد. در این راستا فرضیه تحقیق با استفاده از آزمون تحلیل واریانس مورد آزمون قرارگرفته است. به‌منظور مقایسه تأثیر نوع فعالیت‌های احیایی بر میزان کربن آلی خاک، ابتدا شاخص‌های هر نوع فعالیت احیا با منطقه شاهد خود از طریق آزمون تی مستقل بررسی شد. سپس فعالیت احیایی و شاهد با استفاده از تجزیه‌وتحلیل واریانس یک‌طرفه (ANOVA) مورد مقایسه قرار گرفتند. هم‌چنین برای نرمال بودن توزیع داده‌ها از آزمون کولموگروف–اسمیرنوف استفاده شد. تمامی داده‌های جمع‌آوری‌شده با استفاده از نرم‌افزارهای Excel 2013 و SPSS 16 تحلیل گردید.

نتایج

شاخص‌های پراکنش میانگین و انحراف معیار هریک از پارامترهای موردمطالعه در طرح تحقیق، برای دو منطقه شاهد و احیاشده به شرح جدول (۱) بوده است. این اطلاعات در دو عمق نمونه‌برداری ۱۵–۰ و ۳۰–۱۵ سانتی‌متری از سطح خاک جمع‌آوری و ارائه‌شده است.

مطابق با یافته‌های جدول (۱) مشاهده می‌شود که میزان فسفر محاسبه‌شده در منطقه احیاشده و در عمق ۱۵–۰ سانتی‌متری دارای مقدار متوسط ۸/۳٦٤٥ میلی‌گرم در هر کیلوگرم بوده است. مقدار متوسط این عنصر در عمق ۱۵–۰ سانتی‌متری منطقه شاهد برابر با ۳/۹۰۸۰ میلی‌گرم در هر کیلوگرم برآورد شده که مقداری بسیار کم‌تر از منطقه احیاشده است. در عمق ۳۰–۱۵ سانتی‌متری نیز مقدار متوسط فسفر در منطقه احیاشده برابر با ۸/۳٤۳٤ میلی‌گرم بوده درحالی‌که در منطقه شاهد مقدار این عنصر در عمق ۳۰ سانتی‌متری برابر با ۲/٤٦ میلی‌گرم برآورد شده است. هم‌چنین، میزان متوسط نیتروژن در منطقه احیاشده و در عمق‌های ۱۵ و ۳۰ سانتی‌متری به ترتیب برابر با ۰/۰۲۱۸ میلی‌گرم و ۰/۰۱٤۸ میلی‌گرم بوده است، درحالی‌که در منطقه شاهد و در عمق‌های ۱۵ و ۳۰ سانتی‌متری مقدار متوسط این عنصر به ترتیب برابر با ۰/۰۰۵۵ و ۰/۰۰۳۷ به‌دست‌آمده است. مقایسه این مقادیر نشان می‌دهد که مقدار نیتروژن خاک در هر دو عمق ۱۵ و ۳۰ سانتی‌متری، اختلاف قابل‌ملاحظه‌ای در مناطق احیاشده و شاهد داشته است. مقدار متوسط پتاسیم در عمق‌های ۱۵ و ۳۰ سانتی‌متری منطقه احیاشده به‌طور میانگین برابر با ۳/۰۵۲٦ و ۲/۹٦۵۳ میلی‌گرم بوده است. مقدار متوسط این عنصر در همین عمق‌ها، اما در منطقه شاهد به ترتیب برابر با ۳/۹۸۲٦ و ٤/۰۱۷۳ برآورد شده است؛ بنابراین به نظر می‌رسد که مقدار این عنصر در عمق ۱۵ سانتی‌متری اختلاف قابل‌ملاحظه‌ای بین مناطق احیاشده و شاهد نشان نمی‌دهد، درحالی‌که مقدار آن در عمق ۳۰ سانتی‌متری منطقه شاهد بیش‌تر از منطقه احیاشده بوده است.

جدول ۱: ویژگی‌های توصیفی پارامترها در اعماق ۱۵ و ۳۰ سانتی‌متری مناطق شاهد و احیاشده

عمق نمونه‌برداری	منطقه احیاشده		منطقه شاهد	
پارامترها	۱۵-۰ سانتی‌متر	۳۰-۱۵ سانتی‌متر	۱۵-۰ سانتی‌متر	۳۰-۱۵ سانتی‌متر
فسفر (P)	۸/۳۶٤۵ ± ۳/۸۱٦٤	۸/۳٤۳٤ ± ۳/٤۱۹۸	۳/۹۰۸۰ ± ۳/۸۵۹۱	۲/٤٦ ± ۲/۷۱٤۱
نیتروژن (N)	۰/۰۲۱۸ ± ۰/۰۳۲۰	۰/۰۱٤۸ ± ۰/۰۱۸۹	۰/۰۰۵۵ ± ۰/۰۰۳۷	۰/۰۰۳۷ ± ۰/۰۰۳٤
پتاسیم (K)	۳/۰۵۲٦ ± ۹۸/۳۳۱	۲/۹٦۵۳ ± ۹۷/۹۷۹	۳/۹۸۲٦ ± ۱۰۰/۷۹۰	٤/۰۱۷۳ ± ۱۰۷/٤٤۱

به‌منظور آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها، از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف استفاده‌شده است. با توجه به سطوح معناداری به‌دست‌آمده از این آزمون مشاهده می‌شود که مقادیر عناصر فسفر (p-value = ۰/۱۷۷)، پتاسیم (p-value = ۰/۲۹٦) توزیع آن‌ها در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ نرمال تشخیص داده شد، درحالی‌که مقادیر پارامتر نیتروژن با سطوح معناداری کم‌تر از ۰/۰۵ نرمال نبوده است؛ بنابراین فرض نرمال بودن بر روی تمامی پارامترهای مورد آزمون برقرار نبوده است و نشان می‌دهد که در شاخص نیتروژن می‌توان انتظار مقادیر خیلی بزرگ و خیلی کوچک را نیز با احتمال زیاد داشت؛ اما با استناد به قضیه حد مرکزی می‌توان از آزمون تحلیل واریانس برای مقایسه اثر احیا بر روی ویژگی‌های شیمیایی خاک و سایر پارامترها استفاده کرد (جدول ۲).

جدول ۲: آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها

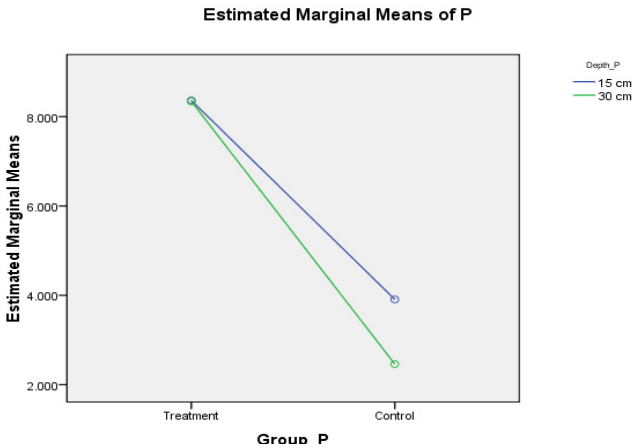
پارامتر	آماره KS[1]	سطح معناداری
فسفر (P)	۱/۱۰۱	۰/۱۷۷
نیتروژن (N)	۳/۳۸۲	۰/۰۰۰
پتاسیم (K)	۰/۹۷۷	۰/۲۹٦

در راستای آزمون اثر احیای بیولوژیک بر میزان فسفر خاک، از آزمون تحلیل واریانس دوطرفه استفاده‌شده که در آن، مقدار متوسط فسفر در سطوح فاکتورهای منطقه و عمق خاک مورد مقایسه قرارگرفته است. با توجه به نتایج جدول (۳)، مشاهده می‌شود که سطح معناداری آزمون تحلیل واریانس برای اثر احیای بیولوژیک بر میزان فسفر خاک، کوچک‌تر از خطای ۰/۰۵ به‌دست‌آمده (p-value = ۰/۰۰۰) و نشان می‌دهد که مقادیر فسفر در بین منطقه احیاشده و منطقه شاهد اختلاف معناداری داشته است. درحالی‌که سطح معناداری برای اثر عمق بزرگ‌تر از خطای ۰/۰۵ به‌دست‌آمده (p-value = ۰/۲۵۱) و نشان می‌دهد که میزان فسفر در عمق‌های ۱۵ و ۳۰ سانتی‌متری کل مناطق موردمطالعه اختلاف معناداری نداشته است. هم‌چنین، اثر متقابل عمق و اثر احیا با سطح معناداری بزرگ‌تر از ۰/۰۵ (p-value = ۰/۲٦۵)، نشان می‌دهد که اختلاف معناداری بین مقدار فسفر خاک در بین عمق‌های متفاوت مناطق مختلف، وجود ندارد. به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت که احیای بیولوژیک، تأثیر معناداری بر میزان فسفر خاک داشته است. با توجه به مقادیر میانگین فسفر در مناطق موردمطالعه، به نظر می‌رسد که احیای بیولوژیک موجب افزایش فسفر خاک در هر دو عمق ۱۵ و ۳۰ سانتی‌متری شده است. نمودار (۱)، مقادیر متوسط این شاخص را در بین مناطق موردمطالعه و عمق‌های مختلف نشان می‌دهد. هم‌چنین نمودار (۲) مقادیر این شاخص را به‌صورت هیستوگرام (نمودار ستونی) در دو منطقه احیاشده و شاهد در عمق‌های ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متر نشان می‌دهد که مقدار فسفر در منطقه احیاشده در هر دو عمق بیش‌تر از منطقه شاهد است. بیش‌ترین مقدار فسفر در عمق ۱۵-۰ سانتی‌متر در منطقه احیاشده مشاهده شد که این افزایش می‌تواند ناشی از افزایش مواد آلی، بقایای گیاهی و فعالیت‌های زیستی سطح خاک درنتیجه عملیات احیای بیولوژیک باشد. در مقابل، منطقه شاهد دارای مقادیر پایین‌تری از فسفر است که احتمالاً به دلیل کاهش پوشش گیاهی و فرسایش مواد مغذی سطحی خاک است. این هیستوگرام بیانگر تأثیر مثبت احیای بیولوژیک بر بهبود وضعیت تغذیه‌ای خاک ازنظر فسفر است.

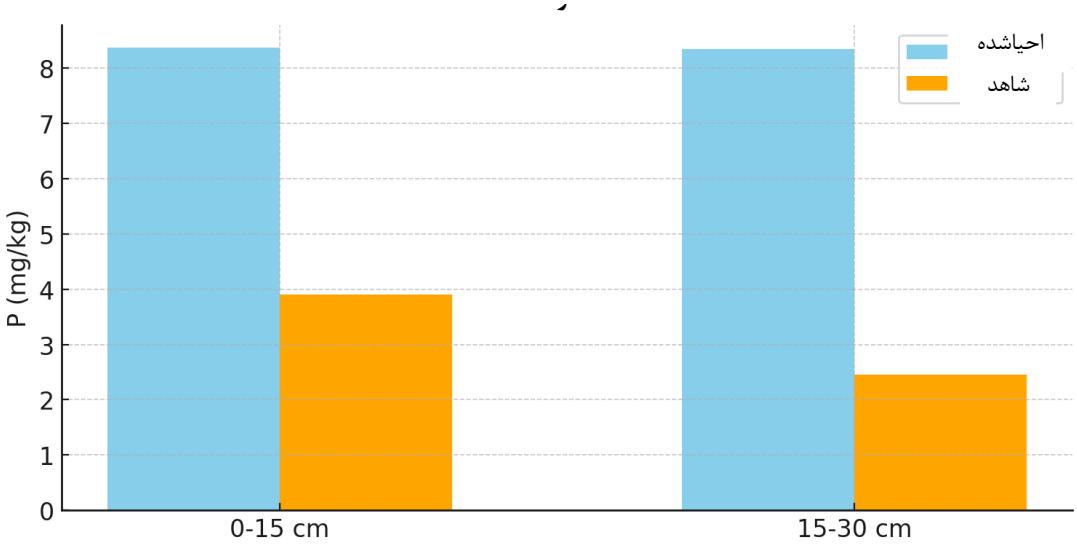
بر اساس نتایج جدول (٤)، سطح معناداری آزمون تحلیل واریانس برای اثر احیای بیولوژیک بر نیتروژن خاک کم‌تر از ۰/۰۵ به دست آمد (p-value = ۰/۰۰۰)؛ بنابراین، تفاوت معناداری میان نیتروژن در

جدول ۳: آزمون تحلیل واریانس فسفر در مناطق و عمق‌های مختلف

منبع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	آماره F	معناداری
مقدار ثابت	۳۹۹۱/۵۵٤	۱	۳۲۸/۳۹۰	۰/۰۰۰
احیای بیولوژیک	۸۰۱/٤۰۵	۱	٦۵/۹۳۳	۰/۰۰۰
عمق نمونه‌برداری	۱٦/۱۷۹	۱	۱/۳۳۱	۰/۲۵۱
احیا × عمق	۱۵/۲٦٤	۱	۱/۲۵٦	۰/۲٦۵
خطا	۱٤۰۹/۹۷۲	۱۱٦		
کل	٦۲۳۷/٤۰۹	۱۲۰		



نمودار ۱: مقادیر میانگین فسفر در مناطق و عمق‌های مختلف



نمودار ۲: مقایسه میزان فسفر (P) خاک در دو منطقه احیاشده و شاهد در دو عمق ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متر

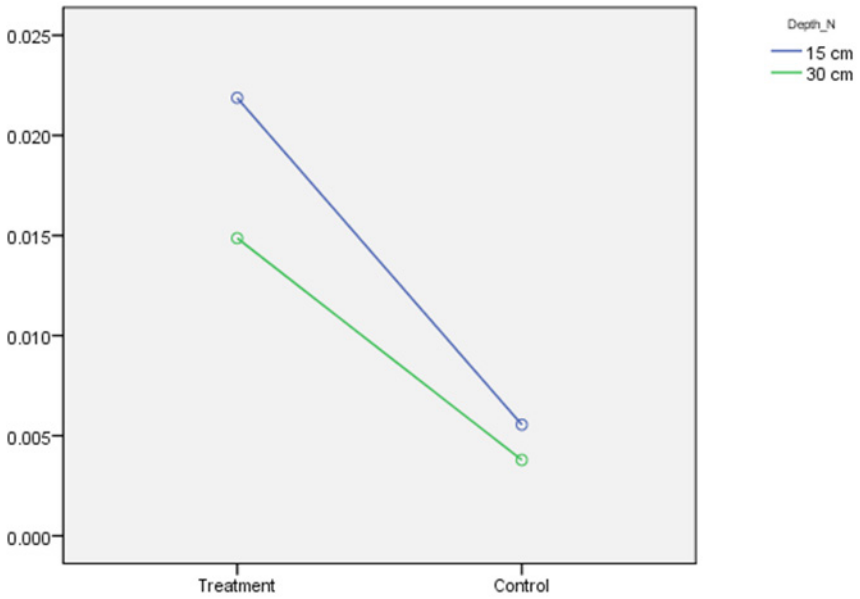
منطقه احیاشده و شاهد وجود دارد. در مقابل، سطح معناداری برای اثر عمق بیش‌تر از ۰/۰۵ بود (p-value = ۰/۰۰۲) که نشان می‌دهد اختلافی معنادار در میزان نیتروژن بین عمق‌های ۱۵ و ۳۰ سانتی‌متری مشاهده نشده است. هم‌چنین، اثر متقابل عمق و احیا نیز معنادار نبود (p-value = ۰/۲٤٤).

به‌طورکلی می‌توان نتیجه گرفت که احیای بیولوژیک بر افزایش نیتروژن خاک اثرگذار بوده است. مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که میزان نیتروژن در منطقه احیاشده، در هر دو عمق ۱۵ و ۳۰ سانتی‌متری بیش‌تر از منطقه شاهد است (نمودار ۳). علاوه بر این، هیستوگرام نیتروژن (نمودار ٤) نیز این روند را تأیید می‌کند. افزایش نیتروژن در منطقه احیاشده احتمالاً ناشی از تجزیه بقایای گیاهی و افزایش ماده آلی خاک بوده است. در مقابل، مقادیر پایین نیتروژن در منطقه شاهد می‌تواند ناشی از کاهش فعالیت زیستی و افت حاصلخیزی خاک باشد.

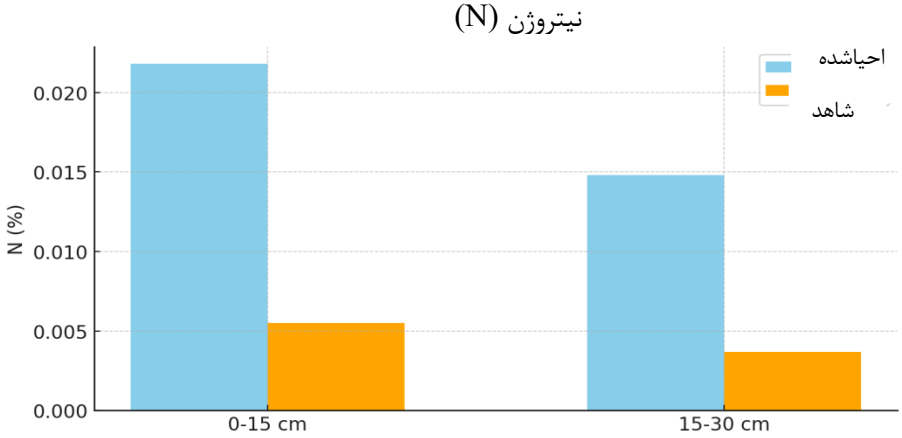
با توجه به نتایج جدول (۵)، مشاهده می‌شود که سطح معناداری آزمون تحلیل واریانس برای اثر احیای بیولوژیک بر میزان پتاسیم خاک، کوچک‌تر از خطای ۰/۰۵ به‌دست‌آمده (p-value = ۰/۰۰۰)

جدول ٤: آزمون تحلیل واریانس نیتروژن در مناطق و عمق‌های مختلف

منبع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	آماره F	معناداری
مقدار ثابت	۰/۰۱٦	۱	٤٥/۷۸۳	۰/۰۰۰
احیای بیولوژیک	۰/۰۰٦	۱	۱٦/۱۹۱	۰/۰۰۰
عمق نمونه‌برداری	۰/۰۰۱	۱	۱/٦٦۰	۰/۲۰۰
احیا × عمق	۰/۰۰۰۱	۱	۰/۵۹٤	۰/٤٤۲
خطا	۰/۰٤۲	۱۱۸		
کل	۰/۰٦٤	۱۲۲		



نمودار ۳: نمودار مقادیر میانگین نیتروژن در مناطق و عمق‌های مختلف



نمودار ٤: مقایسه میزان نیتروژن (N) خاک در دو منطقه احیاشده و شاهد در دو عمق ۱۵–۰ و ۳۰–۱۵ سانتی‌متر

و نشان می‌دهد که مقادیر پتاسیم در بین منطقه احیاشده و منطقه شاهد اختلاف معناداری داشته است. سطح معناداری برای اثر عمق بزرگ‌تر از خطای ۰/۰۵ به‌دست‌آمده (p-value = ۰/۸۸۷) و نشان می‌دهد که میزان پتاسیم در عمق‌های ۱۵ و ۳۰ سانتی‌متری دو منطقه موردمطالعه اختلاف معناداری نداشته است. هم‌چنین، اثر متقابل عمق و اثر احیا با سطح معناداری بزرگ‌تر از ۰/۰۵ (۰/۷٤۲ = p-value)، نشان می‌دهد که اختلاف معناداری بین مقدار پتاسیم خاک در بین عمق‌های متفاوت مناطق مختلف، وجود ندارد. با توجه به این نتایج می‌توان اظهار نمود که احیای بیولوژیک، تأثیر معناداری بر میزان پتاسیم خاک داشته است و با توجه به مقادیر میانگین پتاسیم در مناطق موردمطالعه، به نظر می‌رسد که احیای بیولوژیک موجب کاهش پتاسیم خاک در هر دو عمق ۱۵ و ۳۰ سانتی‌متری شده است.

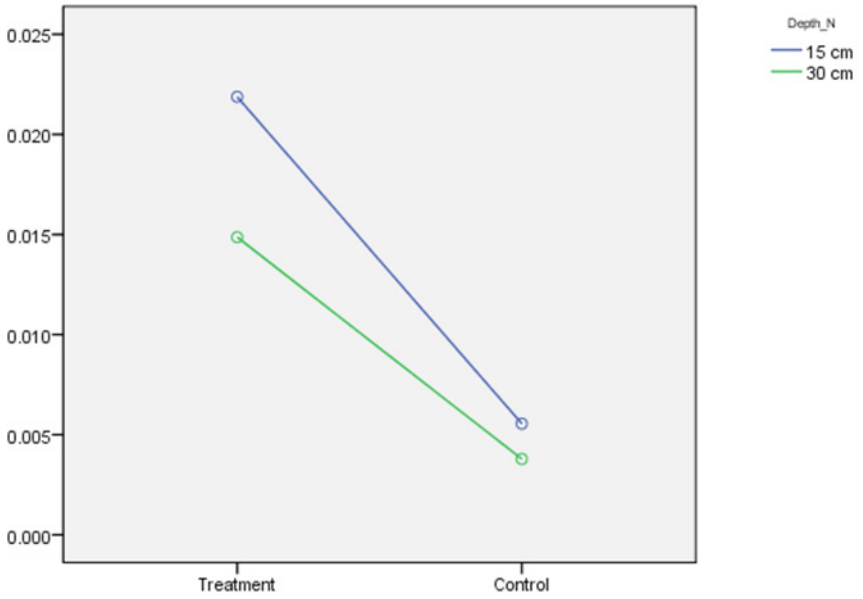
نمودار (۵)، مقادیر متوسط این شاخص را در بین مناطق موردمطالعه و عمق‌های مختلف نشان می‌دهد. هم‌چنین نمودار هیستوگرام پتاسیم (٦) نشان می‌دهد که مقدار پتاسیم در منطقه شاهد در هر دو عمق کمی بیش‌تر از منطقه احیاشده است. این اختلاف می‌تواند به ویژگی‌های اولیه خاک یا شست‌وشوی کم‌تر پتاسیم در منطقه شاهد مرتبط باشد. بااین‌حال، تفاوت‌ها چندان زیاد نیستند و به نظر می‌رسد که احیای بیولوژیک تأثیر مشخصی بر میزان پتاسیم نداشته است.

بحث و نتیجه‌گیری

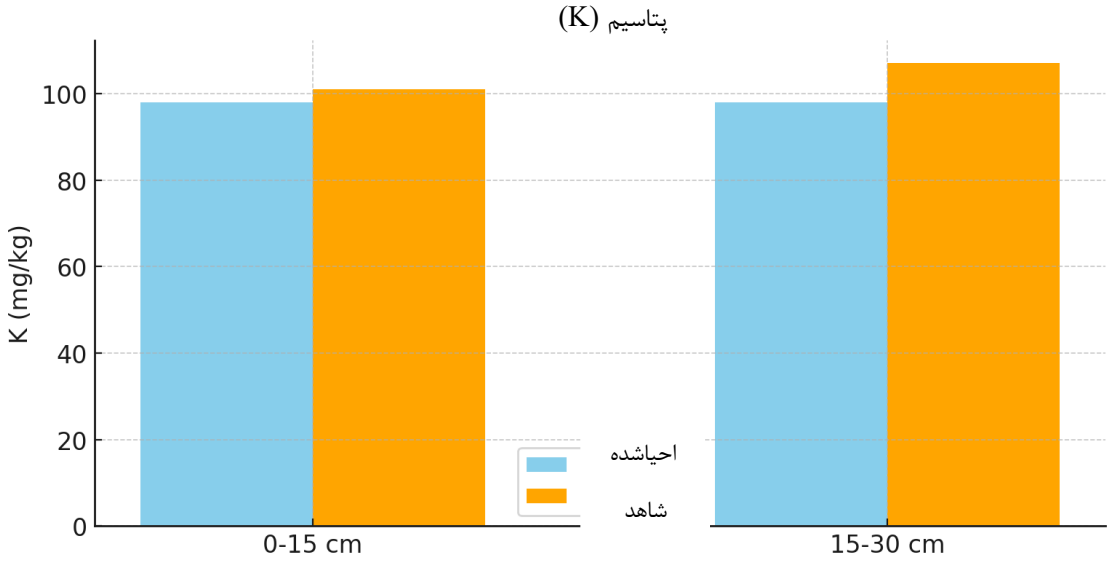
نتایج نشان داد که احیای بیولوژیک منطقه به افزایش معنادار فسفر خاک منجر شده است. حضور بیش‌تر عنصر فسفر نسبت به منطقه

جدول ۵: آزمون تحلیل واریانس پتاسیم در مناطق و عمق‌های مختلف

منبع تغییر	مجموع مربعات	درجه آزادی	آماره F	معناداری
مقدار ثابت	۱/٤۷ ×۱۰^{۷}	۱	۱/٤۳۹ ×۱۰^{۳}	۰/۰۰۰
احیای بیولوژیک	۲۹٤٦۲٤/۳	۱	۲۸/۷٦٤	۰/۰۰۰
عمق نمونه‌برداری	۲۰۸/۰۳۳	۱	۰/۰۲۰	۰/۸۸۷
احیا × عمق	۱۱۱٦/۳۰۰	۱	۰/۱۰۹	۰/۷٤۲
خطا	۱۱۸۸۱۷۵/۰٦۷	۱۱٦		
کل	۱/٦۲۲ ×۱۰^{۷}	۱۲۰		



نمودار ۵: مقادیر میانگین نیتروژن در مناطق و عمق‌های مختلف



نمودار ٦: مقایسه میزان پتاسیم (K) خاک در دو منطقه احیاشده و شاهد در دو عمق ۱۵–۰ و ۳۰–۱۵ سانتی‌متر

شاهد را می‌توان این‌گونه تبیین کرد که با افزایش بقایای گیاهی، مقدار ماده آلی خاک افزایش می‌یابد. افزایش هوموس در خاک موجب ترکیب آن با فسفر غیرقابل جذب و تشکیل کمپلکس‌های آلی مانند فسفوهومیک می‌شود که جذب‌پذیری بالاتری دارند. هم‌چنین، هوموس به‌عنوان یک آنیون توسط ذرات رسی جذب‌شده و فسفات تبادلی آن آزاد می‌شود که این فرآیند نیز می‌تواند عامل افزایش فسفر باشد [۱۵]. پس‌ازاین تحلیل، می‌توان گفت که یافته حاضر با نتایج پژوهش فرهی و همکاران [۵] در منطقه نیاتک سیستان همخوانی دارد. آن‌ها گزارش کردند که در خاک تحت پوشش درختچه گز، میزان نیتروژن، فسفر و ماده آلی در مقایسه با منطقه شاهد تفاوت معناداری دارد. این یافته‌ها هم‌چنین با پژوهش‌های چراغیان و همکاران [٤]، مکوریا و همکاران [۱۰]، تسما و همکاران [۱۸] و مفیدی چلان [۱۱] نیز همخوان است. جمع‌بندی نتایج پژوهش بازگیر و همکاران [۳] که به بررسی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی درخت کنار پرداخته بودند، نشان داد که افزایش ماده آلی خاک، همراه با افزایش کربن، نیتروژن و زی‌توده میکروبی، به بهبود شاخص‌های سلامت و کیفیت خاک منجر می‌شود.

نتایج هم‌چنین نشان داد که احیای بیولوژیک منطقه سبب افزایش معنی‌داری نیتروژن خاک شده است. این مسئله را می‌توان به توانایی گونه‌های به‌کاررفته در عملیات احیا نسبت داد. گونه کهور، به‌ویژه به‌عنوان یک‌گونه بقولی تثبیت‌کننده نیتروژن، توانایی همزیستی با باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و بازگرداندن نیتروژن لاشبرگی به خاک را دارد. این فرایندها موجب افزایش فعالیت میکروبی و بهبود چرخه نیتروژن در خاک می‌شوند؛ بنابراین افزایش نیتروژن خاک در منطقه احیاشده قابل‌انتظار بوده است. در مقایسه، این یافته با پژوهش جعفری و همکاران [٦] که تأثیر یونجه‌کاری بر خصوصیات خاک را بررسی کردند، منطبق است اما بامطالعه نصرتی و همکاران [۱۲] سازگار نیست. شیونگ و همکاران [۲۱] نیز بیان کردند که گونه‌های تثبیت‌کننده نیتروژن به دلیل داشتن مقادیر بالای نیتروژن لاشبرگی و پتانسیل بالای همزیستی ریشه با باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، فعالیت میکروبی خاک را افزایش داده و موجب تثبیت بیش‌تر نیتروژن می‌شوند. درمجموع، به نظر می‌رسد که احیای بیولوژیک موجب افزایش معنادار نیتروژن در هر دو عمق ۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متری خاک منطقه تل سیاه شده است.

در خصوص پتاسیم، نتایج نشان داد که در هر دو عمق نمونه‌برداری (۱۵-۰ و ۳۰-۱۵ سانتی‌متر)، مقادیر پتاسیم تبادلی در منطقه شاهد کمی بالاتر از منطقه احیاشده بود. گرچه این اختلاف ازنظر عددی قابل‌توجه است، اما ازنظر آماری معنی‌دار نبوده و نمی‌توان آن را اثر مستقیم عملیات احیای بیولوژیک دانست. دلیل این امر را می‌توان در نقش پویای پتاسیم در خاک جست‌وجو کرد. پتاسیم به دلیل تحرک نسبی بالا تحت تأثیر عواملی همچون شست‌وشو، جذب گیاهی و تبادل یونی قرار می‌گیرد و می‌تواند به‌سرعت از پروفیل خاک خارج یا به فرم‌های غیرقابل استفاده تبدیل شود [۲٦]. از سوی دیگر، در شرایط احیا، افزایش ماده آلی و رشد پوشش گیاهی ممکن است باعث مصرف بیش‌تر پتاسیم توسط گیاهان شود، به‌ویژه در لایه‌های سطحی که ریشه‌زایی بیش‌تر اتفاق می‌افتد. در مقابل، در منطقه شاهد که پوشش گیاهی کم‌تری دارد، کاهش برداشت گیاهی می‌تواند موجب باقی‌ماندن پتاسیم در خاک شود. این تحلیل‌ها نشان می‌دهد که تأثیر احیا بر پتاسیم کوتاه‌مدت نبوده و نیاز به بررسی در بازه‌های زمانی طولانی‌تر دارد. نتایج پژوهش‌های پیشین نیز بر همین موضوع تأکید داشته‌اند و نشان داده‌اند که اثرات احیا بر پتاسیم در کوتاه‌مدت محسوس نیست و بیش‌تر در بلندمدت خود را نشان می‌دهد [۲٤].

به‌طورکلی، نتایج تحقیق حاضر نشان داد که عملیات احیای بیولوژیک توانسته است تأثیر مثبت و معناداری بر دو عنصر اصلی نیتروژن و فسفر در خاک منطقه تل سیاه بگذارد، اما اثر آن بر پتاسیم چندان آشکار نبوده و به عوامل محیطی و چرخه پویای این عنصر وابسته است. در جمع‌بندی می‌توان گفت که تقویت پوشش گیاهی و استفاده از گونه‌های تثبیت‌کننده نیتروژن در عملیات احیای بیولوژیک، راهکاری مؤثر در بهبود کیفیت خاک و افزایش حاصلخیزی آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک است. توصیه می‌شود در مطالعات آینده، اثرات بلندمدت عملیات احیایی بر چرخه عناصر غذایی به‌ویژه پتاسیم بررسی شود تا بتوان برنامه‌ریزی دقیق‌تری برای مدیریت و احیای پایدار اراضی ارائه داد.

منابع

1. Bastida, F., Torres, I. F., Hernández, T., and García, C. 2020. The long-term effect of reforestation on soil microbial communities and organic matter in semiarid degraded soils. Geoderma, 366, 114237.

2. Bastida, F., Torres, I. F., Moreno, J. L., Baldrian, P., Ondoño, S., Ruiz-Navarro, A., Hernández, T., and García, C. 2016. The active microbial diversity drives ecosystem multifunctionality and is physiologically related to carbon availability in Mediterranean semi-arid soils. Molecular Ecology, 25(18), 4660–4673.

3. Bazgir, M., Norouzi, A., and Maghsoudi, Z. 2019. Study of physical, chemical and biological properties of soil under Ziziphus spina-christi in Izeh region. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 27(2), 232–243. (In Persian)

4. Cheraghiyan, A., Mehrabi, A., and Karimi, M. 2019. Investigating the effect of vegetation cover on soil chemical properties in arid and semi-arid regions. Iranian Journal of Natural Resources, 72(3), 55–66. (In Persian)

5. Farahi, N., Fallah, J., Ghorbani, B., and Others.

2013. Effect of Tamarix windbreak on soil physical and chemical properties in Neyatak region, Sistan. Journal of Water and Soil Science (Agricultural Sciences and Natural Resources), 17(65), 167–176. (In Persian)

6. Jafari, M., and Tavili, A. 2015. Rehabilitation of drylands. Tehran: University of Tehran Press. (In Persian)

7. Kazemi, S., Jafari, M., and Mohammadi, M. H. 2021. Effects of afforestation with Pinus radiata and Quercus brantii on soil fertility in semi-arid ecosystems of Iran. Catena, 200, 105184.

8. Lal, R. 2015. Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation. Sustainability, 7(5), 5875–5895.

9. Mesdaghi, M. 2003. Rangeland management in Iran. Mashhad, Iran: Astan Quds Razavi Publications. (In Persian)

10. Mekuria, W., Veldkamp, E., Haile, M., Nyssen, J., Muys, B., and Gebrehiwot, K. 2007. Effectiveness of exclosures to restore degraded soils as a result of overgrazing in Tigray, Ethiopia. Journal of Arid Environments, 69: 270-284.

11. Mofidi Chelan, M. 2011. The effect of afforestation on soil fertility improvement in degraded lands of Fars Province (M.Sc. thesis). Shiraz University, Faculty of Natural Resources and Desert Studies. (In Persian)

12. Nosrati, K., Mohammadi, Z., and Nazari Samani, A. 2018. Effect of flood spreading on soil organic carbon storage in Dasht-e Zahab. Journal of Environmental Erosion Research, 4(2), 12–22. (In Persian)

13. Chen, Y., Liu, G., Wang, Y., Xue, B., Xu, Z., Zhao, H. 2024. Changes in Soil Physicochemical Properties and Microbial Communities in Tropical Karst Areas under Different Vegetation Restoration Modes. Forests, 15(7), 1270.

14. Rahman, M. M., Rahman, M. A., Islam, M. A., and Rahman, M. H. 2018. Effects of Acacia and Leucaena plantation on soil properties and carbon sequestration in degraded land of Bangladesh. Forests, Trees and Livelihoods, 27(1), 20–34.

15. Safaeian, S., Dehghani, F., and Taghipour, A. 2009. Effect of organic matter and clay on phosphorus availability in calcareous soils. Iranian Journal of Soil Science, 23(1), 68–76. (In Persian)

16. Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., and Befort, B. L. 2011. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. Proceedings of the National Academy of Sciences, 108(50), 20260–20264.

17. Tilman, D., Reich, P. B., and Isbell, F. 2017. Biodiversity impacts ecosystem productivity as much as resources, disturbance, or herbivory. Nature, 546(7656), 261–264

18. Tessema, Z.K., de Boer, W.F., Baars, R.M.T., and Prins, H.H.T. 2011. Changes in soil nutrients, vegetation structure and herbaceous biomass in response to grazing in a semi-arid savanna of Ethiopia. Journal of Arid Environments, 75: 662-670.

19. Vitousek, P. M., Menge, D. N., Reed, S. C., and Cleveland, C. C. 2010. Biological nitrogen fixation: rates, patterns and ecological controls in terrestrial ecosystems. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 365(1549), 1215–1225.

20. Wang, L., Liu, Y., Han, G., and Zhang, Y. 2022. Afforestation enhances phosphorus availability and soil microbial community in semi-arid China. Science of the Total Environment, 819, 153002.

21. Wang, Y., Zhang, X., Huang, C., and Lu, L. 2022. Soil phosphorus availability alters the correlations between root phosphorus-uptake rates and net photosynthesis of dominant C3 and C4 species in a typical temperate grassland of Northern China. New Phytologist, 233(2), 862–874.

22. Xiong, Y., Xia, H., Li, Z.A., Cai, X.A., and Fu, S. 2008. Impacts of litter and understory removal on soil properties in a subtropical Acacia mangium plantation in China. Plant and Soil. 304: 12. 179–188.

23. Zhang, C., Wang, Y., Pan, Y., and Wang, L. 2019. Effects of reforestation on soil organic matter, nutrient availability and soil enzyme activity in a desertified region of Northern China. Ecological Engineering, 127, 150–157.

24. Zhang, J., Wang, X., Wang, C., and Han, G. 2023. Effects of natural vegetation restoration on soil

25. Zhang, X., Xu, S., Li, C., Zhao, L., Feng, H., Yue, G., and Song, W. 2019. Plant nitrogen acquisition

26. Zörb, C., Senbayram, M., and Peiter, E. 2014. Potassium in agriculture–status and perspectives. Journal of Plant Physiology, 171(9), 656–669.

from inorganic and organic sources in the Tibetan alpine steppe: A study using 15N labeling. Soil Biology and Biochemistry, 136, 107523.

نشریه

ترویج و توسعه آبخیزداری

Extension and Development of Watershed Management

Vol. 13, No. 51, Winter 2026

سال سیزدهم- شماره ۵۱- زمستان ۱۴۰۴

Abstract

Studying the Effect of Biological Reclamation Operations on soil Chemical Properties (Nitrogen, Phosphorus and Potassium) in Jiroft Plantation Forest (Tel Siah)

S. Niknafs Dehghani[1], F. Soleimani Sardoo[2]* and A. Azare[3]

Received: 2025/05/03 Accepted: 2025/12/01

Biological reclamation is considered one of the effective approaches in improving the chemical quality of soil, especially in arid and semi-arid regions. This study was conducted in 1403 with the aim of investigating the effect of biological reclamation operations on the concentration of nitrogen, phosphorus and potassium in the artificial afforestation soil of the Tal Siah area located in Jiroft County, Kerman Province. Soil sampling was carried out from the reclaimed and control areas at two depths and the data were analyzed using the ANOVA statistical test. The results showed that the phosphorus concentration in the reclaimed area at a depth of 0-15 cm was 8.3645 mg/kg and at a depth of 15-30 cm was 8.3434 mg/kg, while these values in the control area were 3.9080 and 2.46 mg/kg, respectively. The amount of nitrogen in the reclaimed area was estimated to be 0.0218 and 0.0148 percent for the two depths, respectively, while it decreased to 0.0055 and 0.0037 percent in the control area. Potassium at a depth of 0-15 cm in the reclaimed area was 3.0526 mg and 3.9826 mg in the control, while at a depth of 15-30 cm, its amount was recorded as 2.9653 mg in the reclaimed area and 4.0173 mg in the control. These findings indicate a positive effect of biological reclamation operations on soil phosphorus and nitrogen, although its effect on potassium was dependent on depth and location.

Keywords: Biological restoration, Soil chemical quality, Afforestation, Jiroft

1. PhD student in Watershed Science and Engineering, Department of Natural Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Kashan University, Iran.

2. Associate Professor, Department of Natural Engineering, Faculty of Natural Resources, Jiroft University, Iran. Author and Supervisor, Email: f.soleimani@ujiroft.ac.ir

3. Associate Professor, Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities, Jiroft University, Iran.