پژوهش و توسعه جنگل
جلد ۱۰، شماره ۲، صفحه ۲۰۳-۱۸۳، (۱۴۰۳)
DOI: https://doi.org/10.30466/jfrd.2023.54798.1680
DOR: https://dorl.net/dor/20.1001.1.24763551.1403.10.2.2.6

مقالهٔ پژوهشی

تغییرات برخی مؤلفه‌های خاک تحت‌تأثیر شدت تنک‌کردن در جنگل‌های مریوان

بهروز فانی[۱]، عباس بانج‌شفیعی*[۲]، مهدی پورهاشمی[۳] و مازیار حیدری[٤]

۱- دانشجوی دکتری مدیریت جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (zanafani@gmail.com)
۲- استاد، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (a.banjshafiei@urmia.ac.ir)
۳- استاد، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. (pourhashemi@rifr-ac.ir)
٤- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران (m.haidari@areeo.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱٤۰۲/۰٤/۲٤ تاریخ پذیرش: ۱٤۰۲/۰٦/۱۲

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: دخالت‌های انسانی و بهره‌برداری شدید از جنگل‌های زاگرس باعث شده که این جنگل‌ها پایداری طبیعی خود را از دست بدهند و به بوم‌سازگان‌های حساس تبدیل شوند. تخریب شدید پوشش گیاهی و فرسایش خاک از نتایج این شرایط است. جنگل‌های شاخه‌زاد به دلیل استفاده بیشتر از مواد معدنی خاک، موجب کاهش حاصلخیزی خاک می‌شوند و در تراکم بالا، توانایی حمایت مناسب از بستر رویشگاه را ندارند. تنک‌کردن می‌تواند به بهبود شرایط و کاهش رقابت بین درختان کمک کند. مدیریت جنگل بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک تأثیر مستقیم و غیرمستقیم دارد. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر تنک‌کردن بر ویژگی‌های خاک در جنگل‌های بلوط زاگرس شمالی انجام شده و تأثیر این عملیات بر مدیریت پرورشی جنگل‌های شاخه‌زاد مورد بررسی قرار گرفته است. ارزیابی اثر عملیات جنگل‌داری بر خدمات اکوسیستم، بخشی از نیازهای علمی مدیریت پایدار جنگل را پاسخ می‌دهد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، اثر شدت‌های مختلف تنک‌کردن بر ویژگی‌های خاک در توده خالص و جوان شاخه‌زاد بلوط (*Quercus brantii*) در جنگل‌های ریخلان مریوان، که نمونه‌ای از جنگل‌های تخریب‌شده زاگرس شمالی است، بررسی شد. این مطالعه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه سطح تنک‌کردن (افزایشی، کاهشی، شاهد) و در دو فاز چهارساله طی هشت سال انجام شد. از هر قطعه نمونه خاک (۳٦ نمونه در هر فاز) از عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری تهیه و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن اندازه‌گیری شد. برای تحلیل اثرات تنک‌کردن بر ویژگی‌های خاک از تجزیه واریانس دوطرفه (GLM) و

آزمون t جفتی برای مقایسه تغییرات بین دو فاز نمونه‌برداری استفاده شد. همچنین با روش‌های چندمتغیره، همبستگی بین متغیرها ارزیابی شد.

یافته‌ها: بررسی اثرات تنک‌کردن بر خصوصیات فیزیکی خاک نشان داد که در سال ۱۳۹۵، درصد شن، سیلت، رس و رطوبت خاک بین تیمارها تفاوت معنی‌داری نداشت. اما پس از هشت سال، تفاوت‌های قابل‌توجهی در درصد شن و رطوبت خاک مشاهده شد. تیمار افزایشی کمترین تغییرات منفی را در ویژگی‌های خاک نسبت به تیمار کاهشی و شاهد داشت. از نظر عناصر شیمیایی، تفاوتی در سال ۱۳۹۵ وجود نداشت، اما پس از هشت سال، تیمار افزایشی بهترین نتایج را در نیتروژن کل، سدیم، آهک، پتاسیم و فسفر قابل‌جذب ارائه داد. تیمار شاهد باعث کاهش رطوبت سطحی خاک شد، در حالی که تیمار کاهشی به دلیل کاهش تاج‌پوشش، رطوبت خاک را کاهش داد. مقدار رس در تیمارهای تنک‌شده کاهش و در تیمار شاهد افزایش جزئی داشت. به‌طور کلی، تیمار افزایشی بهترین نتایج را از نظر خصوصیات فیزیکی و رطوبت خاک نشان داد. در ارتباط با عوامل شیمیایی خاک چنین به‌نظر می‌رسد که درصد ترکیبات کم محلول مانند آهک، کمتر دچار آبشویی می‌شود و گاهی به‌دلیل ازبین‌رفتن ذرات ریزبافت خاک (رس)، درصد نسبی آن در خاک افزوده می‌شود. اما در ارتباط با واکنش خاک pH، ریزش برگ درختان و مقطوعات جست‌های حذف شده ممکن است سبب کاهش اسیدیته خاک شده باشد، گرچه مقدار آهک در هر سه تیمار افزایش داشت و انتظار می‌رفت افزایش pH داشته باشیم؛ اما خاصیت تامپونی خاک مانع از افزایش این عامل شده و در سال‌های بعد مقداری نیز از pH خاک کاسته شد. ضمنا تأثیرات مخرب سدیم روی ساختار خاک در pH بالای خاک بیشتر است و چنین به‌نظر می‌رسد که انجام عملیات تنک‌کردن در اصلاح و حاصل‌خیزی خاک تأثیر مثبتی داشته است. در مورد نیتروژن کل، چنین نتیجه‌گیری می‌شود که حذف تعداد زیادی جست و کاهش سطح تاج‌پوشش موجب افزایش تابش نور خورشید به سطح خاک و کاهش نیترات خاک شده است.

نتیجه‌گیری کلی: عملیات تنک‌کردن بر برخی از شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در درازمدت تأثیر داشت و تنک‌کردن با شدت افزایشی نسبت به تنک‌کردن با شدت کاهشی و شاهد، کمترین تغییرات منفی در شاخص‌های مطلوب خاک جنگلی را به‌همراه داشت.

واژه‌های کلیدی: بلوط، تنک کردن، زاگرس شمالی، شاخه‌زاد، عناصر خاک.

* نویسنده مسئول شمارهٔ تماس: ۰۰۹۸۴۴۳۲۷۷۰۵۵۵+

مقدمه

جنگل‌های شاخه‌زاد بلوط حوزه رویشی زاگرس، به‌دلیل بهره‌برداری بی‌رویه، بیشتر دچار تخریب هستند. جنگل‌نشینان در زاگرس شمالی، به‌خصوص در شهرستان‌های بانه و مریوان و سردشت، وابستگی اقتصادی و اجتماعی زیادی به جنگل دارند. این عامل سبب تغییرات زیادی در شکل و ساختار اصلی جنگل‌ها شده است. نرخ بالای جمعیت جنگل‌نشین و محدود بودن زمین کشاورزی، از دلایل اصلی تشکیل نظام معیشتی وابسته به جنگل شده است که این عامل سبب بهره‌برداری‌های مختلفی از این جنگل‌ها مانند گلازنی، چرای دام، بهره‌برداری از محصولات فرعی، زراعت زیراشکوب و برداشت چوب سوخت شده است (Ghazanfari et al., 2004).

دخالت‌های بی‌رویه انسانی، قطع و بهره‌برداری شدید موجب شده جنگل‌های زاگرس روند طبیعی خود را ازدست‌داده و به بوم‌سازگان‌های حساس تبدیل شده، پایداری خود در برابر آشفتگی‌های محیطی و انسانی را ازدست بدهند. تخریب این جنگل‌ها به‌حدی افزایش‌یافته که علاوه بر نابودی پوشش گیاهی، خاک نیز به‌شدت دچار فرسایش شده است (Zarinkafsh, 2002).

Karamian and Hosseini (2020) بیان کردند که پایداری درازمدت بوم‌سازگان‌های جنگلی به حفظ وضعیت خاک وابسته است، آگاهی از کیفیت خاک‌های جنگلی و بررسی اثرهای فعالیت‌های مختلف انجام‌شده بر ویژگی‌های خاک بسیار مهم بوده، در مدیریت جنگل مؤثر است. تخریب روزافزون جنگل‌های حوزه رویشی زاگرس سبب می‌شود که اهمیت حفظ، نگهداری و احیای این جنگل‌های باارزش بیشتر شود.

خاک و پوشش گیاهی به‌دلیل داشتن روابط دوطرفه شدید، برهم اثرگذار هستند. صفات خاک بسته به تراکم و تنوع پوشش گیاهی می‌تواند متفاوت باشد. ذخیره مواد غذایی و ساختار شیمیایی تولیدشده توسط گونه‌های مختلف گیاهی، سبب ایجاد مدل‌های مختلفی در تجزیه ماده آلی و در نهایت ویژگی‌های خاک می‌شود (Rosseti et al., 2015).

مقدار استفاده از تودهٔ جنگلی و یا تخریب پوشش درختی و درختچه‌ای جنگل می‌تواند تغییرات زیادی را در کوتاه‌مدت و بلندمدت بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بگذارد (Pato et al., 2016).

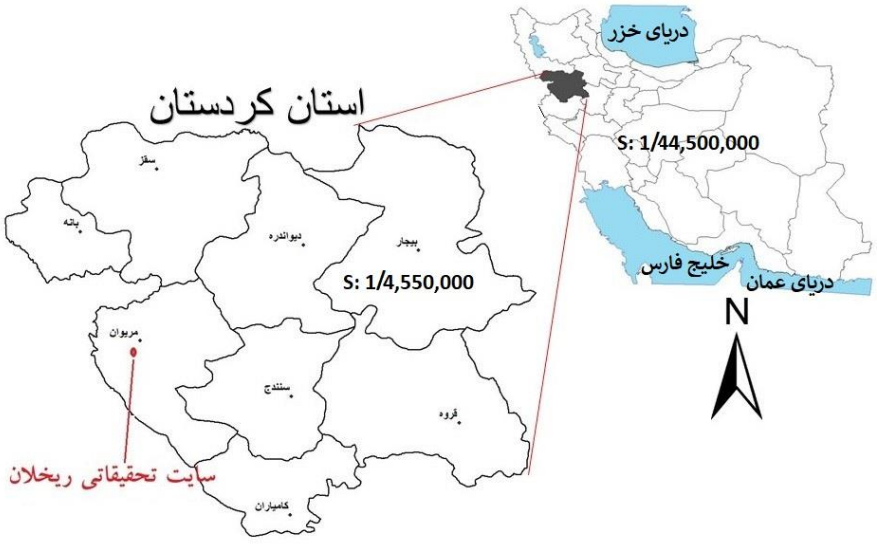
Marvi Mahajer (2006) نشان داد که جنگل‌های شاخه‌زاد باگذشت زمان تولید کمتری داشته، حاصل‌خیزی خاک را کاهش داده، فرسایش ایجاد می‌کنند؛ بنابراین، بهتر است تبدیل به جنگل‌های شاخه و دانه‌زاد یا دانه‌زاد شوند که جنگل‌های پایدارتری هستند. تبدیل تدریجی این جنگل‌ها با عملیات تنک‌کردن انجام می‌شود. Jazirei and Ebrahimi Rastaghi (2004) نیز با تأیید مطالب قبلی نشان داده که جنگل‌های شاخه‌زاد چون بیشینه استفاده را از مواد معدنی خاک می‌کنند، موجب کاهش شدید حاصلخیزی خاک می‌شوند. این توده‌ها در تراکم زیاد و در شرایط مساوی با توده‌های دانه‌زاد از نظر انبوهی، قادر به حمایت مناسب از بستر رویشگاه در مقابل عوامل جوی نیستند؛ بنابراین، تنک‌کردن سبب به‌وجودآمدن رقابت کمتر و شرایط مناسب‌تر می‌شود. Jahandar and Alidoust (2022) اثرهای آتش‌سوزی بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در جنگل‌های ارسباران شهرستان کلیبر را مورد بررسی قرار دادند و نتایج این بررسی نشان داد که ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک‌های جنگلی ارسباران (به‌جز فسفر و پتاسیم) نسبت به ویژگی‌های فیزیکی، بیشتر تحت تأثیر آتش‌سوزی قرار گرفتند و به‌طورکلی حاصل‌خیزی خاک پس از آتش‌سوزی، کاهش یافت. Cheng et al. (2017) اثرهای شدت‌های

مختلف تنک‌کردن (کنترل شده، متوسط و شدید) بر مؤلفه‌های خاک در توده‌های نراد چینی (*Cunninghamia lanceolata* Hook.) در منطقه شرق چین را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در تنک‌کردن شدید، نیتروژن کل و روی در مقابل با تیمار کنترل بیشتر بـود، درحالی‌که مقدار پتاسیم کمتر بود. آنها بیان کردند که تنک‌کردن با شدت متوسط، تأثیر زیادی بـر کربن خاک نمی‌گذارد. Banj-Shafiei et al. (2014) در مناطق جنگلی مریوان و بانه، چنین نتیجه گرفتند که مقدار درصد آهک، شن، رس، pH، مـادهٔ آلی، هدایت الکتریکی، نیتروژن، فسفر در توده‌های کمتر دخالت شده نسبت به توده مورد بهره‌برداری تفاوت معنی‌داری وجود داشت. Zarafshar et al. (2021) در پژوهشی به بررسی اثر عملیات قرق (کمتردخالت‌شده) بر برخی ویژگی‌های خاک در توده‌های گلابی وحشی پرداختند و نتایج نشان داد که اعمال مدیریت قرق در توده‌های جنگلی گلابی وحشی نه‌تنها سبب افزایش اندوخته‌کربن خاک تا بیش از دو برابر شده، بلکه حاصل‌خیزی آن را بهبود داده است. Vatani et al. (2021) در تحقیقی بر ویژگی‌های فیزیک وشیمیایی خاک، ۲۰ سال پس از جنگلکاری در جنگل‌های شمال ایران چنین نتیجه گرفتند که نوع گونهٔ درختی بر ویژگی‌های فیزیکی وشیمیایی خاک اثرگذار است. Khodakarami et al. (2016) و Mehdifar et al. (2016) پژوهشی در استان کرمانشاه و لرستان انجام دادند که تیمارهای مورداستفاده شامل تنک‌کردن با شدت سبک، متوسط و سنگین بود و به‌ترتیب ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد از مقدار سطح مقطع (در نیم‌متری یقه) جست‌گروه‌ها تنک شدند و تیمار چهارم به‌عنوان کنترل انتخاب شد. تأثیر تنک‌کردن بر روی رویش و اجزای درختان شاخه‌زاد بلوط بررسی شد.

در پژوهش‌های انجام‌شده بررسی خاک و تأثیر عملیات تنک‌کردن بر روی مؤلفه‌های خاک مورد بررسی قرار نگرفت. از نوآوری تحقیق پیش‌رو می‌توان به اثرهای تنک‌کردن بر روی برخی از مولفه‌های خاک اشاره کرد. نوع مدیریت جنگل به‌طور مستقیم و غیرمستقیم از طریق تغییر یا تخریب پوشش گیاهی بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اثر خواهد در این پژوهش، برای راستی‌آزمایی فرضیه اثرپذیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک سطحی از عملیات تنک‌کردن، مؤلفه‌های خاک در قطعات تنک شده و شاهد مورد بررسی میدانی و آزمایشگاهی قرار گرفت. به‌کارگیری نتایج فرضیه‌های مطرح شده، در مدیریت پرورشی جنگل‌های شاخه‌زاد بلوط زاگرس شمالی هدف اصلی این پژوهش است. لازم به‌ذکر است بررسی اثرهای متقابل خاک و درختان به‌تنهایی نمی‌تواند شیوه مدیریت پرورشی را تعیین کند اما می‌تواند بخشی از نیازها و سؤالات علمی در به‌کارگیری شیوه‌های موردنظر را پاسخ دهد زیرا یکی از جنبه‌های مهم مدیریت پایدار جنگل، ارزیابی تأثیر عملیات جنگل بر خدمات اکوسیستم است.

مواد و روش‌ها

محل پژوهش در دامنه جنگلی مشرف به نهالستان ریخلان مریوان در ارتفاع ۱۳۸۰–۱۳۵۰ متر از سطح دریا و جهت دامنه شرقی و جنوب شرقی قرار دارد (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت رویشگاه تحقیقاتی در نقشه استان و شهرستان مریوان

Figure 1. Location of the research area on the map

تیپ جنگلی منطقه اجرای طرح با معیار تراکم سطح تاج پوشش‌گونه‌ها، تیپ برودار (*Quercus brantii*) بوده که ۹۱/٦ درصد از سطح تاج‌پوشش عرصه را به‌خود اختصاص داده است. گونه‌های درختی و درختچه‌ای همراه آن شامل مازودار (*Q. infectoria* G.Olivier) با ۵/۸ درصد و زالزاالک (*Crataegus pseudoheterophylla* Pojark.) با ۲/۵ درصد و بادام وحشی (*Amygdalus lycioides* Spach) و آلبالو وحشی (*Cerasus microcarpa* Boiss.) با کمتر از ۰/۱ درصد است (داده‌های آماربرداری یک سال پیش از اجرای طرح). توده مورد بررسی جوان و همسال بوده که در اثر دخالت و تخریب عرصه از طریق پاجوش و ریشه جوش تجدید حیات کرده است.

این پژوهش با استفاده از تنک‌کردن با شدت‌های مختلف در بازه زمانی ١٦ساله (چهار فاز چهارساله) به‌دنبال تغییر تدریجی در ساختار توده جنگلی شاخه‌زاد به شاخه و دانه‌زاد است. تاکنون دو فاز (فاز اول ۹۵-۱۳۹۱ و فاز دوم ۹۹-۱۳۹۵) از چهار فاز آن تکمیل شده است.

طرح پژوهشی پیش‌رو در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی با تیمار شدت تنک‌کردن در سه سطح و سه تکرار در نه قطعه ٦٢٥ مترمربعی اجرا شد. تیمارها شامل تنک‌کردن با شدت افزایشی، تنک-کردن با شدت کاهشی و تیمار شاهد (کنترل) که هیچ‌گونه دخالتی در آن انجام نشد. تیمار تنک‌کردن در فاز دوم به‌دلیل اینکه در ادامه فاز اول و همان قطعات اجرا شد، بنابراین می‌توان تیمار فاز دوم را ترکیبی از شدت برش فاز اول و دوم در نظر گرفت (جدول ۱).

برای بررسی اثر شدت‌های مختلف تنک‌کردن بر روی بستر رویشگاه برخی مؤلفه‌های خاک شامل شن (Sand)، رس (Clay)، سیلت (Silt)، رطوبت خاک (Soil moisture)، درصد اشباع (S)، هدایت الکتریکی (EC)، اسیدیته (pH)، نیتروژن کل (N_{tot})، سدیم (Na)، آهک (T.N.V)، پتاسیم قابل‌جذب (K_{av})، فسفر قابل‌جذب (P_{av}) و کربن آلی (OC) در پایان فاز اول (سال ۱۳۹۵) و پایان فاز دوم (سال ۱۳۹۹) مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۱- شدت تنک‌کردن در فازها و تیمارهای مختلف

Table 1. Intensity of Thinning in different Phases and Treatments

تیمار شدت تنک‌کردن Thinning treatments	فاز اول (۹۵ – ۱۳۹۱) The second phase (2013-2017)	فاز دوم (۹۹ – ۱۳۹۵) The first phase (2017-2021)	جمع تنک‌کردن دو فاز Total two-phase thinning
شاهد Control	0%	0%	0%
افزایشی Ascending	قطع ۱۸درصد جست‌های موجود Cut off 18% of existing sprouts	قطع ۲۲ درصد جست‌های باقی‌مانده Cut off 22% of existing sprouts	(18+22)%
کاهشی Descending	قطع ۳۲ درصد جست‌های موجود Cut off 32% of existing sprouts	قطع ۲۸ درصد جست‌های باقی‌مانده Cut off 28% of existing sprouts	(32+28)%

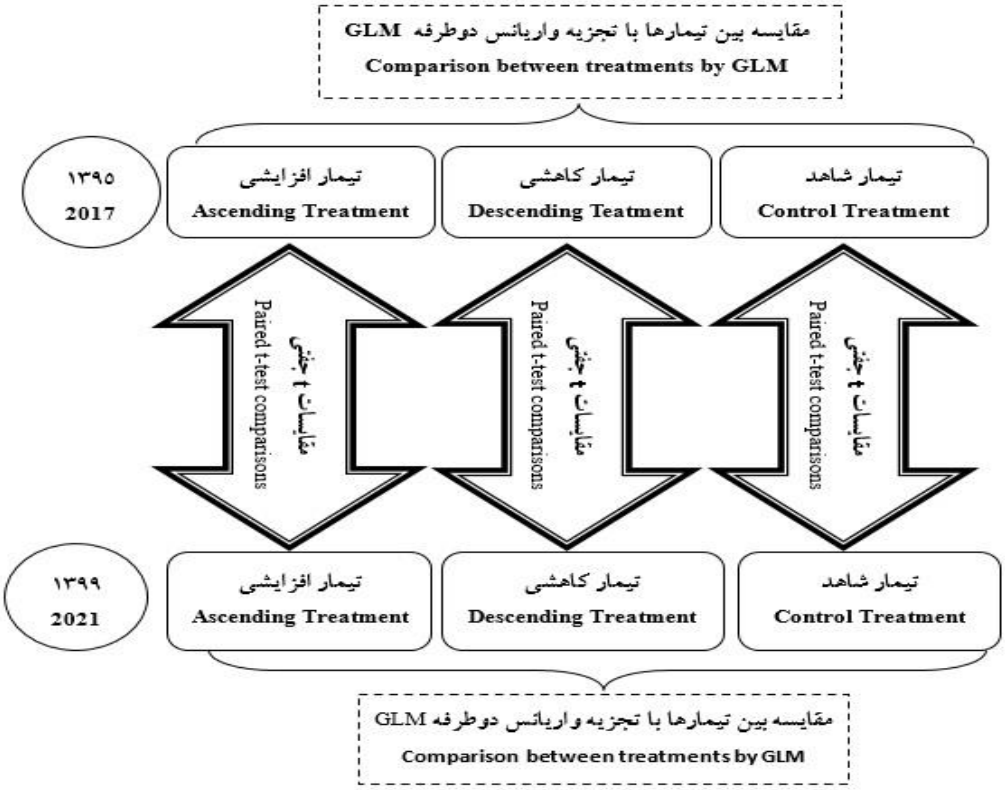
برای اندازه‌گیری نیتروژن کل از روش کجلدال (Kjeldahl, 1883)، هدایت الکتریکی با دستگاه کانداکتیوی‌متر و اسیدیته با دستگاه پی‌اچ متر و درصد اشباع با روش تهیه گل اشباع (Richards, 1954) و برای محاسبه آهک به‌روش تیتراسیون خنثی‌کردن با اسید (Allison and Modie, 1965) انجام شده است. برای محاسبه کربن آلی از روش والکلی بلک (Walkley and Black, 1934) و فسفر قابل‌جذب از روش اولسن (Olsen and Sommers, 1982) و برای محاسبه پتاسیم قابل‌جذب نیز از روش استات آمونیوم (Rhoades, 1982) استفاده شد. برای درصد رطوبت وزنی نیز از روش توزین و برای بافت خاک روش هیدرومتری (Gavlack et al., 2005) استفاده شد.

باتوجه‌به دخالت عوامل مربوط به درختان و رویشگاه بر روی صفات خاک، در این آزمایش از تجزیه واریانس دوطرفه (GLM) برای بررسی اثر تیمار تنک‌کردن بر روی مؤلفه‌های خاک مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. برای بررسی روند تغییرات در فاصله اولین (سال ۹۵) و دومین نمونه‌برداری خاک (سال ۹۹) در تیمارهای آزمایشی با آزمون t جفتی مقایسه بین تمام ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک انجام شد که در پایان، با استفاده از روش‌های چندمتغیره مثل همبستگی‌ها، تأثیر متغیرهای موردنظر بر همدیگر نیز برآورد و تحلیل شد (شکل ۲).

نتایج

خصوصیات فیزیکی خاک

آنالیز نمونه‌های برداشت‌شده از خاک عرصه در سال ابتدای پژوهش، نشان داد که خاک دارای دانه‌های درشت با بافت متوسط شنی لومی و پایداری ذرات آن در وضعیت خشک، شکننده و سست و در وضعیت خیس چسبنده بود. هدایت الکتریکی خاک ۰/۶۲ دسی‌زیمنس بر متر و pH خاک ۶/۹ و درصد کربن آلی ۰/۹۸ درصد و فسفر و پتاس در حد نرمال بود. در نتیجه از نظر وضعیت حاصل‌خیزی و نفوذپذیری با درنظرگرفتن بافت خاک کیفیت به‌نسبت مناسبی داشت.



شکل ۲- نمای آنالیز بین تیمارها و بین سال‌های نمونه‌گیری

Figure 2. View of the analysis between treatments and between sampling years

بررسی اثرهای تیمارها بر خصوصیات خاک فیزیکی با استفاده از تجزیه واریانس دوطرفه GLM نشان داد که درصد ذرات شن، سیلت، رس و رطوبت خاک، درصد اشباع در سال ۱۳۹۵ بین تیمارها، هیچ تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۲). با اجرای برش‌های فاز دوم در ادامه برش‌های قبلی و باگذشت هشت سال از شروع عملیات تنک‌کردن، در رابطه با ذرات شن و رطوبت خاک تفاوت معنی‌داری بین تیمارها مشاهده شد (جدول ۳ و شکل ۳).

جدول ۲- تحلیل آماری تجزیه واریانس دوطرفه GLM صفات فیزیکی خاک (۱۳۹۵)

Table 2. Statistical analysis of the General linear model (GLM) of soil physical attributes (2017)

Sig.	F	میانگین مربعات MS	مجموع مربعات SS	درجه آزادی df	منبع تغییرات Source of changes	
0.345 ns	1.20	42.39	84.8	2	اثر اصلی تیمارتنک‌کردن The main effect of treatment	شن (درصد) Sand (%)
0.071	3.60	127.06	254.1	2	اثر اصلی بلوک (تکرار) The main effect of the block	
0.279	1.51	53.22	212.9	4	اثرهای متقابل (تیمار و بلوک) Interaction effects (treatment and block)	
		35.33	318.0	9	خطا error	

ادامهٔ جدول ۲.

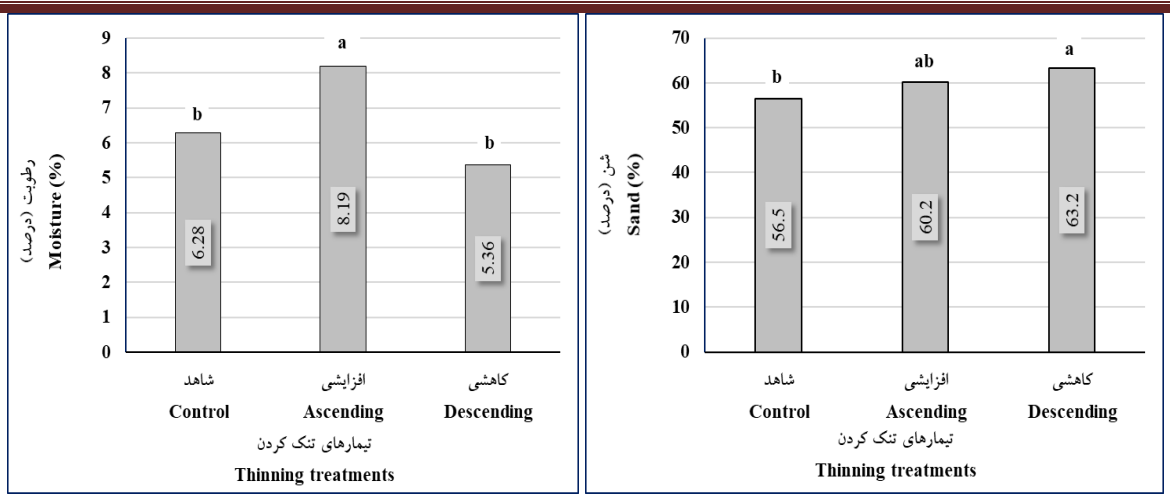
Continued table 2.

Sig.	F	میانگین مربعات MS	مجموع مربعات SS	df	منبع تغییرات Source of changes	
0.728 ns	0.33	7.39	14.8	2	اثر اصلی تیمارتنک‌کردن The main effect of treatment	سیلت (درصد) Silt (%)
0.661	0.43	9.72	19.4	2	اثر اصلی بلوک (تکرار) The main effect of the block	
0.262	1.58	35.39	141.6	4	اثرهای متقابل (تیمار و بلوک) Interaction effects (treatment and block)	
		24.44	202.0	9	خطا error	
0.069 ns	3.66	78.00	156.0	2	اثر اصلی تیمارتنک‌کردن The main effect of treatment	رس (درصد) Clay (%)
0.010	8.00	170.67	341.3	2	اثر اصلی بلوک (تکرار) The main effect of the block	
0.016	5.56	118.67	474.7	4	اثرهای متقابل (تیمار و بلوک) Interaction effects (treatment and block)	
		21.33	192.0	9	خطا error	
0.839 ns	0.18	0.48	0.96	2	اثر اصلی تیمارتنک‌کردن The main effect of treatment	رطوبت (درصد) Moisture (%)
0.588	0.54	1.46	2.93	2	اثر اصلی بلوک (تکرار) The main effect of the block	
0.760	0.47	1.27	5.09	4	اثرهای متقابل (تیمار و بلوک) Interaction effects (treatment and block)	
		2.73	194	9	خطا error	
0.991 ns	0.009	0.418	0.835	2	اثر اصلی تیمارتنک‌کردن The main effect of treatment	اشباع (درصد) SP (%)
0.811	0.215	9.76	19.5	2	اثر اصلی بلوک (تکرار) The main effect of the block	
0.076	3.054	138	555	4	اثرهای متقابل (تیمار و بلوک) Interaction effects (treatment and block)	
	0.009	45	409	9	خطا error	

جدول ۳- تحلیل آماری تجزیه واریانس دوطرفه GLM صفات فیزیکی خاک (۱۳۹۹)

Table 3. Statistical analysis of the General linear model (GLM) of soil physical attributes (2021)

	منبع تغییرات Source of changes	df	مجموع مربعات SS	میانگین مربعات MS	F	Sig.
شن (درصد) Sand (%)	اثر اصلی تیمارتنک‌کردن The main effect of treatment	2	327	163.28	3.71	0.036*
	اثر اصلی بلوک (تکرار) The main effect of the block	2	27	13.68	0.31	0.735
	اثرهای متقابل (تیمار و بلوک) Interaction effects (treatment and block)	4	112	28.06	0.64	0.640
	خطا error	9	1366	44.08		
سیلت (درصد) Silt (%)	اثر اصلی تیمارتنک‌کردن The main effect of treatment	2	38.3	19.14	1.50	0.239 ns
	اثر اصلی بلوک (تکرار) The main effect of the block	2	26.4	13.21	1.04	0.367
	اثرهای متقابل (تیمار و بلوک) Interaction effects (treatment and block)	4	3.3	0.83	0.07	0.992
	خطا error	9	395.4	12.76		
رس (درصد) Clay (%)	اثر اصلی تیمارتنک‌کردن The main effect of treatment	2	153.3	76.64	3.03	0.063 ns
	اثر اصلی بلوک (تکرار) The main effect of the block	2	18.3	9.13	0.36	0.699
	اثرهای متقابل (تیمار و بلوک) Interaction effects (treatment and block)	4	97.4	24.36	0.97	0.441
	خطا error	9	782.9	25.26		
رطوبت (درصد) Moisture (%)	اثر اصلی تیمارتنک‌کردن The main effect of treatment	2	98.18	49.09	3.18	0.048*
	اثر اصلی بلوک (تکرار) The main effect of the block	2	98.12	49.06	3.18	0.048
	اثرهای متقابل (تیمار و بلوک) Interaction effects (treatment and block)	4	207	51.76	3.35	0.014
	خطا error	9	1097	15.45		
اشباع (درصد) SP (%)	اثر اصلی تیمارتنک‌کردن The main effect of treatment	2	77.0	38.50	1.07	0.35 ns
	اثر اصلی بلوک (تکرار) The main effect of the block	2	25.3	12.67	0.35	0.71
	اثرهای متقابل (تیمار و بلوک) Interaction effects (T×R)	4	160.3	40.08	1.12	0.37
	خطا error	9	1112	35.87		



شکل ۳- نمودار مقایسه‌ای درصد شن و رطوبت خاک بین تیمارها با استفاده از آزمون t جفتی در سال ۱۳۹۹

Figure 3. Comparative chart of sand and soil moisture between treatments by Paired t-test in 2021

بررسی روند تغییرات در فاصله اولین (۱۳۹۵) و دومین نمونه‌برداری خاک (۱۳۹۹) با آزمون تی جفتی نشان می‌دهد که درصد شن و سیلت در هر سه تیمار بین دو زمان نمونه‌برداری (۹۵ و ۹۹) هیچ تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ٤).

جدول ٤- مقایسه t جفتی خصوصیات فیزیکی خاک بین سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۹

Table 4. Paired t-test comparison of soil physical properties between 2017 and 2021

نمونه‌های زوجی Paired Sample Test	تیمارها Treatments	اشتباه معیار Std. error mean	مقدار احتمال *p*-value
شن (درصد) Sand (%)	شاهد Control	3.777	0.944 ns
	شدت افزایشی Ascending	4.265	0.108 ns
	شدت کاهشی Descending	3.326	0.082 ns
سیلت (درصد) Silt (%)	شاهد Control	1.363	0.555 ns
	شدت افزایشی Ascending	1.559	0.651 ns
	شدت کاهشی Descending	3.164	0.610 ns
رس (درصد) Clay (%)	شاهد Control	2.829	0.704 ns
	شدت افزایشی Ascending	5.224	0.143 ns
	شدت کاهشی Descending	1.589	0.018 *

ادامهٔ جدول ٤.

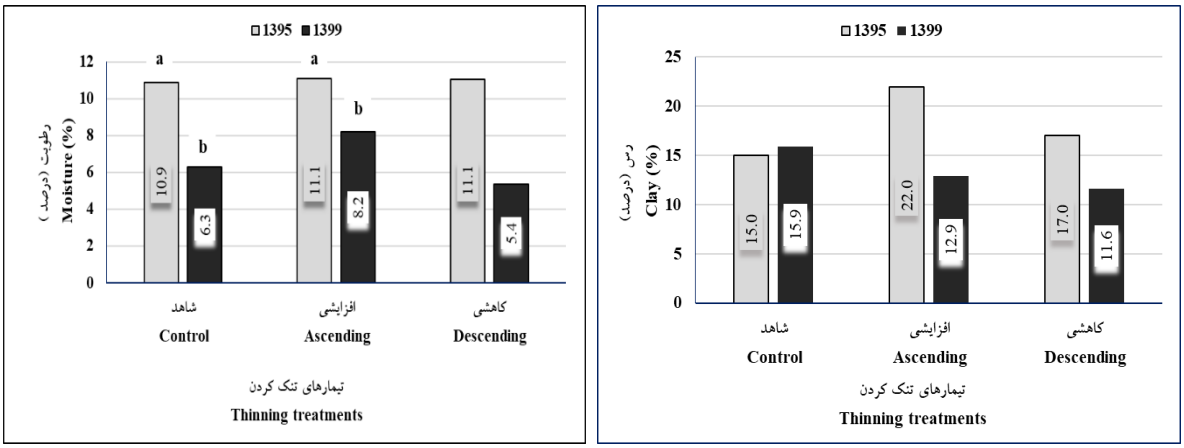
Continued table 4.

نمونه‌های زوجی Paired Sample Test	تیمارها Treatments	اشتباه معیار Std. error mean	مقدار احتمال *p*-value
رطوبت (درصد) Moisture (%)	شاهد Control	0.536	0.000 **
	شدت افزایشی Ascending	1.545	0.075 ns
	شدت کاهشی Descending	0.450	0.000 **
اشباع (درصد) Saturation (%)	شاهد Control	4.323	0.459 ns
	شدت افزایشی Ascending	5.666	0.400 ns
	شدت کاهشی Descending	2.461	0.047*

مقدار ذرات رس اختلاف معنی‌داری را در سطح ۵ درصد در تیمار کاهشی بین سال ۹۵ و ۹۹ نشان داد. نمودارهای مربوط، نشان می‌دهد که مقدار رس در تیمارهای تنک شده کاهش؛ ولی در تیمار شاهد به‌مقدار جزئی افزایش داشت(جدول ٤ و شکل ٤).

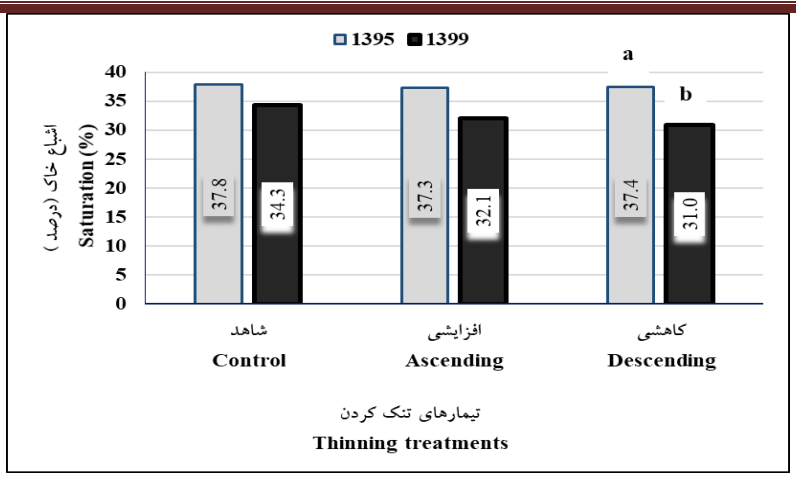
درصد اشباع خاک و مقایسه بین دو زمان نمونه‌برداری نشان داد که در تیمار کاهشی در سال ۹۹ مقدار درصد اشباع خاک به‌صورت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد نسبت به سال ۹۵ کاهش نشان داد؛ ولی در دو تیمار افزایشی و شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ٤ و شکل ۵).

رطوبت خاک بین سال ۹۹ و ۹۵ در تیمار شاهد و تیمار کاهشی اختلاف معنی‌داری را در سطح اعتماد ۹۹ درصد نشان داد؛ ولی در تیمار افزایشی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ٤). مقدار رطوبت خاک از سال ۹۵ تا ۹۹ در تیمارهای کاهشی و شاهد به‌صورت معنی‌داری کاسته شد (شکل ٤).



شکل ٤- نمودار مقایسه‌ای درصد رس و رطوبت خاک با استفاده از آزمون t جفتی در سال بین سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۹

Figure 4. Comparative chart of clay and soil moisture by Paired t-test between 2017 and 2021



شکل ۵- نمودار مقایسه‌ای درصد اشباع خاک با استفاده از آزمون t جفتی بین سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۹

Figure 5. Comparative chart of Soil saturation by Paired t-test between 2017 and 2021

خصوصیات شیمیایی خاک

مقایسه بین تیمارها با استفاده از تجزیه واریانس دوطرفه نشان داد که از نظر عناصر شیمیایی خاک در سال ۱۳۹۵ (بعد از گذشت چهار سال از اجرای اولین برش) بین تیمارها، هیچ تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. اما با اجرای برش‌های تکمیلی فاز دوم در ادامه برش‌های قبلی و باگذشت هشت سال از شروع عملیات تنک-کردن و زمان لازم برای تعاملات خاک و گیاه، عناصر و ویژگی‌های شیمیایی خاک تفاوت معنی‌داری بین تیمارها نشان دادند (جدول ۵).

pH و سدیم خاک بین تیمارها در سال ۱۳۹۹ تفاوت معنی‌داری را در سطح احتمال ۱درصد نشان داد که مقدار واکنش خاک (pH) در تیمار کاهشی با ۷/٤ بیشترین و افزایشی ۷/۲ کمترین بود. اما در ارتباط با هدایت الکتریکی و فسفر قابل‌جذب و پتاسیم قابل‌جذب تفاوت معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشد (جدول ۲). از طرفی درصد نیتروژن کل بین تیمارها در سطح احتمال یک‌درصد اختلاف معنی‌داری داشت؛ اما در مورد دیگر عناصر خاک مانند کربن آلی، آهک، نسبت کربن به نیتروژن اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول ۵).

جدول ۵- تجزیه واریانس دوطرفه GLM ، در برخی از صفات شیمیایی خاک بین تیمارهای مختلف (سال ۱۳۹۹)

Table 5- General linear model of some soil chemical traits between different treatments (2021)

	منبع تغییرات Source of changes	df	مجموع مربعات SS	میانگین مربعات MS	F	Sig.
اسیدیته pH	اثر اصلی تیمارتنک‌کردن The main effect of treatment	2	0.180	0.09	3.30	0.05 *
	اثر اصلی بلوک (تکرار) The main effect of the block	2	0.068	0.03	1.25	0.30
	اثرهای متقابل (تیمار و بلوک) Interaction effects (T×R)	4	0.288	0.07	2.65	0.05
	خطا error	9	0.842	0.03		

ادامهٔ جدول ۵.

Continued table 5.

Sig.	F	میانگین مربعات MS	مجموع مربعات SS	df	منبع تغییرات Source of changes	
0.56 ns	0.56	0.02	0.044	2	اثر اصلی تیمارتنک‌کردن The main effect of treatment	هدایت الکتریکی EC
0.83	0.83	0.01	0.014	2	اثر اصلی بلوک (تکرار) The main effect of the block	
0.14	0.14	0.07	0.284	4	اثرهای متقابل (تیمار و بلوک) Interaction effects (T×R)	
		0.04	1.156	9	خطا error	
0.68 ns	0.40	44.27	88	2	اثر اصلی تیمارتنک‌کردن The main effect of treatment	فسفر قابل‌جذب P_{av}
0.61	0.51	56.80	113	2	اثر اصلی بلوک (تکرار) The main effect of the block	
0.14	1.88	209.34	837	4	اثرهای متقابل (تیمار و بلوک) Interaction effects (T×R)	
		111.41	3453	9	خطا error	
0.18 ns	1.79ns	14971	29943	2	اثر اصلی تیمارتنک‌کردن The main effect of treatment	پتاسیم قابل‌جذب K_{av}
0.52	0.68	5647	11295	2	اثر اصلی بلوک (تکرار) The main effect of the block	
0.77	0.45	3775	15101	4	اثرهای متقابل (تیمار و بلوک) Interaction effects (T×R)	
		8363	259266	9	خطا error	
0.000 **	60.56	0.31	0.624	2	اثر اصلی تیمارتنک‌کردن The main effect of treatment	سدیم Na
0.043	3.49	0.02	0.036	2	اثر اصلی بلوک (تکرار) The main effect of the block	
0.000	14.06	0.07	0.290	4	اثرهای متقابل (تیمار و بلوک) Interaction effects (T×R)	
		0.01	0.160	9	خطا error	
0.002 **	7.73	0.023	0.045	2	اثر اصلی تیمارتنک‌کردن The main effect of treatment	نیتروژن کل N_{tot}
0.023	4.26	0.013	0.025	2	اثر اصلی بلوک (تکرار) The main effect of the block	
0.041	2.84	0.008	0.033	4	اثرهای متقابل (تیمار و بلوک) Interaction effects (T×R)	
		0.003	0.091	9	خطا error	

ادامهٔ جدول ۵.

Continued table 5.

Sig.	F	میانگین مربعات MS	مجموع مربعات SS	df	منبع تغییرات Source of changes	
0.559 ns	0.59	0.19	0.386	2	اثر اصلی تیمارتنک‌کردن The main effect of treatment	کربن آلی (درصد) OC%
0.151	2.01	0.65	1.309	2	اثر اصلی بلوک (تکرار) The main effect of the block	
0.455	0.94	0.31	1.221	4	اثرهای متقابل (تیمار و بلوک) Interaction effects (T×R)	
		0.33	10.097	9	خطا error	
0.676 ns	0.36	192.62	610	2	اثر اصلی تیمارتنک‌کردن The main effect of treatment	کربن به نیتروژن C:N
0.316	1.55	826.73	1840	2	اثر اصلی بلوک (تکرار) The main effect of the block	
0.443	0.95	506.58	2956	4	اثرهای متقابل (تیمار و بلوک) Interaction effects (T×R)	
		533.96	23863	9	خطا error	
0.140 ns	2.10	1.18	2.360	2	اثر اصلی تیمارتنک‌کردن The main effect of treatment	آهک (درصد) T.N.V%
0.578	0.58	0.31	0.628	2	اثر اصلی بلوک (تکرار) The main effect of the block	
0.519	0.83	0.46	1.858	4	اثرهای متقابل (تیمار و بلوک) Interaction effects (T×R)	
		0.56	17.433	9	خطا error	

در ارتباط با کربن آلی بین سال ۹۹ و ۹۵ در تک‌تک تیمارها اختلافی مشاهده نشد؛ اما مقدار افزایش کربن آلی در تیمار افزایشی مقدار قابل‌قبولی در شاخص بررسی‌های حاصل‌خیزی خاک نشان داد و در دو تیمار کاهشی و شاهد مقدار کربن آلی کاهش جزئی را نشان داد. نیتروژن کل و سدیم و پتاسیم و فسفر قابل‌جذب و نسبت کربن به نیتروژن (C:N) خاک بین سال ۹۵ و ۹۹ در تک‌تک تیمارها اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند (جدول ٦).

جدول ٦- مقایسه t جفتی عناصر و خصوصیات شیمیایی خاک بین سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۹

Table 6. Paired t-test comparison of soil elements and chemical properties between 2017 and 2021

مقدار احتمال *p*-value	اشتباه معیار Std. error mean	تیمارها Treatments	نمونه‌های زوجی Paired sample test
0.989 ns	0.128	شاهد Control	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC ($ds\ m^{-1}$)
0.050*	0.023	شدت افزایشی Ascending	
0.501 ns	0.180	شدت کاهشی Descending	

ادامهٔ جدول ٦.

Continued table 6.

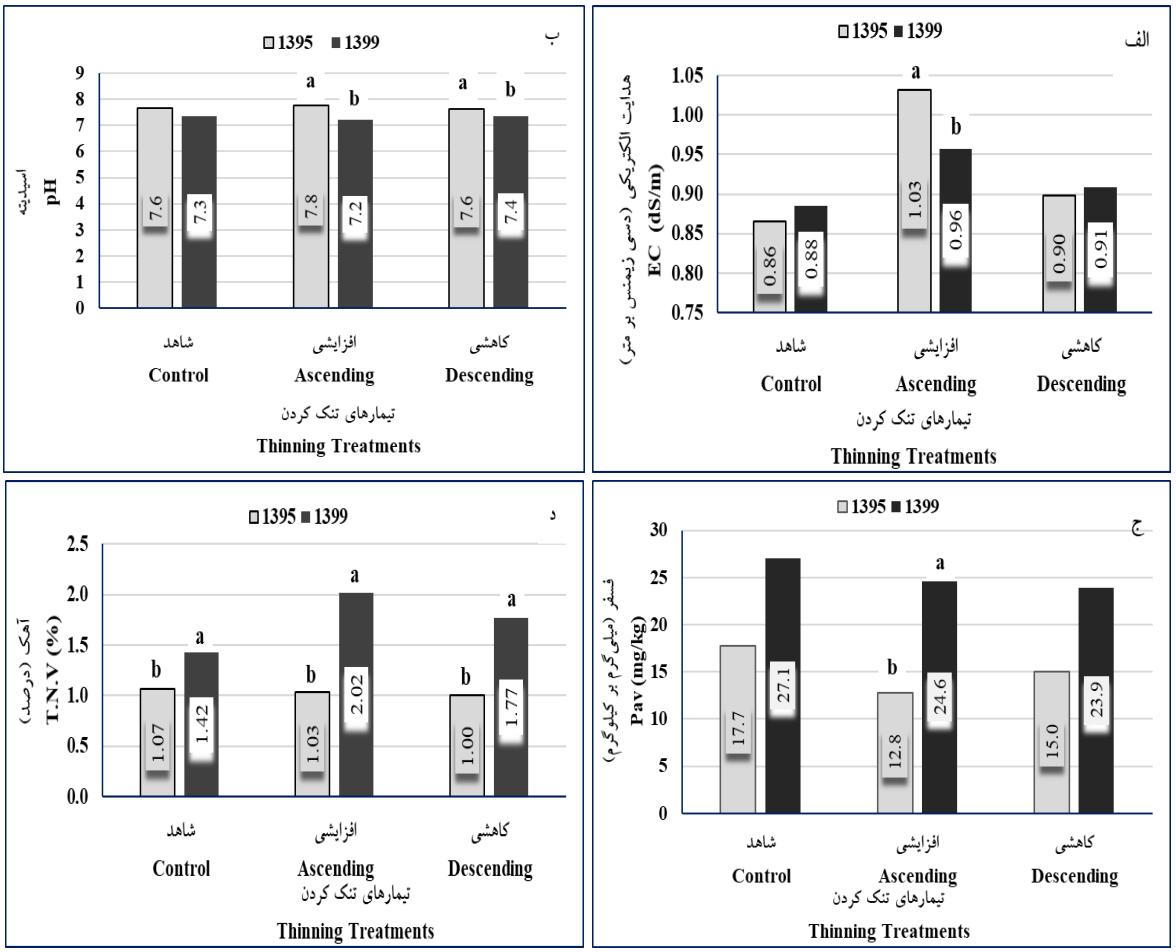
نمونه‌های زوجی Paired sample test	تیمارها Treatments	اشتباه معیار Std. error mean	مقدار احتمال *p*-value
اسیدیته pH	شاهد Control	0.128	0.065 ns
	شدت افزایشی Ascending	0.111	0.005**
	شدت کاهشی Descending	0.045	0.002**
آهک (درصد) T.N.V (%)	شاهد Control	0.136	0.048*
	شدت افزایشی Ascending	0.296	0.021*
	شدت کاهشی Descending	0.214	0.014*
کربن آلی (درصد) OC (%)	شاهد Control	0.369	0.181 ns
	شدت افزایشی Ascending	0.602	0.238 ns
	شدت کاهشی Descending	0.889	0.657 ns
نیتروژن کل (درصد) N_{tot} (%)	شاهد Control	0.050	0.499 ns
	شدت افزایشی Ascending	0.048	0.793 ns
	شدت کاهشی Descending	0.019	0.093 ns
سدیم (میلی‌گرم) Na (mg)	شاهد Control	0.076	0.123 ns
	شدت افزایشی Ascending	0.123	0.343 ns
	شدت کاهشی Descending	0.089	0.915 ns
پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) K_{av} (mg kg^{-1})	شاهد Control	28.587	0.180 ns
	شدت افزایشی Ascending	58.854	0.069 ns
	شدت کاهشی Descending	34.772	0.155 ns
فسفر قابل‌جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) P_{av} (mg kg^{-1})	شاهد Control	4.068	0.063 ns
	شدت افزایشی Ascending	6.804	0.143 ns
	شدت کاهشی Descending	3.423	0.037*

مقایسه تی جفتی عناصر و خصوصیات شیمیایی خاک بین سال‌های ۹۵ و ۹۹ نشان داد که هدایت الکتریکی در تیمار افزایشی اختلاف معنی‌داری را نشان داد و این متغیر در طول دو زمان نمونه‌برداری کاهش داشت (جدول ٦ و شکل ٦ الف).

در ارتباط با اسیدیته خاک در تیمارهای افزایشی و کاهشی بین سال ۹۹ و ۹۵ اختلاف معنی‌داری مشاهده شد و نمودار مربوطه کاهش این متغیر را در سال ۹۹ در تیمارهای ذکرشده نشان داد. (جدول ٦ و شکل ٦ ب).

در مورد آهک (T.N.V) مقایسه جفتی بین داده‌های برداشت شده در دو زمان نمونه‌برداری نشان داد که در تمام تیمارها اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد مشاهده شده است. آهک هر سه تیمار در سال ۱۳۹۹ نسبت به ۱۳۹۵ افزایش داشت (جدول ٦ و شکل ٦ د).

در خصوص فسفر قابل‌جذب مقایسه t جفتی نشان داد که در تیمار افزایشی اختلاف معنی‌داری بین فسفر قابل‌جذب در سال ۹۹ با سال ۹۵ وجود داشت و مقدار فسفر افزایش معنی‌داری داشت. اما در تیمارهای کاهشی و شاهد بین دو زمان نمونه‌برداری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ٦ و شکل ٦ ج).



شکل ٦- نمودارهای مقایسه میانگین t جفتی عناصر و خصوصیات شیمیایی خاک بین سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۹

Figure 6. Paired t-test comparison graphs of soil elements and characteristics between 2019 and 2021

بحث

بررسی رطوبت خاک و درصد اشباع نشان می‌دهد که در سال ۹۹ در تمام تیمارها کاهش رطوبت خاک، مشاهده شد، که این عامل بیشتر مربوط به وضعیت بارش‌های جوی در آن سال بود. مقایسه میانگین این عامل در تیمارها نشان داد که تیمار کاهشی و شاهد نسبت به تیمار افزایشی کاهش رطوبت، بیشتری را داشت و این یافته‌ها با پژوهش انجام‌شده توسط Ghanizadeh et al. (2020) در یک راستا است و علت را می‌توان در این موضوع دانست که در تیمار شاهد وجود جست‌های فراوان مقدار مصرف رطوبت خاک را افزایش داده و سبب کاهش رطوبت سطحی خاک شد؛ اما در تیمار کاهشی حذف تعداد زیادی جست، نسبت به دو تیمار دیگر موجب شده از سطح تاج کاسته شده و بستر خاک در معرض تابش نور خورشید قرار گیرد و رطوبت خاک کاهش یافت؛ بنابراین با توجه به خصوصیات فیزیکی بافت و رطوبت خاک تیمار شدت افزایشی نسبت به دو تیمار دیگر تاکنون نتایج بهتری به‌همراه داشت.

درصد آهک در تمام تیمارها افزایش معنی‌داری را در بازه زمانی سال ۹۵ تا ۹۹ نشان داده است؛ اما تیمار افزایشی و پس از آن تیمار کاهشی بیشترین مقدار افزایش آهک را نشان داد که چنین به‌نظر می‌رسد درصد ترکیبات کم محلول مانند آهک، کمتر دچار آبشویی می‌شود و گاهی به‌دلیل ازبین‌رفتن ذرات ریزبافت خاک (رس)، درصد نسبی آن در خاک افزوده می‌شود.

مقایسه pH خاک بین سال ۹۹ و ۹۵ نشان داد که مقدار اسیدیته خاک در تیمارهای تنک شده کاهش داشته؛ ولی در تیمار شاهد، تغییر معنی‌داری وجود نداشت. دراین‌رابطه پژوهشی بر روی گونهٔ *Cupressus lusitanica* توسط Yohanne (2019) انجام‌شده که نتیجهٔ فوق را تأیید می‌کند و تصور می‌شود که ریزش برگ درختان و مقطوعات جست‌های حذف شده ممکن است سبب کاهش اسیدیته خاک شد. گرچه مقدار آهک در هر سه تیمار افزایش داشت و انتظار می‌رفت افزایش pH داشته باشیم؛ اما خاصیت تامپونی خاک مانع از افزایش این عامل شده و در سال‌های بعد مقداری نیز از pH خاک کاسته شد.

هدایت الکتریکی خاک گر چه در سال ۹۵ و در سال ۹۹ بین تیمارها تفاوت معنی‌داری را نشان نداد؛ اما با مقایسه روند بین سال ۹۵ و ۹۹ تنها در تیمار افزایشی کاهش داشته و در دو تیمار دیگر اختلاف معنی‌دار نبوده است البته مقدار هدایت الکتریکی خاک در هر سه تیمار پایین است و نشان از یک عرصه تخریب‌یافته را دارد؛ زیرا در خاک‌هایی که EC کمی دارند، کمبود عناصر ایجاد شد.

در ارتباط با عنصر سدیم در سال ۱۳۹۹ تیمار کاهشی کمترین و شاهد بیشترین مقدار را در خاک داشت و بررسی بین دو نمونه‌گیری در سال‌های ۹۵ و ۹۹ نشان می‌دهد که مقدار سدیم در تیمارهای تنک شده کاهش و در تیمار شاهد افزایش داشته است. این مقادیر کم و جزئی بوده، اما در بلندمدت بر شوری خاک رویشگاه تأثیر خواهد گذاشت. نتایج پژوهش انجام‌شده توسط Dardipour et al. (2006) نشان می‌دهد که سدیم سرعت تشکیل لایه سخت و غیرقابل‌نفوذ در سطح خاک (سله) را افزایش می‌دهد که به‌نوبه‌خود سبب مانع بزرگی برای جریان‌یافتن آب‌وهوا به‌داخل خاک و تشدید فرسایش می‌شود. لازم به‌ذکر است که تأثیرات مخرب سدیم روی ساختار خاک در pH بالای خاک بیشتر است و چنین به‌نظر می‌رسد که انجام عملیات تنک‌کردن در اصلاح و حاصل‌خیزی خاک تأثیر مثبتی داشته است.

در مورد نیتروژن کل، چنین نتیجه‌گیری می‌شود که حذف تعداد زیادی جست و کاهش سطح تاج‌پوشش موجب افزایش تابش نور خورشید به سطح خاک و کاهش نیترات خاک شده است. مقدار نیتروژن در سایه تاج همیشه بیشتر از عرصه بازتر است که این نظریه با تحقیق Holik et al. (2018) که بر اثرهای تنک‌کردن روی گونهٔ راش اروپایی پژوهش کرده بود، همخوانی دارد.

نتیجه‌گیری کلی اینکه عملیات تنک‌کردن بر برخی از شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در درازمدت تأثیر داشت و تنک‌کردن با شدت افزایشی نسبت به تنک‌کردن با شدت کاهشی و شاهد، کمترین تغییرات منفی در شاخص‌های مطلوب خاک جنگلی را به‌همراه داشت.

References

Allison, L.E. and Moodie, C.D. *Carbonate. C.A., Ed. Methods of soil analysis. Part 2: Chemical and microbiological properties, Agronomy, Madison, Wisconsin*, USA, **1965**, 1379-1398.

Banj Shafiei, A.; Ashkavand, P.; Beygi Heidarlou, H., Assessing soil and some quantitative and qualitative characteristics of forest species in semi-protected and degraded regions of Marivan forests, Kurdistan province. *Journal of Conservation and Utilization of Natural Resources* **2014**,3 (2), 81-98. (In Persian)

Cheng, X.; Yu, M.; and Geoff Wang, G., Effects of thinning on soil organic carbon fractions and soil properties in Cunninghamia lanceolata stands in eastern China. *Forests* **2017**, 8 (6) 198.

Dardipour, I.; Qadiri, H.; Hossein, J., The effect of salinity and sodium on erodibility, sediment transport and the quality of the resulting effluent in three different types of soil. *Agricultural Sciences and Natural Resources* **2006**, 14 (4), 41-52. (In Persian)

Gavlak, R.G.; Horneck, D.A, and Miller, R.O., *Soil, Plant and Water reference Methods for the western Region*, 3th ed.; WREP-125, **2005**; p207.

Ghanizadeh, M.; Hojjati, S. M.; Pourmajidian, M.; Tafazzoli M. Changes of some soil properties under the influence of the thinning cycle in the mass. Annual international congress of new findings in agricultural sciences, natural resources, environment and tourism, Tehran, February 15, **2020**. (In Persian)

Ghazanfari, H.; Namiranian, M.; Sobhani, H.; Mohajer, R. M., Traditional forest management and its application to encourage public participation for sustainable forest management in the northern Zagros mountains of Kurdistan province, Iran. *Scandinavian Journal of Forest Research* **2004**, 19 (4), 65-71.

Holik, L; Rosikova, J.; Varanova, V., Effect of thinning on the amount of mineral nitrogen. *Forest Science* **2018**, 64 (7) 289-295.

Jahandar, O.; & Alidoust, E., Effects of fire on physical, chemical and biological properties of soil in Arasbaran forest in Kaleybar city. *Forest Research and Development **2022***, *8*(4), 425-438. (In Persian)

Jazerei, M.H.; Ebrahimi-Rastaghi, M., *Forestry of Zagros*, 1th ed.; Tehran: Tehran University Publications **2004**; p 560. (In Persian)

Karamian, M.; Hosseini, V., The effect of tree canopy and altitude on some chemical properties of forest soil (Case study: Tang Dalab Strait, Ilam Province). *Natural ecosystems of Iran* **2020**, 7 (1) 81-97. (In Persian)

Khodakarami, Y.; Pourhashemi, M.; Khanhasani, M.; Safari, H.; Pourreza, M.; Khodakarami, Y.; Pourhashemi, M., Effect of thinning on growth of Brant`s oak (*Quercus brantii* Lindl.) sprout- clumps in Kermanshah. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2016**, 24 (1) 32-42. (In Persian)

Kjeldahl, J., *A New Method for the Determination of Nitrogen in Organic Matter*. Zeitschrift für Analytische Chemie **1883**, 22, 366-382.

Marvi Mohajer, M. R., *Forestry and forest breeding*. (5th ed) Tehran: Tehran University Press., **2020**, p 420. (In Persian)

Mehdifar, D.; Pourhashemi, M.; Karamian, R., Impact of thinning on quantitative characteristics of Brant`s oak (*Quercus brantii* Lindl.) in Khorramabad Forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2014**, 22 (2) 358-367. (In Persian)

Olsen, S.R.; Sommers, L.E., Phosphorus. *Methods of Soil Analysis Part 2 Chemical and Microbiological Properties*; In: Page,

A.L., Ed., American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison,**1982**, pp 403-430.

Pato, M.; Salehi, A.; Zahedi, Gh.; Banj Shafiei, A., Soil carbon stock and its relationship with physical and chemical characteristics in the soil of different land-uses in Zagros region. *Forest and Wood Products* **2016**, 69 (4) 747-756. (In Persian)

Rasouli-Sedeghiani, M.; Karimi, S.; Khodaverdilo, H.; Berin, M.; Banj-Shafiei, A., The effect of changing the use of forest ecosystems on the physical, chemical and biological indicators of the soil. *Iranian Forest Magazine* **2016**, 8 (2) 167-178. (In Persian)

Rhoades, J.D. Cation exchange capacity. In: Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties (A.L. Page, R.H. Miller and D.R. Keeney), (Eds.) American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America. Inc. Madison, Wisconsin **1982**, pp: 149-157.

Richards, L.A. Diagnosis and Improvement of Saline Alkali Soils, Agriculture: Handbook No.60. US Department of Agriculture, Washington DC, **1954**, p 160.

Rosseti, I.; Bagella, S.; Cappai, M.C.; Lai, R.; Roggero, P.P.; Martins Dasilva, P.; Sousan, J.P.; Querner, P., Isolated cork oak trees affect soil properties and biodiversity in the Mediterranean. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **2015**, 202, pp 203-216.

Vatani, L.; Hosseini, S. M.; Alavi, S. J.; Raeini-Sarjaz, M.; Shamsi, S. S., Soil physico-chemical properties 20 years after plantation in the Iranian northern forests (Emphasizing on carbon and nitrogen stocks in plantation with broadleaved and coniferous species). *Forest Research and Development* **2021**, *7*(1), 93-105. (In Persian)

Walkley, A.J.; Black, I.A., Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method. *Soil Scientific* **1934**, 37 (1), 29-38.

Yohannes, Y., Effect of thinning on biophysical soil properties of Cupressus lusitanica stand in Munessa forest, Ethiopia. *Ethiopian Journal of Science and Technology* **2019**, 12 (3) 233-248.

Zarafshar, M.; Iranmanesh, Y.; Pourhashemi, M.; Bordbar, S. K.; Negahdarsaber, M.; Rousta, M. J.; Enayati, K.; Abbasi, A., The impact of wild pear (*Pyrus syriaca* and *Pyrus glabra*) stand management on carbon storage of soil and litters and some soil characteristics (case study: Dehkohneh forest of Sepidan, Fars Province). *Forest Research and Development* **2021**, *7*(2), 313-325. (In Persian)

Zarinkafsh, M., *Forest soils, introduction of soil and plants.* Tehran: Research Institute of forests and rangelands, **2002**, p 361. (In Persian)

Changes of some soil components under the influence of thinning intensity in Marivan forests

Behrouz Fani[1], Abbas Banj Shafiei[*2], Mehdi Porhashmi[3] and Maziar Heydari[4]

1 Ph.D. Student of Forestry, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia. I. R. Iran. (zanafani@gmail.com)
2- Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, I. R. Iran. (a.banjshafiei@urmia.ac.ir)
3- Professor, Forestry and Rangeland Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, I. R. Iran. (pourhashemi@rifr-ac.ir)
4-Assistant Professor, Forests and Rangelands Research Department, Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sanandaj, I. R. Iran. (m.haidari@areeo.ac.ir)

Received: 15 July 2023 Accepted: 03 September 2023

Extended abstract

Background and objectives: Human interventions and intense exploitation of the Zagros forests have led to a loss of their natural stability, transforming them into sensitive ecosystems. Severe degradation of vegetation and soil erosion are among the outcomes of these conditions. Branching forests reduce soil fertility due to higher mineral consumption and, at high densities, cannot adequately support the growth substrate. Thinning can improve conditions and reduce competition among trees. Forest management has both direct and indirect impacts on soil physical and chemical properties. This study aims to examine the impact of thinning on soil properties in the northern Zagros oak forests and evaluate its effects on the management of branching oak forests. Assessing the impact of forestry operations on ecosystem services addresses part of the scientific needs for sustainable forest management.

Methodology: This research investigated the effects of different thinning intensities on soil properties in a pure, young branching oak stand (Quercus brantii) in the Rikhilan Marivan forests, a representative of the degraded Zagros forests. The study was conducted using a randomized complete block design with three thinning levels (increasing, decreasing, control) over two four-year phases, spanning eight years. Soil samples (36 per phase) were collected from the 0-15 cm depth and analyzed for physical and chemical properties. Two-way ANOVA (GLM) and paired t-tests were used to analyze the effects of thinning, and multivariate methods were applied to assess correlations between variables.

Results: The effects of thinning on physical soil properties showed no significant differences in sand, silt, clay, and soil moisture between treatments in 1395. However, after eight years, significant differences in sand and soil moisture were observed. The increasing thinning treatment had the least negative changes in soil properties compared to the decreasing and control treatments. In terms of chemical elements, there were no significant differences in 1395, but after eight years, the increasing thinning treatment showed the best results for total nitrogen, sodium, lime, potassium, and available phosphorus. The control treatment reduced surface soil moisture, while the decreasing treatment, due to reduced canopy cover, also decreased soil moisture. Clay content decreased in thinning treatments and slightly increased in the control. Generally, increasing thinning showed the best results in terms of physical properties and soil moisture. For chemical factors, it appears that less soluble compounds like lime are less leached, and the relative percentage of clay may increase due to the loss of fine soil particles. Although lime content increased in all treatments, the pH did not increase as expected due to soil buffering properties, and there was a slight decrease in pH over the years. Sodium's detrimental effects on soil structure are more pronounced at higher pH levels, suggesting that thinning positively affects soil improvement and fertility. Regarding total nitrogen, removing many shoots and reducing canopy cover increased sunlight on the soil surface, reducing soil nitrate levels.

* Corresponding author Tel: +984432770555

Conclusion: Thinning had long-term effects on certain physical and chemical soil indices. Increasing thinning intensity resulted in the least negative changes in desirable forest soil indices compared to decreasing thinning and control treatments.

Keywords: *Quercus brantii* lindl., North Zagros, Soil characteristics, Sprout-Clumps, Thinning.