

Temporal dynamics of soil properties in various developmental stages of mixed hornbeam stands in the Shastkalateh forest of Golestan Province

Shohreh Kazemi¹, Hashem Habashi^{*2}, Seyed Mohammad Hodjati³,
Seyed Mohammad Waez Mousavi⁴, Fatemeh Rafiee⁵

1. Ph.D. Student in Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: shohreh.kazemi86@gmail.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: habashi@gau.ac.ir
3. Professor, Dept. of Forestry, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran. E-mail: s_m_hodjati@yahoo.com
4. Assistant Prof., Dept. of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: waezmousavi@gau.ac.ir
5. Ph.D. in Forest Soil Biology, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: rafiee.f@gmail.com

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 02.01.2023
Revised: 03.19.2023
Accepted: 03.22.2023

Keywords:
Dynamics of ammonium
and nitrate,
Forest structure,
Low altitude forest,
Microbial biomass carbon

ABSTRACT

Background and Objectives: The study of changes in physical, chemical, and biological properties of soil during various developmental stages of the forest could be a suitable approach to improve the ecological services of low-altitude forests. This study aimed to study the effect of various developmental stages of mixed hornbeam stands on some physical, chemical, and biological properties of soil in two seasons, autumn and summer (with a time interval of one year), in district two of the Shastkalateh forestry plan.

Materials and Methods: 35 rectangular half-ha sample plots with 50m×100m were considered to identify the different stages of development. In each sample, tree species, shrub, diameter at breast height, and total height were measured. Finally, three developmental stages of initial, optimal, and decay were determined with three replications for all samples according to the Feldman index. In each of the nine samples, five micro-samples of 20m×20m were selected; one in the center with four others in the corner, then soil samples were taken to a depth of <15 cm in each micro-sample in summer and autumn. A total of 270 soil samples were analyzed.

Results: The results showed that there is no significant difference in soil physical properties including sand, clay, silt, and bulk density at different developmental stages during autumn and summer. However, in both seasons, soil moisture content was significantly higher at the optimal stage than at the other stages. The examination of soil chemical and biological properties showed that the electrical conductivity, the organic carbon, the carbon/nitrogen ratio, and the amount of ammonium and nitrate were significantly different between various developmental stages in autumn. In the summer, acidity, electrical conductivity, percentage of organic carbon, total nitrogen, and microbial biomass of carbon, ammonium, and nitrate showed significant differences between the different developmental stages. The results of the principal component analysis showed that, in general, the first and second main components accounted for 39.16% and 15.11% of the

total changes, respectively. The acidity, electrical conductivity, and percentage of organic carbon, ammonium, and nitrate showed a strong correlation with the first axis. Although, soil moisture, ammonium, and nitrate showed a positive correlation with microbial carbon biomass, acidity, electrical conductivity and percentage of organic carbon showed a negative correlation with microbial carbon biomass. Ammonium and nitrate also showed a negative correlation with acidity while electrical conductivity and percent organic carbon had a positive correlation with soil moisture content.

Conclusion: Based on the results, it can be stated that in low-altitude forests of mixed hornbeam stands, the developmental stages had a significant effect on the chemical and biological properties of the forest soil. Despite the existing report on soil physical properties caused by the different development stages, in this study, this effect was not statistically significant. The results include valuable information on the seasonal dynamics of soil properties, the relationship between forest stands, and changes in soil properties over time for low-altitude forests in Hyrcanian forests during different stages of development. We found extreme differences between the amounts of ammonium between two different seasons, so we suggest that ammonification processes are essential along with other soil biological properties, including soil enzyme activities, which help enhance our knowledge of the fertility situation in the disclimax of low-altitude forests.

Cite this article: Kazemi, Shohreh, Habashi, Hashem, Hodjati, Seyed Mohammad, Waez Mousavi, Seyed Mohammad, Rafiee, Fatemeh. 2023. Temporal dynamics of soil properties in various developmental stages of mixed hornbeam stands in the Shastkalateh forest of Golestan Province. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 30 (1), 67-85.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/JWFST.2023.21030.2007

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

پویایی زمانی ویژگی‌های خاک در مراحل تحولی توده‌های آمیخته ممرز در جنگل شصت کلاته استان گلستان

شهره کاظمی^۱، هاشم حبشی^{۲*}، سید محمد حجتی^۳، سید محمد واعظ موسوی^۴، فاطمه رفیعی^۵

۱. دانشجوی دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: shohreh.kazemi86@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: habashi@gau.ac.ir
۳. استاد گروه جنگلداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: s_m_hodjati@yahoo.com
۴. استادیار گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: waezmousavi@gau.ac.ir
۵. دکتری بیولوژی خاک جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: rafiee.f@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی	سابقه و هدف: بررسی تغییرات ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک طی مراحل تحولی جنگل در بهبود عملکرد خدمات اکولوژیکی جنگل‌های پایین‌بند می‌تواند راهکار مناسبی برای مدیریت این جنگل‌ها باشد؛ بنابراین این پژوهش با هدف بررسی اثر مراحل مختلف تحولی توده بر برخی از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک توده ممرز آمیخته در دو فصل پاییز و تابستان (با فاصله زمانی یکسال) در سری دو طرح جنگلداری شصت کلاته گرگان انجام شد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۲ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۰۲	مواد و روش‌ها: برای تشخیص مراحل مختلف تحولی پس از جنگل‌گردشی تعداد ۳۵ قطعه‌نمونه نیم هکتاری مستطیلی به ابعاد ۵۰ × ۱۰۰ متر در نظر گرفته شد. در هر کدام از قطعه‌نمونه‌ها نوع گونه‌های درختی، درختچه‌ای و متغیرهای قطر برابر سینه و ارتفاع کل اندازه‌گیری شد. در نهایت با استفاده از شاخص مراحل تحولی فلدمن و همکاران، سه مرحله تحولی جوانی، اوج و تخریب برای تمام قطعه‌نمونه‌ها تعیین و برای هر مرحله تحولی، سه تکرار در نظر گرفته شد. در هر یک از این سه قطعه‌نمونه اصلی نیم هکتاری تعداد پنج ریزقطعه‌نمونه ۲۰ در ۲۰ متر که یکی از آن‌ها در مرکز و چهار ریزقطعه‌نمونه دیگر در چهار گوشه انتخاب و بررسی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در هر ریزقطعه‌نمونه
واژه‌های کلیدی: پویایی آمونوم و نیترات، جنگل پایین‌بند، زی توده میکروبی، ساختار جنگل	

در سه نمونه خاک از عمق ۱۵-۰ سانتی متر در دو فصل تابستان و پاییز انجام شد. در مجموع تعداد ۲۷۰ نمونه خاک تجزیه آزمایشگاهی شد.

یافته‌ها: نتایج این پژوهش نشان داد که در بین ویژگی‌های فیزیکی خاک تغییرات بافت شامل شن، رس، سیلت و جرم مخصوص ظاهری در بین مراحل مختلف تحولی در دو فصل پاییز و تابستان اختلاف معنی‌داری ندارد؛ اما در هر دو فصل رطوبت خاک در مرحله اوج (پاییز: $1/47 \pm 30/51$ ؛ تابستان: $1/18 \pm 24/07$) بیش‌تر از مرحله اولیه (پاییز: $1/13 \pm 23/78$ ؛ تابستان: $0/95 \pm 18/89$) و تخریب (پاییز: $1/53 \pm 23/45$ ؛ تابستان: $21/1 \pm 45/21$) بود. بررسی ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک نشان داد که هدایت الکتریکی، کربن آلی، نسبت کربن به نیتروژن، آمونیوم و نترات خاک بین مراحل مختلف تحولی در فصل پاییز دارای اختلاف معنی‌دار بود. در فصل تابستان نیز اسیدیته، هدایت الکتریکی، درصد کربن آلی، نیتروژن کل، زی‌توده میکروبی کربن، آمونیوم و نترات بین مراحل مختلف تحولی دارای اختلاف معنی‌دار بود. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با استفاده از متغیرهای مورد مطالعه نشان داد که به‌طور کلی مؤلفه‌های اصلی اول و دوم به ترتیب $39/16$ و $15/11$ درصد از تغییرات کل را به خود اختصاص دادند. متغیرهای واکنش خاک، هدایت الکتریکی، درصد کربن آلی، آمونیوم و نترات همبستگی بالایی با محور اول داشتند. متغیرهای رطوبت خاک، آمونیوم و نترات همبستگی مثبتی با زی‌توده کربن میکروبی داشتند. درحالی‌که متغیرهای اسیدیته، هدایت الکتریکی و درصد کربن آلی همبستگی منفی با زی‌توده کربن میکروبی داشتند. متغیرهای آمونیوم و نترات خاک نیز همبستگی منفی با اسیدیته، هدایت الکتریکی و درصد کربن آلی داشت و همبستگی مثبت با رطوبت خاک نشان دادند.

نتیجه‌گیری: با استناد به نتایج پژوهش حاضر، می‌توان بیان کرد که در جنگل پایین‌بند ممرز آمیخته مراحل مختلف تحولی بر ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک جنگل اثرگذار است. با وجود این‌که در سایر مطالعات اثر معنی‌دار مراحل تحولی روی ویژگی‌های فیزیکی خاک نیز گزارش شده بود، ولی در پژوهش حاضر مراحل تحولی اثر معنی‌داری روی ویژگی‌های فیزیکی خاک نداشت. نتایج این پژوهش حاوی اطلاعات ارزشمندی درباره پویایی فصلی ویژگی‌های خاک جنگل‌های پایین‌بند هیرکانی در مراحل مختلف تحولی است که رابطه توده جنگل را با تغییرات خصوصیات خاک طی زمان نشان می‌دهد. با توجه به وجود اختلاف شدید آمونیوم بین فصول مورد بررسی، پیشنهاد می‌شود تا روند فرایند آمونیفیکاسیون به روش‌های دقیق‌تری در رابطه با سایر ویژگی‌های زیستی خاک از جمله فعالیت آنزیمی نیز مورد توجه قرار گیرد تا بتوان در مورد وضعیت حاصلخیزی مرحله دیس‌کلیماکس جنگل‌های پایین‌بند اطلاعات بیش‌تری کسب کرد.

استناد: کاظمی، شهره، حبشی، هاشم، حجتی، سید محمد، واعظ موسوی، سید محمد، رفیعی، فاطمه (۱۴۰۲). پویایی زمانی ویژگی‌های خاک در مراحل تحولی توده‌های آمیخته ممرز در جنگل شصت کلاته استان گلستان. *نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل*، ۳۰ (۱)، ۶۷-۸۵.

DOI: 10.22069/JWFST.2023.21030.2007



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

بوم‌سازگان‌های طبیعی از جمله جنگل‌ها، دارای ویژگی‌های متفاوت و متمایزی نسبت به هم هستند که منجر به تفاوت‌هایی در عملکرد آن‌ها می‌شود؛ اما با وجود این تفاوت‌ها، همواره یک اصل کلی و ثابت در تمام آن‌ها مشاهده می‌شود که در واقع پایه و اساس تمام بوم‌سازگان‌های طبیعی به شمار می‌آیند. این اصل که تحت عنوان پویایی از آن نام برده می‌شود بر مبنای قوانین ترمودینامیک پایه‌گذاری شده است (۱). پویایی توده‌های جنگلی شامل تغییرات ساختار توده جنگلی در طول زمان است. این تغییرات در زمان طولانی رخ داده و نتیجه این تغییرات فرآیندی پیچیده به نام مراحل تحولی است. مراحل تحولی توده جنگلی بر اساس تفاوت در زادآوری، رشد، رقابت، توالی و مرگ از یکدیگر تفکیک می‌شوند. این مراحل شامل اولیه^۱، اوج^۲ و تخریب^۳ است که دائماً در جنگل‌ها تکرار می‌شود (۲، ۳). در مرحله تخریب توده مسن، تعداد و حجم درختان کم، تعداد و حجم خشکه‌دارها افزایش (در طبقات قطور و بسیار قطور)، روشنه‌ها زیاد، شدت نور نسبی افزایش یافته و توده بیش از دو آشکوب می‌باشد (۴، ۵). در اواخر مرحله تخریب و مستقر شدن نسل جوان به تدریج از تعداد درختان مسن کاسته می‌شود. توده جوان از سرعت رشد بیش‌تری برخوردارند، تمایل زیادی برای صعود و اشغال آشکوب فوقانی داشته و ضریب قدکشیدگی در آن‌ها بالاست. از این‌جا توده وارد مرحله جوانی می‌شود که به خاطر جوان بودن پایه‌ها، شتاب رشد زیاد است. در مرحله اوج تقریباً توده وارد مرحله تیرک می‌شود، در این مرحله تاج پوشش بسته و شدت نور نسبی هم کاهش می‌یابد و توده به صورت همگن و یک آشکوبه به نظر می‌رسد (۲).

با توجه به مطالب ذکر شده می‌توان بیان کرد که توده‌های جنگلی در مسیر تحولی خود دستخوش تغییرات زیادی می‌شوند که از آن جمله می‌توان، به تغییر در تراکم، نوع پوشش گیاهی و حجم سرپا اشاره کرد. تغییرات ذکر شده منجر به تغییر در میزان نور، رطوبت، مقدار مواد آلی و چرخه عناصر غذایی در توده جنگلی شده که در نهایت باعث ایجاد تغییراتی در ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و به‌ویژه خصوصیات زیستی خاک جنگل خواهد شد (۶). خاک یک بوم‌سازگان پویا و زنده می‌باشد. یک خاک سالم شامل مجموعه‌ای از موجودات ریز و درشت بوده که وظایف حیاتی بسیاری را به عهده دارد (۷). با توجه به این‌که خاک از اجزای اصلی بوم‌سازگان‌های جنگلی است، تعامل درازمدت بین درختان، موجودات خاکزی و خاک‌ها موجب می‌شود ترکیب، ساختار و فرایندها در خاک‌های جنگلی در هر زمان معین و در مقیاس‌های مکانی متفاوت دارای پیچیدگی‌های ویژه‌ای باشد (۸، ۹)؛ بنابراین مطالعه تغییرات ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک تحت‌تأثیر مراحل مختلف تحولی جنگل لازم و ضروری به نظر می‌رسد. به‌طورکلی هرگونه تغییر در ویژگی‌های پوشش گیاهی بر خاک اثر متقابل خواهد داشت که این تغییرات در خاک نیز روی پوشش گیاهی و ساختار آن نیز اثرگذار خواهد بود (۱۰). به‌عبارت‌دیگر هرگونه تغییر در پوشش گیاهی منجر به ایجاد تغییراتی در ویژگی‌های خاک خواهد شد (۱۱). چرخه پایدار عناصر غذایی در خاک و گیاه در مراحل مختلف تحولی می‌تواند بیانگر سلامت بوم‌سازگان باشد (۶، ۱۲). نقش خاک در چرخه مواد آلی بسیار حیاتی است و فرآیندهای آن بر رشد درختان و عملکرد بوم‌سازگان‌ها اثر می‌گذارد (۱۳)؛ بنابراین کسب اطلاعات در راستای تغییرات ویژگی‌های خاک بر اثر تغییرات در پوشش گیاهی به‌منظور مدیریت بهینه جنگل‌ها لازم و ضروری است.

- 1- Initial
- 2- Optimal
- 3- Decay

تغییرپذیری ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در مراحل تحولی جنگل راش در منطقه اسالم گیلان نیز گزارش کردند که بافت خاک در مراحل سه‌گانه تحولی جنگل راش با هم اختلاف معنی‌دار دارند. تفاوت مراحل تحولی توده جنگلی موردنظر از نظر متغیرهای شیمیایی درصد کربن آلی و نسبت کربن به نیتروژن معنی‌دار بود. بیش‌ترین میانگین زی‌توده میکروبی کربن به زی‌توده میکروبی نیتروژن در مرحله تحولی پوسیدگی مشاهده شد (۱۶). نتایج پژوهش لی و همکاران (۲۰۱۳) نیز نشان داد مواد آلی خاک و زی‌توده میکروبی کربن در مرحله تخریب بالاتر بوده، در مقابل آمونیوم و اسیدیته خاک در مرحله تخریب پایین‌تر بوده است (۱۷). بر اساس نتیجه پژوهش ماچادو و همکاران (۲۰۱۹)، بالاترین میزان ذخیره کربن و نیتروژن در مراحل اوج و تخریب و بالاترین میزان فسفر در مرحله تخریب می‌باشد. به‌طورکلی حاصلخیزی خاک در مرحله اوج بیش‌تر از سایر مراحل بود (۱۸). لیو و همکاران (۲۰۲۰)، در پژوهشی در جنگل‌های لیانجیابین چین به این نتیجه رسیدند که کربن آلی خاک، نیتروژن کل و زی‌توده میکروبی نیتروژن و زی‌توده میکروبی کربن به‌طور قابل‌توجهی قبل از مرحله درختچه‌ای افزایش یافته است. در طول جانشینی جنگل ترکیب جامعه میکروبی ثابت بود و به‌طور قابل‌توجهی تغییر نکرد، هم‌چنین تغییر جامعه میکروبی با پوشش گیاهی خاص و ویژگی‌های خاک رابطه نزدیکی داشت. نتایج این پژوهش بیانگر آن است که اگرچه توالی بلندمدت جنگل تنوع میکروبی خاک را به‌طور قابل‌توجهی افزایش نمی‌دهد، اما موجب بهبود تنوع گیاهی مشخصه‌های زیستی و کیفیت خاک می‌شود (۱۹). ژائو و همکاران (۲۰۲۲)، در پژوهش تغییرات

چراکه در قدم اول شناخت صحیح عوامل مؤثر بر تغییرات در بوم‌سازگان جنگل می‌تواند امکان اعمال روش‌های صحیح مدیریتی را فراهم می‌کند.

از میان ویژگی‌های خاک، ویژگی‌های زیستی خاک نقش مهمی در حفظ و رهاسازی مواد مغذی و انرژی داشته و به‌سرعت به وضعیت مواد مغذی، رطوبت و دما واکنش نشان می‌دهند، بنابراین می‌تواند به‌عنوان مشخصه‌های حاصلخیزی خاک در مدیریت بوم‌سازگان‌ها به‌ویژه جنگل مورد توجه قرار گیرند (۱۴). یکی از ویژگی‌های زیستی خاک، زی‌توده میکروبی کربن می‌باشد که نشان‌دهنده جمعیت میکروبی زنده خاک است و به‌عنوان منبع ارزشمند عناصر آلی هستند که به سهولت قابل‌تبدیل به فرم معدنی می‌باشد؛ بنابراین مطالعه زی‌توده میکروبی کربن می‌تواند شاخص مناسبی برای بررسی اثر مراحل مختلف تحولی جنگل باشد (۱۵).

با توجه به اهمیت موضوع، مطالعاتی در این راستا انجام شده است. علی‌زاده و همکاران (۲۰۱۲)، در پژوهشی در راشستان‌های طبیعی جنگل‌های غرب استان گیلان به این نتیجه رسیدند که از بین ویژگی‌های فیزیکی خاک، جرم مخصوص ظاهری در هر دو عمق، تخلخل در عمق اول و درصد سیلت در عمق دوم و از بین ویژگی‌های شیمیایی خاک pH در هر دو عمق در مراحل مختلف تحولی در سطح ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌دار بودند. این پژوهش نشان داد که مرحله تخریب شرایط مساعدتری برای فعالیت ریزجانداران خاک نسبت به دو مرحله تحولی دیگر داشته است (۱). رحمانی و همکاران (۲۰۱۶)، در بررسی تغییرات عناصر غذایی خاک در مراحل مختلف تحولی راشستان نشان دادند درصد کربن خاک در مرحله تخریب بیش‌تر از دو مرحله دیگر بود (۱۲). آذریان و همکاران (۲۰۲۰)، در پژوهش

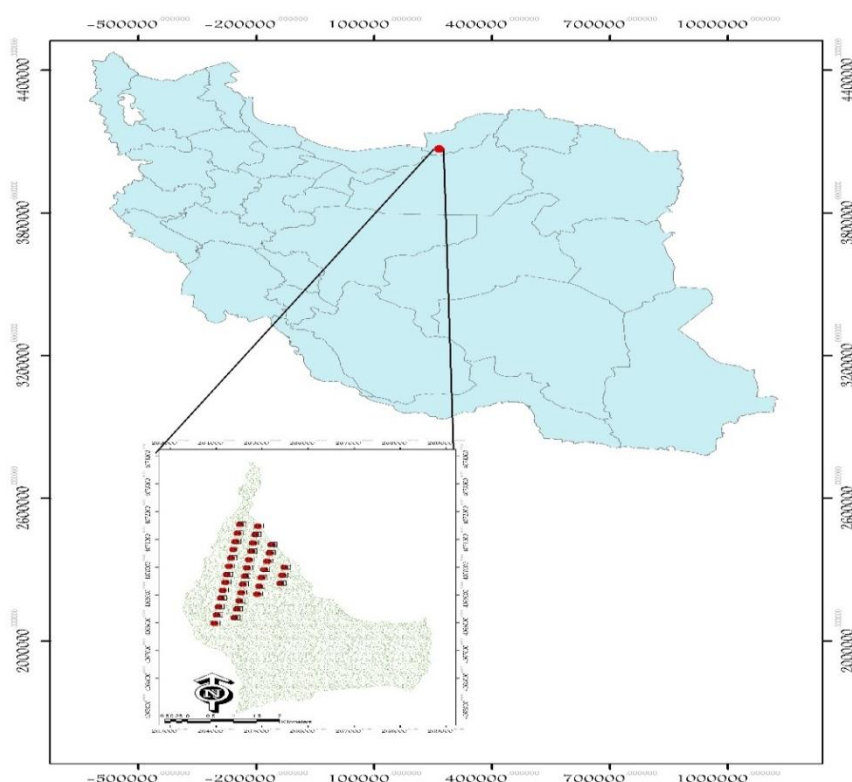
جنگل‌های هیرکانی متحمل شده‌اند شناخت بیش‌تری در اختیار بگذارد.

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه واقع در سری دو طرح جنگل‌داری دکتر بهرام‌نیا در حوضه آبخیز ۸۵ اداره کل منابع طبیعی استان گلستان و در جنوب شرقی شهر گرگان با طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۲ دقیقه شمالی و مساحت ۱۹۹۲ هکتار می‌باشد. جنگل‌های سری دو تاکنون در قالب طرح جنگل‌داری تحت مدیریت قرار نگرفته است. بر اساس آمار ایستگاه کلیماتولوژی هاشم‌آباد در فاصله ۵ کیلومتری شمال منطقه طرح در جلگه، از نظر طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه دارای اقلیم مرطوب معتدل می‌باشد و میزان بارندگی متوسط سالیانه ۶۴۹ میلی‌متر که بین ۵۲۸ تا ۸۱۷ میلی‌متر متغیر است. از جمله مهم‌ترین گونه‌های درختی موجود در این منطقه ممرز، انجیلی، افرا، بلوط و آزاد به همراه راش می‌باشد که به شکل گروهی و آمیخته ظاهر می‌گردد. گونه‌های پلت، شیردار و خرمندی در تمام رویشگاه به‌صورت پراکنده و گونه‌های ملج، توسکا و نمدار به‌صورت تک‌درخت به چشم می‌خورد. تیپ خاک، قهوه‌ای جنگلی، متوسط درجه حرارت سالیانه ۱۵/۴ درجه سانتی‌گراد، میانگین رطوبت نسبی سالیانه ۶۳/۲ درصد، میانگین وزنی متوسط تبخیر و تعرق سالیانه ۱۰۱۲/۵ میلی‌متر و فصل رویش حدود ۱۰ ماه می‌باشد (۲۱).

ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و میکروبی خاک در طول توالی جنگل در چین به این نتیجه رسیدند که ساختار فیزیکی خاک با پیشرفت مراحل توالی بهینه شده است. چگالی ظاهری خاک به‌تدریج با پیشرفت توالی جنگل کاهش یافت. رطوبت خاک با پیشرفت مراحل افزایش پیدا کرد. مقدار کربن و نیتروژن کل به‌طور معنی‌دار در مرحله آخر توالی جنگل بیش‌تر از مراحل دیگر بود. زی‌توده میکروبی کربن و زی‌توده میکروبی نیتروژن نیز در مرحله آخر توالی به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت. تجزیه و تحلیل بیش‌تر نشان داد که تخلخل کل خاک بیش‌ترین سهم را در شاخص نهایی کیفیت خاک داشت (۲۰).

با توجه به مطالب بیان‌شده، بررسی ارتباط بین مراحل مختلف تحولی جنگل و ویژگی‌های خاک می‌تواند درک بهتری نسبت به روابط پیچیده پوشش گیاهی جنگل و خاک آن ایجاد کند. بر اساس اطلاعات موجود، بیش‌تر مطالعات پیشین در این راستا در رانشستان جنگل‌های گیلان و در مرحله کلیماکس آن‌ها انجام شده است و تاکنون مطالعه‌ای در جنگل‌های دیس کلیماکس انجام نشده است؛ بنابراین این پژوهش با هدف بررسی مراحل مختلف تحولی بر خصوصیات شیمیایی، فیزیکی و زیستی خاک در جنگل‌های پایین‌بند ممرز آمیخته در سری دو طرح شصت‌کلاته گرگان انجام شد. در این پژوهش فرضیه اصلی این است که مراحل مختلف تحولی در جنگل اثر معنی‌داری روی ویژگی‌های خاک دارد. اطلاعات به‌دست‌آمده در این پژوهش می‌تواند درباره وضعیت جنگل‌های پایین‌بند که بیش‌ترین تخریب انسانی را در



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.

Figure 1. Geographic location of the study area.

که در آن، N_{DSi} مجموع تعداد درختان در قطعه نمونه، N_{DSref} مجموع تعداد درختان در طبقه بندی قطری مورد نظر، BA_{DSi} مجموع رویه زمینی درختان در پلات، BA_{Sref} مجموع رویه زمینی درختان در طبقه بندی قطری مورد نظر، I_{DSi} شاخص مراحل تحولی.

نمونه گیری: به منظور مطالعه و بررسی ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک ابتدا در هر یک از نه قطعه نمونه اصلی نیم‌هکتاری، پنج ریزقطعه نمونه با ابعاد ۲۰ در ۲۰ متر (یکی در مرکز و چهار ریزقطعه نمونه دیگر در چهار گوشه) انتخاب شد. در هر ریزقطعه نمونه سه نمونه خاک از عمق ۱۵-۰ سانتی متر در دو فصل پاییز (۱۳۹۹) و تابستان (۱۴۰۰) برداشت شد. در مجموع تعداد ۲۷۰ نمونه خاک برداشت شد. در آزمایشگاه درصد رطوبت وزنی به روش توزین، بافت خاک (درصد اجزا تشکیل دهنده

روش تحقیق: به منظور بررسی مراحل مختلف تحولی پس از جنگل گردشی تعداد ۳۵ قطعه نمونه نیم‌هکتاری مستطیلی به ابعاد ۱۰۰ × ۵۰ متر در نظر گرفته شد (۲۲). در هر کدام از قطعه نمونه‌ها نوع گونه‌های درختی و درختچه‌ای و متغیرهای قطر برابر سینه و ارتفاع کل اندازه‌گیری شد. در نهایت با استفاده از شاخص مراحل تحولی فلدمن و همکاران (۲۰۱۸)، سه مرحله تحولی جوانی، اوج و تخریب برای تمام قطعات تعیین شد (رابطه ۱) (۲۳). برای هر مرحله تحولی، سه تکرار در نظر گرفته شد (مجموعاً نه قطعه نمونه نیم‌هکتاری). لازم به ذکر است که قطعه نمونه‌های انتخاب شده از نظر اقلیم و توپوگرافی شرایط یکسانی داشتند (۲۴).

$$I_{DSi} = \frac{N_{DSi}}{N_{DSref}} + \frac{BA_{DSi}}{BA_{DSref}} \quad (1)$$

در خصوصیات ذاتی خاک ایجاد کند (۲۶، ۲۷)، از طرفی بافت خاک بیش از آن‌که به پوشش گیاهی و درختی وابسته باشد به شرایط رویشگاهی بستگی دارد (۷). از آنجایی که شرایط رویشگاهی این مناطق مشابه می‌باشد در نتیجه اختلافی بین مراحل در این شاخص‌ها نشان داده نشده است.

عدم تفاوت معنی‌دار در چگالی ظاهری بین مراحل مختلف نیز می‌تواند به دلیل وجود لایه لاشبرگ روی خاک، ریشه دوانی گیاهان و فعالیت موجودات خاک باشد (۲۸). دلیل دیگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار در چگالی ظاهری خاک بین مراحل مختلف را می‌توان ناشی از عدم بهره‌برداری از این جنگل‌ها بیان کرد. رطوبت خاک در فصل پاییز بین مراحل اولیه و تخریب با مرحله اوج اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۱). در فصل تابستان نیز بین مراحل اولیه و اوج اختلاف معنی‌داری در این متغیر مشاهده شد. مقدار رطوبت خاک در مرحله اوج در هر دو فصل بیش‌تر از مراحل دیگر بود. جذب آب توسط پوشش گیاهی استقرار یافته در روشنه‌ها ممکن است رطوبت خاک را به اندازه توده بسته کاهش دهد (۲۹). هم‌چنین کاهش رطوبت در مراحل اولیه و تخریب می‌تواند نتیجه افزایش درجه حرارت خاک در تاج پوشش با تراکم کم‌تر باشد که منجر به افزایش تبخیر و تعرق می‌گردد این یافته‌ها با نتایج موسکلو و همکاران، ۲۰۰۷ و امینی و همکاران، ۲۰۱۲ مطابقت دارد (۲۶، ۳۰). هم‌چنین مقایسه رطوبت خاک بین دو فصل تابستان و پاییز در مراحل اولیه و اوج بیانگر اختلاف معنی‌دار این متغیر می‌باشد. این مشخصه در فصل تابستان کم‌تر از فصل پاییز بود که دلیل این امر می‌تواند افزایش دما در فصل تابستان و به دنبال آن افزایش مقدار تبخیر از سطح خاک، در فصل گرم تابستان باشد (۲۹). به‌طورکلی تغییر الگوی ذخیره آب خاک را می‌توان با تغییر الگوی بارش سالانه توضیح داد (۲۰).

خاک) با روش هیدرومتری بایکاس، چگالی ظاهری به روش کلوخه، اسیدپته خاک به روش پتانسیومتری با استفاده از دستگاه pH متر، هدایت الکتریکی پس از عصاره‌گیری با استفاده از دستگاه EC متر، کربن آلی به روش والکلی بلاک، ازت کل، غلظت آمونیوم و نترات به روش کجلدال، تعیین شد. اندازه‌گیری زی‌توده میکروبی کربن از روش تدخین خاک مرطوب با کلروفرم در دسیکاتور و استخراج عصاره با استفاده از محلول سولفات پتاسیم که برای هر نمونه ۴ تکرار در نظر گرفته شد، انجام گرفت. در نهایت، با استفاده از روش والکلی بلاک و تفاوت بین کربن آلی استخراج شده از خاک‌های تدخین شده و تدخین نشده، میزان زی‌توده میکروبی کربن برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم محاسبه شد (۲۵).

تجزیه و تحلیل آماری: به منظور مقایسه ویژگی‌های خاک بین مراحل مختلف تجزیه واریانس یک طرفه و برای مقایسه بین گروهی از آزمون دانکن استفاده شد. مقایسه ویژگی‌های مورد نظر در دو فصل پاییز و تابستان از آزمون تی مستقل استفاده شد. تجزیه و تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با استفاده از نرم‌افزار R و بسته factextra انجام شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج این پژوهش از بین ویژگی‌های فیزیکی خاک مقدار شن، رس، سیلت و جرم مخصوص ظاهری در دو فصل پاییز و تابستان در مراحل تحولی سه‌گانه فاقد اختلاف معنی‌داری بود (جدول ۱). با توجه به این‌که در این بررسی نمونه‌های خاک در قطعه‌نمونه‌هایی با شیب و توپوگرافی یکسان جمع‌آوری گردید، احتمالاً یکسان بودن عوامل خاکساز از جمله مواد مادری، اختلاف معنی‌داری بین ویژگی‌های فیزیکی خاک بین مراحل مختلف تحولی ایجاد نکرد، این عامل نتوانسته تغییری

جدول ۱- مقادیر (میانگین \pm اشتباه معیار) مشخصه‌های فیزیکی خاک در مراحل مختلف تحولی.

Table 1. Values (mean \pm standard error) of soil physical properties in different development stages.

فصل تابستان (۱۴۰۰) Summer season (2020)	فصل پاییز (۱۳۹۹) Fall season (2019)	مرحله تحولی Development stage	خصوصیات فیزیکی خاک Soil physical properties
29.06 \pm 1.96 ^a	23.13 \pm 2.17 ^a	اولیه (Initial)	درصد شن Sand (%)
29.07 \pm 2.09 ^a	25.07 \pm 3.03 ^a	اوج (Optimal)	
28.13 \pm 2.44 ^a	22.33 \pm 2.20 ^a	تخریب (Decay)	
34.80 \pm 2.02 ^a	38.40 \pm 1.26 ^a	اولیه (Initial)	درصد رس Clay (%)
33.06 \pm 1.70 ^a	36.40 \pm 1.75 ^a	اوج (Optimal)	
34.13 \pm 1.21 ^a	37.40 \pm 1.03 ^a	تخریب (Decay)	
36.13 \pm 2.47 ^a	38.46 \pm 1.36 ^a	اولیه (Initial)	درصد سیلت Silt (%)
37.86 \pm 2.14 ^a	38.53 \pm 1.76 ^a	اوج (Optimal)	
37.73 \pm 1.79 ^a	40.26 \pm 1.57 ^a	تخریب (Decay)	
1.76 \pm 0.15 ^a	1.70 \pm 0.12 ^a	اولیه (Initial)	چگالی ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب) Bulk density (g cm ⁻³)
1.74 \pm 0.18 ^a	1.76 \pm 0.11 ^a	اوج (Optimal)	
1.77 \pm 0.16 ^a	1.87 \pm 0.10 ^a	تخریب (Decay)	
18.89 \pm 0.95 ^{b*}	23.78 \pm 1.13 ^{b*}	اولیه (Initial)	درصد رطوبت وزنی خاک Soil moisture (%)
24.07 \pm 1.18 ^{a*}	30.51 \pm 1.47 ^{a*}	اوج (Optimal)	
21.45 \pm 1.21 ^{ab}	23.45 \pm 1.53 ^b	تخریب (Decay)	

* حروف لاتین غیرمشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن بین مراحل مختلف در یک فصل می‌باشد.

علامت ستاره نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین دو فصل برای هر مرحله با استفاده از آزمون تی مستقل می‌باشد.

* Non-identical Latin letters indicate a significant difference at the 5% level using Duncan's test between different stages in the same season. The star indicates a significant difference between the two seasons for each stage using an independent t-test

احتمالاً می‌توانند توجیه‌کننده تغییرات میزان واکنش خاک باشد (۱۰). در این مراحل به علت کم‌تر بودن تراکم تاج پوشش، شرایط میکرواقلیم برای میکروارگانیسم‌ها مساعدتر است. در نتیجه تجزیه لاشبرگ سریع‌تر انجام شده و به این ترتیب یون‌های معدنی آزاد و به خاک باز می‌گردند، غلظت املاح محلول در خاک و متعاقب آن هدایت الکتریکی افزایش می‌یابد (۲۰، ۳۱). درصد کربن آلی در مرحله اولیه در فصل پاییز بیش‌تر از مراحل تخریب و اوج بود. به‌طور کلی تغییرات در میزان مواد آلی خاک در انواع پوشش‌های اراضی به دلیل تفاوت در کمیت و

نتایج این پژوهش در ارتباط با ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک در فصل پاییز نشان داد که هدایت الکتریکی، کربن آلی، نسبت کربن به نیتروژن، آمونیوم و نترات خاک بین مراحل مختلف تحولی دارای اختلاف معنی‌دار بود. در فصل تابستان ویژگی‌های اسیدیته، هدایت الکتریکی، درصد کربن آلی، نیتروژن کل، زی‌توده میکروبی کربن، آمونیوم و نترات بین مراحل مختلف تحولی دارای اختلاف معنی‌دار بود.

نوع و کیفیت لاشبریزه پوشش‌های جنگلی و هم‌چنین نوع و تراکم پوشش علفی بستر رویشگاه‌ها،

باعث بهبود فعالیت میکروبی و افزایش معدنی‌شدن نیتروژن شده که در نهایت منجر به افزایش مقدار آمونیوم و نترات در خاک خواهد شد (۲۷، ۴۰). مطالعات گذشته بیانگر اثرات مثبت پوشش‌های درختی بر انباشت محتویات آمونیوم و نترات خاک می‌باشد. با توجه به این‌که، این مشخصه‌های خاک ارتباط مستقیم با مقادیر نیتروژن کل و واکنش خاک می‌باشد، بنابراین افزایش آمونیوم و نترات تحت پوشش‌های جنگلی می‌تواند به‌واسطه تجمع بیش‌تر نیتروژن و مقادیر بالاتر pH در دو مرحله اولیه و تخریب باشد (۲۶).

از طرفی نتایج این پژوهش نشان داد در مراحل اولیه، اوج و تخریب؛ اسیدیته، هدایت الکتریکی، کربن آلی، نسبت کربن به نیتروژن، آمونیوم و نترات خاک بین دو فصل تابستان و پاییز دارای اختلاف معنی‌داری بودند. فقط زی‌توده میکروبی کربن و درصد نیتروژن کل بین دو فصل در مراحل مختلف تحولی اختلاف معنی‌داری نداشت. با توجه به افزایش دما در فصل تابستان و هم‌چنین افزایش شدت تجزیه بقایای گیاهی، مقادیر واکنش خاک، هدایت الکتریکی و کربن آلی خاک در فصل تابستان افزایش معنی‌داری داشته است (۴۱). دلیل بالاتر بودن مقدار نسبت کربن به نیتروژن در فصل تابستان نسبت به پاییز می‌تواند ناشی از این باشد که نمونه‌های خاک ابتدا در پاییز سال ۱۳۹۹ و سپس در تابستان ۱۴۰۰ برداشت شدند؛ بنابراین طی گذشت این زمان (از پاییز تا تابستان) لاشبرگ‌ها با سرعت تجزیه شده و وارد مراحل نهایی تجزیه (حاوی مقادیر زیاد لیگنین و پلی‌فنول) شده که دارای مقادیر بالای کربن مقاوم به تجزیه می‌شوند؛ بنابراین مقدار کل نسبت کربن به نیتروژن افزایش می‌یابد (۴۲). مقدار نیتروژن کل در فصل تابستان بیش‌تر از فصل پاییز بود که دلیل آن نیز می‌تواند ناشی از محتوای بالای نیتروژن در لاشبرگ و بقایای آلی

کیفیت لاشبرگ و ورودی می‌باشد (۳۲، ۳۳). هم‌چنین از آن‌جایی‌که پوشش گیاهی منابع کربن و انرژی را برای خاک از طریق ترشحات ریشه و بقایای گیاهی فراهم می‌کند (۳۴، ۳۵). وجود زی‌توده ریشه در حجم زیاد در اثر زادآوری گونه‌های چوبی و پوشش علفی کف در مرحله اولیه می‌تواند دلیل افزایش درصد کربن در مرحله اولیه باشد (۳۶). علاوه بر این می‌توان بیان کرد از آن‌جایی‌که مرحله اولیه بعد از مرحله تخریب می‌باشد و در مرحله تخریب میزان خشک‌ه‌دار افزایش معنی‌داری نسبت به دیگر مراحل تحولی دارد و فرصتی برای تجزیه این اجزای پوسیده در جنگل طی مرحله اولیه می‌باشد، بنابراین پوسیدگی و تجزیه مواد آلی در مرحله تخریب به همراه افزایش ترشحات ریشه‌ای درختان جوان در این مرحله، باعث افزایش مقدار کربن آلی خاک خواهد شد (۳۷).

درصد نیتروژن کل در مرحله تخریب بیش‌تر از مراحل اوج و اولیه در هر دو فصل بود. این موضوع می‌تواند به دلیل بیش‌تر بودن مواد آلی در نتیجه پیری درختان و افتادن و تجزیه آن‌ها مرتبط باشد (۱، ۶). از طرفی بیش‌تر بودن میزان درصد نیتروژن کل می‌تواند به دلیل ایجاد روشن‌ه و افزایش سرعت معدنی‌شدن نیتروژن توسط میکروارگانیسم‌های خاک باشد. این نتایج با نتایج شبانی و همکاران، ۲۰۱۱ و ریس و همکاران، ۲۰۱۰ مطابقت دارد (۲۷، ۳۸). علت بالاتر بودن میزان نسبت کربن به نیتروژن در مراحل اولیه نسبت به مراحل اوج و تخریب می‌تواند ناشی از اختلاف زیاد محتوای کربن خاک باشد که در مراحل اولیه بیش‌تر از مراحل دیگر بود. مقدار آمونیوم و نترات نیز در دو مرحله اولیه و تخریب بیش‌تر از مرحله اوج در هر دو فصل بود. باز شدن تاج پوشش و ایجاد روشن‌ه باعث بهبود شرایط ریزاقلمی از جمله تابش خورشیدی، دمای هوا، رطوبت نسبی، دمای خاک و محتوای آب خاک می‌شود (۳۹). این شرایط

درختان باشد (۴۳). با توجه به مشاهدات فنولوژیکی، بیش‌تر درختان در فصل رشد به‌ویژه در تابستان به‌شدت رشد می‌کنند. ورود مواد آلی تازه با فعال شدن میکروب‌های مختلف ریزوسفر همراه است. این شرایط برای رشد میکروبی و فعالیت متابولیسم مناسب است (۲۶). این مسأله باعث افزایش مقدار زی‌توده میکروبی کربن در انتهای فصل تابستان و در ابتدای فصل پاییز خواهد شد.

جدول ۲- مقادیر (میانگین ± اشتباه معیار) مشخصه‌های شیمیایی و زیستی خاک در مراحل مختلف تحولی.

Table 2. Values (mean ± standard error) of chemical and biological properties of soil in different development stages.

فصل تابستان (۱۴۰۰) Summer season (2020)	فصل پاییز (۱۳۹۹) Fall season (2019)	مرحله تحولی Development stage	خصوصیات شیمیایی خاک Soil chemical properties
7.27±0.05 ^{a*}	6.47±0.04 ^{a*}	اولیه (Initial)	واکنش خاک pH
7.06±0.04 ^{b*}	6.33±0.04 ^{a*}	اوج (Optimal)	
7.18±0.05 ^{ab*}	6.37±0.05 ^{a*}	تخریب (Decay)	
231.27±11.98 ^{a*}	138.65±12.10 ^{b*}	اولیه (Initial)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) Electrical conductivity (ds/m)
188.86±10.60 ^{b*}	127.77±15.76 ^{b*}	اوج (Optimal)	
256.13±10.93 ^a	207.87±22.19 ^a	تخریب (Decay)	
4.61±0.27 ^{a*}	1.87±0.2 ^{a*}	اولیه (Initial)	درصد کربن آلی Soil organic carbon (%)
3.87±0.17 ^{b*}	0.73±0.12 ^{b*}	اوج (Optimal)	
5.05±0.17 ^{a*}	1.06±0.17 ^{b*}	تخریب (Decay)	
0.40±0.03 ^b	0.38±0.03 ^a	اولیه (Initial)	درصد نیتروژن کل Total nitrogen (%)
0.38±0.01 ^b	0.39±0.02 ^a	اوج (Optimal)	
0.52±0.03 ^a	0.45±0.03 ^a	تخریب (Decay)	
12.73±1.32 ^{a*}	5.12±0.54 ^{a*}	اولیه (Initial)	نسبت کربن به نیتروژن Carbon to nitrogen ratio
10.20±0.39 ^{a*}	1.80±0.28 ^{b*}	اوج (Optimal)	
10.44±0.76 ^{a*}	2.61±0.55 ^{b*}	تخریب (Decay)	
2082.36±127.79 ^a	2178.57±294.87 ^a	اولیه (Initial)	زی‌توده میکروبی کربن (میلی‌گرم بر کیلوگرم) (MBC) (mg/kg)
1704.22±68.76 ^b	2623.01±444.23 ^a	اوج (Optimal)	
1937.21±129.52 ^{ab}	2369.04±221.02 ^a	تخریب (Decay)	
0.29±0.04 ^{b*}	25.42±0.37 ^{a*}	اولیه (Initial)	آمونیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم) (NH ₄ ⁺) (mg/kg)
0.33±0.04 ^{b*}	22.37±0.28 ^{b*}	اوج (Optimal)	
0.72±0.26 ^{a*}	26.70±0.76 ^{a*}	تخریب (Decay)	
13.99±1.58 ^{a*}	29.31±0.88 ^{a*}	اولیه (Initial)	نترات (میلی‌گرم بر کیلوگرم) (NO ₃ ⁻) (mg/kg)
7.78±1.35 ^{b*}	28.29±0.27 ^{ab*}	اوج (Optimal)	
13.88±1.72 ^{a*}	26.97±0.31 ^{b*}	تخریب (Decay)	

* حروف لاتین غیرمشابه نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن بین مراحل مختلف در یک فصل می‌باشد.

علامت ستاره نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین دو فصل برای هر مرحله با استفاده از آزمون تی مستقل می‌باشد.

* Non-identical Latin letters indicate a significant difference at the 5% level using Duncan's test between different stages in the same season. The star indicates a significant difference between the two seasons for each stage using an independent t-test

درصد رطوبت، آمونیوم و نیترات همبستگی مثبتی با زی‌توده کربن میکروبی داشتند، درحالی‌که متغیرهای اسیدیته، هدایت الکتریکی و درصد کربن آلی همبستگی منفی با زی‌توده کربن میکروبی داشتند. هم‌چنین متغیرهای آمونیوم و نیترات خاک نیز همبستگی منفی با اسیدیته، هدایت الکتریکی و درصد کربن آلی داشت درحالی‌که همبستگی مثبت با درصد رطوبت خاک داشت (شکل ۲).

همبستگی مثبت بین غلظت رطوبت، آمونیوم و نیترات و زیست‌توده کربن میکروبی ممکن است به این دلیل باشد که این عوامل باعث رشد و فعالیت میکروبی در خاک می‌شوند. رطوبت برای رشد و فعالیت میکروبی ضروری است، زیرا آب لازم برای واکنش‌های آنزیمی و جذب مواد مغذی را فراهم می‌کند (۴۷، ۴۸). آمونیوم و نیترات منابع مهم نیتروژن برای رشد میکروبی هستند و می‌توانند فعالیت میکروبی را تحریک کنند. همبستگی منفی بین اسیدیته، هدایت الکتریکی و محتوای کربن آلی و زیست‌توده کربن میکروبی ممکن است به این دلیل باشد که این عوامل می‌توانند رشد و فعالیت میکروبی را در خاک محدود کنند (۴۹). خاک‌های اسیدی می‌توانند برای جوامع میکروبی سمی باشند، زیرا می‌توانند فعالیت آنزیم‌ها را مهار کرده و در دسترس بودن مواد مغذی را کاهش دهند. به‌طور مشابه، هدایت الکتریکی بالا می‌تواند نشان‌دهنده سطوح بالای نمک در خاک باشد که می‌تواند برای رشد و فعالیت میکروبی مضر باشد (۵۰). درنهایت، محتوای کربن آلی بالا می‌تواند منجر به تجمع ترکیبات آلی مقاوم شود که می‌تواند رشد و فعالیت میکروبی را محدود کند.

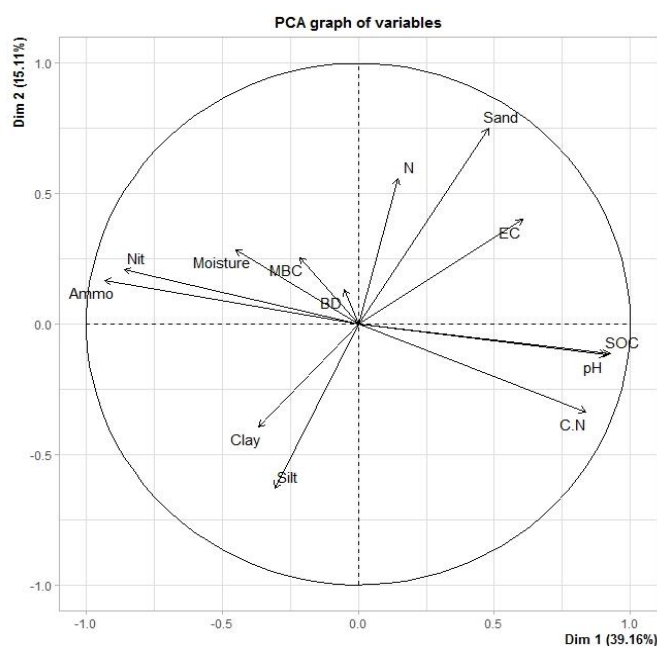
یافته‌های این پژوهش نشان داد الگوی تغییرات آمونیوم و نیترات بین مراحل مختلف تحولی متفاوت است و پویایی زمانی این دو ویژگی خاک بین پاییز و تابستان متفاوت است (جدول ۲). با توجه به آن‌که نمونه‌برداری اولیه در پاییز سال ۱۳۹۹ انجام شده است کاهش قابل‌توجه آمونیوم و نیترات می‌تواند ناشی از هدررفت آن‌ها یا جذب توسط ریزجانداران و درختان در این بازه زمانی باشد. هم‌چنین با توجه به این‌که فرآیند تولید آمونیوم و نیترات یک فرآیند زیستی است و توسط ریزجانداران خاک انجام می‌شود، کم بودن مقدار بارش و درنهایت رطوبت خاک در تابستان می‌تواند عاملی در کاهش فعالیت ریزجانداران و در نهایت کاهش مقدار آن‌ها در این فصل باشد (۴۴). تغییرات آمونیوم و نیترات در خاک‌ها بسیار زیاد است و تابعی از میزان بارش، عمق خاک و زمان نمونه‌برداری است.

در این پژوهش همبستگی منفی بین ماده آلی خاک با آمونیوم و نیترات مشاهده شد (شکل ۲)، چنان‌که ماده آلی خاک در سمت راست محور اول اما آمونیوم و نیترات در سمت چپ این محور قرار گرفته است. علت این رابطه منفی در افزایش تجزیه و معدنی‌شدن ماده آلی توسط باکتری‌های نیتروفیکاسیون‌کننده است که منجر به کاهش ماده آلی خاک و سپس افزایش آمونیوم و متعاقباً نیترات در خاک خواهد شد (۴۵، ۴۶). نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با استفاده از متغیرهای مورد مطالعه نشان داد که به‌طورکلی مؤلفه‌های اصلی اول و دوم به ترتیب ۳۹/۱۶ و ۱۵/۱۱ درصد از تغییرات کل را به خود اختصاص دادند (جدول ۳). متغیرهای اسیدیته، هدایت الکتریکی، درصد کربن آلی، آمونیوم و نیترات همبستگی بالایی با محور اول داشتند. متغیرهای

جدول ۳- نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای متغیرهای مورد مطالعه.

Table 3. Results of principal components analysis for the studied variables.

مقدار شاخص ارزش ویژه The value of the eigenvalue index	درصد واریانس Variance (P)	محور Axis
5.09	39.15	1
1.96	15.11	2



شکل ۲- پراکنش متغیرهای مورد مطالعه در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی.

Figure 2. Distribution plot of the studied variables in Principal components analysis.

تعداد زیاد وجود دارند، تمایل به مصرف SOC بیش‌تری دارند و در نتیجه سطوح SOC در خاک کم‌تر می‌شود (۵۴). هم‌چنین همبستگی منفی بین مقدار زی‌توده میکروبی کربن، آمونیوم و نیترات با نسبت کربن به نیتروژن نیز در مطالعات پیشین گزارش شده است (۵۵، ۵۶). همبستگی منفی بین غلظت آمونیوم و نیترات و نسبت کربن به نیتروژن (C/N) ممکن است به این دلیل باشد که دسترسی نیتروژن تحت‌تأثیر مقدار و کیفیت کربن در خاک است. به‌طورکلی، خاک‌هایی که نسبت C/N کم‌تری دارند، در دسترس بودن نیتروژن بالاتری دارند، زیرا کربن

یافته‌ها بیانگر آن است که مقدار کربن آلی خاک با زی‌توده میکروبی کربن همبستگی منفی دارد. این نتایج با نتایج شه‌پیری و همکاران، ۲۰۲۱ و چنگ و همکاران، ۲۰۱۳ مطابقت دارد (۵۱، ۵۲)؛ یعنی مقادیر بالای کربن آلی باعث کاهش سهم میکروبی کربن می‌شود. همبستگی منفی بین کربن آلی خاک و زی‌توده کربن میکروبی ممکن است به این دلیل باشد که میکروب‌ها از کربن آلی به‌عنوان منبع انرژی و مواد مغذی استفاده می‌کنند که منجر به سطوح پایین‌تر SOC در مناطق با فعالیت میکروبی بالا می‌شود (۵۳). به‌عبارت‌دیگر، وقتی میکروب‌ها فعال‌تر هستند و به

ساختمان مناسب همواره مورد توجه بوده‌اند، ولی تغییر در مدیریت و کاربری آن‌ها، عموماً اثرات متفاوتی بر میزان ماده آلی و دیگر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک می‌گذارد. به‌طورکلی مراحل تحولی جنگل نقش مهمی در تعیین ویژگی‌های خاک دارند که در نتیجه می‌توانند تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، تنفس خاک، فعالیت میکروبی و فعالیت آنزیمی را تغییر دهند. علاوه بر این، می‌تواند منجر به تغییرات ترکیب منافذ خاک، تعادل آب خاک و چرخه تغذیه شود که به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بر رشد و بازسازی گیاه تأثیر می‌گذارد. به‌طورکلی تغییرات ویژگی‌های خاک نه تنها به مراحل توسعه مربوط می‌شود، بلکه به ضخامت بستر و سرعت تجزیه آن، بازگشت زیست‌توده ریشه و سایر عوامل نیز مربوط می‌شود. نتایج این پژوهش می‌تواند اطلاعات ارزشمندی درباره وضعیت جنگل‌های پایین‌بند هیرکانی در اختیار مدیران منابع طبیعی قرار داده و کمک شایانی نماید. با توجه به کمبود مطالعات در این راستا، پیشنهاد می‌شود تا در سایر پژوهش‌ها سایر ویژگی‌های زیستی خاک از جمله فعالیت آنزیمی نیز مورد توجه قرار گیرد تا بتوان به راهکار مناسبی برای مدیریت بهینه جنگل‌ها دست یافت.

منبع انرژی لازم برای کانی‌سازی نیتروژن میکروبی است؛ بنابراین، زمانی که نسبت C/N کاهش می‌یابد، کانی‌سازی نیتروژن افزایش می‌یابد که منجر به کاهش سطح آمونیوم و نترات در خاک می‌شود (۵۷). متغیرهای زیادی روی زی‌توده میکروبی خاک اثرگذار هستند به‌طوری‌که در بسیاری از مطالعات افزایش مقدار رطوبت، افزایش نیتروژن و کاهش مقدار نسبت کربن به نیتروژن باعث افزایش مقدار زی‌توده میکروبی شده است (۵۸).

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی بر اساس نتایج به‌دست‌آمده مراحل تحولی اثر معنی‌داری روی ویژگی‌های فیزیکی شامل درصد اجزای بافت خاک و چگالی ظاهری نداشت و فقط درصد رطوبت بین مراحل تحولی اختلاف معنی‌دار داشت. هم‌چنین تمام خصوصیات شیمیایی مورد مطالعه بین مراحل دارای اختلاف معنی‌دار بود. زی‌توده میکروبی کربن فقط در فصل تابستان بین مراحل تحولی اختلاف معنی‌دار داشت. درک سازوکار اثر مراحل تحولی جنگل بر خصوصیات خاک، می‌تواند راهکاری مناسب برای تصمیم‌گیری در مدیریت اراضی جنگلی در مناطق مشابه باشد. خاک پوشش‌های جنگلی به علت دارا بودن مواد آلی زیاد و

منابع

1. Alizadeh, T. 2012. Check some biological, physical, and chemical properties of soil in three stages of succession in the natural forests in the western forests of Gilan province. [MSc. Thesis.] Rasht, University of Gilan. 83p. (In Persian)
2. Korpel, S. 1995. Degree of equilibrium and dynamical changes of the forest on the example of natural forest of Slovakia. J. of Acta Facultatis Forestalis Zvolen, Czechoslovakia. 24: 1. 9-30.
3. Del Rio, M., Pretsch, H., Alberdi, I., Bielak, K., Bravo, F., Brunner, A., Condés, S., Ducey, M.J, Fonseca, T., Lupke, N., Pach, M., Peric, S., Perot, T., Souidi, Z., Spathelf, P., Steba, H., Tijardovic, M., Tome, M., Vallet, P., and Bravo-Oviedo, A. 2016. Characterization of the structure, dynamics, and productivity of mixed-species stands: review and perspectives. J. of Forest Research. 135: 1. 23-49.

4. Parhizkar, P., and Sagheb-Talebi, Kh. 2016. Status of unmanaged oriental beech stands in different development stages within a 5-years period (case study: Langa Kelardasht). *Plant Research J. (Iranian Biology J.)*. 29: 1. 31-42. (In Persian)
5. Amanzadeh, B. 2016. Investigation on structure, natural stand development stages, and ecological characteristics of canopy gaps in mixed stands of Nav forests, Asalem. Ph.D. thesis, Sari, University of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources. 208p. (In Persian)
6. Rahmani, A., Teimouri, M., Matinizade, M., Kalafi, Y., and Amanzade, B. 2016. Evaluation of soil and leaves nutrients concentration of beech (*Fagus orientalis* Lipsky) in different development stages of a beech stand (Case study: Raze forest, Guilan). *J. of Forest and Poplar Research*. 24: 2. 323-331. (In Persian)
7. Oliiae, H., and Sadri, N. 2016. *Forest Soils*. Agricultural education research. Press, 368p. (In Persian)
8. Yousefi Kalkonari, M. 2017. Assessment of stand characteristics and plant biodiversity among different stand development stages in pure beech stands. [MSc. Thesis.] Sari, University of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources. 72p. (In Persian)
9. Habashi, H., Shabani, E., and Moslehi, M. 2018. Investigation on the base cation variations in throughfall and litter flow of *Acer velutinum* in the Caspian forest. *J. of Forest and Wood Products*. 71: 3. 221-230. (In Persian)
10. Nalbandi-Qaraqiyeh, Z. 2015. *Ecology of forest soils*. Iranian Agricultural Science. Press, 412p. (In Persian)
11. Zhu, K., Wang, Q., Zhang, Y., Zarif, N., Ma, Sh., and Xu, L. 2022. Variation in soil bacterial and fungal community composition at different successional stages of a broad-leaved Korean Pine forest in the Lesser Hinggan Mountains. *J. of Forests*. 13: 625. 1-17.
12. Carter, R. 1979. Diagnosis and interpretation of forest stand nutrient status. *J. of Forest Stand Nutrient Status*. 8: 90-97.
13. Marvi Mohajer, M.R., and Sefidi, K. 2013. *Forest Ecology*. Academic Jahad. Press, 400p. (In Persian)
14. Zandi, L., Jafarian, Z., Kavian, A., and Kooch, Y., 2021. Investigation of changes in soil microbial characteristics due to changes in the type and land use age (Case study: Kiasar Mazandaran rangelands). *J. of Water and Soil Conservation*. 28: 2. 103-121. (In Persian)
15. Raiesi, F., and Asadi, E. 2006. Soil Microbial activity and litter turnover in native Grazed and Ungrazed rangelands in a semiarid ecosystem. *J. of Biology and Fertility of Soils*. 43: 1. 76-82.
16. Azaryan, M., Abrari Vajari, K., and Amanzadeh, B. 2020. Variability of soil physical, chemical, and biological properties in developmental stages of beech (*Fagus orientalis* Lipsky) forest of Asalem, Gilan Province, Iran. *J. of Forest and Poplar Research*. 28: 2. 124-136. (In Persian)
17. Li, Y., Yang, F., Ou, Y., Zhang, D., Liu, J., Chu, G., Zhang, Y., Otieno, D., and Zhuo, G. 2013. Changes in Forest Soil Properties in Different Successional Stages in Lower Tropical China. *J. of Plos one*. 8: 11. 1-10.
18. Mchado, D.L., Gervasio Pereira, M., Lopes Dos Santos, L., Ribeiro Diniz, A., and Guareschi R. 2019. Organic Matter and Soil Fertility in Different Successional Stages of Seasonal Semideciduous Forest. *J. of Revista Caatinga*. 32: 1. 179-188.
19. Liu, Y., Zhu, G., Hai, X., Li, J., Shanguan, Zh., Peng, Ch., and Lei, D. 2020. Long-term forest succession improves plant diversity and soil quality but does not significantly increase soil microbial diversity: Evidence from the Loess Plateau. *J. of Ecological Engineering*. 142: 1-13.
20. Zhao, X., Peiling, L., Feng, Y., Zhang, W., Njoroge, B., Long, F., Zhou, Q., Qu, Ch., Gan, X., and Liu, X. 2022. Changes in soil physicochemical and microbiological properties during natural succession: A case study in lower subtropical China. *J. of Plant Science*. 13: 1-13.

21. National Forests and Ranges Organization, Forestry Technical Office. 2012. General administration of natural resources and watershed management of Golestan province (second revision, forestry plan booklet of Shast Kalateh Gorgan). 320p.
22. Radaei, M., and Habashi, H. 2022. The effect of harvesting intensity in the single tree selection system on mixed Hornbeam stand characteristics. *J. of Wood and Forest Science and Technology*. 29: 2. 137-152. (In Persian)
23. Feldmann, E., Glatthorn, J., Hauck, M., and Leuschner, C. 2018. A novel empirical approach for determining the extension of forest development stages in temperate old-growth forests. *European J. of Forest Research*. 137: 3. 1-15.
24. Mataji, A., and Sagheb-Talebi, Kh. 2007. Development stages and dynamics of two oriental beeches (*Fagus orientalis*) communities at natural forests of Kheirudkenar-Noshahr. *J. of Forest and Poplar Research*. 15: 4. 398-416. (In Persian)
25. Ghazanshahi, J. 2019. Plant and soil analysis. Ayyez. Press, 272p. (In Persian)
26. Amini, Sh. 2012. Impact of cavity area on vegetation biodiversity and soil characteristics in a managed forest (Case study: Khalil Mahaleh and Abbas Abad Behshahr forestry plan series two). [MSc. Thesis.] Sari, University of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources. (In Persian)
27. Shabani, S., Akbarinia, M., Jalali, G., and Aliarab, A.R. 2011. Relationship between soil characteristics and Beech regeneration density in canopy gaps with different sizes. *J. of Wood and Forest Science and Technology*. 18: 3. 63-77.
28. Makineci, E., Demir, M., Comez, A., and Yilmaz, E. 2008. Chemical characteristics of the surface soil, herbaceous cover, and organic layer of a compacted skid road in a fir (*Abies bornmulleriana* Mattf.) forest. *J. of Transportation Research Part D Transport and Environment*. 12: 7. 453-459.
29. Thiel, A.L., and Perakis, S.S. 2009. Nitrogen dynamics across silvicultural canopy gaps in young forests of western Oregon. *J. of Forest Ecology and Management*. 258: 273-287.
30. Muscolo, A., Sidari, M., and Mercurio, R. 2007. Influence of gap size on organic matter decomposition, microbial biomass, and nutrient cycle in Calabrian pine (*Pinus laricio*, Poiret) stands. *J. of Forest Ecology Management*. 242: 412-418.
31. Jafari, M., and Sarmadian, F. 2011. Basics of soil science and soil classification. Tehran University Press, 788p. (In Persian)
32. Asgari, H. 2012. The importance of soil organic matter. Gorgan Univ. Press, 237p. (In Persian)
33. Mao, R., Zeng, D.H., Yan, A.G., Yang, D., Li, L.J., and Liu, Y.X. 2010. Soil microbiological and chemical effects of a nitrogen-fixing shrub in poplar plantations in the semi-arid region of Northeast China. *European J. of Soil Biology*. 46: 3. 325-329.
34. Hu, X., Shu, Q., Guo, W., Shang, Z. and Qi, L. 2022. Secondary Succession Altered the diversity and co-occurrence networks of the soil bacterial communities in tropical lowland rainforests. *J. of Plants*. 11: 10. 1344.
35. Zhu, B., Wang, X.P., Fang, J.Y., Piao, S.L., Shen, H.H., Zhao, S.Q., and Peng, C.H. 2010. Altitudinal changes in carbon storage of temperate forests on Mt Changbai, Northeast China. *J. of Plant Research*. 123: 4. 439-452.
36. Feng, C., Ma, Y., Jin, X., Wang, Z., Ma, Y., and Chen, H. Y. 2019. Soil enzyme activities increase following the restoration of degraded subtropical forests. *J. of Geoderma*. 351: 1. 180-187.
37. Nasri, M. 2017. Comparison of regeneration density and soil characteristics in the natural and man-made gap in Tutaki forests of Siahkal. PhD thesis, Ardabili, University of Mohagheh Ardabili. 129p. (In Persian)
38. Reyes, F., Zanetti, S., Espinosa, A., and Alvear, M. 2010. Biochemical properties in vascular epiphytes

- substrate from a temperate forest of Chile. *J. of Soil Science and Plant Nutrition* 10: 2. 126-138.
39. Scharenbroch, B., and Bockheim, J. 2007. Impacts of forest gaps on soil properties and processes in old-growth northern hardwood-hemlock forests. *J. of Plant and Soil*. 294: 1. 219-233.
40. Kazemi, Sh., Hojjati, S.M., Fallah, A., and Barari, K. 2016. The effect of forest management on soil net mineralization rate in Khalilmahle, Behshahr. *J. of Ecology of Iranian forest*. 4: 8. 9-18. (In Persian)
41. Vais, A., Popova, V., Andronova, A., Nemich, V., Nepovinnykh, A., and Mikhaylov, P. 2023. Assessment of carbon productivity dynamics in Aspen stands under climate change based on forest inventories in central Siberia. *J. of forests*. 14: 1. 1-11.
42. Berg, B., McLaugherty, C., Santo, A.V.D., and Johnson, D. 2001. Humus buildup in boreal forests: effects of litterfall and its N concentration. *Canadian J. of Forest Research*. 31: 6. 988-998.
43. Amini, R. 2009. Dynamics of nutrient elements of beech and hornbeam leaves in the organic layer of the mixed beech forest of Shastkalate, Gorgan. [MSc. Thesis.] Gorgan, University of Agricultural Sciences and Natural Resources Gorgan. 128p. (In Persian)
44. Oulehle, F., Goodale, C.L., Evans, C.D., Chuman, T., Hruška, J., Kram, P., Navrátil, T., Tesař, M., Ač, A., Urban, O., and Tahovska, K., 2021. Dissolved and gaseous nitrogen losses in forests controlled by soil nutrient stoichiometry. *J. of Environmental Research Letters*. 16: 6. 1-11.
45. Sikora, L.J., and Stott, D.E. 1997. Soil organic carbon and nitrogen. *J. of Methods for assessing soil quality, America*, pp. 157-167.
46. Schuster, J., Mittermayer, M., Maidl, F.X., Nätscher, L., and Hülsbergen, K.J. 2022. Spatial variability of soil properties, nitrogen balance, and nitrate leaching using digital methods on heterogeneous arable fields in southern Germany. *J. of Precision Agriculture*. pp. 1-30.
47. Cheng, X., Li, Y., Liang, J., Zhang, J., Zheng, Y., Chen, X., and Li, L. 2016. Responses of microbial biomass and community composition to soil nitrate gradients in Chinese fir plantations. *J. of Applied Soil Ecology*. pp. 97-105.
48. Kaur, R., Chaudhary, D.R., and Walia, S. 2013. Microbial biomass carbon and soil enzyme activities as affected by land use change in the Indo-Gangetic plain of Punjab. *J. of the Indian Society of Soil Science*. 61: 4. 277-284.
49. Chodak, M., and Niklinska, M. 2010. Microbial activity and biomass in forest soils: effects of soil moisture, temperature, and acidity. *J. of Plant Nutrition and Soil Science*. 173: 1. 120-128.
50. Jangid, K., Williams, M.A., Franzluebbers, A.J., Schmidt, T.M., Coleman, D.C., and Whitman, W.B. 2008. Land-use history has a stronger impact on soil microbial community composition than aboveground vegetation and soil properties. *J. of Soil Biology and Biochemistry*. 40: 6. 1457-1464.
51. Shah Piri, A., Kooch, Y., and Dianati, Gh. 2021. Evaluation of soil quality indicators in degraded and converted forest habitats to rangeland in Western Mazandaran. *J. of Soil and water research*. 52: 3. 857-867.
52. Cheng, F., Peng, X., Zhao, P., Yuan, J., Zhong, C., Cheng, Y., and Zhang, S. 2013. Soil microbial biomass, basal respiration, and enzyme activity of main forest types in the Qinling Mountains. *J. of PLOS ONE*. 8: 6. 1-12.
53. Singh, J.S., Pandey, V.C., and Singh, D.P. 2011. Efficient soil microorganisms: a new dimension for sustainable agriculture and environmental development. *J. of Agriculture, Ecosystems & Environment*. 140: 3-4. 339-353.
54. Wang, H., Liu, L., Wang, W., Zhou, Z., and Wu, X. 2015. Soil microbial biomass carbon and nitrogen in relation to soil nutrient and carbon management indices in Chinese forest ecosystems. *J. of Applied Soil Ecology*. 96: 202-209.

55. Kooch, Y., Samadzadeh, B., and Hosseini, S.M. 2017. The effects of broad-leaved tree species on litter quality and soil properties in a plain forest stand. *J. of Catena*. 150: 3. 223-229.
56. Xu, Z., Chang, Y., Li, L., Luo, Q., Xu, Z., Li, X. and Wang, Y. 2018. Spatial estimation of soil carbon, nitrogen, and phosphorus stoichiometry in complex terrains: a case study of Schrenk's spruce forest in the Tianshan Mountains. *J. of Biogeosciences Discussions*. pp. 1-27.
57. Hart, S.C., Nason, G.E., Myrold, D.D., and Perry, D.A. 1994. Dynamics of gross nitrogen transformations in an old-growth forest: the carbon connection. *J. of Ecology*. 75: 4. 880-891.
58. Osono, T., Azuma, J.I., and Hirose, D. 2014. Plant species effect on the decomposition and chemical changes of leaf litter in grassland and pine and oak forest soils. *J. of Plant and Soil*. 376: 1. 411-421.

