University of Tehran

Journal of Forest and Wood Products

Online ISSN: 2383-0530

Home Page: https://jfwp.ut.ac.ir

Effects of (*Cydalima perspectalis* Walker) on the quality characteristics of leaf litter and soil (Case study: Cheshmebalbel Boxwood Reserve, Bandargaz, Golestan Province)

Yeganeh Karimi[1] | Omid Esmailzadeh[2]* | Azam Sadat Nouraei[3]

1. Department of Forest Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran. Email: yeganekarimi@modares.ac.ir
2. Corresponding author, Department of Forest Science and Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran. Email: oesmailzadeh@modares.ac.ir
3. Department of Forestry and Forest Ecology, Faculty of Natural Resources, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran. Email: noraiy.azam@yahoo.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received: 25 September 2023
Revised: 01 November 2023
Accepted: 05 November 2023
Published online: 20 December 2023

Keywords:
Defoliation,
Natural disturbance,
Nutrients,
Soil respiration,
Sustainable forest management.

ABSTRACT

In this study, the impact of boxwood moth pest defoliation on the dynamics of leaf litter and soil nutrients in the Cheshmebolbel boxwood (*Buxus hyrcana*) reserve was evaluated. A random sampling technique was employed to collect litter layer samples (using a 400 cm^2 frame) and soil samples (using a metal cylinder with an 8 cm diameter and a 10 cm depth) from 32 sites in unpolluted and polluted boxwood stands. The results revealed that only soil moisture percentage differed significantly among the soil physical variables, whereas all chemical soil variables showed significant differences between the two polluted and unpolluted boxwood sites. Furthermore, basal respiration (0.14, 0.12), metabolic rate, microbial ratio, and carbon availability index were significantly higher in the polluted sites compared to the unpolluted site, while no significant difference was observed based on the microbial-carbon respiration index. The principal component analysis (PCA) results demonstrated a distinct separation of the two sites, both polluted and unpolluted, along the first axis, based on both litter and soil variables. In this context, nitrogen, metabolic rate, moisture, nitrate, ammonium, and stimulated respiration (0.30, 0.39) exhibited a positive correlation with the first axis, representing the concentration of the unpolluted stand. On the other hand, C/N ratio, potassium, magnesium, calcium, and microbial biomass carbon displayed a negative correlation with the first axis, representing the concentration of unpolluted sites. In general, the findings of this research underscore the substantial influence of defoliation induced by pest outbreaks on an important aspect of forest ecosystem health, performance, and nutrient cycling.

Cite this article: Karimi, Y., Esmailzadeh, O., Nouraei, A.S. (2023). Effects of (*Cydalima perspectalis* Walker) on the quality characteristics of leaf litter and soil (Case study: Cheshmebalbel Boxwood Reserve, Bandargaz, Golestan Province). *Journal of Forest and Wood Products*, 76 (3), 191-206. DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2023.365837.1264

© The Author(s) **Publisher:** The University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2023.365837.1264

دانشگاه تهران

نشریهٔ جنگل و فرآورده‌های چوب

سایت نشریه: https://jfwp.ut.ac.ir

شاپا الکترونیکی: ۰۵۳۰-۲۳۸۳

اثرات آفت شب‌پرهٔ شمشاد (*Cydalima perspectalis* Walker) بر مشخصه‌های کیفی لاشبرگ و خاک (مطالعهٔ موردی: ذخیره‌گاه شمشاد چشمه‌بلبل بندرگز، استان گلستان)

یگانه کریمی[۱] | امید اسماعیل‌زاده[۲*] | اعظم‌السادات نورائی[۳]

۱. گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران. رایانامه:yeganekarimi@modares.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران. رایانامه:oesmailzadeh@modares.ac.ir

۳. گروه جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری، ایران. رایانامه:noraiy.azam@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۰۳
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۸/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۱۴
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۹/۲۹

کلیدواژه:
اختلال طبیعی،
برگ‌خواری،
تنفس خاک،
عناصر غذایی،
مدیریت پایدار جنگل.

چکیده

در پژوهش حاضر، تأثیر برگ‌خواری لاروهای آفت شب‌پرهٔ شمشاد (*Cydalima perspectalis* Walker) بر تغییرات عناصر غذایی لاشبرگ و خاک در ذخیره‌گاه شمشاد چشمه‌بلبل مورد ارزیابی قرارگرفت. بدین منظور، نمونه‌برداری از لاشبرگ تجزیه‌نشده (با استفاده از قاب ۴۰۰ سانتی‌مترمربعی) و خاک (با استفاده استوانهٔ فلزی به قطر هشت و عمق ده سانتی‌متر) به تعداد ۳۲ نمونه در توده‌های سالم و آلوده به آفت شب‌پرهٔ شمشاد با استفاده از روش تصادفی انجام شد. نتایج نشان داد اگرچه از بین متغیرهای فیزیکی خاک، فقط تغییرات درصد رطوبت خاک در دو تودهٔ سالم و آلوده شمشاد معنی‌دار ارزیابی شد ولی توده‌های مزبور از نظر کلیه متغیرهای مورد بررسی شیمی خاک، تفاوت معنی‌داری را نشان دادند. نتایج بررسی مشخصه‌های میکروبی خاک نشان داد که تنفس پایه (۰/۱۲، ۰/۱۴)، ضریب متابولیکی، نسبت میکروبی و شاخص دسترسی به کربن در تودهٔ آلوده به‌طور معنی‌داری بیشتر از تودهٔ سالم و تنفس برانگیخته (۰/۳۹، ۰/۳۰)، در تودهٔ سالم بیشتر از تودهٔ آلوده ارزیابی شد. این درحالی‌است‌که اختلاف معنی‌داری بین توده‌های سالم و آلودهٔ شمشاد از نظر شاخص تنفس میکروبی کربن مشاهده نشد. نتایج تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی نشان داد که توده‌های سالم و آلودهٔ شمشاد براساس توزیع مکانی مشخصه‌های خاک در امتداد محور اول از یکدیگر متمایز بوده و متغیرهای نیتروژن، ضریب متابولیکی، رطوبت، نیترات، آمونیوم و تنفس برانگیخته همبستگی مثبتی با محور اول (تمرکز ابرنقاط توده سالم) و بالعکس متغیرهای نسبت کربن به نیتروژن، پتاسیم، منیزیم، کلسیم و زی‌تودهٔ میکروبی کربن همبستگی منفی (تمرکز ابر نقاط توده سالم) با این محور نشان دادند. به‌طورکلی، نتایج این پژوهش نشان داد که بخش مهمی از سلامت و عملکرد بوم‌سازگان جنگلی و چرخهٔ عناصر غذایی به‌شدت تحت تأثیر فرآیند برگ‌خواری ناشی از طغیان آفات قرار می‌گیرد.

استناد: کریمی، یگانه؛ اسماعیل‌زاده، امید؛ نورائی، اعظم‌السادات (۱۴۰۲). اثرات آفت شب‌پرهٔ شمشاد (*Cydalima perspectalis* Walker) بر مشخصه‌های کیفی لاشبرگ و خاک (مطالعهٔ موردی: ذخیره‌گاه شمشاد چشمه‌بلبل بندرگز، استان گلستان). *نشریهٔ جنگل و فرآورده‌های چوب*، ۷۶ (۳)، ۲۰۶-۱۹۱.
DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2023.365837.1264

© نویسندگان.
ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2023.365837.1264

۱. مقدمه

شمشاد هیرکانی[1] تنها گونه از جنس شمشاد در جنگل‌های هیرکانی شمال ایران و از معدود درختان پهن‌برگ همیشه‌سبز جنگل‌های هیرکانی با دیرزیستی بالا (بیشتر از ۵۰۰ سال) است، که محدودهٔ پراکنش آن از جلگه تا ارتفاع ۱۷۰۰ متری از سطح دریا (جنگل‌های فریم ساری) و از آستارا تا چشمه‌بلبل بندرگز است [۳۴، ۶۸، ۲]. اگرچه شمشاد در لیست قرمز گیاهان ایران در طبقهٔ حفاظتی در معرض خطر معرفی شده است، اما از یک‌سو انهدام بخش عمده‌ای از جنگل‌های شمشاد ناحیهٔ هیرکانی به‌دلیل بهره‌برداری بی‌رویه از درختان شمشاد در طول دهه‌های گذشته و از سوی دیگر بروز بیماری قارچی سوختگی برگ شمشاد و مهم‌تر از آن طغیان آفت شب‌پرهٔ شمشاد (*Cydalima perspectalis* Walker) سبب شده است تا سطوح وسیعی از این جنگل‌ها (بیش از ۹۰ درصد آن‌ها) نابود شوند [۳۲]. از این‌رو، می‌توان اظهار داشت که شمشاد در فهرست گونه‌های به‌شدت در معرض خطر[2]جنگل‌های هیرکانی قرار دارد. آفت شب پرهٔ شمشاد[3] ابتدا در کشورهای هلند و آلمان در سال ۲۰۰۶، شناسایی شد و سپس به سرعت در بسیاری از کشورهای دیگر مشاهده شد [۴۰،۴۵]. در طی مراحل استقرار، این گونه ابتدا اپیدرم برگ را مورد تهاجم قرار داده و سپس برگ‌های کامل و پوست تنه، شاخه و ساقه را مورد استفاده قرار می‌دهد [۵۱]. برگ‌خواری حشرات با تأثیر بر پویایی مواد مغذی، نقش تعیین‌کننده‌ای بر فرآیندها و خدمات اکوسیستم‌ها ایفا می‌کند و به‌طور چشم‌گیری تحت تأثیر عملکرد حشرات قرار می‌گیرد. هر گونه اختلال در جنگل، مانند شیوع آفات و امراض می‌تواند اثرات قابل توجهی بر چرخهٔ عناصر در آن داشته باشد [۶۴، ۸]. در مناطق جنگلی مواد غذایی از طریق ته‌نشست خشک اتمسفری و به‌وسیلهٔ بارندگی وارد اکوسیستم می‌شوند. جریان کلی مواد در یک بوم‌سازگان جنگلی شامل بارش و آب‌شویی مواد از طریق تاج بارش، انتقال آن به همراه لاشه‌ریزی به خاک و سپس جذب توسط درختان است که پس از آن مواد غذایی به زی‌توده روزمینی تبدیل می‌شود [۵۶]. هنگامی که این چرخه در معرض اختلالاتی مانند آتش‌سوزی و برگ‌خواری تاج‌پوشش قرار گیرند، موجب تغییرات و تلفات عمده در چرخهٔ مواد مغذی جنگل می‌شوند [۷۰].

پویایی چرخهٔ کربن و نیتروژن و توزیع آن‌ها کاملاً به یکدیگر وابسته بوده و هر گونه اختلال در آن می‌تواند پویایی مواد مغذی را بین سیستم‌های زیرزمینی و روزمینی تغییر دهد [۱۶،۱۱]. در بوم‌سازگان جنگل، چرخهٔ نیتروژن می‌تواند از طریق کاهش شاخ و برگ، کاهش رشد درختان، آب‌شویی به‌وسیلهٔ تاج‌بارش، افزایش لاشه‌ریزی و تجزیهٔ لاشبرگ تحت تأثیر عملکرد آفات و حشرات برگ‌خوار قرار گیرد [۱۹]. برگ‌خواری حشرات منجر به ریزش زودرس برگ، کاهش میزان ورودی لاشبرگ، تغییر میزان فتوسنتز و همچنین افزایش ترکیبات دفاعی در برگ می‌گردد [۲۳، ۳۸، ۲۲]. این اثرات، زمان‌بندی، میزان، مسیرهای انتقال و چرخهٔ عناصر را در یک بوم‌سازگان جنگلی تغییر می‌دهند [۳۷، ۲۸]. در دهه‌های اخیر، جنگل‌ها در مواجهه با افزایش شیوع حشرات و عوامل بیماری‌زا دست‌خوش تغییرات قابل توجهی شده‌اند [۳۰]. علاوه براین، شیوع گستردهٔ آفت و حشرات چرخهٔ کربن را در بوم‌سازگان-های جنگلی تحت تأثیر خود قرار می‌دهد و سبب می‌شود تا جنگل‌ها از حالت ترسیب‌کنندهٔ کربن به تولیدکنندهٔ آن تبدیل شوند [۴۰]. هرگونه تغییر در چرخهٔ کربن در بوم‌سازگان جنگل بر غلظت جهانی دی‌اکسید کربن (CO_2) اتمسفر و تغییرات جهانی آب و هوا اثرگذار است. حدود ۷۵ درصد کربن در بوم‌سازگان جنگلی در خاک ذخیره می‌گردد و تنفس خاک، دومین و یکی از بزرگترین منابع انتشار دی‌اکسید کربن به اتمسفر است [۱۵]. انتشار CO_2 و تنفس خاک شامل تنفس اتوتروف (ریشه و ریزوسفر) و هتروتروف (میکروب) از اجزای کلیدی چرخهٔ کربن روزمینی هستند که ممکن است با افزایش نرخ مرگ و میر درختان به‌طور چشمگیری تغییر کند [۷]. بنابراین درک پاسخ چرخهٔ کربن خاک به حملهٔ آفات به‌منظور پیش‌بینی اثرات اختلالات طبیعی بر تعادل کربن و به‌ویژه تنفس خاک، ضرورت بالایی دارد [۲۰]، چراکه بسیاری از حشرات مهاجم موجب استرس و مرگ و میر درختان از طریق سوراخ کردن چوب، تغذیهٔ بافت آبکش یا برگ‌زدایی می‌شوند که به‌طور بالقوه راهبردهای تخصیص کربن و مواد مغذی گیاه و بازخوردهای بعدی خاک را دچار تغییر می‌کنند. برگ‌زدایی و مرگ و میر درختان اغلب موجب کاهش تنفس خاک شده که با کاهش فعالیت ریشه‌ای به‌واسطه خشک شدن درختان مرتبط می‌باشد [۵۸]. با این حال، اثرات حشرات مهاجم بر چرخهٔ کربن بوم‌سازگان‌های

[1] *Buxus hyrcana* Pojark
[2] Critically Endangered
[3] *Cydalima perspectalls* Walker

جنگلی به‌ویژه برای اثرات غیرمستقیم مانند تغییرات در تنفس خاک نامشخص باقی مانده است [۵۵].

مرور منابع بر این نکته دلالت دارد که در پژوهش‌های گذشته غالباً به بررسی اثرات برگ‌خواری بر ترکیب پوشش گیاهی روزمینی تمرکز شده است و کمتر پژوهشی، تغییرات عناصر غذایی پس از فرآیند برگ‌خواری در خاک را مورد بررسی قرار داده است. در ایران نیز تاکنون اثر انهدام ناگهانی تاج‌پوشش درختان شمشاد و اضافه شدن ترکیبات آلی هضم‌شده از سیستم گوارش لاروهای آفت شب‌پرهٔ شمشاد بر خصوصیات فیزیکی–شیمیایی خاک و لاشبرگ و فعالیت زیستی جوامع میکروبی خاک مطالعه نشده است. در این راستا، ذخیره‌گاه شمشاد چشمه‌بلبل که در شرقی‌ترین محدودهٔ پراکنش شمشاد در ناحیهٔ هیرکانی واقع شده است، به‌دلیل اجرای مبارزه زیستی با آفت شب‌پره در قسمت‌هایی از منطقه، از هجوم آفت شب‌پره مصون مانده و همچنان شامل درختان سالم شمشاد با تراکم بالا و تجدیدحیات انبوه است، مد نظر قرار گرفته است. البته بخش‌هایی از این جنگل به‌دلیل عدم اجرای مبارزهٔ زیستی محتوی توده‌های آلوده شمشاد است که خسارت ناشی از آفت شب‌پرهٔ شمشاد موجب خشکیدگی درختان شمشاد، حذف تجدید حیات شمشاد و بازشدن تاج‌پوشش در منطقه گردیده است. بهره‌مندی از توده‌های سالم و آلوده به آفت شب‌پرهٔ شمشاد، انجام این پژوهش با هدف بررسی اثرات آفت شب‌پرهٔ شمشاد[1] بر تغییرات لاشبرگ و خاک در ذخیره‌گاه شمشاد چشمه‌بلبل را فراهم ساخت. بر این اساس، پژوهش حاضر درنظر دارد، تأثیر فعالیت برگ‌خواری درختان شمشاد بر خصوصیات لاشبرگ (خصوصیات شیمیایی)، خصوصیات فیزیکی–شیمیایی و میکروبی خاک جنگل را ارزیابی کند.

۲. روش‌شناسی پژوهش

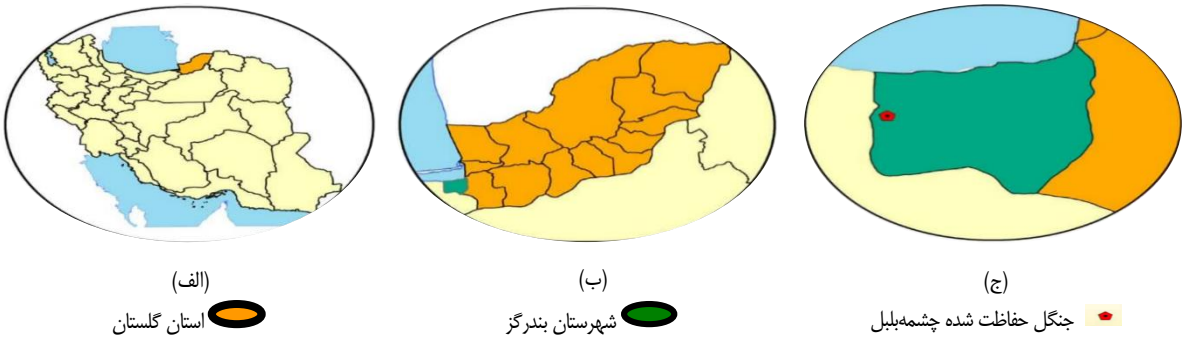
۲–۱. منطقهٔ مورد مطالعه

ذخیره‌گاه جنگلی چشمه‌بلبل در شهرستان بندرگز با مساحت ۴۸ هکتار در غرب استان گلستان و طول جغرافیایی "۴۰°۴۸'۵۳– "۴۰°۵۲'۵۳ – عرض جغرافیایی "۱۲°۴۲'۳۶– "۳۰°۴۲'۳۶ قرار دارد (شکل ۱). این منطقه در محدودهٔ ارتفاعی ۲۶۰–۵۵ متر از سطح دریا قرار داشته و براساس اطلاعات ایستگاه هواشناسی شهرستان بندرگز ("۲۳°۵۷'۵۳ طول شرقی و "۴۵°۴۶'۳۶ عرض شمالی) در بازهٔ زمانی ۱۴۰۱–۱۳۹۲، دارای میانگین بارندگی سالیانه ۵۱۶ میلی‌متر و متوسط دمای ۱۹ درجهٔ سانتی‌گراد (کم‌ترین دما، ۳– درجهٔ سانتی‌گراد و بیشترین دما، ۴۰ درجهٔ سانتی‌گراد) است. شیب عمومی منطقهٔ شمالی و در محدودهٔ ۱ تا ۶۰ درصد قرار دارد. خاک منطقه، قهوه‌ای جنگلی با درجه واکنش خاک قلیایی و قهوه‌ای شسته شده با افق کلسیک، بافت کلی خاک منطقه از نوع لومی و سیلت–لومی و از نظر زمین‌شناسی، دارای سنگ آهکی دولومیتی و سنگ آهک سفید رنگ است. درختان ممرز، انجیلی، بلندمازو، آزاد و داغداغان در اشکوب بالا به‌همراه درختان شمشاد در اشکوب میانی و البته کوله‌خاس و خاس به‌عنوان مهمترین گونه‌های زیراشکوب این ذخیره‌گاه محسوب می‌شوند [۳۴].

۲–۲. روش تحقیق

به‌منظور مقایسهٔ مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و میکروبی دو بستر لایه سطحی لاشبرگ (در سطح ۴۰۰ سانتی‌متر مربع) و خاک در دو تودهٔ سالم و آلوده شمشاد، تعداد ۳۲ نمونه خاک و لاشبرگ (به‌طور تصادفی) با فواصل ۱۰۰ متری با استفاده از استوانهٔ فلزی (به قطر هشت و عمق ده سانتی‌متر) در فصل پاییز برداشت شد. نقاط مورد بررسی از نظر خصوصیات توپوگرافی (ارتفاع ۱۲۰ متر از سطح دریا، شیب ۱۰ تا ۱۵ درصد و جهت جغرافیایی شمالی) در دو تودهٔ سالم و آلودهٔ شمشاد کاملاً مشابه است. نمونه‌های خاک و لاشبرگ پس از استخراج و برچسب‌گذاری به محیط آزمایشگاه منتقل شد. سپس در محیط آزمایشگاه، بخشی از نمونه‌های مزبور، برای انجام مطالعات فیزیکی–شیمیایی هوا خشک شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد. همچنین بخش دوم نمونه‌ها برای انجام آزمایش‌های زیستی تا زمان آزمایش در دمای ۴ درجهٔ سانتی‌گراد به‌مدت ۲ ماه نگهداری شد [۳۳].

[1] *Cydalima perspectali*



شکل ۱. منطقهٔ مورد مطالعه، ایران (الف)، استان گلستان (ب)، منطقهٔ جنگلی حفاظت شده چشمه‌بلبل (ج) و تصاویر دو تودهٔ سالم و آلوده (د)

۲-۳. آنالیز آزمایشگاهی

مشخصه‌های فیزیکی خاک شامل: درصد رطوبت به روش توزین [۳۱]، چگالی ظاهری به روش کلوخه [۳۱]، بافت خاک به روش هیدرومتری [۳۱]، پایداری خاکدانه به روش پیشنهادی Pojasok و Key (۱۹۹۰) [۶۵] و مشخصه‌های شیمیایی خاک شامل: درجه واکنش خاک به روش پتانسیومتری با استفاده از دستگاه pH متر، هدایت الکتریکی با استفاده ازدستگاه هدایت‌سنج [۲۴]، نیتروژن کل با روش کجلدال (دستگاه کجلتک) [۳۱]، فسفر به روش اولسن [۵۹] (دستگاه اسپکتروفتومتر)، پتاسیم و منزیم با استفاده از روش عصاره‌گیری با استات آمونیوم [۶] (دستگاه فلیم‌فتومتر)، کلسیم به روش عصاره‌گیری (دستگاه اسپکتروفتومتر) [۴۹]، کربن به روش والکی بلک [۵۷] و ازت آمونیاکی (NH_4) و نیتراتی (NO_3) خاک نیز با استفاده از روش عصاره‌گیری با کلرور پتاسیم (دستگاه‌کجدال) [۶۱] اندازه‌گیری شد. مشخصه‌های میکروبی خاک شامل تنفس میکروبی پایه و برانگیخته به روش بطری درب بسته [۵] و زی‌تودهٔ میکروبی کربن به روش تدخین-استخراج انجام شد [۱۲]. همچنین به‌منظور ارزیابی عناصر شیمیایی موجود در لایهٔ لاشبرگ در دو تودهٔ سالم و آلودهٔ شمشاد، از روش کجلدال برای اندازه‌گیری نیتروژن کل [۱۳]، از روش کالریمتری برای فسفر [۱۷] ، از دستگاه فلیم‌فتومتر برای پتاسیم [۲۹] و از روش کوره (احتراق) برای اندازه‌گیری کربن استفاده شد [۵۷].

۲-۴. تجزیه داده‌ها

به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌های مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و میکروبی لاشبرگ و خاک در دو تودهٔ آلوده و سالم، ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیرو ویلک و همگنی واریانس‌ها با آزمون لون مورد ارزیابی قرار گرفت. از آزمون t غیرجفتی برای بررسی معنی‌داری مقادیر متوسط ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و میکروبی خاک و لاشبرگ در دو تودهٔ سالم و آلودهٔ شمشاد با استفاده از نرم‌افزار SPSS v.22 استفاده شد. همچنین از تحلیل تجزیه مولفه‌های اصلی[1] (PCA) برای تعیین روابط بین متغیرهای مورد بررسی در دو تودهٔ سالم و آلودهٔ شمشاد و تعیین مهم‌ترین متغیرهای مورد بررسی استفاده شد. شایان ذکر است که قبل از اجرای PCA با استفاده از تحلیل فاصله ماهالانوبیس[2] و تحلیل هم‌خطی[3] به‌ترتیب تحلیل دادهٔ پرت و تحلیل هم‌خطی انجام شد. نتایج این دو تحلیل نشان داد که مقادیر دادهٔ پرت در مشاهدات و هم‌خطی بین متغیرها وجود نداشت. همچنین وجود رابطهٔ اولیه بین متغیرها و کفایت تعداد مشاهده‌ها به‌عنوان دو پیش‌شرط اجرای PCA نیز با استفاده از آزمون بارتلت[4] (P<۰/۰۵) و آزمون کفایت نمونه‌گیری[5] (KMO=۰/۸۵) در محیط SPSS احراز گردید [۵۷]. تحلیل PCA با استفاده از بستهٔ نرم‌افزاری PC-Ord for Windows ver. 5.0 انجام شد.

۳. یافته‌های پژوهش

مقایسهٔ مشخصه‌های لاشبرگ نشان داد میزان نیتروژن و فسفر لاشبرگ در تودهٔ سالم به‌طور معنی‌داری ($P<۰/۰۵$) از تودهٔ آلوده بیشتر است اما اختلاف معنی‌داری بین پتاسیم و کربن لاشبرگ در دو تودهٔ سالم و آلوده مشاهده نشد (جدول ۱).

جدول ۱. میانگین (± انحراف معیار) مشخصه‌های لاشبرگ در منطقهٔ مورد مطالعه

	مشخصه	تودهٔ سالم	تودهٔ آلوده	آمارهٔ t	معنی‌داری
مشخصه‌های لاشبرگ	درصد کربن	۳۰/۴±۵۱/۱۹	۳۰/۳±۴۲/۴۵	۰/۰۱۶	۰/۷^{ns}
	درصد نیتروژن	۳/۱±۱۵/۰۸a	۱/۰±۱۶/۰۸b	۲/۱۰۲	۰/۰۴*
	درصد پتاسیم	۰/۰±۱۹/۰۳	۰/۰±۲۱/۰۳	۰/۱۲۴	۰/۹۰^{ns}
	درصد فسفر	۰/۰±۲۷/۰۷a	۰/۰±۰۹/۰۱b	۲/۲۲۸	۰/۰۰**

** نشان‌دهندهٔ معنی‌داری در سطح ۵ درصد (۹۵درصد اطمینان) و ns نشان دهندهٔ عدم معنی‌داری.

همچنین نتایج حاصل از بررسی تغییرات عناصر خاک در تودهٔ سالم و آلوده نشان داد که از بین مشخصه‌های فیزیکی خاک، فقط تفاوت درصد رطوبت خاک بین دو توده معنی‌دار ارزیابی شده ($P<۰/۰۵$) و سایر فاکتورهای مزبور اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند (جدول ۲). در حالی که نتایج مشخصه‌های شیمیایی خاک نشان داد که میزان نیتروژن، نیترات و آمونیوم در تودهٔ سالم، بیشتر از به تودهٔ آلوده است ($P<۰/۰۵$). درحالی که میانگین مقادیر پتاسیم، کلسیم، نسبت کربن به نیتروژن و منیزیم در تودهٔ آلوده نسبت به توده سالم، بیشتر است ($P<۰/۰۵$).

نتایج بررسی مشخصه‌های میکروبی خاک نیز نشان داد که تنفس پایه، ضریب متابولیکی، نسبت میکروبی و شاخص دسترسی به کربن در تودهٔ آلوده به‌طور معنی‌داری ($P<۰/۰۵$) بیشتر از تودهٔ سالم است (شکل ۲) اما تنفس برانگیخته در تودهٔ سالم بیشتر از تودهٔ آلوده ارزیابی شد (شکل ۲). ولی اختلاف مقادیر متوسط زی‌تودهٔ میکروبی کربن در دو تودهٔ سالم و آلودهٔ شمشاد معنی‌دار ارزیابی نشد. مطابق با نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) (شکل ۳) توزیع مکانی مشخصه‌های خاک در مواجهه با آفت شب‌پرهٔ شمشاد به‌وضوح از یکدیگر متمایز شدند و توزیع مکانی مشخصه‌های خاک و در مواجهه با آفت شب‌پرهٔ

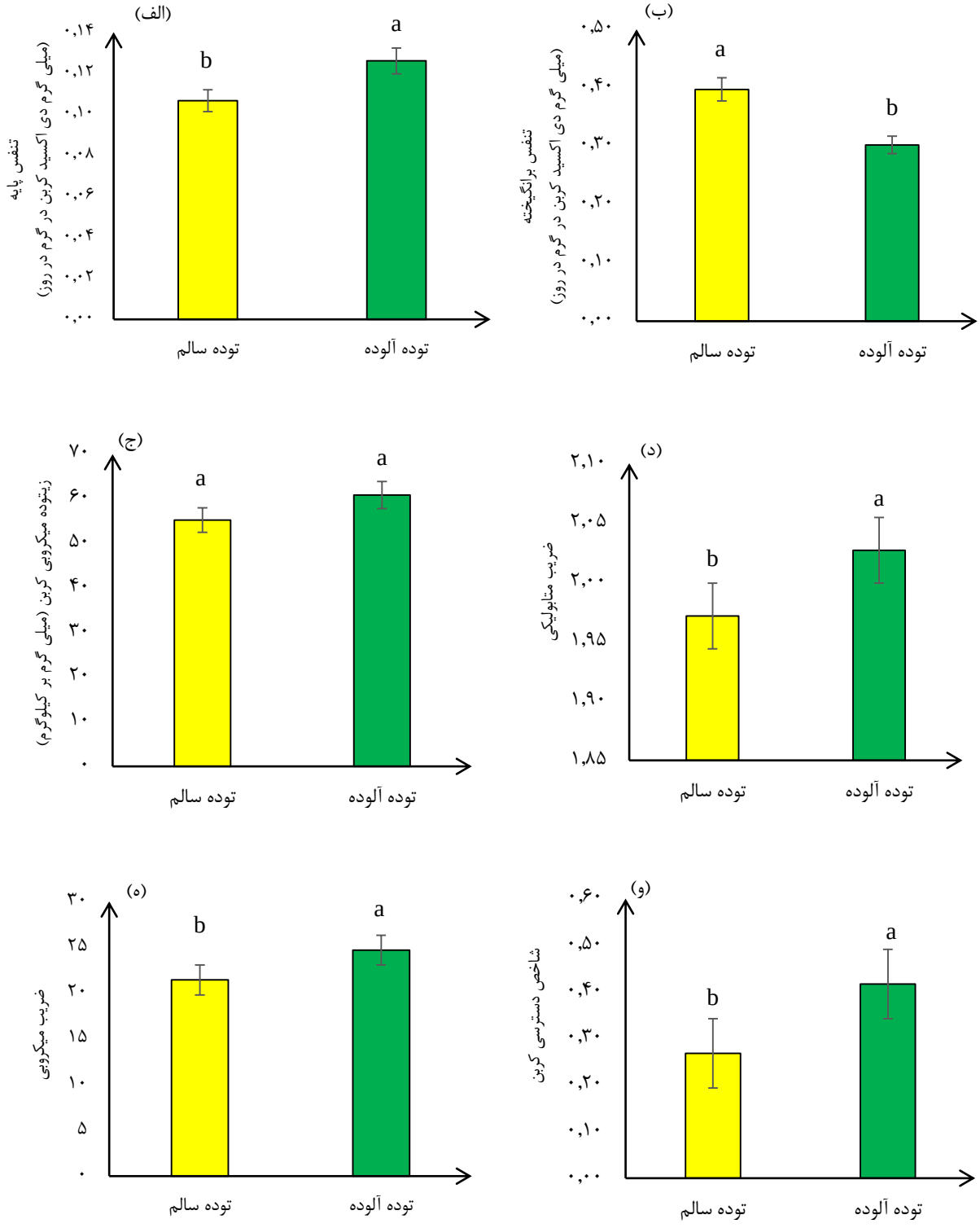
[1] Principal component analysis
[2] Mahalanobis distance
[3] Collinearity diagnostic
[4] Bartlets sphericity test
[5] Kiaser-Meyer-Olkin measure of sampling adequacy (KMO)

شمشاد (محور اول با مقدار ویژه ۵/۸ و درصد واریانس متناظر با عامل ۳۴/۴۵ درصد و محور دوم با مقدار ویژه ۱/۵۶ و درصد واریانس متناظر با عامل ۲۱/۸۸ درصد) در مجموع ۵۶ درصد از واریانس تجمعی را تبیین نمودند. محور اول همبستگی مثبتی را با تودهٔ سالم و همبستگی منفی را با تودهٔ آلوده به نمایش گذاشت. در این راستا، متغیرهای نیتروژن، ضریب متابولیکی، رطوبت، نیترات، آمونیوم و تنفس برانگیخته دارای همبستگی مثبت با محور اول و متغیرهای نسبت کربن به نیتروژن، پتاسیم، منیزیم، کلسیم و زی‌تودهٔ میکروبی کربن دارای بیشترین همبستگی منفی با محور اول بوده‌اند. محور دوم، بیشترین همبستگی مثبت را با متغیر کربن، تنفس پایه و تنفس برانگیخته و بیشترین همبستگی منفی را با متغیرهای زی‌تودهٔ میکروبی کربن، نسبت میکروبی، شاخص دسترسی کربن و کلسیم نشان داد. نتایج حاصل از این پژوهش مشخص کرد که دو توده براساس مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و میکروبی خاک در امتداد دو محور به‌وضوح از یکدیگر متمایز شدند. نمایش متغیرهای فیزیکی و شیمیایی به‌همراه ویژگی‌های میکروبی به‌تفکیک دو تودهٔ سالم و آلوده در رویشگاه مورد بررسی در نمودار دوگانهٔ PCA نشان داد که مشخصات خاک به‌شدت تحت تأثیر برگ‌خواری ناشی از آفت شب‌پرهٔ شمشاد قرار گرفتند (جدول ۳).

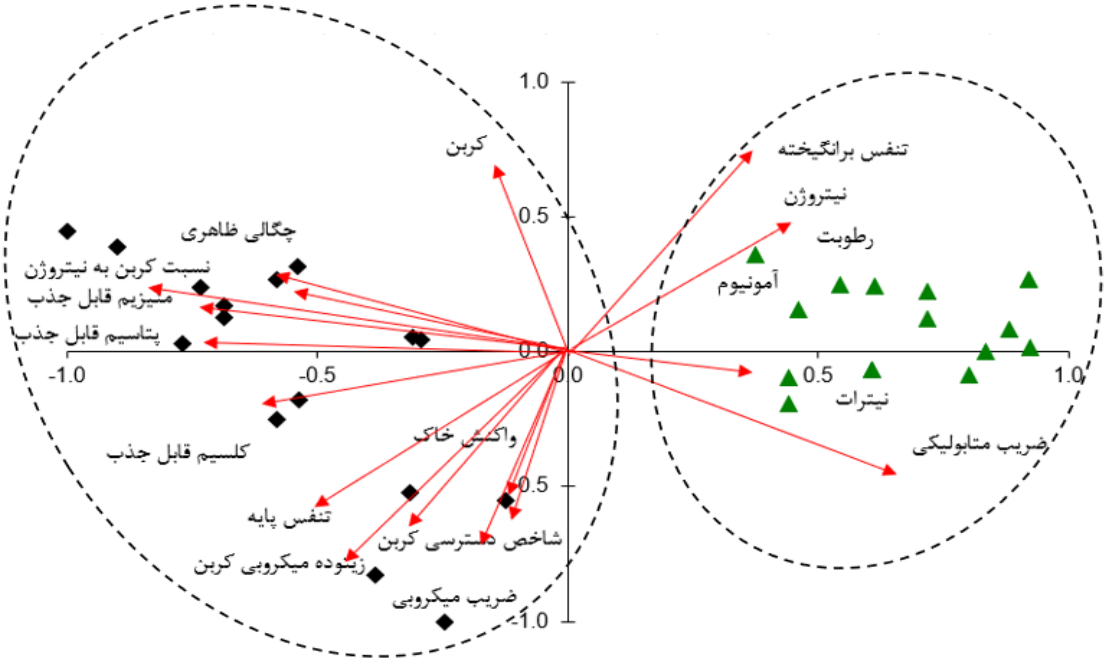
جدول ۲. میانگین (± انحراف معیار) مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در ارتباط با رویشگاه مورد مطالعه

	مشخصه	تودهٔ سالم	تودهٔ آلوده	آمارهٔ t	معنی‌داری
مشخصه‌های فیزیکی	درصد شن	۳۴/۲±۲۵/۴۶	۲۶/۳±۰۰/۵a	۱/۹۲۶	۰/۳ns
	درصد سیلت	۴۵/۲±۲۵/۰۶a	۴۸/۲±۵/۷a	۰/۹۵۱	۰/۳ns
	درصد رس	۲۰/۱±۵۰/۴۰a	۲۵/۱±۵۰/۶۷a	۲/۲۸۶	۰/۰۳ns
	درصد پایداری خاکدانه	۱۵/۲±۶۲/۸۹a	۲۱/۲±۶۳/۳۰a	۱/۶۲۴	۰/۱ns
	درصد چگالی ظاهری	۱/۰±۴۴/۰۸a	۱/۰±۵۸/۰۷a	۱/۳۵۶	۰/۱ ns
	درصد رطوبت	۲۲/۱±۷۳/۰۴a	۱۹/۰±۹۶/۸۸b	۲/۲۳۵	۰/۰۳*
مشخصه‌های شیمیایی	واکنش خاک	۶/۰±۷۲/۱۲a	۶/۰±۹۶/۲۲a	۱/۰۰۵	۰/۳ns
	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	۱۲۷/۸±۶۳/۳۹a	۱۱۶/۱۱±۰۰/۸۸a	۰/۱۸۰	۰/۸ns
	درصد کربن	۲/۰±۵۷/۲۳a	۲/۰±۴۶/۳۵a	۰/۲۷۰	۰/۷ns
	درصد نیتروژن	۰/۰±۳۱/۰۳a	۰/۰±۲۲/۰۳b	۲/۳۳۳	۰/۰۳*
	نسبت کربن به نیتروژن	۸/۰±۵۲/۶۳b	۱۱/۱±۵۸/۰۷a	۲/۴۴۹	۰/۰۲*
	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۲۴/۴±۳۸/۱۰a	۲۷/۵±۷۵/۷۷a	۰/۳۳۵	۰/۰۴*
	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۲۲۱/۴۸±۳۱/۲۸b	۳۲۶/۲۷±۹۳/۴۲a	۲۰/۹۰۲	۰/۰۰**
	کلسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۲۱۹۳/۸۰±۵۰/۷۶b	۲۵۹۹/۱۳۳±۵۰/۷۴a	۲۰/۵۹۰	۰/۰۲*
	منیزیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۷۵۷/۱۱۸±۷۸/۳۴b	۱۰۱۴/۹۹±۷۸/۵۹a	۲/۶۶۲	۰/۰۲*
	نیترات (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۱۲/۰±۷۹/۴۱a	۱۰/۰±۱۹/۹۵b	۲/۵۰۹	۰/۰۲*
	آمونیوم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۷/۰±۸۳/۱۸a	۷/۰±۱۴/۳۳b	۲/۸۴۹	۰/۰۳*

*معنی‌دار بودن تفاوت مقادیر ارزش شاخص بین منطقه‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد و nsعدم معنی‌داری.



شکل ۲. میانگین (± انحراف معیار) مشخصه‌های میکروبی خاک در ارتباط با رویشگاه مورد مطالعه



شکل ۳. میانگین (± انحراف معیار) مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و میکروبی خاک در ارتباط با رویشگاه مورد مطالعه (▲ تودهٔ سالم و ◆ تودهٔ آلوده)

جدول ۳. همبستگی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک با محورهای PCA به‌همراه مقادیر ویژه و درصد واریانس توجیه‌شده در ارتباط با رویشگاه مورد مطالعه

	مشخصه	محور ۱	محور ۲
مشخصه‌های فیزیکی	پایداری خاکدانه	-۰/۲۷۷^{ns}	۰/۲۰۱^{ns}
	چگالی ظاهری	-۰/۵۷۷**	۰/۲۶۶^{ns}
	رطوبت	۰/۶۶۹**	۰/۱۹۹^{ns}
مشخصه‌های شیمیایی	واکنش خاک	-۰/۳۱۴^{ns}	-۰/۶۵۷**
	هدایت الکتریکی	۰/۱۰۹^{ns}	۰/۰۶۴^{ns}
	کربن	-۰/۱۴۹^{ns}	۰/۶۸۷**
	نیتروژن	۰/۵۹۲*	۰/۳۸۸**
	نسبت کربن به نیتروژن	-۰/۷۳۴**	۰/۱۴۸^{ns}
	فسفر قابل جذب	-۰/۱۴۶^{ns}	-۰/۱۴۶^{ns}
	پتاسیم قابل جذب	-۰/۷۰۵**	۰/۰۴۹^{ns}
	کلسیم قابل جذب	-۰/۵۰۶**	-۰/۵۶۸**
	منیزیم قابل جذب	-۰/۸۴۱**	۰/۲۱۷^{ns}
	نیترات	۰/۶۶۴**	-۰/۴۴۴*
	آمونیوم	۰/۵۶۲**	۰/۲۱۴^{ns}
مشخصه‌های میکروبی	تنفس پایه	-۰/۱۱۱^{ns}	۰/۵۳۵**
	تنفس برانگیخته	۰/۳۸۰*	۰/۷۵۳**
	زی‌تودهٔ میکروبی کربن	-۰/۴۱۹*	-۰/۷۵۳**
	ضریب متابولیکی	۰/۳۸۹*	-۰/۱۰۰^{ns}
	ضریب میکروبی	-۰/۱۷۲^{ns}	-۰/۷۰۳**
	شاخص دسترسی کربن	-۰/۱۰۷^{ns}	-۰/۶۱۳**

*معنی‌دار بودن تفاوت مقادیر ارزش شاخص بین منطقه‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد، **معنی‌دار بودن تفاوت مقادیر ارزش شاخص بین منطقه‌ها در سطح ۹۹ درصد و ^{ns} عدم معنی‌داری

۴. بحث

فعالیت برگ‌خواری تاج‌پوشش با تغییر میزان ورودی و تجزیهٔ لاشبرگ می‌تواند پویایی عناصر غذایی اکوسیستم‌های جنگلی را تغییر دهد. در راستای نتایج حاصل از این پژوهش، بالاترین میزان نیتروژن و فسفر لاشبرگ مربوط به تودهٔ سالم بوده است. به‌دنبال تخریب قابل توجه در جنگل، بخشی از لاشبرگ در نتیجه اختلال یا کاهش تاج پوشش حذف می‌شود که منجر به کاهش لاشه‌ریزی و ورودی لاشبرگ می‌شود [۴۱]. درنهایت، جنگل‌های تخریب‌شده، موجب کاهش تعداد درختان، افزایش دهانهٔ تاج‌پوشش، تغییر در ترکیب گونه‌ها و حذف برخی از گونه‌ها می‌گردد [۶۶، ۴۸]. از آنجا که میزان عناصر لاشبرگ به‌طور متقابل توسط پوشش روزمینی و ورودی لاشه‌ریزی تنظیم می‌شود، در نتیجه برگ‌خواری لاروهای حشرات با بازشدن تاج‌پوشش منجر به تغییر عناصر در تودهٔ آلوده شده است [۱۴]. در این رابطه، پژوهش Neziri و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد که تغییر در چرخهٔ ورودی عناصر غذایی از طریق تاج‌بارش و لاشه‌ریزی منجر به کاهش ورودی نیتروژن و فسفر در توده آلوده می‌شود [۵۶]. ترکیب شیمیایی و میزان لاشه‌ریزی یکی از عوامل است که می‌تواند قابلیت تجزیه آن را تعیین کند و هر چه میزان ورودی عناصری مانند فسفر و نیترژن کاهش یابد، میزان تجمع مواد در لایهٔ آلی کمتر می‌شود [۱۸].

نتایج این پژوهش در رابطه با مشخصه‌های فیزیکی خاک نشان داد که در بین مشخصه‌های فیزیکی خاک، تنها درصد رطوبت در دو تودهٔ سالم و آلوده دارای اختلاف معنی‌دار بوده است. در این راستا، از دست رفتن تاج‌پوشش درختان شمشاد و باز شدن تاج جنگل در تودهٔ آلوده شمشاد موجب کاهش چشم‌گیر ظرفیت نگهداری آب در تودهٔ آلوده شده است. در واقع کاهش لایهٔ لاشبرگ و هوموس در توده‌های آلوده، کاهش ظرفیت ذخیره‌سازی و نگهداری رطوبت قابل دسترس در لایهٔ سطحی خاک را منجر می‌شود. در مطالعهٔ Page و Cameron (۲۰۰۶) نیز بر این نکته تأکید شد که لایهٔ هوموس ناشی از شاخ و برگ درختان، بستری مناسبی برای حفظ رطوبت در سطح خاک رویشگاه‌های جنگلی ایجاد می‌کند [۶۱]. در رابطه با اجزای بافت خاک باید بیان کرد که با توجه به اینکه نمونه‌برداری در مناطقی با شرایط زمین‌شناسی، فیزیوگرافی، آب و هوایی و سنگ بستر مشابه انجام شد، اختلاف معنی‌داری در اجزای خاک مشاهده نشده است. در رابطه با عدم تأثیر برگ‌خواری بر اجزای خاک، کوتاه بودن دورهٔ حضور آفت در این توده (۷ سال) را نیز می‌توان از دلایل عدم تغییر در مشخصه‌های فیزیکی خاک بیان کرد. با گذشت زمان و در بلندمدت این امکان وجود دارد که اجزای خاک به‌دلیل تغییر و حذف تاج پوشش روزمینی در طی فرآیند برگ‌خواری دچار تغییر شوند، چرا که تاج پوشش روزمینی به‌عنوان یک بستر محافظ خاک عمل نموده و نیروی فرسایشی قطرات باران را مسدود می‌نماید و در نتیجه موجب کاهش آبشویی و نهایتاً عدم تغییر اجزا و ساختار فیزیکی خاک می‌شود و با حذف تاج پوشش روزمینی، این فرآیند دچار اختلال می‌شود [۳۵].

بررسی مشخصه‌های شیمیایی خاک در دو تودهٔ سالم و آلوده، حاکی از افزایش میزان کلسیم، پتاسیم و منیزیم در رویشگاه آلوده در مقایسه با رویشگاه سالم دارد که می‌توان علت این امر را ریزش برگ‌های غنی از عناصر غذایی و بقایای حاصل از لارو و مدفوع حشرات بعد از برگ‌خواری دانست [۵۶، ۴۵]. افزایش عناصر غذایی مانند پتاسیم، منیزیم و کلسیم در تودهٔ آلوده نشان می‌دهد که عناصر بیشتری در طی فرآیند پوست‌اندازی، لارو، بقایای حشرهٔ کامل و ریزش برگ به خاک اضافه می‌گردد [۵۴]. در بین توده‌های آلوده و تودهٔ سالم مورد بررسی از لحاظ مقدار کربن خاک، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در این رابطه، نتایج پژوهش Kurz و همکاران (۲۰۰۸) نیز نشان داد که تعادل چرخهٔ کربن در بوم‌سازگان جنگلی می‌تواند به‌واسطهٔ حمله آفات و حشرات دست‌خوش تغییر شود و جنگل‌ها از حالت ترسیب‌کنندهٔ کربن به تولیدکنندهٔ آن تبدیل گردند [۴۰]. در پی از بین رفتن پوشش گیاهی و به‌دنبال آن کاهش بازگشت بقایای گیاهی (برگ‌خواری) به خاک، کربن ورودی به اکوسیستم کمتر از کربن خروجی شده و در نتیجه کاهش کربن آلی خاک در رویشگاه تخریب شده را منجر می‌شود البته بازتاب تغییر در چرخهٔ کربن در اکوسیستم‌های جنگلی نیازمند طی شدن مدت زمان بیشتر است [۵۰].

با توجه به نتایج مطالعه حاضر، بیشینهٔ میزان نیتروژن، نیترات و آمونیوم خاک در تودهٔ سالم مشاهده شد. ا برخی از محققان استدلال می‌کنند که تأثیر فرآیندهای برگ‌خواری و تغییر تاج‌پوشش بر فرآیندهای چرخهٔ نیتروژن به‌دلیل تغییرات درشرایط خرد اقلیم خاک است [۵۵]. مقدار و کیفیت لاشبرگ و مواد آلی، ترکیب گونه‌های درختی پس از برگ‌خواری، از دیگر عوامل

تعیین‌کننده در چرخهٔ نیتروژن خاک می‌باشد [۶۰]. تفاوت در محتوای نیتروژن (بالا بودن میزان نیتروژن لاشبرگ و همچنین چرخش سریع‌تر تجزیه لاشبرگ) باعث کاهش مقدار نسبت کربن به نیتروژن خاک در توده‌ای سالم شده است [۳]. به‌طور کلی نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که در بوم‌سازگان جنگل، چرخهٔ نیتروژن می‌تواند از طریق کاهش شاخ و برگ، کاهش رشد درختان، آبشویی بوسیله تاج‌بارش، افزایش لاشه‌ریزی و تجزیهٔ لاشبرگ تحت تأثیر عملکرد آفات و حشرات برگ‌خوار قرار گیرد [۵۱، ۲۰،۴۰]. این موضوع بر این نکته دلالت دارد که نیتروژن خاک در بوم‌سازگان‌های جنگلی متأثر از بهره‌وری و تجزیهٔ مواد آلی خاک است [۴۴] و از آنجا که کل نیتروژن خاک به‌طور متقابل در طی فرآیند جذب توسط گیاه و لاشه‌ریزی تنظیم می‌شود، این احتمال وجود دارد که دورهٔ برگ‌خواری موجب کاهش نیتروژن خاک به‌دلیل اختلال در این چرخه شده باشد و در نتیجه، میزان نیتروژن خاک در توده آلودهٔ کاهش یابد [۳۶]. علاوه بر این، میزان نیتروژن معدنی قابل دسترس (به‌صورت نیترات و آمونیوم) موجود در خاک، غالباً به اختلاف بین سرعت آلی و معدنی شدن وابسته است. مراحل معدنی شدن نیتروژن شامل ورود نیتروژن به چرخه از طریق تاج‌بارش، لاشه‌ریزی، ریزش برگ‌ها و شاخه‌ها، بذرها و ریشه‌ها و جوانه‌ها و در مرحلهٔ بعد تجزیه شیمیایی و تشکیل آمونیوم و در نهایت تبدیل آمونیوم به نیتریت و سپس نیترات می‌باشد [۴۲]. در این رابطه، نتایج یانگ و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که میزان آمونیوم و نیترات به شدت به ترکیب پوشش گیاهی روزمینی بستگی دارد [۷۱]. مقادیر بالاتر نیترات و آمونیوم در تودهٔ سالم به‌دلیل وجود تاج‌پوشش غنی‌تر و ورودی بیشتر در مقایسه با تودهٔ آلوده می‌باشد.

نتایج بررسی مشخصه‌های میکروبی خاک نشان داد که تنفس پایه، ضریت متابولیکی، نسبت میکروبی و شاخص دسترسی به کربن در تودهٔ آلوده بیشتر از تودهٔ سالم است، اما تنفس برانگیخته در تودهٔ سالم، در سطح بالاتری نسبت به تودهٔ آلوده قرار دارد. تنفس خاک از مجموعه‌ای از فرآیندهای پیچیده مانند: دما، رطوبت، زی‌تودهٔ میکروبی، زی‌تودهٔ ریزریشه، ورودی لاشبرگ و اسیدیته خاک است. در همین راستا، طبق بررسی نتایج پژوهش پیش‌رو، افزایش ورودی لاشبرگ و افزایش زی‌تودهٔ ریزریشه می‌تواند سبب افزایش فعالیت میکروبی خاک (تنفس پایه) در تودهٔ آلوده شده باشد. پژوهش Chen و همکاران (۲۰۱۱) نیز نشان داد که تنفس خاک به میزان زیادی به کربن آلی خاک و میزان و نوع ریزریشهٔ خاک بستگی دارد [۱۸]. در رابطه با نتایج این پژوهش باید بیان کردکه افزایش شاخص‌های میکروبی و تنفس خاک در تودهٔ آلوده می‌تواند به‌دلیل فراهم شدن بستر رشد و توسعهٔ گونه‌های زیر اشکوب در تودهٔ آلوده ناشی از باز شدن تاج پوشش درختان شمشاد باشد. چراکه کاهش پوشش درختی در طی فرآیند برگ‌خواری و بازشدن تاج پوشش، موجب افزایش دسترسی اشکوب زیرین به نور و گسترش آن‌ها شده است [۶۹]. در این رابطه، افزایش دسترسی به نور، بر غنا، فراوانی و ترکیب گونه‌های علفی اثرگذار بوده و افزایش دسترسی اشکوب علفی به نور در نتیجه اختلالات طبیعی مانند برگ‌خواری و متعاقب آن بازشدن تاج پوشش، این فرصت را به گونه‌های علفی می‌دهد که با تراکم بالا گسترش نمایند و در نتیجه موجب افزایش زی‌تودهٔ ریزریشه در تودهٔ آلوده و افزایش تنفس خاک گردند [۷۲]. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که اثرات مستقیم و غیر مستقیم برگ‌خواری بر فعالیت پوشش رو زمینی ممکن است بر سرعت رشد تغییر زی‌تودهٔ روزمینی و زی‌تودهٔ ریشه همچنین خشکیدگی کامل تأثیرگذار باشد. نتایج به‌دست آمده در این پژوهش نشان داد که زی‌تودهٔ ریشه، زی‌تودهٔ میکروبی و تنفس خاک نیز تحت تأثیر فعالیت برگ‌خواری قرار گرفته است [۶۱ ،۲۷، ۲۶]. اگرچه اثرات فرآیندهایی مانند برگ‌خواری بر روی تنفس خاک و فعالیت‌های میکروبی پیچیده است و تا حد زیادی به تعادل اثرات آن بر ریشه (اتوتروفیک) و اجزای میکروبی (هتروتروف) بستگی دارد، اما تلاش‌ها برای درک اثرات مرگ جنگل بر فرآیندهای مهم خاک که با چرخهٔ کربن در ارتباط می‌باشد، در سال‌های اخیر افزایش یافته است [۴،۱،۲۵]. برخی از مطالعات کاهش تنفس خاک را در نتیجه کاهش فعالیت ریشه گزارش کرده‌اند در صورتی که مطالعات دیگر هیچ تغییری را در توده‌های مورد بررسی مشاهده ننموده‌اند. با این وجود نتایج حاصل از پژوهش‌ها همچنان متناقص است [۴،۱۰]. این درحالی است که افزایش نرخ شاخص‌های میکروبی خاک می‌تواند در نتیجه برگ‌خواری و مرگ درخت به‌دنبال تغییر در ورودی بستر و فرآیندهای متوالی ثانویه (مانند فراهم شدن بستر رشد و توسعهٔ گونه‌های زیر اشکوب در تودهٔ آلوده) باشد [۲۱ ، ۹].

این پژوهش، یافته‌های جدیدی را در رابطه با اثرات برگ‌خواری ناشی از حمله آفات و حشرات بر تغییرپذیری مشخصه‌های شیمیایی و میکروبی خاک ارائه می‌دهد و بر نقش حیاتی سلامت جنگل و پوشش روزمینی به‌عنوان تعدیل‌کنندهٔ مشخصه‌های

خاک تأکید می‌نماید. همچنین نشان می‌دهد که کاهش و مرگ درختان به‌طور قابل‌توجهی بر فرآیندهای مرتبط با چرخهٔ جهانی کربن و نیتروژن، سلامت و عملکرد اکوسیستم اثرگذار است. ولی جهت درک کامل اثرات این فرآیندهای مهم، مطالعات بیشتری به‌منظور بررسی اثرات بلندمدت برگ‌خواری بر کلیهٔ اجزای اکوسیستم در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف مورد نیاز است. نتایج تحقیق حاضر، بروز تغییرات معنی‌دار در ویژگی‌های شیمیایی لاشبرگ، خصوصیات فیزیکی-شیمیایی و میکروبی خاک جنگل شمشاد چشمه‌بلبل افق تازه‌ای از خسارت به بوم‌سازگان جنگلی ناشی از طغیان آفت را تبیین ساخته و لزوم بیش از پیش ضرورت حمایت از توده‌های جنگلی در فرآیند تصمیم‌سازی مدیران منابع طبیعی را تصریح می‌کند. همچنین با توجه به اهمیت گونهٔ شمشاد و انتشار محدود آن در تعداد معدود رویشگاه‌های باقی‌مانده در سطح جنگل‌های هیرکانی بر ضرورت اجتناب‌ناپذیر انجام هر گونه اقدام مدیریتی و حفاظتی در راستای حفظ این میراث طبیعی، تاکید می‌شود.

۵. نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر بر این نکته دلالت دارد که طغیان آفت، نه تنها منجر به برگ‌خواری و از دست رفتن تاج‌پوشش جنگل می شود که این مسئله خود ممکن است سبب بروز تغییرات بوم‌شناختی در بوم‌سازگان جنگلی شده و بر این اساس با اتخاذ تدابیر جنگل‌شناسی مناسب نسبت به رفع این اشکال باید اهتمام داشت. به علاوه، این امر منجر به بروز تغییر عمده در خصوصیات خاک نیز می‌شود. بروز هرگونه تغییر درخصوصیات خاک در وهله اول به عنوان یک سنجه و یا معیار ارزیابی تاثیر بوم‌شناختی فعالیت آفت بر جنگل حائز اهمیت است و در وهله دوم از نقطه‌نظر آلودگی خاک نیز مطرح می‌باشد.

۶. منابع

[1] Avila, J.M., Gallardo, A., & Gomez-Aparicio, L. (2019). Pathogen-induced tree mortality interacts with predicted climate change to alter soil respiration and nutrient availability in Mediterranean systems. *Biogeochemistry*, 142, 53-71.

[2] Asadi H., Hosseini, S.M., Esmailzadeh, A., & Ahmadi, A. (2018). Investigating the flora, morphology and ecology of boxwood habitats in the protected forest of Khaybus, Mazandaran. J*ournal of Plant Biology*, 3(8): 27-40. (In Persian)

[3] Asdian. M., Hojjati, S.M., Pourmjidian, M.R., & Faleh, A. (2012). The effect of different types of land use on the physical, chemical, and biological properties of soil in Al-Nandan Sari forest. *Journal of Forest and Wood Products*, 23(4), 388-377 .(In Persian)

[4] Avila, J. M., Gallardo, A., Ibáñez, B., & Gómez- Aparicio, L. (2016). *Quercus suber* dieback alters soil respiration and nutrient availability in Mediterranean forests. *Journal of Ecology*, 104(5), 1441-1452.

[5] Alef, K., & Nannipieri, P. (1995). *Methods in Applied soil Microbiology and Biochemistry* (No. Electronic Books154079). London San Diego: Academic Press, c1995.

[6] Ahyaei, A., & Behbahanizadeh, M. (1993). *Description of soil chemical methods*. Soil and Water Research Institute, 226p.

[7] Anderegg, W. R., Kane, J. M., & Anderegg, L. D. (2013). Consequences of widespread tree mortality triggered by drought and temperature stress. *Nature Climate Change*, 3(1), 30-36.

[8] Adams, H. D., Guardiola-Claramonte, M., Barron-Gafford, G. A., Villegas, J. C., Breshears, D. D., Zou, C. B., & Huxman, T. E. (2009). Temperature sensitivity of drought-induced tree mortality portends increased regional die-off under global-change-type drought. *Proceedings of the National Academy of Ciences*, 106(17), 7063-7066.

[9] Barba, J., Yuste, J. C., Martínez-Vilalta, J., & Lloret, F. (2013). Drought-induced tree species replacement is reflected in the spatial variability of soil respiration in a mixed Mediterranean forest. *Forest Ecology and Management*, 1(306), 79-87.

[10] Barba, J., Curiel Yuste, J., Poyatos, R., Janssens, I. A., & Lloret, F. (2016). Strong resilience of soil respiration components to drought-induced die-off resulting in forest secondary succession. *Oecologia*, 1(182), 27-41.

[11] Bardgett, R. D., Wardle, D. A., & Yeates, G. W. (1998). Linking above-ground and below-ground interactions: how plant responses to foliar herbivory influence soil organisms. *Soil Biology and Biochemistry*, 30(14), 1867-1878.

[12] Bieganowski, A., Malý, S., Frąc, M., Tuf, I. H., Váňa, M., Brzezińska, M., Siebielec, G., Lipiec, J., & Šarapatka, B. (Eds.). (2015). *Laboratory Manual*. Central Institute for Supervising and Testing in Agriculture.

[13] Bremner, J. M., & Mulvaney, C. S. (1982). Nitrogen-Total 1. Methods of soil analysis. *Chemical and Microbiological Properties*, 595-624.

[14] Berg, B., & McClaugherty, C. (2008). Plant litter: *Decomposition, Humus Formation, Carbon Sequestration* (No. 04; QH541. 5. S6, B4 2008.). Berlin: Springer.

[15] Bond-Lamberty, B., & Thomson, A. (2010). A global database of soil respiration data. *Biogeosciences*, 7(6), 1915-1926.

[16] BassiriRad, H., Constable, J. V., Lussenhop, J., Kimball, B. A., Norby, R. J., Oechel, W. C., Reich, P.B., & Silim, S. (2003). Widespread foliage δ15N depletion under elevated CO_2: inferences for the nitrogen cycle. *Global Change Biology*, 9(11), 1582-1590.

[17] Chapman, H.D., & Pratt, P.F. (1961). *Method of analysis for soils, plants and waters*. University of California. Division of Agricultural Sciences. Book Review. https://doi.org/10.2136/sssaj1963.03615995002700010004x

[18] Chen, G. S., Yang, Y. S., Guo, J. F., Xie, J. S., & Yang, Z. J. (2011). Relationships between carbon allocation and partitioning of soil respiration across world mature forests. *Plant Ecology*, 212, 195-206.

[19] Cobb, T., Hannam, K., Kishchuk, B., Langor, D., Quideau, S., & Spence, J. (2010). Wood-feeding beetles and soil nutrient cycling in burned forests: implications of post-fire salvage logging. *Agricultural and Forest Entomology*, 12(1), 9.

[20] Dietze, M. C., & Matthes, J. H. (2014). A general ecophysiological framework for modelling the impact of pests and pathogens on forest ecosystems. *Ecology Letters*, 17(11), 1418-1426.

[21] Edburg, S. L., Hicke, J. A., Brooks, P. D., Pendall, E. G., Ewers, B. E., Norton, U., ... & Meddens, A. J. (2012). Cascading impacts of bark beetle- caused tree mortality on coupled biogeophysical and biogeochemical processes. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 10(8), 416-424.

[22] Fürstenberg-Hägg, J., Zagrobelny, M., & Bak, S. (2013). Plant defense against insect herbivores. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(5), 10242-10297.

[23] Galmán, A., Abdala- Roberts, L., Zhang, S., Berny- Mier y Teran, J. C., Rasmann, S., & Moreira, X. (2018). A global analysis of elevational gradients in leaf herbivory and its underlying drivers: Effects of plant growth form, leaf habit and climatic correlates. *Journal of Ecology*, 106(1), 413-421.

[24] Ghazanshahi, J. (2006). *Soil and plant analysis*. Homa Publications, 292p.

[25] García-Angulo, D., Hereş, A. M., Fernández-López, M., Flores, O., Sanz, M. J., Rey, A., ... & Yuste, J. C. (2020). Holm oak decline and mortality exacerbates drought effects on soil biogeochemical cycling and soil microbial communities across a climatic gradient. *Soil Biology and Biochemistry*, 149, 107921.

[26] Hamilton III, E. W., & Frank, D. A. (2001). Can plants stimulate soil microbes and their own nutrient supply? Evidence from a grazing tolerant grass. *Ecology*, 82(9), 2397-2402.

[27] Holland, J. N. (1995). Effects of above-ground herbivory on soil microbial biomass in conventional and no-tillage agroecosystems. *Applied Soil Ecology*, 2(4), 275-279.

[28] Hunter, M. D., Reynolds, B. C., Hall, M. C., Frost, C. J., & Ohgushi, T. (2012). Effects of herbivores on ecosystem processes: the role of trait-mediated indirect effects. In *Trait-mediated indirect interactions*, edited by T. Ohgushi, O Schmitz, R.D. Holt: Cambridge University Press. 339-370.

[29] Isaac, R. A., & Johnson, W. C. (1975). Collaborative study of wet and dry ashing techniques for the elemental analysis of plant tissue by atomic absorption spectrophotometry. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, 58(3): 436-440

[30] Hicke, J. A., Johnson, M. C., Hayes, J. L., & Preisler, H. K. (2012). Effects of bark beetle-caused tree mortality on wildfire. *Forest Ecology and Management*, 271, 81-90.

[31] Jafari Haqiqi M. (2003). Methods of soil analysis (sampling and important physical and chemical analyses) *Nadayi Zahi Publications*, 236 p.

[32] Jalili, A., & Jamzad, Z. (1999). Red data book of Iran: A preliminary survey of endemic, rare and endangered plant species in Iran, *Research Institute of Forests and Rangelands Press, Problems of Ecology*, 6(5), 520-524.

[33] Koch, Y., & Tavakoli, M. (2017). Investigating the activity of soil and microbial organisms under the canopy of pure and mixed broadleaf stands of Caspian forests. *Iranian Journal of Forest*, 10, 89-100. (In Persian)

[34] Khabazi, F., & Esmailzadeh, O. (2020). Classification of plant communities of (*Buxus hyrcana* Pajark*)* in Cheshme Belbel forest (Bandargaz, Golestan). *Forest Research and Development*, 6(3), 491-503.

[35] Kooch, Y., Parsapour, M. K., Nouraei, A., Kartalaei, Z. M., Wu, D., Gómez-Brandón, M., & Lucas-Borja, M. E. (2023). The effect of silvicultural systems on soil function depends on bedrock geology and altitude. *Journal of Environmental Management*, 345, 118657.

[36] Kooijman, A. M., Weiler, H. A., Cusell, C., Anders, N., Meng, X., Seijmonsbergen, A.C., & Cammeraat, L. H. (2019). Litter quality and microtopography as key drivers to topsoil properties and understorey plant diversity in ancient broadleaved forests on decalcified marl. *Science of the Total Environment*, 684, 113-125.

[37] Kristensen, J. A., Metcalfe, D. B., & Rousk, J. (2018). The biogeochemical consequences of litter transformation by insect herbivory in the Subarctic: a microcosm simulation experiment. *Biogeochemistry*, 138: 323-336.

[38] Kristensen, J. A., Michelsen, A., & Metcalfe, D. B. (2020). Background insect herbivory increases with local elevation but makes minor contribution to element cycling along natural gradients in the Subarctic. *Ecology and Evolution*, 10(20), 11684-11698.

[39] Krüger, E. O. (2008). Glyphodes perspectalis (Walker, 1859) -new for the European fauna (Lepidoptera: Crambidae). *Entomologische Zeitschrift mit Insekten-Börse*, 118(2), 81-83.

[40] Kurz, W. A., Dymond, C. C., Stinson, G., Rampley, G. J., Neilson, E. T., Carroll, A. L., ... & Safranyik, L. (2008). Mountain pine beetle and forest carbon feedback to climate change. *Nature*, 452(7190): 987-990.

[41] Kooch, Y., Ghorbanzadeh, N., Wirth, S., Novara, A., & Piri, A. S. (2021). Soil functional indicators in a mountain forest-rangeland mosaic of northern Iran. *Ecological Indicators*, 126: 107-672.

[42] Kooch, Y., & Hosseini, S.M. (2015). *Forest Soil Ecology (Concepts and Algorithms*). University Jihad Publications, Mazandaran Branch.

[43] Langenbruch, C., Helfrich, M., & Flessa, H. (2012). Effects of beech (*Fagus sylvatica*), ash (*Fraxinus excelsior*) and lime (*Tilia spec*.) on soil chemical properties in a mixed deciduous forest. *Plant and Soil*, 352: 389-403.

[44] le Mellec, A., & Michalzik, B. (2008). Impact of a pine lappet (*Dendrolimus pini*) mass outbreak on C and N fluxes to the forest floor and soil microbial properties in a Scots pine forest in Germany. *Canadian Journal of Forest Research*, 38(7), 1829-1841.

[45] Leuthardt, F. L., & Baur, B. (2013). Oviposition preference and larval development of the invasive moth C ydalima perspectalis on five E uropean box- tree varieties. *Journal of Applied Entomology*, 137(6), 437-444.

[46] Li, D., Niu, S., & Luo, Y. (2012). Global patterns of the dynamics of soil carbon and nitrogen stocks following afforestation: a meta- analysis. *New Phytologist*, 195(1), 172-181.

[47] Louda, S. M., Keeler, K. H., & Holt, R. D. (1990). *Herbivore influences on plant performance and competitive interactions*. Academic Press, New York. pp. 413-444.

[48] Leal, F., Aburto, F., Aguilera, N., Echeverría, C., & Gatica-Saavedra, P. (2023). Forest degradation modifies litter production, quality, and decomposition dynamics in Southern temperate forests. *Frontiers in Soil Science*, 3, 111-1694.

[49] Manteghi, N. (2011). Description of laboratory methods and investigations on soil and water samples - Publication No. *Soil and Water Research Institute*.168p.

[50] Masto, R. E., Chhonkar, P. K., Singh, D., & Patra, A.K. (2007). Soil quality response to long-term nutrient and crop management on a semi-arid Inceptisol. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 118(1-4), 130-142.

[51] Matsiakh, I., Kramarets, V., & Mamadashvili, G. (2018). Box tree moth Cydalima perspectalis as a threat to the native populations of Buxus colchica in Republic of Georgia. *Journal of the Entomological Research Society*, 20(2), 29-42.

[52] Morehouse, K., Johns, T., Kaye, J., & Kaye, M. (2008). Carbon and nitrogen cycling immediately following bark beetle outbreaks in southwestern ponderosa pine forests. *Forest Ecology and Management*, 255(7), 2698-2708.

[53] Mafi, S., Berari, H., Brimani-Verandi, H., Brimani-Verandi, M.A., & Brari, M. (2018). An analysis of the consequences of boxwood moth damage in Hyrkani forests, *Extension Journal of Forest Conservation and Exploitation Hyrcanian*, 1(2): 12-3.

[54] Mylliemngap, W., Nath, D., & Barik, S. K. (2016). Changes in vegetation and nitrogen mineralization during recovery of a montane subtropical broadleaved forest in North-eastern India following anthropogenic disturbance. *Ecological Research*, 31, 21-38.

[55] Matthes, J. H., Lang, A. K., Jevon, F. V., & Russell, S. J. (2018). Tree stress and mortality from emerald ash borer does not systematically alter short-term soil carbon flux in a mixed northeastern US forest. *Forests*, 9(1), 37.

[56] Neziri, I. R. (2020). *Effect of Western Spruce Budworm Herbivory on Forest soils and Litter Decomposition in central Washington.* Central Washington University. https://digitalcommons.cwu.edu/etd/1389

[57] Nilsson, M. C., Wardle, D. A., & Dahlberg, A. (1999). Effects of plant litter species composition and diversity on the boreal forest plant-soil system. *Oikos*, 16-26.

[58] Nave, L. E., Vance, E. D., Swanston, C. W., & Curtis, P. S. (2010). Harvest impacts on soil carbon storage in temperate forests. *Forest Ecology and Management*, 259(5), 857-866.

[59] Olsen, S.R., & dean, L. (1965). Methods of soil Analysis. *American Society of Agronomic*, 1044-1047.

[60] Owen, J. S., Wang, M. K., Wang, C. H., King, H. B., & Sun, H. L. (2003). Net N mineralization and nitrification rates in a forested ecosystem in northeastern Taiwan. *Forest Ecology and Management*, 176(1-3), 519-530.

[61] Page, A.L., Miller, R.H., & Keeney, D.R. (1982). *Methods of soil analysis, chemical and microbiological properties*. American society of Agronomy, Inc. soil Science of American. 220 p.

[62] Page, L. M., & Cameron, A. D. (2006). Regeneration dynamics of Sitka spruce in artificially created forest gaps. *Forest Ecology and Management*, 221(1-3), 260-266.

[63] Paterson, E., & Sim, A. (2000). Effect of nitrogen supply and defoliation on loss of organic compounds from roots of Festuca rubra. *Journal of Experimental Botany*. 1(51): 1449–1457.

[64] Piazza, M. V., Mazía, N., Kitzberger, T., & Chaneton, E. J. (2021). Chronic insect herbivores accelerate litter decomposition and nutrient recycling rates along an environmental/herbivory gradient in northern Patagonia. *Forest Ecology and Management*, (479), 118-534.

[65] Pojasok, T., & Kay, B. D. (1990). Assessment of a Combination of Wet Sieving and Turbidimetry to Characterize the Structural Stability of Moist Aggregates. *Canadian Journal of Soil Science*, 70(1), 33-42.

[66] Paudel, E., Dossa, G.G., de Blécourt, M., Beckschäfer, P., Xu, J. & Harrison, R.D. (2015). Quantifying the factors affecting leaf litter decomposition across a tropical forest disturbance gradient. *Ecosphere*, 6(12), 1-20.

[67] Rodríguez, A., Durán, J., Yuste, J.C., Valladares, F. & Rey, A. (2023). The effect of tree decline over soil water content largely controls soil respiration dynamics in a Mediterranean woodland. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1(333), 109-398.

[68] Soleimanipour, S., & Esmailzad, O. (2014). Introduction of flora, morphology and chorology of boxwood (*Buxus hyrcana*) habitats in Frame Sari forests. *Journal of Taxonomy and Biosystematics*, 7(23), 39-56.

[69] Valladares, F. & Guzmán, B. (2006). Canopy structure and spatial heterogeneity of understory light in an abandoned Holm oak woodland. *Annals of Forest Science*, 63(7), 749-761.

[70] Vitousek, P. M., Hedin, L. O., Matson, P. A., Fownes, J. H., & Neff, J. (1998). Within-system element cycles, input-output budgets, and nutrient limitation. *Successes, Limitations, and Frontiers in Ecosystem Science*, 432-451.

[71] Yang K., Zhu J., Zhang, M., Yan Q., & Sun O.J. (2010). Soil microbial biomass carbon and nitrogen in forest ecosystems of Northeast China: a comparison between natural secondary forest and larch plantation. *Journal of Plant Ecology*, 3(3), 175-182.

[72] Zangy, E., Kigel, J., Cohen, S., Moshe, Y., Ashkenazi, M., Fragman-Sapir, O., & Osem, Y. (2021). Understory plant diversity under variable overstory cover in Mediterranean forests at different spatial scales. *Forest Ecology and Management*, 1(494), 119-319.

[73] Zare, M.A. (2010). *Data analysis in natural resources research with SPSS software*. Tehran University Jihad Publications, 310p. (In Persian)