Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Wood and Forest Science and Technology

Print ISSN: 2322-2077
Online ISSN: 2322-2786

Comparison of nutritional elements of Persian oak leave and soil in natural and afforested sites

Mahnaz Karamian[1], Javad Mirzaei[*2], Mehdi Heydari[3], Yahya Kooch[4], Majid Mirab-Balou[5]

1. Ph.D. Student in Forest Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ilam University, Ilam, Iran. E-mail: m.karamian67@yahoo.com
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Forest Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ilam University, Ilam, Iran. E-mail: j.mirzaei@ilam.ac.ir
3. Associate Prof., Dept. of Forest Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ilam University, Ilam, Iran. E-mail: m_heydari23@yahoo.com
4. Associate Prof., Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Mazandaran, Iran. E-mail: yahya.kooch@yahoo.com
5. Associate Prof., Dept. of Plant Protection, College of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran. E-mail: majid.mirab@gmail.com

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 12.27.2022
Revised: 03.04.2023
Accepted: 03.11.2023

Keywords:
Afforestation,
Iranian oak,
Nutrient elements,
Zagros forest

ABSTRACT

Background and Objectives: Afforestation with oak species (*Quercus brantii* Lindl) has been done for the restoration of degraded areas in Zagros forests, but few studies have been conducted on leaf and soil nutrients dynamics concerning natural trees (old growth and coppice stands). The aim of this research is to compare the nutritional elements of Persian oak leaves in their natural form (old growth and coppice stands) with afforested forms (average age of 30 years).

Materials and Methods: According to the objectives of the study, in the city of Ilam, where afforestation with Persian oak species was carried out close to its natural stands, samples of leaves and soil (<20 cm depth) were taken during the two seasons of spring (April) and summer (September) to study changes in physical and chemical properties of the soil such as carbon, nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, and magnesium. Two-way analysis of variance (GLM) was used to compare the soil and leaf characteristics between different regions. Principal component analysis (PCA) and Pearson's correlation test were also used to analyze the relationships between soil and nutritional elements of leaves and their changes in different forms.

Results: The results showed that leaf nitrogen and phosphorus were affected by different forms of oak species and seasons, and their amount was higher in spring than in summer. The amount of leaf nitrogen in old-growing form (20.2% to 1.68%) and in planted form (1.78% to 1.25%) was higher in spring than in summer. The amount of leaf calcium in summer was between 1.5 and 2 times higher than in spring (planted oak; 303.66 ppm to 170.33 ppm, coppice; 282.33 ppm to 149.33 ppm, standard trees, 285.66 to 233 mg/kg). Leaf potassium was also affected by different oak forms and seasons. It was higher in spring than in summer and in old-growth stands (201.16 mg/kg) and planted stands (161.47 mg/kg), the amount of which was 1 to 1.5 times higher than that of coppice trees (128.30 mg/kg). The PCA and Pearson's correlation showed that different forms of oak can be separated from each other in two seasons.

Conclusion: Therefore, it can be said that the planted Persian oak stand is similar to the old growth stand in terms of nitrogen, potassium, and phosphorus elements; however, these elements were higher in the old growth stands than in coppice stands. In addition, in the planted stand, the amount of leaf elements was higher in summer than in spring.

Cite this article: Karamian, Mahnaz**,** Mirzaei, Javad**,** Heydari, Mehdi**,** Kooch, Yahya**,** Mirab-Balou**,** Majid. 2023. Comparison of nutritional elements of Persian oak leave and soil in natural and afforested sites. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 30 (1), 107-123.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/JWFST.2023.20921.1999
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۷۷
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۸۶

مقایسه عناصر غذایی برگ و خاک بلوط ایرانی در رویشگاه طبیعی و جنگل‌کاری‌شده

مهناز کرمیان[۱]، جواد میرزایی*[۲]، مهدی حیدری[۳]، یحیی کوچ[٤]، مجید میراب بالو[٥]

۱. دانشجوی دکتری علوم جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. رایانامه: m.karamian67@yahoo.com
۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. رایانامه: j.mirzaei@ilam.ac.ir
۳. دانشیار گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران. رایانامه: m_heydari23@yahoo.com
٤. دانشیار دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران. رایانامه: yahya.kooch@yahoo.com
٥. دانشیار گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایران. رایانامه: majid.mirab@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۱/۱۰/۰٦
تاریخ ویرایش: ۱٤۰۱/۱۲/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۱/۱۲/۲۰

واژه‌های کلیدی:
بلوط ایرانی،
جنگل‌کاری،
جنگل‌های زاگرس،
عناصر غذایی

چکیده

سابقه و هدف: به‌منظور احیاء بخش‌های تخریب‌یافته جنگل‌های زاگرس، جنگل‌کاری با گونه بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl) انجام شده است، با این وجود مطالعات کمی در زمینه پویایی عناصر غذایی برگ و خاک در مقایسه با درختان طبیعی (دانه‌زاد و شاخه‌زاد) صورت گرفته است. هدف این پژوهش مقایسه عناصر غذایی برگ در فرم‌های طبیعی (دانه‌زاد و شاخه‌زاد) و جنگل‌کاری شده بلوط ایرانی (با میانگین سنی حدود ۳۰ سال) است.

مواد و روش‌ها: با توجه به اهداف پژوهش، در شهرستان ایلام که جنگل‌کاری با گونه بلوط ایرانی در مجاورت پایه‌های طبیعی آن انجام شده بود، نمونه‌برداری از برگ و خاک (در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری) در دو فصل بهار (فروردین‌ماه) و تابستان (شهریورماه) جهت مقایسه تغییرات عناصر کربن، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک انجام گرفت. از آنالیز واریانس دوطرفه (GLM) جهت مقایسه میانگین‌های خصوصیات خاک و برگ در بین مناطق مختلف و از آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) و آزمون همبستگی پیرسون به‌منظور بررسی روابط عناصر غذایی برگ و خاک و نیز تغییرات آن‌ها در رابطه با فرم رویشی مختلف استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج آنالیز واریانس دوطرفه (GLM) نشان داد که عناصر نیتروژن و فسفر برگ تحت‌تأثیر فرم‌های مختلف گونه بلوط و فصل قرار گرفت و مقدار آن‌ها در فصل بهار بیش‌تر از تابستان است. به‌طوری‌که میزان نیتروژن برگ‌ها در درختان دانه‌زاد (۲/۲۰ درصد به ۱/٦۸ درصد) و در فرم جنگل‌کاری (۱/۷۸ درصد به ۱/۲۵ درصد) در فصل بهار نسبت به تابستان بیش‌تر بود. میزان کلسیم برگ در فصل تابستان نسبت به بهار بین ۱/۵ تا ۲ برابر بود (در بلوط

جنگل‌کاری‌شده ۳۰۳/٦٦ به ۱۷۰/۳۳، در بلوط شاخه‌زاد ۲۸۲/۳۳ به ۱٤۹/۳۳ و بلوط دانه‌زاد ۲۸۵/٦٦ به ۲۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم). پتاسیم برگ تحت‌تأثیر فرم‌های مختلف بلوط و فصل قرار گرفت. به‌طوری‌که در فصل بهار بیش‌تر از تابستان و در بلوط دانه‌زاد (۲۰۱/۱٦ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و جنگل‌کاری شده (۱٦۱/٤۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) ۱ تا ۱/۵ برابر بلوط شاخه‌زاد (۱۲۸/۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. تجزیه مؤلفه‌های اصلی و همبستگی پیرسون نشان داد که در دو فصل، فرم‌های مختلف بلوط از یکدیگر قابل تفکیک هستند.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج می‌توان گفت که درختان جنگل‌کاری‌شده بلوط ایرانی از نظر عناصر نیتروژن کل، پتاسیم و فسفر برگ مشابه فرم جنگلی دانه‌زاد بوده و نسبت به درختان شاخه‌زاد از میزان عناصر بیش‌تری برخوردار هستند. علاوه بر این، در فرم‌های جنگل‌کاری برخلاف فرم‌های طبیعی میزان عناصر برگ در فصل تابستان بیش‌تر از فصل بهار بود.

استناد: کرمیان، مهناز، میرزایی، جواد، حیدری، مهدی، کوچ، یحیی، میراب بالو، مجید (۱۴۰۲). مقایسه عناصر غذایی برگ و خاک بلوط ایرانی در رویشگاه طبیعی و جنگل‌کاری‌شده. *نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل*، ۳۰ (۱)، ۱۲۳-۱۰۷.
DOI: 10.22069/JWFST.2023.20921.1999

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

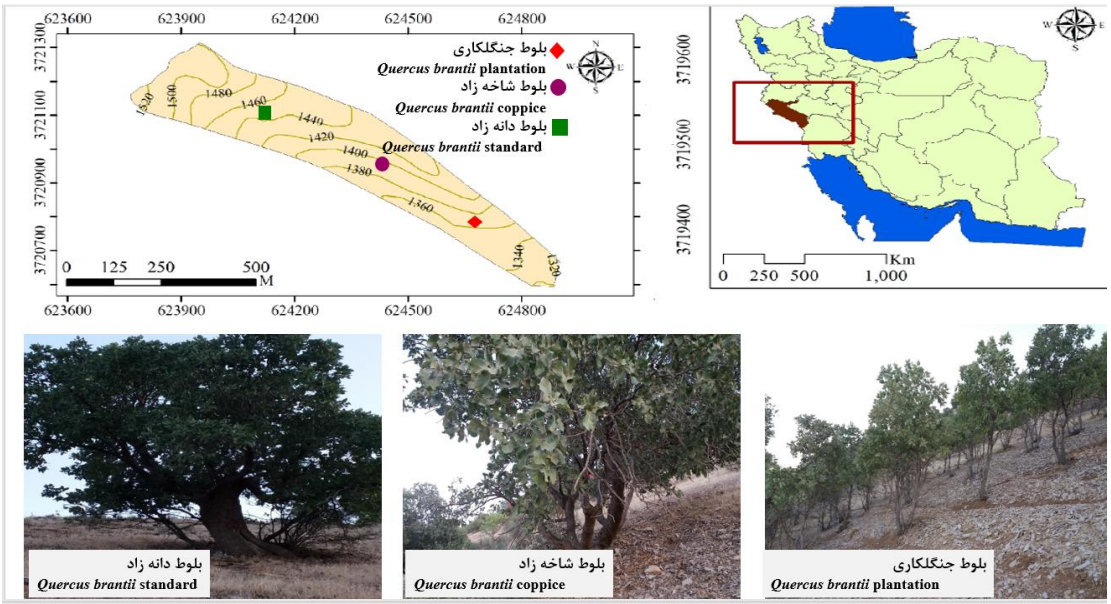
مقدمه

بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl) گونه غالب جنگل‌های زاگرس در غرب ایران است که امروزه در اثر دخالت‌های انسانی و آتش‌سوزی‌ها در بیش‌تر مناطق تخریب یافته و فرم رویشی غالب آن‌ها به فرم جنگلی شاخه‌زاد در آمده است. هم‌چنین تجدید حیات طبیعی آن‌ها نیز به دلیل شرایط سخت حاکم در این مناطق مانند بستر نامناسب برای بذر در اثر کوبیدگی خاک، فرسایش و حاصلخیزی پایین خاک و فقدان درختان مادری بذرده با مشکل مواجه شده است (۱). بنابراین جنگل‌کاری با گونه‌های بومی به‌عنوان یکی از راه‌های احیاء این جنگل‌ها پیشنهاد شده است (۲). این جنگل‌کاری‌ها بر محیط اطراف (اقلیم و خاک) تأثیر گذاشته و متقابلاً از محیط نیز می‌توانند تأثیر بپذیرند (۳). Jahed و همکاران (٤) بیان نمودند که در توده‌های درختی میزان فسفر، نیتروژن کل و پتاسیم بیش‌تر از منطقه شاهد است. Mussa و همکاران (۵)، اثرات اصلی تاج درختان را تا عمق ۱۵ سانتی‌متری خاک بررسی کرده و نشان دادند که مواد آلی، نیتروژن کل و فسفر قابل‌جذب در زیر تاج تمرکز بیش‌تری دارند. Han و همکاران (٦) بیان کردند که برگ و لاشبرگ از طریق فرآیندهای بیوژئوشیمیایی به‌طور قوی بر دسترسی عناصر غذایی خاک تأثیر می‌گذارند.

یکی از راه‌های درک عملکرد اکوسیستم و وضعیت اکولوژیکی آن، بررسی پویایی زمانی و مکانی عناصر غذایی است زیرا میزان عناصر غذایی در اکوسیستم جنگلی به تعادل بین ورودی‌های عناصر غذایی و خروجی‌های آن بستگی دارد. به‌عبارت دیگر جذب، ذخیره و آزادسازی عناصر، سه مؤلفه پویایی عناصر غذایی در این اکوسیستم‌ها هستند (۷). ازاین‌رو بررسی عناصر غذایی خاک به‌تنهایی نمی‌تواند معیار مناسبی از دسترسی درختان به عناصر غذایی باشد. بنابراین یکی از روش‌های مهم برای تعیین میزان عناصر تغذیه‌ای فراهم برای درختان جنگلی، اطلاع از خصوصیات شیمیایی برگ در رابطه با خاک می‌باشد (۸) که نشان‌دهنده حاصلخیزی رویشگاه است (۹). برگ‌ها سهم زیادی در تشکیل لایه آلی خاک دارند و این لایه نیز منبع اصلی عناصر غذایی خاک است. Zas و همکاران (۱۰) همبستگی عناصر غذایی برگ و خاک در جنگل‌کاری‌های کاج رادیاتا را بررسی و بیان کردند که میزان رویش با غلظت منیزیم و پتاسیم همبستگی مثبت دارد و غلظت‌های فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم را نیز از عناصر غذایی مهم در استقرار گونه‌های منطقه دانستند. جنگل‌های زاگرس با گونه غالب بلوط نقش مهمی در تعدیل شرایط اکولوژیک و اقتصادی- اجتماعی منطقه دارند. تخریب و کاهش کیفیت رویشگاه به دلیل وابستگی معیشتی ساکنان به این جنگل‌ها و تغییرات اقلیمی، توسعه طرح‌های احیایی و جنگل‌کاری را ضروری کرده است (۱۱). سطح عناصر غذایی خاک به‌عنوان پشتیبان رویش و آینده توده‌های جنگلی ارتباط تنگاتنگی به خصوصیات برگ (منبع اصلی تأمین عناصر غذایی خاک) دارد. بنابراین هدف این مطالعه، بررسی تغییرات سطح عناصر غذایی برگ در طی زمان (فصول خشک و مرطوب) و بین فرم‌های مختلف در رابطه با خصوصیات خاک بود که می‌تواند اطلاعات ارزشمندی در زمینه تغییرات حاصلخیزی و کیفیت خاک در این اکوسیستم جنگلی پس از جنگل‌کاری یا تغییر فرم توده‌ها فراهم کند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: این مطالعه در دامنه شمالی منطقه جنگلی سیاه‌کوه شهرستان ایلام با مختصات جغرافیایی "۲۰ ´۳۷ °۳۳ تا "۲٤ ´۳۷ °۳۳ عرض شمالی و "۱٦ ´۲۰ °٤٦ تا "۲۲ ´۲۰ °٤٦ طول شرقی با مساحت ۲۱ هکتار، میانگین ارتفاع از سطح دریا ۱۳۸۰ متر، شیب متوسط ۲۰ تا ۳۰ درصد، بارندگی سالیانه ۵۹۰/٤ میلی‌متر و میانگین دمای متوسط ۱۷/۱۲ درجه سانتی‌گراد انجام گرفت. میانگین سنی جنگل‌کاری بلوط حدود ۳۰ سال و فاصله جنگل‌کاری ۵ × ۵ متر می‌باشد. هر سه توده در فاصله کمی از همدیگر قرار دارند به‌صورتی که طول منطقه مورد مطالعه حدود ۵۰۰ متر می‌باشد. تیپ غالب منطقه بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) بوده که به همراه آن گونه بادام کوهی (*Amygdalus scoparia*) نیز وجود دارد. اقلیم منطقه بر اساس روش دومارتن، مدیترانه‌ای نزدیک به خشک و بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی آمبرژه دارای اقلیم نیمه‌مرطوب معتدل نزدیک به نیمه‌خشک است. فصل خشک منطقه از اوایل اردیبهشت ماه شروع شده و تا اوایل مهرماه ادامه می‌یابد. خاک جنگل‌های مورد مطالعه آهکی کم‌عمق (۱۲) با بافت سیلتی لومی است (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه و فرم‌های درختی مورد مطالعه.

Figure 1. The location of the region and studied tree forms.

روش نمونه‌برداری: به‌منظور اندازه‌گیری عناصر غذایی برگ درختان و خاک، در هر یک از فرم‌های طبیعی دانه‌زاد، طبیعی شاخه‌زاد و جنگل‌کاری بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl)، ۳ توده درختی برای جمع‌آوری برگ‌ها و نمونه‌برداری خاک انتخاب، سپس نمونه‌برداری در ۳ تکرار و در دو فصل بهار (فروردین‌ماه) و تابستان (شهریورماه) در سال ۱۳۹۹ انجام گرفت (۳ توده درختی × ۳ فرم رویشی × ۲ فصل هر کدام در ۳ تکرار جمعاً ٥٤ نمونه). در هر فصل، برگ‌ها از ارتفاع یک سوم بالایی (۱۳) و چهار جهت تاج (١٤) انتخاب، سپس به‌طور جداگانه با هم مخلوط شده و در نهایت یک نمونه شامل مخلوطی از

برگ‌های بهار و یک نمونه شامل مخلوطی از برگ‌های تابستان برای هر درخت تهیه شد (۱۵). نمونه‌ها پس از تهیه، به‌طور کامل با آب مقطر شسته شده و سپس به مدت ۲٤ ساعت در آون با دمای ٦٥ درجه سانتی‌گراد خشک شدند (١٦). پس از آن نمونه‌ها به دو بخش تقسیم شدند که بخش اول، پس از خشک و آسیاب شدن برای اندازه‌گیری کربن و نیتروژن کل با دستگاه CHNSO مدل COSTECH-4010 به آزمایشگاه منتقل شدند. به‌منظور تهیه عصاره جهت اندازه‌گیری سایر عناصر غذایی برگ شامل پتاسیم، فسفر، کلسیم و منیزیم به روش هضم خشک، خاکستر تهیه شده و پس از ادغام با ۲۰ میلی‌لیتر اسید کلریک یک نرمال و عبور از کاغذ صافی به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسیدند (۱۷). فسفر با دستگاه Auto Analyzer BT1500 و سایر عناصر با دستگاه جذب اتمی Analytikjena-NovAA 400 p اندازه‌گیری شدند. نمونه‌های خاک در زیر تاج درختان فوق‌الذکر و به فاصله حدود نیم متر از تنه درختان، به‌صورت ترکیبی از چهار جهت درخت و در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری سطح زمین برداشت شد (۱۸) و پس از خشک شدن و عبور از الک ۲ میلی‌متری جهت اندازه‌گیری مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی مورد استفاده قرار گرفتند. بافت خاک به روش هیدرومتری، وزن مخصوص ظاهری به روش کلوخه، اسیدیته با استفاده از دستگاه pH متر الکتریکی، کربن آلی خاک از اکسیداسیون دی‌کرومات و تیتراسیون، نیتروژن کل به روش کجلدال، پتاسیم قابل‌جذب با عصاره‌گیری استات آمونیوم با اسیدیته ۷ و دستگاه فلیم فتومتری، فسفر قابل‌جذب به روش اولسن با عصاره‌گیری سدیم بی‌کربنات و دستگاه اسپکتوفتومتر و کلسیم و منیزیم محلول قابل‌جذب به روش تیتراسیون اندازه‌گیری شدند (۱۹).

تجزیه‌وتحلیل آماری: پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف، همگنی واریانس‌ها با استفاده از آزمون لون بررسی شد. سپس به‌منظور بررسی اثر فصل، فرم رویشی و اثرات متقابل آن‌ها از آنالیز واریانس دوطرفه (GLM) و برای مقایسه میانگین‌های خصوصیات خاک و برگ از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در نرم‌افزار SPSS 23 استفاده شد. از آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA) و آزمون همبستگی پیرسون جهت بررسی روابط عناصر غذایی برگ و خاک و نیز تغییرات آنها در رابطه با فرم رویشی مختلف استفاده شد. این آنالیز در نرم‌افزار PC-ORD 5 تحت ویندوز انجام گرفت.

نتایج و بحث

عناصر غذایی برگ: نتایج نشان داد که عناصر نیتروژن و فسفر برگ تحت‌تأثیر فرم‌های بلوط (شاخه‌زاد طبیعی، دانه‌زاد طبیعی و جنگل‌کاری) و فصل قرار دارند (P<۰/۰۵). درحالی‌که کلسیم و نسبت‌های C/N و C/P برگ تنها تحت‌تأثیر فصل و پتاسیم تحت‌تأثیر فرم‌های مختلف بلوط قرار داشت. میزان کربن و منیزیم برگ بین فرم‌های مختلف بلوط ایرانی و در فصول مختلف اختلاف معنی‌داری نداشتند (P>۰/۰۵) (جدول ۱).

جدول ۱- تجزیه واریانس دوطرفه عناصر غذایی برگ در فرم‌های رویشی مختلف گونه بلوط ایرانی در دو فصل بهار و تابستان (اعداد پر رنگ نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است).

Table 1. GLM analysis of leaf nutrients in different forms of *Q. brantii* in spring and summer (Bold numbers indicate a significant difference at the 5% level).

	درجه آزادی df	کربن (C) Carbon			نیتروژن (N) Nitrogen		
		میانگین مربعات Mean squares	F	سطح معنی‌داری P-value	میانگین مربعات Mean squares	F	سطح معنی‌داری P-value
فصل Season	1	3.009	0.333	0.575	0.493	6.851	**0.022**
فرم Form	2	20.732	2.291	0.144	0.344	4.777	**0.030**
فصل × فرم Season × Form	2	1.261	0.139	0.871	0.172	2.390	0.134
	درجه آزادی df	فسفر (P) Phosphorus			پتاسیم (K) Potassium		
		میانگین مربعات Mean squares	F	سطح معنی‌داری P-value	میانگین مربعات Mean squares	F	سطح معنی‌داری P-value
فصل Season	1	150.222	9.324	**0.010**	80.433	0.156	0.699
فرم Form	2	60.389	3.748	**0.050**	5882.266	11.440	**0.002**
فصل × فرم Season × Form	2	5.056	0.314	0.736	1129.077	2.196	0.154
	درجه آزادی df	کلسیم (Ca) Calcium			منیزیم (Mg) Magnesium		
		میانگین مربعات Mean squares	F	سطح معنی‌داری P-value	میانگین مربعات Mean squares	F	سطح معنی‌داری P-value
فصل Season	1	50880.500	36.562	**0.000**	8.000	0.271	0.612
فرم Form	2	2839.056	2.040	0.173	19.056	0.646	0.541
فصل × فرم Season × Form	2	3240.167	2.328	0.140	15.500	0.525	0.604
	درجه آزادی df	C/N			C/P		
		میانگین مربعات Mean squares	F	سطح معنی‌داری P-value	میانگین مربعات Mean squares	F	سطح معنی‌داری P-value
فصل Season	1	142.918	5.148	**0.043**	1.940	5.131	**0.043**
فرم Form	2	74.431	2.681	0.109	0.985	2.605	0.115
فصل × فرم Season × Form	2	77.962	2.808	0.100	0.002	0.005	0.995

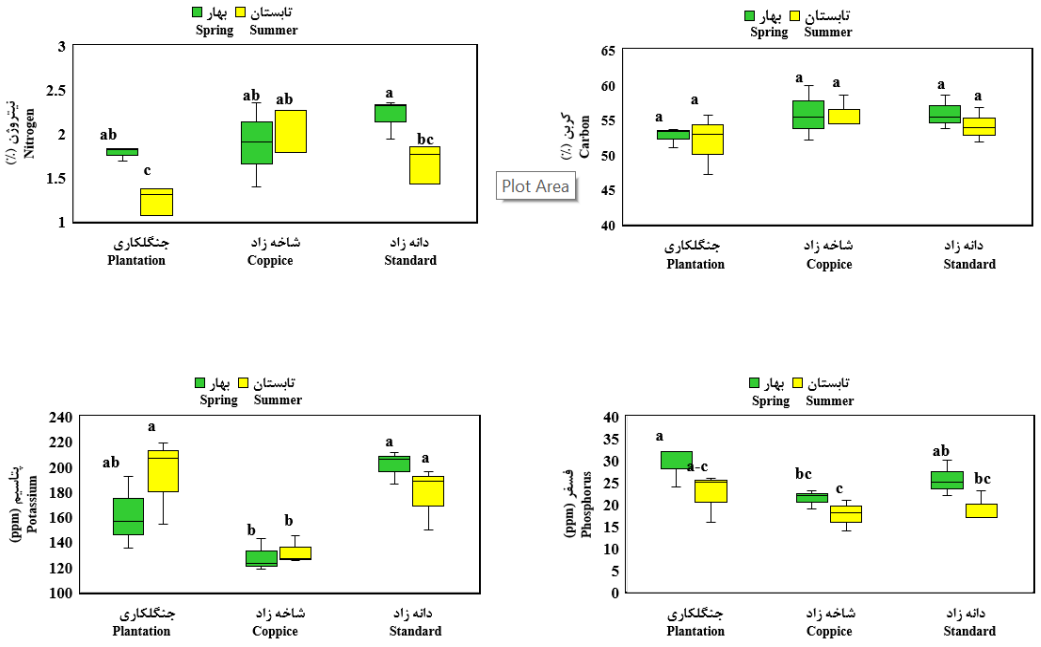
میزان نیتروژن برگ در فصل بهار به‌طور معنی‌داری از فصل تابستان بیش‌تر بود به‌طوری‌که در فرم بلوط جنگل‌کاری شده (۱/۷۸ نسبت به ۱/۲۵ درصد) و در بلوط دانه‌زاد طبیعی (۲/۲۰ نسبت به ۱/٦۸ درصد) بود. بالا بودن غلظت عناصری مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم در فصل بهار (مرطوب) نسبت به تابستان (خشک) می‌تواند به شرایط رطوبتی و دمایی مناسب فصل بهار و در نتیجه فعالیت بیش‌تر میکروارگانیسم‌ها در تجزیه لاشبرگ مرتبط باشد که با توجه به شروع فصل رشد و جذب بالای عناصر غذایی در آغاز فصل رویش، موجب تجمع بیش‌تر این عناصر در برگ‌های جوان شده است. علاوه بر این در فصل خشک، رشد برگ کم می‌شود و این امر به‌عنوان یک پاسخ عمومی در برابر خشکی است (۲۰) که می‌تواند دلیل کاهش غلظت عناصر برگ در فصل تابستان باشد. کاهش نسبی ظرفیت فتوسنتزی در پاسخ به خشکی تابستان نیز می‌تواند در کاهش نیتروژن برگ در این فصل مؤثر باشد (۲۱).

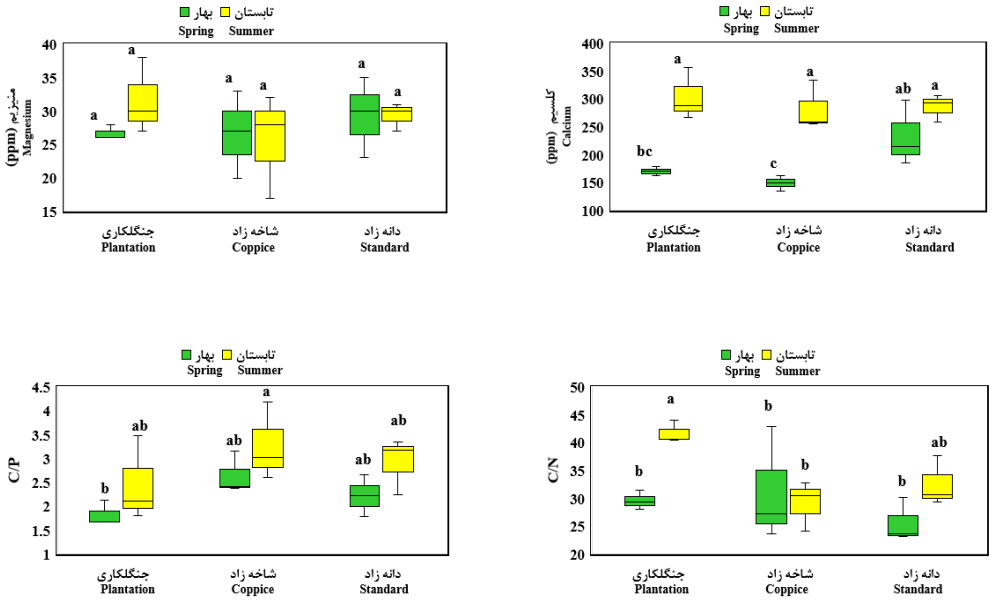
میزان فسفر برگ در فصل بهار به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از فصل تابستان و در بلوط جنگل‌کاری شده و دانه‌زاد طبیعی بیش‌تر از فرم شاخه‌زاد بود (به ترتیب ۲۹/۳۳ به ۲۵/٦٦ میلی‌گرم بر کیلوگرم نسبت به ۲۱/۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم فرم شاخه‌زاد در بهار و ۲۲/۳۳ و ۱۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم نسبت به ۱۷/٦٦ میلی‌گرم بر کیلوگرم فرم شاخه‌زاد در تابستان). فسفر تقریباً در تمام ترکیبات داخل گیاه که نیتروژن در آن‌ها شرکت می‌کند، نقش دارد و برای متابولیسم چربی‌ها، پروتئین‌ها و سایر عملیات تنفسی ضروری است. با توجه به نقش فسفر در تولید بذر و انتقال انرژی به‌نظر می‌رسد که ذخیره آن در اندام‌های دائمی و استفاده از آن‌ها در ابتدای فصل رویش برای تولید میوه و بذر کافی (۲۰) بیش‌تر بودن آن در فصل بهار را در تمام فرم‌های مورد مطالعه بلوط توجیه کند. قابلیت انتقال یا سرعت توزیع دوباره نیتروژن و فسفر و بازجذب بیش‌تر این عناصر در اواخر فصل رویش که منجر به کاهش غلظت فسفر در برگ‌های خزان شده است (۲۲) همسو با نتایج پژوهش حاضر است. علاوه بر این کاهش فسفر قابل‌جذب در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک ایران، به علت وجود آهک، کم بودن مواد آلی و خشکی خاک مطرح شده است (۲۳).

فصل، تأثیر معنی‌داری بر میزان پتاسیم نداشت ($P>0/05$) اما در بلوط جنگل‌کاری و بلوط دانه‌زاد نسبت به بلوط شاخه‌زاد بیش‌تر بود. به‌طوری‌که حداکثر میزان پتاسیم ۲۰۱/۱٦ میلی‌گرم بر کیلوگرم در فصل بهار در فرم دانه‌زاد و حداقل آن ۱۲۸/۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در فرم شاخه‌زاد بود. پتاسیم و فسفر نقش مهمی در سازگاری گیاهان به شرایط خشکی دارند. پتاسیم در فعالیت‌های آنزیمی و کاتالیزوری شرکت می‌کند و یک عنصر کلیدی تنظیم‌کننده باز و بسته شدن روزنه است (۲٤) که بخش عمده آن به‌وسیله هوازدگی کانی‌ها، انحلال نمک‌ها و پتاسیم‌های تبادلی در اختیار گیاه قرار می‌گیرد، بنابراین بیش‌تر از فسفر و نیتروژن که مقدار آن‌ها وابسته به مواد آلی است، جذب گیاه می‌شود (۲۵). در شرایط تنش محیطی به‌خصوص خشکی یا کاهش رطوبت خاک در فصل تابستان معمولاً یون پتاسیم به میزان کم‌تری جذب می‌شود زیرا در اثر تنش‌های محیطی و بالا رفتن یون سدیم، غشای سلول‌های ریشه آسیب‌دیده و جذب انتخابی سلول کاهش پیدا می‌کند (۲٦). کاهش غلظت پتاسیم در برگ تحت شرایط خشکی، می‌تواند به خاطر انتقال پتاسیم از برگ به ساقه باشد (۲۷). بنابراین در این پژوهش احتمال دارد بلوط شاخه‌زاد نسبت به دو فرم دیگر به میزان بیش‌تری تحت‌تأثیر خشکی تابستان قرار گرفته و بنابراین میزان پتاسیم برگ کاهش بیش‌تری نشان داده است.

میزان کلسیم در فصل تابستان بیش‌تر از فصل بهار بود. بیش‌ترین میزان کلسیم در فصل تابستان در بلوط جنگل‌کاری‌شده به میزان ۳۰۳/۶۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کم‌ترین آن در بلوط شاخه‌زاد به میزان ۱۴۹/۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم در فصل بهار بود. عنصر کلسیم یکی از اجزاء اصلی در ساختار دیواره سلولی است و در متابولیسم سلولی نقش دارد (۲۸) افزایش آن در فصل تابستان همسو با یافته‌های Singh و همکاران (۲۷) و Mohammadzadeh و همکاران (۲۹) در افزایش قابل‌توجه غلظت کلسیم در برگ‌ها و ریشه‌های شیشم (*Dalbergia sissoo*) تحت تنش خشکی و بافت‌های درختان بلوط ایرانی قرار گرفته در طبقه زوال و خشکی شدید است. می‌توان گفت افزایش کلسیم برگ راه‌کاری برای مقابله با خشکی فصل تابستان است. افزایش منیزیم در فصل تابستان می‌تواند نشان‌دهنده بازگشت مناسب این عنصر به خاک باشد که به دلیل بی‌تحرکی منیزیم در مرکز مولکول‌های کلروفیل و ذخیره آن به‌صورت پکتات منیزیم در ساختمان دیواره سلول اتفاق می‌افتد (۲۱).

میزان C/N بلوط جنگل‌کاری‌شده در فصل تابستان نیز به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از فصل بهار بود (۴۱/۷۲ در تابستان نسبت به ۲۹/۶۱ در بهار). میزان C/P هم در تابستان بیش‌تر از بهار و در بلوط جنگل‌کاری کم‌تر از بلوط شاخه‌زاد و بلوط دانه‌زاد به دست آمد. بیش‌ترین مقدار C/P در تابستان شاخه‌زاد (۳/۲۷) و کم‌ترین مقدار آن در بهار بلوط جنگل‌کاری‌شده (۱/۸۲) بود (شکل ۲). در پژوهشی Flückiger و همکاران (۳۰) نسبت عناصر غذایی را مهم‌تر از غلظت عناصر می‌دانند و اعتقاد دارند که نسبت عناصر علاوه بر نشان دادن وضعیت عناصر غذایی، کم‌تر تحت‌تأثیر رقیق شدن ناشی از رشد و غلظت کربوهیدرات‌های غیر ساختمانی قرار می‌گیرند و در حفظ تعادل عناصر غذایی در گیاهان چوبی بسیار مهم‌اند. Singh و همکاران (۲۷) بیان نمودند که افزایش تنش آبی سطح برگ را کاهش می‌دهد و می‌تواند میزان جذب کربن را تغییر دهد که این امر روی نسبت C/N مؤثر است (شکل ۲).





شکل ۲- عناصر غذایی برگ در فرم‌های مختلف درخت بلوط ایرانی در دو فصل بهار و تابستان، حروف متفاوت روی ستون‌ها بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است.

Figure 2. Leaves nutrient in different forms of *Q. brantii* in spring and summer, different letters on the columns indicate significant differences at the 5% level.

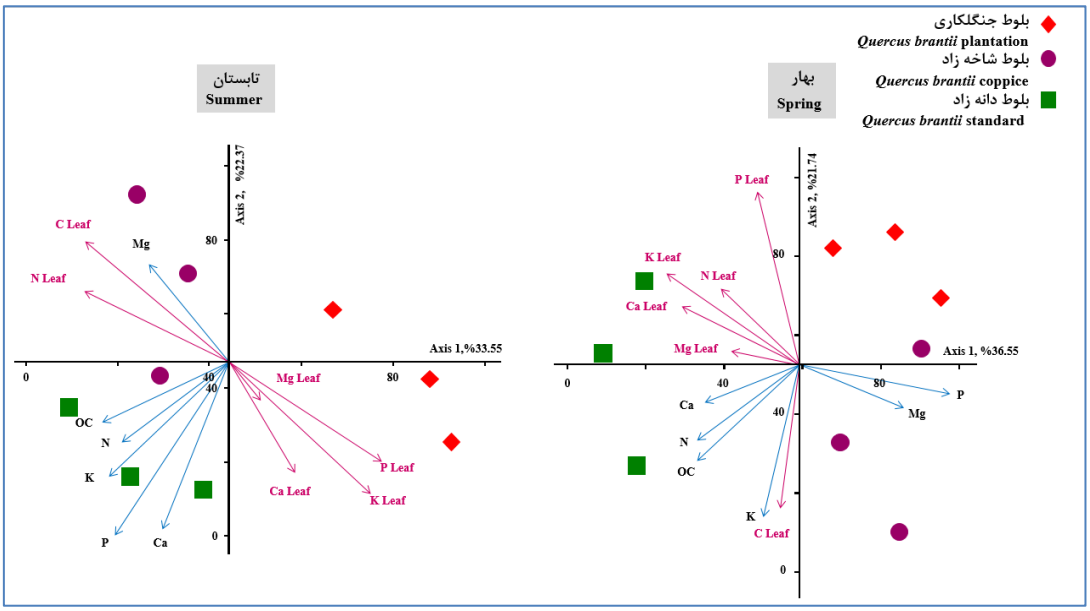
خاک: نتایج آنالیز خصوصیات خاک نشان داد از نظر وزن مخصوص ظاهری، کربن آلی، نیتروژن کل و منیزیم در دو فصل اختلاف معنی‌داری بین نمونه‌های خاک گرفته شده از زیرآشکوب فرم‌های مورد بررسی بلوط وجود ندارد. میزان pH در فصل بهار و فرم‌های طبیعی (دانه‌زاد و شاخه‌زاد) بیش‌تر از جنگل‌کاری است (جدول ۲). میزان فسفر خاک در فصل بهار بیش‌تر از تابستان و در بلوط جنگل‌کاری شده و بلوط شاخه‌زاد بیش‌تر از بلوط دانه‌زاد است. میزان پتاسیم خاک زیراشکوب فرم‌های طبیعی بلوط در فصل بهار بیش‌تر از جنگل‌کاری شده است. بیش‌تر بودن فسفر و پتاسیم در فصل بهار نسبت به تابستان به فعالیت بیش‌تر موجودات خاکزی مؤثر در تجزیه مواد آلی در فصل بهار مرتبط است. تغییرات فصلی اثر قابل‌توجهی بر سطح عناصر غذایی خاک دارد زیرا فصل تعیین‌کننده شرایط لازم برای فعالیت موجودات خاک است، به‌طوری‌که دما و رطوبت مناسب خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک (بهار نسبت به تابستان) به‌عنوان عوامل اصلی بهبود فعالیت موجودات زنده خاک و در نتیجه افزایش تجزیه و آزادسازی عناصر غذایی معرفی شده‌اند (۳۱). روند بالا بودن عناصر غذایی مانند پتاسیم به‌خصوص در زیراشکوب پایه‌های طبیعی نسبت به شاخه‌زاد به نقش برجسته‌تر تاج گسترده پایه‌های طبیعی در حفظ خاک و جلوگیری از فرسایش عناصر غذایی خاک (۳۲) و ورودی بیش‌تر سالانه لاشبرگ آن‌ها به‌عنوان منشأ عناصر غذایی خاک در فرآیند تجزیه مرتبط است (۳۳).

جدول ۲- خصوصیات خاک در فرم‌های مختلف درخت بلوط ایرانی در دو فصل بهار و تابستان (حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد است).

Table 2. Soil properties in different forms of *Q. brantii* in spring and summer (different letters indicate significant differences at the 5% level).

خصوصیات خاک Soil properties	بهار Spring			تابستان Summer		
	بلوط جنگل‌کاری‌شده *Q. brantii* plantation	بلوط شاخه‌زاد *Q. brantii* coppice	بلوط دانه‌زاد *Q. brantii* standard	بلوط جنگل‌کاری‌شده *Q. brantii* plantation	بلوط شاخه‌زاد *Q. brantii* coppice	بلوط دانه‌زاد *Q. brantii* standard
وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌مترمکعب) Bulk Density (gr/cm^3)	1.60 ± 0.07 a	1.60±0.14 a	1.52±0.28 a	1.62 ± 0.10 a	1.59±0.15 a	1.52±0.25 a
pH	6.84 ± 0.11 c	7.28±0.03 a	7.30±0.05 a	7.08 ± 0.01 b	7.03 ± 0.02 bc	7.08±0.06 b
کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)	2.71 ± 0.19 a	2.86±0.53 a	3.38±0.42 a	2.52 ± 0.14 a	3.21 ± 0.44 a	3.03±0.49 a
نیتروژن کل (درصد) Total nitrogen (%)	0.27 ± 0.03 a	0.28±0.06 a	0.34±0.05 a	0.25 ±0.02 a	0.30 ± 0.06 a	0.30± 0.06 a
فسفر قابل‌جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Available phosphorus (ppm)	394.47±26.20 a	454.40±49.06 a	149.36±19.81 c	106.79±13.43 c	135.84±14.63 c	271.89±3.17 b
پتاسیم تبادلی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Exchangeable potassium (ppm)	500.51±45.80 b	860.35±70.77 a	751.27±49.32 a	353.64± 0.00 c	423.98±17.65 bc	518.02±47.73 b
کلسیم محلول (میلی‌اکی‌والانت بر لیتر) Calcium (meq/lit)	2.80 ± 0.23 ab	2.36 ±0.63 bc	3.73 ± 0.35 a	1.46 ± 0.26 c	1.56± 0.23 c	2.16±0.32 bc
منیزیم محلول (میلی‌اکی‌والانت بر لیتر) Magnesium (meq/lit)	1.93 ±0.54 a	1.86 ±0.71 a	1.06 ± 0.26 a	0.60 ± 0.11 a	1.36± 0.34 a	1 ± 0.30 a

آنالیز مؤلفه‌های اصلی: نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی، بر اساس عناصر شیمیایی برگ و خاک در دو فصل، فرم‌های مختلف بلوط را از یکدیگر تفکیک کرد. به‌طوری‌که بلوط‌های شاخه‌زاد در فصل بهار، مشابه بلوط جنگل‌کاری‌شده و در فصل تابستان مشابه بلوط‌های دانه‌زاد هستند. در فصل بهار میزان عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در برگ و بلوط دانه‌زاد، بیش‌تر از سایر فرم‌ها بوده و فرم شاخه‌زاد و جنگل‌کاری‌شده از این نظر مشابه همدیگر بودند. درحالی‌که در فصل تابستان میزان عناصر غذایی در بلوط شاخه‌زاد در مقایسه با سایر فرم‌ها کم‌تر بود و فرم‌های جنگلی دانه‌زاد و جنگل‌کاری‌شده میزان عناصر غذایی بیش‌تری داشتند (شکل ۲، هر کدام از نمادها بیانگر مقدار متوسط ۳ تکرار است).



شکل ۳- تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) عناصر غذایی خاک و برگ، OC: کربن آلی خاک، N: نیتروژن کل خاک، K: پتاسیم تبادلی خاک، P: فسفر قابل‌جذب در خاک، Ca: کلسیم محلول در خاک، Mg: منیزیم محلول در خاک، C leaf: کربن کل در برگ، N leaf: نیتروژن کل در برگ، K leaf: پتاسیم برگ، P leaf: فسفر برگ، Ca leaf: کلسیم برگ، Mg leaf: منیزیم برگ.

Figure 3. Principal component analysis (PCA) of soil and leaf nutrients, OC: soil organic carbon, N: total nitrogen in soil, K: exchangeable potassium in soil, P: available phosphorus in soil, Ca: calcium in soil, Mg: magnesium in soil, C leaf: total carbon in leaf, N leaf: total nitrogen in leaf, K leaf: leaf potassium, P leaf: leaf phosphorus, Ca leaf: leaf calcium, Mg leaf: leaf magnesium.

با بررسی رابطه عناصر غذایی گیاهان و مشخصه‌های خاک مشخص گردید که عناصر موجود در برگ با برخی از خصوصیات شیمیایی خاک همبستگی دارند (جدول ۳). این ارتباط، تأثیرپذیری فرآیندهای جذب از خاک منطقه را نمایان‌تر می‌کند. هم‌چنین به دلیل آهکی بودن خاک منطقه، جذب برخی از عناصر از جمله نیتروژن توسط گیاهان سخت می‌شود (۳٤). گاهی ارتباط بین عناصر غذایی گیاهان و خاک به‌صورتی است که زمانی مقدار عناصر دریافتی از خاک زیاد نباشد، گیاه برای برطرف کردن نیازهای خود از عناصر غذایی انباشته‌شده استفاده می‌کند. اما درصورتی‌که خاک مواد غذایی کافی در اختیار گیاهان قرار دهد، مقدار انتقال عناصر غذایی بین اندام‌های گیاهان به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد (۳۵).

جدول ۳- همبستگی پیرسون بین عناصر غذایی خاک و برگ در فصل بهار و تابستان.

** معنی‌دار بودن در سطح ۰/۰۱ و * معنی‌دار بودن در سطح ۰/۰۵ را نشان می‌دهد ns به معنای عدم تفاوت معنی‌دار است.

Table 3. Pearson correlation between soil and leaf nutrients in spring and summer.
**** indicates significance at 0.01 level and * indicates significance at 0.05 level, ns means no significant difference.**

تابستان Summer		بهار Spring		متغیرها Variables / محورها Axes
محور ۲ Axis 2	محور ۱ Axis 1	محور ۲ Axis 2	محور ۱ Axis 1	
-0.258 ns	-0.622 **	-0.460 *	-0.627 **	کربن آلی خاک Soil organic carbon (OC)
-0.367 *	-0.486 *	-0.401 *	-0.601 **	نیتروژن کل خاک Total nitrogen in the soil (N)
-0.737 **	-0.559 **	-0.141 ns	0.924 **	فسفر قابل‌جذب خاک Available phosphorus in soil (P)
-0.456 *	-0.601 **	-0.724 **	-0.193 ns	پتاسیم تبادلی خاک Exchangeable potassium in soil (K)
-0.711 **	-0.328 *	-0.183 ns	-0.581 **	کلسیم خاک Calcium in soil (Ca)
0.414 *	-0.393 *	-0.209 ns	0.642 **	منیزیم خاک Magnesium in soil (Mg)
0.514 **	-0.706 **	-0.687 **	-0.114 ns	کربن برگ Total carbon in leaf (C leaf)
0.301 *	-0.711 **	0.346 *	-0.566 **	نیتروژن برگ Total nitrogen in leaf (N leaf)
-0.419 *	0.737 **	0.899 **	-0.148 ns	فسفر برگ Leaf phosphorus (P leaf)
-0.562 **	0.689 **	0.436 *	- 0.814 **	پتاسیم برگ Leaf potassium (K leaf)
-0.472 *	0.317 *	0.278 ns	-0.719 **	کلسیم برگ Leaf calcium (Ca leaf)
-0.145 ns	0.171 ns	0.067 ns	-0.422 *	منیزیم برگ Leaf magnesium (Mg leaf)

نتیجه‌گیری کلی

غلظت عناصر غذایی برگ درختان بلوط ایرانی در فرم‌های طبیعی و جنگل‌کاری‌شده متفاوت بود. به‌طوری‌که میزان عناصر پتاسیم و فسفر در برگ درختان جنگل‌کاری شده از درختان شاخه‌زاد بیش‌تر بود، اما تفاوت معنی‌داری بین درختان دانه‌زاد طبیعی و درختان جنگل‌کاری شده مشاهده نگردید. فصل علاوه‌بر نیتروژن و فسفر، بر کلسیم و نسبت‌های کربن به نیتروژن و کربن به فسفر اثرگذار بود. به‌عبارت‌دیگر فصل اثر بیش‌تری نسبت به فرم بر میزان جذب عناصر غذایی داشته است. بر اساس نتایج این پژوهش بلوط‌های دانه‌زاد طبیعی نسبت به سایر فرم‌ها با داشتن سطح بالاتری از عناصر غذایی پایه (نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم) در برگ و خاک در آغاز فصل رویش و تابستان نقش مهمی در پایداری حاصلخیزی خاک در بوم‌سازگان زاگرس دارند و بنابراین حفاظت آن‌ها باید در اولویت قرار گیرد. هم‌چنین بالا بودن سطح تجمع عناصر برگ در پایه‌های جنگل‌کاری شده بلوط به‌خصوص در فصل تابستان می‌تواند پس از خزان برگ در فصل پاییز، پشتیبان مناسبی برای اصلاح و حاصلخیزی خاک‌های مناطق تخریب‌شده زاگرس باشد.

منابع

1. Marvi Mohajer, M.M. 2007. Silvicis and silviculture. Tehran University Publication. 410p. (In Persian)
2. Fazlollahi Mohammadi, M., Najafi, A., Soleimani, A., Ezati, S., and Sepahvand, A. 2014. Selection of the most suitable species in order to forestation in southern Zagros forests using AHP & TOPSIS techniques. Ecology of Iranian Forest. 2: 4. 45-55. (In Persian)
3. Mazza, G., Agnelli, A.E., and Lagomarsino, A. 2021. The Effect of tree species composition on soil C and N pools and greenhouse gas fluxes in Mediterranean reforestation. J. of Soil Science and Plant Nutrition. 21: 2. 1339-1352.
4. Jahed, R.R., and Hosseini, S.M. 2014. The effect of natural and planted forest stands on soil fertility in the Hyrcanian region, Iran. Biodiversitas J. of Biological Diversity. 15: 2. 206-214.
5. Mussa, M., Ebro, A., and Nigatu, L. 2016. Impact of Woody plants species on soil physio-chemical properties along grazing gradients in Rangelands of Eastern Ethiopia. Tropical and Subtropical Agroecosystems. 19: 3. 343-355.
6. Han, C., Liu, Y., Zhang, C., Li, Y., Zhou, T., Khan, S., and Zhao, C. 2021. Effects of three coniferous plantation species on plant-soil feedbacks and soil physical and chemical properties in semi-arid mountain ecosystems. J. of Forest Ecosystems. 8: 1. 1-13.
7. Vitousek, P.M., and Sanford, R.L. 1986. Nutrient cycling in the moist tropical forest. Annual review of Ecology and Systematics. pp. 137-167.
8. Wadt, P.G.S., and Novais, R.F. 1999. Use of DRIS system in the study of different tree compartments and its effects on the evaluation of the nitrogen status of *Eucalyptus*. Brazil, Revista Arvore. 23: 3. 271-277.
9. Duquesnay, A., Dupouey, J.L., Clement, A., Ulrich, E., and Le Tacon, F. 2001. Spatial and temporal variability of foliar mineral concentration in beech (*Fagus sylvatica*) stands in northeastern France. J. of Tree Physiology. 20: 13-22.
10. Zas, R., and Serrada, R. 2003. Foliar nutrient status and nutritional relationship of young *Pinus radiata* D.Don plantation in northwestern Spain. J. of Forest Ecology and Management. 174: 1-3. 167- 176.
11. Golmohamadi, F., Hassanzad Navroodi, I., Bonyad, A.E., and Mirzaei, J. 2017. Effects of some environmental factors

on Dieback Severity of trees in Middle Zagros forests of Iran (Case Study: Strait Daalaab, Ilam Province). J. of Biology. 30: 3. 644-655. (In Persian)
12. Jazirehi, M.H., and Ebrahimi, M. 2003. Silviculture in Zagros. Tehran University Publication, 560p. (In Persian)
13. Jalilvand, H. 2001. Development of dual nutrient diagnosis ratios for basswood, *American beech*, and white *ash*, *J. of Agricultural Sciences and Technology*. 3: 121-130.
14. Hashemi, S.F., Hojjati, S.M., Nasr, S.M.H., and Jalilvand, H. 2012. Comparison of nutrient elements and elements retranslocation of *Acer velutinum*, *Zelkova carpinifolia*, and *Pinus brutia* in Darabkla-Mazindaran. J. of Forest. 4: 2. 175-185. (In Persian)
15. Salehi, A., and Pavand Dro, A. 2013. Nutrient return and nutrient retranslocation in *Acer velutinum* Boiss in Caspian forest (Case Study: Nav/Asalem). J. of Wood and Forest Science and Technology. 20: 1. 51-64. (In Persian)
16. Ghazanshahi, J. 1997. Soil and plant analysis. Homa Publication. 311p. (In Persian)
17. Miles, P.H., Wilkinson, N.S., and McDowell, L.R. 2001. Analysis of minerals for animal nutrition research. Department of animal science, University of Florida, Gainesville, USA, 117p.
18. Yao, Y., Shao, M., Fu, X., Wang, X., and Wei, X. 2019. Effects of shrubs on soil nutrients and enzymatic activities over a 0–100 cm soil profile in the desert-loess transition zone. J. Catena. 174: 362-370.
19. Jafari Haghighi, M. 2003. Methods of soil analysis, sampling, and important physical and chemical analysis (with emphasis on theoretical & applied principles). Nedaye Zoho Publication. 240p. (In Persian)
20. Dickson, R.E., and Tomlinson, P.T. 1996. Oak growth, development, and carbon metabolism in response to water stress. In Annales des Sciences Forestieres. 53: 2-3. 181-196. EDP Sciences.
21. Kafi, M., Lahuti, M., Zand, A., Sharifi, H.R., and Goldani, M. 2000. Plant Physiology (Volume I). Jahad Daneshgahi Publication. Mashhad. 456p. (In Persian)
22. Songwe, N.C., Fasehun, F.E., and Okali, D.U.U. 1997. Leaf nutrient dynamics of two tree species and litter nutrient content in Southern Bakundu Forest Reserve, Cameroon. J. of Tropical Ecology. 13: 1. 1-15.
23. Ebadi Nahari, A., Alikhani, H.A., Saghfi, M., and Khanloo, D. 2018. Determination of dissolution of inorganic and inorganic insoluble phosphates by Pseudomonas fluorescens. In Proceeding of first National conference on modern agricultural and natural resources, Iran.
24. Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Skrumsager Møller, I., and White, P. 2012. "Functions of macronutrients," in: Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3rd Ed., H. Marschner (ed.), Academic Publication, London, England. pp. 135-190.
25. Shahoei, S. 2006. The nature and properties of soils. Kurdistan University Publication, 900p. (In Persian)
26. Izzo, R., Navari Izzo, F., and Quartacci, M.F. 1991. Growth and mineral absorption in maize seedlings as affected by increasing NaCl concentrations. J. of Plant Nutrition. 14: 7. 687-699.
27. Singh, B., and Singh, G. 2004. Influence of soil water regime on nutrient mobility and uptake by *Dalbergia sissoo* seedlings. J. Tropical Ecology. 45: 2. 337-340.
28. Akinci, I.E., and Simsek, M. 2004. Ameliorative effects of potassium and calcium on the salinity stress in embryo culture of cucumber (*Cucumis sativus* L.). J. of Biological Sciences. 4: 3. 361-365.
29. Mohammadzadeh, H., Mirzaei, J., Farashiyani, M.E., Soheili, F., Woodward, S., Abdul-Hamid, H., and Naji, H.R. 2021. Variation in the nutrient contents of leaves, bark, and wood of Persian Oak Trees (*Quercus brantii*) affected by the decline. J. BioResources. 16: 3.

30. Flückiger, W., and Braun, S. 2013. Critical limits for nutrient concentrations and ratios for forest trees–a comment. Empirical critical loads for nitrogen. Swiss Agency for the Environment, Forests, and Landscape (SAEFL). Berne. pp. 273-280.
31. Heydari, M., Eslaminejad, P., Kakhki, F.V., Mirab-Balou, M., Omidipour, R., Prévosto, B., and Kooch, Y., and Lucas-Borja, M.E. 2020. Soil quality and mesofauna diversity relationship are modulated by woody species and seasonality in semiarid oak forest. J. of Forest Ecology and Management. 473.118332.
32. Heydari, M., Prévosto, B., Abdi, T., Mirzaei, J., Mirab-Balou, M., Rostami, N., Khosravi, M., and Pothier, D. 2017. Establishment of oak seedlings in historically disturbed sites: Regeneration success as a function of stand structure and soil characteristics. J. of Ecological Engineering. 107: 172-82.
33. Bazgir, M., Heydari, M., Omidipour, R., and Prévosto, B. 2021. The influence of growth types on soil properties along an elevation gradient in a semi-arid oak forest. Acta Oecologica. 112. 103773.
34. Zarrinkafsh, M.K. 2002. Forestry Soil Research. Institute of Forests and Rangelands, Tehran University Publication. 361p. (In Persian)
35. Mediavilla, S., García-Iglesias, J., González-Zurdo, P., and Escudero, A. 2014. Nitrogen resorption efficiency in mature trees and seedlings of four tree species co-occurring in a Mediterranean environment. J. of Plant and Soil. 385: 1. 205-215.