Urmia University

**Forest Research and Development**

Vol. 11, Issue 4, 2026, 535-555

**Research Paper**

# Studying the effect of decay on the nutrient dynamics and the pattern of nutrient remobilization between leaves and branches of Persian oak (*Quercus brantii* Lindl) (case study: Begali plane tree area, Lorestan province)

**Elham Malasadi[1], Kambiz Abrari Vajari[*,2] and Hamed Khodayari[3]**

1- PhD. student of Forestry, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khorram Abad, I. R. Iran. (elham.malasadi@gmail.com)
2,*- (Corresponding author) Associate Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khorram Abad, I. R. Iran. (abrari.k@lu.ac.ir)
3- Associate Professor, Department of Biology, Faculty of Basic Science, Lorestan University, Khorram Abad, I. R. Iran. (khodayari.h@lu.ac.ir)

Received: 15 August 2025 Revised: 12 October 2025 Accepted: 18 October 2025

## Extended Abstract

**Background and Objective:** Persian oak (*Quercus brantii* Lindl.), the flagship species of the Zagros forests, is facing a severe threat due to the phenomenon of oak decline. As a complex and multi-factorial process, decline leads to a progressive deterioration in tree health by disrupting water and nutrient uptake. This phenomenon is characterized by symptoms such as crown yellowing (chlorosis), branch dieback, and the emergence of epicormic shoots. Since decline influences nutrient dynamics within both soil and plant tissues, investigating nutrient resorption (specifically nitrogen, phosphorus, and potassium) between leaves and twigs in healthy versus declining trees serves as a key indicator for assessing tree vitality. Previous research has demonstrated that nutrient concentrations in healthy trees are significantly higher than in those affected by decline, a phenomenon that also directly impacts soil microbial communities and biogeochemical cycles. This study aimed to evaluate the impact of decline on nutrient resorption in Persian oak and its relationship with soil nutrient availability in the Chenar Begali region of Lorestan Province. The primary hypotheses included a direct link between nutrient resorption in plant tissues and soil properties, the correlation between nutrient concentrations and soil availability, and the significant impact of decline on resorption processes. The findings of this study can contribute significantly to understanding the mechanisms of decline and developing effective conservation strategies.

**Material and Methods:** The study area is located in Shorab Chenar Begali within the Dadabad forests of Lorestan Province (33° 20' 32" N, 48° 15' 40" E), covering an area of 60 hectares. According to the De Martonne aridity index, the region is characterized by a highly humid climate with significant microclimatic diversity, where different slope aspects exhibit distinct weather conditions. The soils are predominantly loamy-clay, derived from limestone parent materials. The average annual precipitation is 510 mm, with temperatures ranging from -14.60°C to 47.00°C. In this study, sampling was conducted on healthy and declining coppice-origin Persian oak trees across four dieback classes (healthy, low, moderate, and severe dieback). Sampling was performed using 10 rectangular plots (0.1 hectares each) through a selective random method. In each plot, four trees with homogeneous quantitative characteristics (diameter, height, and canopy cover) were selected. Leaf and twig samples were collected from four crown directions during two periods (April and

December 2023). After oven-drying the samples at 65°C for 72 hours and grinding them into a fine powder, the concentrations of nitrogen, phosphorus, and potassium were measured at the laboratory of the Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Lorestan University. Data were analyzed using a two-way analysis of variance (ANOVA) at a 1% probability level, and mean comparisons were performed using Duncan's Multiple Range Test.

**Results:** The results of the two-way analysis of variance (ANOVA) revealed that the main effects of decline, plant tissue, and their interaction on nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K) concentrations were significant at the 1% probability level during both the initial and final stages of the growing season. Tree decline significantly reduced the concentration of these elements in both leaves and twigs; the most substantial reduction in N was observed in twigs with over 50% dieback, while the greatest decrease in P occurred in leaves under similar dieback conditions. Furthermore, while K concentrations were significantly higher in twigs than in leaves, decline caused a 1.32 to 3.61-fold reduction in this parameter within damaged tissues. Nutrient resorption of N, P, and K decreased as the severity of decline increased, with higher concentrations recorded in twigs compared to leaves. Significant positive correlations were identified between leaf N resorption and soil pH, organic carbon, and soil N at the beginning of the growing season, whereas only the correlation with soil N persisted by the end of the period. Regression models further confirmed the influence of soil variables on nutrient resorption. These findings indicate that decline not only reduces nutrient concentrations but also impairs resorption efficiency, which could have critical implications for plant nutrition management under stress conditions.

**Conclusion:** This study demonstrates that decline leads to a marked reduction in nutrient concentrations within leaf and twig tissues, with concentrations dropping sharply as dieback severity intensifies. Decline also significantly impacted the net nutrient resorption of N, P, and K, causing a substantial decrease in resorption efficiency as the trees deteriorated. Varying climatic conditions, soil moisture deficits, and the translocation of nutrients from twigs to leaves are among the primary factors driving these changes.

***Keywords***: Nitrogen, Oak wilt, Organic carbon, Phosphorus.

**How to Cite This Article:** Malasadi, E., Abrari Vajari, K., & Khodayari, H. (2026). Studying the effect of decay on the nutrient dynamics and the pattern of nutrient remobilization between leaves and branches of Iranian oak (*Quercus brantii* Lindl) (case study: Begali plane tree area, Lorestan province). Forest Research and Development, 11(4), 535-553. DOI: 10.30466/jfrd.2025.56471.1774

Copyright ©2024 Malasadi et al. Published by Urmia University.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which allows users to read, copy, distribute, and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

پژوهش و توسعه جنگل
جلد ۱۱، شماره ۴، صفحه ۵۵۵-۵۳۵، (۱۴۰۴)
DOI: https://doi.org/10.30466/jfrd.2025.56471.1774
DOR: https://dorl.net/dor/20.1001.1.24763551.1404.11.4.4.9

**مقالهٔ پژوهشی**

# بررسی تاثیر پدیده زوال بر پویایی تغذیه و الگوی بازانتقال عناصر غذایی بین برگ‌ها و سرشاخه‌های گونه بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl) (پژوهش موردی: منطقه چنار بگالی استان لرستان)

**الهام مال‌اسدی[۱]، کامبیز ابراری واجاری*[۲] و حامد خدایاری[۳]**

۱- دانشجوی دکتری علوم زیستی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. (elham.malasadi@gmail.com)
۲- استاد، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. (abrari.k@lu.ac.ir)
۳- دانشیار، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. (khodayari.h@lu.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۲۴ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۷/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۶

## چکیده مبسوط

**مقدمه و هدف**: گونه شاخص جنگل‌های زاگرس، بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.)، به‌دلیل پدیده زوال با تهدید جدی مواجه شده است. زوال به‌عنوان فرآیندی پیچیده و چندعاملی، موجب کاهش تدریجی سلامت درختان از طریق اختلال در جذب آب و عناصر غذایی می‌شود. این پدیده با نشانه‌هایی مانند زردی تاج، ریزش شاخه‌ها و ظهور جوانه‌های نابجا همراه است. آنجا که زوال بر پویایی عناصر غذایی در خاک و بافت‌های گیاهی تأثیر می‌گذارد، بررسی بازانتقال عناصر (مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم) بین برگ‌ها و سرشاخه‌ها در پایه‌های سالم و زوال‌یافته، به‌عنوان شاخصی کلیدی برای ارزیابی سلامت درختان مطرح می‌شود. پژوهش‌های پیشین نشان داده‌اند که غلظت عناصر غذایی در درختان سالم به‌طور معناداری بیشتر از درختان مبتلا به زوال است و این پدیده بر جوامع میکروبی خاک و چرخه‌های بیوژئوشیمیایی نیز تأثیر مستقیم دارد. این پژوهش با هدف ارزیابی تأثیر زوال بر بازانتقال عناصر غذایی در بلوط ایرانی و ارتباط آن با دسترس‌پذیری خاک در منطقه چنار بگالی استان لرستان انجام شد. فرضیه‌های اصلی شامل ارتباط مستقیم بین بازانتقال عناصر در بافت‌های گیاهی و خاک، رابطه غلظت عناصر با دسترس پذیری خاک، و تأثیر معنادار زوال بر بازانتقال عناصر بودند. یافته‌های این بررسی می‌تواند به درک سازوکارهای زوال و ارائه راهکارهای حفاظتی کمک شایانی کند.

**مواد و روش‌ها:** منطقه مورد بررسی این پژوهش، شورآب چنار بگالی در جنگل‌های دادآباد استان لرستان با مختصات جغرافیایی ۳۳ درجه و ۲۰ دقیقه و ۳۲ ثانیه شمالی و ٤٨ درجه و ۱۵ دقیقه و ٤٠ ثانیه شرقی و مساحت ٦٠ هکتار است. این منطقه با اقلیم بسیار مرطوب (بر اساس روش دومارتن) از تنوع مزواقلیمی قابل‌توجهی برخوردار است، به‌طوری‌که جهت‌های مختلف شیب، شرایط آب و هوایی متفاوتی را نشان

می‌دهند. خاک‌های منطقه بیشتر لومی-رسی و مشتق‌شده از سنگ‌های آهکی است. متوسط بارندگی سالانه در این منطقه ۵۱۰ میلی‌متر و دما بین ۱٤/٦۰- تا ٤۷/۰۰ درجه سانتی‌گراد متغیر است. در این پژوهش، نمونه‌برداری از پایه‌های بلوط شاخه‌زاد سالم و زوال‌یافته در چهار طبقه خشکیدگی (سالم، خشکیدگی کم، خشکیدگی متوسط و خشکیدگی زیاد) با استفاده از ۱۰ قطعه‌نمونه مستطیلی (۰/۱۰ هکتاری) به روش تصادفی انتخابی انجام شد. در هر قطعه، چهار درخت همگن از نظر ویژگی‌های کمی (قطر، ارتفاع و تاج پوشش) انتخاب و نمونه‌های برگ و سرشاخه از چهار جهت تاج در دو بازه زمانی (فروردین و آذر ۱٤۰۲) جمع‌آوری شد. پس از خشک‌کردن نمونه‌ها در آون (با دمای ٦۵ درجه سانتی‌گراد در مدت زمان ۷۲ ساعت)، پودرشدن آن‌ها توسط آسیاب و غلظت عناصر غذایی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) در آزمایشگاه گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان اندازه‌گیری شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از آزمون آنالیز واریانس دوطرفه در سطح احتمال یک‌درصد استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن انجام شد.

**یافته‌ها:** نتایج تجزیه واریانس دوطرفه نشان داد که اثر اصلی زوال، بافت گیاهی و برهم‌کنش آنها بر غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در هر دو مرحله ابتدایی و انتهایی دوره رشد در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. زوال به‌طور معنی‌داری غلظت این عناصر را در برگ و سرشاخه کاهش داد، به‌طوری‌که بیشترین کاهش نیتروژن در سرشاخه با خشکیدگی بیش از ۵۰ درصد و بیشترین کاهش فسفر در برگ با خشکیدگی مشابه مشاهده شد. همچنین، پتاسیم سرشاخه به‌طور معنی‌داری بیشتر از برگ بود، اما زوال سبب کاهش ۱/۳۲ تا ۳/٦۱ برابری این مشخصه در بافت‌های آسیب‌دیده شد. بازانتقال عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم با افزایش شدت زوال کاهش یافت و در غلظت این عناصر در سرشاخه نسبت به برگ بالاتر بود. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین بازانتقال نیتروژن برگ با اسیدیته، کربن آلی و نیتروژن خاک در ابتدای دوره رشد شناسایی شد، در حالی که در انتهای دوره، تنها همبستگی با نیتروژن خاک حفظ شد. مدل‌های رگرسیونی نیز تأثیر متغیرهای خاک بر بازانتقال عناصر را تأیید کردند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که زوال نه تنها غلظت عناصر غذایی را کاهش می‌دهد، بلکه کارایی بازانتقال آنها را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد، که این امر می‌تواند پیامدهای مهمی برای مدیریت تغذیه گیاهی در شرایط تنش داشته باشد.

**نتیجه‌گیری:** نتایج این پژوهش نشان داد زوال موجب کاهش غلظت عناصر غذایی در بافت برگ و سرشاخه شد و با افزایش شدت زوال، غلظت این عناصر به شدت کاهش پیدا کرد. زوال همچنین بر بازانتقال خالص عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم نیز تاثیر داشت و با افزایش شدت زوال باز انتقال خالص عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم به‌طور زیادی کاهش پیدا کرد. شرایط آب و هوایی متفاوت، کمبود رطوبت خاک، بازانتقال عناصر غذایی از سرشاخه به برگ، از مهم‌ترین دلایل این تغییرها است.

**واژه‌های کلیدی:** خشکیدگی بلوط، فسفر، کربن آلی، نیتروژن.

* نویسنده مسئول شمارهٔ تماس: ۰۹۱۱۳٤٤۱۵۷۱

**مقدمه**

وسعت جنگل‌های ایران ۱۲/٤ میلیون هکتار است که تنها ۷/۵ درصد از مساحت کل کشور را شامل می‌شود (Morales, 2021). جنگل‌های زاگرس جزء جنگل‌های نیمه‌خشک طبقه‌بندی شده و با مساحتی بالغ بر پنج میلیون هکتار، ٤۰ درصد از جنگل‌های ایران را به خود اختصاص داده و بیشترین تأثیر را در تأمین آب، حفظ خاک، تعدیل آب و هوا و تعادل اقتصادی و اجتماعی منطقه دارد (Sagheb-Talebi et al., 2014; Miri et al., 2025).

بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl) از خانواده راش (Fagaceae) با متوسط ارتفاع ۲۱–۱۵ متر، قطربرابر سینه بین ۳۰ تا ٦۰ سانتی‌متر و گستردگی تاج قابل‌توجه، بخش وسیعی از ناحیه رویشی زاگرس را به خود اختصاص داده (Sagheb-Talebi et al., 2014) و بومی مناطق مرکزی، جنوبی و جنوب شرقی رشته کوه‌های زاگرس است (Jafaryan et al., 2024). یکی از مهم‌ترین عواملی که در تخریب و تغییر وضعیت جنگل‌های بلوط زاگرس نقش چشمگیری دارد، زوال بلوط است. زوال به مجموعه‌ای از فرایندهایی گفته می‌شود که در طول زمان توان و سلامتی درخت و یک توده جنگلی به مخاطره می‌افتد و موجب نابودی درختان می‌شود، بدون آنکه شواهد آشکاری قابل–مشاهده باشد (Choi et al., 2022; Dehghannejad et al., 2024). همانند این شواهد می‌توان به اختلال‌های فیزیکی و یا حمله آفات و بیماری‌ها اشاره کرد. از نشانه‌های مهم زوال رنگ‌پریدگی و زرد شدن تاج، ریزش بیش ازحد شاخه‌های نازک، مرگ شاخه‌ها و کل تاج و ظهور جوانه‌های نابه‌جا بر روی شاخه‌ها است (Gosling et al., 2024). در ایران طی سال‌های اخیر، ناحیه رویشی زاگرس با زوال یا خشکیدگی جنگل مواجه شده و هر روز بر وسعت آن افزوده می‌شود، به‌طوری‌که براساس آخرین آمارها طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۳ سطحی معادل ۲۵ درصد از این جنگل‌ها به زوال دچار شده است (Hosseinzadeh and Pourhashemi, 2017). با توجه به اینکه نزدیک به ٤۰ کشور دنیا با پدیده زوال روبه‌رو هستند، نظریه‌های گوناگونی درباره بروز پدیده زوال بلوط مطرح است. ولی آنچه بیشتر پژوهشگران بر آن اتفاق نظر دارند این است که تنها یک عامل نمی‌تواند دلیل این پدیده باشد، بلکه ایجاد این بحران تحت تأثیر چندین عامل است که همزمان یا با تواتر رخ می‌دهند. زوال بر جذب آب و عناصر غذایی توسط ریشه تأثیر می‌گذارد (Kowsari and Karimi, 2023). آب علاوه بر رفع نیازهای آبی گیاه، در انتقال عناصر غذایی از خاک به گیاه و نیز تبادلات عناصر غذایی در درون گیاه نقش حیاتی دارد. زمانی که رطوبت خاک کاهش پیدا می‌کند انتقال عناصر غذایی از خاک به گیاه دچار اختلال شده و درخت دچار تنش می‌شود. با کاهش تدریجی رطوبت خاک، روند تبادل عناصر غذایی در گیاه به‌هم خورده و وضعیت رشد درختان مختل شده و حتی به بافت‌ها و اندام‌های گیاه آسیب می‌رسد (Batos et al., 2010). زوال در نهایت موجب کاهش تقاضای گیاه برای جذب عناصر غذایی شده و غلظت عناصر غذایی بافت کاهش پیدا می‌کند (Tian et al., 2019).

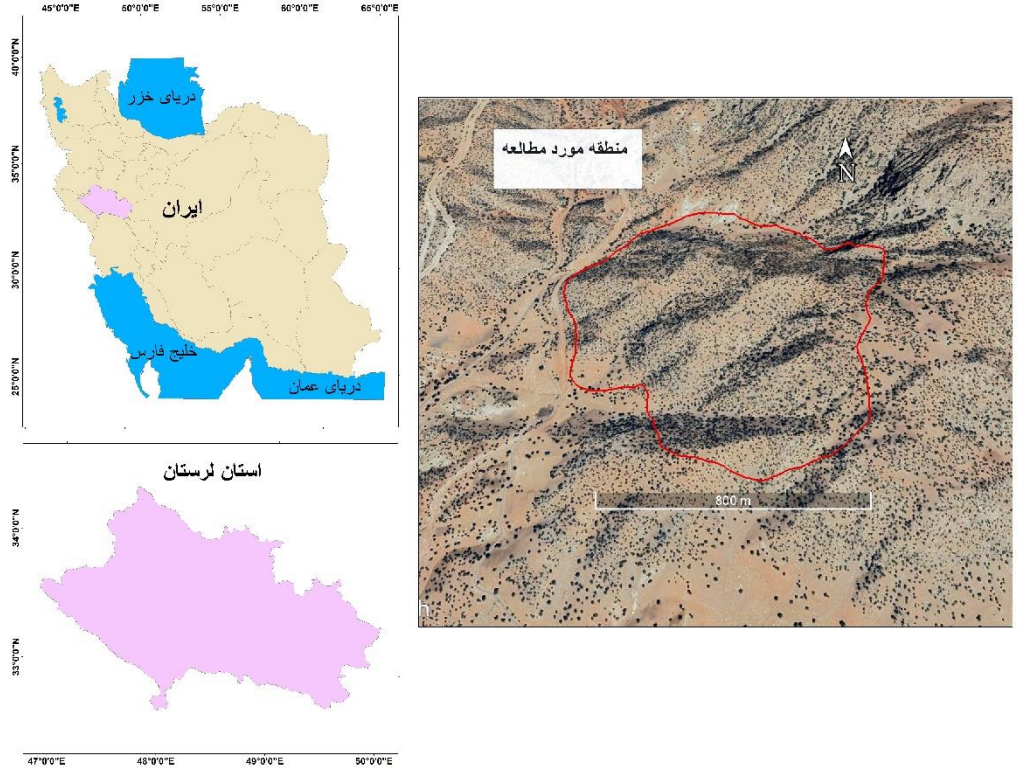
در پاسخ به زوال سهم عناصر غذایی پیکره درخت تغییر می‌کند، بنابراین یکی از راه‌های بررسی اثر زوال بر درختان جنگلی بررسی تغییرهای غلظت عناصر در بخش‌های مختلف پیکره آن‌هاست (Gazol et al., 2018; Hevia et al., 2019). بازانتقال عناصر، حرکت و انتقال عناصر غذایی از برگ‌های درحال پیرشدن به ذخیره بافت هر ساله است که فرآیندی کلیدی در پویایی عناصر مغذی در بیشتر بوم‌سازگان‌های گیاهی

به‌ویژه بوم‌سازگان‌های پهن‌برگ به‌شمار می‌رود و نشان‌دهنده مقداری از هر عنصر غذایی است که قبل از افتادن برگ‌ها از آن‌ها جدا می‌شود (Du et al., 2021). اثر زوال بر بازانتقال عناصر غذایی در گونه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. پژوهشگران با بررسی تاثیر عوامل فیزیوگرافی بر جذب عناصر غذایی ضروری برگ در جنگل‌های بلوط دچار زوال گزارش کردند غلظت عناصر غذایی ضروری در برگ درختان سالم به‌طور معنی‌داری بیشتر از درختان درحال خشکیدن بود (Jahanbazi et al., 2022, Zarafshar et al., 2021). همچنین بررسی الگوهای بازانتقال فصلی عناصر غذایی در سوزن و سرشاخه‌های کاج بروسیا در مناطق جنگلکاری شده مخمل‌کوه لرستان نشان داد بازانتقال عناصر غذایی در دو فصل رویشی بهار و پاییز و بازه زمانی شهریور تا اسفند انجام شده و عناصر غذایی با هدایت الکتریکی، کربن‌آلی و اسیدیته خاک همبستگی دارند (Malasadi et al., 2020). پژوهشگران با بررسی تاثیر زوال در تغییر توالی گیاهی و جوامع میکروبی با تاکید بر چرخه کربن و نیتروژن به این نتیجه رسیدند که زوال یک اثر مستقیم بر گیاهان زیراشکوب و جوامع میکروبی خاک دارد (Rodríguez-Calcerrada et al., 2017). در پژوهشی با بررسی بازانتقال نیتروژن و فسفر برگ و ساقه در جنگل اکالیپتوس بالغ گزارش شد که غلظت فسفر در برگ‌های بالغ کمتر از برگ‌های جدید بود (Crous et al., 2019). پژوهشگران گزارش کردند اختلال در جذب عناصر غذایی می‌تواند به تغییر الگوی بازانتقال نیتروژن در گونه‌های جنگلی منجر شود (Machado et al., 2016). در پژوهشی دیگر بیان شد محدودیت در جذب عناصر غذایی موجب کاهش کارایی بازانتقال درختان می‌شود (Joseph et al., 2021). این پژوهش فرضیه‌های زیر را مورد بررسی قرار می‌دهد: ۱) کارایی بازانتقال عناصر غذایی در برگ و سرشاخه‌های گونه بلوط ایرانی با دسترس‌پذیری عناصر غذایی در خاک ارتباط دارد. ۲) غلظت عناصر غذایی در بافت‌های گیاهی گونه بلوط ایرانی (مستقل از فرایند بازانتقال) با قابلیت دسترسی عناصر غذایی در خاک ارتباط دارد و ۳) زوال بر بازانتقال عناصر غذایی در بافت‌های گیاهی (برگ‌ها و سرشاخه‌ها) پایه‌های بلوط ایرانی تاثیر معنی‌داری دارد. این بررسی با هدف شناسایی تاثیر زوال بر بازانتقال عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در بافت‌های گیاهی در ابتدا و انتهای دوره رویشی گونه بلوط ایرانی در منطقه چنار بگالی استان لرستان انجام شد، که می‌تواند راهنمایی برای بررسی اثرهای زوال بر غلظت عناصر غذایی موجود در خاک و پایه‌های سالم و زوال یافته بلوط ایرانی باشد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد بررسی

منطقه مورد بررسی در این پژوهش، شورآب چنار بگالی در منطقه جنگلی دادآباد استان لرستان با مختصات "۳۲ '۳۳ °۲۰ شمالی و "۴۰ '۴۸ °۱۵ شرقی است. این منطقه از نظر تقسیمات کشوری در جنوب غربی شهرستان خرم‌آباد قرار گرفته و مساحت آن ۶۰ هکتار است (شکل ۱). رویشگاه‌های منطقه مورد بررسی اگر چه بر اساس روش دومارتن در اقلیم بسیار مرطوب هستند اما به‌دلیل وسعت زیاد و شرایط توپوگرافی منطقه از تنوع اقلیمی کوچک‌تر (مزو اقلیم) برخوردار است، به‌طوری‌که مزوکلیمای جهت‌های شمالی با جنوبی و جهت شرقی با منطقه غرب با همدیگر تفاوت دارد. خاک‌های منطقه بیشتر از سنگ‌های مادری آهکی شکسته‌شده هستند و بافت لومی–رسی دارند (Malasadi et al., 2020).




شکل ۱- موقعیت منطقه مورد پژوهش

Figure 1. Location of the study area

عرصه منطقه شوراب چنار بگالی کوهستانی با کمینه ارتفاع ۱۳۸۰ متر از سطح دریا است. مقدار بارندگی سالانه این منطقه ۵۱۰ میلی‌متر بوده و متوسط، کمینه و بیشینه دمای آن ۱۵، ۱٤/٦- و ٤۷ درجه سانتی‌گراد است.

**روش پژوهش**

در این پژوهش، نمونه‌برداری پایه‌های بلوط شاخه‌زاد سالم و زوال‌یافته انجام شد که از نظر مقدار ابتلا به زوال، به چهار طبقه سالم، خشکیدگی کم (کمتر از ۲۵ درصد خشکیدگی)، خشکیدگی متوسط (بین ۲۵ تا ۵۰ درصد) و خشکیدگی زیاد (بیشتر از ۵۰ درصد) تقسیم می‌شوند (Fallah and Haidari, 2018).

**نمونه‌برداری از بافت گیاه**

نمونه‌برداری به روش جنگل گردشی و تصادفی و با استفاده از ۱۰ قطعه‌نمونه (۰/۱ هکتاری) به ابعاد ۲۵ در ٤۰ متر مربع انجام شد. علت استفاده از قطعات نمونه مستطیل شکل، ویژگی جنگل‌های منطقه از نظر تراکم و راحتی پیاده کردن قطعات نمونه بود. در هر قطعه‌نمونه چهار درخت با توجه به چهار طبقه زوال انتخاب و نمونه‌برداری بافت‌های گیاهی (برگ و سرشاخه) انجام شد. قطعات نمونه دارای فواصل زیادی نسبت به هم بودند تا از شبه‌جایگزینی اجتناب شود (Fallah and Haidari, 2018).

در طول نمونه‌برداری ۱۰ درخت شاداب و سالم و ۳۰ درخت در حال خشکیدن بلوط انتخاب شد (Zarafshar et al., 2021)، به‌طوری‌که درختان منتخب از نظر متغیرهای کمی (قطر، ارتفاع و تاج پوشش) دارای شرایط به نسبت مشابهی (همگن) بودند. سپس در ابتدا و انتهای دوره رشد تحت پایش قرار گرفتند. با توجه به فصلی‌بودن رشد بلوط ایرانی، نمونه‌برداری در دو مقطع

زمانی انجام شد: اواخر فروردین ۱۴۰۲ و اواسط آذر ۱۴۰۲. زمان نخست (فروردین) مقطع آغازین فصل رویشی است که در آن برگ‌های جدید شکل گرفته و تقاضای گیاه برای جذب عناصر غذایی در بالاترین سطح قرار دارد. زمان دوم (آذر) مصادف با پایان دوره رویشی و پیش از خزان برگ‌ها است، هنگامی که بخش عمده فرآیند بازانتقال عناصر غذایی از برگ‌ها به اندام‌های ذخیره‌ای (سرشاخه‌ها و ریشه‌ها) تکمیل می‌شود. انتخاب این دو موعد، امکان ارزیابی تغییرات غلظت و کارایی بازانتقال عناصر غذایی در طول یک چرخه کامل رشد سالانه را فراهم ساخت (Zarafshar et al., 2021). نمونه‌های برگ و سرشاخه از چهار جهت درخت در یک سوم بالایی تاج درخت برداشت شد به‌طوری‌که از هر جهت تاج، پنج برگ و پنج سرشاخه انتخاب شد. نمونه‌برداری به این صورت بود که در هر پلات چهار درخت (یک درخت سالم و سه درخت درحال خشکیدن) انتخاب و ۲۰ نمونه برگ و ۲۰ نمونه سرشاخه از هر درخت برداشت و بعد از ترکیب جداگانه برگ‌ها و سرشاخه‌ها برای انتقال به آزمایشگاه آماده شد (Jiang et al., 2019). در هر قطعه– نمونه وضعیت خشکیدگی تاج درختان بلوط در چهار طبقه ثبت شد. معیار طبقه‌بندی خشکیدگی درختان، ظاهر تاج بود و بر اساس وضعیت خشکیدگی تاج درختان انجام شد (Fallah and Heidari, 2018). نمونه‌های انتخاب‌شده به آزمایشگاه انتقال داده و پس از تفکیک بخش‌های مختلف در آون به‌مدت ۷۲ ساعت با دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد خشک شد. سپس برگ‌ها و سرشاخه‌ها توسط آسیاب پودر و برای تعیین عناصر غذایی ازت، فسفر و پتاسیم به آزمایشگاه منتقل شد.

با توجه به دوره رشد گونه‌ها در نواحی مدیترانه‌ای، شاخص بازانتقال عناصر غذایی از طریق استفاده از درصد بازانتقال خالص محاسبه شد که به‌صورت زیر محاسبه شد (Munson et al., 1995).

$$NUTnrseason = \frac{Nut_0 - Nut_1}{Nut_0} \times 100 \qquad \text{رابطهٔ (۱)}$$

در این فرمول NUT nrseason درصد باز انتقال عناصر غذایی در بافت گیاهی (برگ یا سرشاخه) در فصل رشد معین (بهار – پاییز)، NUT0 غلظت عناصر غذایی در یک بافت گیاهی (برگ یا سرشاخه) در آغاز فصل رشد و NUT1 غلظت عناصر غذایی همان بافت در انتهای فصل رشد است. در این بررسی بازانتقال عناصر غذایی در ابتدا و انتهای دوره رویشی محاسبه شد.

**نمونه‌برداری خاک**

پس از کنارزدن لاشبرگ‌ها، از هر قطعه‌نمونه (۱۰ قطعه نمونه ۰/۱ هکتاری) خاک ترکیبی از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری برداشت شد. نمونه‌برداری خاک همزمان با برداشت برگ و سرشاخه‌ها، از پایه‌های سالم و زوال‌یافته و به‌صورت جداگانه برای هر طبقه زوال انجام گرفت شد. نمونه‌های خاک هر قطعه با هم ترکیب و به آزمایشگاه منتقل شدند. سپس مقدار نیتروژن (Lynch and Barbano, 1999)، فسفر (Olsen, 1954)، پتاسیم (Varley, 1966)، کربن آلی (Bisutti et al., 2004)، آهک، pH، هدایت الکتریکی و بافت خاک (Kalra, 1995) اندازه‌گیری شد.

**تجزیه و تحلیل آماری**

پس از اطمینان از نرمال‌بودن توزیع داده‌ها با آزمون کولموگروف–اسمیرنوف، برای بررسی اثر زوال و بافت گیاهی بر غلظت عناصر غذایی از آزمون آنالیز واریانس دوطرفه در سطح احتمال یک درصد استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن انجام گرفت. همچنین برای بررسی رابطه بین غلظت عناصر غذایی در بخش‌های مختلف گیاه با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک از همبستگی پیرسون و

رگرسیون خطی چندمتغیره استفاده شد. تمام محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام شد.

## نتایج

نتایج تجزیه واریانس دوطرفه اثر زوال و بافت گیاهی بر غلظت عناصر غذایی در ابتدای دوره رشد حاکی از این بود که اثر اصلی زوال، اثر اصلی بافت و برهم‌کنش زوال و بافت بر غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱).

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس دوطرفه اثر زوال و بافت گیاهی بر غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در ابتدای دوره رشد

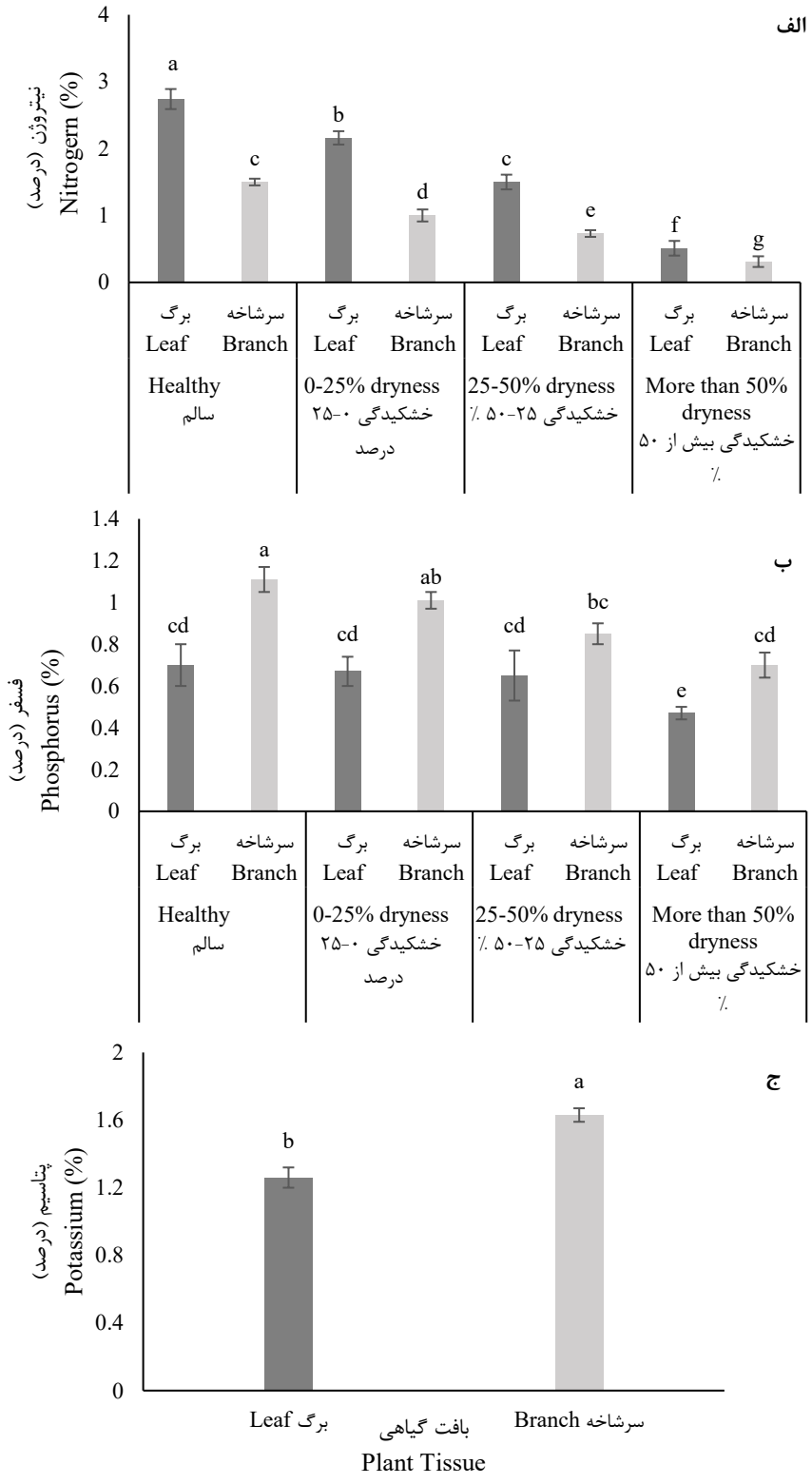
Table 1. Results of two-way analysis of variance of the effect of decay and plant tissue on the concentration of nitrogen, phosphorus and potassium at the beginning of the growth period

| منابع تغییرات<br>Sources of changes | درجه آزادی<br>Degrees of Freedom | میانگین مربعات<br>Mean Squares | | |
|---|---|---|---|---|
| | | نیتروژن<br>Nitrogen | فسفر<br>Phosphorus | پتاسیم<br>Potassium |
| زوال<br>Decay | 3 | 1.06** | 0.16** | 0.28** |
| بافت گیاهی<br>Plant tissue | 1 | 38.74** | 1.25** | 3.69** |
| زوال × بافت<br>Decay × Tissue | 3 | 1.07** | 0.23** | 0.23** |

* و ** به‌ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد را نشان می‌دهد.

* and ** indicate significance at the 5 and 1 percent probability levels, respectively.

نتایج مقایسه میانگین نشان داد زوال به‌طور قابل‌توجهی مقدار نیتروژن برگ و سرشاخه را کاهش داد. بیشترین و کمترین مقدار نیتروژن به‌ترتیب در برگ سالم (۲/۷٤ درصد) و سرشاخه با خشکیدگی بیشتر از ۵۰ درصد (۰/۳۱ درصد) مشاهده شد. مقدار نیتروژن برگ در طبقات خشکیدگی صفر–۲۵ درصد، ۲۵–۵۰ درصد و بیش از ۵۰ درصد در مقایسه با برگ سالم به‌ترتیب ۱/۲٦، ۱/۸۲ و ۵/۳۷ برابر کاهش یافت. مقدار نیتروژن سرشاخه نیز در طبقات خشکیدگی صفر–۲۵ درصد، ۲۵–۵۰ درصد و بیش از ۵۰ درصد در مقایسه با سرشاخه سالم به‌ترتیب ۱/۵۰، ۲/۰۵ و ٤/۸۳ برابر کاهش پیدا کرد (شکل ۱ الف). بر اساس نتایج به‌دست آمده، زوال موجب کاهش فسفر برگ شد. بیشترین مقدار فسفر در سرشاخه سالم (۱/۱۱ درصد) و کمترین آن در برگ با خشکیدگی بیش از ۵۰ درصد (۰/٤۷ درصد) به ثبت رسید. مقدار فسفر برگ در طبقات سالم، خشکیدگی صفر–۲۵ درصد و ۲۵–۵۰ درصد با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشت. فسفر برگ در طبقه خشکیدگی بیش از ۵۰ درصد در مقایسه با برگ سالم به‌ترتیب ۱/٤۸ برابر کاهش یافت. در طبقه خشکیدگی بیش از ۵۰ درصد، فسفر سرشاخه نسبت به طبقه سالم ۱/۵۸ برابر کاهش پیدا کرد (شکل ۱ ب). نتایج همچنین نشان داد که مقدار پتاسیم سرشاخه به‌طور معنی‌داری بیشتر از برگ بود (شکل ۱ ج).




شکل ۲- مقایسه میانگین غلظت عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در طبقات مختلف زوال در ابتدای فصل رشد (حروف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است)

Figure 2. Comparison of the average concentrations of nitrogen, phosphorus and potassium nutrients . in different stages of decline at the beginning of the growing season (common letters indicate no significant difference).

نتایج تجزیه واریانس دوطرفه اثر زوال و بافت گیاهی بر غلظت عناصر غذایی در انتهای دوره رشد حاکی از این بود که اثر اصلی زوال، اثر اصلی بافت و برهم‌کنش زوال و بافت بر غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس دو طرفه اثر زوال و بافت گیاهی بر غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در انتهای دوره رشد

Table 2. Results of two-way analysis of variance of the effect of deterioration and plant tissue on the concentration of nitrogen, phosphorus and potassium at the end of the growth period

| منابع تغییرات Sources of changes | درجه آزادی Degrees of Freedom | منابع تغییرات Sources of changes | | |
|---|---|---|---|---|
| | | نیتروژن Nitrogen | فسفر Phosphorus | پتاسیم Potassium |
| زوال Decay | 3 | 1.13** | 0.38** | 0.02** |
| بافت گیاهی Plant Tissue | 1 | 18.38** | 0.32** | 0.03** |
| زوال × بافت Decay × Tissue | 3 | 0.20** | 0.15** | 0.06** |

ns، * و ** به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد را نشان می‌دهد.

ns, * and ** indicate non-significance and significance at the 5 and 1 percent probability levels, respectively.

نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین و کمترین مقدار نیتروژن به‌ترتیب در برگ سالم (۲/۲۵ درصد) و سرشاخه با خشکیدگی بیشتر از ۵۰ درصد (۰/۲۰ درصد) مشاهده شد. زوال به‌طور قابل‌توجهی مقدار نیتروژن برگ و سرشاخه را کاهش داد. مقدار نیتروژن برگ در طبقات خشکیدگی صفر-۲۵ درصد، ۲۵-۵۰ درصد و بیش از ۵۰ درصد در مقایسه با برگ سالم به‌ترتیب ۱/۱۲، ۱/۷۳ و ۵/۶۲ برابر کاهش یافت. مقدار نیتروژن سرشاخه نیز در طبقات خشکیدگی صفر-۲۵ درصد، ۲۵-۵۰ درصد و بیش از ۵۰ درصد در مقایسه با سرشاخه سالم به‌ترتیب ۱/۵٤، ۲/٤۰ و ۷/۹۵ برابر کاهش پیدا کرد (جدول ۳). نتایج همچنین حاکی از آن بود که زوال موجب کاهش فسفر برگ شد. بیشترین مقدار فسفر در برگ سالم (۱/۰۰ درصد) و کمترین آن در سرشاخه با خشکیدگی بیش از ۵۰ درصد (۰/٤۸ درصد) به ثبت رسید. مقدار فسفر در برگ با خشکیدگی بیش از ۵۰ درصد در مقایسه با برگ سالم ۱/٦٦ برابر کاهش پیدا کرد. همچنین مقدار فسفر در سرشاخه با خشکیدگی بیش از ۵۰ درصد در مقایسه با سرشاخه سالم ۱/۷٦ برابر کاهش یافت (جدول ۳). زوال، غلظت پتاسیم برگ و سرشاخه را به‌طور قابل‌توجهی کاهش داد. غلظت پتاسیم در برگ و سرشاخه با خشکیدگی بیش از ۵۰ درصد نسبت به برگ سالم به‌ترتیب ۱/۳۲ و ۳/٦۱ برابر کاهش پیدا کرد ( جدول ۳).

جدول ۳- مقایسه میانگین (± اشتباه معیار) غلظت عناصر غذایی در طبقات مختلف زوال در انتهای فصل رشد

Table 3. Comparison of mean (± standard error) concentrations of nutrients in different deterioration classes at the end of the growing season

| زوال<br>Decay | بافت گیاهی<br>Plant Tissue | نیتروژن (درصد)<br>Nitrogen (%) | فسفر (درصد)<br>Phosphorus (%) | پتاسیم (درصد)<br>Potassium (%) |
|---|---|---|---|---|
| سالم<br>Healthy | برگ<br>Leaf | 2.25 ± 0.01 a | 1.00 ± 0.02 a | 2.32 ± 0.02 a |
| | سرشاخه<br>Branch | 1.47 ± 0.03 d | 0.85 ± 0.04 ab | 1.30 ± 0.14 c |
| خشکیدگی صفر تا ۲۵ درصد<br>0-25% dryness | برگ<br>Leaf | 2.00 ± 0.01 b | 0.91 ± 0.02 ab | 2.00 ± 0.05 b |
| | سرشاخه<br>Branch | 0.95 ± 0.09 e | 0.79 ± 0.01 ab | 0.81 ± 0.08 e |
| خشکیدگی ۵۰-۲۵ درصد<br>25-50% dryness | برگ<br>Leaf | 1.30 ± 0.01 c | 0.81 ± 0.02 ab | 1.50 ± 0.11 c |
| | سرشاخه<br>Branch | 0.61 ± 0.03 f | 0.77 ± 0.02 b | 0.67 ± 0.07 f |
| خشکیدگی بیش از ۵۰ درصد<br>More than 50% dryness | برگ<br>Leaf | 0.40 ± 0.1 g | 0.60 ± 0.01 c | 1.00 ± 0.01 d |
| | سرشاخه<br>Branch | 0.21 ± 0.05 h | 0.48 ± 0.02 d | 0.36 ± 0.03 g |

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means with the same letter in each column are not significantly different from each other.

نتایج تجزیه واریانس دوطرفه نشان داد اثر اصلی زوال و اثر اصلی بافت گیاهی بر باز انتقال عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. برهم‌کنش دوگانه زوال و بافت گیاهی بر باز انتقال هیچ کدام از عناصر غذایی معنی‌دار نشد (جدول ٤).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد با افزایش شدت زوال باز انتقال عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم به‌طور قابل‌توجهی کاهش پیدا کرد (جدول ۵).

جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس دو طرفه اثر زوال و بافت گیاهی بر بازانتقال خالص عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم

Table 4. Results of two-way analysis of variance (ANOVA) for the effects of decline and plant tissue on the net nutrient resorption of nitrogen, phosphorus, and potassium

| منابع تغییرات<br>Sources of changes | درجه آزادی<br>Degrees of freedom | میانگین مربعات<br>Mean squares | | |
|---|---|---|---|---|
| | | نیتروژن<br>Nitrogen | فسفر<br>Phosphorus | پتاسیم<br>Potassium |
| زوال<br>Decay | 3 | 83485.41 ** | 72.22 ** | 1403.00 ** |
| بافت گیاهی<br>Plant tissue | 1 | 656.26** | 228.78** | 201.26** |
| زوال × بافت<br>Decay × Tissue | 3 | 7.09 ns | 2.09 ns | 4.49 ns |

ns، * و ** به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد را نشان می‌دهد.

ns, *, and ** indicate non-significance and significance at the 5 and 1 percent probability levels, respectively.

جدول ۵- مقایسه میانگین (± اشتباه معیار) درصد بازانتقال خالص عناصر غذایی در طبقات زوال

Table 5 - Comparison of the mean (± standard error) of the percentage of net nutrient transfer in the deterioration classes

| پتاسیم<br>Potassium | فسفر<br>Phosphorus | نیتروژن<br>Nitrogen | زوال<br>Decay |
|---|---|---|---|
| 49. 86 ± 1.81 [a] | 5.95 ± 2.43 [a] | 80.41 ± 2.54 [a] | سالم<br>Healthy |
| 37.21 ± 1.61 [b] | 3.19 ± 1.30 [ab] | 65.33 ± 2.97 [b] | خشکیدگی ۲۵-۰ درصد<br>0-25% dryness |
| 25.28 ± 1.92 [c] | 2.98 ± 1.21 [bc] | 54.60 ± 2.01 [c] | خشکیدگی ۵۰-۲۵ درصد<br>25-50% dryness |
| 14.38 ± 1.15 [d] | 2.30 ± 0.94 [c] | 35.50 ± 3.40 [d] | خشکیدگی بیش از ۵۰ درصد<br>More than 50% dryness |

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

In each column, means with the same letter do not differ significantly from each other.

نتایج مقایسه میانگین همچنین نشان داد باز انتقال عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در سرشاخه از برگ بیشتر بود (جدول ٦).

جدول ٦- مقایسه میانگین (± اشتباه معیار) درصد بازانتقال خالص عناصر غذایی در بافت گیاهی

Table 6. Comparison of the mean (± standard error) of the percentage of net nutrient re-transport in plant tissue

| پتاسیم<br>Potassium | فسفر<br>Phosphorus | نیتروژن<br>Nitrogen | بافت گیاهی<br>Plant tissue |
|---|---|---|---|
| -28.79 ± 4.04 [b] | 2.02 ± 0.60 [b] | 53.75± 5.19 [b] | برگ<br>Leaf |
| -34.58 ± 3.11 [a] | 4.66 ± 1.01 [a] | 64.24± 4.01 [a] | سرشاخه<br>Branch |

در هر ستون میانگین‌های با حروف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

In each column, means with the same letter do not differ significantly from each other.

نتایج بررسی همبستگی بین بازانتقال عناصر غذایی برگ و سرشاخه با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک در ابتدای دوره رشد نشان داد همبستگی بازانتقال نیتروژن برگ با اسیدیته، کربن آلی و نیتروژن خاک مثبت و معنی‌دار بود. همبستگی بازانتقال فسفر برگ با اسیدیته خاک مثبت و معنی‌دار بود. همبستگی بازانتقال پتاسیم برگ با هیچ یک از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک معنی‌دار نبود. همبستگی بین باز انتقال عناصر غذایی سرشاخه با هیچ‌کدام از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک معنی‌دار نبود (جدول ۷).

جدول ۷- همبستگی بین بازانتقال عناصر غذایی برگ و سرشاخه با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک در ابتدای دوره رشد

Table 7. Correlation between leaf and branch nutrient remobilization and soil physicochemical properties at the beginning of the growth period

| پتاسیم Potassium | فسفر Phosphorus | نیتروژن Nitrogen | کربن آلی Organic carbon | آهک Lime | EC | pH | عناصر غذایی Food elements | بافت گیاهی Plant tissue |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.44 | 0.49 | 0.88** | 0.93** | 0.34 | 0.51 | 0.78 ** | نیتروژن Nitrogen | برگ Leaf |
| 0.39 | 0.92 | 0.72 | 0.90 | 0.65 | 0.54 | 0.83** | فسفر Phosphorus | |
| 0.17 | 0.44 | 0.62 | 0.47 | 0.32 | 0.53 | 0.87 | پتاسیم Potassium | |
| 0.78 | 0.90 | 0.80 | 0.92 | 0.35 | 0.43 | 0.84 | نیتروژن Nitrogen | سرشاخه Branch |
| 0.80 | 0.84 | 0.82 | 0.77 | 0.34 | 0.42 | 0.82 | فسفر Phosphorus | |
| 0.40 | 0.71 | 0.86 | 0.39 | 0.65 | 0.50 | 0.25 | پتاسیم Potassium | |

* و ** معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد. * and ** significant at the 5 and 1 percent probability level

نتایج بررسی همبستگی میان بازانتقال عناصر غذایی برگ و سرشاخه با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک در انتهای دوره رشد حاکی از این بود که همبستگی بازانتقال نیتروژن برگ با نیتروژن خاک مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۸). مدل رگرسیونی بازانتقال عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برگ و سرشاخه و ویژگی‌های خاک در جدول قابل مشاهده است (جدول ۹).

جدول ۸- همبستگی بین بازانتقال عناصر غذایی برگ و سرشاخه با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک در انتهای دوره رشد

Table 8. Correlation between leaf and branch nutrient remobilization and soil physicochemical properties at the end of the growth period

| پتاسیم Potassium | فسفر Phosphorus | نیتروژن Nitrogen | کربن آلی Organic carbon | آهک Lime | EC | pH | عناصر غذایی Food elements | بافت گیاهی Plant tissue |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.85 | 0.80 | 0/65* | 0.72 | 0.38 | 0.09 | 0.12 | نیتروژن Nitrogen | برگ Leaf |
| 0.80 | 0.72 | 0.70 | 0.70 | 0.92 | 0.11 | 0.23 | فسفر Phosphorus | |
| 0.60 | 0.31 | 0.53 | 0.66 | 0.77 | 0.29 | 0.36 | پتاسیم Potassium | |
| 0.77 | 0.72 | 0.66 | 0.65 | 0.82 | 0.23 | 0.31 | نیتروژن Nitrogen | سرشاخه Branch |
| 0.79 | 0.54 | 0.66 | 0.71 | 0.66 | 0.08 | 0.14 | فسفر Phosphorus | |
| 0.78 | 0.78 | 0.69 | 0.63 | 0.85 | 0.09 | 0.28 | پتاسیم Potassium | |

* معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد. * Significant at the 5% probability level.

جدول ۹- مدل رگرسیونی باز انتقال عناصر غذایی بافت‌های گیاهی و ویژگی‌های خاک

Table 9. Regression model of nutrient transport between plant tissues and soil properties

| بافت گیاهی<br>Plant tissue | باز انتقال عناصر غذایی<br>Retransport of nutrients | معادله رگرسیونی<br>Regression equation | $R^2$ |
|---|---|---|---|
| برگ<br>Leaf | نیتروژن<br>Nitrogen | $N= 66.51 + 58.5\ OC - 2.92\ CaCO_3$ | 0.92 |
| | فسفر<br>Phosphorus | $P= -1.49 + 5.89\ OC$ | 0.90 |
| | پتاسیم<br>Potassium | $K= 24.90 - 7.50\ P$ | 0.87 |
| سرشاخه<br>Branch | نیتروژن<br>Nitrogen | $N= 1.65\ CaCO_3$ | 0.68 |
| | فسفر<br>Phosphorus | $P= -11.57 + 0.06\ K$ | 0.62 |
| | پتاسیم<br>Potassium | $K= 47.80 - 2.29\ CaCO_3$ | 0.73 |

**بحث**

نتایج بررسی تغییر غلظت عناصر غذایی در شدت‌های مختلف زوال، در ابتدا و انتهای دوره رویش نشان داد که این پدیده بر غلظت نیتروژن و فسفر برگ و سرشاخه بلوط ایرانی تأثیر منفی داشت و با افزایش شدت زوال، غلظت این عناصر به‌طور قابل‌توجهی کاهش پیدا کرد. این کاهش نشان‌دهنده افت توان تغذیه‌ای گیاه و اختلال در متابولیسم نیتروژن است. با توجه به نیاز برگ به عنصر نیتروژن برای سنتز کلروفیل، آنزیم‌ها و پروتئین‌ها، با پیشرفت زوال توانایی گیاه برای جذب، انتقال و نگهداری نیتروژن به‌شدت کاهش پیدا می‌کند (Craig et al., 2022). زوال همچنین از طریق آسیب به ریشه و کاهش انتقال عناصر غذایی از ریشه به اندام‌های هوایی، کاهش سطح برگ، کاهش تعرق، تخریب آوندها و تغییر تعادل هورمونی (کاهش سایتوکینین و افزایش اتیلن) موجب کاهش دسترسی برگ به نیتروژن و اختلال در جابجایی آن به سمت اندام‌های جوان‌تر مانند سرشاخه‌ها می‌شود (Thomas et al., 2002). پژوهشگران بیان کردند غلظت نیتروژن برگ در گونه *Arbutus unedo* در اثر زوال به‌طور قابل‌توجهی کاهش پیدا کرد که با نتایج این پژوهش حاضر دارد (Sardans and Peñuelas, 2012).

نتایج نشان داد با پیشرفت زوال توانایی جذب و انتقال فسفر کاهش پیدا کرد و این امر کاهش غلظت فسفر در اندام‌های هوایی را به دنبال داشت. پژوهشگران گزارش کردند کاهش غلظت فسفر در برگ‌ها و سرشاخه‌های زوال‌یافته می‌تواند ناشی از کاهش کارایی سیستم ریشه در جذب فسفر (Schachtman et al., 1998) و کاهش تراکم و فعالیت قارچ‌های مایکوریزا باشد (Slama et al., 2023). از آنجا که درختان بلوط در بوم‌سازگان‌های طبیعی معمولاً وابستگی زیادی به هم‌زیستی مایکوریزایی برای جذب فسفر دارند، کاهش این هم‌زیستی در نتیجه ضعف فیزیولوژیکی درخت، کاهش جذب فسفر را به دنبال دارد. همچنین کاهش انتقال فسفر از طریق آوندها به سمت اندام‌های هوایی به دلیل محدودیت در جریان شیره خام موجب کاهش غلظت فسفر شود (Southworth, 2013). پژوهشگران با بررسی ویژگی‌های خاک و عناصر غذایی برگ در درختان سالم و خشکیده بلوط ایرانی گزارش کردند که

فسفر برگ در درختان زوال‌یافته به‌طور معنی‌داری کمتر از درختان سالم بود (Zarafshar et al., 2021).

بر اساس نتایج این پژوهش، غلظت پتاسیم نیز با افزایش زوال در انتهای دوره رشد کاهش پیدا کرد. پتاسیم عنصری بسیار متحرک در گیاه و خاک بوده و در ساختارهای آلی شرکت نمی‌کند، اما نقش اساسی در تعادل یونی، تنظیم اسمزی، باز و بسته شدن روزنه‌ها و مقاومت به تنش‌های محیطی دارد (Aerts, 1996). با افزایش شدت زوال بازجذب پتاسیم از برگ‌های درحال پیرشدن کاهش یافته، همچنین به دلیل کاهش فعالیت ریشه، جذب این عنصر از خاک نیز به خوبی انجام می‌شود (Marschner, 2012). پژوهشگران با بررسی تاثیر عوامل فیزیوگرافی مانند عمق خاک و شیب زمین بر جذب عناصر غذایی ضروری برگ در جنگل‌های دچار زوال بلوط گزارش کردند غلظت عناصر غذایی ازت، فسفر و پتاسیم در برگ درختان زوال‌یافته بلوط کمتر از برگ درختان سالم بود (Jahanbazi et al., 2022). نتایج این پژوهش نشان داد زوال در انتهای دوره رشد منجر به کاهش شدیدتر غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در سرشاخه‌ها نسبت به برگ‌ها شد که نشان‌دهنده اولویت گیاه در حفظ عناصر غذایی برگ به‌عنوان اندام اصلی فتوسنتزکننده، نسبت به سرشاخه است (Marschner, 2012). پژوهشگران بیان کردند در شرایط زوال، گیاهان سعی می‌کنند با بازتوزیع مجدد عناصر از اندام‌های کم‌اهمیت‌تر به اندام‌های فعال‌تر بقای خود را حفظ کنند (Aerts, 1996).

نتایج این بررسی همچنین نشان داد با افزایش شدت زوال، بازانتقال خالص عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم کاهش یافت. پژوهشگران گزارش کردند کاهش بازانتقال خالص عناصر در درختان زوال‌یافته نشان‌دهنده اختلال در بازجذب عناصر غذایی از اندام‌های درحال‌پیرشدن به اندام‌هایی مانند ساقه‌ها و ریشه‌ها است (Wang et al., 2021). در شرایط عادی، گیاهان قبل از ریزش اندام‌های هوایی اقدام به بازیافت عناصر پرمصرف مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم کرده تا از هدررفت آن‌ها جلوگیری کنند، اما در درختان زوال‌یافته این فرآیند به‌شدت مختل می‌شود. دلایل احتمالی این موضوع ممکن است به کاهش فعالیت متابولیکی گیاه به دلیل ضعف عمومی در اثر زوال، صدمه به سیستم آوندی که انتقال مجدد عناصر از برگ به ریشه یا ساقه را محدود می‌کند و کاهش انرژی سلولی لازم برای بازانتقال فعال عناصر غذایی باشد (Carrasco et al., 2022; Webster et al., 2009).

از سوی دیگر نتایج این پژوهش نشان داد بازانتقال خالص عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در سرشاخه‌ها بیشتر از برگ‌ها بود. این تفاوت به دلیل وجود تفاوت بین برگ و سرشاخه از نظر ویژگی‌های ساختاری و فیزیولوژیکی است. سرشاخه‌ها برخلاف برگ‌ها که در انتهای فصل رشد دچار پیری و ریزش می‌شوند، نقش نیمه‌دائمی داشته و حفظ آنها برای بقای بلندمدت درخت اهمیت بیشتری دارد. بنابراین گیاهان سازوکارهای مؤثرتری برای تخلیه عناصر غذایی از این اندام‌ها قبل از وقوع آسیب یا پیری فعال می‌کنند تا از هدررفت منابع حیاتی جلوگیری کنند (Rosell et al., 2023). پژوهشگران بیان کردند بازانتقال عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در سرشاخه کاج بروسیا بیشتر از سوزن بود که با نتایج این بررسی مطابقت دارد (Malasadi et al., 2022). علاوه بر این پژوهشگران بیان کردند پیری در سرشاخه‌ها نسبت به برگ‌ها با سرعت کمتری رخ می‌دهد که این امر فرصت کافی برای بازیافت و انتقال مؤثر عناصر غذایی به دیگر اندام‌های گیاه را فراهم می‌سازد. اما برگ‌ها معمولاً در مدت زمان کوتاهی به پیری فیزیولوژیک رسیده و

فرصت محدودی برای بازانتقال دارند (Webster et al., 2009). علاوه بر این بخش بیشتری از عناصر غذایی سرشاخه در فرم‌های محلول و قابل انتقال ذخیره شده که به‌راحتی می‌توانند در جریان بازانتقال شرکت کنند. این درحالی است که در برگ‌ها درصد زیادی از عناصر به‌شکل ترکیبات ساختاری پیچیده مانند پروتئین‌ها، آنزیم‌ها و اسیدهای نوکلئیک تثبیت شده‌اند که بازیافت آن‌ها به انرژی و زمان بیشتری نیاز دارد (Cameron and Spencer, 1989; Howarth and Fisher, 1976).

نتایج به‌دست‌آمده از بررسی همبستگی بین بازانتقال خالص عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برگ و سرشاخه با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در ابتدای فصل رشد نشان داد که در برگ، همبستگی معنی‌داری بین برخی از عناصر و ویژگی‌های خاک وجود داشت درحالی‌که در سرشاخه‌ها چنین روابطی مشاهده نشد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، بازانتقال نیتروژن برگ با اسیدیته، کربن آلی و نیتروژن کل خاک همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. این موضوع نشان می‌دهد که فراهمی بیشتر نیتروژن در خاک می‌تواند جذب این عنصر را بهبود بخشد و بازانتقال آن از برگ‌های در حال پیر شدن به دیگر اندام‌های گیاه تسهیل شود. با این حال، نتایج نشان می‌دهد که بخش زیادی از بازانتقال نیتروژن و دیگر عناصر غذایی به سمت سرشاخه‌ها انجام می‌شود، زیرا گیاهان در شرایط محدودیت حاصلخیزی تمایل دارند عناصر حیاتی را به جوانه‌های انتهایی موجود در سرشاخه‌ها منتقل کنند تا رشد و توسعه سال بعد حمایت شود. این الگوی بازانتقال توضیح‌دهنده برتری درصد بازانتقال عناصر در سرشاخه‌ها نسبت به برگ‌ها است و نشان‌دهنده اهمیت سرشاخه‌ها به‌عنوان اندام‌های ذخیره‌ای و حیاتی در مدیریت منابع غذایی گیاه است.

pH خاک نیز نقش مهمی در کنترل دسترسی گیاه به عناصر غذایی ایفا کرده و افزایش آن در بازه بهینه می‌تواند با بهبود فراهمی نیتروژن، تسهیلگر جذب و بازانتقال این عنصر باشد (Huang et al., 2023; See et al., 2015). همبستگی مثبت و معنی‌دار بین بازانتقال فسفر برگ و pH خاک نیز نشان می‌دهد که شرایط اسیدی کمتر، احتمالاً از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های موثر در آزادسازی این عنصر مانند آنزیم فسفاتاز فراهمی فسفر را افزایش داده و به بازجذب و بازانتقال بهتر فسفر کمک می‌کند (He et al., 2014). در مقابل، بازانتقال پتاسیم برگ با هیچ‌یک از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک همبستگی معنی‌داری نداشت. این نتیجه دور از انتظار نیست چرا که پتاسیم بیشتر به‌صورت یون محلول در خاک وجود داشته و جذب و بازانتقال آن بیشتر تحت تأثیر شرایط فیزیولوژیک درون‌گیاه مانند وضعیت آبی گیاه و تنش‌های محیطی قرار دارد تا ویژگی‌های شیمیایی پایدار خاک (Srivastava et al., 1998; Aponte et al., 2011). نتایج همچنین حاکی از این بود که در سرشاخه هیچ‌گونه همبستگی معنی‌داری بین بازانتقال عناصر غذایی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک وجود نداشت. این عدم ارتباط ممکن است به دلیل نقش ساختاری و ذخیره‌ای سرشاخه‌ها باشد که معمولاً به‌عنوان اندام‌های نیمه‌دائمی درخت تلقی می‌شوند. پژوهشگران بیان کردند فرآیند بازانتقال در سرشاخه‌ها بیش از آنکه تحت تأثیر ویژگی‌های خاک باشد، وابسته به فرایندهای درونی و تنظیمات فیزیولوژیکی در سطح گیاه است (Kint et al., 2012).

بر اساس نتایج حاصل از بررسی همبستگی بین بازانتقال عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برگ و سرشاخه با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در

انتهای فصل رشد، تنها رابطه معنی‌دار مشاهده‌شده مربوط به بازانتقال نیتروژن در برگ بود که با نیتروژن کل خاک همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. این موضوع نشان می‌دهد بیشتر بودن محتوای نیتروژن خاک منجر به افزایش کارایی بازانتقال نیتروژن از برگ‌های در حال پیر شدن به اندام‌های ذخیره‌ای می‌شود. احتمالاً فراهم‌بودن بیشتر نیتروژن در خاک سبب بهبود تغذیه نیتروژنی اولیه گیاه در طول فصل رشد شده و در نتیجه گیاه قادر خواهد بود در انتهای فصل رشد، فرآیند بازانتقال نیتروژن از برگ‌ها را به‌طور مؤثرتری مدیریت کند. نیتروژن، به‌عنوان عنصری بسیار متحرک، در ساختار پروتئین‌های برگ ذخیره شده و زمان پیری برگ‌ها به دیگر اندام‌ها بازجذب می‌شود. فراهم‌بودن بیشتر نیتروژن در خاک می‌تواند به افزایش غلظت نیتروژن برگ منجر شده و بازانتقال مؤثرتر این عنصر را در به دنبال داشته باشد (Yan et al., 2018). از طرفی عدم وجود همبستگی معنی‌دار بین بازانتقال عناصر فسفر و پتاسیم با ویژگی‌های خاک در این مرحله رشد، می‌تواند ناشی از پیچیدگی‌های رفتاری این عناصر در خاک و تأثیر ترکیبات معدنی یا آلی بر قابلیت جذب آن‌ها و تأثیر غالب عوامل فیزیولوژیکی داخلی گیاه در انتهای دوره رشد بر فرآیند بازانتقال باشد (Urbina et al., 2021).

**نتیجه‌گیری کلی**

نتایج این پژوهش نشان داد زوال موجب کاهش غلظت عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برگ و سرشاخه بلوط ایرانی شد و با افزایش شدت زوال، غلظت این عناصر به شدت کاهش پیدا کرد که دلیل آن می‌تواند به کاهش جذب عناصر غذایی از خاک، اختلال در انتقال عناصر و کاهش توانایی بازانتقال عناصر غذایی از اندام‌های درحال پیرشدن مربوط باشد. زوال همچنین بر بازانتقالی خالص عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم نیز تاثیر داشت و با افزایش شدت زوال باز انتقالی خالص عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم به‌طور قابل‌توجهی کاهش پیدا کرد. نتایج همچنین نشان داد در انتهای فصل رشد، سرشاخه‌ها نسبت به برگ‌ها دارای بازانتقالی خالص بیشتری از عناصر بودند که احتمالاً ناشی از ساختار ذخیره‌ای و نقش حفاظتی بیشتر سرشاخه‌ها در مقایسه با برگ‌هاست. بررسی فرضیه‌های مطرح شده در این پژوهش نشان داد که بازانتقال عناصر غذایی برگ و سرشاخه با شدت زوال و ویژگی‌های خاک ارتباط معناداری دارد و تفاوت میان بافت‌های گیاهی در مقدار بازانتقال عناصر نیز تأیید شد؛ به‌طوری‌که سرشاخه‌ها نسبت به برگ‌ها بازانتقال خالص بیشتری از عناصر غذایی داشتند. این نتایج نشان می‌دهد که شرایط فیزیولوژیکی و ساختاری اندام‌های گیاهی و وضعیت تغذیه‌ای خاک نقش کلیدی در فرآیند بازانتقال عناصر دارند و فرضیه‌های مطرح‌شده با داده‌های تجربی مطابقت دارند. همچنین همبستگی مثبت بین بازانتقال نیتروژن برگ با نیتروژن خاک به نقش وضعیت تغذیه‌ای خاک در تنظیم فیزیولوژی درختان اشاره دارد. بر این اساس، پایش منظم وضعیت زوال و غلظت عناصر غذایی برگ و سرشاخه‌ها می‌تواند به شناسایی سریع درختان آسیب‌دیده و اجرای اقدامات حفاظتی کمک کند. همچنین به‌منظور مدیریت بهتر جنگل‌های بلوط، توجه به بهبود کیفیت و حاصلخیزی خاک از طریق افزودن کودهای آلی و معدنی توصیه می‌شود تا جذب و بازانتقال عناصر غذایی درختان بهبود یابد. علاوه بر این پژوهش‌های آینده می‌توانند به بررسی سازوکارهای دقیق بازانتقال عناصر غذایی به‌ویژه در شرایط متفاوت تغذیه خاک و تنش‌های محیطی بپردازند و اطلاعات ارزشمندی برای برنامه‌ریزی جنگلکاری، ترمیم جنگل‌ها و حفظ عملکرد بوم‌سازگان فراهم کنند، به‌طوری‌که سلامت و پایداری درختان در بلندمدت تضمین شود.

## References


Aerts, R., Nutrient resorption from senescing leaves of perennials: are there general patterns? *Journal of Ecology* **1996**, 597-608.

Aponte, C.; García, L. V.; Pérez-Ramos, I. M.; Gutierrez, E.; Maranon, T., Oak trees and soil interactions in Mediterranean forests: a positive feedback model. *Journal of Vegetation Science* **2011,** *22* (5), 856-867.

Batos, B.; Miletić, Z.; Orlović, S.; Miljković, D., Variability of nutritive macroelements in pedunculate oak (*Quercus robur* L.) leaves in Serbia. *Genetika* **2010,** *42* (3), 435-453.

Bisutti, I.; Hilke, I.; Raessler, M., Determination of total organic carbon–an overview of current methods. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* **2004,** *23* (10), 716-726.

Cameron, G. N.; Spencer, S. R., Rapid leaf decay and nutrient release in a Chinese tallow forest. *Oecologia* **1989,** *80* (2), 222-228.

Carrasco, L. O.; Bucci, S. J.; Scholz, F. G.; Loto, D.; Gasparri, I.; Goldstein, G.; Campanello, P. I., Biophysical properties of inner bark and sapwood in tree species from forests with contrasting precipitation in subtropical South America. *Frontiers in Forests and Global Change* **2022,** *5*, 793385.

Choi, W. I.; Lee, D. H.; Jung, J. B.; Park, Y. S., Oak decline syndrome in Korean forests: History, biology, and prospects for Korean oak wilt. *Forests* **2022,** *13* (6), 964.

Craig, M. E.; Geyer, K. M.; Beidler, K. V.; Brzostek, E. R.; Frey, S. D.; Stuart Grandy, A.; Phillips, R. P., Fast-decaying plant litter enhances soil carbon in temperate forests but not through microbial physiological traits. *Nature Communications* **2022,** *13* (1), 1229.

Crous, K. Y.; Wujeska-Klause, A.; Jiang, M.; Medlyn, B. E.; Ellsworth, D. S., Nitrogen and phosphorus retranslocation of leaves and stemwood in a mature Eucalyptus forest exposed to 5 years of elevated $CO_2$. *Frontiers in Plant Science* **2019,** *10*, 664.

Dehghannejad, S.; Mirazadi, Z.; Soosnai, J.; Hosseinzadeh, R., The effects of decline on Quantitative and Qualitative Changes of *Amygdalus lycioides*. *Forest Research and Development* **2024**, 10(3), 411-430. (In Persian)

Du, B.; Ji, H.; Liu, S.; Kang, H.; Yin, S.; Liu, C., Nutrient resorption strategies of three oak tree species in response to interannual climate variability. *Forest Ecosystems* **2021,** *8* (1), 70.

Fallah, A.; Haidari, M., Investigating the Oak Decline in different Crown-Dimensions in Middle Zagros Forests (Case Study: Ilam). *Ecology of Iranian Forests* **2018,** *6* (12), 9-17. (In Persian)

Gazol, A.; Camarero, J. J.; Jiménez, J. J.; Moret-Fernández, D.; López, M. V.; Sangüesa-Barreda, G.; Igual, J. M., Beneath the canopy: Linking drought-induced forest die off and changes in soil properties. *Forest Ecology and Management* **2018,** *422*, 294-302.

Gosling, R. H.; Jackson, R. W.; Elliot, M.; Nichols, C. P., Oak declines: Reviewing the evidence for causes, management implications and research gaps. *Ecological Solutions and Evidence* **2024,** *5* (4), e12395.

He, M.; Dijkstra, F. A.; Zhang, K.; Li, X.; Tan, H.; Gao, Y.; Li, G., Leaf nitrogen and phosphorus of temperate desert plants in response to climate and soil nutrient availability. *Scientific Reports* **2014,** *4* (1), 6932.

Hevia, A.; Sanchez-Salguero, R.; Camarero, J. J.; Querejeta, J. I.; Sangüesa-Barreda, G.; Gazol, A., Long-term nutrient imbalances linked to drought-triggered forest dieback. *Science of the Total Environment* **2019,** *690*, 1254-1267.

Hosseinzadeh, J.; Pourhashemi, M., Emergence of desiccation within Zagros forests decline. *Nature of Iran* **2017,** *2* (4), 18-21. (In Persian)

Howarth, R. W.; Fisher, S. G., Carbon, nitrogen, and phosphorus dynamics during leaf decay in nutrient-enriched stream microecosystems. *Freshwater Biology* **1976,** *6* (3), 221-228.

Huang, X.; Lu, Z.; Xu, X.; Wan, F.; Liao, J.; Wang, J., Global distributions of foliar nitrogen and phosphorus resorption in forest ecosystems. *Science of The Total Environment* **2023,** *871*, 162075.

Jahanbazi, H.; Pourhashemi, M.; Iranmanesh, Y.; Khanhasani, M.; Heidari, M.; Rahimi, H.; Tahmasbi, M., Oak decline trend in Zagros forest habitats. *Nature of Iran* **2022,** *7* (5), 7-11. (In Persian)

Jaferyan, E.; Pilehvar, B.; Tavakoli, M., Physiological responses of mature Persian oak (*Quercus brantii* L.) under natural conditions to drought stress. *Forest Research and Developmen* **2024**, 10 (2), 167-181. (In Persian)

Joseph, J.; Luster, J.; Bottero, A.; Buser, N.; Baechli, L.; Sever, K.; Gessler, A., Effects of drought on nitrogen uptake and carbon

dynamics in trees. *Tree physiology* **2021**; *41* (6), 927-943.

Jiang, D.; Geng, Q.; Li, Q.; Luo, Y.; Vogel, J.; Shi, Z.; Xu, X., Nitrogen and phosphorus resorption in planted forests worldwide. *Forests* **2019,** *10* (3), 201.

Kalra, Y. P., Determination of pH of soils by different methods: collaborative study. *Journal of AOAC International* **1995,** *78* (2), 310-324.

Kint, V.; Vansteenkiste, D.; Aertsen, W.; De Vos, B.; Bequet, R.; Van Acker, J.; Muys, B., Forest structure and soil fertility determine internal stem morphology of Pedunculate oak: a modelling approach using boosted regression trees. *European Journal of Forest Research* **2012,** *131* (3), 609-622.

Kowsari, M.; Karimi, E., A review on oak decline: The global situation, causative factors, and new research approaches. *Forest Systems* **2023,** *32* (3), eR01-eR01.

Lynch, J. M.; Barbano, D. M., Kjeldahl nitrogen analysis as a reference method for protein determination in dairy products. *Journal of AOAC international* **1999,** *82* (6), 1389-1398.

Machado, M. R.; Sampaio, P. D. T. B.; Ferraz, J.; Camara, R.; Pereira, M. G., Nutrient retranslocation in forest species in the Brazilian Amazon. *Agronomy* **2016**, *38*(1), 93-101.

Malasadi, E.; Mirazadi, Z.; Pilehvar, B., Comparison of nutrient concentration of leaves and twigs of *Pinus brutia* Ten. in different sampling seasons (case study: Makhmalkooh Forest Park). *Ecology of Iranian Forests* **2022,** *10* (19), 78-87. (In Persian)

Malasadi, E.; Pilehvar, B.; Mirazadi, Z., Seasonal nutrients retranslocation patterns in needles and twigs of *Pinus brutia* Ten. *Journal of Forest Research and Development* **2020,** *6* (4), 645-659. (In Persian)

Marschner, H., *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Academic press: 2012.

Miri Seftejani, S. F.; Badehian, Z.; Naser Norouzi Harooni, N.; Azimnezhad, Z., Effects of growth-promoting bacteria and humic acid on some morphological traits of Persian oak (*Quercus brantii* L.) under drought conditions. *Forest Research and Development,* **2025**, 10 (4), 559-572. (In Persian)

Morales, D., Oak trees (*Quercus* spp.) as a source of extracts with biological activities: A narrative review. *Trends in Food Science and Technology* **2021,** *109*, 116-125.

Munson, A. D.; Margolis, H. A.; Brand, D. G., Seasonal nutrient dynamics in white pine and white spruce in response to environmental manipulation. *Tree Physiology* **1995,** *15* (3), 141-149.

Olsen, S. R., *Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate*. US Department of Agriculture: 1954.

Rodríguez-Calcerrada, J.; Sancho-Knapik, D.; Martin-StPaul, N. K.; Limousin, J. M.; McDowell, N. G.; Gil-Pelegrín, E., Drought-induced oak decline—factors involved, physiological dysfunctions, and potential attenuation by forestry practices. In *Oaks physiological ecology. Exploring the functional diversity of genus Quercus L.* **2017**, *32*, 419-451.

Rosell, J. A.; Marcati, C. R.; Olson, M. E.; Lagunes, X.; Vergilio, P. C.; Jiménez-Vera, C.; Campo, J., Inner bark vs sapwood is the main driver of nitrogen and phosphorus allocation in stems and roots across three tropical woody plant communities. *New Phytologist* **2023,** *239* (5), 1665-1678.

Sagheb-Talebi, K. S.; Sajedi, T.; Pourhashemi, M., Forests of Iran. *A treasure from the past, a hope for the future* **2014,** *10*.

Sardans, J.; Peñuelas, J., The role of plants in the effects of global change on nutrient availability and stoichiometry in the plant-soil system. *Plant physiology* **2012,** *160* (4), 1741-1761.

Schachtman, D. P.; Reid, R. J.; Ayling, S. M., Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. *Plant physiology* **1998,** *116* (2), 447-453.

See, C. R.; Yanai, R. D.; Fisk, M. C.; Vadeboncoeur, M. A.; Quintero, B. A.; Fahey, T. J., Soil nitrogen affects phosphorus recycling: foliar resorption and plant–soil feedbacks in a northern hardwood forest. *Ecology* **2015,** *96* (9), 2488-2498.

Slama, A.; Fkiri, S.; Mezni, F.; Stiti, B.; Salcedo-Castro, J.; Touhami, I.; Nasr, Z., Effect of mycorrhization on growth and physiology performance of *Quercus* species. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* **2023,** *51* (4), 13290-13290.

Southworth, D., Oaks and mycorrhizal fungi. *Oak: Ecology, types and management* **2013**, 207-218.

Srivastava, A. K.; Kohli, R. R.; Huchche, A. D., Relationship of Leaf K and Forms of Soil K at Different Growth Stages of Nagpur MandHrin. *Journal of the Indian Society of Soil Science* **1998,** *46* (2), 245-248.

Thomas, F. M.; Blank, R.; Hartmann, G., Abiotic and biotic factors and their interactions as causes of oak decline in Central Europe. *Forest Pathology* **2002,** *32* (4), 277-307.

Tian, D.; Reich, P. B.; Chen, H. Y.; Xiang, Y.; Luo, Y.; Shen, Y.; Niu, S., Global changes alter plant multi-element stoichiometric coupling. *New Phytologist* **2019,** *221* (2), 807-817.

Urbina, I.; Grau, O.; Sardans, J.; Margalef, O.; Peguero, G.; Asensio, D.; Peñuelas, J., High foliar K and P resorption efficiencies in old-growth tropical forests growing on nutrient-poor soils. *Ecology and Evolution* **2021,** *11* (13), 8969-8982.

Varley, J. A., Automatic methods for the determination of nitrogen, phosphorus and potassium in plant material. *Analyst* **1966,** *91* (1079), 119-126.

Wang, Q.; Yang, W.; Li, H.; Wang, Z.; Chang, C.; Cao, R.; Tan, B., Changes in carbon, nitrogen and phosphorus stoichiometry in decaying logs with gap positions in a subalpine forest. *Journal of Plant Ecology* **2021,** *14*, 692-701.

Webster, J. R.; Newbold, J. D.; Thomas, S. A.; Valett, H. M.; Mulholland, P. J, Nutrient uptake and mineralization during leaf decay in streams–a model simulation. *International Review of Hydrobiology* **2009,** *94* (4), 372-390.

Yan, T.; Zhu, J.; Yang, K., Leaf nitrogen and phosphorus resorption of woody species in response to climatic conditions and soil nutrients: a meta-analysis. *Journal of Forestry Research* **2018,** *29* (4), 905-913.

Zarafshar, M.; Matinizadeh, M.; Negahdarsaber, M. R.; Pourhashemi, M.; Bordbar, S. K.; Ziaeian, M. R., Soil characteristics and leaf nutrients of healthy and declined Brant`s oak (*Quercus brantii* Lindl.). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2021,** *29* (2), 152-140. (In Persian)