

Research Article

Effect of the oak decline on nutrient absorption in leaves of healthy and unhealthy Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.) trees in Kohgiluyeh and Boyer Ahmad Province, Iran

Mohammad Matinizadeh ^{1*}, Mehdi Pourhashemi ², Elham Nouri ³, Tahereh Alizadeh ³, Fatemeh Faraji ⁴ and Yousef Askari ⁵

- 1*- Corresponding author, Associate Prof., Research Division of Forest, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. E-mail: matini@rifr-ac.ir
2- Prof., Research Division of Forest, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
3- Senior Research Expert, Research Division of Forest, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran
4- Ph.D., Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran
5- Assistant Prof., Research Division of Forests, Rangelands and Watershed Management, Kohgiluyeh and Boyerahmad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Yasouj, Iran

Received: 28.10.2024

Revised: 22.12.2024

Accepted: 24.02.2025

Abstract

Background and Objectives: Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.), the dominant tree species in Zagros forests, has experienced decline of varying intensity. Investigating nutrient concentrations in tree leaves helps study physiological responses to environmental stresses. This research examines changes in leaf nutrients of healthy and unhealthy oak trees in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad forests over two consecutive years (2020-2021), amid increasing oak decline in Iran's South Zagros forests.

Methodology: Trees were selected from two 1-ha sites: Sarabtaveh (control) and Sisakht (declined area). In the declined plot, five healthy and five unhealthy trees were chosen; in the control plot, five healthy trees were selected. Leaf samples were collected at the end of the growing season in 2020 and 2021 from the middle crown across four geographic directions (five leaves per direction), yielding 20 leaves as a composite sample per tree. Essential elements and micronutrients were extracted via digestion and measured using atomic absorption. Treatments were compared using two-way ANOVA and Duncan's mean separation test in R software.

Results: Nitrogen (1-1.6%), potassium (0.2-1%), and phosphorus (0.1-0.2%) concentrations varied across plots. Sampling year significantly affected most elements except magnesium. Nitrogen decreased in the second year across all stands, significantly so in unhealthy trees of the declined area. Phosphorus showed interannual fluctuations but no significant differences. Potassium increased slightly in year two but showed no significant differences. Iron, zinc, and manganese were significantly higher in 2021 than 2020 across stands. Nitrogen, phosphorus, and potassium were higher in the declined area than the control during both years. Manganese, copper, and zinc were highest in control healthy trees, intermediate in declined unhealthy trees, and lowest in declined healthy trees.

Conclusion: Significant changes in most leaf elements between declining and healthy trees indicate that oak decline, characterized by reduced nitrogen and phosphorus and increased potassium, iron, zinc, and manganese, affects nutrient absorption. Leaf nutrient measurements

reflect absorption dynamics and plant-environment stress relationships in forest ecosystems. Observed changes likely stem from trees' defense mechanisms enhancing stress tolerance. Better understanding of decline effects on tree nutrition can inform strategies to minimize oak decline damage.

Keywords: Desiccation, environmental stress, micronutrients, physiology, South Zagros forests.

تأثیر پدیده زوال بر جذب عناصر غذایی برگ در درختان بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) در جنگل‌های استان کهگیلویه و بویراحمد

محمد متینی‌زاده^{*۱}، مهدی پوره‌اشمی^۲، الهام نوری^۳، طاهره علی‌زاده^۳، فاطمه فرجی^۴ و یوسف عسکری^۵

^{*۱} - نویسنده مسئول، دانشیار، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

پست الکترونیک: matini@rifr-ac.ir

^۲ - استاد، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

^۳ - کارشناس ارشد پژوهش، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

^۴ - دکتری جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

^۵ - استادیار، بخش تحقیقات جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یاسوج، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۰۶

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۳/۱۰/۰۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۷

چکیده

سابقه و هدف: پدیده زوال بلوط با بروز خشکیدگی در پایه‌های مختلف بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.)، به‌عنوان گونه غالب درختی در جنگل‌های زاگرس، همراه شده است. دانستن چگونگی تغییرات عناصر غذایی در برگ درختان روبه‌زوال می‌تواند اطلاعات مناسبی در خصوص پاسخ‌های فیزیولوژیک درختان به این تنش‌ها ارائه کند. باتوجه‌به افزایش روزافزون زوال در جنگل‌های زاگرس جنوبی، هدف اصلی این پژوهش، مقایسه تغییرات عناصر غذایی موجود در برگ درختان بلوط روبه‌زوال و سالم در جنگل‌های کهگیلویه و بویراحمد در دو سال متوالی بود.

مواد و روش‌ها: درختان از دو رویشگاه یک هکتاری در منطقه سرآب‌تپه (شاهد) و منطقه سی‌سخت (زوال) انتخاب شدند. در قطعه‌نمونه متأثر از زوال، پنج پایه سالم و پنج پایه خشکیده و در قطعه‌نمونه شاهد فقط پنج درخت سالم انتخاب شدند. نمونه‌های برگ در اواخر فصل رویش (مرداد) در دو سال متوالی ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ جمع‌آوری شدند. نمونه‌برداری برگ از میانه ارتفاع تاج درخت و در چهار جهت جغرافیایی اصلی انجام گرفت. به‌طوری‌که از هر جهت تاج، پنج برگ انتخاب شد. درنهایت، ۲۰ برگ به‌عنوان یک نمونه مرکب برای هر درخت در نظر گرفته شد. غلظت عناصر ضروری و ریزمغذی در برگ با روش‌های متداول عصاره‌گیری و اندازه‌گیری شدند. درنهایت، از تجزیه واریانس دوطرفه و اختلاف میانگین به‌روش دانکن برای مقایسه بین تیمارهای مختلف از طریق نرم‌افزار R استفاده شد.

نتایج: به‌طورکلی در همه قطعه‌های نمونه‌برداری، غلظت عناصر نیتروژن بین یک تا ۱/۶ درصد، پتاسیم برگ حدود ۰/۲ تا یک درصد و فسفر برگ بین ۰/۱ تا ۰/۲ درصد متغیر بود. نتایج نشان داد که سال نمونه‌برداری (۱۳۹۹ و ۱۴۰۰) اثر معنی‌داری بر غلظت عناصر اندازه‌گیری‌شده به استثناء منیزیم برگ درختان بلوط داشت. مقدار نیتروژن در سال دوم نسبت به سال اول در هر سه توده کاهش یافت، اما این کاهش تنها در درختان ناسالم منطقه زوال‌یافته از نظر آماری معنی‌دار بود. فسفر در همه توده‌ها بین دو سال نوساناتی نشان داد، اما اختلاف آن از نظر آماری معنی‌دار نبود. همچنین، پتاسیم با وجود افزایش نسبی در سال دوم، اختلاف معنی‌داری بین دو سال در هیچ‌یک از توده‌ها نشان نداد. مقایسه میانگین داده‌های عناصر دیگر برگ نشان داد که مقدار آهن، روی و منگنز به‌طور معنی‌داری در توده‌های مورد بررسی در سال دوم، بیشتر از سال اول بودند. همچنین، مقادیر عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در طی سال‌های مطالعه در منطقه زوال، بیشتر از شاهد به‌دست آمد. عناصر منگنز، مس و روی نیز بیشترین مقدار را در درختان سالم منطقه شاهد و سپس درختان ناسالم منطقه زوال و کمترین مقدار را در درختان سالم منطقه زوال داشتند.

نتیجه‌گیری کلی: باتوجه به تغییرات معنی‌دار اغلب عناصر در برگ درختان زوال‌یافته نسبت به درختان سالم می‌توان نتیجه‌گیری کرد که زوال بلوط ایرانی با کاهش نیتروژن و فسفر و افزایش عناصر پتاسیم، آهن، روی و منگنز بر جذب مواد مغذی در برگ این درختان تأثیر داشته است. اندازه‌گیری مواد مغذی برگ درختان می‌تواند میزان جذب در بوم‌سازگان جنگلی و روابط تنش‌های گیاهی - محیطی را منعکس کند. تغییرات مشاهده‌شده در پژوهش پیش‌رو ممکن است به دلیل سازوکارهای دفاعی درختان اتفاق افتاده باشد تا تحمل درختان را در برابر تنش‌های محیطی افزایش دهد. به همین دلیل، درک بهتر از اثرات زوال بر تغذیه درختان برای توسعه راهبردهایی برای کمینه کردن آسیب ناشی از زوال، مفید خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: تنش محیطی، جنگل‌های زاگرس جنوبی، خشکیدگی، ریزمغذی، فیزیولوژی.

مقدمه

جنگل‌های نیمه‌خشک زاگرس در غرب و جنوب ایران تحت سلطه جنس بلوط هستند و با مساحتی بالغ بر پنج میلیون هکتار، ۴۰ درصد کل مساحت جنگل‌های ایران را تشکیل می‌دهند (Mohammadzadeh et al., 2021). بلوط ایرانی یا برودار (*Quercus brantii* Lindl.) رایج‌ترین گونه درختی و معرف این جنگل‌ها است که در همه این گستره پراکنش دارد (Sagheb Talebi et al., 2014; Ostakh et al., 2020). در سال‌های اخیر، این جنگل‌ها در اثر عوامل مختلف طبیعی از جمله اثرات آب‌وهوایی و عوامل بیماری‌زا آسیب دیده‌اند (Teimouri et al., 2023). خشک‌سالی، عامل مهمی است که باعث مرگ‌ومیر و کاهش درختان جنگلی می‌شود (Mohammadzadeh et al., 2021). پدیده زوال بلوط، ابعاد مختلفی دارد که خاص یک منطقه و یک گونه بلوط نیست و یک معضل جهانی محسوب می‌شود. به‌طوری‌که نزدیک به ۴۰ کشور دنیا با این پدیده روبرو بوده‌اند (Pourhashemi & Sadeghi, 2021). همچنین، گزارش‌هایی از وقوع زوال در جنگل‌های بلوط آسیا، اروپا و آمریکای شمالی منتشر شده است (Allen et al., 2010; Sohar et al., 2013).

از سال ۱۳۸۷ به بعد، گزارش‌های متعددی از زوال و مرگ تعداد زیادی از درختان جنگلی و خسارت زیاد آن در جنگل‌های زاگرس دریافت شده است (Ostakh et al., 2020; Zarafshar et al., 2021; Javanmiripour et al., 2023; Matinizadeh et al., 2025). این عارضه به سرعت در جنگل‌های رشته‌کوه زاگرس انتشار یافت و سبب نابودی

تعداد قابل توجهی از درختان بلوط در این منطقه رویشی شد (Mirabolfathi, 2013). عوامل متعددی از جمله تغییر اقلیم (به شکل‌های مختلف همانند دوره‌های خشک‌سالی متمادی، کاهش بارش و افزایش طول دوره خشکی) و نیز فشارهای انسانی وارد بر جنگل‌های زاگرس (مانند بهره‌برداری‌های سنتی، چرای دام، زراعت زیرآشکوب و تغییر کاربری جنگل) همگام با عوامل اقلیمی در بروز پدیده زوال بلوط دخیل هستند که برحسب منطقه و شرایط رویشگاه می‌توانند نوسان داشته باشند (Pourhashemi & Sadeghi, 2021; Zarafshar et al., 2021; Khajei et al., 2024; Matinizadeh et al., 2025)، اما آنچه مسلم و مشهود است، این است که بحران زوال بلوط با بروز خشکیدگی در پایه‌های مختلف بلوط ایرانی که گونه غالب درختی جنگل‌های زاگرس به‌شمار می‌رود، همراه شده است. به عبارت دیگر، خشکیدگی را می‌توان نمود عینی پدیده زوال در بوم‌سازگان جنگلی زاگرس دانست (Hosseinizadeh & Pourhashemi, 2015). زوال بلوط، فرایندی است که طی آن سلامت درختان بلوط در سطوح مختلف درختی و توده جنگلی، تحت تأثیر عوامل مختلف به‌مخاطره می‌افتد و می‌تواند بر آمیختگی گونه‌ها و ساختار جنگل تأثیر بگذارد (Zarafshar et al., 2021). در توده بلوط تحت تأثیر تنش خشکی، واکنش درختان از نظر خسارت وارد بر آن‌ها متفاوت است. عوامل اصلی که بر واکنش بلوط به پدیده زوال تأثیر می‌گذارند، فیزیولوژی درخت، در دسترس بودن و جذب مواد مغذی و توان درخت هستند (Mohammadzadeh et al., 2021). نتایج پژوهشی

درمورد بررسی مواد مغذی برگ، پوست و چوب درختان بلوط ایرانی تحت تأثیر زوال در ایلام بیانگر آن بود که با افزایش شدت زوال، غلظت منیزیم، کلسیم، فسفر، آهن، پتاسیم و سدیم در شاخ و برگ افزایش می‌یافت (Mohammadzadeh et al., 2021). در نمونه‌های چوب و پوست، افزایش شدت زوال به کاهش محتوای فسفر منجر شد. همچنین، غلظت پتاسیم در پوست نیز با افزایش شدت زوال، کاهش یافت. علاوه بر این، محتوای مواد مغذی در بافت‌های بررسی شده، در شدت‌های مختلف زوال متفاوت بود. براساس نتایج پژوهش مذکور، اندازه‌گیری مواد مغذی می‌تواند جذب در بوم‌سازگان جنگلی و روابط تنش گیاهی- محیطی را منعکس کند (Mohammadzadeh et al., 2021).

در بوم‌سازگان طبیعی، چرخه عناصر غذایی، یک فرایند پایدار است که بخش زیستی آن از درختان آغاز می‌شود و تا بازگشت برگ به خاک (به صورت لاش‌ریزه) و قابل جذب شدن این عناصر پایان می‌یابد (Haidari et al., 2023). در گیاهان، ۷۵ درصد از عناصر غذایی در برگ ذخیره می‌شود و مقدار عناصر غذایی ذخیره شده به اقلیم، طول عمر برگ و مقدار جابه‌جایی اولیه عناصر پیش از ریزش برگ درختان وابسته است (Anschütz et al., 2014). در اثر تنش‌های خشکی ممتد وارده، درختان دچار ضعف فیزیولوژیک می‌شوند و زمینه برای عوامل و تنش‌های ثانویه همچون طغیان آفات فراهم می‌شود. در پاسخ‌های درختان به تنش‌ها از مقدار برخی از عناصر کاسته می‌شود و برخی دیگر نیز به علت سازوکارهای دفاعی درخت در برخی بافت‌ها یا اندام‌ها افزایش می‌یابند (Nouri et al., 2015). یکی از راه‌های بررسی میزان یا چگونگی اثرات تنش‌های وارده بر درختان، بررسی تغییرات مقدار عناصر در بخش‌های مختلف پیکره آن‌ها است (Hosseini et al., 2024). همچنین، مقایسه مقادیر عناصر غذایی در بافت‌های مختلف درختان سالم و روبه‌زوال، روشی قابل اعتماد برای جداسازی درختان ضعیف از درختان سالم است (Mohammadzadeh et al., 2021).

پژوهش‌ها نشان داده‌اند که بروز خشکی سبب تغییرپذیری غلظت عناصر در اندام‌های درختان می‌شود که با مقدار

حساسیت درخت به خشکی رابطه دارد (Sardans & Penuelas, 2007)، بنابراین می‌توان اذعان کرد که بلوط ایرانی، توانایی زیادی برای جذب برخی عناصر ندارد و گونه‌ای حساس به تنش به‌ویژه خشکی است (Hosseini et al., 2021). همچنین، نتایج پژوهشی نشان داد که درختان بلوط در منطقه مله‌سیاه در ایلام با درجه خشکیدگی تاجی مختلف از نظر درشت‌مغذی‌های برگ، وضعیت متفاوتی داشتند (Hosseini et al., 2024). در صورتی که درشت‌مغذی‌های خاک، وضعیت مشابهی را نشان دادند. با توجه به وجود تفاوت در مقدار اسیدپتیک و رطوبت خاک در رویشگاه‌های مورد مطالعه، به‌طور کلی مشخص شد که وضعیت خشکیدگی تاج درختان با سازوکارهای فیزیولوژیک درون درختان در جذب آب و مواد غذایی ارتباط دارد (Hosseini et al., 2024). در پژوهش دیگری گزارش شد که جذب مواد مغذی بین گونه‌های بلوط متفاوت نیست، اما بین سال‌های مختلف به طور قابل توجهی اختلاف داشتند (Baoming et al., 2021). در میان چهارده عنصر ارزیابی شده، مقادیر نیتروژن، فسفر، کلسیم، منیزیم، کربن و گوگرد نسبت به تغییرات آب و هوایی در سه گونه بلوط (*Q. aliena* var. *acuteserrata* Maxim. و *Q. glandulifera* Blume و *Q. variabilis* Blume) حساس‌تر بودند. بازده جذب کربن در طول خشک‌ترین سال مطالعه (۲۰۱۴) به‌طور چشمگیری افزایش و راندمان جذب نیتروژن با کاهش دما کاهش یافت، درحالی‌که بازده جذب نیتروژن و فسفر در ابتدا کاهش و با افزایش بارش افزایش یافت (Baoming et al., 2021). Haidari و همکاران (۲۰۲۴b) نیز در بررسی توده‌های شاهد و متأثر از زوال در شهرستان مریوان، فقر عناصر غذایی و درشت‌مغذی‌ها را در درختان متأثر از زوال گزارش کردند. مقادیر کمتر مشخصه‌ها در خاک مجاور درختان درگیر با زوال و دچار خشکیدگی در پژوهش آن‌ها مشاهده شد. این پژوهشگران در پژوهش دیگری در همان جنگل‌ها نیز به بررسی تغییرات مشخصه‌های خاک عمقی مجاور درختان شاهد و دچار زوال پرداختند. نتایج آن‌ها بیانگر بیشتر بودن مشخصه‌های فیزیکی- شیمیایی و درشت‌مغذی‌های خاک در مجاور درختان واقع در توده

درختان بلوط ایرانی دارای علائم زوال و ۲) مقایسه عناصر غذایی موجود در برگ درختان سالم با درختان در حال خشکیدن در استان کهگیلویه و بویراحمد در دو سال متوالی (۱۳۹۹ و ۱۴۰۰) انجام شد.

مواد و روش‌ها

استان کهگیلویه و بویراحمد با وسعت ۱۶/۲۴۹ کیلومتر مربع در جنوب غربی ایران، بین ۳۰ درجه و ۹ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۳۲ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۴۲ دقیقه طول شرقی واقع شده است. مساحت جنگل‌های این استان حدود ۸۷۴ هزار هکتار است که بیشتر از ۹۰ درصد آن را بلوط ایرانی تشکیل می‌دهد. برای این پژوهش، در دو سال متوالی ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰، دو قطعه نمونه یک هکتاری، یکی به عنوان زوال در منطقه سی سخت و دیگری به عنوان شاهد در منطقه سرآبناوه، هر دو در دامنه شمالی، با ترکیب و فرم رویشی متفاوت و مشخصات اقلیمی و هواشناسی (میانگین ۱۵ سال گذشته) به شرح جدول ۱، انتخاب شدند.

شاهد (سالم) نسبت به خاک توده متأثر از زوال بود (Haidari *et al.*, 2024a).

یکی از راهکارهای بررسی پاسخ‌های فیزیولوژیک درختان به تنش‌های القایی و شرایط محیطی، اندازه‌گیری غلظت عناصر غذایی برگ درختان است. بررسی عناصر غذایی برگ درختان به‌طور رایج برای شناخت و درک بیشتر چگونگی تغییرات عناصر غذایی در طول زمان در پاسخ درختان جنگلی به تنش‌های محیطی انجام می‌شود (Hosseini *et al.*, 2024). براساس مرور منابع، تاکنون پژوهش‌های اندکی درمورد عناصر غذایی موجود در برگ بلوط ایرانی و ارتباط بین عناصر غذایی و زوال در این گونه درختی انجام شده است. ارزیابی مقادیر مواد مغذی در بافت‌های بلوط ایرانی با شدت‌های مختلف زوال، امکان شناسایی پایه‌های مقاوم را فراهم می‌کند که می‌توان از آن‌ها برای تولید ذخایر کاشت و شناسایی مراحل اولیه زوال در برنامه‌های حفاظتی استفاده کرد. با توجه به افزایش روزافزون پدیده زوال در جنگل‌های زاگرس، پژوهش پیش‌رو با هدف ۱) بررسی تغییرات در عناصر غذایی موجود در برگ

جدول ۱- مشخصات رویشگاه‌های (قطعه نمونه‌های) مورد مطالعه
Table 1. Characteristics of habitats (sample plots) studied

Site	Year	Sarabtaveh (Control)	Sisakht (Declined)
The longitude of the center of the sample plot	-	51° 34' 48"	51° 23' 34"
The latitude of the center of the sample plot	-	30° 34' 9.9"	30° 53' 35"
Altitude (m.a.s.l)	-	1900	2260
Total annual precipitation (mm)	2020	769.4	727.2
Average monthly temperature (°C)	2020	15	14.1
Total annual precipitation (mm)	2021	671.8	627.8
Average monthly temperature (°C)	2021	15.2	14.7

به‌طوری‌که از هر جهت تاج، پنج برگ انتخاب شد. در نهایت، ۲۰ برگ به عنوان یک نمونه مرکب برای هر درخت در نظر گرفته شد. نمونه‌ها به آزمایشگاه اکوفیزیولوژی و بیوتکنولوژی جنگل در مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور منتقل شدند. غلظت نیتروژن از روش کج‌دال و عناصر دیگر (فسفر، پتاسیم و ریزمغذی‌های دیگر برگ مانند آهن، مس، روی، منگنز و منیزیم) به روش هم‌تر عصاره‌گیری و

در قطعه نمونه متأثر از زوال، پنج پایه سالم و پنج پایه خشکیده (بین ۵۰ تا ۹۰ درصد تاج دارای علائم خشکیدگی) و در قطعه نمونه شاهد فقط پنج درخت سالم گزینش شدند. به‌منظور بررسی عناصر برگ در درختان منتخب، نمونه‌های برگ در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ در اواخر فصل رویش (مردادماه) جمع‌آوری شدند. نمونه‌برداری برگ از میانه ارتفاع تاج درخت و در چهار جهت جغرافیایی انجام گرفت.

غلظت آن‌ها توسط دستگاه ICP اندازه‌گیری شدند (Ghazanshahi, 1997).

داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری R تحلیل شدند. مفروضات تجزیه واریانس توسط آزمون‌های کولموگروف-سمیرنوف (برای نرمال بودن داده‌ها) و لون (همگنی واریانس) بررسی شدند. سپس، داده‌ها با روش تجزیه واریانس دوطرفه تجزیه و تحلیل شدند. همچنین، برای مقایسه هر فاکتور در شرایط سالم و غیرسالم، از مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون مقایسه میانگین چنددامنه‌ای دانکن استفاده شد.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس دوطرفه بیانگر تفاوت معنی‌دار ($p < 0.05$) نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، مس و منگنز به استثناء منیزیم بین توده‌های مورد بررسی بود، درحالی‌که تفاوت عناصر یادشده بین درختان سالم و ناسالم معنی‌دار نبود. تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سال اندازه‌گیری بر همه عناصر به استثناء منیزیم و اثر زوال بر عناصر به جز مقادیر فسفر و پتاسیم و منیزیم معنی‌دار بود (جدول ۲). به علاوه، برهم‌کنش عوامل مختلف بر عناصر پتاسیم، آهن، روی و مس، اثر معنی‌داری را نشان داد.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس دوطرفه عناصر برگ در درختان سالم و خشکیده در توده‌های مورد مطالعه

Brant's oak trees in the Table 2. The results of two-way variance analysis of leaf elements of healthy and unhealthy study stands

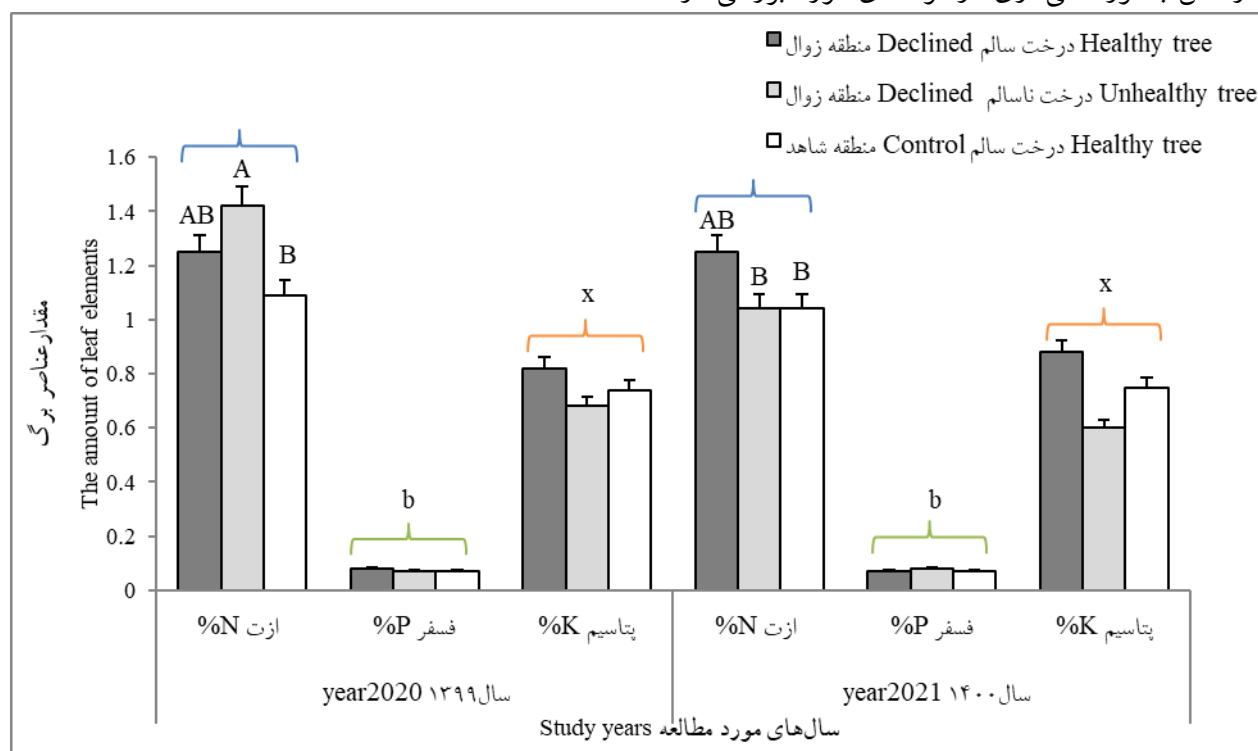
Characteristic	Test year		Control and declined stands		Healthy or Unhealthy tree		The interaction of factors	
	F value	P value	F value	P value	F value	P value	F value	P value
N (%)	172.12	**0.00	82.68	*0.01	0.09	0.76	0.15	0.70
P (%)	814.84	**0.00	0.63	0.43	10.88	0.30	0.93	0.34
K (%)	1549.37	**0.00	0.29	0.59	0.01	0.92	73.59	*0.01
Mg (mg/kg)	0.42	0.52	12.25	0.27	39.34	0.05	17.46	0.19
Fe (mg/kg)	96.84	**0.00	156.51	**0.00	20.79	0.16	65.83	*0.01
Zn (mg/kg)	3008.22	**0.00	3319.96	**0.00	0.44	0.51	153.2	**0.00
Cu (mg/kg)	1871.75	**0.00	2034.22	**0.00	40.98	0.05	227.01	**0.00
Mn (mg/kg)	327.87	**0.00	682.2	**0.00	26.25	0.11	18.05	0.19

** : Significant at $p < 0.01$; * : Significant at $p < 0.05$

اختلاف فسفر بین دو سال در هیچ‌یک از توده‌ها معنی‌دار نبود و در هر دو سال حروف یکسان به مقادیر فسفر اختصاص یافت. همچنین، با وجود افزایش نسبی مقادیر پتاسیم در سال دوم، نتایج آماری نشان داد که اختلاف پتاسیم بین دو سال مورد مطالعه معنی‌دار نبود. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که تنها تغییرات نیتروژن در درختان ناسالم منطقه زوال‌یافته تفاوت معنی‌دار بین سال‌ها داشت و تغییرات فسفر و پتاسیم بیشتر به‌صورت نوسانات غیرمعنی‌دار سالانه ظاهر شدند (شکل ۱). مقایسه میانگین داده‌های عناصر دیگر برگ نشان داد که به‌طور کلی برای منیزیم در توده‌های مورد مطالعه بین

مقایسه مقدار عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ در دو سال مورد مطالعه (شکل ۱) نشان داد که الگوی تغییرات این عناصر بین سال‌ها و وضعیت‌های مختلف توده یکسان نیست. مقدار نیتروژن در سال دوم نسبت به سال اول در هر سه توده روندی کاهشی نشان داد، اما این کاهش تنها در درختان ناسالم منطقه زوال‌یافته از نظر آماری معنی‌دار بود، درحالی‌که در درختان سالم منطقه زوال‌یافته و توده شاهد، اختلاف معنی‌داری بین دو سال مشاهده نشد. در مورد فسفر، اگرچه میانگین مقادیر در سال دوم در مقایسه با سال اول اندکی کمتر بود، اما بر اساس آزمون مقایسه میانگین‌ها،

سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، اما سال دوم، بیشتر از سال اول بود (شکل ۲). مقدار آهن به‌طور معنی‌داری در توده‌های مورد بررسی در



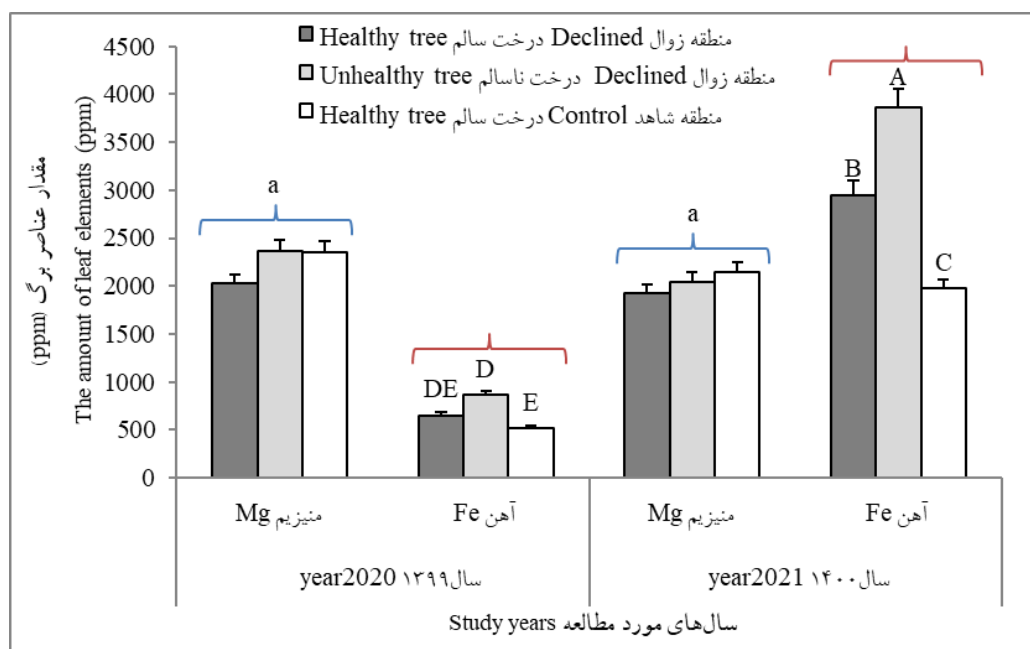
شکل ۱- مقایسه میانگین‌های ($\pm$ خطای استاندارد) عناصر تغذیه‌ای برگ در زیر تاج‌پوشش درختان بلوط ایرانی با استفاده از آزمون دانکن در دو سال مورد مطالعه

حرف‌های متفاوت لاتین در هر عنصر نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند.

Figure 1. Comparing the averages ($\pm$ standard error) of nutritional elements of leaves under the crown of Brant's oak trees using Duncan's test in the two years studied
Different letters in each element indicate a significant difference between means ($P < 0.05$).

مقادیر روی و منگنز در سال دوم به‌طور معنی‌داری بیشتر از سال اول بود (شکل ۳).

درمورد عناصر منگنز، مس و روی، بیشترین مقدار در درختان سالم منطقه شاهد و سپس درختان ناسالم منطقه زوال و کمترین مقدار در درختان سالم منطقه زوال مشاهده شد.

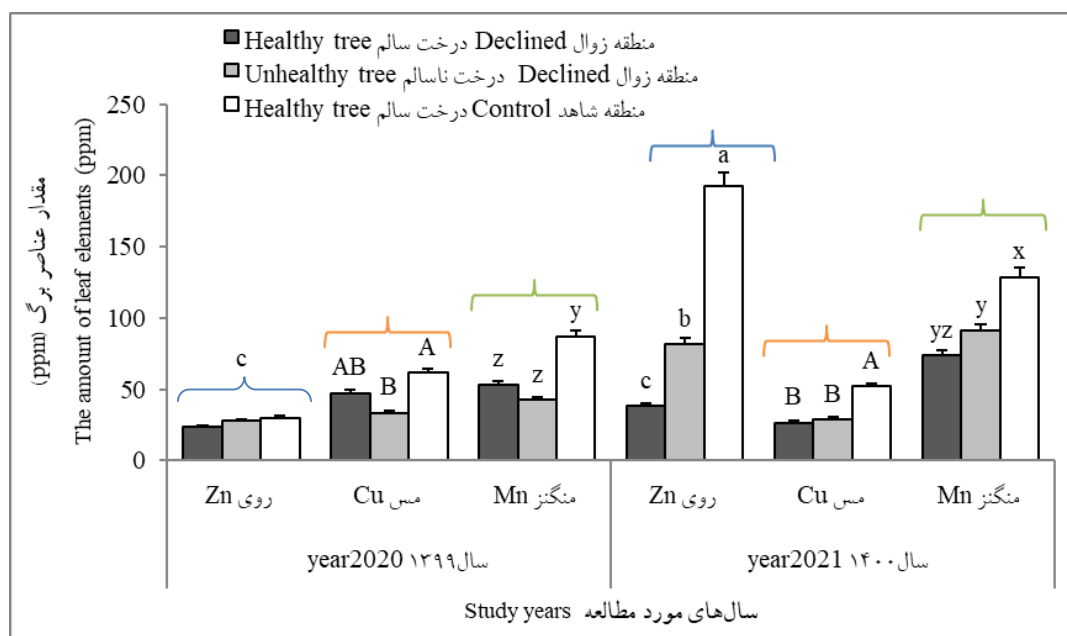


شکل ۲- مقایسه میانگین‌های ($\pm$ خطای استاندارد) عناصر آهن و منیزیم برگ در زیر تاج‌پوشش درختان بلوط ایرانی با استفاده از آزمون دانکن

حرف‌های متفاوت لاتین در هر عنصر نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند.

Figure 2. Comparison of averages ($\pm$ standard error) of leaf iron and magnesium elements under the crown of Brant's oak trees using Duncan's test

Different letters in each element indicate a significant difference between means ($P < 0.05$).



شکل ۳- مقایسه میانگین‌های ($\pm$ خطای استاندارد) عناصر مس، روی و منگنز برگ در زیر تاج‌پوشش درختان بلوط ایرانی با استفاده از آزمون دانکن

حرف‌های متفاوت لاتین در هر عنصر نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند.

Figure 3. Comparison of averages ($\pm$ standard error) of leaf Cu, Zn, and Mn elements under the canopy of healthy Brant's oak trees using Duncan's test

Different letters in each element indicate a significant difference between means ($P < 0.05$).

بحث

پژوهش پیش‌رو در دو رویشگاه یک هکتاری در منطقه سرآب‌تپه (شاهد) و منطقه سی‌سخت (زوال) انجام شد. عناصر غذایی برگ درختان بلوط ایرانی اندازه‌گیری شد تا درک صحیحی از چرخه غذایی درختان سالم و زوال‌یافته حاصل شود. نتایج این پژوهش نشان داد که غلظت عناصر نیتروژن بین یک تا ۱/۶ درصد، پتاسیم برگ حدود ۰/۲ تا یک درصد و غلظت فسفر برگ درختان بین ۰/۱ تا ۰/۲ درصد متغیر بود. در طی سال‌های نمونه‌برداری (۱۳۹۹ و ۱۴۰۰) در همه درختان، غلظت ازت و فسفر روبه‌کاهش بود، درحالی‌که پتاسیم افزایش یافت. در پژوهش‌های پیشین، دامنه تغییرات مقدار نیتروژن، پتاسیم و فسفر در برگ درختان بلوط ایرانی به ترتیب یک تا ۲، ۵/۰ تا یک و ۱/۰ تا ۵/۰ درصد گزارش شده است (Hosseini, 2017; Zarafshar et al., 2021). براساس نتایج Zarafshar و همکاران (۲۰۲۱)، غلظت عنصر نیتروژن در بین درختان سالم و زوال‌یافته بلوط ایرانی در استان فارس، اختلافی نداشتند که با نتایج پژوهش پیش‌رو مغایرت دارد. عدم تغییر نیتروژن برگ در پژوهش یادشده را می‌توان به این مسئله نسبت داد که درختان سالم و زوال‌یافته، دسترسی یکسانی به عنصر یادشده داشتند. همچنین، مقادیر این سه عنصر (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) طی سال‌های مورد مطالعه در منطقه زوال، بیشتر از شاهد دیده شد. نتایج برخی از پژوهش‌ها نیز با یافته‌های این پژوهش همخوانی دارد (Hosseini, 2017; Mohammadzadeh et al., 2021; Hosseini et al., 2024). Mohammadzadeh و همکاران (۲۰۲۱) نشان دادند که زوال درختان بلوط ایرانی بر غلظت عناصر غذایی برگ تأثیرگذار است و غلظت این عناصر با تشدید زوال افزایش می‌یابد. براساس نتایج گزارش‌شده توسط Hosseini (۲۰۱۷) نیز افزایش خشکیدگی تاجی در جنگل‌های ایلام سبب افزایش غلظت نیتروژن و فسفر برگ درختان بلوط ایرانی می‌شود. از دلایل احتمالی تغییرات غلظت عناصر برگ در درختان زوال‌یافته می‌توان به سازوکار فیزیولوژیک متفاوت درختان بلوط ایرانی، تغییرات ناشی از اثرهای محیطی و نحوه پاسخ درختان به تنش‌های محیطی

اشاره کرد. این صورت که چون قسمت بیشتر تاج درختان سرخشکیده بلوط ایرانی خشک شده است، آب و املاح جذب‌شده توسط ریشه فقط متوجه شاخه‌های سالم و زنده می‌شود و غلظت عناصر در برگ‌ها افزایش می‌یابد (Hosseini, 2017). از دلایل دیگر می‌توان به کاهش بیشتر فتوسنتز و افزایش بیشتر تنفس در برگ درختان سرخشکیده اشاره کرد. ممکن است که درخت زوال‌یافته برای جبران کاهش فتوسنتز، نیتروژن و فسفر بیشتری جذب کند (Sardans & Penuelas, 2007) و یا اینکه عناصر غذایی ذکرشده به سبب کاهش فعالیت‌های حیاتی و متابولیکی و توقف جابه‌جایی مواد تولیدشده، مصرف نشدند و غلظت آن‌ها افزایش یافته است (Alizadeh, 1995).

نتایج پژوهش پیش‌رو نشان داد که سال نمونه‌برداری، اثر معنی‌داری بر غلظت همه عناصر اندازه‌گیری‌شده به استثناء منیزیم در برگ درختان بلوط ایرانی دارد. همسو با نتایج پژوهش پیش‌رو، Hosseini و همکاران (۲۰۲۴) نیز در پایش عناصر غذایی برگ درختان بلوط ایرانی در نیمه شمالی ایلام نتیجه گرفتند که سال نمونه‌برداری، تأثیر معنی‌داری بر غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم برگ این درختان دارد. این تغییرات در غلظت عناصر غذایی موجود در برگ، نشئت‌گرفته از تغییرات آب‌وهوایی سال‌های نمونه‌برداری است که این خود، نتیجه تفاوت در دما یا مقدار بارندگی و تفاوت در پراکنش بارندگی در طول سال است. همسو با نتایج این پژوهش، Haidari و همکاران (۲۰۲۲) علل افزایش زوال درختان بلوط در شهرستان بانه طی سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ را به افزایش در تبخیر سالانه، میانگین دمای هوای سالانه و تعداد روزهای همراه با گرد و غبار و کاهش در رطوبت نسبی سالانه و بارندگی سالانه نسبت دادند. باتوجه به نکاتی که بیان شد، وضعیت فیزیولوژیکی و رشد درختان، متأثر از تغییرات وضعیت آب‌وهوایی در سال‌های پی‌درپی است. این امر، اهمیت آب و ضرورت وجود آن برای فعالیت‌های حیاتی درختان و روابط آبی آن‌ها از خاک به گیاه را نشان می‌دهد. به علاوه، اثر خشکی بر غلظت عناصر غذایی خاک و اندام‌های درختی به‌ویژه برگ، متنوع و متفاوت است و اغلب به نوع

عنصر، گونه و نوع بوم‌سازگان جنگلی بستگی دارد (Sardans et al., 2008).

فسفر، یک ماده مغذی معدنی ضروری با نقش کلیدی در حفظ و انتقال انرژی در موجودات زنده است و به مقدار به نسبت زیادی برای حفظ رشد گیاه مورد نیاز است (Amtmann et al., 2008). تجزیه و تحلیل عناصر برگ نشان داد که درختان بلوط ایرانی در توده‌های مورد مطالعه از نظر فسفر، فقیر بودند. کمبود این عنصر در برگ درختان را می‌توان به علت کمبود این عنصر در خاک توده‌های مورد مطالعه دانست. به طوری که درختان بلوط در حال زوال به طور فعال فسفر را از خاک به طوقه و برگ درختان آسیب دیده منتقل می‌کنند تا کارایی مصرف آب را بهبود بخشند و در برابر پژمردگی طوقه محافظت کنند (Hosseini, 2017). به نظر می‌رسد که کمبود عناصر غذایی مانند فسفر در خاک درختان و فقر فسفر در برگ آن‌ها، نقش مهم و کلیدی در خشک شدن درختان بلوط ایرانی داشته باشد. براساس نتایج گزارش شده توسط Haidari و همکاران (۲۰۲۴b)، بیشتر مشخصه‌های فیزیکی- شیمیایی و درشت مغذی‌های خاک به ویژه عنصر فسفر در خاک توده متأثر از زوال، کمتر از خاک مجاور درختان واقع در توده شاهد (سالم) بودند، بنابراین تقویت درختان خشکیده با کودهای غنی از فسفر می‌تواند برای پژوهش‌های آینده به عنوان یک فرضیه، مورد آزمون قرار گیرد. نتایج Mohammadzadeh و همکاران (۲۰۲۱) نشان داد که با افزایش شدت زوال، مقدار فسفر در برگ بلوط افزایش می‌یابد. این تغییر ممکن است با کاهش تعرق در برگ‌ها از طریق کنترل باز و بسته شدن روزنه‌ها، تأثیر تنش را کاهش دهد، بنابراین درختان بلوط در حال زوال، فسفر را به طور فعال از ساقه‌ها به برگ‌ها منتقل می‌کنند. غلظت بیشتر فسفر در برگ درختان بلوط ایرانی در پاسخ به تنش القایی با افزایش راندمان مصرف آب و تشدید پاسخ‌های دفاعی به استرس مرتبط است.

پتاسیم از طریق تأثیر آن بر ضخامت کوتیکول و ساختار پوست، نقش مهمی در دفاع گیاه در برابر عوامل بیماری‌زا و آفات دارد (Amtmann et al., 2008). کاهش در دسترس بودن

پتاسیم در طول تشکیل پوست می‌تواند به تضعیف و زوال درخت منجر شود (Ahmad et al., 2009). علاوه بر این، پتاسیم از طریق تنظیم فعالیت آنزیم‌ها در متابولیسم نقش دارد و یک عنصر کلیدی تنظیم کننده باز و بسته شدن روزنه است (Hawkesford et al., 2012). در پژوهش پیش رو، تغییرات پتاسیم برگ درختان بین توده‌های سالم و زوال یافته مشاهده شد. به طور کلی، میانگین غلظت پتاسیم در درختان زوال یافته نسبت به درختان سالم بیشتر بود، هرچند این تفاوت در برخی موارد از نظر آماری معنی دار نبود. با این حال، افزایش نسبی پتاسیم در درختان روبه زوال می‌تواند نشان دهنده برهم خوردن تعادل عناصر غذایی باشد؛ به طوری که غلظت‌های بیشتر از حد مطلوب پتاسیم قادر است از طریق کاهش جذب عناصر دوظرفیتی مانند کلسیم و منیزیم، اثرات منفی بر وضعیت تغذیه‌ای و فیزیولوژیک درختان داشته باشد (Hawkesford et al., 2012). عنصر کلسیم خود در کاهش اثر تنش محیطی بر گیاه، تأثیر مهمی دارد (Pessarakli et al., 2015). بررسی‌های انجام شده در مورد برگ درختان حاکی از آن است که در درختان تحت تنش، مقدار پتاسیم تغییرات معنی داری را نشان می‌دهند (Anschütz et al., 2014; Mohammadzadeh et al., 2021)، بنابراین همه این ویژگی‌ها بیان کننده این است که پتاسیم می‌تواند نقش مهم و کلیدی در پیام‌رسانی حضور عوامل تنش مانند خشک سالی ایفا کند.

در پژوهش پیش رو، عناصر ریز مغذی برگ شامل روی، آهن، مس، منیزیم و منگنز نیز اندازه گیری و داده‌های به دست آمده تجزیه شدند. در طی سال‌های نمونه برداری، غلظت آهن، روی و منگنز افزایش یافتند، در حالی که منیزیم و مس به تقریب ثابت بودند. نقش آهن در رشد و نمو گیاه شامل تثبیت نیتروژن، فتوسنتز، سیستم انتقال الکترون (Bennett, 1993)، سنتز کلروفیل و عملکرد تیلاکوئید است (Imsande, 1998). علاوه بر این، آهن در واکنش‌های دفاعی به تنش نقش دارد (Nikolic & Römhelt 1999). همچنین، آهن در درختان به عنوان عامل تنظیم کننده اسمزی شناخته می‌شود. به طوری که گفته می‌شود درختان در مواجهه با کمبود آب و تنش‌ها، جذب این عنصر را افزایش می‌دهند (Shariat et al., 2019). براساس نتایج به دست آمده توسط Jahanbazy

شده‌اند. چراکه در شرایط بحرانی پیش‌آمده و تنش خشکی ظاهر شده، درختان برای اینکه آب بیشتری جذب کنند تا بتوانند از کاهش رشد درخت و خشکیدگی بیشتر تاجی جلوگیری کنند، به جذب بیشتر این عناصر اقدام کرده‌اند، بنابراین می‌توان ذخیره رطوبت خاک را با استفاده از روش‌های مختلف ذخیره نزولات افزایش داد و در نهایت موجبات جذب عناصر و افزایش شانس زنده‌مانی درختان زوال‌یافته و زادآوری آن‌ها را فراهم کرد. همچنین، اجرای برش‌های بهداشتی (سرشاخه‌ها و جست‌های درگیر با سرخشکیدگی و زوال) و هرس تاج این گونه درختی توصیه می‌شود تا بتوان منابع محدود رطوبتی خاک را در تنش به‌وجودآمده به‌طرز بهتری به مصرف درخت رساند، عناصر غذایی توزیع بهتری در سطح تاج داشته باشند و انتقال مواد ساخته‌شده از برگ به اندام‌های ذخیره‌کننده بهتر صورت گیرد. در نهایت، با توجه به تغییرات سالانه غلظت عناصر برگ که در واقع ناشی از تغییرات اقلیمی است، می‌توان گفت که زوال درختان با سازوکارهای فیزیولوژیکی درون درختان در جذب عناصر غذایی ارتباط دارد.

Goujani و همکاران (۲۰۲۱)، درختان دچار زوال در جذب آهن موفق‌تر بودند. Mohammadzadeh و همکاران (۲۰۲۱) نیز گزارش کردند که با افزایش شدت زوال، آهن موجود در برگ درختان بلوط ایرانی افزایش می‌یابد. در صورتی که Shariat و همکاران (۲۰۱۹) تفاوت معنی‌داری در غلظت این عناصر در پایه‌های سالم، نیمه‌سالم و ضعیف‌شده بلوط مشاهده نکردند. Alizadeh و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که آهن، نقش فعالی در دفاع در برابر برخی بیماری‌ها ایفا می‌کند، اما به‌اندازه عناصر دیگر مانند فسفر، منگنز، مس و روی مؤثر نیست. رقابت بین گیاهان و عوامل بیماری‌زا برای آهن، عاملی در ایجاد بیماری است. زیرا برخی از عوامل بیماری‌زا به مقادیر بیشتری از آهن در سلول‌های گیاهی نیاز دارند (Kieu *et al.*, 2012).

به‌طور کلی، می‌توان گفت که شرایط بحرانی به‌وجودآمده در منطقه پژوهش بر عناصر درشت‌مغذی و ریزمغذی برگ در درختان بلوط ایرانی، تأثیر قوی و معنی‌داری گذاشته است. به‌طوری‌که سازوکارهای دفاعی و سازوکارهای رشد این گونه درختی سبب تغییرات بیشتر عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برگ درختان زوال‌یافته نسبت به درختان در توده شاهد

References

- Ahmad, R., Dehghani Shoraki, Y. and Banedjschafie, S., 2009. Nutritional status of elm (*Ulmus glabra* Huds.) trees in National Botanical Garden of Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 17(1): 99-106 (In Persian with English summary).
- Alizadeh, A., 1995. The Relationship between Water, Soil and Plants (Translation). Ferdowsi University of Mashhad Press, Mashhad, Iran, 735p (In Persian).
- Alizadeh, A., Majidi, A. and Noormohammadi, G., 2008. Effects of drought and soil nitrogen on nutrient uptake by of corn varieties 704. *Journal of Agricultural Sciences*, 4(1): 51-59 (In Persian).
- Allen, C.D., Macalady, A.K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., ... and Cobb, N., 2010. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, 259(4): 660-684.
- Amtmann, A., Troufflard, S. and Armengaud, P., 2008. The effect of potassium nutrition on pest and disease resistance in plants. *Physiologia Plantarum*, 133(4): 682-691.
- Anschutz, U., Becker, D. and Shabala, S., 2014. Going beyond nutrition: Regulation of potassium homeostasis as a common denominator of plant adaptive responses to environment. *Journal of Plant Physiology*, 171(9): 670-687.
- Bennett, W.F., 1993. Plant nutrient utilization and diagnostic plant symptoms: 1-7. In: Bennett, W.F. (Ed.). *Nutrient Deficiencies and Toxicities in Crop Plants*. APS Press, Minnesota, USA, 202p.
- Du, B., Ji, H., Liu, S., Kang, H., Yin, S. and Liu, C., 2021. Nutrient resorption strategies of three oak tree species in response to interannual climate variability. *Forest Ecosystems*, 8: 70.
- Ghazanshahi, J., 1997. *Soil and Plant Analysis* (Translation). Published by Homa Nasher, Tehran, Iran, 312p (In Persian).
- Haidari, M., Jahanbazi Goujani, H. and Pourhashemi,

- M., 2023. Analysis of annual oak mortality changes in different crown dimensions in Arasbaran forests, Kurdistan province: A case study of Baneh County. *Journal of Plant Ecosystem Conservation*, 10(21): 68-78 (In Persian with English summary).
- Haidari, M., Matinizadeh, M., Pourhashemi, M. and Nouri, E., 2024a. Investigating the changes of deep soil parameters adjacent to control stands and dieback trees in the forests of Kurdistan province (Case study: Marivan county). *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research*, 22(2): 184-198 (In Persian with English summary).
 - Haidari, M., Matinizadeh, M., Pourhashemi, M., Nouri, E. and Bagheri Deligani, N., 2024b. Investigating changes in the physical and chemical characteristics of soil in control and dieback stands in Marivan county, Kurdistan province in Iran. *Forest Research and Development*, 10(1): 95-111 (In Persian with English summary).
 - Haidari, M., Matinizadeh, M., Pourhashemi, M., Nouri, E. and Keneshloo, F., 2022. Changes in leaf nutrients of healthy and withered trees in Garan and Dezlei forests in Kurdistan province. *Journal of Plant Ecosystem Conservation*, 10(21): 194-206 (In Persian with English summary).
 - Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Skrumsager Møller, I. and White, P., 2012. Functions of macronutrients: 135-190. In: Marschner, H. (Ed.). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*, Third Edition. Academic Press, London, England, 672p.
 - Hosseini, A., 2017. Variability of nitrogen and phosphorous in Persian oak trees and soil of dieback affected stands in Ilam. *Forest and Wood Products*, 70(2): 231-240 (In Persian with English summary).
 - Hosseini, A., Matinizadeh, M., Pourhashemi, M. and Asgari, Sh., 2021. Effect of slope aspect and crown dieback intensity on leaf and soil nutrient status in Persian oak stands, *Quercus brantii* Lindl. (Case study, Melah-Siah forests, Ilam province). *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research*, 19(2): 354-367 (In Persian with English summary).
 - Hosseini, A., Matinizadeh, M., Soleimani, R. and Asgari, Sh., 2024. Three-year results of monitoring the leaf nutrients of Persian oak trees (*Quercus brantii* Lindl.) in declining forests. *Iranian Journal of Forest*, 16(1): 55-69 (In Persian with English summary).
 - Hosseinzadeh, J. and Pourhashemi, M., 2015. An investigation on the relationship between crown indices and the severity of oak forests decline in Ilam. *Iranian Journal of Forest*, 7(1): 57-66 (In Persian with English summary).
 - Imsande, J., 1998. Iron, sulfur, and chlorophyll deficiencies: A need for an integrative approach. *Journal of Plant Nutrition*, 21(9): 1839-1857.
 - Jahanbazy Goujani, H., Iranmanesh, Y., Talebi, M. and Pourhashemi, M., 2021. Micronutrients changes during the growing season in different dryness classes of Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.) trees, Chaharmahal and Bakhtiari province. *Forest and Wood Products*, 74(2): 223-233 (In Persian with English summary).
 - Javanmiripour, M., Valipour, J. and Hasanzadeh, A., 2023. Study of climate change on the structure and decline of Persian oak (*Quercus brantii* Lindl.) in Zagros ecosystems (Case study: forests of Gilan-e-Gharb county). *Ecology of Iranian Forests*, 11(21): 12-23 (In Persian with English summary).
 - Khajei, N., Etemad, V. and Bazrafshan, J., 2024. Predicting climate change impacts on distribution of Brant's oak trees (*Quercus brantii* Lindl.) in the Zagros forests, Fars Province. *Iranian Journal of Forest*, 15(4): 393-409 (In Persian with English summary).
 - Kieu, N.P., Aznar, A., Segond, D., Rigault, M., Simond-Côte, E., Kunz, C., ... and Dellagi, A., 2012. Iron deficiency affects plant defense responses and confers resistance to *Dickeya dadantii* and *Botrytis cinerea*. *Molecular Plant Pathology*, 13(8): 816-827.
 - Mirabolfathi, M., 2013. Outbreak of Charcoal disease on *Quercus* spp and *Zelkova Carpinifolia* trees in forests of Zagros and Alborz mountains in Iran. *Iranian Journal of Plant Pathology*, 49(2): 257-263 (In Persian with English summary).
 - 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* Lindl.) affected by decline. *BioResources*, 16(3): 4704-4715.
 - Nikolic, M. and Römheld, V., 1999. Mechanism of Fe uptake by the leaf symplast: Is Fe inactivation in leaf a cause of Fe deficiency chlorosis? *Plant and Soil*, 215: 229-237.
 - Nouri, E., Matinizade, M., Moshki, A., Ensafi Moghaddam, T. and Rahimi, M., 2015. Evaluating the amount of heavy metals in dusts and their absorption by Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.) (Case study: Meleh Siah, Ilam). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 23(4): 605-616 (In Persian with English summary).
 - Ostakh, E., Soosani, J., Abdolkhani, A. and Naghavi, H., 2020. Impact of decline on the concentration of chemical elements in the wood of declined and healthy Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 27(4): 413-

- 424 (In Persian with English summary).
- Pessarakli, M., Haghighi, M. and Sheibanirad, A., 2015. Plant responses under environmental stress conditions. *Advances in Plants and Agriculture Research*, 2(6): 276-286.
 - Pourhashemi, M. and Sadeghi, S.M.M., 2021. A Review on ecological causes of oak decline phenomenon in forests of Iran. *Ecology of Iranian Forests*, 8(16): 148-164 (In Persian with English summary).
 - Sagheb Talebi, Kh., Sajedi, T. and Pourhashemi, M., 2014. *Forests of Iran: A Treasure from the Past, a Hope for the Future*. Springer, Dordrecht, Netherlands, 152p.
 - Sardans, J. and Penuelas, J., 2007. Drought changes phosphorus and potassium accumulation patterns in an evergreen Mediterranean forest. *Functional Ecology*, 21(2): 191-201.
 - Sardans, J., Penuelas, J. and Ogaya, R., 2008. Drought-induced changes in C and N stoichiometry in a *Quercus ilex* Mediterranean forest. *Forest Science*, 54(5): 513-522.
 - Shariat, A., Mirzaie-Nodoushan, H., Mirza, M., Zare, Z., Keneshloo, H. and Taghavi, F., 2019. An ionome study in Persian oak (*Quercus brantii* Lindl) to evaluate factors affected oak decline. *Iranian Journal of Forest*, 11(3): 415-428 (In Persian with English summary).
 - Sohar, K., Helama, S., Läänelaid, A., Raisio, J. and Tuomenvirta, H., 2013. Oak decline in a Southern finnish forest as affected by a drought sequence. *Geochronometria*, 41(1): 92-103.
 - Teimouri, M., Alizadeh, T., Iranmanesh, Y., Sadgezdeh Hallaj, M.H. and Pourhashemi, M., 2023. The evaluation of changes in the chemical and biological properties of soil in Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.) forests of Chaharmahal & Bakhtiari Province, Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 31(1): 14-26 (In Persian with English summary).
 - Zarafshar, M., Matiniazadeh, M., Negahdarsaber, M., Pourhashemi, M., Bordbar, S.K. and Ziaieian, M.R., 2021. Soil characteristics and leaf nutrients of healthy and declined Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 29(2): 140-152 (In Persian with English summary).
 - Matiniazadeh, M., Nouri, E., Alizadeh, T., Pourhashemi, M., Faraji, F. and Khaksarian, F., 2025. Assessing soil physicochemical characteristics of stands affected by declining Iranian oak in Kohgilouye and Boyerahmad forests. *Iranian Journal of Forest*, 17(2): 159-172 (In Persian with English summary).