Gonbad Kavous University
Journal of Plant
Ecosystem Conservation
Volume 12, Issu 25
http://pec.gonbad.ac.ir

Changes in soil chemical properties and leaf nutrients under dieback phenomenon of Ilam oak trees

Reza Soleimani[*1], Ahmad Hosseini [2], Mohammad Matinizadeh[3]

[1]Assistant Professor, Department of Soil and Water Research, Ilam Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ilam, Iran
[2]Associate Professor, Department of Natural Resources Research, Ilam Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ilam, Iran
[3]Associate Professor, Department of Forest, Forests and Rangelands Research Institute, AREEO, Karaj, Iran

Received: 2024/04/20; Accepted: 2024/11/04

Abstract

Monitoring the physical and chemical properties of soil, as well as changes in leaf nutrients under drought stress, is crucial for managing the dieback phenomenon of Persian oak trees (*Quercus brantii Lindl*.). This research was conducted between 2019 and 2021 in Ilam, western Iran, within the geographical coordinates of 33°26'44" to 33°46'01" north latitude and 46°10'46" to 46°15'25" east longitude. Soil profiles were dug to examine soil horizons, and five healthy and five dying trees were selected for analysis. Soil samples were collected from two depths (0–30 cm and 30–60 cm) on northern and southern slopes beneath the tree canopies, and composite leaf samples were taken from each tree. The tested properties included electrical conductivity, saturated paste pH, calcium carbonate, total nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, iron, zinc, manganese, and copper in the soil, as well as nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, iron, zinc, manganese, and copper in the leaves. Data were analyzed using SAS software. The results showed significant differences in some physical and chemical properties of the soil across depths and directions ($p < 0.05$). For soil texture, the highest silt percentages (38% and 39%) were observed in the first and second depths on the northern slopes under healthy trees, while the lowest (30%) was recorded in the first depth on the southern slopes under dying trees. Saturation percentage and bulk density showed decreasing and increasing trends, respectively, from healthy to dying tree locations. Lime content, which affects nutrient availability, increased from healthy to dying tree sites. A decreasing trend was observed for phosphorus, potassium, zinc, manganese, and iron, while copper showed an increasing trend. The decline in organic carbon, available potassium, and zinc in the soil, as well as potassium and zinc concentrations in the leaves of dying trees, highlights the need to preserve organic matter and manage potassium and zinc nutrients. Identifying key soil properties, such as lime as a negative factor and potassium and zinc as positive factors, can aid in better forest management. Given the intensification of tree dieback under reduced nitrogen, potassium, and zinc levels, it is essential to preserve organic matter and apply foliar sprays of zinc and potassium, especially in new plantations.

Keywords: Ilam oak forests, Oak decline, Soil physical and chemical properties, Leaf nutrient elements

*Corresponding author: soleimanir@hotmail.com

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

دانشگاه گنبد کاووس
نشریه "حفاظت زیست بوم گیاهان"
دوره دوازدهم، شماره بیست و پنجم
http://pec.gonbad.ac.ir

علمی-پژوهشی

تغییرات ویژگی‌های شیمیایی خاک و عناصر غذایی برگ در شرایط پدیده خشکیدگی درختان بلوط ایلام

رضا سلیمانی [1*]، احمد حسینی[2]، محمد متینی زاده[3]

[1]استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی ایلام، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام
[2]دانشیار بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی ایلام، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام
[3]دانشیار بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۱۴

چکیده

پایش آن‌دسته از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و همچنین تغییرات عناصر غذایی برگ که در شرایط تنش خشکی بااهمیت هستند، در مدیریت پدیده خشکیدگی درختان بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) مؤثر است. این تحقیق در سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۹۸ در ایلام در غرب کشور، بین مختصات جغرافیایی ۳۳° و ′۴۴ و ″۲۶ تا ۳۳° و ′۴۶ و ″۰۱ عرض شمالی و ۴۶° و ′۱۰ و ″۴۶ تا ۴۶° و ′۱۵ و ″۲۵ طول شرقی جغرافیایی انجام شد. به‌منظور بررسی وضعیت افق‌های خاک، نیمرخ‌های خاک حفر شد. سپس پنج درخت سالم و پنج درخت در حال خشکیدن درنظر گرفته شد. نمونه خاک از دو عمق خاک شامل صفر تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری در شیب‌های شمالی و جنوبی از محل سایه‌انداز درختان و برای هر درخت، نمونه مرکب برگ برداشت شد. ویژگی‌های مورد آزمایش شامل قابلیت هدایت الکتریکی، اسیدیته گل اشباع، کربنات کلسیم، نیتروژن کل، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، روی، منگنز و مس قابل جذب خاک و نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، روی، منگنز و مس در برگ درختان بلوط تعیین شد که در این مقاله به ویژگی‌های شاخص اشاره می‌شود. داده‌های به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS، تجزیه و تحلیل شد. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برخی از تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در عمق‌ها و جهت‌های مختلف دارای تفاوت‌های معنی‌داری بودند ($p<0.05$). در مورد بافت خاک، مقایسه میانگین‌ها نشان داد که درصد سیلت در عمق اول و دوم جهت شمالی در محل‌های درختان سالم با مقادیر ۳۸ و ۳۹ درصد بیشترین و در عمق اول جهت جنوبی در محل‌های درختان خشکیده با ۳۰ درصد کمترین مقدار بود. درصد اشباع و وزن مخصوص ظاهری با تغییر مکان از محل درختان سالم به‌طرف محل درختان خشکیده به ترتیب روند کاهشی و افزایشی داشت. همچنین مقادیر آهک که بر غیرقابل استفاده شدن عناصر غذایی اثر دارد، از محل درختان سالم به‌طرف محل درختان خشکیده افزایش یافت. به‌طوری‌که در مورد عناصر فسفر، پتاسیم، روی، منگنز و آهن، روندی کاهشی و تنها در مورد مس روند افزایشی مشاهده شد. روند کاهشی در ویژگی‌های کربن آلی، پتاسیم و روی قابل جذب خاک و در غلظت عناصر پتاسیم و روی در برگ در محل‌های درختان خشکیده نسبت به محل‌های درختان سالم ، لزوم توجه به حفظ کربن‌آلی و مدیریت عناصر غذایی پتاسیم و روی را نشان می‌دهد. تعیین ویژگی‌های با اهمیت خاک از نظر توان تحمل درختان به شرایط نامناسب محیطی به‌ویژه آهک به‌عنوان عامل منفی و عناصر غذایی مانند پتاسیم و روی به‌عنوان عوامل مثبت می‌تواند در مدیریت بهتر جنگل کمک‌کننده باشد. با توجه به تشدید خشکی درختان در شرایط کاهش نیتروژن، پتاسیم و روی، باید نسبت به حفظ ماده آلی، محلول‌پاشی عناصر روی و پتاسیم به‌ویژه در نهال‌کاری‌های جدید اقدام نمود.

واژه‌های کلیدی: **جنگل‌های بلوط ایلام، خشکیدگی بلوط، غلظت عناصر برگ، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک**

مقدمه

جنگل‌های زاگرس از نظر حفاظت آب و خاک و مسائل اقتصادی و اجتماعی اهمیت بسیار زیادی دارند. این اکوسیستم به‌عنوان دومین اکوسیستم جنگلی طبیعی کشور، با مشکلات عمده‌ای از جمله خشکیدگی درختان بلوط روبه‌رو است. جنگل‌های زاگرس با مساحتی حدود شش میلیون هکتار، بیش از چهل درصد از کل جنگل‌های ایران را به‌خود اختصاص داده‌اند که حدود ۵۱۰ هزار هکتار

*نویسنده مسئول: soleimanir@hotmail.com

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

از این جنگل‌ها در استان ایلام قرار دارد. خشکسالی در سال‌های گذشته، مناطقی از این جنگل‌ها را تحت تأثیر قرار داده است که از مهم‌ترین پی‌آمدهای آن، خشکیدگی درختان بلوط بوده است. ازآنجاکه منابع طبیعی در هر کشور از سرمایه‌های اساسی آن محسوب می شود، لازم است تا با مدیریتی صحیح و علمی از آن حفاظت شود. این امر مستلزم داشتن اطلاعاتی دقیق از ویژگی‌های کمی و کیفی خاک و رستنی‌ها و آگاهی از روابط بین گیاهان و عوامل محیطی آن‌ها ازجمله خاک است (Ding & Eldridge, 2021). نقش توپوگرافی در پیدایش و تحول خاک اهمیت فراوان داشته و گاهی مجموعه شرایط ناشی از ویژگی‌ها و موقعیت زمین‌نما می‌تواند زمینه مناسب را برای تشکیل و تحول خاک‌ها فراهم آورد. در جنگل، خاک‌ها بر روی یک زمین‌نما همانند حلقه‌های یک زنجیر به هم مرتبط هستند. تفاوت خاک‌ها به دلیل تفاوت در عوامل پنج‌گانه و اثر فزاینده شرایط زه‌کشی، حمل مواد فرسایش‌یافته، شستشو، انتقال و رسوب مجدد مواد شیمیایی متحرک است (Alichaev et al., 2022).

تنش‌خشکی با برهم‌زدن روابط آبی گیاه به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و رایج‌ترین تنش‌های محیطی رشد درختان را با محدودیت روبه‌رو می‌سازد و بازدهی و باردهی جنگل را در مناطقی که با این پدیده مواجه هستند به شدت کاهش می‌دهد. تنش‌خشکی همچنین باعث بروز یا تشدید سایر تنش‌ها به‌ویژه تنش کمبود عناصر غذایی برای گیاه می‌شود (Ostmeyer et al., 2020). مکانیسم‌های جذب و انتقال عناصر غذایی در گیاهان، مانند جریان توده‌ای، انتشار و یا جذب و انتقال به‌وسیله پدیده اسمز همگی، تابعی از مقدار رطوبت موجود در خاک و ریشه است و در صورت کاهش رطوبت، شدت و مقدار جذب عناصر غذایی دستخوش تغییر و تحول می‌گردد؛ اگرچه برخی از این سیستم‌های انتقالی عناصر، نظیر انتشار به مقدار رطوبت کمتری برای جذب عناصر غذایی نیازمند است (Yaffar et al., 2021). در این راستا، با کاهش رطوبت تا آستانه بحرانی نیز روند جذب برخی از عناصر غذایی توسط ریشه ادامه می‌یابد (Chandler et al., 2008). ولی برخی دیگر از سیستم‌های جذب عناصر غذایی ازجمله جریان توده‌ای، وابستگی زیادی به مقدار رطوبت دارند. در صورت کاهش رطوبت، عناصری که به‌وسیله این جریان، انتقال می‌یابند روند جذب منفی خواهند داشت (Gonzalez de Andres et al., 2022).

محققان همواره به دنبال شناخت ارتباط ویژگی‌های خاک با پوشش گیاهی بوده‌اند (Liu et al., 2018). گزارش شده است که خاک‌های با محدودیت نگهداری رطوبت دارای افق‌های A نازک‌تر بوده‌اند و کیفیت افق‌های دیگر نیز بستگی به بارندگی‌های زیاد داشته‌اند. مواد آلی در خاک‌های با قابلیت نگهداری پایین رطوبت، کمتر است (Li et al., 2021). در مورد درختانی مانند بلوط، مقدار کربن‌آلی در خاک سایه‌انداز آن‌ها بیشتر از خاک خارج از سایه‌انداز است. همچنین تغییرات مکانی مقدار سیلت و رس که سبب تغییر در نگهداری آب در خاک می‌شوند، در محدوده اطراف درختان بلوط بیشتر از بین درختان است (Camponi et al., 2022). تحقیقات نشان داد که ارتباط نزدیکی بین ویژگی‌های خاک و شرایط اقلیمی به‌ویژه میانگین بارندگی مؤثر سالانه وجود دارد. در یکی از پژوهش‌ها، با افزایش مقدار بارندگی از ۲۰۰ به ۱۰۰۰ میلی‌متر، مقدار رس از ۵ درصد در مواد مادری به ۳۰ درصد در افق B رسیده است. همچنین معدنی شدن آهسته‌تر نیتروژن و جذب کمتر آن به‌وسیله درختان و تجمع نیتروژن در پاسخ به تنش خشکی گزارش شده است (He et al., 2023). تحقیقات نشان داده است که در شرایط تنش کم آبی، درختان برای بالابردن غلظت محلول درون سلول‌ها، مقدار بیشتری پتاسیم جذب می‌کنند (Acevedo-Siaca et al., 2022). همچنین در اثر اعمال تنش خشکی و نیز کاربرد پتاسیم، مقدار این عنصر در برگ درختان به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد (Santos et al., 2021). کلسیم و منیزیم در درختان به‌وسیله جریان تعرق در آوند چوبی از ریشه به اندام هوایی منتقل می‌شود؛ لذا شدت تعرق در گیاه مشخص‌کننده نحوه توزیع کلسیم و منیزیم در اندام‌های گیاه است و تعرق موجب خروج آب و باقی ماندن ترکیبات کلسیمی و منیزیمی در درختان می‌گردد (Lang et al., 2022). به‌دلیل اینکه مقدار تولید گونه‌های جنگل کاری به مواد غذایی خاک وابسته است و این مواد غذایی نیز بر اثر فعالیت‌های مدیریتی و گونه‌ها تغییر می‌کنند، بنابراین باید از سیستم‌های نوین در تغذیه درختان به‌ویژه در جنگل‌کاری استفاده شود (Xue et al., 2022). عناصر غذایی بر فعالیت آنتی اکسیدانی گیاه اثر مثبت دارند و رشد درختان

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

را افزایش می‌دهند (Kraj et al., 2021). پتاسیم، جذب برخی از عناصر دیگر را افزایش داده، توان تحمل گیاه به تنش در گیاه را افزایش می‌دهد (Li et al., 2021). در توجیه اثر پتاسیم بر درختان نیز باید اشاره کرد که در شرایط تنش خشکی در حضور پتاسیم، تبادلات روزنه‌ای و کاهش تعرق قابل توجه است (Santos et al., 2021). آثار ناشی از ریشه گیاهان بر ویژگی‌های شیمیایی خاک را به‌دلایلی ازجمله عدم موازنه کاتیون‌ها و آنیون‌ها در نتیجه جذب یون‌ها توسط ریشه گیاه، آزادسازی آنیون‌های آلی، تنفس ریشه و تولید میکروبی اسیدها از ترشحات ریشه نسبت داده می‌شود. کمترین غلظت کربن آلی خاک در مناطق پرشیب وجود دارد و جهت جغرافیایی در تغییرات الگوی پراکندگی مکانی آن ارتباط داشته، درنتیجه، قابلیت استفاده عناصر غذایی نیز تغییر می‌کند (Keller et al., 2021).

با تعیین وضعیت پراکنش ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، ضمن اطلاع از اثرات خشکسالی بر خاک منطقه، می‌توان بر این پدیده زیست‌محیطی، مدیریت مناسبی اعمال کرد؛ لذا مطالعه تغییرات ویژگی‌های خاک از نیازهای تحقیقاتی در مورد مشکل خشکی درختان محسوب می‌شود. همچنین بااطلاع از وضعیت عناصر غذایی در خاک که ضرورت آن‌ها برای رشد درختان به اثبات رسیده است، می‌توان برای رفع مشکلات تغذیه‌ای احتمالی اقدام نمود. بنابراین اهداف این تحقیق شامل موارد زیر بود:

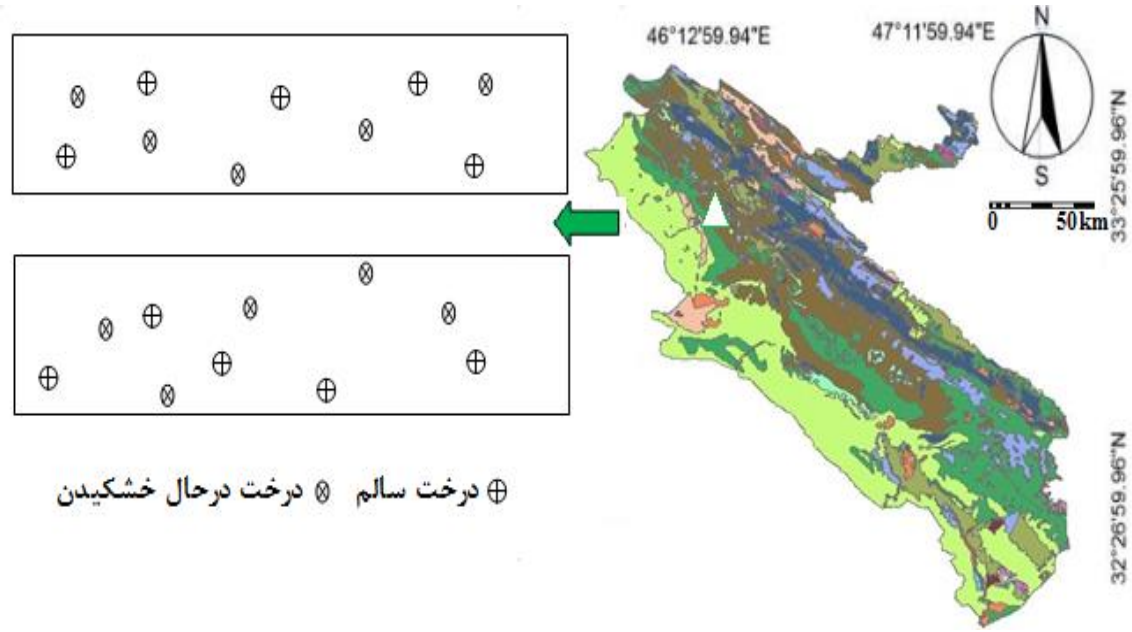
- بررسی وضعیت رطوبت خاک و نقش آن در خشکیدگی درختان بلوط ایرانی؛
- ارزیابی نقش ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک شامل عمق، نوع و حاصلخیزی آن بر زوال و روند پدیده خشکیدگی؛
- مقایسه ویژگی‌های اراضی و خاک و عناصر غذایی موجود در خاک پای درختان سالم با درختان درحال خشکیدن؛
- مقایسه عناصر غذایی موجود در برگ درختان سالم با درختان درحال خشکیدن.

مواد و روش‌ها

محل اجرای این پژوهش، شمال‌غربی شهر ایلام بین مختصات جغرافیایی ۳۳° و ۴۴′ و ۲۶″ تا ۳۳° و ۴۶′ و ۰۱″ عرض شمالی و ۴۶° و ۱۰′ و ۴۶″ تا ۴۶° و ۱۵′ و ۲۵″ طول شرقی بود (شکل ۱). منطقه انتخابی دارای کاربری جنگل، با شرایط نسبی یکسان از نظر مواد مادری خاک (تشکیلات آهکی)، دامنه ارتفاعی از ۱۴۰۰ تا ۲۳۰۰ متر از سطح دریا و شیب آن از ۵ تا ۷۵ درصد است. در دوره آماری ده ساله ۱۳۹۱ تا ۱۴۰۰ ایستگاه سینوپتیک ایلام، متوسط بارندگی و درجه‌حرارت سالیانه به‌ترتیب ۵۰۵ میلی‌متر و ۱۷ درجه سانتی‌گراد بود. فصل خشک منطقه از نیمه اردیبهشت شروع و تا نیمه مهرماه ادامه می‌یابد. درختان در محل مورد آزمایش بیشتر بر روی دو دامنه بزرگ و عمده شمالی و جنوبی قرار دارند و اغلب از گونه درختی بلوط ایرانی تشکیل شده که به‌صورت دانه‌زاد و شاخه‌زاد دیده می‌شوند. از ویژگی‌های درختان این جنگل‌ها تنه کوتاه و تاج بزرگ است؛ به‌طوری‌که وسعت تاج و اندازه قابل توجه آن موجب شده است که این درختان نقش حفاظتی از خاک و آب منطقه را به خوبی ایفا کنند. پس از جنگل‌پیمایی‌های اولیه و استفاده از تجارب کارشناسان استانی، دو مکان دائمی[Þ] در شیب شمال و جنوبی انتخاب شدند. در انتخاب مکان‌ها وضعیت‌های مختلف ازجمله وضعیت مدیریتی توده‌ها، تیپ جنگل، ملاحظات اجتماعی و نظام‌های بهره‌برداری درنظر گرفته شد، به‌طوری‌که مناطق در نظر گرفته شده بیانگر وضعیت زوال جنگل‌های بلوط استان بود. در هر مکان یک قطعه‌نمونه مربعی‌شکل به مساحت یک هکتار به‌صورت تصادفی مشخص شد تا هم تعداد مناسب درختان خشکیده و سالم در دسترس باشد و هم به‌دلیل غیریکنواختی ویژگی‌های خاک، فاصله زیادی نسبت به هم نداشته باشند. به‌منظور بررسی و نمونه‌برداری افق‌ها و لایه‌های خاک، در شیب‌های شمالی و جنوبی، اقدام به حفر پروفیل شد. هر یک از پروفیل‌های حفر شده طبق روش استاندارد (Schoeneberger et al., 2012) بررسی، تشریح و از خاک هر یک از افق‌ها و لایه‌های خاک نمونه‌برداری شد.

Þermanent sites

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی در استان ایلام (راست) و طرح نمونه‌برداری برای قطعه‌های دائم متشکل از دو قطعه نمونه یک هکتاری (چپ)

طرح بلوک‌های کامل تصادفی در دو جهت شیب، دو عمق و دو محل (درختان خشکیده و درختان سالم) در پنج تکرار (۴۰ تیمار) در منطقه آزمایشی اجرا شد. پنج درخت سالم و پنج درخت در حال خشکیدن در هر شیب (شمالی و جنوبی) درنظر گرفته شد و از هر درخت از دو عمق خاک (صفر تا ۳۰ سانتی‌متری و عمق ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متری) از محل سایه‌انداز درختان خشکیده و سالم نمونه‌برداری انجام شد. پس از خشک کردن خاک به‌روش هواخشک، نمونه‌ها آماده‌سازی و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. ویژگی‌های مورد آزمایش شامل ماده آلی به روش سوزاندن‌تر، آهک با روش خنثی کردن با اسید کلریدریک، شوری در عصاره اشباع و اسیدیته گل اشباع اندازه‌گیری شد (Page et al., 1982). همچنین نیتروژن کل به روش کجلدال (Page et al., 1982)، فسفر قابل جذب به روش اولسن (Olsen et al., 1954) و پتاسیم قابل جذب به روش استات آمونیوم یک نرمال سپس قرائت با شعله سنجی (Page et al., 1982) اندازه‌گیری شد. نمونه‌برداری برگ درختان در مرداد و در ارتفاع میانه تاج درختان و در چهار جهت تاج انجام شد. برای هر درخت ۲۰ برگ به‌عنوان یک نمونه مرکب برگ درنظر گرفته شد. نمونه برداری در سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۹۸ انجام شد. در هر سال، ۲۰ نمونه برگ و ۴۰ نمونه خاک مورد آزمایش قرار گرفت. نمونه‌های برگ در سه سال و در مجموع با ۶۰ نمونه برگ انجام شد. تجزیه‌های شیمیایی بر روی برگ درختان بلوط شامل اندازه‌گیری نیتروژن، فسفر، پتاسیم، روی، آهن، منگنز و مس بود. تجزیه واریانس داده‌ها، تجزیه دوطرفه و مقایسه میانگین‌های نرمال (با آزمون چند دامنه‌ای دانکن) انجام شد.

نتایج

مشاهدات صحرایی و همچنین نتایج تجزیه شیمیایی خاک نیمرخ‌های حفر شده در جهت شمالی و جنوبی نشان داد که خاک‌ها از رده انتی‌سول‌ها (Loamy, mixed , calcareous, thermic, Typic Xerorthents) بوده و دارای آهک زیاد (آهکی) و شوری کم (بدون شوری) هستند. از ویژگی‌های دیگر این خاک‌ها می‌توان به درصد کم ماده آلی و اسیدیته بالاتر از ۷ اشاره کرد. ویژگی‌های نیمرخ خاک در جهت شمالی و جنوبی در جدول‌های ۱ تا ۴ آمده است.

تغییرات ویژگی‌های شیمیایی خاک: نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به تغییرات اسیدیته، آهک، قابلیت هدایت الکتریکی، کلسیم محلول، منیزیم محلول، نیتروژن کل، فسفر، پتاسیم، روی، آهن، منگنز و مس قابل جذب در جدول ۱ آمده است. تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تغییرات اسیدیته در عمق‌ها در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه ای دانکن نشان داد که اسیدیته در عمق دوم در

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

جهت جنوبی در محل درختان خشکیده، بیشترین مقدار بود. همچنین کمترین اسیدیته مربوط به عمق اول در جهت شمالی در شرایط درختان سالم بود. در جهت شمالی نیز در عمق اول، روند تغییرات اسیدیته خاک از محل درختان سالم به طرف محل درختان دارای خشکیدگی افزایشی بود، اما در عمق دوم، تغییرات اسیدیته تفاوت‌های معنی‌دار نداشت (جدول ۲). تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تغییرات آهک در عمق ها و جهت های مختلف ($p<0.01$) و در محل‌های با شدت خشکیدگی مختلف ($p<0.05$) معنی‌دار بود (جدول ۱).

جدول ۱- خلاصه تجزیه واریانس (میانگین مربعات) ویژگی های شیمیایی خاک

منبع تغییرات	درجه آزادی	pH	آهک	EC	کلسیم محلول	منیزیم محلول
مکان	۱	۰/۰۴۲ ns	۱۰۸ ns	۰/۰۲۷ ns	۱/۵۴ ns	۱/۰۱ ns
تکرار (مکان)	۸	۰/۰۹۲ ns	۶۹۷*	۰/۰۱۲ ns	۵/۶۳ *	۱/۴۴ ns
سلامت	۱	۰/۶۲۴ ns-	۱۰۸۷**	۰/۲۵۴*	۱۰/۷ *	۷/۳۲ *
مکان*سلامت	۱	۰/۳۰۵ ns	۸۲۶*	۰/۱۷۸*	۸/۱۲ *	۶/۸۷ *
خطا ۱	۸	۱/۹۲	۲/۰۳	۲/۳۷	۱/۶۳	۲/۲۵
عمق	۱	۰/۰۲۲*	۳۸۷ **	۰/۰۴۷ ns	۱/۲ ns	۱/۴۵ ns
مکان*عمق	۱	۰/۰۶۹ ns	۷۸۳*	۰/۰۱۸ ns	۱/۳۲ ns	۲/۰۷ ns
سلامت*عمق	۱	۰/۰۱۱ ns	۹۲۱*	۰/۰۸۷ ns	۱/۱۱ ns	۳/۳۳ ns
مکان*سلامت*عمق	۱	۰/۰۳۱ ns	۱/۶۱ ns	۰/۰۴۹ ns	۱/۲۳ ns	۱/۰۳ ns
خطای آزمایش	۱۶	۱/۴۳	۱/۰۳	۱/۳۷	۱/۴۳	۱/۲۵
CV%	-	۹/۴۵	۱۲/۴	۱۳/۷	۹/۳۲	۱۳/۷

** معنی‌دار در سطح یک درصد، * معنی دار در سطح پنج درصد و ns معنی‌دار نیست.

جدول ۲- تغییرات pH، آهک و EC خاک در منطقه مورد مطالعه

شدت خشکیدگی	جهت شمالی		جهت جنوبی	
	عمق اول	عمق دوم	عمق اول	عمق دوم
		pH		
درختان سالم	۷/۳۱ b	۷/۳۸ ab	۷/۳۴ b	۷/۴۹ a
درختان خشکیده	۷/۴۱ ab	۷/۴۴ ab	۷/۴۴ ab	۷/۵۱ a
		آهک%		
درختان سالم	۲۰/۳ c	۲۵/۲ b	۲۳/۸ c	۲۹/۲ a
درختان خشکیده	۲۴/۵ b	۲۸/۸ ab	۲۷/۱ ab	۲۹/۶ a
		EC (dS m-1)		
درختان سالم	۰/۴۲ ab	۰/۳۵ b	۰/۴۴ a	۰/۳۷ b
درختان خشکیده	۰/۴۵ a	۰/۴۰ ab	۰/۴۷ a	۰/۴۲ ab

حرف یا حروف مشابه نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها در هر ستون

مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن نشان داد که آهک در عمق دوم در جهت جنوبی، در محل درختان خشکیده بیشترین مقدار قرار گرفت. همچنین کمترین مقدار مربوط به عمق اول محل درختان سالم در جهت شمالی بود. در جهت شمالی، آهک در عمق اول از ۱۹/۳ درصد در شرایط درختان سالم با ۲۶/۹ درصد افزایش به ۲۴/۵ در صد در محل درختان خشکیده رسید. آهک در عمق دوم از ۲۳/۸ درصد در محل درختان سالم با ۱۳/۹ درصد افزایش به ۲۷/۱ درصد در محل درختان خشکیده رسید. در جهت جنوبی، در عمق اول آهک از ۲۳/۸ درصد در شرایط درختان سالم با ۲۲/۳ درصد افزایش به ۲۹/۱ در صد در محل با خشکیدگی رسید و در حالت کلی، از ۲۴/۳ درصد در محل درختان سالم با ۹/۰۵ در صد افزایش به ۲۷/۵ در صد در محل درختان خشکیده

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

رسید (جدول ۲). تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تغییرات قابلیت هدایت الکتریکی در عامل اصلی عمق و برهمکنش شدت خشکیدگی در عمق در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه ای دانکن نشان داد که قابلیت هدایت الکتریکی در عمق اول در هر دو جهت شمالی و جنوبی دارای مقدار بیشتری نسبت به عمق دوم بود. هر چند در هر عمق، بین محل‌های با خشکیدگی متفاوت تغییرات معنی‌داری در شوری خاک ملاحظه نشد، اما در جهت شمالی، قابلیت هدایت الکتریکی از ۰/۴۲ دسی زیمنس بر متر در عمق اول در محل درختان سالم با ۷/۱۴ درصد افزایش به ۰/۴۵ دسی زیمنس بر متر در محل درختان خشکیده رسید. این تغییرات در عمق دوم بین ۰/۳۵ تا ۰/۴۰ دسی زیمنس بر متر بود. در جهت جنوبی، قابلیت هدایت الکتریکی از ۰/۴۴ دسی زیمنس بر متر در محل درختان سالم با ۶/۸۲ درصد افزایش به ۰/۴۷ دسی زیمنس بر متر در محل درختان خشکیده رسید. قابلیت هدایت الکتریکی در عمق دوم محل درختان سالم با ۲۳/۵ در صد افزایش به ۰/۴۲ د سی زیمنس بر متر در محل درختان خشکیده رسید (جدول ۲). در حالت کلی، قابلیت هدایت الکتریکی از ۰/۳۹ دسی زیمنس بر متر در محل درختان سالم به ۰/۴۴ دسی زیمنس بر متر در محل درختان خشکیده رسید (جدول ۲).

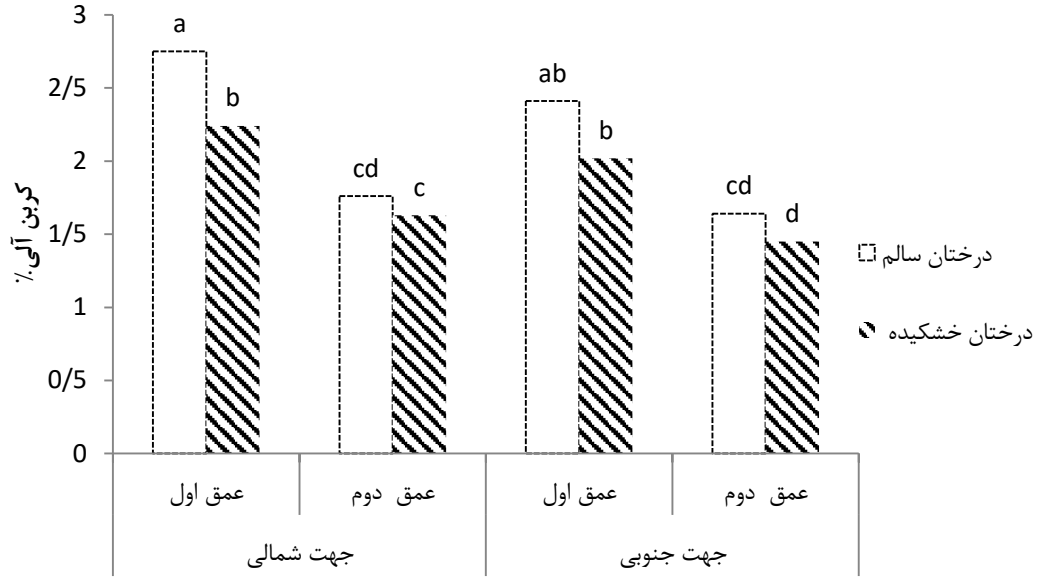
تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تغییرات کربن آلی متأثر از عامل‌های اصلی عمق و جهت در سطح یک درصد و با عامل ا صلی شدت خ شکیدگی در سطح پنج در صد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه ای دانکن نشان داد که درصد کربن آلی در تمام حالت‌ها در عمق اول نسبت به عمق دوم در گروه آماری بالاتری قرار گرفت که بیشترین در صد کربن آلی، در عمق اول محل درختان سالم در جهت شمالی مشاهده شد. همچنین کمترین م قدار مربوط به عمق دوم در ج هت جنوبی بود (شکل ۲). در جهت شمالی، کربن آلی در عمق اول از ۲/۷۵ درصد در شرایط درختان سالم به ۲/۳۴ درصد در محل درختان خشکیده رسید. در عمق دوم، کربن‌آلی از ۱/۷۶ درصد در محل درختان سالم با ۰/۱۳ درصد کاهش به ۱/۶۳ در صد در محل درختان خ شکیده ر سید. کربن‌آلی در جهت جنوبی، در عمق اول از ۲/۴۱ در صد در شرایط درختان سالم با ۰/۳۹ درصد کاهش به ۲/۰۲ درصد در محل درختان خ شکیده ر سید و در عمق دوم، از ۱/۶۴ درصد در محل درختان سالم با ۰/۱۹ درصد کاهش به ۱/۴۵ درصد در محل درختان خشکیده رسید. در حالت کلی، کربن آلی از ۲/۱۴ درصد در محل درختان سالم با ۰/۳۰ درصد کاهش به ۱/۸۴ درصد در محل درختان خشکیده رسید (شکل ۲).

جدول ۳- خلاصه تجزیه واریانس (میانگین مربعات) کربن آلی و عناصر غذایی خاک

منبع تغییرات	درجه آزادی	کربن آلی	نیتروژن کل	فسفر قابل جذب	پتاسیم قابل جذب	روی قابل جذب	آهن قابل جذب	منگنز قابل جذب
مکان	۱	۲۰/۲ ns	۸/۳۱ ns	۱/۱۲ ns	۰/۱۰۲ ns	۲/۳۱ ns	۱۵/۱ ns	۱/۸۲ ns
تکرار (مکان)	۸	۳۲۲*	۱۱۸*	۳/۰۴ ns	۴۱/۳*	۳۲۲*	۱۲/۲ ns	۷/۱۴ *
سلامت	۱	۱۵۶**	۸۵/۶*	۱/۲۶ ns	۱۰۲/۶*	۱۵۶**	۷۱/۶*	۴۱/۳*
مکان*سلامت	۱	۲۱۶*	۱۳۷*	۰/۵۰۲ ns	۶۵/۶*	۲۱۶*	۹۵/۶*	۱۰۲/۶*
خطا ۱	۸	۱/۴۲	۱/۵۱	۱/۱۲	۱/۱۲	۲/۴۱	۱/۶۱	۱/۸۶
عمق	۱	۳۲۴ **	۱۷۳**	۴/۷۲ ns	۲۰۷ **	۳۲۴ **	۱۵/۶ ns	۶۵/۶*
مکان*عمق	۱	۹۴/۶*	۹۰/۷*	۱/۳۵ ns	۹۴/۶*	۹۴/۶*	۷/۱۱ ns	۲۰۷ **
سلامت*عمق	۱	۸۲/۵*	۷۳/۷*	۰/۹۷۸ ns	۸۲/۵*	۸۲/۵*	۴/۱۶ ns	۹۴/۶*
مکان*سلامت*عمق	۱	۱۴/۲	۱۲/۱	۸/۲۹	۱۴/۲	۱۴/۲	۲/۰۵	۸۲/۵*
خطای آزمایش	۱۶	۱/۳۸	۱/۶۴	۱/۱۸	۱/۱۰	۱/۹۱	۱/۷۴	۱/۲۸
CV%	-	۱۲/۴	۱۳/۷	۱۱/۳۲	۱۰/۴	۱۲/۴	۱۴/۲۷	۱۱/۳

** معنی دار در سطح یک درصد، * معنی دار در سطح پنج درصد و ns معنی‌دار نیست

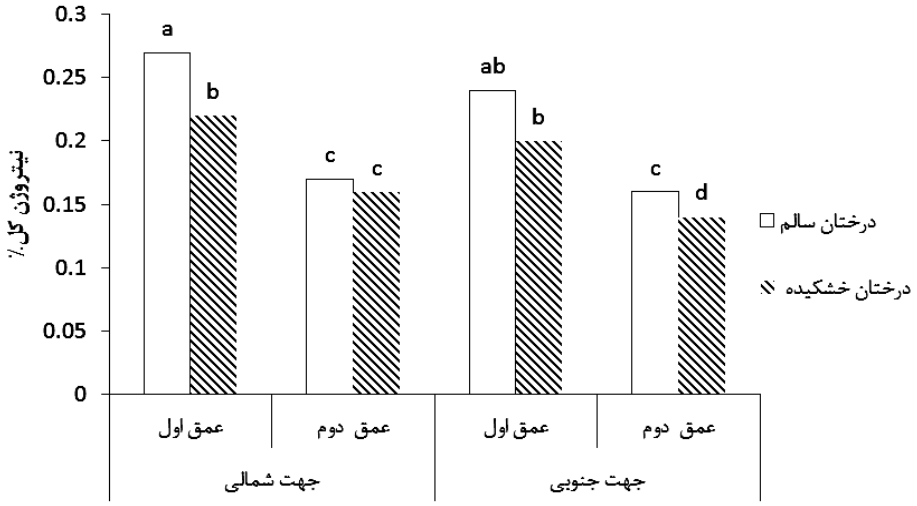
[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]



شکل ۲- تغییرات کربن آلی خاک در منطقه متأثر از خشکی

تغییرات غلظت عناصر در خاک

نیتروژن کل: مقایسه میانگین‌ها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن نشان داد که در صد نیتروژن‌کل در عمق اول در هر دو جهت شمالی و جنوبی نسبت به عمق دوم بیشترین مقدار بود و کمترین مقدار مربوط به عمق دوم بود. در جهت شمالی، نیتروژن‌کل از ۰/۲۷ درصد در عمق اول محل درختان سالم به ۰/۲۲ درصد در محل درختان خشکیده رسید. در عمق دوم، نیتروژن‌کل از ۰/۱۷ در صد در محل درختان سالم بدون تغییر معنی‌داری از نظر آماری به ۰/۱۶ درصد در محل درختان خشکیده رسید. نیتروژن‌کل در جهت جنوبی، در عمق اول از ۰/۲۴ درصد در شرایط درختان سالم به ۰/۲۰ در صد در محل درختان خشکیده رسید. در عمق دوم، نیتروژن‌کل از ۰/۱۶ در صد در محل درختان سالم به ۰/۱۴ درصد در محل درختان خشکیده رسید. در حالت کلی، نیتروژن‌کل از ۰/۲۱ درصد در محل درختان سالم به ۰/۱۸ درصد در محل درختان خشکیده رسید (شکل ۳).



شکل ۳- تغییرات نیتروژن کل خاک در منطقه متأثر از خشکی

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

فسفر قابل‌جذب: مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در هر عمق با تغییر محل از درختان سالم به طرف محل درختان خشکیده، غلظت فسفر قابل‌جذب روند کاهشی داشت. همچنین فسفر قابل‌جذب در عمق اول در گروه آماری بالاتری نسبت به عمق دوم قرار گرفت. در جهت شمالی، فسفر قابل‌جذب از ۱۱/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم در عمق اول محل درختان سالم با ۱۰/۵ درصد کاهش به ۱۰/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم در محل درختان خشکیده رسید. این تغییرات در عمق دوم بین ۷/۰۱ تا ۵/۹۳ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. در جهت جنوبی، فسفر قابل‌جذب از ۱۰/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم در عمق اول محل درختان سالم به ۹/۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم در همین عمق در محل درختان خشکیده رسید. این تغییرات در عمق دوم بین ۶/۳۴ تا ۵/۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. در حالت کلی، فسفر قابل‌جذب از ۸/۸۴ تا ۷/۶۵ میلی‌گرم در کیلوگرم در محل درختان سالم و درختان خشکیده، متغیر بود (جدول ۴).

پتاسیم قابل‌جذب: مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه ای دانکن نشان داد که پتاسیم قابل جذب در جهت شمالی، در عمق اول محل درختان سالم با غلظت ۳۳۷ میلی‌گرم در کیلوگرم در بیشترین مقدارقرار گرفت. همچنین کمترین مقدار مربوط به عمق دوم در محل درختان خشکیده در جهت جنوبی با غلظت ۲۵۱ میلی‌گرم در کیلوگرم بود (جدول ۴).

جدول ۴- تغییرات غلظت فسفر و پتاسیم (بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم) در خاک

شدت خشکیدگی	جهت شمالی		جهت جنوبی	
	عمق اول	عمق دوم	عمق اول	عمق دوم
	فسفر			
درختان سالم	۱۱/۴a	۷/۰۱bc	۱۰/۶ab	۶/۳۴bc
درختان خشکیده	۱۰/۲ab	۵/۹۳c	۹/۲۱b	۵/۲۵c
	پتاسیم			
درختان سالم	۳۳۷a	۲۸۲b	۳۱۶ab	۲۷۲bc
درختان خشکیده	۲۸۱b	۲۶۱bc	۲۷۱bc	۲۵۱c

حرف یا حروف مشابه نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها

در جهت شمالی، پتاسیم قابل‌جذب با ۱۶/۶ درصد کاهش از ۳۳۷ میلی‌گرم در کیلوگرم در عمق اول در شرایط درختان سالم به ۲۸۱ میلی‌گرم در کیلوگرم در محل درختان خشکیده رسید. در عمق دوم، پتاسیم قابل جذب از ۲۶۱ میلی‌گرم در کیلوگرم در محل درختان خشکیده با ۸/۰۵ درصد افزایش به ۲۸۲ میلی‌گرم در کیلوگرم در محل درختان سالم رسید (جدول ۴). پتاسیم قابل‌جذب در عمق اول جهت جنوبی، از ۳۱۶ میلی‌گرم در کیلوگرم در شرایط درختان سالم با ۱۴/۲ درصد کاهش به ۲۷۱ میلی‌گرم در کیلوگرم در محل با خشکیدگی رسید. پتاسیم قابل‌جذب در عمق دوم از ۲۷۲ میلی‌گرم در کیلوگرم در محل درختان سالم با ۷/۷۲ در صد کاهش به ۲۵۱ میلی‌گرم در کیلوگرم در محل درختان خشکیده رسید. در حالت‌کلی، پتاسیم قابل‌جذب، از ۳۰۲ میلی‌گرم در کیلوگرم در محل درختان سالم با ۱۱/۹ درصد کاهش به ۲۶۶ میلی‌گرم در کیلوگرم در محل درختان خشکیده رسید (جدول ۴) .

تغییرات غلظت کلسیم و منیزیم: مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه ای دانکن نشان داد که غلظت کلسیم محلول در عمق اول بیشتر از غلظت آن در عمق دوم بود. همچنین در هر دو شیب شمالی و جنوبی مورد مطالعه، کمترین مقدار مربوط به عمق دوم بود. به‌طوری که در جهت شمالی، کلسیم محلول از ۳/۱۳ میلی‌اکی‌والان در لیتر در عمق اول محل درختان سالم با ۱۰/۲ درصد افزایش به ۳/۴۵ میلی‌اکی‌والان در لیتر در محل درختان خشکیده رسید. این تغییرات در عمق دوم بین ۲/۵۱ تا ۲/۸۳ میلی‌اکی‌والان بر لیتر متغیر بود. در جهت جنوبی،

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

غلظت کلسیم محلول از ۳/۳۱ میلی‌اکی‌والان بر لیتر در عمق اول محل درختان سالم با ۷/۵۵ درصد افزایش به ۳/۵۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر در محل درختان خشکیده رسید. این تغییرات در عمق دوم بین ۲/۷۸ تا ۳/۱۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر و در حالت کلی از ۲/۹۳ تا ۳/۲۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر متغیر بود (جدول ۵).

جدول ۵- تغییرات غلظت کلسیم و منیزیم (بر حسب میلی‌اکی‌والان در لیتر)

شدت خشکیدگی	جهت شمالی		جهت جنوبی	
	عمق اول	عمق دوم	عمق اول	عمق دوم
		کلسیم		
درختان سالم	۳/۱۳ab	۲/۵۱b	۳/۳۱a	۲/۷۸b
درختان خشکیده	۳/۴۵a	۲/۸۳ab	۳/۵۶a	۳/۱۶ab
		منیزیم		
درختان سالم	۱/۲۶ab	۱/۰۳b	۱/۴۶a	۱/۲۹b
درختان خشکیده	۱/۵۲a	۱/۳۲ab	۱/۶۱a	۱/۳۵ab

حرف یا حروف مشابه نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها

آزمون چند دامنه‌ای دانکن نشان داد که غلظت منیزیم محلول در عمق اول بیشتر از غلظت آن در عمق دوم بود. همچنین در هر دو جهت مورد مطالعه، کمترین مقدار مربوط به عمق دوم بود. در این مورد نیز غلظت منیزیم محلول روند افزایشی داشت به‌طوری‌که در جهت شمالی، منیزیم محلول از ۱/۲۶ میلی‌اکی‌والان در لیتر در عمق اول محل درختان سالم با ۲۰/۶ درصد افزایش به ۱/۵۲ میلی‌اکی‌والان در لیتر در محل با خشکیدگی شدید رسید. این تغییرات، در عمق دوم، بین ۱/۰۳ تا ۱/۳۲ میلی‌اکی‌والان بر لیتر متغیر بود. در جهت جنوبی، منیزیم محلول از ۱/۴۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر در عمق اول محل درختان سالم با ۱۰/۳ درصد افزایش به ۱/۶۱ میلی‌اکی‌والان بر لیتر در محل با خشکیدگی رسید. این تغییرات در عمق دوم بین ۱/۲۹ تا ۱/۳۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر و در حالت کلی در این جهت از ۱/۲۶ تا ۱/۴۴ میلی‌اکی‌والان بر لیتر متغیر بود (۵).

تغییرات غلظت عناصر کم مصرف در خاک:

مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن نشان داد که غلظت روی قابل جذب در هر دو جهت مطالعاتی در عمق اول محل درختان سالم در گروه آماری بیشترین مقدار بود. همچنین کمترین مقدار مربوط به عمق دوم در محل درختان خشکیده در جهت جنوبی مشاهده شد. در جهت شمالی، غلظت روی قابل جذب در عمق اول از ۲/۲۷ میلی‌گرم در کیلوگرم در شرایط درختان سالم با ۲۴/۶ درصد کاهش به ۱/۷۱ میلی‌گرم در کیلوگرم در محل درختان خشکیده رسید. در عمق دوم، روی قابل جذب از ۱/۵۷ میلی‌گرم در کیلوگرم در محل درختان سالم با ۱۰/۲ درصد کاهش به ۱/۴۱ میلی‌گرم در کیلوگرم در محل با خشکیدگی رسید (جدول ۶).

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

جدول ۶- تغییرات غلظت عناصر کم مصرف (بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم) در خاک

شدت خشکیدگی	جهت شمالی		جهت جنوبی	
	عمق اول	عمق دوم	عمق اول	عمق دوم
		روی		
درختان سالم	۲/۲۷a	۱/۵۷b	۲/۱۳ab	۱/۴۸bc
درختان خشکیده	۱/۷۱b	۱/۴۱c	۱/۵۵b	۱/۴۱c
		آهن		
درختان سالم	۱۰/۲a	۸/۸۱b	۱۰/۱a	۸/۷۳b
درختان خشکیده	۹/۳ab	۸/۷۵b	۹/۱۱ab	۸/۶۵b
		منگنز		
درختان سالم	۱۳/۳a	۹/۸۱b	۱۲/۵a	۹/۵۱b
درختان خشکیده	۱۲/۲ab	۹/۲۱b	۱۱/۷ab	۹/۱۱b
		مس		
درختان سالم	۱/۵۳b	۱/۲۲c	۱/۴۸b	۱/۱۶c
درختان خشکیده	۱/۷۴a	۱/۳۵c	۱/۴۹b	۱/۱۴c

حرف یا حروف مشابه نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها

غلظت آهن قابل جذب در عمق اول جهت جنوبی، از ۱۱/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم در شرایط درختان سالم با ۹/۰۱ درصد کاهش به ۱۰/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم در محل با خشکیدگی رسید. آهن قابل جذب در عمق دوم از ۹/۷۳ میلی گرم در کیلوگرم در محل درختان سالم به ۹/۶۵ میلی‌گرم در کیلوگرم در محل با خشکیدگی رسید که تفاوت معنی‌داری نشان نداد. در حالت کلی، آهن قابل جذب از ۱۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم در محل درختان سالم بدون اختلاف معنی‌داری به ۹/۹۵ میلی‌گرم در کیلوگرم در محل با خشکیدگی رسید (جدول ۶).

غلظت منگنز قابل‌جذب در هر دو جهت مطالعاتی در عمق اول بیشتر از عمق دوم بود. در جهت شمالی، منگنز قابل جذب در عمق اول از ۱۴/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم در شرایط درختان سالم با ۷/۹۶ درصد کاهش به ۱۳/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم در محل با خشکیدگی رسید. منگنز قابل جذب در عمق دوم، در محل درختان سالم ۱۰/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم و در محل با خشکیدگی ۱۰/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بود (جدول ۶).

تغییرات غلظت عناصر غذایی در برگ درختان بلوط متأثر از خشکیدگی: نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به تغییرات غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در برگ درختان بلوط در جدول ۷ آمده است.

جدول ۷- خلاصه تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عناصر غذایی پرمصرف

منبع تغییرات	درجه آزادی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم
سال	۲	۲۰/۲ ns	۸/۳۱ ns	۱/۱۲ ns
تکرار(سال)	۱۲	۱۱/۷ns	۴/۶*	۱/۱۷ ns
شدت خشکیدگی	۱	۳۲۲*	۱۱۸*	۴۳/۰۴ **
سال*خشکیدگی	۲	۳۲۴ ns	۱۷۳ ns	۴/۷۲ ns
جهت شیب	۱	۹۴/۶*	۸۶/۷*	۱۱/۳ *
سال*جهت شیب	۲	۱۴/۲	۱۲/۱	۸/۲۹
خشکیدگی*جهت شیب	۱	۶۷/۴*	۳۲/۷*	۵۲/۳*
سال*خشکیدگی*جهت شیب	۲	۱۸/۷ns	۱۰/۶*	۱/۷۷ ns
خطای آزمایش	۱۲	۱۰/۱	۱۴/۷	۱۱/۹
CV%		۱۶/۷	۱۸/۳	۱۵/۴

** معنی دار در سطح یک درصد، * معنی دار در سطح پنج درصد و ns معنی‌دار نیست.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

در سال اول، درصد نیتروژن در برگ درختان بلوط در سال اول در جهت شمالی از ۱/۷۲ درصد در محل درختان سالم به ۱/۶۶ درصد در محل درختان خشکیده رسید. درصد نیتروژن در برگ درختان بلوط در جهت جنوبی، از ۱/۷۰ در صد در شرایط درختان سالم به ۱/۶۳ در صد در محل درختان خشکیده رسید. در سال دوم و سوم نسبت به سال اول تغییرات معنی‌داری مشاهده نشد و تغییرات در درصد نیتروژن برگ درختان بلوط مشابه سال اول بود. کمترین غلظت نیتروژن در طول سه سال اجرای تحقیق در محل درختان خشکیده در جهت جنوبی مربوط به سال دوم با غلظت ۱/۶۱ درصد بود. درصد نیتروژن در حالت کلی، از ۱/۶۷ درصد در محل درختان سالم به ۱/۶۴ درصد در محل با خشکیدگی رسید (جدول ۸).

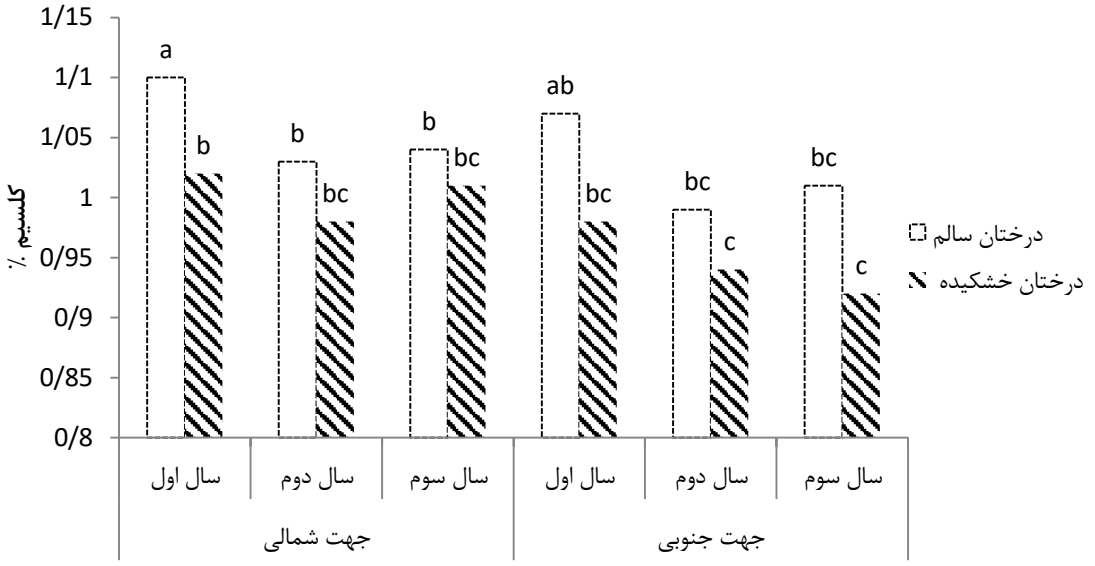
جدول ۸- تغییرات غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم (بر حسب درصد) در برگ درختان بلوط

شدت خشکیدگی	سال اول		سال دوم		سال سوم	
	جهت شمالی	جهت جنوبی	جهت شمالی	جهت جنوبی	جهت شمالی	جهت جنوبی
			نیتروژن			
درختان سالم	۱/۷۲a	۱/۶۸ab	۱/۷۰a	۱/۶۳b	۱/۷۰a	۱/۶۲b
درختان خشکیده	۱/۶۷ab	۱/۶۲b	۱/۶۵ab	۱/۶۳b	۱/۶۵ab	۱/۶۱b
			فسفر			
درختان سالم	۰/۲۶a	۰/۲۳ab	۰/۲۴ab	۰/۲۳ab	۰/۲۴ab	۰/۲۲ab
درختان خشکیده	۰/۲۴ab	۰/۲۱b	۰/۲۲b	۰/۲۰b	۰/۲۱b	۰/۲۱b
			پتاسیم			
درختان سالم	۱/۱۴a	۱/۰۹ab	۱/۱۳a	۱/۰۸ab	۱/۱۱a	۱/۰۹ab
درختان خشکیده	۱/۰۳b	۱/۰۲b	۱/۰۵b	۱/۰۳b	۱/۰۳b	۱/۰۱b

حرف یا حروف مشابه نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها

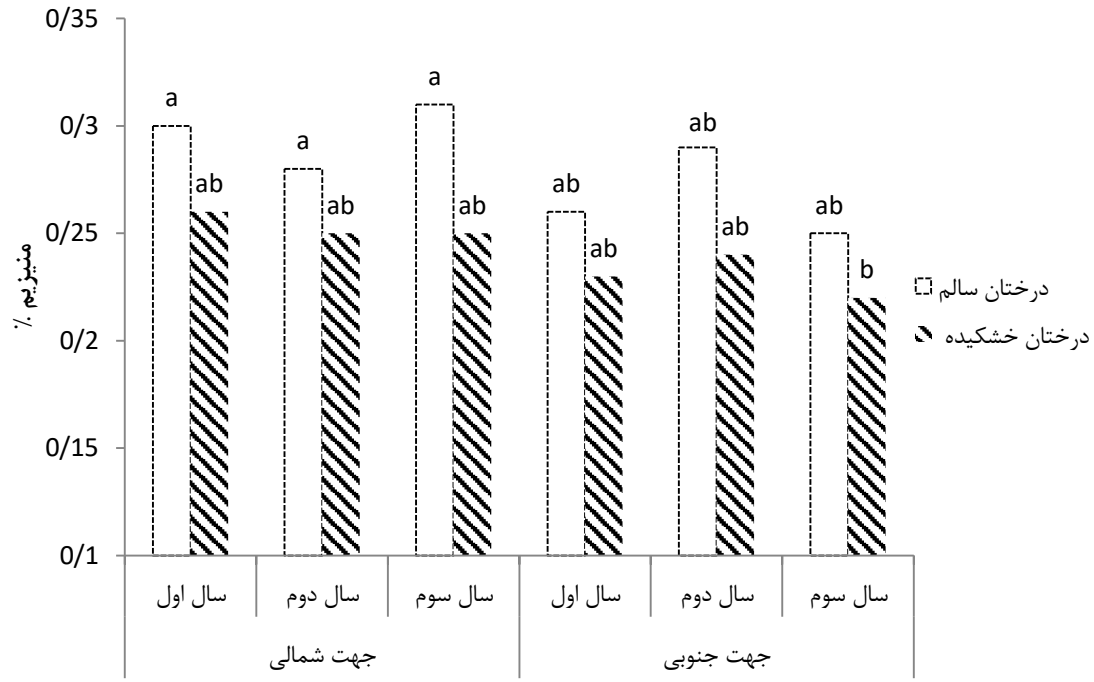
درصد فسفر در جهت شمالی از ۰/۲۶ درصد در محل درختان سالم به ۰/۲۴ درصد در محل با خشکیدگی رسید. غلظت فسفر در جهت جنوبی، در شرایط درختان سالم با ۲۰/۱ درصد کاهش به ۰/۱۶۲ درصد در محل با خشکیدگی رسید. کمترین غلظت فسفر در طول سه سال اجرای تحقیق در محل درختان خشکیده در جهت جنوبی مربوط به سال سوم با غلظت ۰/۲۰ در صد بود. غلظت فسفر در حالت کلی، از ۰/۲۴ درصد در محل درختان سالم با ۸/۳۳ درصد کاهش به ۰/۲۲ درصد در محل با خشکیدگی رسید (جدول ۸). درصد پتاسیم در جهت شمالی از ۱/۱۴ درصد در محل درختان سالم به ۱/۰۳ درصد در محل با خشکیدگی رسید. همچنین درصد پتاسیم در جهت جنوبی، از ۱/۱۳ در صد در شرایط درختان سالم به ۱/۰۲ درصد در محل با خشکیدگی رسید. در سال دوم و سوم، تغییرات در درصد پتاسیم برگ درختان بلوط مشابه سال اول بود. کم‌ترین غلظت پتاسیم در طول سه سال اجرای تحقیق در محل درختان خشکیده در جهت جنوبی مربوط به سال سوم با غلظت ۱/۰۱ درصد بود. درصد پتاسیم در حالت کلی، از ۱/۱۱ درصد در محل درختان سالم به ۱/۰۲ در صد در محل با خشکیدگی رسید (جدول ۸). در سال اول، غلظت کلسیم برگ درختان بلوط در جهت شمالی از ۱/۱۰ درصد در محل درختان سالم به ۱/۰۲ درصد در محل درختان خشکیده رسید. غلظت کلسیم در جهت جنوبی، از ۱/۰۷ در صد در شرایط درختان سالم به ۰/۹۸ درصد در محل با خشکیدگی رسید. در سال دوم این پژوهش، مشخص شد که غلظت کلسیم برگ درختان بلوط در جهت شمالی با کاهش معنی‌داری مواجه شد بطوری‌که غلظت کلسیم از ۱/۱۰ درصد در جهت شمالی به ۱/۰۳ در صد در جهت جنوبی رسید. کمترین غلظت کلسیم در طول سه سال اجرای تحقیق در محل درختان خشکیده در جهت جنوبی مربوط به سال سوم با غلظت ۰/۹۴ درصد بود. غلظت کلسیم در حالت کلی، از ۱/۰۴ در صد در محل درختان سالم با ۶/۷۳ درصدکاهش به ۰/۹۷ درصد در محل درختان خشکیده رسید (شکل ۴).

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]



شکل ۴-تغییرات غلظت کلسیم در برگ درختان بلوط

مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه ای دانکن نشان داد که در سال اول، غلظت منیزیم در جهت شمالی از ۰/۳۰ درصد در محل درختان سالم به ۰/۲۶ درصد در محل با خشکیدگی رسید. غلظت منیزیم در جهت جنوبی، در شرایط درختان سالم ۰/۲۸ در صد و در محل درختان خشکیده ۰/۲۵ در صد بود. در سال دوم و سوم، تغییرات معنی‌داری نسبت به سال اول مشاهده نشد. غلظت منیزیم در حالت کلی، از ۰/۲۸ درصد در محل درختان سالم به ۰/۲۵ درصد در محل با خشکیدگی رسید (جدول ۵).



شکل ۵-تغییرات غلظت منیزیم در برگ درختان بلوط

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

غلظت روی در جهت شـــمالی از ۲۷/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشـــک گیاهی در محل درختان ســـالم با ۱۴/۵ کـاهش بـه ۲۳/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم در محـل درختان خ شکیده ر سید. غلظت روی در جهت جنوبی، در شـــرایط درختان ســـالم با ۱۵/۹ درصـــد کاهش از ۲۶/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم به ۲۲/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم در محل با خشکیدگی رسید. در سال دوم اجرای این پژوهش، کـاهش معنی‌داری در غلظـت روی در برخی از موارد از جمله در جهت شـــمالی درختان ســـالم مشـــاهده شـــد، بـه‌طوری‌کـه غلظـت روی برگ درختـان بلوط از ۲۷/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم در سال اول با۷/۶۴ درصد کاهش به ۲۵/۴ میلی گرم در کیلوگرم در ســـال دوم رســـید. اما در ســـال ســـوم نســـبت به ســـال دوم اجرای تحقیق، تغییرات غلظت روی برگ تفاوت‌های معنی‌داری با هم نداشـــتند. غلظت روی در حالت کلی، از ۲۵/۷ میلی گرم در کیلوگرم در محل درختان ســـالم با ۱۳/۶ درصـــد کاهش به ۲۲/۲ میلی گرم در کیلوگرم در محل درختان خشـــکیده رســـید (جدول ۹).

جدول ۹- تغییرات غلظت عناصر کم مصرف در برگ درختان بلوط

شدت خشکیدگی	سال اول		سال دوم		سال سوم		میانگین
	جهت شمالی	جهت جنوبی	جهت شمالی	جهت جنوبی	جهت شمالی	جهت جنوبی	
				روی			
درختان سالم	۲۷/۵a	۲۶/۳ab	۲۵/۴b	۲۵/۱b	۲۴/۷bc	۲۵/۱b	۲۵/۷A
درختان خشکیده	۲۳/۵bc	۲۲/۱cd	۲۳/۱c	۲۱/۸d	۲۲/۱cd	۲۱/۴d	۲۲/۳B
				آهن			
درختان سالم	۱۷۴a	۱۷۷a	۱۶۹ab	۱۶۸ab	۱۷۶a	۱۷۵a	۱۷۳a
درختان خشکیده	۱۶۷ab	۱۶۵ab	۱۶۱b	۱۶۳b	۱۶۹ab	۱۶۶ab	۱۶۵a
				منگنز			
درختان سالم	۳۳/۱a	۳۱/۹ab	۳۴/۳a	۳۰/۷ab	۳۲/۴ab	۲۹/۶ab	۳۲/۰a
درختان خشکیده	۲۹/۹ab	۳۰/۲ab	۲۷/۴b	۲۹/۸ab	۲۸/۵ab	۲۷/۴b	۲۸/۹a
				مس			
درختان سالم	۵/۷۳ab	۵/۸۲a	۵/۵۱ab	۵/۴۶ab	۵/۲۸b	۴/۸۴bc	۵/۴۴a
درختان خشکیده	۵/۳۱b	۵/۲۹b	۵/۱۶b	۵/۰۳b	۴/۸۷c	۴/۶۸c	۵/۰۶a

حرف یا حروف مشابه نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها

بحث و نتیجه‌گیری

در روی شگاه‌های زاگرس در ایلام، شرایط اکولوژیکی تحت تأثیر خاک‌های با تحول کم (انتی سول‌ها و اینسپتیسول‌ها) و اثرپذیری از بادهای غالب غربی و هدررفت رطوبت قرار دارد. تغییر پذیری ویژگی های شـــیمیایی خاک در این شرایط، در حفظ یا زوال پوشش گیاهی تعیین‌کننده است. کربن آلی در منطقه مورد مطالعه از سـطح خاک به طرف عمق کاهش معنی‌دار نشان داد. زیاد بودن میزان کربن آلی در سطح به بقایای گیاهی و برگ‌های این گیاهان نسبت داده شده و اعتقاد بر این ا ست که باعث ا صلاح و بهبود ویژگی‌های فیزیکی و بیولوژیکی خاک می‌شـود (Sun et al., 2021). همچنین کـاهش کربن آلی نیز از محـل درختان سالم به طرف محل با خ شکیدگی م شاهده شد. کمتر بودن مـاده آلی و عنـاصـــر غـذایی در محـل بـا خ شکیدگی، بی شتر نا شی از فر سایش خاک و کاهش در برگشت اندام هوایی گیاهی در آنها ا ست (Siegenthaler et al., 2022). در مورد نیتروژن کل در لا یه ســـطحی تفاوت میانگین ها در محل درختان ســـالم با محل با خشـــکیـدگی، از نظر آمـاری معنی‌دار بود امـا در لایـه زیرســـطحی این تفاوت‌ها معنی‌دار نبود. با این‌حال روند کاهشـــی از محل درختان ســـالم به طرف محل درختان خشکیده، به وضوح قابل ملاحظه بوده و به نظر می‌رسد که با گذشـــت زمان به تدریج این اختلاف‌ها معنی‌دار خواهند شد. با توجه به نقش نیتروژن در ر شد رویشی، گلدهی و تشکیل و درشت شدن میوه می‌توان گفت که در خاک‌های منطقه ماندگاری مواد آلی خاک به سبب تجزیه سریع کم است و نیتروژن برای مدت زمان کمتری در دسترس ریشه قرار دارد. با توجه به این که بخش زیادی از ذخیره نیتروژن خاک در ماده آلی خاک وجود دارد (لایه ســطحی) و این که مقدار ماده آلی در لایه ســطحی به مراتب بیشـــتر از

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

لایه‌های زیرسطحی است بنابراین بیشتر بودن نیتروژن در لایه سطحی نسبت به لایه‌های زیر سطحی طبیعی است (Liu et al., 2018). تغییرات نیتروژن در اطراف درختان بلوط گزارش شده‌است به طوری که در زیر سایه‌انداز، غلظت نیترات بیشتری نسبت به لبه سایه‌انداز قابل اندازه گیری بود (Tatsumi et al., 2021). از دلایل انباشتگی نیترات، تولید بیشتر آن نسبت به نیترات زدایی است. در مورد فسفر نیز که شامل دو بخش فسفر آلی و فسفر معدنی است ارتباط مستقیمی با وضعیت ماده‌آلی دارد که در منطقه مورد مطالعه نیز مشهود بود. محل هایی که شدت خشکیدگی بیشتری دارند دارای ماده‌آلی و فسفر قابل جذب کمتری هستند همچنین این عنصر کمتر دچار آبشویی می‌شود. در جهت شمالی، فسفر قابل جذب از ۷/۰۱ میلی‌گرم در کیلوگرم در عمق دوم محل درختان سالم با ۱۵/۴ درصد کاهش به ۵/۹۳ میلی‌گرم در کیلوگرم در محل درختان خشکیده رسید. مقدار فسفر متناسب با افزایش ماده‌آلی افزایش می‌یابد (Kumar et al., 2021). ریشه گیاهان و ریزموجودات با ترشح آنزیم اسید فسفاتاز و فیتاز موجب ایجاد ترکیبات آلی و افزایش قابلیت جذب فسفر می‌شوند. به‌دلیل وجود شرایط آهکی و تثبیت فسفر توسط رس‌ها، فسفر با کلسیم به‌صورت فلوئورآپاتیت و هیدروکسی‌آپاتیت رسوب می‌کند (Pastore et al., 2022). در مورد پتاسیم قابل جذب خاک، با توجه به نتایج بدست آمده، تفاوت‌هایی در بین محل‌ها و عمق‌های مختلف وجود دارد که به دلیل اختلاف در سرعت هوادیدگی در افق سطحی آن‌ها نسبت به افق زیر سطحی است. چنانچه پتاسیم آزاد شده در اثر فرآیند هوادیدگی بیش از مقداری باشد که گیاه جذب می‌کند، امکان ذخیره باقیمانده پتاسیم در خاک وجود دارد. در جهت شمالی پتاسیم قابل جذب در عمق اول از ۳۳۷ میلی‌گرم در کیلوگرم در شرایط درختان سالم با ۱۶/۶ درصد کاهش به ۲۸۱ میلی گرم در کیلوگرم در محل با خشکیدگی رسید. در عمق پایین‌تر هر چند درصد رس افزایش یافت، اما با توجه به بحث هوادیدگی کانی‌ها که بسیار کمتر از سطح است، غلظت پتاسیم قابل‌جذب که بیشتر ناشی از هوادیدگی کانی‌ها است، تغییرات قابل ملاحظه‌ای نیافته است. علاوه بر این، برخی از عناصر کم‌مصرف هم تا حدودی از این روند تبعیت می‌کنند. در خاک‌های آهکی درصد تثبیت عناصر روی، آهن و منگنز زیاد است (Song et al., 2022). بخش مهمی از حلالیت و قابلیت استفاده آهن در خاک به اثر ماده‌آلی مربوط است (Velez-Bermúdez et al., 2023). همچنین در تحقیق حاضر، تغییرات غلظت عناصر کم مصرف از سطح به عمق روند کاهشی نشان داد. در تأیید این موضوع، تحقیقات در مورد توزیع عناصر کم مصرف نشان داد که در تمام موارد از افق‌های سطحی به سمت پایین، غلظت عناصر کم مصرف کاهش یافت. غلظت منگنز در حالت کلی در هر دو جهت شمالی و جنوبی، در محل درختان سالم نسبت به محل درختان خشکیده روند کاهشی معنی‌داری داشت. کاهش ماده آلی و افزایش کربنات کلسیم باعث کاهش قابلیت استفاده عناصر روی و منگنز شده است. عناصر روی، منگنز و آهن در بیشتر فعالیت‌های آنزیمی حیاتی گیاه شرکت دارد و هرچند نیاز به آنها از نظر کمیت کم است، نقش بسیار مهمی در رشد و نمو گیاه دارند. عنصر روی ازجمله عناصر ضروری برای رشد گیاه است که در تشکیل اسید ایندول استیک دخالت دارد و رشد گیاه را تنظیم می‌کند و همچنین باعث فعال شدن بسیاری از آنزیم‌ها می‌شود و از این نظر برای سنتز کلروفیل و تشکیل کربوهیدرات‌ها ضروری است (Zukswert et al., 2021). در منطقه مورد مطالعه در مورد مس، روند غلظت این عنصر برعکس سایر عناصر کم‌مصرف، از محل درختان سالم به طرف محل درختان دارای زوال، افزایشی بود. غلظت بالای مس باعث مسمومیت در گیاه می‌شود. جهت شیب بسیار اثرگذار است و علت آن را باید در تغییرات در دریافت ماده و انرژی در جهت شمالی نسبت به جهت جنوبی دانست. این نتیجه را می‌توان به دلیل تغییر دمای خاک و توانایی حفظ رطوبت بیشتر شیب شمالی نسبت به شیب جنوبی دانست که حفظ مواد آلی بیشتر و کاهش سرعت تجزیه را نسبت به شیب جنوبی به دنبال دارد. در حالت کلی در مورد غلظت عناصر غذایی می‌توان گفت که روند تغییرات از محل درختان سالم به طرف محل درختان خشکیده، کاهشی بود، اما در این شرایط، فراهمی بیشتر عناصری مانند پتاسیم در خاک توانست جذب سایر عناصر غذایی را بهبود بخشد (Vidal et al., 2021). پژوهش‌های بیشتری به‌منظور تعیین رابطه تغییرات ویژگی‌های شیمیایی خاک و عناصر غذایی در برگ درختان بلوط بر وضعیت درختان، به‌ویژه از نظر خشکیدگی مورد نیاز است. باتوجه به نقش سطح ریشه و تغییرات حاصل از فعالیت ریشه‌ها بر قابلیت

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

جذب عناصر غذایی، اطلاع از تغییرات قابلیت استفاده عناصرغذایی در ریزوسفر و سهولت جذب و انتقال آن‌ها برای درک بهتر این روابط، ضروری است. در همین راستا می‌توان وضعیت عناصر غذایی را در شرایط رطوبتی مختلف مورد بررسی قرار داد. همچنین، از آن جایی که تحمل به تنش‌های زیستی و کلیماتولوژی تحت تأثیر حاصلخیزی خاک است با افزایش نسبت N:K و مصرف روی و پتاسیم به‌دلیل همکنش مثبت باعث افزایش کارایی آب می‌شود. پتاسیم با افزایش هیدراسیون پروتوپلاسم سبب افزایش تحمل گیاه در برابر تنش خشکسالی می‌گردد (Basak et al., 2022)؛ لذا تحقیقات بیشتری در زمینه نحوه مصرف این عناصر و همچنین عناصر کم‌مصرف مانند روی و منگنز باید انجام شود. با توجه به اثرات آنتاگونیسمی بین عناصر غذایی، لزوم توجه دقیق‌تر به این موضوع حائز اهمیت است. در اسیدیته زیاد، جذب عناصر به‌ویژه عناصر کم‌مصرف دچار اختلال می‌شود. عناصری مانند روی، در داخل گیاه توانایی انتقال مجدد خود را از دست می‌دهند؛ لذا برای اصلاح وضعیت تغذیه ای درختان در شرایط بحرانی، محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف مناسب‌تر است.س

در حالت‌کلی می‌توان اظهار داشت که با توجه به شدت بیشتر خشکیدگی در خاک‌هایی که کربن‌آلی، پتاسیم و روی کمتری دارند، پیشنهاد می‌شود در جهت اصلاح آن‌ها اقدام شود. همچنین اقداماتی از جمله قرق چرخشی زیرا شکوب مناطق جنگلی و تبدیل شاخه‌هی خشکیده به بیوچار و برگرداندن به خاک از جمله راهکارهای بهبود وضعیت حاصلخیزی خاک محسوب می‌گردند. به‌طورکلی نتایج این پژوهش نشان داد که روند تغییرات غلظت عناصر غذایی از محل درختان سالم به‌طرف محل درختان در حال خشکیدن، کاهشی بود. از آنجاکه عناصر پتاسیم و روی از جمله عناصر ضروری رشد گیاه هستند که به ترتیب در باز و بسته شدن روزنه‌ها و تشکیل اسید ایندول استیک دخالت دارند و رشد گیاه را تنظیم می‌کنند، لذا کاهش غلظت آن‌ها در برخی از مناطق در خاک جنگل، بر شدت اثر خشکیدگی می‌افزاید. از نتایج چنین تحقیقاتی می‌توان در جهت احیاء و اصلاح پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه و مناطق مشابه استفاده نمود. تعیین ویژگی‌های با اهمیت خاک از نظر توان تحمل درختان به شرایط نامناسب محیطی به‌ویژه آهک به‌عنوان عامل منفی و عناصر غذایی مانند پتاسیم و روی به‌عنوان عوامل مثبت می‌تواند در مدیریت بهتر جنگل کمک‌کننده باشد. با توجه به تشدید خشکی درختان در شرایط کاهش نیتروژن، پتاسیم و روی، باید نسبت به حفظ ماده آلی، محلول‌پاشی عناصر روی و پتاسیم به‌ویژه در نهال‌کاری‌های جدید اقدام نمود. حفظ بقایای گیاهی، جلوگیری از تراکم خاک و به هم خوردن خاک، برگرداندن شاخه‌ها، ساقه ها و تنه‌های خشکیده درختان به خاک از طریق روش‌های مختلف مانند تولید بیوچار را می‌توان از جمله پیشنهادها برای تعدیل ویژگی‌های خاک مطرح کرد.

منابع

Acevedo-Siaca, L.G., Głowacka, K., Driever, S.M., Salesse-Smith, C.E., Lugassi, N., Granot, D., Long, S.P., Kromdijk, J. 2022. Guard-cell-targeted overexpression of Arabidopsis Hexokinase can improve water use efficiency in field-grown tobacco plants. Journal of Experimental Botany, 73:5745-5757.

Alichaev, M.M., Sultanova, M.G., Musalaeva, P.D. 2022. Differentiation of soil processes by stages of soil formation in the regions of a dry climatic belt. Arid Ecosystems, 12:382-388.

Basak, B.B., Maity, A., Ray, P., Biswas, D.R., Roy, S. 2022. Potassium supply in agriculture through biological potassium fertilizer: A promising sustainable option for developing countries. Archives of Agronomy Soil Science, 68:101-114.

Camponi, L., Cardelli, V., Cocco, S., Serrani, D., Salvucci, A., Cutini, A., Corti, G. 2022. Effect of coppice conversion into high forest on soil organic C nutrients stock in a Turkey oak (Quercus cerris L.) forest in Italy. Journal of Environmental Management, 312:114935.

Chandler, K.R., Chappell, N.A. 2008. Influence of individual oak (Quercus robur) trees on saturated hydraulic conductivity. Forest Ecology Management. 256:1222-1229.

Ding, J., Eldridge, D.J. 2021. The fertile isl effect varies with aridity plant patch type across an extensive continental gradient. Plant Soil, 459:73-183.

Gonzalez de res, E., Gazol, A., Querejeta, J.I., Igual, J.M., Colangelo, M., Sanchez-Salguero, R., Linares, J.C., Camarero, J.J. 2022. The role of nutritional impairment in

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

Amercen Society of Agronomy, Madison, WI., USA.

Pastore, G., Weig, A.R., Vazquez, E., Spohn, M. 2022. Weathering of calcareous bedrocks is strongly affected by the activity of soil microorganisms. Geoderma, 405:115408.

Santos, E.F., Mateus, N.S., Rosario, M.O., Garcez, T.B., Mazzafera, P., Lavres, J. 2021. Enhancing potassium content in leaves stems improves drought tolerance of eucalyptus clones. Physiologia Plantarum, 172:552-563.

Siegenthaler, M.B., Ramoneda, J., Frossard, E., Meszaros, E. 2022. Microbial community responses to phosphorus nitrogen inputs in the organic soil horizons of two contrasting temperate beech forests. Applied Soil Ecology, 172:104357.

Song, T., Huang, C., Yang, H., Liang, J., Ma, Y., Xu, C., Li, M., Liu, X., Zhang, L. 2022. Characterization of soil-plant leaf nutrient elements key factors affecting mangoes in Karst areas of southwest China. L, 11:970.

Sun, X., Wang, G., Ma, Q., Liao, J., Wang, D., Guan, Q., Jones, D.L. 2021. Organic mulching promotes soil organic carbon accumulation to deep soil layer in an urban plantation forest. Forest Ecosystems, 8:1-11.

Tatsumi, C., Azuma, W.A., Ogawa, Y., Komada, N. 2021. Nitrogen availability microbial communities of canopy soils in a large Cercidiphyllum japonicum tree of a cool-temperate old growth forest. Microbial Ecology, 82:919-931.

Velez-Bermudez, I. C., Schmidt, W. 2023. Plant strategies to mine iron from alkaline substrates. Plant Soil, 483:1-25.

Vidal, E.H., Macias, F.B., Deras, F.G.V., Alemn, L.G., Torres, A.G., Cepeda, R.D.V. 2021. Compositional nutrient diagnosis (CND) stards for *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller Rojo Pelon Fruiting. Journal of the Professional Association for Cactus Development, 23:79-93.

Xue, J., Bakker, M.R., Milin, S., Graham, D. 2022. Enhancement in soil fertility, early plant growth nutrition mycorrhizal colonization by vermicompost application varies with native exotic tree species. Journal of Soils Sediments, 19:124-131.

Yaffar, D., Defrenne, C.E., Cabugao, K.G., Kivlin, S.N., Childs, J., Carvajal, N., Norby, R.J. 2021. Trade-offs in phosphorus acquisition strategies of five common tree species in a tropical forest of Puerto Rico. carbon-water balance of silver fir drought-induced dieback. Global Change Biology, 28:4439-4458.

He, Y., Wang, Y., Jiang, Y., Yin, G., Cao, S., Liu, X., Chen, F. 2023. Drivers of soil respiration nitrogen mineralization change after litter management at a subtropical Chinese sweetgum tree plantation. Soil Use Management, 39: 92-103.

Keller, N., Bol, R., Herre, M., Marschner, B., Heinze, S. 2023. Catchment scale spatial distribution of soil enzyme activities in a mountainous German coniferous forest. Soil Biology Biochemistry, 177:108885.

Kraj, W., Zarek, M. 2021. Biochemical basis of altitude adaptation antioxidant system activity during autumn leaf senescence in beech populations. Forests, 12:529.

Kumar, D., Dalal, R.P.S., Kumar, R., Parshad, J. Jaipal, J. 2021. Seasonal variation in microbial communities in rhizosphere non-rhizosphere soil of different fruit tree species in semiarid irrigated conditions of Haryana. International Journal of Bio-resource Stress Management, 12:468–476..

Lange, C.A., Knoche, D., Hanschke, R., Loffler, S., Schneck, V. 2022. Physiological performance biomass growth of different black locust origins growing on a post-mining reclamation Site in eastern Germany. Forests, 13:315.

Li, X., He, N., Xu, L., Li, S., Li, M. 2021. Spatial variation in leaf potassium concentrations its role in plant adaptation strategies. Ecological Indicators, 130:108063.

Liu, S., Hou, X., Yang, M., Cheng, F., Coxixo, A., Wu, X., Zhang, Y. 2018. Factors driving the relationships between vegetation soil properties in the Yellow River Delta, China. Catena 165: 279-285.

Olsen, S. R., Cole, C.V., Watanabe, F.S., Dean, L.A., 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. Washington, D.C.: U.S. Department of agriculture, Series: circular, 939: 1-19.

Ostmeyer, T., Parker, N., Jaenisch, B., Alkotami, L., Bustamante, C., Jagadish, S.K. 2020. Impacts of heat, drought, their interaction with nutrients on physiology, grain yield, quality in field crops. Plant Physiology Reports, 25:549-568.

Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R.1982. Methods of Soil Analysis. 2nd Edn.,

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]

Frontiers in Forests Global Change, 4:113-125.

Zukswert, J.M., Hallett, R., Bailey, S.W., Sonti, N.F., 2021. Using regional forest nutrition data to inform urban tree management in the northeastern United States. Urban Forestry Urban Greening 57:126917.

[Downloaded from pec.gonbad.ac.ir on 2026-04-20]