



دانشگاه گنبد کاووس

نشریه "حفاظت زیست‌بوم گیاهان"

دوره هشتم، شماره شانزدهم

<http://pec.gonbad.ac.ir>

## تغییرات ویژگی‌های شیمیایی خاک در توده‌های بلوط ایرانی با شدت خشکیدگی متفاوت

رضا سلیمانی<sup>۱\*</sup>، مهدی پورهاشمی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی ایلام، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام

<sup>۲</sup> دانشیار موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۵/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۰۲

### چکیده

هدف از این تحقیق بررسی روند برخی از تغییرات شیمیایی خاک در توده‌های خشکیده بلوط در شمال غربی ایلام بود. چهار گروه مطالعاتی شامل شاهد (بدون خشکیدگی)، خشکیدگی خفیف، خشکیدگی متوسط و خشکیدگی شدید بر اساس تعداد درختان و تعداد شاخه‌های خشکیده در واحد سطح خاک انتخاب گردید. سپس در هر گروه، نمونه‌برداری خاک با چهار تکرار انجام گرفت. پس از عملیات نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها، ویژگی‌هایی از جمله کربنات کلسیم معادل، فسفر، پتاسیم و روی قابل‌استفاده گیاه اندازه‌گیری گردید. آنگاه تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با نرم‌افزار SAS v.9.2 و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام گرفت. نتایج نشان داد که غلظت کربنات کلسیم معادل در محل‌های بدون خشکیدگی نسبت به محل‌های با خشکیدگی شدید کمتر بود. همچنین با تغییر مکان از بدون خشکیدگی به طرف خشکیدگی زیاد، غلظت فسفر قابل‌جذب خاک روند کاهشی داشت. غلظت قابل‌جذب این عنصر غذایی در خاک در جهت شمالی از ۱۸/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم در عمق صفر تا ۲۵ سانتی‌متری در محل بدون خشکیدگی به ۱۳/۰ میلی‌گرم در کیلوگرم در محل با خشکیدگی شدید رسید. ظرفیت تبادل کاتیونی در عمق صفر تا ۲۵ سانتی‌متری جهت جنوبی، از ۱۳/۱ سانتی‌مول مثبت در کیلوگرم در محل بدون خشکیدگی، به ۹/۲۱ سانتی‌مول مثبت در کیلوگرم در محل با خشکیدگی شدید کاهش یافت. تعیین تغییرات ویژگی‌های شیمیایی خاک به‌ویژه ویژگی‌های با اهمیت خاک از نظر توان تحمل درختان به شرایط نامناسب محیطی از جمله 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 عنصر روی و مصرف پتاسیم به‌ویژه در نهال‌کاری‌های جدید اقدام نمود.

\*نویسنده مسئول: soleimanir@hotmail.com

## مقدمه

جنگل‌های زاگرس در غرب کشور مدتی است که با پدیده خشکیدگی ناشی از خشک‌سالی‌های اخیر به‌ویژه در مورد گونه بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) مواجه است. ازای‌ن‌رو، اجرای برنامه‌های احیاء و حفاظت ازای‌ن‌گونه در اکوسیستم‌های جنگل‌های غرب کشور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. استقرار و تداوم رشد این درختان متأثر از عوامل محیطی می‌باشد و خاک یکی از عوامل مهم در کنترل پوشش گیاهی محسوب می‌گردد (Demir, 2007; Singh et al., 2013). محققان همواره به دنبال شناخت ارتباط ویژگی‌های خاک با پوشش گیاهی بوده‌اند (Manning et al., 2017). بین خاک و درختان در یک جنگل به‌قدری باهم ارتباط تنگاتنگ وجود دارد که یک مؤلفه را بدون مؤلفه دیگر نمی‌توان مطالعه و بررسی نمود (Dehghanian et al., 2018). مقدار تولید گونه‌های گیاهی به عناصر غذایی خاک وابسته است و این عناصر نیز بر اثر فعالیت‌های مدیریتی و گونه‌ها تغییر می‌کنند (Hinsinger, 1998). تأثیر مثبت جنگل‌کاری‌ها بر خاک عرصه و تأثیر متقابل مواد غذایی مکمل فراهم‌شده بین گونه‌های درختی بررسی‌شده و افزایش محصول چوب به‌علت افزایش مواد غذایی خاک و اثرات متقابل عناصر غذایی نیتروژن و فسفر است (سلیمانی رحیمی‌آبادی و همکاران، ۱۳۹۴). تنش خشکی با برهم زدن روابط آبی گیاه به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و رایج‌ترین تنش‌های محیطی، رشد درختان را با محدودیت روبرو ساخته و بازدهی و باردهی جنگل را در مناطقی که با این پدیده مواجه هستند به‌شدت کاهش می‌دهد (Shakeri & Abtahi, 2018; Finzi et al., 1998). تنش خشکی همچنین باعث بروز یا تشدید سایر تنش‌ها به‌ویژه کمبود عناصر غذایی برای گیاه می‌گردد (Garcia-Tejera et al., 2016). مکانیسم‌های جذب و انتقال عناصر غذایی در گیاهان، ازجمله جریان توده‌ای، انتشار و جذب و انتقال به‌وسیله پدیده اسمز، همگی تابع مقدار رطوبت موجود در خاک و ریشه بوده و در صورت کاهش رطوبت، شدت و مقدار جذب عناصر غذایی دستخوش تغییر و تحول می‌شود (Borruso et al., 2008; Vitosh et al., 1994). اگرچه برخی از این سیستم‌های انتقالی عناصر، نظیر انتشار، به مقدار رطوبت کمتری جهت جذب عناصر غذایی نیازمند دارند ولی برخی دیگر ازجمله جریان توده‌ای وابسته به مقدار رطوبت می‌باشند (Johnson & Iverson, 2001). در صورت

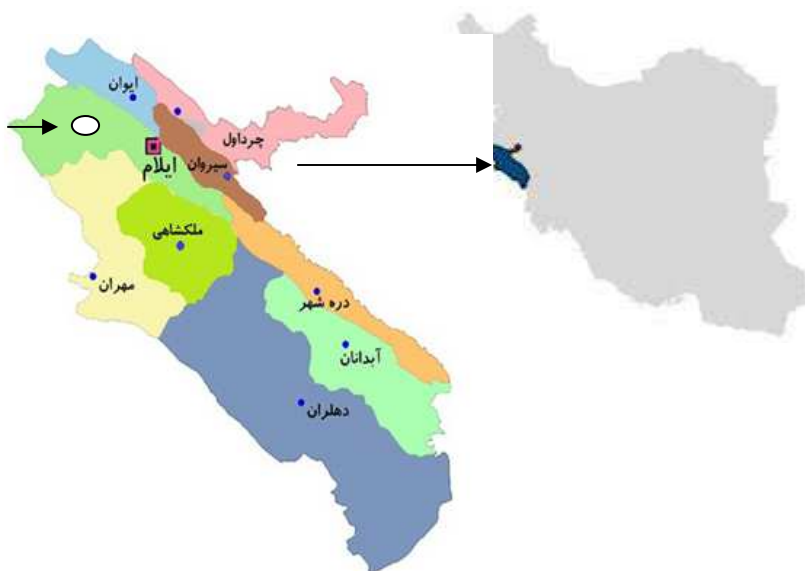
کاهش رطوبت، عناصری که به وسیله این جریان انتقال می‌یابند، روند جذب منفی خواهند داشت (Moreno et al., 2007). با تعیین وضعیت ویژگی‌های شیمیایی خاک، ضمن اطلاع از اثرات خشک‌سالی بر خاک منطقه می‌توان بر این پدیده زیست‌محیطی مدیریت مناسبی اعمال کرد (Udeigwe et al., 2016). خشک‌سالی در سال‌های اخیر، مناطقی از کشور از جمله استان ایلام را تحت تأثیر خود قرار داده که از مهم‌ترین پی‌آمدهای آن، خشکیدگی درختان بلوط بوده است. بنابراین مطالعه تغییرات ویژگی‌های خاک از نیازهای تحقیقاتی در توده‌های بلوط ایرانی رو به زوال محسوب می‌گردد. هدف از اجرای تحقیق حاضر، بررسی تغییرات کربنات کلسیم معادل<sup>۱</sup>، عناصر غذایی نیتروژن، فسفر، پتاسیم، روی و ظرفیت تبادل کاتیونی به‌عنوان پایه‌ای برای کمک به اصلاح وضع موجود و همچنین نهال‌کاری‌ها در آینده می‌باشد.

#### مواد و روش‌ها

محل اجرای پژوهش، جنگل‌های بلوط در منطقه چوار در شمال غربی استان ایلام بین مختصات جغرافیائی ۳۳ درجه و ۴۴ دقیقه و ۲۶ ثانیه تا ۳۳ درجه و ۴۶ دقیقه و ۰۱ ثانیه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۱۰ دقیقه و ۴۶ ثانیه تا ۴۶ درجه و ۱۵ دقیقه و ۲۵ ثانیه طول شرقی بود (شکل ۱). حداقل و حداکثر ارتفاع از سطح دریا در محدوده ۱۳۷۶ متر تا ۱۴۹۳ متر بود. میانگین میزان بارندگی سالیانه ۵۸۷ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت سالیانه آن ۱۶/۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. فصل خشک منطقه از اواخر اردیبهشت شروع و تا اواخر مهرماه ادامه دارد. پس از حفر پروفیل، خاک‌ها از رده اینسپتی سول‌ها با توسعه کم تا متوسط و ساختمان دانه‌ای تا متراکم تشخیص داده شدند. پس از بازدیدها و جنگل‌گردشی‌های متعدد، از بین روی‌شگاه‌های موجود، محدوده‌ای که دارای شدت‌های مختلفی از خشکیدگی بود انتخاب گردید. سپس با در نظر گرفتن یک ترانسکت پایه و براساس تعداد درختان خشکیده و تعداد شاخه‌های متأثر از خشکی در هکتار، چهار پلات اصلی یک هکتاری جداسازی شد. این پلات‌ها شامل (۱) خشکیدگی شدید (بیش از ۶۰ درصد خشکی تاج) (۲) خشکیدگی متوسط (بین ۳۰ تا ۶۰ درصد خشکی تاج) (۳) خشکیدگی کم (بین ۱۰ تا ۳۰ درصد خشکی تاج) (۴) بدون خشکیدگی (کمتر از ۱۰ درصد خشکیدگی تاج) تا حد امکان تقسیم‌بندی شدند. سپس در هر گروه

<sup>۱</sup>TNV=Total Neutralizing Value

مطالعاتی (از جهت‌های شمالی، جنوبی، غربی و شرقی)، به‌طور تصادفی بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی چهار محل (چهار تکرار) در نظر گرفته‌شده و نمونه‌برداری با تهیه نمونه‌های مرکب از هر عمق در سه عمق صفر تا ۲۵، ۲۵ تا ۵۰ و ۵۰ تا ۷۵ سانتی‌متری خاک (براساس تشریح نی‌مرخ‌های عمومی خاک) انجام شد. پس از خشک‌کردن خاک، نمونه‌ها، آماده‌سازی و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. ویژگی‌های شیمیایی مورد اندازه‌گیری خاک شامل ارزش خنثی شوندگی کل (کربنات کلسیم معادل) و سه عنصر غذایی شامل فسفر، پتاسیم و روی قابل‌جذب گیاه که در روابط خاک و گیاه و بر روابط آبی در گیاه اثر بیشتری دارند بررسی گردید (Goll et al., 2018; Candan et al., 2018). فسفر قابل‌جذب به روش اولسن (Olsen et al., 1954)، پتاسیم قابل‌جذب به روش استات آمونیوم یک نرمال و قرائت با شعله سنجی، روی قابل‌عصاره‌گیری با DTPA با دستگاه جذب اتمی و ظرفیت تبادل کاتیونی به روش جایگزینی کاتیون‌ها با استات سدیم (Page et al., 1982) اندازه‌گیری گردیدند. داده‌های به‌دست‌آمده با استفاده از برنامه SAS v 9.2 تجزیه آماری شدند. مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد. تجزیه واریانس داده‌های کربنات کلسیم معادل، فسفر، پتاسیم و روی قابل‌جذب نشان داد که اثر متقابل سه‌گانه خشکیدگی در عمق در جهت در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی در استان ایلام

### ارزش خنثی‌کنندگی کل (کربنات کلسیم معادل)

بیشترین غلظت کربنات کلسیم در جهت جنوبی محل‌های با خشکیدگی شدید مشاهده بود (جدول ۲). همچنین کمترین غلظت کربنات کلسیم مربوط به عمق صفر تا ۲۵ سانتی‌متری محل بدون خشکیدگی در جهت شمالی بود بطوری‌که کربنات کلسیم خاک که از ۱۹ درصد در شرایط بدون خشکیدگی به ۲۶/۸ درصد در محل با خشکیدگی شدید افزایش یافت. همچنین این شاخص در جهت جنوبی، در عمق ۵۰ تا ۷۵ سانتی‌متری از ۳۰/۳ درصد در محل بدون خشکیدگی به ۳۵/۴ درصد در محل با خشکیدگی شدید افزایش و در حالت کلی در این جهت، از ۲۶/۷ درصد در محل بدون خشکیدگی به ۳۲/۶ درصد در محل با خشکیدگی شدید رسید (جدول ۲). با توجه به برهمکنش منفی بین درصد کربنات کلسیم در خاک با رطوبت قابل‌استفاده، اهمیت تغییرات کربنات کلسیم در خاک برای رشد گیاه مشخص می‌گردد (Meibner et al., 2014). همچنین با افزایش درصد کربنات کلسیم از قابلیت جذب برخی از عناصر از جمله عناصر کم‌مصرف (روی، آهن و منگنز) کاسته می‌شود (Najafi-Ghiri et al., 2013).

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) داده‌های ارزش خنثی‌کنندگی کل (کربنات کلسیم معادل)، برخی از عناصر غذایی و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک

CEC <sup>۲</sup>	روی قابل ج	پتاسیم قابل جذب	فسفر قابل جذب	نیترژن کل	CCE <sup>۱</sup>	درجه آزادی	منبع تغییرات
۱/۸۳ <sup>ns</sup>	۲/۳۱ <sup>ns</sup>	۰/۱۰۲ <sup>ns</sup>	۱/۱۲ <sup>ns</sup>	۱۷ <sup>ns</sup>	۱۰۸ <sup>n</sup> <sub>s</sub>	۳	تکرار
۱۱/۴ <sup>**</sup>	۳۲۲ <sup>*</sup>	۴۱/۳ <sup>*</sup>	۳/۰۴ <sup>**</sup>	۱۱۳ <sup>**</sup>	۶۹۷ <sup>*</sup>	۳	شدت خشکیدگی
۶/۲۹ <sup>*</sup>	۱۵۶ <sup>**</sup>	۱۹۲/۶ <sup>*</sup>	۱/۲۶ <sup>*</sup>	۳۶۲ <sup>**</sup>	۱۰۸ <sup>*</sup>	۲	عمق
۴/۵۱ <sup>*</sup>	۲۱۶ <sup>*</sup>	۶۵/۶ <sup>*</sup>	۱/۵۰۲ <sup>*</sup>	۲۲۳ <sup>*</sup>	۸۲۶ <sup>*</sup>	۶	شدت خشکیدگی×عمق
۹/۷۸ <sup>*</sup>	۳۲۴ <sup>*</sup>	۲۰۷/۳ <sup>**</sup>	۴/۷۲ <sup>*</sup>	۲۰۳ <sup>*</sup>	۳۸۷ <sup>*</sup>	۳	جهت شیب
۷/۳۸ <sup>*</sup>	۹۴/۶ <sup>*</sup>	۹۴/۶ <sup>*</sup>	۱/۳۵ <sup>*</sup>	۳۰۳ <sup>*</sup>	۷۸۳ <sup>*</sup>	۹	شدت خشکیدگی×جهت شیب
۸/۶۸ <sup>*</sup>	۸۲/۵ <sup>*</sup>	۸۲/۵ <sup>*</sup>	۱/۹۷۸ <sup>*</sup>	۹۴ <sup>*</sup>	۹۲۱ <sup>*</sup>	۱۸	شدت خشکیدگی×عمق×جهت شیب
۶/۸۸	۱۴/۲	۱۴/۲	۸/۲۹	۱۷/۱	۱۴/۲	۱۴۱	خطای آزمایش
۱۶/۳	۱۱/۴	۱۳/۷	۱۷/۱	۱۴/۸	۱۵/۷	-	CV%

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

در شرایط خشک‌سالی طولانی‌مدت، تغییرپذیری ویژگی‌های شیمیایی خاک بیشتر می‌شود (Schoenholtz et al., 2000). یکی از ویژگی‌های مهم خاک در جنگل‌های بلوط ایلام تغییرات مقدار کربنات کلسیم (آهک) است. مقدار آهک بر قابلیت استفاده عناصر غذایی اثرگذار است بطوریکه

<sup>۱</sup> ارزش خنثی‌کنندگی کل (کربنات کلسیم معادل)  
<sup>۲</sup> ظرفیت تبادل کاتیونی

در قابلیت نگهداری فسفر و روی در خاک دخالت داشته و بیشتر محققان اثر منفی آهک را بر قابلیت استفاده این عناصر گزارش کرده‌اند (Zhang & Zwiazek, 2016). این ویژگی‌های خاک همراه با پتاسیم در رابطه گیاه و آب و به‌ویژه باز و بسته شدن روزنه‌های برگ درختان مهم هستند (Sharma, 2001). از نظر زمی‌شناسی، تشکیلات غالب منطقه مورد مطالعه را سنگ‌های آهکی تشکیل می‌دهند. از نظر خاکشناسی، مواد مادری آهکی تحت تأثیر عوامل خاکساز به افق‌های مختلف تبدیل می‌شوند. در منطقه مورد مطالعه، می‌توان گفت که میزان آهک از سطح به عمق خاک زیاد شده است. افزایش کربنات کلسیم به دلیل ایجاد شکل‌های کم محلول عناصری از جمله فسفر و روی (فسفات کلسیم و کربنات روی) باعث کاهش قابلیت استفاده فسفر و روی خاک می‌شود. در عمق ۲۵ تا ۵۰ سانتی‌متری، این شاخص از ۲۴ درصد در محل بدون خشکیدگی به ۳۰ درصد در محل با خشکیدگی شدید رسید. با کاهش بارندگی و تجمع ترکیبات کلسیمی در افق‌های زیر سطحی، زمینه برای تشکیل افق کلسیک آماده خواهد شد که این مسئله خود باعث کندی ریشه‌دوانی و اختلال در هدایت آبی می‌گردد (Quirantes et al., 2016). محمدی سمانی و همکاران (۱۳۸۵) بیان کردند که تی‌پ‌های گیاهان از نظر مقدار آهک از هم تفکیک شده و اختلاف معنی‌داری با یکدیگر دارند. دو تیپ ویول-برو و ویول-بنه همراه گلابی نسبت به تی‌پ‌های برو-زالزالک و برو-کیکم حساسیت بی‌ش‌تری نسبت به آهک داشته و بیشتر در خاک‌هایی با آهک کم یافت می‌شوند. در خاک‌های آهکی به دلیل pH بالای خاک، کاهش قابلیت جذب برخی عناصر غذایی از جمله فسفر، آهن، روی، مس و منگنز از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان بشمار می‌آید (Dehghanian et al., 2018; Karan et al., 2014).

### نیتروژن کل

در مورد نیتروژن کل، مقایسه میانگین‌ها نشان داد که درصد نیتروژن کل در عمق صفر تا ۲۵ سانتی‌متری در جهت شمالی به ترتیب در محل‌های بدون خشکیدگی و با خشکیدگی خفیف و همچنین در جهت غربی در محل بدون خشکیدگی بیشترین مقدار بود (جدول ۲). کمترین درصد نیتروژن کل (۰/۸۷ درصد) مربوط به عمق ۵۰ تا ۷۵ سانتی‌متری محل با خشکیدگی شدید در جهت جنوبی بود. در جهت جنوبی، درصد نیتروژن در عمق صفر تا ۲۵ سانتی‌متری از ۰/۲۴۶ درصد در شرایط بدون خشکیدگی به ۰/۱۹۷ درصد در محل با خشکیدگی شدید کاهش یافت. همچنین نیتروژن کل در عمق ۲۵ تا ۵۰ سانتی‌متری از

۰/۲۰۶ درصد در محل بدون خشکیدگی به ۰/۱۸۷ درصد در محل با خشکیدگی شدید رسید. درصد نیتروژن در پای‌ترین عمق (۵۰ تا ۷۵ سانتی‌متری) در جهت‌های شمالی، شرقی و غربی در محل بدون خشکیدگی نسبت به خشکیدگی شدید تغییر معنی‌داری نداشت (جدول ۲).



جدول ۲- تغییرات کربنات کلسیم معادل و نیتروژن کل در توده‌های بلوط ایرانی با شدت خشکیدگی متفاوت

شدت خشکیدگی	جهت شمالی (N)			جهت جنوبی (S)			میانگین
	عمق اول	عمق دوم	عمق سوم	عمق اول	عمق دوم	عمق سوم	
<b>کربنات کلسیم معادل (%)</b>							
بدون خشکیدگی	۱۹/۳d	۲۴/۰cd	۲۵/۶bc	۲۳/۳B	۲۳/۸cd	۲۶/۱bc	۲۶/۷B
خشکیدگی خفیف	۲۲/۰cd	۲۵/۶bc	۲۸/۰bc	۲۵/۲AB	۲۵/۰bc	۲۸/۲bc	۲۷/۸B
خشکیدگی متوسط	۲۳/۵cd	۲۷/۴bc	۲۸/۸bc	۲۶/۶AB	۲۶/۷bc	۳۰/۰bc	۲۹/۱AB
خشکیدگی شدید	۲۶/۸bc	۳۰/۰bc	۳۳/۱ab	۳۰/۰A	۲۹/۱bc	۳۳/۳ab	۳۲/۶A
<b>نیتروژن کل (%)</b>							
بدون خشکیدگی	۰/۲۴۶a	۰/۲۱۴ab	۰/۱۱۶b	۰/۲۳۶A	۰/۲۲۲ab	۰/۲۰۶ab	۰/۲۳۶A
خشکیدگی خفیف	۰/۲۲۵a	۰/۲۰۵ab	۰/۱۱۷b	۰/۲۲۴A	۰/۲۱۸ab	۰/۲۰۵ab	۰/۲۲۴A
خشکیدگی متوسط	۰/۲۱۹ab	۰/۲۰۲ab	۰/۱۱۱b	۰/۳۲۱AB	۰/۲۱۰ab	۰/۲۰۱ab	۰/۳۲۱AB
خشکیدگی شدید	۰/۱۹۷ab	۰/۱۹۵ab	۰/۱۰۷b	۰/۲۰۷B	۰/۱۹۷ab	۰/۱۸۷ab	۰/۲۰۷B

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

### فسفر قابل جذب

در هر عمق با تغییر محل از بدون خشکیدگی به طرف خشکیدگی زیاد غلظت فسفر قابل جذب روند کاهشی داشت (جدول ۳). همچنین این عنصر غذایی در عمق صفر تا ۲۵ سانتی متری در گروه آماری بالاتری نسبت به سایر عمق‌های مورد مطالعه قرار گرفت. در جهت شمالی، فسفر قابل جذب از ۱۸/۱ می‌لی‌گرم در کیلوگرم در عمق صفر تا ۲۵ سانتی متری محل بدون خشکیدگی به ۱۳/۰ می‌لی‌گرم در کیلوگرم در محل با خشکیدگی شدید رسید. این تغییرات در عمق ۲۵ تا ۵۰ سانتی متری بین ۹/۸۸ تا ۸/۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم و در عمق ۵۰ تا ۷۵ سانتی متری بین ۶/۸۵ تا ۵/۱۲ می‌لی‌گرم در کیلوگرم و در حالت کلی در این جهت از ۱۳/۸ تا ۱۰/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم متغیر بود. در جهت جنوبی، فسفر قابل جذب از ۱۳/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم در عمق صفر تا ۲۵ سانتی متری محل بدون خشکیدگی به ۱۰/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم در همین عمق در محل با خشکیدگی شدید رسید. این تغییرات در عمق ۲۵ تا ۵۰ سانتی متری بین ۹/۱۹ تا ۸/۷۰ می‌لی‌گرم در کیلوگرم و در عمق ۵۰ تا ۷۵ سانتی متری بین ۶/۱۰ تا ۵/۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم و در این جهت از ۹/۷۵ تا ۸/۲۲ میلی‌گرم در کیلوگرم متغیر بود. فسفر قابل جذب در جهت شرقی در حالت کلی از ۹/۷۱ می‌لی‌گرم در کیلوگرم در محل بدون خشکیدگی به ۷/۹۹ می‌لی‌گرم در کیلوگرم در محل با خشکیدگی شدید رسید. این تغییرات در جهت غربی بین ۱۰/۱ تا ۸/۸۳ می‌لی‌گرم در کیلوگرم متغیر بود (جدول ۳). فسفر قابل جذب در جهت شرقی در حالت کلی از ۹/۷۱ میلی‌گرم در کیلوگرم در محل بدون خشکیدگی به ۷/۹۹ می‌لی‌گرم در کیلوگرم در محل با خشکیدگی شدید رسید. این تغییرات در جهت غربی بین ۱۰/۱ تا ۸/۸۳ میلی‌گرم در کیلوگرم متغیر بود. فسفر قابل جذب در عمق صفر تا ۲۵ سانتی متری در گروه آماری بالاتری نسبت به سایر عمق‌های مورد مطالعه قرار گرفت. تغییرات فسفر قابل جذب در منطقه مورد مطالعه در عمق ۲۵ تا ۵۰ سانتی متری بین ۹/۸۸ تا ۸/۷۵ میلی‌گرم در کیلوگرم و در عمق ۵۰ تا ۷۵ سانتی متری بین ۶/۸۵ تا ۵/۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم و در حالت کلی در این جهت از ۱۳/۸ تا ۱۰/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم متغیر بود (جدول ۳). در محلهایی که شدت خشکیدگی بیشتری داشتند فسفر قابل جذب کمتری اندازه‌گیری شد. در

جهت شمالی، فسفر قابل جذب از ۱۸/۱ می‌لی‌گرم در کیلوگرم در عمق صفر تا ۲۵ سانتی-متری محل بدون خشکیدگی به ۱۳/۰ می‌لی‌گرم در کیلوگرم در محل با خشکیدگی شدید رسید.

لی و همکاران (Li et al., 2007) بیان کردند که مقدار فسفر متناسب با کاهش ماده آلی روند کاهشی می‌یابد. ریشه گیاهان و ریزموجودات با ترشح آنزیم اسید فسفاتاز و فیتاز موجب ایجاد ترکیبات آلی و افزایش قابلیت جذب فسفر می‌گردند که در شرایط خشک‌سالی این شرایط افول می‌نماید. فسفر آلی نقش مهمی در چرخه فسفر در خاک داشته و یک منبع بالقوه فسفر برای گیاهان به‌ویژه در خاک‌های آهکی با ظرفیت بالای تثبیت، به شمار می‌رود. با کاهش بارندگی و پراکنش نامناسب آن، فسفر آلی کاهش یافته و با مصرف فسفر توسط گیاه، جایگزینی آن در خاک با مشکل مواجه می‌شود (Adams et al., 2018).

جدول ۳- تغییرات فسفر و پتاسیم قابل جذب خاک در توده‌های بلوط ایرانی با شدت خشکیدگی متفاوت

میانگین	جهت جنوبی (S)			جهت شمالی (N)			شدت خشکیدگی	
	عمق	عمق دوم	عمق	عمق	عمق دوم	عمق		
	سوم		اول	سوم		اول		
<b>فسفر قابل جذب (می‌لی‌گرم بر کیلوگرم)</b>								
۹/۷۵A	۶/۱۰c	۹/۱۹b	۱۳/۸a	۱۱/۶A	۶/۸۵c	۹/۸۸b	۱۸/۱a	بدون خشکیدگی
۹/۴۵A	۶/۱۸c	۸/۹۵b	۱۳/۰ab	۱۱/۲A	۶/۶۵c	۹/۶۱b	۱۷/۲a	خشکیدگی خفیف
۹/۸۷A	۶/۰۳c	۸/۸۵b	۱۱/۷b	۱۰/۳AB	۵/۴۳c	۹/۱۹b	۱۶/۳a	خشکیدگی متوسط
۸/۲۲A	۵/۷۵c	۸/۷۰b	۱۰/۲b	۸/۹۶B	۵/۱۲c	۸/۷۵b	۱۳/۰ab	خشکیدگی شدید
<b>پتاسیم قابل جذب (می‌لی‌گرم بر کیلوگرم)</b>								
۳۷۸A	۳۷۱b	۳۷۸b	۳۸۵ab	۳۹۰A	۳۸۵ab	۳۸۲ab	۴۰۲a	بدون خشکیدگی
۳۷۱AB	۳۶۵b	۳۷۰b	۳۷۸b	۳۸۹AB	۳۸۲ab	۳۹۴ab	۳۹۱ab	خشکیدگی خفیف
۳۶۶B	۳۶۲b	۳۶۶bc	۳۷۰b	۳۸۷AB	۳۹۰ab	۳۹۰ab	۳۸۰ab	خشکیدگی متوسط
۳۵۹B	۳۵۳bc	۳۶۰c	۳۶۵bc	۳۷۵B	۳۷۵ab	۳۸۹ab	۳۶۱b	خشکیدگی شدید

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

جدول ۴- تغییرات روی قابل جذب و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک در توده‌های بلوط ایرانی با شدت خشکیدگی متفاوت

شدت خشکیدگی	جهت شمالی (N)			میانگین	جهت جنوبی (S)		
	عمق	عمق	عمق		عمق	عمق	عمق
	D <sub>50-75</sub>	D <sub>25-50</sub>	D <sub>0-25</sub>		D <sub>50-75</sub>	D <sub>25-50</sub>	D <sub>0-25</sub>
<b>روی قابل جذب (می‌لی گرم بر کیلوگرم)</b>							
بدون خشکیدگی	۲/۰۴a	۱/۵۹b	۱/۱۵b	۱/۶۰A	۱/۸۸a	۱/۱۵b	۰/۹۸c
خشکیدگی خفیف	۲/۰۱a	۱/۴۶b	۱/۱۱b	۱/۵۳AB	۱/۸۲a	۱/۴۸b	۱/۰۱bc
خشکیدگی متوسط	۱/۷۳ab	۱/۲۴b	۱/۰۵c	۱/۳۴AB	۱/۵۰b	۱/۳۰b	۰/۷۹c
خشکیدگی شدید	۱/۵۳b	۱/۱۷b	۰/۹۵c	۱/۲۲B	۱/۵۰b	۱/۲۸b	۰/۷۲c
<b>ظرفیت تبادل کاتیونی (سانتی مول مثبت بر کیلوگرم)</b>							
بدون خشکیدگی	۱۳/۱a	۱۰/۱ab	۷/۵۱cd	۱۰/۲A	۱۰/۲ab	۷/۳۷b	۵/۲۴c
خشکیدگی خفیف	۱۱/۸ab	۹/۸۲b	۶/۸۴cd	۹/۴۹B	۱۰/۴ab	۷/۲۵b	۵/۱۱c
خشکیدگی متوسط	۱۰/۷ab	۹/۱۴bc	۶/۵۵cd	۸/۷۹B	۹/۷۴ab	۶/۴۳bc	۴/۶۲cd
خشکیدگی شدید	۹/۲۱b	۸/۷۲c	۵/۷۶d	۷/۸۹C	۸/۳۵b	۶/۱۱c	۴/۰۳d

حرف یا حروف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها در هر ستون  
عمق اول = عمق صفر تا ۲۵ سانتی‌متری عمق دوم = عمق ۲۵ تا ۵۰ سانتی‌متری عمق سوم = عمق ۵۰ تا ۷۵ سانتی‌متری

### پتاسیم قابل جذب

مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن نشان داد که پتاسیم قابل جذب در عمق صفر تا ۲۵ سانتی‌متری محل بدون خشکیدگی در بالاترین گروه آماری قرار گرفت (جدول ۳). همچنین پایین‌ترین گروه آماری مربوط به عمق ۲۵ تا ۵۰ محل با خشکیدگی شدید در جهت جنوبی بود. در جهت شمالی عنصر مذکور در شرایط بدون خشکیدگی با ۲۱ درصد کاهش در محل با خشکیدگی شدید افت کرد. در حالت کلی در جهت شمالی محل بدون خشکیدگی با ۷/۱۴ درصد کاهش در محل با خشکیدگی شدید رسید. (جدول ۳).

در مورد پتاسیم قابل جذب خاک، با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، تفاوت‌ها در بین محل‌ها و عمق‌های مختلف به‌دلیل سرعت متغیر هوادیدگی در محل‌های مختلف و عمق سطحی آن‌ها نسبت به عمق‌های زیرسطحی می‌باشد (Manning, et al., 2017). در جهت شمالی، پتاسیم قابل جذب در عمق صفر تا ۲۵ سانتی‌متری از ۲۰۷ می‌لی‌گرم در کیلوگرم در شرایط بدون خشکیدگی با ۲۱ درصد کاهش به ۱۷۱ میلی‌گرم در کیلوگرم در محل با خشکیدگی شدید رسید. در عمق‌های پایینی‌تر، هرچند درصد رس افزایش یافت اما با توجه به بحث هوادیدگی کانی‌ها که در عمق زیرسطحی بسیار کمتر از سطح خاک است لذا غلظت پتاسیم قابل جذب که بیشتر ناشی از هوادیدگی کانی‌هاست تغییرات قابل‌ملاحظه‌ای نیافته است (Manning, et al., 2017).

### روی قابل جذب

میانگین روی قابل جذب در تمام جهت‌های مطالعاتی در عمق صفر تا ۲۵ سانتی‌متری محل‌های بدون خشکیدگی و با خشکیدگی خفیف در گروه آماری بالاتری نسبت به موقعیت‌های دیگر قرار گرفتند (جدول ۴). همچنین پایین‌ترین گروه آماری مربوط به عمق ۵۰ تا ۷۵ سانتی‌متری در محل با خشکیدگی شدید در جهت شمالی و در محل‌های با خشکیدگی متوسط و شدید در جهت‌های جنوبی، شرقی و غربی مشاهده شد. در جهت شمالی روی قابل جذب در عمق صفر تا ۲۵ سانتی‌متری از ۲/۰۴ میلی‌گرم در کیلوگرم در شرایط بدون خشکیدگی با ۳۳/۳ درصد کاهش به ۱/۵۳ میلی‌گرم در کیلوگرم در محل با خشکیدگی شدید رسید (جدول ۴).

در خاک‌های آهکی درصد تثبیت عناصر از جمله روی، زیاد است (Ouimet, et al., ۲۰۱۷). ناپاک (Nayak, ۲۰۰۰) نیز در مطالعه خود در مورد توزیع عناصر کم‌مصرف نشان داد که در

تمام موارد از سطح خاک به سمت عمق‌های پایین، غلظت عناصر کم‌مصرف کاهش یافت. عنصر روی در بیشتر فعالیت‌های آنزیمی حیاتی گیاه شرکت داشته و هرچند نیاز به آن‌ها از نظر کمیت کم است اما نقش بسیار مهمی در رشد و نمو گیاه دارند.

### ظرفیت تبادل کاتیونی

مقایسه میانگین‌ها در مورد ظرفیت تبادل کاتیونی نشان داد که ظرفیت تبادل کاتیونی در عمق صفر تا ۲۵ سانتی‌متری در جهت‌های شمالی و شرقی در محل‌های با خشکیدگی شدید بیشترین مقدار بود (جدول ۴). همچنین کمترین مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی مربوط به عمق ۵۰ تا ۷۵ سانتی‌متری محل با خشکیدگی شدید در جهت جنوبی بود. در جهت شمالی، ظرفیت تبادل کاتیونی در عمق صفر تا ۲۵ سانتی‌متری از ۱۳/۱ سانتی مول مثبت بر کیلوگرم در صد در شرایط بدون خشکیدگی به ۹/۲۱ سانتی مول مثبت بر کیلوگرم در محل با خشکیدگی شدید افزایش یافت. همچنین در عمق ۲۵ تا ۵۰ سانتی‌متری از ۱۰/۱ سانتی مول مثبت بر کیلوگرم در محل بدون خشکیدگی به ۸/۷۲ سانتی مول مثبت بر کیلوگرم در محل با خشکیدگی شدید رسید. ظرفیت تبادل کاتیونی در عمق صفر تا ۲۵ سانتی‌متری جهت جنوبی، از ۱۰/۲ سانتی مول مثبت بر کیلوگرم در شرایط بدون خشکیدگی به ۸/۳۵ سانتی مول مثبت بر کیلوگرم افزایش یافت (جدول ۴).

### بحث و نتیجه‌گیری

در بین عوامل محیطی، ویژگی‌های خاک نقش مهمی در پراکنش گونه‌های گیاهی دارند (Shukla, et al 2006). برخی از این ویژگی‌ها در شرایط خشک‌سالی بیشتر اثرگذار هستند. با کاهش بارندگی و تجمع ترکیبات کلسیمی در افق‌های زیرسطحی، زمینه برای تشکیل افق کلسیک فراهم خواهد شد. این مسئله خود باعث کند ریشه‌دوانی و اختلال در هدایت آبی خواهد گردید. علاوه بر اثرات نامطلوب آهک زیاد بر اختلال در رشد ریشه، تغییرات درصد آهک بر قابلیت استفاده عناصر غذایی از جمله فسفر و روی نیز گزارش شده است (Schoenholtz, 2000). در این تحقیق، تغییرات کربنات کلسیم، فسفر، پتاسیم و روی قابل جذب مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به اینکه سطح رس دارای بار الکتریکی منفی است درنتیجه در مسافت کمی از سطح رس قسمتی از بار منفی توسط کاتیون‌های موجود

خنثی شده و ایجاد لایه دوگانه می نماید. به دلیل ماهیت آهکی بودن خاک های منطقه و همچنین اثر لایه دوگانه، کاتیون های دو ظرفیتی کلسیم و منیزیم بیشتر جذب سطحی ذرات خاک شده و بنابراین کاتیون های یک ظرفیتی از جمله پتاسیم، به راحتی از سیستم آبخوبی می شوند. همچنین در خاک های با درصد رس پایین، از غلظت پتاسیم قابل استفاده کاسته شده و دلیل آن می تواند پایین بودن ظرفیت تبادل کاتیونی باشد. منبع عمده پتاسیم خاک، کانی های رسی دارای پتاسیم و از جمله ایلیت ها، ورمی کولایت ها و اسمکتایت ها هستند اما با توجه به نظر شاکری و ابطحی (۲۰۱۸) به نظر می رسد در مناطق زاگرس میانی بیشتر کانی های های پالگورسکایتها باشند که غلظت های کمی از پتاسیم را به ویژه در شرایط کمبود رطوبت و خشک سالی آزاد می کنند. پتاسیم، عنصری است که به شکل های تبدالی، جذب سطحی شده و محلول برای ریشه درختان قابل استفاده بوده و این شکل های پتاسیم، تابعی از درجه هوادیدگی کانی ها و شدت آبخوبی آن ها از خاک هستند. تغییرات در عوامل مؤثر بر رهاسازی پتاسیم قابل جذب، باعث تغییرات مکانی این عنصر در خاک جنگل می گردد. روند غلظت پتاسیم قابل جذب خاک در منطقه مورد مطالعه از محل با خشکیدگی کم به طرف محل با خشکیدگی شدید، کاهش می یابد. بدیهی است که خشکیدگی مکانی بلوط اتفاقی نبوده و عوامل بسیار زیادی بر آن مؤثرند که تغییرات مکانی ویژگی های شیمیایی خاک، بخشی از این عوامل می باشند. به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که روند تغییرات غلظت عناصر غذایی، از محل های بدون خشکیدگی به طرف محل های با خشکیدگی شدید، کاهش می یابد. از آنجایی که عناصر پتاسیم و روی از جمله عناصر ضروری برای رشد گیاه می باشد که به ترتیب در باز و بسته شدن روزنه ها و تشکیل اسید ایندول استیک دخالت داشته و رشد گیاه را تنظیم می کند لذا کاهش غلظت آن ها در برخی از مناطق در خاک جنگل، بر شدت اثر خشکیدگی می افزاید. از نتایج چنین تحقیقاتی می تواند در جهت احیاء و اصلاح پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه و مناطق با شرایط مشابه استفاده نمود.

تعیین تغییرات ویژگی های شیمیایی خاک به ویژه ویژگی های با اهمیت خاک از نظر توان تحمل درختان به شرایط نامناسب محیطی از جمله آهک به عنوان عامل منفی و عناصر غذایی مانند پتاسیم و روی به عنوان عوامل مثبت می تواند در مدیریت بهتر جنگل کمک کننده باشد. با توجه به تشدید خشکی درختان در شرایط کاهش نیتروژن، پتاسیم و روی، باید نسبت به حفظ ماده آلی، محلول پاشی عنصر روی و مصرف پتاسیم به ویژه در نهال کاری های جدید اقدام نمود.



## منابع

- سلیمانی رحیم‌آبادی، م.، اکبری نیا، م.، کوچ، ی. ۱۳۹۴. مقایسه عناصر غذایی پرمصرف خاک در توده‌های جنگل کاری در مرکز بذر جنگلی خزر، آمل. بوم‌شناسی جنگل‌های ایران. ۳ (۶): ۴۶-۵۴.
- محمدی سمائی، ک.، جلیلود، ح.، صالحی، ع.، شهابی، م.، ریاحی فر، ن.، محبی، ر. ۱۳۸۵. بررسی تغییرات آهک در چند تیپ پوشش درختی در جنگل‌های زاگرس (مطالعه موردی: مریوان). همایش ملی ارزیابی اثرات محیط زیستی ایران. تهران. ایران.
- Adams, J.L., Tipping, E., Thacker, S.A., Quinton, J.N. 2018. An investigation of the distribution of phosphorus between free and mineral associated soil organic matter, using density fractionation. *Plant and soil*, 427: 139-148.
- Borruso, L., Bani, A., Ventura, M., Panzacchi, P., Antonelli, L., Giammarchi, F., Polo, A., Chandler, K.R., Chappell, N.A. 2008. Influence of individual oak (*Quercus robur*) trees on saturated hydraulic conductivity. *Forest Ecology and Management*, 256: 1222-1229.
- Boulding, J.R. 2017. Description and sampling of contaminated soils: a field guide. Routledge. CRC Press. USA.
- Candan, N., Cakmak, I. Ozturk, L. 2018. Zinc biofortified seeds improved seedling growth under zinc deficiency and drought stress in durum wheat. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 181:388-395.
- Dehghanian, H., Halajnia, A., Lakzian, A., Astarai, A.R. 2018. The effect of earthworm and arbuscular mycorrhizal fungi on availability and chemical distribution of Zn, Fe and Mn in a calcareous soil. *Applied Soil Ecology*, 130: 98-103.
- Demir, M. 2007. Impacts, management and functional planning criterion of forest road network system in Turkey. *Transportation Research*, 41:56-68.
- Finzi, A.C., Canham, C.D., Breemen N.V. 1998. Canopy tree-soil interactions within temperate forests: species effects on pH and cations. *Journal of Ecology Society of America*, 2: 447-454.
- Garcia-Tejera, O., Lopez-Bernal, A., Testi, L., Villalobos, F.J. 2016. A soil-plant-atmosphere continuum (SPAC) model for simulating tree transpiration with a soil multi-compartment solution. *Plant and Soil*, 408:1-19.
- Goll, D.S., Joetzjer, E., Huang, M., Ciais, P. 2018. Low phosphorus availability decreases susceptibility of tropical primary productivity to droughts. *Geophysical Research Letters*, 45: 8231-8240.
- Goncalves, W.V., Carmo Vieira, M., Oliveira Carnevali, T., Zarate, N.A.H., Aran, H.D.V.R., Mineli, K.C.S. 2017. Nitrogen and phosphorus fertilization promotes aerial part development and affect nutrient uptake by carobinha of the Brazilian Cerrado. *American Journal of Plant Sciences*, 8: 3377-3385.
- Hinsinger, P. 1998. How do plant roots acquire mineral nutrients? Chemical processes involved in the rhizosphere. *Advance Agronomy*, 64: 225-265.

- Johnson, C.M., Iverson, L. 2001. Nutrient storage primary and secondary horsts in eastern Amazonia., *Forest Ecology and Management*, 231: 59-65.
- Karan, A.K., Kar, S., Singh, V.K., Singh, C.V. 2014. Effects of liming and soil moisture regimes on time changes of soil pH, redox potential, availability of native sulphur and micronutrients to rice (*Oryza sativa* L.) in acid soils. *Int J Soil Sci*, 9: 1-15.
- Kotowska, M.M., Leuschner, C., Triadiati, T., Hertel, D. 2016. Conversion of tropical lowland forest reduces nutrient return through litterfall, and alters nutrient use efficiency and seasonality of net primary production. *Oecologia*, 180: 601-618.
- Li, J., Zhao, C., Zhu, H., Li, Y., Wang, F. 2007. Effect of plant species on shrub fertile island at an Oasis-desert Ecotone in south Juggar Basin, China *Journal of Arid Environment*, 71: 350-361.
- Manning, D.A., Baptista, J., Limon, M.S., Brandt, K. 2017. Testing the ability of plants to access potassium from framework silicate minerals. *Science of the total environment*, 574: 476-481.
- Meibner, M., Kohler, M., Schwendenmann, L., Holscher, D., Dyckmans, J. 2014. Soil water uptake by trees using water stable isotopes ( $\delta^2\text{H}$  and  $\delta^{18}\text{O}$ )– a method test regarding soil moisture, texture and carbonate. *Plant and soil*, 376: 327-335.
- Moreno, G., Obrader, J.J., Garcia, A. 2007. Impact of evergreen oaks on soil fertility and crop production in intercropped dehesas, *Journal of Agricultural Ecosystem and Environment*, 119: 270-280.
- Najafi-Ghiri, M., Ghasemi-Fasaei, R., Farrokhnejad, E. 2013. Factors affecting micronutrient availability in calcareous soils of Southern Iran. *Arid land research and management*, 27(3), pp.203-215.
- Nayak, D.C., Mukhopodhyay, S., Sarkar, D. 2000. Distribution of some available micronutrients in alluvial soils of arunachal Pradesh in relation to soil characteristics. *Journal of Indian Soil Society*, 48:612-614.
- Olsen, S. R., Cole, C.V., Watanabe, F. S., Dean L. A. 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. USDA. Circ. 939. U. S. Gover. Prin Office. Washington DC.
- Quimet, R., Duchesne, L., Moore, J.D. 2017. Response of northern hardwoods to experimental soil acidification and alkalisation after 20 years. *Forest Ecology and Management*, 400: 600-606.
- Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. 1982. *Methods of Soil Analysis*. 2nd Ed., Amercen Society of Agronomy, Madison, WI., USA.
- Quirantes, M., Romero, E., Nogales R. 2016. Nutrient availability in a calcareous soil amended with different types of biomass ash. *Communications in soil science and plant analysis*, 47:2271-2280.

- Schoenholtz, S.H., Van Miegroer, H., Burger, J.A. 2000. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. *Forest Ecology and Management*, 138:335-356.
- Shakeri, S., Abtahi, S.A. 2018. Potassium forms in calcareous soils as affected by clay minerals and soil development in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province, Southwest Iran. *Journal of Arid Land*, 10:217-232.
- Sharma, A. 2001. Afforestation for reclaiming degraded village common land a case study, *Journal of Biomass Bioenergy*, 21: 35-42.
- Shukla, M.K., Lalb, R., Ebinger, M., Meyer C. 2006. Physical and chemical properties of soils under some pinon-juniper-oak canopies in a semi-arid ecosystem in New Mexico, *Journal of Arid Environment*, 66: 673-685.
- Singh, V.P., Pal, B., Sharma, V.K. 2013. Response of rice to nitrogen and zinc application irrigated with saline water, *Environment and Ecology*, 31: 344-349.
- Udeigwe, T.K., Eichmann, M., Eze, P.N., Ogendi, G.M., Morris, M.N., Riley, M.R. 2016. Copper micronutrient fixation kinetics and interactions with soil constituents in semi-arid alkaline soils. *Soil Science and Plant Nutrition*, 62 : 289-296.
- Vitosh, M.L., Warncke, D.D., Lucase, R.E. 1994. Zinc determine of crop and soil science. *Michigan State University Extension*, 136: 191- 198.
- Zhang, W., Zwiazek, J.J. 2016. Responses of reclamation plants to high root zone pH: effects of phosphorus and calcium availability. *Journal of environmental quality*, 45:1652-1662.