فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۲۷ شماره ۱، صفحه ۴۷-۳۵، (۱۳۹۸)
شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijfpr.2019.119180
شناسه دیجیتال (DOR): 98.1000/1735-0883.1398.27.35.75.1.1575.1605

# اثر موقعیت شیب کاتنا بر مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جنگل راش اسالم

**محمدباقر محمودی [۱]، حمید جلیلوند [۲*]، سیدمحمد حجتی [۳] و یحیی کوچ [۴]**

۱- دانشجوی دکتری جنگل‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۲*- نویسنده مسئول، استاد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. پست الکترونیک: hj_458_hj@yahoo.com
۳- دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۴- استادیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۱۷

## چکیده

بخشی از جنگل‌های راش (*Fagus orientalis* Lipsky) ناحیه هیرکانی بر روی گستره‌ای از خاک‌ها در یک ردیف پستی‌وبلندی با ساختارهای یال و دره به‌نام کاتنا توسعه یافته‌اند. به‌طور کلی، توپوگرافی و تغییر موقعیت شیب بر مشخصه‌های خاک و پراکنش گونه‌های گیاهی تأثیر می‌گذارند. پژوهش پیش‌رو در دو توده بهره‌برداری‌شده و بهره‌برداری‌نشده راش با هدف مقایسه تغییرپذیری مشخصه‌های خاک در طول کاتناهای V شکل در جنگل اسالم انجام شد. در هر توده، سه ساختار کاتنا بررسی شد. نمونه‌های خاک (از مرکز و چهارگوشه قطعه‌نمونه‌های ۴۰۰ متر مربعی در امتداد هر کاتنا و موقعیت‌های شیب) از سه عمق صفر تا ۱۰، ۱۰ تا ۲۰ و ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متری تهیه شدند. با آمیختن آن‌ها، یک نمونه واحد برای هر عمق و موقعیت شیب استخراج شد. نمونه‌های خاک از هر عمق به‌منظور مطالعه مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه انتقال داده شدند. مطابق نتایج، تغییرپذیری مشخصه‌های مختلف خاک، بیشتر متأثر از عمق‌های مختلف و نوع مدیریت توده‌های جنگلی بود و کمتر از موقعیت‌های مختلف شیب کاتنا تأثیر گرفتند. بیشترین مقدار pH و Ec در توده بهره‌برداری‌شده، بیشترین مقدار فسفر در توده بهره‌برداری‌نشده و بیشترین مقدار پتاسیم نیز در موقعیت پنجه شیب اندازه‌گیری شد. پتاسیم قابل جذب تنها متغیری بود که در اثر متقابل مدیریت، موقعیت شیب و عمق خاک، اختلاف معنی‌داری داشت. در بیان کلی، موقعیت‌های پای و پنجه شیب، خاک‌های مغذی‌تری داشتند. این موضوع می‌تواند به‌دلیل پدیده آب‌شویی و فرسایش خاک از شیب‌های بالایی به موقعیت‌های پایینی شیب باشد.

**واژه‌های کلیدی:** شکل زمین، مدیریت جنگل، ویژگی‌های خاک.

## مقدمه

در رویشگاه‌های جنگلی، ترکیب پوشش گیاهی شامل اشکوب درختی، لایه زادآوری و پوشش علفی کف در یک عرض جغرافیایی مشخص تحت تأثیر عواملی مانند پستی‌وبلندی و نوع خاک قرار می‌گیرد (Shure *et al.*, 2006). نفوذ آب باران در خاک تاحدود زیادی به شیب زمین بستگی دارد و این موضوع، رشد درختان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Xiong *et al.*, 2005; Page & Cameron, 2006; Scharenbroch & Bockheim, 2007). پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهند که ارتباط معنی‌داری بین توان تولیدی درختان جنگلی و موقعیت شیب وجود دارد که بیانگر اهمیت پستی‌وبلندی در تعیین الگوی مکانی ذخیره‌های غذایی در خاک است (Jalali & Rowell, 1999; Augusto *et al.*, 2002; Mo *et al.*, 2008). در بین

مشخصه‌های مختلف خاک، مقدار ماده آلی یکی از شاخص‌های برجسته کیفیت خاک است (Schoenholtz *et al.*, 2000; Löffler, 2007). ماده آلی خاک یکی از اجزای مهم بوم‌سازگان‌های زمینی است و از نظر عملکرد و ساختار به فرایندهای اساسی بوم‌سازگان مربوط می‌شود (Doran & Parkin, 1994; Frimpong *et al.*, 2014). مقدار کربن آلی خاک و نیتروژن به‌سمت پایین و یا بالای دامنه تغییر می‌کند. قسمت‌های پایین دامنه و فرورفتگی‌ها، کربن و نیتروژن بیشتری نسبت به لبه‌های بالایی دامنه دارند، اما این موضوع در مورد دامنه‌های دارای خاک با بافت شنی برعکس است (Luizão *et al.*, 2004; Sánchez-Marañón *et al.*, 2002). همچنین، وزن مخصوص ظاهری خاک به‌علت کاهش مقدار کربن آلی در بخش‌های بالایی دامنه، افزایش می‌یابد (Kizilkaya & Dengiz, 2010; Salehi *et al.*, 2011). این موضوع می‌تواند بر مقدار ذخیره‌سازی (ترسیب) کربن خاک در موقعیت‌های مختلف دامنه اثرگذار باشد (Nelson *et al.*, 2008; Schulp *et al.*, 2008).

مفهوم کاتنا (Catena) اولین‌بار در سال ۱۹۳۵ در شرق آفریقا مطرح شد و از آن زمان تاکنون با تغییراتی در بررسی خاک و در رویشگاه‌های مختلفی از جهان استفاده شده است. گستره‌ای از سری خاک‌های پیوسته که در یک ردیف پستی‌وبلندی قرار می‌گیرند، کاتنا و یا به‌اصطلاح ردیف زهکشی نامیده می‌شوند. این ساختار بیشتر به‌شکل Λ یا V در طبیعت ظاهر می‌شود. شکل زمین می‌تواند طیف وسیعی از شرایط محیطی را نشان دهد. پستی‌وبلندی بر شکل‌گیری خاک تأثیرگذار است و نقشی بسیار مهمی را در توزیع مکانی عناصر غذایی در خاک ایفا می‌کند. همچنین، پستی‌وبلندی باعث ایجاد وابستگی قابل ملاحظه بین ویژگی‌های خاک و شکل زمین می‌شود (Kozar *et al.*, 2002). در یک بوم‌سازگان جنگلی، تنوع پستی‌وبلندی منجر به ترکیب متفاوتی از خاک و گیاهان می‌شود، به‌طوری‌که بر روی دامنه‌های پرشیب، خاک‌هایی جوان و با تکامل کمتر و بر روی دامنه‌های با شیب متوسط، خاک‌هایی با تکامل نسبی متوسط مشاهده می‌شوند، اما بر روی دامنه‌های کم‌شیب و اراضی مسطح، خاک‌هایی با تکامل بیشتر وجود دارند (Zushi, 2006). به‌طور کلی، موقعیت‌های مختلفی (قله (Summit)، دماغه یا شانه (Shoulder)، پشتی (Back slope)، پای (Foot slope) و پنجه (Toe slope)) برای شیب‌ها درنظر گرفته می‌شوند. هر یک از این موقعیت‌ها، اثرات متفاوتی بر مشخصه‌های خاک دارند (López *et al.*, 2003).

اثر موقعیت شیب بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جنگل‌های پهن‌برگ بلوط- ممرز لاهیجان در سه موقعیت قله، شانه و پای شیب توسط Ramezanpour و Kalbasi Zadeh (۲۰۱۳) بررسی شد. براساس نتایج پژوهش مذکور، بیشترین مقادیر رس، کربن آلی، ازت کل، فسفر قابل‌جذب، کلسیم، پتاسیم، منیزیم، ظرفیت تبادل کاتیونی، هدایت الکتریکی، اسید هومیک و اسید فولویک در موقعیت قله شیب مشاهده شد. در موقعیت پای شیب نیز برخی خواص خاک شامل واکنش خاک و وزن مخصوص ظاهری، بیشترین مقدار را داشتند. Rezaei و همکاران (۲۰۱۵) اثر موقعیت شیب بر ویژگی‌های خاک را در طول گرادیان ارتفاعی جنگل‌های ارسباران بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که موقعیت قله شیب، بیشترین نیتروژن کل و کربن آلی و پنجه شیب، بیشترین رس را داشتند، اما اختلاف مشخصه‌های pH، هدایت الکتریکی، فسفر و پتاسیم در موقعیت‌های مختلف شیب، معنی‌دار نبود. Fazlollahi Mohammadi و همکاران (۲۰۱۵) اثر شکل زمین بر پراکنش پوشش گیاهی و ویژگی‌های خاک در موقعیت‌های پنج‌گانه شیب در کاتنا را در جنگل آموزشی دانشگاه تربیت‌مدرس ارزیابی کردند. در پژوهش مذکور، ارتباط قوی ویژگی‌های خاک در کاتنای شکل دره با پوشش علفی گزارش شد. همچنین، Scholten و همکاران (۲۰۱۷) به‌بررسی اثر حاصلخیزی خاک و موقعیت پستی‌وبلندی بر مشخصه‌های رویشی و کیفیت درختان در منطقه نیمه‌حاره‌ای چین پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که بسیاری از عناصر غذایی خاک از بخش‌های بالایی دامنه به‌سمت پایین دامنه انتقال یافتند و موجب افزایش شاخص‌های حاصلخیزی خاک در دامنه‌های پایین و بهبود رشد درختان در بخش‌های پایین‌دست به‌ویژه در دره‌ها شدند. Palmtag و همکاران (۲۰۱۸) اثر شکل زمین بر

انباشتگی کربن و نیتروژن خاک را در دره زاکنبرگ گرینلند بررسی کردند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که مقدار انباشتگی کربن و نیتروژن در ۱۰۰ سانتی‌متر بالای خاک به ترتیب حدود ۴/۸ و ۰/۲۸ کیلوگرم در متر مربع بود. بررسی تجمع مقادیر کربن و نیتروژن خاک در لایه‌های پایین‌تر خاک (۱۰۰ تا ۳۰۰ سانتی‌متری) حاکی از کاهش تجمع این عناصر نسبت به لایه فوقانی بود.

با توجه به کوهستانی بودن سطوح وسیعی از جنگل‌های هیرکانی، پستی‌وبلندی‌های کاتنا به‌فراوانی مشاهده می‌شود. با این وجود پژوهش‌های اندکی در زمینه ارتباط بین مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی به‌ویژه عناصر غذایی، در موقعیت‌های مختلف به‌عنوان یک عملکرد از شرایط پستی‌وبلندی انجام شده‌اند. مطالعه ویژگی‌های کاتنا به‌ویژه در توده‌های طبیعی کمتردست‌خورده اهمیت بسیار زیادی دارد و مقایسه نتایج آن با توده‌های بهره‌برداری‌شده، اطلاعاتی جامع به‌منظور برنامه‌ریزی جنگل‌شناسی و پرورش جنگل فراهم می‌کند، بنابراین پژوهش پیش‌رو با هدف مقایسه مشخصه‌های خاک در موقعیت‌های مختلف دامنه در کاتنا در دو توده بهره‌برداری‌شده و بهره‌برداری‌نشده در جنگل آمیخته راش اسالم استان گیلان انجام شد. نتایج این پژوهش به‌عنوان پایگاه داده برای استفاده در مجامع علمی و توسط پژوهشگران قابل‌استفاده است. همچنین این یافته‌ها به‌منظور برنامه‌ریزی آینده برای مدیریت جنگل‌های هیرکانی مبتنی بر قواعد فنی و علمی با نگاه ویژه به اصول حفاظت، احیا، توسعه و بهره‌برداری منابع جنگلی و بازسازی ساختار جنگل‌های موجود می‌تواند استفاده شود.

## مواد و روش‌ها

### منطقه موردمطالعه

محدوده مورد بررسی در این پژوهش، جنگل راش در حوضه آبخیز هفت سری سه ناو اسالم در استان گیلان با طول جغرافیایی ′۴۳ °۴۸ تا ′۴۵ °۴۸ شرقی و عرض جغرافیایی ′۳۸ °۳۷ تا ′۴۱ °۳۷ شمالی بود. اقلیم منطقه براساس ضریب دومارتن در گروه مرطوب قرار دارد. میانگین ۳۰ ساله بارندگی منطقه ۱۳۸۵/۱۴ میلی‌متر، میانگین دمای سالانه ۱۶/۲۳، بیشینه دما ۲۵/۹۸ و میانگین کمینه دما ۸/۵۹ درجه سانتیگراد است (IRIMO, 2017).

در این پژوهش برای تعیین توده‌های جنگلی، ابتدا توده بهره‌برداری‌نشده (به‌عنوان توده شاهد) انتخاب شد. ازجمله ویژگی‌های توده مذکور می‌توان به سنگ مادری گرانیت–میکاشیست، خاک قهوه‌ای جنگلی، جهت شمال شرقی، توده راشستان آمیخته با گونه‌های همراه ممرز و پلت و شیب دامنه ۳۰ تا۵۰ درصد اشاره کرد. مطابق با ویژگی‌های این توده، یک توده بهره‌برداری‌شده نیز انتخاب شد. اگرچه در طبیعت نمی‌توان تمام شرایط را تحت کنترل درآورد، اما برای کاهش خطا در این پژوهش سعی شد که حداکثر همگنی در رویشگاه و شرایط یکنواخت به‌منظور مقایسه آن‌ها رعایت شود. توده بهره‌برداری‌شده (پارسل شماره ۵۰) در زمان اجرای پژوهش به‌شیوه تک‌گزینی و روش دانه‌زاد ناهمسال مدیریت می‌شد، اما در توده بهره‌برداری‌نشده (پارسل شماره ۴۰) هیچ‌یک از عملیات معمول جنگل‌داری انجام نشده بود و به‌عنوان پارسل پژوهشی استفاده می‌شد.

### روش پژوهش

در ابتدا سه تکرار از ساختار کاتنا V شکل برای هر توده انتخاب شد و موقعیت جغرافیایی آن‌ها توسط دستگاه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) ثبت شد. در مرحله بعد، ضمن تعیین خط‌نمونه نواری به‌عرض ۲۰ متر در بخش مرکزی و در راستای طول هر کاتنا، موقعیت‌های پنج‌گانه دامنه شامل قله، شانه، پشتی، پای و پنجه شیب مشخص شد. سپس در هریک از خط‌نمونه‌های مذکور در هر موقعیت، یک قطعه‌نمونه ۲۰×۲۰ متر مربعی در عرض کاتنا (Fazlollahi Mohammadi *et al.*, 2015) و درمجموع ۱۵ قطعه‌نمونه ۴۰۰ متر مربعی به‌صورت انتخابی برای هر توده (۳۰ قطعه‌نمونه درمجموع دو توده) پیاده شد. در مرکز و چهارگوشه قطعه‌نمونه‌ها، نمونه‌های خاک از سه عمق صفر تا ۱۰، ۱۰ تا ۲۰ و ۲۰ تا ۳۰ سانتی‌متری تهیه شد. با آمیختن آن‌ها، یک نمونه واحد برای هر عمق و موقعیت شیب

به‌دست آمد. در آزمایشگاه، وزن مخصوص ظاهری به‌روش کلوخه، بافت خاک به‌روش هیدرومتری، درصد رطوبت به‌شیوه توزین و خشک کردن، اسیدیته و هدایت الکتریکی خاک به‌روش پتانسیومتری، کربن آلی به‌روش والکی‌بلاک، نیتروژن کل به‌شیوه کجلدال، فسفر قابل جذب به‌روش اولسن و پتاسیم قابل جذب نیز با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد (Jafari Haghighi, 2003). همچنین، مقدار ترسیب کربن با ضرب مقادیر کربن آلی و وزن مخصوص ظاهری خاک در عمق مورد نظر محاسبه شد (Varamesh *et al.*, 2011).

### تحلیل آماری داده‌ها

در گام اول، نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف- سمیرنوف و همگنی واریانس‌ها با آزمون لون بررسی شد. برای مقایسه مشخصه‌های خاک در دو منطقه، موقعیت‌های مختلف دامنه در کاتنا و عمق خاک از آزمون تجزیه واریانس سه‌طرفه استفاده شد. آزمون چنددامنه‌ای دانکن ($p < ۰/۰۵$) نیز برای مقایسه میانگین‌ها به‌کار رفت. تجزیه‌وتحلیل‌های آماری در بسته نرم‌افزاری SPSS نسخه ۲۲ انجام شد.

## نتایج

### مشخصه‌های فیزیکی خاک

تجزیه واریانس مشخصه‌های فیزیکی خاک حاکی از وجود تفاوت‌های معنی‌دار در اجزای بافت خاک تحت تأثیر نوع مدیریت جنگل بود (جدول ۱). با این حال، تفاوت‌های معنی‌داری از نظر وزن مخصوص ظاهری و محتوای رطوبت خاک بین مدیریت‌های مختلف جنگل مشاهده نشد. نوع بافت خاک براساس نتایج این پژوهش و به‌روش مثلث تعیین بافت، شنی- لومی تعیین شد. موقعیت دامنه فقط بر مقدار شن و رس خاک، اثری معنی‌دار داشت. متغیرهای دیگر تفاوت معنی‌داری را بین موقعیت‌های مختلف دامنه نشان ندادند.

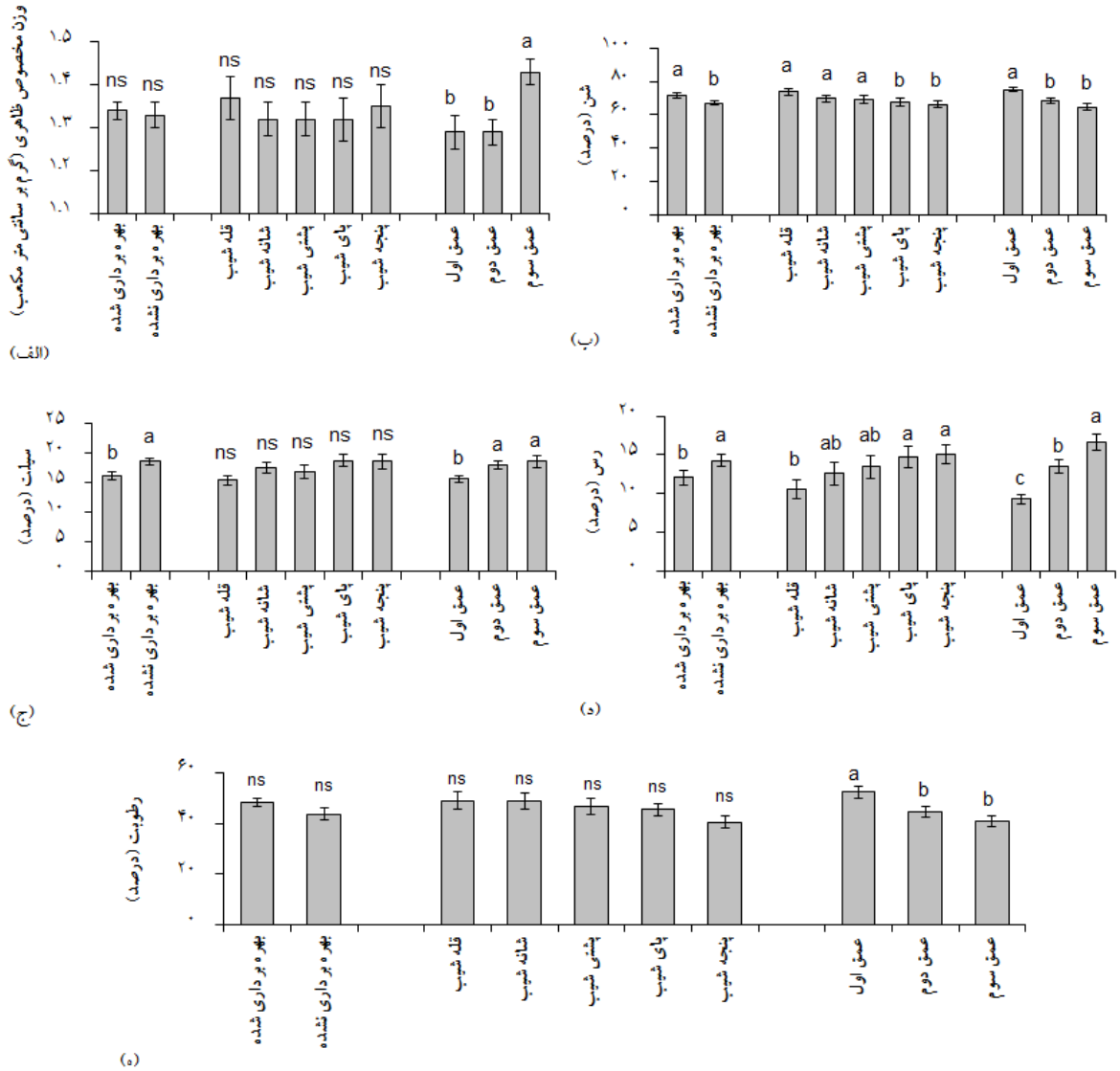
**جدول ۱- تجزیه واریانس و مقدار F مشخصه‌های فیزیکی خاک در ارتباط با نوع مدیریت، موقعیت‌های مختلف شیب و عمق خاک**

| منبع تغییرات | درجه آزادی | وزن مخصوص ظاهری ($gr/cm^3$) | شن (درصد) | سیلت (درصد) | رس (درصد) | رطوبت (درصد) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| مدیریت (A) | ۱ | ۰/۰۱۹$^{ns}$ | ۷/۷۸۲$^{**}$ | ۶/۲۱۹$^{*}$ | ۵/۱۴۲$^{*}$ | ۲/۸۷۳$^{ns}$ |
| موقعیت شیب (B) | ۴ | ۰/۲۴۵$^{ns}$ | ۲/۶۶۶$^{*}$ | ۱/۶۸۶$^{ns}$ | ۲/۴۹۱$^{*}$ | ۱/۳۷۴$^{ns}$ |
| عمق خاک (C) | ۲ | ۴/۳۵۳$^{*}$ | ۱۳/۹۹۵$^{**}$ | ۳/۶۹۵$^{*}$ | ۱۹/۵۰۳$^{**}$ | ۶/۸۹۹$^{**}$ |
| A×B | ۴ | ۰/۸۷۵$^{ns}$ | ۲/۳۳۳$^{ns}$ | ۰/۷۹۳$^{ns}$ | ۳/۰۱$^{*}$ | ۰/۲۳۱$^{ns}$ |
| A×C | ۲ | ۵/۱۵۴$^{*}$ | ۲/۵۹۱$^{ns}$ | ۰/۷۸۶$^{ns}$ | ۳/۴۷۹$^{*}$ | ۰/۷۱۸$^{ns}$ |
| B×C | ۸ | ۱/۰۳۴$^{ns}$ | ۰/۳۰۱$^{ns}$ | ۰/۴۲۶$^{ns}$ | ۰/۱۶۵$^{ns}$ | ۰/۸۸۳$^{ns}$ |
| A×B×C | ۸ | ۰/۵۹۱$^{ns}$ | ۰/۸۴۸$^{ns}$ | ۰/۹۷۴$^{ns}$ | ۰/۹۳۴$^{ns}$ | ۰/۶۲۴$^{ns}$ |

$^{**}$ معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد؛ $^{*}$معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد؛ $^{ns}$ غیرمعنی‌دار

تمام مشخصه‌های فیزیکی خاک مورد مطالعه تحت تأثیر عمق خاک، تفاوت معنی‌داری را نشان دادند. همچنین، بیشترین مقدار شن در عرصه بهره‌برداری‌شده و بیشترین مقادیر سیلت و رس در توده بهره‌برداری‌نشده مشاهده شد. محتوای شن در موقعیت قله دامنه، بیشترین مقدار را داشت و کمترین مقدار آن در پای و پنجه

مشاهده شد. بیشترین مقادیر شن و محتوای درصد رطوبت در افق‌های بالایی خاک مشاهده شد. درحالی‌که افق‌های پایین‌تر خاک، وزن مخصوص ظاهری، درصد سیلت و رس بیشتری داشتند. در بررسی اثرات متقابل، درصد رس خاک تحت تأثیر متقابل نوع مدیریت و موقعیت دامنه و نیز نوع مدیریت و عمق خاک بود. وزن مخصوص ظاهری خاک نیز متأثر از اثر متقابل نوع مدیریت و عمق خاک بود (شکل ۱).




شکل ۱- میانگین (± اشتباه معیار) مشخصه‌های فیزیکی خاک در ارتباط با نوع مدیریت، موقعیت‌های مختلف شیب و عمق خاک. حروف متفاوت لاتین نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند.

**مشخصه‌های شیمیایی خاک**

از بین مشخصه‌های مختلف شیمیایی خاک، اسیدیته، هدایت الکتریکی و فسفر قابل جذب تحت تأثیر نوع مدیریت جنگل تفاوت‌های معنی‌داری را نشان دادند. همچنین، نسبت C/N و پتاسیم قابل جذب خاک به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر موقعیت‌های مختلف دامنه بودند. به‌جز pH، مشخصه‌های شیمیایی دیگر، تغییرات معنی‌داری را در ارتباط با عمق‌های مختلف خاک نشان دادند. بر این اساس، بیشترین مقادیر pH و هدایت الکتریکی در توده‌های بهره‌برداری‌شده و بیشترین مقدار فسفر قابل جذب در عرصه بهره‌برداری‌نشده مشاهده شد. بیشترین مقادیر C/N و پتاسیم قابل جذب به موقعیت پنجه دامنه اختصاص داشت. بیشترین مقادیر تمامی متغیرهای شیمیایی مورد مطالعه در لایه‌های بالایی خاک مشاهده شد. همچنین، مشخصه‌های pH (در اثر متقابل نوع مدیریت جنگل و موقعیت‌های مختلف شیب کاتنا)، هدایت الکتریکی و ترسیب کربن (در اثر متقابل نوع مدیریت جنگل و عمق‌های خاک) و پتاسیم قابل جذب (در اثر متقابل موقعیت‌های مختلف شیب کاتنا و عمق خاک و نیز در اثر متقابل نوع مدیریت، موقعیت‌های مختلف شیب کاتنا و عمق خاک) تفاوت‌های معنی‌داری داشتند (جدول ۲ و شکل ۲).

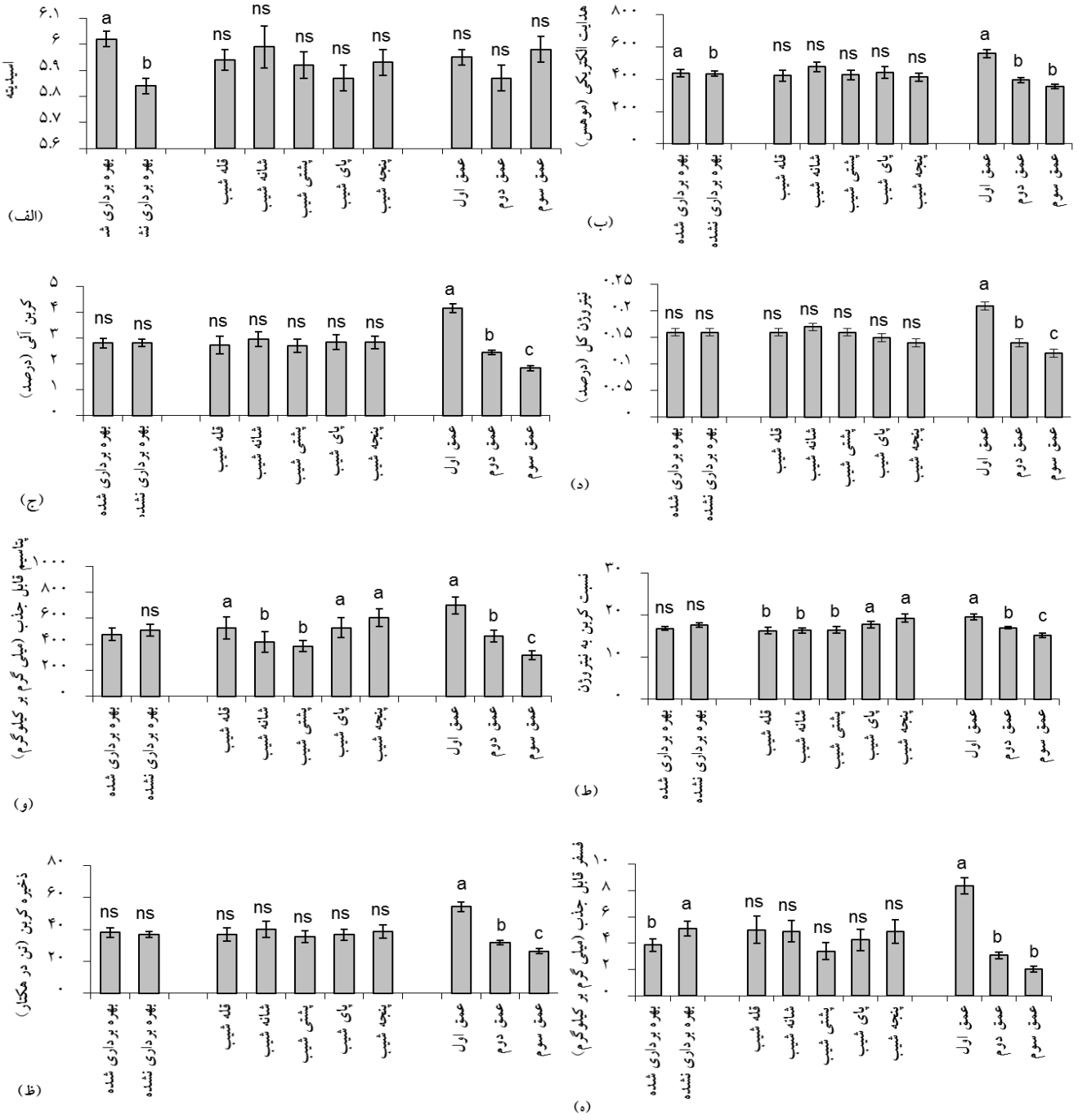
**جدول ۲- تجزیه واریانس و مقدار F مشخصه‌های شیمیایی خاک در ارتباط با نوع مدیریت، موقعیت‌های مختلف شیب و عمق خاک**

| منبع تغییرات | درجه آزادی | نسبت C/N | pH | P (mg/kg) | N (%) | K (mg/kg) | Ec (ds/m) | OC (%) | C.Seq. (ton/ha) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| مدیریت (A) | ۱ | ۱/۵۶۶$^{ns}$ | ۱۳/۴۹۳$^{**}$ | ۵/۹۵۲$^{*}$ | ۰/۱۱۴$^{ns}$ | ۰/۴۴۲$^{ns}$ | ۰/۰۳۸$^{**}$ | ۰/۰۱۶$^{ns}$ | ۰/۲۲۷$^{ns}$ |
| موقعیت شیب (B) | ۴ | ۳/۲۴۵$^{*}$ | ۰/۷۲۸$^{ns}$ | ۱/۴۷۷$^{ns}$ | ۱/۵۹۹$^{ns}$ | ۲/۶۲۸$^{*}$ | ۱/۰۳۱$^{ns}$ | ۰/۳۷۶$^{ns}$ | ۰/۴۰۲$^{ns}$ |
| عمق خاک (C) | ۲ | ۱۵/۱۲۲$^{**}$ | ۲/۰۹۷$^{ns}$ | ۶۰/۴۱۸$^{**}$ | ۴۸/۴۲۲$^{**}$ | ۲۰/۴۷۳$^{**}$ | ۳۱/۸۷۷$^{**}$ | ۸۵/۶۷۷$^{**}$ | ۴۳/۷۵۲$^{**}$ |
| A×B | ۴ | ۰/۱۹۳$^{ns}$ | ۲/۸۸۲$^{*}$ | ۰/۵۸۹$^{ns}$ | ۱/۰۴۲$^{ns}$ | ۲/۰۹۶$^{ns}$ | ۰/۲۹۶$^{ns}$ | ۱/۱۷۶$^{ns}$ | ۱/۳۸۹$^{ns}$ |
| A×C | ۲ | ۰/۳۷۶$^{ns}$ | ۰/۵۸$^{ns}$ | ۰/۵۶۳$^{ns}$ | ۲/۴۱۱$^{ns}$ | ۰/۳۶۷$^{ns}$ | ۴/۰۴۷$^{*}$ | ۱/۰۷۷$^{ns}$ | ۴/۳۳$^{*}$ |
| B×C | ۸ | ۱/۱۲۴$^{ns}$ | ۰/۷۵۶$^{ns}$ | ۰/۲۳۷$^{ns}$ | ۰/۲۵۳$^{ns}$ | ۲/۳۷۱$^{*}$ | ۰/۶۶۳$^{ns}$ | ۰/۷۴۸$^{ns}$ | ۰/۶۲۱$^{ns}$ |
| A×B×C | ۸ | ۰/۴۲$^{ns}$ | ۲/۰۶۱$^{ns}$ | ۰/۰۷۳$^{ns}$ | ۰/۶۸۴$^{ns}$ | ۲/۱۷۹$^{*}$ | ۰/۶۸۸$^{ns}$ | ۰/۵۷۷$^{ns}$ | ۰/۴۷۶$^{ns}$ |

$^{**}$ معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد؛ $^{*}$معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد؛ $^{ns}$ غیرمعنی‌دار

**بحث**

مطابق نتایج پژوهش پیش‌رو، مشخصه جرم مخصوص ظاهری، تفاوت‌های معنی‌داری را در مدیریت‌های مختلف جنگل و موقعیت‌های مختلف شیب کاتنا نشان نداد، در حالی‌که بیشترین تغییرپذیری این مشخصه در عمق‌های مختلف خاک مشاهده شد. بافت، ساختمان و تراکم، مهم‌ترین عوامل مؤثر بر وزن مخصوص ظاهری خاک بودند. با افزایش عمق خاک به‌طرف لایه‌های پایین‌تر، به‌علت فشردگی خاک، وزن مخصوص ظاهری افزایش می‌یابد (Jafari Haghighi, 2003) که در عمق‌های پایین‌تر خاک در این پژوهش نیز به‌طور کامل مشهود بود و تفاوت‌های معنی‌داری مشاهده شد. در لایه‌های فوقانی خاک به‌دلیل وجود ریشه‌های گیاهان و فعالیت موجوداتی مثل کرم‌های خاکی، خلل‌وفرج خاک بیشتر بود که موجب کاهش جرم مخصوص ظاهری می‌شود (Kizilkaya & Dengiz, 2010).




**شکل ۲- میانگین (± اشتباه معیار) مشخصه‌های شیمیایی خاک در ارتباط با نوع مدیریت، موقعیت‌های مختلف شیب و عمق خاک. حروف متفاوت لاتین نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند.**

نتایج نشان داد که بیشترین مقادیر شن در توده بهره‌برداری‌شده و در عمق‌های بالایی خاک وجود داشت. بیشترین مقدار رس نیز به موقعیت‌های پای و پنجه شیب، توده بهره‌برداری‌نشده و لایه‌های پایین‌تر خاک تعلق داشت.

همچنین، بیشترین مقادیر سیلت در توده بهره‌برداری‌نشده و لایه‌های پایینی خاک اندازه‌گیری شد. این موضوع می‌تواند به باز شدن تاج‌پوشش در توده بهره‌برداری‌شده مرتبط باشد، به‌طوری‌که باز شدن تاج‌پوشش آشکوب فوقانی منجر به برخورد مستقیم ذرات باران و آب‌شویی‌های فراوان می‌شود. ذرات سیلت و رس که ابعاد کوچک‌تری دارند، به‌راحتی از لابه‌لای ذرات بزرگ‌تر حرکت می‌کنند و در لایه‌های پایین‌تر خاک جای می‌گیرند (پدیده انتقال)، در حالی‌که ذرات شن با اندازه‌های بزرگ‌تر خود، قابلیت جابه‌جایی در میان اجزای دیگر تشکیل‌دهنده خاک را ندارند و در همان لایه‌های بالایی خاک باقی می‌مانند (Tavakoli *et al.*, 2008). تغییرپذیری اجزای بافت خاک (محتوای شن، سیلت و رس) تاحد زیادی متأثر از درجه شیب رویشگاه است (Schoenholtz *et al.*, 2000). بیشتر خاک‌هایی که بر روی دامنه‌های با شیب‌های تند قرار می‌گیرند، بافت‌های درشت‌تری دارند، در حالی‌که دامنه‌های با شیب‌های کمتر، خاکی با بافت‌های ریزتری دارند. ذرات سیلت و رس از شیب‌های بالاتر حرکت می‌کنند و در شیب‌های پایین‌تر تجمع می‌یابند (Zushi, 2006). این موضوع، نتایج پژوهش پیش‌رو را نیز تأیید می‌کند.

حرکت آب یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در فرایند تشکیل خاک و تکامل زمین‌نما است. توزیع آب هم برای واکنش‌هایی که باعث تغییرات پدولوژیکی می‌شود و هم برای بسیاری از جنبه‌های عملی رفتار خاک مهم است، بنابراین ژئومتری دامنه (زاویه، طول، جهت و انحنای دامنه) بر رواناب و زهکشی تأثیر می‌گذارد. درنتیجه، مقدار رطوبت با موقعیت‌های مختلف دامنه تغییر می‌کند. در پژوهش پیش‌رو، تغییرات محتوای رطوبت خاک در موقعیت‌های مختلف دامنه معنی‌دار نبود. این در حالی است که افزایش معنی‌دار این مشخصه در لایه‌های بالایی خاک می‌تواند در ارتباط مستقیم با لایه لاش‌برگ سطح خاک باشد که شبیه یک اسفنج عمل می‌کند و باعث تجمع رطوبت در لایه‌های بالایی خاک شود (Page & Cameron, 2006).

یافته‌های دیگر نشان داد که توده بهره‌برداری‌شده، pH بیشتری نسبت به خاک توده بهره‌برداری‌نشده داشت. کمتر بودن مقادیر pH خاک در تاج‌پوشش‌های بسته (توده بهره‌برداری‌نشده) می‌تواند در ارتباط با حضور کمپلکس‌های اسیدی آلی پایدار باشد، در حالی‌که در فضاهای باز تاجی (توده بهره‌برداری‌شده) این کمپلکس‌ها در اثر آب‌شویی شدید خاک از بخش‌های بالایی خاک شسته می‌شوند و منجر به بیشتر شدن pH خاک در توده‌های بهره‌برداری‌شده می‌شوند (Scharenbroch & Bockheim, 2007). از سویی، در توده‌های بهره‌برداری‌شده و بهره‌برداری‌نشده، ترکیب و فراوانی حضور گونه‌های متفاوت درختی می‌تواند بر کیفیت لاش‌برگ بقایای گیاهی کف و درنهایت pH خاک اثرگذار باشد. مطابق با نتایج پژوهش Augusto و همکاران (۲۰۰۲)، تاج‌پوشش گونه‌ها می‌تواند ازطریق فرایندهای اساسی همانند افزایش آنیون‌ها و اسیدها باعث کاهش pH خاک شود. تصور می‌شود که اثرگذاری این فرایندها توسط تاج‌پوشش بر خاک زیرین در توده بهره‌برداری‌نشده بیشتر باشد، بنابراین مقادیر pH در خاک زیرین این نوع مدیریت جنگل تاحد قابل ملاحظه‌ای کاهش پیدا کرده بود. براساس نتایج پژوهش پیش‌رو، موقعیت‌های مختلف دامنه و عمق‌های خاک، اثرات معنی‌داری بر تغییرات pH خاک نداشتند. این یافته با نتایج پژوهش Rezaei و همکاران (۲۰۱۵) مطابقت دارد.

مشخصه هدایت الکتریکی خاک بیانگر وجود املاح محلول و متأثر از نوع ترکیب گونه درختی و مدیریت جنگل (بهره‌برداری‌شده و بهره‌برداری‌نشده) است. به‌طور کلی، در خاک‌هایی با مواد آلی بیشتر، هدایت الکتریکی خاک نیز بیشتر است (Schoenholtz *et al.*, 2000). هدایت الکتریکی همانند pH تحت تأثیر کاتیون‌ها و آنیون‌های موجود در خاک است که به‌طور معمول با توجه به بازگشت عناصر کاتیونی و آنیونی به خاک تغییر می‌کند. در این پژوهش، تغییرات این مشخصه هم در مدیریت‌های مختلف توده جنگلی و هم در خصوص لایه‌های مختلف خاک می‌تواند به‌دلیل اختلاف در ترکیبات بقایای گیاهی باشد. همچنین، بسته به اینکه مقدار و نوع کیفیت بقایای گیاهی واردشده به

خاک چه نوع ترکیبات شیمیایی دارند، هدایت الکتریکی خاک تغییر می‌کند.

کربن آلی به‌عنوان مؤلفه عملکردی و ساختاری حاصلخیزی خاک شناخته می‌شود که به‌طور وسیعی در مدیریت خاک‌های جنگلی و حاصلخیزی رویشگاه استفاده شده است. Doran و Parkin (۱۹۹۴) از کربن آلی خاک به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های محیطی کیفیت خاک که قابلیت دسترسی به عناصر غذایی را تسهیل می‌کند، نام بردند. مطابق با پژوهش پیش‌رو، تغییرات کربن آلی خاک تحت تأثیر نوع مدیریت جنگل و موقعیت‌های مختلف شیب کاتنا، تفاوت‌های معنی‌داری را نشان نداد، در حالی‌که بررسی عمق‌های مختلف خاک بیانگر وجود تفاوت معنی‌داری در این مشخصه بود. بر همین اساس، بیشترین مقادیر کربن آلی در بخش‌های بالایی و افق‌های سطحی خاک اندازه‌گیری شد. همچنین، مقادیر این مشخصه از افق‌های سطحی به افق‌های زیرین، روند کاهشی داشت. با توجه به تجمع لاش‌برگ‌ها و بقایای گیاهی در سطح خاک، بیشتر بودن مقادیر کربن آلی در بخش‌های بالایی خاک، طبیعی است و با افزایش عمق خاک از مقدار مواد و کربن آلی خاک نیز کاسته می‌شود (Schoenholtz *et al.*, 2000). ذخیره کربن خاک با افزایش عمق در هر دو توده‌های بهره‌برداری‌شده و بهره‌برداری‌نشده کاهش یافت. این موضوع با توجه به فعالیت بیشتر میکروارگانیسم‌ها، وجود ریشه گیاهان، بافت مناسب خاک و نیز تجزیه لاش‌برگ و لاش‌ریزه کف جنگل در لایه‌های بالایی خاک متناسب است و به‌طور کامل با نتایج Varamesh و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد. یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تغییرات ذخیره کربن، تغییرپذیری پراکنش کربن آلی در لایه‌های خاک و نیز تغییرات جرم مخصوص ظاهری خاک است (Schulp *et al.*, 2008). همچنین، عوامل میکروبی و ترشح اسیدهای ناشی از فعالیت این میکروارگانیسم‌ها، نقشی مهم در انباشت کربن در لایه‌های بالایی خاک دارد (Frimpong *et al.*, 2014).

نتایج پژوهش پیش‌رو نشان داد که تغییرات نیتروژن خاک متأثر از نوع مدیریت جنگل و موقعیت‌های مختلف دامنه نیست. بیشترین مقادیر این مشخصه به لایه‌های بالایی خاک تعلق داشت. از آنجایی‌که مقدار نیتروژن کل، رابطه مستقیمی با درصد مواد و کربن آلی دارد (Sánchez-Marañón *et al.*, 2002)، تغییرات نیتروژن خاک در لایه‌های مختلف خاک نیز همسو با تغییرات کربن آلی خاک بود. در همین راستا، Scharenbroch و Bockheim (۲۰۰۷) گزارش کردند که بیشترین تجمع نیتروژن در عمق‌های بالایی خاک است. همچنین، با افزایش عمق خاک، دسترسی به منابع نیتروژن همانند لاش‌برگ و بقایای گیاهی کاهش می‌یابد. از سویی، مشخص شده که خاک‌های مرطوب از نظر نیتروژن غنی‌تر از خاک‌های دیگر هستند و مقدار آن در طبقات زیرین کمتر از لایه‌های سطحی است (Jafari Haghighi, 2003). این موضوع در پژوهش پیش‌رو نیز تأیید شد. نسبت کربن به نیتروژن خاک با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و زیستی خاک بسیار مرتبط است و به‌طور گسترده به‌عنوان یکی از شاخص‌های مهم برای ارزیابی کیفیت خاک استفاده می‌شود (Zushi, 2006). با توجه به اینکه تغییرات نسبت کربن به نیتروژن در خاک متأثر از تغییرپذیری اجزای کربن آلی و ازت کل خاک است، بنابراین براساس نوع مدیریت جنگل، موقعیت‌های مختلف شیب کاتنا و همچنین عمق‌های خاک، تفاوت‌های اساسی نشان می‌دهند. در همین راستا، بر مبنای دامنه تغییرات مقادیر کربن و نیتروژن خاک در تیمارهای مورد بررسی، اثر نوع مدیریت جنگل بر مقدار کربن به نیتروژن خاک معنی‌دار نبود، در حالی‌که بیشترین مقادیر آن به‌طور معنی‌دار در موقعیت پنجه شیب و عمق بالایی خاک مشاهده شد.

تغییرپذیری مشخصه‌های فسفر و پتاسیم قابل جذب خاک در عرصه‌های مورد مطالعه حاکی از اثرات معنی‌دار نوع مدیریت جنگل بر مشخصه فسفر قابل جذب و اثر موقعیت‌های مختلف دامنه بر پتاسیم قابل جذب خاک بود. از سویی، بیشترین مقادیر این مشخصه‌ها نیز در لایه‌های بالایی خاک مشاهده شد. به‌طور کلی، با باز شدن تاج‌پوشش در جنگل، فضای خالی برای نفوذ تشعشعات خورشیدی بیشتر می‌شود که می‌تواند باعث افزایش سرعت

تجزیه لاش‌برگ‌های کف جنگل شود. پیرو آن، عناصر غذایی بیشتری در اثر تجزیه لاش‌برگ‌ها در اختیار خاک قرار می‌گیرد، اما تاج‌پوشش با حفره‌های بزرگ منجر به آب‌شویی بیشتر عناصر غذایی در فضای داخلی توده جنگلی می‌شوند. در پژوهش Scharenbroch و Bockheim (۲۰۰۷) نیز آب‌شویی به‌عنوان مهم‌ترین عامل کاهش مقادیر فسفر خاک در فضای خالی تاج‌پوشش شناخته شد. این پژوهشگران نتیجه‌گیری کردند که اگر در جنگل‌های مسن، بازشدگی تاج‌پوشش از ۳۰۰ متر مربع بیشتر شود، احتمال آب‌شویی عناصر غذایی خاک به بیشترین مقدار خود می‌رسد. درنهایت، خاک فقیر باقی می‌ماند. از سوی دیگر، مقدار فسفر قابل جذب به مقدار رس نیز بستگی دارد. چون این ذرات مکان‌هایی را برای جذب سطحی فراهم می‌کنند و این کانی‌ها با داشتن بار منفی، کاتیون‌ها را بهتر جذب می‌کنند (Luizão *et al.*, 2004). در پژوهش پیش‌رو مشخص شد که توده بهره‌برداری‌نشده که مقدار رس بیشتری نسبت به توده‌های بهره‌برداری‌شده داشت، دارای فسفر بیشتری نیز بود. در همین راستا، در بحث مدیریت جنگل و نشانه‌گذاری درختان باید به این مهم توجه داشت و از ایجاد سطوح خالی با وسعت زیاد خودداری کرد. همچنین، باید درنظر داشت که با افزایش سطح بازشدگی تاج‌پوشش در توده بهره‌برداری‌شده، ترکیب گونه‌های گیاهی کف جنگل تغییر می‌کند (Shure *et al.*, 2006)، بنابراین با توجه به سرشت متفاوت گونه‌های گیاهی، کاهش عناصر غذایی خاک در فضای خالی تاج‌پوشش می‌تواند در کنار عامل آب‌شویی خاک، نقشی مهم داشته باشد. البته ذکر این نکته ضروری است که نگهداری عناصر غذایی در خاک به توازن بین ورودی‌ها (ذخیره‌های اتمسفری، تثبیت و یا جذب گازها)، تبدیلات (هوادیدگی معدنی و معدنی شدن مواد آلی خاک) و خروجی‌ها (آب‌شویی خاک و فرار محتویات غذایی از خاک) بستگی دارد. به‌طور کلی، تاج‌پوشش درختان به‌عنوان حفاظی محسوب می‌شود که باعث تقویت عناصر غذایی و مانع از آب‌شویی آن‌ها در خاک می‌شود، بنابراین در موقعیت‌هایی که تاج‌پوشش در بوم‌سازگان جنگل از بین می‌رود، آب‌شویی عناصر غذایی در خاک تشدید می‌شود.

لایه‌های بالایی عرصه جنگلی به‌دلیل قرارگیری لاش‌برگ درختان بر روی آن حاوی مقادیر بسیار زیادی از عناصر غذایی هستند که از طریق تجزیه لاش‌برگ‌ها به خاک برمی‌گردند، بنابراین سطوح بالایی خاک نسبت به عمق‌های دیگر خاک، عناصر غذایی بیشتری دارند (Scharenbroch & Bockheim, 2007). از سویی، درصد زیاد پتاسیم در لایه بالایی خاک نیز می‌تواند به‌دلیل منابع غذایی فراوان (لاش‌برگ و بقایای گیاهی) در کف جنگل باشد. با کاهش مقدار رس بر اثر آب‌شویی و افزایش درصد شن به‌دلیل عواملی مانند کم بودن مواضع تبادلی در این جزء معدنی، بزرگ بودن منافذ و زهکشی خوب، آب‌شویی پتاسیم زیاد می‌شود و غلظت پتاسیم محلول کاهش می‌یابد (Jalali & Rowell, 1999). چنین حالتی در پژوهش پیش‌رو نیز دیده شد، به‌طوری‌که موقعیت‌های بالایی دامنه، بیشترین درصد شن و کمترین مقادیر پتاسیم را داشتند. همچنین، در موقعیت‌های پای و پنجه شیب به‌دلیل وجود مقادیر زیاد رس، پتاسیم بیشتری مشاهده شد.

نتایج پژوهش پیش‌رو نشان داد که نوع مدیریت جنگل و موقعیت‌های مختلف شیب کاتنا، تأثیر معنی‌داری بر مشخصه‌های خاک در عمق‌های مختلف داشتند. این امر به‌علت آب‌شویی عناصر غذایی و انتقال به اعماق مختلف خاک رخ می‌دهد. از سوی دیگر، مشخصه‌های خاک در بوم‌سازگان جنگل به‌واسطه وجود رابطه‌های پیچیده بیوژئوشیمیایی، بسته به وضعیت آب‌وهوایی منطقه، ترکیب تاج‌پوشش گونه‌های درختی، ترکیب و ساختار پوشش علفی و جهت جغرافیایی، تغییرات بسیار زیادی دارند که باعث می‌شود هیچ عاملی به‌تنهایی نتواند نقش کلیدی در بروز آن‌ها داشته باشد، بنابراین لازم است که اثر همه این عوامل در ارتباط با یکدیگر بررسی شود. همان‌طور که نتایج این پژوهش نشان داد، عامل پستی‌وبلندی در بیشتر مشخصه‌های خاک در کاتنا نقش مستقیم نداشت. به‌نظر می‌رسد که برای تعیین نقش این عامل باید عمق‌های پایین‌تر خاک (زیرا

مشخصه‌های خاک در عمق‌های بالایی تحت تأثیر ترکیب گونه‌های درختی قرار می‌گیرند) و کاتناهایی با دامنه ارتفاعی وسیع‌تر بررسی شوند. لازم به ذکر است که به‌دلیل الزام وجود سنگ بستر مشابه برای کاتنا (علاوه بر شیب، جهت، ارتفاع و ترکیب گونه‌های درختی)، یافتن کاتناهایی با شرایط ایده‌آل در عرصه‌های جنگل طبیعی بسیار مشکل است که در پژوهش‌های آتی باید به این موضوع توجه شود.

**References**


- Augusto, L., Ranger, J., Binkley, D. and Rothe, A., 2002. Impacts of several common tree species of European temperate forests on soil fertility. Annals of Forest Science, 59(3): 233-253.
- Doran, J.W. and Parkin, T.B., 1994. Defining and assessing soil quality: 3-21. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdick, D.F. and Stewart, B.A. (Eds.). Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Soil Science Society of America, Special Publication No. 35, Madison, Wisconsin, 244p.
- Fazlollahi Mohammadi, M., Jalali, S.Gh., Kooch, Y. and Theodose, T.A., 2015. The influence of landform on the understory plant community in a temperate Beech forest in northern Iran. Ecological Research, 30(2): 385-394.
- Frimpong, K.A., Afrifa, E.K.A., Ampofo, E.A. and Kwakye, P.K., 2014. Plant litter turnover, soil chemical and physical properties in a Ghanaian gold- mined soil revegetated with Acacia species. International Journal of Environmental Sciences, 4(5): 1058-1076.
- IRIMO (I.R. of Iran Meteorological Organization), 2017. Available at: Http://irimo.ir/far/web_directory/2703 (In Persian).
- Jafari Haghighi, M., 2003. Methods of Soil Analysis: Sampling and Important Physical & Chemical Analysis. Nedaye Zoha Press, 236p (In Persian).
- Jalali, M. and Rowell, D.L., 1999. The effect of cation exchange capacity, source of calcium and the rate of potassium application on the leaching of K in a sandy soil. Proceedings of the International Symposium on Balanced Fertilization and Crop Response to Potassium. Tehran, 15-18 May 1999: 307-307.
- Kizilkaya, R. and Dengiz, O., 2010. Variation of land use and land cover effects on some soil physico-chemical characteristics and soil enzyme activity. Zemdirbyste-Agriculture, 97(2): 15-24.
- Kozar, B., Lawrence, R. and Long, D.S., 2002. Soil phosphorus and potassium mapping using a spatial correlation model incorporating terrain slope gradient. Precision Agriculture, 3(4): 407-417.
- Löffler, J., 2007. The influence of micro-climate, snow cover, and soil moisture on ecosystem functioning in high mountains. Journal of Geographical Sciences, 17(1): 3-19.
- López, I.F., Lambert, M.G., Mackay, A.D. and Valentine, I., 2003. The influence of topography and pasture management on soil characteristics and herbage accumulation in hill pasture in the North Island of New Zealand. Plant and Soil, 255(2): 421-434.
- Luizão, R.C.C., Luizão, F.J., Paiva, R.Q., Monteiro, T.F., Sousa, L.S. and Kruijt, B., 2004. Variation of carbon and nitrogen cycling processes along a topographic gradient in a central Amazonian forest. Global Change Biology, 10(5): 592-600.
- Mo, J., Zhang, W., Zhu, W., Gundersen, P., Fang, Y., Li, D. and Wang, H., 2008. Nitrogen addition reduces soil respiration in a mature tropical forest in southern China. Global Change Biology, 14(2): 403-412.
- Nelson, J.D.J., Schoenau, J.J. and Malhi, S.S., 2008. Soil organic carbon changes and distribution in cultivated and restored grassland soils in Saskatchewan. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 82: 137-148.
- Page, L.M. and Cameron, A.D., 2006. Regeneration dynamics of Sitka spruce in artificially created forest gaps. Forest Ecology and Management, 221(1-3): 260-266.
- Palmtag, J., Cable, S., Christiansen, H.H., Hugelius, G. and Kuhry, P., 2018. Landform partitioning and estimates of deep storage of soil organic matter in Zackenberg, Greenland. The Cryosphere, 12: 1735-1744.
- Ramezanpour, H. and Kalbasi Zadeh, F., 2013. Studying slope position effects on soil physico-chemical properties in a hardwood forest of Lahijan region. Iranian Journal of Soil Research, 27(3): 387-395 (In Persian).
- Rezaei, H., Jafarzadeh, A.A., Alijanpour, A., Shahbazi, F. and Valizadeh Kamran, Kh., 2015. Effect of slope position on soil properties and types along an elevation gradient of Arasbaran forest, Iran. International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology, 5(6): 449-456.
- Salehi, A., Mohammadi, A. and Safari, A., 2011. Investigation and comparison of physical and chemical soil properties and quantitative characteristics of trees in less-damaged and damaged

area of Zagross forests (Case study: Poldokhtar, Lorestan province). Iranian Journal of Forest, 3(1): 81-89 (In Persian).
- Sánchez-Marañón, M., Soriano, M., Delgado, G. and Delgado, R., 2002. Soil quality in Mediterranean mountain environment: effects of land use change. Soil Science Society of America Journal, 66(3): 948-958.
- Scharenbroch, B.C. and Bockheim, J.G., 2007. Impacts of forest gaps on soil properties and processes in old growth northern hardwood-hemlock forests. Plant and Soil, 294(1-2): 219-233.
- Schoenholtz, S.H., Van Miegroet, H. and 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(1-3): 335-356.
- Scholten, T., Goebes, P., Kühn, P., Seitz, S., Assmann, T., Bauhus, J., Bruelheide, H., Buscot, F., Erfmeier, A., Fischer, M., Härdtle, W., He, J.S., Ma, K., Niklaus, P.A., Scherer-Lorenzen, M., Schmid, B., Shi, X., Song, Z., von Oheimb, G., Wirth, C., Wubet, T. and Schmidt, K., 2017. On the combined effect of soil fertility and topography on tree growth in subtropical forest ecosystems—a study from SE China. Journal of Plant Ecology, 10(1): 111-127.
- Schulp, C.J.E., Nabuurs, G.J., Verburg, P.H. and de Waal, R.W., 2008. Effect of tree species on carbon stocks in forest floor and mineral soil and implications for soil carbon inventories. Forest Ecology and Management, 256(3): 482-490.
- Shure, D.J., Phillips, D.L. and Bostick, P.E., 2006. Gap size and succession in cutover southern Appalachian forests: an 18-year study of vegetation dynamics. Plant Ecology, 185(2): 299-318.
- Tavakoli, M., Raiesi, F. and Salehi, M.H., 2008. Evaluation of selected soil quality indicators in almond orchard located on north and south facing slopes in Saman region, Shahrekord. Journal of Agriculture Sciences and Natural Resources, 15(3): 31-43 (In Persian).
- Varamesh, S., Hosseini, S.M. and Abdi, N., 2011. Effect of afforestation with broadleaf species on carbon sequestration in soil of chitgar forest. Iranian Journal of Soil Research, 25(3): 187-196 (In Persian).
- Xiong, D.H., Zhou, H.Y., Yang, Z. and Zhang, X.B., 2005. Slope lithologic property, soil moisture condition and revegetation in dry-hot valley of Jinsha river. Chinese Geographical Science, 15(2): 186-192.
- Zushi, K., 2006. Spatial distribution of soil carbon and nitrogen storage and forest productivity in a watershed planted to Japanese cedar (*Cryptomeria japonica* D. Don). Journal of Forest Research, 11(5): 351-358.

# The effect of slope position in Catena landform on soil physical and chemical features in the Asalem Beech forest

**M.B. Mahmoodi [1], H. Jalilvand [2*], S.M. Hodjati [3] and Y. Kooch [4]**

1- Ph.D. Student of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
2*- Corresponding author, Prof., Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran E-mail: hj_458_hj@yahoo.com
3- Associate Prof., Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
4- Assistant Prof., Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

Received: 21.07.2018 Accepted: 09.10.2018

**Abstract**

The beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands in the Hyrcanian region of Iran occur on a wide range of soils in a relief row with valley and ridge structures called Catena. This affects soil features and plant species distribution due to its topographic shape and different slope positions. The aim of this study was to compare changes in soil characteristics across V-shaped Catena in the two harvested and non-harvested beech stands in the Asalem region, Guilan Province. We selected three Catena landforms in each non-harvested and harvested stand. In each stand, a 400-$m^2$ plot along each Catena and slope position was designed, in which soil samples were taken from the center and four corners as well as from 10-0 cm, 20-10 cm and 30-20 cm depths. The samples were mixed to obtain a single soil sample for each depth and slope position. Soil samples were transferred to the laboratory to study physical and chemical properties. Based on our results, the variability of soil features was significantly influenced by different depths and forest management plans, whereas they were poorly affected by the different positions of the Catena. The highest amounts of pH and Ec were measured in the harvested stand, while the highest phosphorus and potassium contents were measured in the non-harvested stand and toe slope position, respectively. Absorbable potassium was the only parameter that had a significant difference in management, slope position, and depth of soil interactions. Generally, foot and toe slope positions contained more nutritious soils, which can be attributed to the leaching and erosion of soil from higher to lower slopes.

**Keywords**: Forest management, landform, soil properties.