

The Impact of Altitude on Climatic Parameters and the Characteristics of Forest Soils

ABSTRACT

In this study, the effect of altitude on climate and soil properties of forest soils in the Talesh region of Gilan province, Iran was investigated. Soil samples were collected from four altitudinal classes (500-1000, 1000-1500, 1500-2000, and 2000-2500 m) and soil properties and nutrient contents were measured. Climate data were also collected from the TerraClimate database. The results showed that with increasing altitude, precipitation increased and temperature decreased. The rate of increase in precipitation was 536.50 mm and the rate of decrease in temperature was 7.40 °C per 1000 m increase in altitude. Evapotranspiration also decreased with decreasing temperature at higher altitudes. Soils at higher altitudes had higher organic matter, total nitrogen, soil aggregate stability, and water holding capacity. However, available nutrients (K, S, P) were lower due to greater leaching and slower decomposition of organic matter at higher altitudes. The decrease in these nutrients was 15.18, 7.89, and 42.14%, respectively. Soil pH, bulk density, and salinity also decreased with increasing altitude. The findings of this study showed that although soils at higher altitudes have higher organic carbon content and water holding capacity, which can improve soil quality and forest ecosystem performance, they have lower available nutrients due to greater leaching. This can lead to nutrient depletion and acidification of these soils. Therefore, proper management of these soils, such as fertilization and liming, is essential to maintain ecosystem health.

KEYWORDS: *Altitude, Climate, Forest soils, Nutrient availability, Soil properties.*

تأثیر ارتفاع از سطح دریا بر پارامترهای اقلیمی و خصوصیات خاک‌های جنگلی

چکیده

در این مطالعه تأثیر ارتفاع بر اقلیم و ویژگی‌های خاک‌های جنگلی منطقه تالش استان گیلان مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌های خاک از چهار طبقه ارتفاعی (۵۰۰-۱۰۰۰، ۱۵۰۰-۱۰۰۰، ۲۰۰۰-۱۵۰۰ و ۲۵۰۰-۲۰۰۰ متر) جمع‌آوری و ویژگی‌های خاک و میزان عناصر غذایی در آن‌ها اندازه‌گیری گردید. داده‌های اقلیمی نیز از پایگاه داده TerraClimate جمع‌آوری شد. نتایج نشان داد که با افزایش ارتفاع، میزان بارندگی افزایش و دما کاهش یافت. میزان افزایش بارندگی ۵۳۶/۵۰ میلی‌متر و میزان کاهش دما ۷/۴۰ سانتی‌گراد به ازاء هر ۱۰۰۰ متر افزایش ارتفاع بود. تبخیر و تعرق نیز با کاهش دما در ارتفاعات بالاتر، کاهش یافت. خاک ارتفاعات بالاتر دارای ماده آلی، نیتروژن کل، پایداری خاکدانه و ظرفیت نگهداری آب بیشتری بود. با این حال، مواد غذایی قابل دسترس (K, S, P) به دلیل شست‌شوی بیش‌تر و تجزیه‌کنندتر ماده آلی در ارتفاعات بالاتر، کم‌تر بود. میزان کاهش این عناصر غذایی بترتیب برابر با ۱۵/۱۸، ۷/۸۹ و ۴۲/۱۴ درصد بود. pH، دانسیته توده و شوری خاک نیز با افزایش ارتفاع کاهش یافت. یافته‌های این پژوهش نشان داد که گرچه خاک‌های ارتفاعات بالاتر از محتوای کربن آلی و قدرت نگهداری آب بیشتری برخوردارند که می‌توانند به بهبود کیفیت خاک و عملکرد اکوسیستم‌های جنگلی کمک کنند، با این حال این خاک‌ها دارای مواد غذایی قابل دسترس کم‌تری هستند که ناشی از شست‌شوی بیش‌تر در آن‌ها می‌باشد. این امر می‌تواند منجر به تخلیه مواد غذایی و اسیدی شدن این خاک‌ها شود. بنابراین، مدیریت مناسب این خاک‌ها مثل کوددهی و آهک‌دهی برای حفظ سلامت اکوسیستم ضروری است.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع، اقلیم، خاک‌های جنگلی، فراهمی مواد غذایی، ویژگی‌های خاک.

ویژگی‌های خاک در مناطق مختلف جغرافیایی تحت تاثیر عوامل اقلیمی مانند بارش و دما و نحوه توزیع آن‌ها در طول سال قرار می‌گیرد. اقلیم همچنین بر نوع و تراکم پوشش گیاهی موثر بوده و از طریق کنترل میزان برگشت بقایای گیاهی به خاک، ویژگی‌های آن را کنترل می‌کند (Wei *et al.*, 2021). مناطق پر باران معمولاً دارای پوشش جنگلی انبوه هستند و چنانچه دما نیز زیاد بالا نباشد، خاک‌های غنی از مواد آلی زیر پوشش جنگل ایجاد می‌شود. ولی در مناطق کم باران و خشک پوشش گیاهی کم و خاک‌ها از لحاظ کربن آلی فقیر هستند (Delgado-Baquerizo *et al.*, 2017). دما نیز از جمله پارامترهای آب و هوایی است که بر میزان رطوبت خاک و میزان کربن آلی آن موثر می‌باشد. در مناطق گرم فعالیت موجودات خاکزی زیاد بوده و کربن آلی به سرعت تجزیه و به دی اکسید کربن تبدیل می‌شود و در هر سطحی از بارش با افزایش دما میزان مواد آلی خاک کاهش می‌یابد (Laliberté *et al.*, 2017). تجمع کربن آلی در خاک باعث استحکام ساختمان خاک شده و ضمن افزایش تخلخل به نفوذپذیری و زهکشی بهتر خاک کمک می‌کند. ماده آلی همچنین باعث افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک شده و به فراهمی بیشتر مواد غذایی کمک می‌کند (Wei *et al.*, 2021). مواد آلی منبع کربن، انرژی و مواد غذایی برای ریز جانداران خاک بوده و ضمن تقویت پتانسیل میکروبی به چرخش بهتر عناصری چون کربن و نیتروژن کمک می‌کند (Rai *et al.*, 2023). از آنجا که رس‌ها از هوازگی سنگ‌ها و کانی‌های خاک به وجود می‌آیند، بنابراین نوع و میزان کانی‌های رسی به وجود آمده به شدت هوازگی و نهایتاً به نوع آب و هوای منطقه بستگی دارد (Sisay *et al.*, 2023). در مناطق پر باران و گرم مشابه با مناطق حاره که شدت هوازگی بالا است رس‌های کائولینیت و اکسید بوجود می‌آیند، در صورتی که در مناطق نیمه خشک که شدت هوازگی کم‌تر است رس‌های اسمکتایت بوجود می‌آیند (Haber, 2023). ظرفیت تبادل کاتیونی خاک و قدرت نگهداری مواد غذایی نیز تحت تاثیر نوع و میزان رس و مواد آلی خاک قرار گرفته و خاک‌هایی با میزان حاصل خیزی و قدرت باروری متفاوت به وجود می‌آیند (Wei *et al.*, 2021). در شرایط آب و هوایی مرطوب کاتیون‌های قلیایی سطح رس شسته شده و جای خود را به پروتون حاصل از یونیزاسیون آب می‌دهند و موجبات اسیدی شدن خاک فراهم می‌شود و اسیدهای آلی آزاد شده از تجزیه مواد آلی این فرآیند را تشدید می‌کنند. در صورتی که در مناطق خشک و نیمه خشک عدم وجود بارش کافی و شسته نشدن مواد قلیایی باعث بوجود آمدن واکنش قلیایی در خاک می‌شود (Delgado-Baquerizo *et al.*, 2017). واکنش خاک با تاثیر بر فراهمی عناصر غذایی، رشد و نمو گیاه و فعالیت میکروبی را کنترل می‌کند (Marshall *et al.*, 2023). همان‌طور که ملاحظه می‌شود میزان و نوع رس، قدرت ترسیب و ذخیره کربن آلی، ویژگی‌های فیزیکی خاک مثل ساختمان و بافت خاک، ویژگی شیمیایی مثل pH، ظرفیت تبادل کاتیونی و شوری و همچنین فعالیت‌های بیولوژیک و چرخش عناصر غذایی، فرسایش پذیری، قدرت نگهداری آب و هوا، حاصل خیزی و قدرت باوری خاک همگی تحت تاثیر آب و هوا قرار گرفته و خاک‌هایی با پتانسیل و محدودیت‌های مختلف بوجود می‌آیند که اداره، حفظ و ارتقا حاصل خیزی و باوری آن‌ها نیاز به اقدامات مدیریتی متناسب با شرایط آن‌ها دارد (Cai *et al.*, 2023).

ارتفاع زمین از سطح دریا عاملی است که بر فاکتورهای خاک‌سازی از جمله اقلیم، پوشش گیاهی و توپوگرافی تاثیر می‌گذارد و به طور قابل توجهی بر ویژگی‌های خاک‌های جنگلی که در فرازهای مختلف قرار دارند موثر است (Tóth *et al.*, 2018). مطالعات نشان می‌دهند که با افزایش ارتفاع، محتوای شن افزایش و محتوای رس و سیلت کاهش می‌یابند. این امر به دلیل سرعت بیشتر فرسایش در ارتفاعات بیشتر است (Saeed *et al.*, 2014). همچنین خاک‌های واقع شده در نقاط مرتفع تر معمولاً به دلیل ذخیره کربن آلی و منافذ بیشتر، دانسیته توده خاک کم‌تری دارند و همین امر سبب افزایش ظرفیت نگهداری آب می‌شود (Wang *et al.*, 2014). بالا بودن ذخیره کربن آلی در مناطق مرتفع‌تر منجر به افزایش فعالیت میکروبی و همچنین افزایش پایداری خاکدانه‌ها نیز می‌شود (Li *et al.*, 2023).

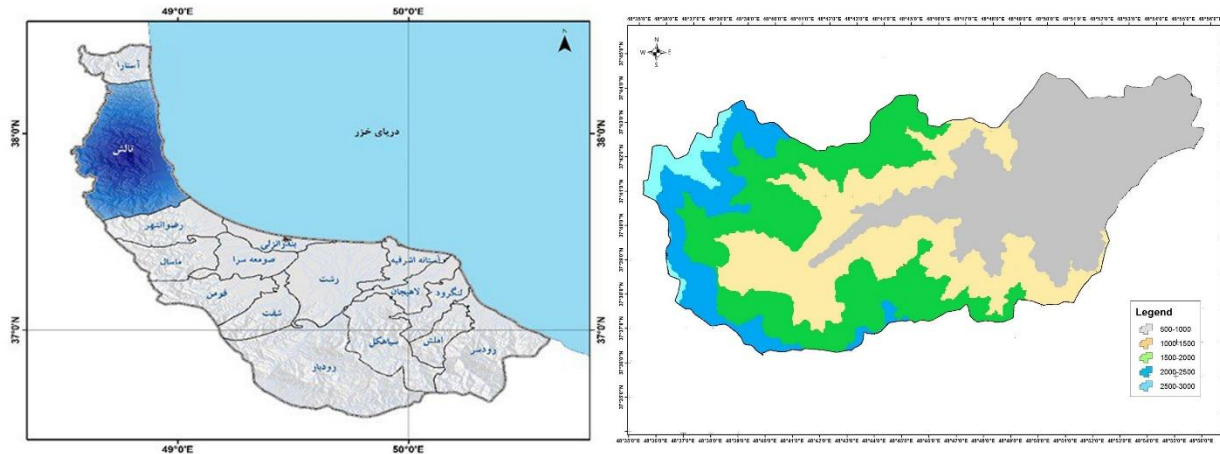
2016). ارتفاع از سطح دریا بر ویژگیهای شیمیایی خاک نیز تاثیر می‌گذارد و معمولاً با افزایش ارتفاع، pH خاک کاهش و محیط اسیدی‌تر می‌شود. دلیل این امر افزایش شست‌وشوی کاتیون‌های قلیایی و هوازگی در مناطق مرتفع‌تر است (Li et al., 2017). ذخیره کربن آلی با افزایش ارتفاع، به دلیل دماهای سردتر و سرعت تجزیه کم‌تر و همچنین تولید بقایای گیاهی بیش‌تر، افزایش می‌یابد (Wang et al., 2015). در دسترس بودن عناصر غذایی ضروری مانند نیتروژن و فسفر می‌تواند بر اساس شرایط منطقه متفاوت باشد، برخی مطالعات نشان می‌دهند در ارتفاعات بیشتر دسترسی به عناصر غذایی ضروری بعلت کاهش سرعت تجزیه ماده آلی کاهش می‌یابد (Liu et al., 2016). تفاوت‌های منطقه‌ای در اقلیم، زمین‌شناسی و کاربری اراضی می‌تواند بر میزان و جهت تاثیر پذیری ویژگی‌های خاکهای جنگلی از ارتفاع موثر باشد. بنابراین رابطه ارتفاع از سطح دریا با ویژگی‌های خاکهای جنگلی پیچیده و چند وجهی است و شناخت آن برای مدیریت خاکهای جنگلی، حفظ اکوسیستم جنگل و پیش‌بینی تغییرات ناشی از تغییر اقلیم بر جنگلهای کوهستانی ضروری و حیاتی می‌باشد. لذا هدف این پژوهش شناخت تأثیر عامل ارتفاع زمین از سطح دریا بر ویژگیهای خاکهای جنگلی شمال کشور در منطقه تالش بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در شمال کشور و در منطقه تالش استان گیلان بر روی خاکهای جنگلی که در ارتفاعات مختلفی از سطح دریا قرار داشتند و دارای مواد مادری یکسانی بودند، انجام شد. مواد مادری این خاک‌ها را ته‌نشست‌های رسوبی، سنگ‌های هوازده و مواد آلی تشکیل می‌دادند. موقعیت خاکهای جنگلی مورد مطالعه، میزان ارتفاع آن‌ها از سطح دریا، نوع پوشش گیاهی و میزان بارندگی، دما و نحوه توزیع زمانی آنها در ارتفاعات مختلف در زیر گزارش شده است (۱-۲).

منطقه مورد مطالعه

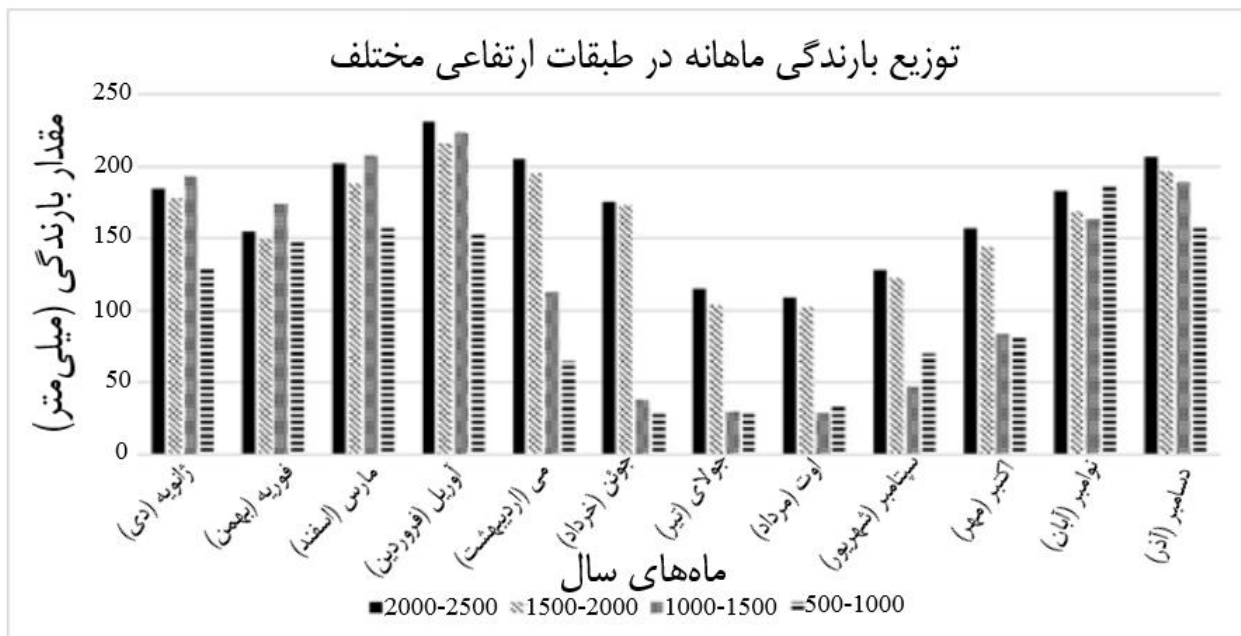
خاک‌های جنگلی مورد مطالعه در مسیر اسالم به خلخال و در طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۶ دقیقه شمالی قرار داشتند. ارتفاع خاکهای جنگلی از سطح دریا، از ۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متر متغیر بود و میانگین بارندگی سالانه منطقه مورد مطالعه حدود ۱۶۰۰ میلی‌متر و مساحت کل آن حدود ۱۵۰ هزار هکتار بود. خاکهای جنگلی مورد بررسی، از شیب شمالی و از ارتفاعات ۵۰۰ تا ۲۵۰۰ متری از سطح دریا انتخاب شدند. پوشش غالب این خاکهای جنگلی را گونه‌های گیاهی شمشاد هیرکانی (*Celtis caucasica*)، له‌له خزری (*Alnus subcordata*)، آکاسیای ابریشمی (*Platyclus orientalis*)، بلوط (*Quercus brantii*)، دودو (*Juglans nigra*) و گردو (*Juglans regia*) تشکیل می‌دادند. نقشه منطقه مورد مطالعه توسط نرم‌افزار QGIS به طبقات ارتفاعی مختلف با فواصل ۵۰۰ متری تقسیم (شکل ۱) و مطالعه حاضر بر روی خاکهای چهار طبقه ارتفاعی ۵۰۰-۱۰۰۰، ۱۰۰۰-۱۵۰۰، ۱۵۰۰-۲۰۰۰ و ۲۰۰۰-۲۵۰۰ متری انجام شد. این ارتفاعات به گونه‌ای انتخاب شدند که تغییرات تدریجی شرایط محیطی مثل دما و بارندگی را با افزایش ارتفاع نشان دهند. بعلاوه امکان دسترسی به این ارتفاعات و نمونه‌برداری از خاک آن‌ها میسر باشد. نوع پوشش گیاهی طبقات ارتفاعی مختلف یکسان و از گونه‌های گیاهی فوق‌الذکر بودند.



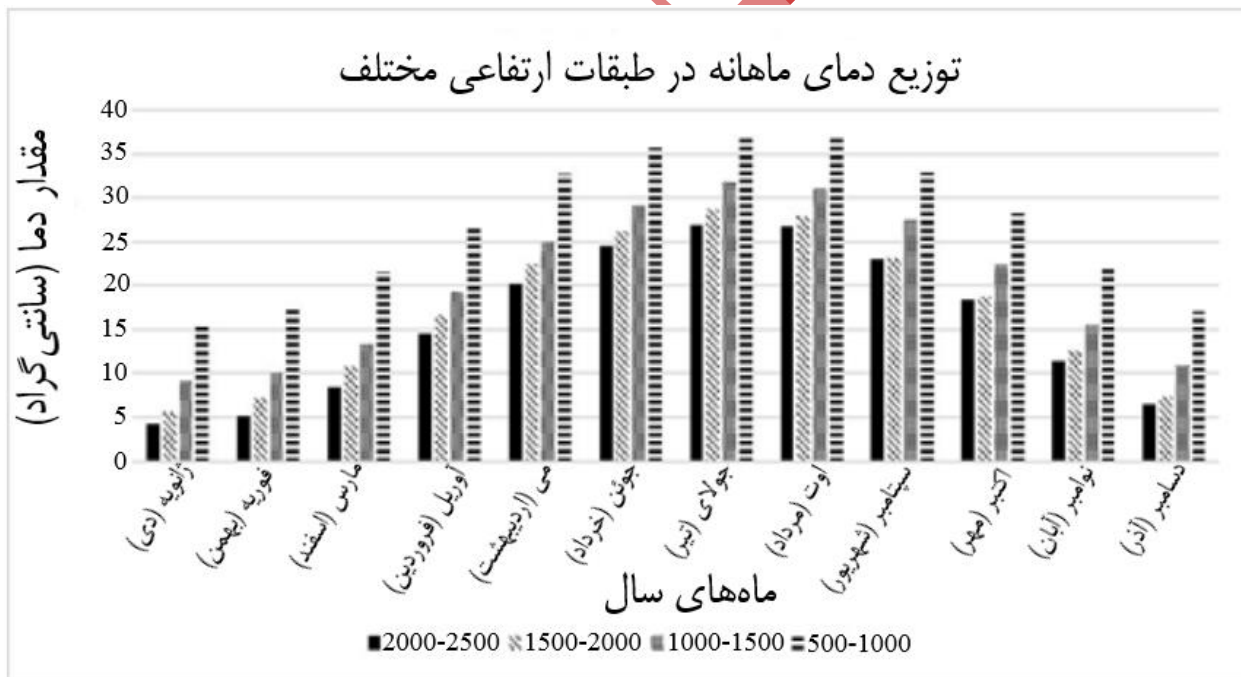
شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در استان گیلان.

برای به دست آوردن داده‌های هواشناسی مربوط به هر طبقه ارتفاعی از داده‌های شبکه‌بندی شده جهانی با قدرت تفکیک بالا در مرکز ملی تحقیقات جوی استفاده شد (TerraClimate). در این پایگاه داده، برای هر چهار کیلومتر در چهار کیلومتر بر روی زمین داده‌های هواشناسی تخمین زده شده است. مقیاس زمانی داده‌های هواشناسی استفاده شده در این مطالعه سال‌های ۱۹۵۸ تا ۲۰۲۲ و میانگین ماهانه و سالیانه داده‌های ۶۵ ساله دما، بارندگی و تبخیر و تعرق از این پایگاه داده استخراج شد. مقدار دما به طور مستقیم در این پایگاه داده وجود ندارد، به همین دلیل به کمک دماهای بیشینه و کمینه و میانگین آن‌ها، دمای ماهانه واقعی محاسبه شده است (TerraClimate). برای استخراج داده‌ها از این پایگاه داده، شیپ فایل‌های مربوط به هر طبقه ارتفاعی با استفاده از نرم‌افزار QGIS^۱ تهیه شدند و سپس با استفاده از توابع و اسکریپت‌های تعریف شده در محیط برنامه‌نویسی متلب برای هر شیپ فایل مرتبط با طبقه ارتفاعی مشخص، مقادیر بارش، تبخیر و تعرق و دمای حداکثر و حداقل استخراج و به سری‌های زمانی ماهانه تبدیل شدند. در نهایت با گرفتن میانگین سری‌های زمانی ماهانه، مقادیر میانگین دما، بارش و تبخیر و تعرق ماهانه برای هر طبقه ارتفاعی مجزا محاسبه شدند (Riani et al., 2012).

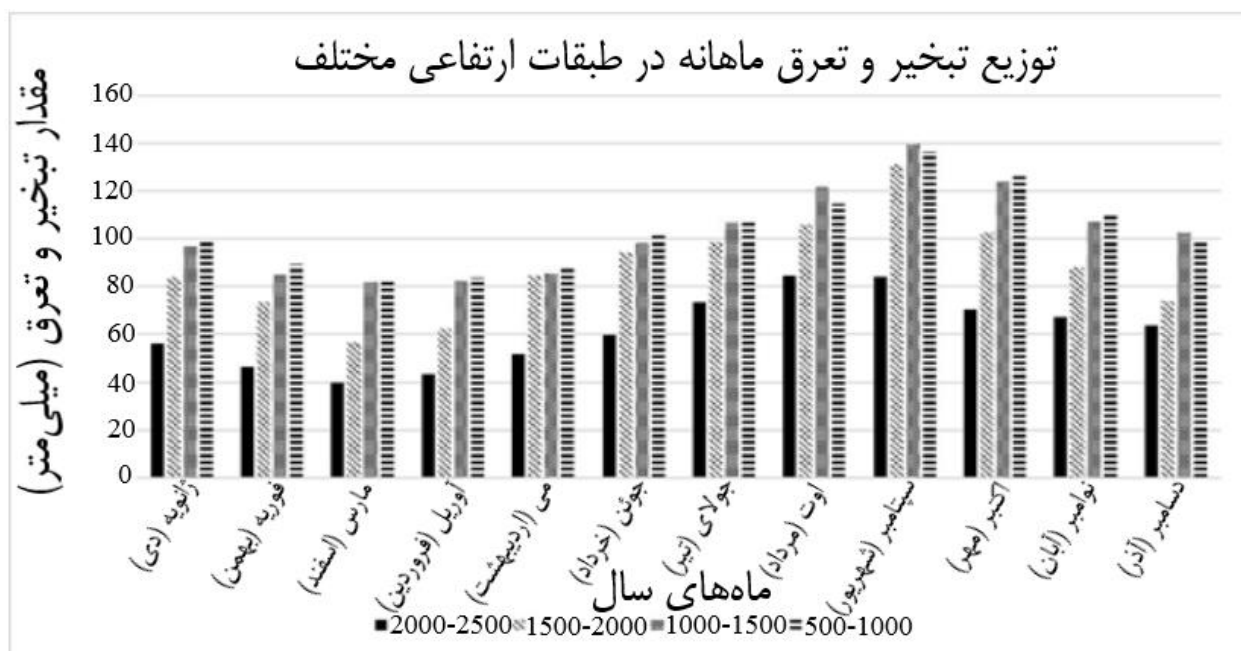
^۱ Quantum Geographic Information System



نمودار ۱: توزیع بارندگی ماهانه در طبقات ارتفاعی مورد مطالعه.



نمودار ۲: توزیع دما ماهانه در طبقات ارتفاعی مورد مطالعه.



نمودار ۳: توزیع تبخیر و تعرق ماهیانه در طبقات ارتفاعی مورد مطالعه.

جدول ۱: میانگین بارندگی، دما و تبخیر و تعرق سالیانه در طبقات ارتفاعی مورد مطالعه.

ارتفاع از سطح دریا (متر)	بارندگی (میلی متر)	دما (سانتی گراد)	تبخیر تعرق (میلی متر)
۵۰۰-۱۰۰۰	۱۳۴۷/۲۶	۲۶/۹۳	۱۲۳۸/۳۸
۱۰۰۰-۱۵۰۰	۱۴۸۹/۱۰	۲۰/۴۵	۱۲۳۱/۱۵
۱۵۰۰-۲۰۰۰	۱۹۳۷/۴۱	۱۷/۲۸	۱۰۵۵/۰۵
۲۰۰۰-۲۵۰۰	۲۰۵۰/۰۱	۱۵/۸۳	۷۴۰/۷۶

نمودارهای ۱، ۲ و ۳ توزیع بارندگی، دما و تبخیر و تعرق ماهیانه را در طبقات ارتفاعی مختلف نشان می‌دهد. در جدول ۱ نیز میانگین بارندگی، دما و تبخیر و تعرق سالیانه برای طبقات ارتفاعی مختلف آورده شده است.

نمونه‌برداری خاک و اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی

برای بررسی تأثیر ارتفاع منطقه از سطح دریا بر ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک‌های جنگلی، در هر طبقه ارتفاعی حدود ۱۵ هکتار از اراضی جنگلی به سه قسمت پنج هکتاری تقسیم و هر قسمت به‌عنوان یک تکرار در نظر گرفته شد. سپس در هر تکرار ۵ پروفیل حفر و از عمق ۰-۳۵ سانتی‌متری هر پروفیل یک نمونه خاک تهیه گردید. سپس نمونه‌های خاک به‌دست آمده از پروفیل‌های مختلف در هر تکرار با هم مخلوط و یک نمونه مرکب خاک برای هر تکرار تهیه گردید. به‌طوری که در هر طبقه ارتفاعی ۳ نمونه مرکب خاک که هر کدام نماینده یک تکرار بودند وجود داشت. با توجه به وجود چهار طبقه ارتفاعی مختلف در این پژوهش تعداد ۱۲ نمونه مرکب خاک جامعه آماری این تحقیق را تشکیل می‌دادند. همچنین ۱۲ نمونه دست‌نخورده خاک نیز برای اندازه‌گیری دانسیته توده تهیه گردید. سپس نمونه‌های مرکب خاک هوا خشک شدند و بعد از عبور از الک دو میلی‌متر برای اندازه‌گیری‌های مربوطه به آزمایشگاه انتقال

یافتند. در آزمایشگاه، بافت خاک به روش هیدرومتر (Gee and Or, 2002)، دانسیته توده خاک به روش استوانه (Blake and Hartge, 1986)، درصد کربن آلی خاک به روش واکلی و بلک (Walkley and Black, 1934)، پایداری خاکدانه‌ها با روش الک‌تر (Angers et al., 2008)، رطوبت نقطه ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم به روش وزنی (Klute, 1986)، نیتروژن کل به روش کج‌دال (Bremner, 1983 and Mulvaney, 1983)، فسفر قابل جذب به روش بری (Sims, 2000)، پتاسیم و سدیم قابل جذب به وسیله دستگاه فلیم فوتومتر (Helmke and Sparks, 1996)، pH خاک در گل اشباع و هدایت الکتریکی در عصاره اشباع خاک (Carter and Gregorich, 2008) و گوگرد قابل جذب نیز به روش کدورت سنجی (Wall et al., 1980) اندازه‌گیری گردید. میزان ذخیره کربن آلی خاک بر حسب تن بر هکتار از رابطه ۱ برای هر چهار طبقه ارتفاعی محاسبه گردید (Nieto et al., 2013; Qiu et al., 2013).

$$CS = \%SOC \times Bd \times d$$

رابطه ۱)

در این رابطه، CS: کربن آلی ذخیره شده در خاک بر حسب تن بر هکتار، SOC: درصد کربن آلی خاک، Bd: دانسیته توده خاک بر حسب گرم بر سانتی متر مکعب و d: عمق نمونه‌برداری بر حسب سانتی‌متر است.

آنالیزهای آماری

برای بررسی تاثیر ارتفاع منطقه از سطح دریا بر ویژگی‌های خاکهای جنگلی از طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار استفاده گردید. تجزیه واریانس داده‌ها، مقایسه میانگین‌ها و ضرایب پیرسون بین ویژگی‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام شد (Field, 2013).

نتایج و بحث

تغییرات بارندگی، دما و تبخیر و تعرق سالیانه در منطقه مورد مطالعه

در منطقه مورد مطالعه با افزایش ارتفاع از سطح دریا میانگین بارندگی سالیانه افزایش ولی میانگین دما و تبخیر و تعرق سالیانه کاهش یافت (جدول ۱). میانگین بارندگی سالیانه در طبقه ارتفاعی چهارم نسبت به طبقه ارتفاعی سوم ۱۱۲/۶۰ میلی‌متر، در طبقه ارتفاعی سوم نسبت به طبقه ارتفاعی دوم ۴۴۸/۳۱ میلی‌متر و در طبقه ارتفاعی دوم نسبت به طبقه ارتفاعی اول ۲۴۱/۸۴ میلی‌متر بیشتر بود. همچنین میانگین دما سالیانه در طبقه ارتفاعی چهارم نسبت به طبقه ارتفاعی سوم ۱/۴۵ درجه، در طبقه ارتفاعی سوم نسبت به طبقه ارتفاعی دوم ۳/۱۷ درجه و در طبقه ارتفاعی دوم نسبت به طبقه ارتفاعی اول ۶/۴۸ درجه سانتی‌گراد کمتر بود (جدول ۱). همان‌طور که در جدول ۱ ملاحظه می‌گردد میزان افزایش بارندگی و کاهش دما با افزایش ارتفاع یکسان در طبقات ارتفاعی مختلف متفاوت هست (جدول ۱). این داده‌ها نشان می‌دهند که در منطقه مورد مطالعه بطور میانگین به ازاء هر ۱۰۰۰ متر افزایش ارتفاع، میزان دما به مقدار ۷/۴۰ سانتی‌گراد کاهش و میزان بارندگی به مقدار ۵۳۶/۵۰ میلی‌متر افزایش یافته است (جدول ۱). بیش‌ترین مقدار تبخیر و تعرق سالیانه به میزان ۱۲۳۸/۲۸ میلی‌متر در طبقه ارتفاعی اول و کم‌ترین مقدار آن به میزان ۷۴۰/۷۶ میلی‌متر در طبقه ارتفاعی

چهارم اندازه گیری شد (جدول ۱) که یکی از دلایل کاهش میزان تبخیر و تعرق با افزایش ارتفاع کاهش میزان دما می باشد (جدول ۱). توزیع میانگین بارندگی، دما و تبخیر تعرق ماهانه طبقات ارتفاعی مختلف در نمودارهای ۱ تا ۳ نشان داده شده است.

همان طور که مشاهده می شود کمترین میزان بارندگی در ماه های جولای (تیر)، اوت (مرداد) و سپتامبر (شهریور) و بیشترین میزان آن در ماه های مارس (اسفند)، آوریل (فروردین) و دسامبر (آذر) اتفاق افتاده است (نمودار ۱). این نشان نشان می دهد که بارندگی در فصل زمستان و اوایل بهار در منطقه مورد مطالعه بیش تر و در اواخر بهار و فصل تابستان کم تر است. بیشترین میزان دمای ماهانه نیز به ماه های جوئن (خرداد)، جولای (تیر) و اوت (مرداد) و کمترین میزان آن به ماه های ژانویه (دی)، فوریه (بهمن) و دسامبر (آذر) تعلق داشت (نمودار ۲). این نشان می دهد که دما در فصل تابستان در منطقه مورد مطالعه بیش تر و در فصل زمستان کم تر است. بیشترین میزان تبخیر و تعرق در ماه های اوت (مرداد)، سپتامبر (شهریور) و اکتبر (مهر) و کمترین میزان آن در ماه های مارس (اسفند) و آوریل (فروردین) مشاهده گردید (نمودار ۳). این نشان می دهد که تبخیر و تعرق در فصل تابستان و اوایل پاییز بیش تر و در فصل زمستان و اوایل فصل بهار کم تر است. با افزایش ارتفاع فشار هوا کاهش یافته و هوا منبسط می شود و این انبساط باعث کاهش انرژی جنبشی ملکول ها و سرد شدن هوا و متراکم شدن رطوبت موجود در آن و ریزش باران می شود (Bohren and Albrecht, 1998). نرخ کاهش دما با افزایش ارتفاع و بعکس (Lapse rate) در جو بطور میانگین $6/50$ سانتی گراد به ازاء هر 1000 متر ارتفاع می باشد که با عرض جغرافیایی، توپوگرافی منطقه، فصل سال و الگوی آب و هوایی تغییر می کند (Zhao et al., 2022). معمولاً میزان کاهش دما با افزایش ارتفاع در عرض های جغرافیایی بالاتر، بیش تر است. تخمین میزان افزایش بارندگی با افزایش ارتفاع مشکل بوده و به عوامل متعددی مثل کوهستانی بودن منطقه، جهت باد غالب، دوری یا نزدیکی از دریا و تغییرات فصلی بستگی دارد (Ciric et al., 2018). در منطقه کوهستانی هوای گرم و مرطوب که به کوه ها برخورد می کند در امتداد کوه بالا رفته و فشار آن کاهش می یابد و سرد می شود. در نتیجه بخار آب موجود در آن به نقطه شبنم رسیده و بارش اتفاق می افتد (Roe, 2005). بنابراین مقدار واقعی تغییرات دما و بارندگی با افزایش ارتفاع بستگی به شرایط خاص هر منطقه دارد. مطالعه ای در کشور هند و در منطقه هیمالیا نیز نشان داده است که با افزایش ارتفاع، میانگین بارندگی سالیانه افزایش ولی میانگین دما سالیانه کاهش می یابد (Dimri et al., 2022) و همین امر سبب افزایش ذخیره کربن آلی در مناطق مرتفع تر گردیده است (Dieleman et al., 2013).

بافت، غلظت و ذخیره کربن آلی خاک های جنگلی ارتفاعات مختلف

اطلاعات مربوط به مقادیر شن، سیلت و رس، نوع بافت، ذخیره و غلظت کربن آلی و دانسیته توده در خاک های ارتفاعات مختلف در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲: مقادیر شن، سیلت و رس، نوع بافت، ذخیره و غلظت کربن آلی و دانسیته توده در خاک‌های ارتفاعات مختلف.

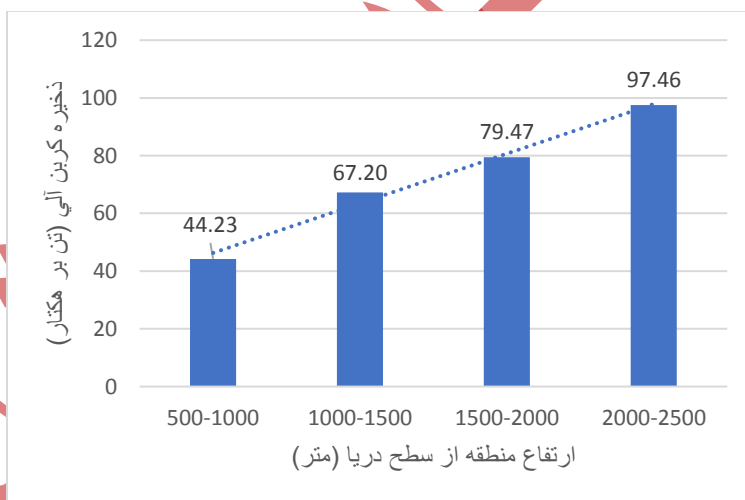
ارتفاع از سطح دریا Altitude (متر)	مقدار شن Sand (درصد)	مقدار رس Clay (درصد)	مقدار سیلت Silt (درصد)	بافت خاک Soil Texture	ذخیره کربن آلی کربن Organic Carbon Stocks (تن بر هکتار)	درصد کربن آلی Organic Carbon Content (%)	دانسیته توده Bulk density (گرم بر سانتی‌متر مکعب)
۵۰۰-۱۰۰۰	۱۷/۱۵	۳۹/۴۵	۴۳/۴۰	Silty Clay Loam	۴۴/۲۳	۰/۹۴	۱/۲۹
۱۰۰۰-۱۵۰۰	۱۳/۰۷	۳۷/۹۰	۴۹/۰۳	Silty Clay Loam	۶۷/۲۰	۱/۶۸	۱/۱۴
۱۵۰۰-۲۰۰۰	۱۳/۶۹	۳۹/۰۱	۴۷/۳۰	Silty Clay Loam	۷۹/۴۷	۲/۰۵	۱/۱۰
۲۰۰۰-۲۵۰۰	۱۰/۹۰	۳۹/۳۵	۴۹/۷۵	Silty Clay Loam	۹۷/۴۶	۲/۶۲	۱/۰۵

همان‌طور که در جدول ۲ منعکس شده است، بافت خاک‌های جنگلی در ارتفاعات مختلف یکسان و لوم رسی سیلنتی (Silty clay loam) بود. بافت خاک تأثیر زیادی بر سرعت تجزیه و نگهداشت مواد آلی دارد و معمولاً خاک‌های با رس بیش‌تر و بافت سنگین‌تر، در شرایط یکسان، از مواد آلی بیشتری برخوردار هستند. این امر به دلیل حاصل‌خیزی بیش‌تر این خاک‌ها و برگشت بقایای گیاهی بیش‌تر به خاک (Oades, 1984) و همچنین سرعت تجزیه کم‌تر مواد آلی در آن‌ها می‌باشد (Baldock and Skjemstad, 2000). به عنوان مثال، مطالعه‌ای که در آفریقا در سال ۲۰۱۹ انجام شد، نشان داد که خاک‌های لومی دارای بیش‌ترین میزان کربن آلی و خاک‌های شنی دارای کم‌ترین میزان کربن آلی بودند. در مطالعه حاضر با توجه به یکسان بودن نوع بافت و نوع پوشش گیاهی خاک‌های طبقات ارتفاعی مختلف، تفاوت در میزان کربن آلی آن‌ها را می‌توان به عامل ارتفاع از سطح دریا که کنترل‌کننده میزان بارندگی و دما می‌باشد، نسبت داد (Tsozué et al., 2019).

نتایج تجزیه واریانس تأثیر ارتفاع منطقه از سطح دریا بر ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک‌های جنگلی مورد مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود تأثیر ارتفاع منطقه از سطح دریا بر غلظت و ذخیره کربن آلی خاک‌ها در سطح $(P \leq 0.01)$ معنی‌دار بود. جدول مقایسه میانگین‌های نشان داد که غلظت و ذخیره کربن آلی خاک‌ها با افزایش ارتفاع منطقه از سطح دریا افزایش می‌یابد (جدول ۴). بالاترین غلظت و بیش‌ترین ذخیره کربن آلی خاک به ترتیب به میزان ۲/۶۲ درصد و ۹۷/۴۶ تن در هکتار مربوط به طبقه ارتفاعی ۲۵۰۰-۲۰۰۰ متری و کم‌ترین مقدار آن‌ها به میزان ۰/۹۴ درصد و ۴۴/۲۳ تن در هکتار مربوط به طبقه ارتفاعی ۵۰۰-۱۰۰۰ متری بود (جدول ۲ و ۴). دلیل افزایش غلظت و ذخیره کربن آلی خاک با افزایش ارتفاع، بارندگی بیش‌تر و دمای کم‌تر در نقاط مرتفع‌تر می‌باشد (جدول ۱). با افزایش بارندگی پوشش گیاهی منطقه انبوه‌تر شده و برگشت بقایای گیاهی به خاک افزایش می‌یابد. با افزایش کربن ورودی به خاک میزان کربن آلی خاک افزایش می‌یابد. بعلاوه کاهش دما ناشی از افزایش ارتفاع نیز از سرعت تجزیه ماده آلی و معدنی شدن آن کاسته و به ذخیره بیش‌تر کربن آلی در خاک کمک می‌کند. مطالعه‌ای در کشور چین نیز نشان داد در ارتفاعات بیش‌تر ذخیره کربن آلی خاک‌ها بیش‌تر بود (Zhang et al., 2021). در پژوهشی در مغلستان دلیل افزایش میزان کربن آلی خاک در ارتفاعات بیش‌تر را افزایش زیست‌توده گیاهی در اثر بارش‌های بیش‌تر اعلام گردید (Smith et al., 2002). جدول ۵ نتایج ضرایب همبستگی پیرسون (r) بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های ارتفاعات مختلف با ارتفاع از سطح دریا، بارندگی و دما را نشان می‌دهد. طبق آن بین میزان ذخیره کربن آلی با عوامل ارتفاع از سطح دریا (**۰/۹۹۳) و بارندگی (*۰/۹۵۸) همبستگی قوی و مثبت وجود دارد. پژوهش‌های گوناگونی در مناطق مختلف دنیا نشان داده‌اند که با افزایش ارتفاع و بارندگی، میزان ذخیره کربن

آلی افزایش می‌یابد (Dieleman *et al.*, 2013; Banday *et al.*, 2019). کاهش دما در مناطق مرتفع‌تر یکی دیگر از عوامل افزایش میزان ذخیره کربن آلی است (Yang *et al.*, 2007). کاهش دما در مناطق مرتفع‌تر، باعث کاهش سرعت تجزیه مواد آلی و در نتیجه بالا رفتن میزان آن می‌شود (Deng *et al.*, 2014; Njeru *et al.*, 2017). در مناطق مرتفع‌تر به دلیل بارندگی سالیانه بیش‌تر، pH خاک‌ها اسیدی می‌شود و این امر مانع فعالیت میکروبی شده و در نتیجه سرعت تجزیه مواد آلی کندتر شده و میزان ذخیره کربن آلی افزایش می‌یابد (Heckman *et al.*, 2009). در کل می‌توان گفت شرایط آب و هوایی غالب‌ترین فاکتوری است که میزان ذخیره کربن آلی خاک‌ها را رقم می‌زند (Qin *et al.*, 2016). عکس نتایج پژوهش حاضر نیز در بعضی مطالعات گزارش شده است. بعنوان مثال Bangroo و همکاران (۲۰۱۷) گزارش نمودند که کاهش دما با افزایش ارتفاع باعث کاهش رشد گیاهان و کوتاه‌تر شدن فصل رشد شده و برگشت بقایای گیاهی ب خاک را کاهش می‌دهد که این امر باعث کاهش کربن ورودی به خاک و در نتیجه کاهش ذخیره کربن آلی و نیتروژن در خاک می‌شود. تغییر گونه‌های گیاهی با ارتفاع و تغییر ترکیب شیمیایی بقایای گیاهی تولید شده نیز از جمله پارامترهای دیگری است که ذخیره کربن آلی را در ارتفاعات مختلف تحت تاثیر قرار می‌دهد.

ذخیره کربن آلی خاک‌های جنگلی با افزایش ارتفاع از سطح دریا، افزایش یافت (شکل ۲). بطوریکه ذخیره کربن آلی در طبقه ارتفاعی چهارم ۱/۲۳ برابر طبقه ارتفاعی سوم، در طبقه ارتفاعی سوم ۱/۱۸ برابر طبقه ارتفاعی دوم و در طبقه ارتفاعی دوم ۱/۵۲ برابر طبقه ارتفاعی اول بود (شکل ۲).



شکل ۲: تغییرات ذخایر کربن آلی خاک‌های جنگلی با ارتفاع از سطح دریا.

جدول ۳: نتایج تجزیه واریانس تاثیر ارتفاع منطقه از سطح دریا بر ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک‌های جنگلی مورد مطالعه.

میانگین مربعات							
Mean squares							
هدایت الکتریکی Electrical Conductivity (dS/m)	نیترژن کل Total N	فسفر قابل جذب Available P	رطوبت نقطه پژمردگی دائم Permanent Wilting Point (%)	رطوبت ظرفیت مزرعه Field Capacity (%)	گوگرد قابل جذب Available S	درجه آزادی df	منبع تغییرات S.O.V
۷۰/۷۶۹ ^{NS}	۰/۰۰۰۱ ^{NS}	۰/۳۹۵ ^{NS}	۰/۵۴۸ ^{NS}	۲/۳۳۶ ^{NS}	۰/۰۵۳ ^{NS}	۲	تکرار Replication
۳۳۷۵۳/۳۵۳ ^{**}	۰/۰۱۷ ^{**}	۴/۴۲۱ ^{**}	۲/۹۷۹ ^{**}	۱۱/۸۶۸ ^{**}	۰/۴۴۰ ^{**}	۳	ارتفاع از سطح دریا Altitude
۱۰۴/۶۷۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۹۸	۰/۳۱۱	۰/۱۸۵۰	۰/۰۴۱	۶	اشتباه Error

میانگین مربعات							
Mean squares							
سدیم قابل جذب Available Na	پتاسیم قابل جذب Available K	پایداری خاکدانه MWD	اسیدیته pH	دانسیتیه توده Bulk Density	ذخیره کربن آلی Organic Carbon Stocks	درصد کربن آلی Organic Carbon Content	منبع تغییرات S.O.V
۰/۸۲۰ ^{NS}	۱۰۱/۷۰۳ ^{NS}	۰/۰۰۶ ^{NS}	۰/۰۰۰۰۸ ^{NS}	۰/۰۰۱ ^{NS}	۰/۵۸۲ ^{NS}	۰/۰۳۷ ^{NS}	تکرار Replication
۴/۳۴۱ ^{NS}	۸۳۲/۹۵۴ [*]	۱/۰۳۰ ^{**}	۰/۰۵۶ ^{**}	۰/۰۳۳ ^{**}	۱۴۷۹/۲۲۳ ^{**}	۱/۴۸۷ ^{**}	ارتفاع از سطح دریا Altitude
۱/۰۹۱	۱۶۲/۸۱۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۱	۰/۲۰۹	۰/۰۲۶	اشتباه Error

، ** و ^{NS} به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و غیرمعنی دار.

** , * and ^{NS} significant at the level of 1%, 5% and non-significant respectively.

جدول ۴: مقایسه میانگین‌های ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک‌های ارتفاعات مختلف.

ارتفاع از سطح دریا Altitude				ویژگی‌های خاک Soil properties
۲۰۰۰-۲۵۰۰	۱۵۰۰-۲۰۰۰	۱۰۰۰-۱۵۰۰	۵۰۰-۱۰۰۰	
۲/۶۲ ^a	۲/۰۵ ^b	۱/۶۸ ^c	۰/۹۴ ^d	درصد کربن آلی Organic Carbon Content (%)
۹۷/۴۶ ^a	۷۹/۴۷ ^b	۶۷/۲۰ ^c	۴۴/۲۳ ^d	ذخیره کربن آلی Organic Carbon Stocks (t/ha)
۱/۰۶ ^c	۱/۱۱ ^b	۱/۱۴ ^b	۱/۳۰ ^a	دانشیته توده Bulk Density (g/cm ³)
۵/۱۹ ^b	۵/۲۹ ^b	۵/۴۴ ^a	۵/۴۹ ^a	اسیدیته pH
۱/۹۷ ^a	۱/۴۴ ^b	۰/۸۹ ^c	۰/۶۷ ^d	پایداری خاکدانه MWD (mm)
۲۸/۳۳ ^b	۳۹/۰۰ ^b	۴۹/۷۳ ^{a-b}	۶۷/۴۰ ^a	پتاسیم قابل جذب Available K (ppm)
۹/۲۰ ^b	۹/۷۷ ^b	۱۰/۲۷ ^{a-b}	۱۱/۹۵ ^a	سدیم قابل جذب Available Na (ppm)
۸/۱۷ ^c	۸/۲۹ ^c	۸/۷۱ ^b	۹/۰۰ ^a	گوگرد قابل جذب Available S (ppm)
۳۳/۷۹ ^a	۳۰/۸۱ ^b	۳۰/۴۱ ^b	۲۹/۰۸ ^b	رطوبت ظرفیت مزرعه Field Capacity (%)
۱۴/۸۹ ^a	۱۳/۴۱ ^b	۱۳/۲۰ ^b	۱۲/۵۳ ^b	رطوبت نقطه پژمردگی دائم Permanent Wilting Point (%)
۹/۰۴ ^c	۹/۸۳ ^b	۱۱/۳۱ ^a	۱۱/۵۹ ^a	فسفر قابل جذب Available P (ppm)
۰/۲۷ ^a	۰/۲۲ ^b	۰/۱۸ ^b	۰/۱۰ ^c	نیتروژن کل Total N (%)
۰/۱۹ ^d	۰/۲۶ ^c	۰/۳۶ ^b	۰/۴۳ ^a	هدایت الکتریکی Electrical Conductivity (dS/m)

حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد در آزمون دانکن است.

Different letters indicate a significant difference at 5% probability level using the Duncan test.

جدول ۵: ضرائب همبستگی پیرسون (۳) ویژگی‌های خاک‌های جنگلی با ارتفاع از سطح دریا، بارندگی و دما.

پتاسیم قابل جذب Available K	پایداری خاکدانه MWD	اسیدیته pH	دانسیته توده Bulk Density	ذخیره کربن آلی Organic Carbon Stocks	درصد کربن آلی Organic Carbon Content	
-۰/۹۹۱**	۰/۹۸۶*	-۰/۹۸۴*	-۰/۹۴۹ ^{ns}	۰/۹۹۳**	۰/۹۹۳**	ارتفاع از سطح دریا Altitude
-۰/۹۷۱*	۰/۹۶۳*	-۰/۹۸۳*	-۰/۹۳۷ ^{ns}	۰/۹۶۰*	۰/۹۵۸*	بارش Precipitation
۰/۹۸۴*	-۰/۸۹۳ ^{ns}	۰/۹۰۸ ^{ns}	۰/۹۹۴**	-۰/۹۷۱*	-۰/۹۷۰*	دما Temperature

هدایت الکتریکی Electrical Conductivity	نیترژن کل Total N	فسفر قابل جذب Available P	رطوبت نقطه پژمردگی دائم Permanent Wilting Point	رطوبت ظرفیت مزرعه Field Capacity	گوگرد قابل جذب Available S	سدیم قابل جذب Available Na	
-۰/۹۹۶**	۰/۹۸۹*	-۰/۹۹۴*	۰/۹۳۰ ^{ns}	۰/۹۲۸ ^{ns}	-۰/۹۷۹*	-۰/۹۴۲ ^{ns}	ارتفاع از سطح دریا Altitude
-۰/۹۸۵*	۰/۹۶۳*	-۰/۹۸۴*	۰/۸۷۳ ^{ns}	۰/۸۷۱ ^{ns}	-۱/۰۰۰**	-۰/۹۴۹ ^{ns}	بارش Precipitation
۰/۹۳۴ ^{ns}	-۰/۹۸۳*	۰/۸۸۸ ^{ns}	-۰/۷۸۰ ^{ns}	-۰/۷۷۷ ^{ns}	۰/۹۶۳*	۰/۹۹۹**	دما Temperature

، * و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و غیرمعنی دار.

**, * and ^{ns} significant at the level of 1%, 5% and non-significant respectively.

جدول ۶: ضرائب همبستگی پیرسون (r) بین ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک‌های جنگلی ارتفاعات مختلف.

سدیم قابل جذب Available Na	پتاسیم قابل جذب Available K	پایداری خاکدانه MWD	اسیدیته pH	دانسیتة توده Bulk Density	ذخیره کربن آلی Organic Carbon Stocks	درصد کربن آلی Organic Carbon Content
						۱ درصد کربن آلی Organic Carbon Content
					۱	۰/۹۷۳** ذخیره کربن آلی Organic Carbon Stocks
				۱	-۰/۹۴۴**	-۰/۹۱۳** دانسیتة توده Bulk Density
			۱	۰/۷۹۷**	-۰/۹۱۵**	-۰/۹۱۵** اسیدیته pH
		۱	-۰/۹۵۳**	-۰/۸۳۲**	-۰/۹۵۳**	-۰/۹۳۴** پایداری خاکدانه MWD
	۱	-۰/۷۶۰**	۰/۸۰۸**	۰/۷۸۰**	-۰/۸۲۴**	-۰/۸۶۲** پتاسیم قابل جذب Available K
۱	۰/۶۹۸*	-۰/۶۷۹*	۰/۶۲۲*	۰/۸۷۲**	-۰/۷۶۱**	-۰/۷۶۰** سدیم قابل جذب Available Na
۰/۸۱۲**	۰/۸۵۱**	-۰/۸۵۵**	۰/۸۳۲**	۰/۸۷۹**	-۰/۹۰۸**	-۰/۸۷۸** گوگرد قابل جذب Available S
-۰/۷۹۳**	-۰/۶۱۴*	۰/۸۴۰**	-۰/۷۳۷**	-۰/۸۱۵**	۰/۸۳۳**	۰/۸۱۰** رطوبت ظرفیت مزرعه Field Capacity
-۰/۷۹۶**	-۰/۶۲۰*	۰/۸۴۱**	-۰/۷۴۰**	-۰/۸۱۹**	۰/۸۳۵**	۰/۸۱۲** رطوبت نقطه پژمردگی دائم Permanent Wilting Point
۰/۶۷۷*	۰/۸۵۳**	-۰/۹۲۶**	۰/۸۸۸**	۰/۷۷۵**	-۰/۹۰۰**	-۰/۸۷۸** فسفر قابل جذب Available P
-۰/۷۵۷**	-۰/۸۹۴**	۰/۹۲۱**	-۰/۹۱۸**	-۰/۹۰۵**	۰/۹۶۳**	۰/۹۹۶** نیترژن کل Total N
۰/۷۳۷**	۰/۸۴۲**	-۰/۹۸۲**	۰/۹۵۳**	۰/۸۷۸**	-۰/۹۷۴**	-۰/۹۵۷** هدایت الکتریکی Electrical Conductivity

جدول ۶: ضرائب همبستگی پیرسون (r) بین ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک‌های جنگلی ارتفاعات مختلف.

هدایت الکتریکی Electrical Conductivity	نیترژن کل Total N	فسفر قابل جذب Available P	رطوبت نقطه پژمردگی دائم Permanent Wilting Point	رطوبت ظرفیت مزرعه Field Capacity	گوگرد قابل جذب Available S
					درصد کربن آلی Organic Carbon Content
					ذخیره کربن آلی Organic Carbon Stocks
					دانسبته توده Bulk Density
					اسیدیته pH
					پایداری خاکدانه MWD
					پتاسیم قابل جذب Available K
					سدیم قابل جذب Available Na
					گوگرد قابل جذب Available S
				۱	رطوبت ظرفیت مزرعه Field Capacity
			۱	۱/۰۰۰**	رطوبت نقطه پژمردگی دائم Permanent Wilting Point
		۱	-۰/۷۲۴**	-۰/۷۱۹**	فسفر قابل جذب Available P
	۱	-۰/۸۸۷**	۰/۷۸۱**	۰/۷۷۸**	نیترژن کل Total N
۱	-۰/۹۵۴**	۰/۹۶۰**	-۰/۸۱۵**	-۰/۸۱۲**	هدایت الکتریکی Electrical Conductivity

*, ** و ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج درصد، یک درصد و غیرمعنی دار.

**, * and ns significant at the level of 1%, 5% and non-significant respectively.

ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک‌های جنگلی ارتفاعات مختلف

نتایج تجزیه واریانس تاثیر ارتفاع منطقه بر pH خاک در سطح احتمال یک درصد ($P \leq 0.01$) معنی‌دار بود (جدول ۳). با افزایش ارتفاع منطقه از سطح دریا، pH خاک‌های جنگلی کاهش یافت (جدول ۴). مقادیر pH خاک‌های مورد مطالعه کمتر از ۷ و در محدوده اسیدی قرار داشتند (جدول ۴). بالاترین میانگین pH به مقدار ۵/۴۹ به طبقه ارتفاعی اول و پایین‌ترین میانگین آن به مقدار ۵/۱۹ به طبقه ارتفاعی چهارم تعلق داشت (جدول ۴). دلیل pH کمتر خاک‌های مناطق مرتفع‌تر احتمالاً شست‌شوی بیش‌تر این خاک‌ها در اثر بارندگی بیش‌تر و جایگزینی کاتیون‌های قلیایی تبادلی با کاتیون‌های اسیدی است (Banday et al., 2019). اسیدهای آلی تولید شده از تجزیه ماده آلی نیز فرآیند اسیدی شدن را تشدید می‌کنند که در مناطق مرتفع‌تر، فراوان‌تر می‌باشند. پوربایی و همکاران (۲۰۲۱) نیز pH اسیدی خاک‌های جنگلی منطقه اسالم را گزارش کرده‌اند. کاهش pH خاک با افزایش ارتفاع توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (Dieleman et al., 2013; Praeg et al., 2020). همبستگی معنی‌دار و منفی (-0.984^*) بین عامل ارتفاع از سطح دریا و pH خاک‌های جنگلی نیز دلالت بر موثر بودن این فاکتور بر مقادیر pH خاک‌های جنگلی دارد (جدول ۵).

تاثیر ارتفاع منطقه از سطح دریا بر مقدار فسفر قابل جذب در سطح احتمال یک درصد ($P \leq 0.01$) معنی‌دار بود (جدول ۳). با افزایش ارتفاع منطقه از سطح دریا، مقدار فسفر قابل جذب خاک‌ها کاهش یافت (جدول ۴). بعضی از پژوهش‌گران گزارش کرده‌اند که در مناطق پر باران و مرطوب، ترکیبات فسفره آلی و محلول از لایه‌های سطحی خاک شسته شده و در لایه‌های زیرین خاک تجمع می‌یابند که بعداً در اثر معدنی‌شدن به فرم قابل جذب در می‌آیند (McDowell et al., 2021). بعضی دیگر نیز دمای کمتر مناطق مرتفع‌تر را باعث کندی سرعت تجزیه ماده آلی و کاهش معدنی شدن فسفر آلی و تولید فسفر قابل جذب می‌دانند (Mou et al., 2020). در منطقه مورد مطالعه، به دلیل افزایش بارندگی و کاهش دما ناشی از افزایش ارتفاع (جدول ۱)، آبشویی ترکیبات آلی فسفره محلول بیش‌تر شده و معدنی شدن فسفر آلی نیز کاهش می‌یابد که نتیجه آن میزان فسفر قابل جذب کمتر در مناطق مرتفع‌تر می‌باشد (Malik and Haq, 2022). وجود همبستگی منفی و معنی‌دار (-0.994^*) بین فسفر قابل جذب و ارتفاع از سطح دریا نیز چرخش کندتر مواد غذایی در ارتفاعات را تایید می‌کند (جدول ۵).

تاثیر ارتفاع منطقه از سطح دریا بر مقدار پتاسیم قابل جذب خاک در سطح احتمال پنج درصد ($P \leq 0.05$) معنی‌دار بود (جدول ۳). با افزایش ارتفاع منطقه از سطح دریا، مقدار پتاسیم قابل جذب خاک کاهش یافت (جدول ۴). مقدار پتاسیم قابل جذب خاک تابعی از درجه هوادیدگی کانی‌ها و میزان آبشویی پتاسیم از خاک است (Sharma and Sharma, 2013). در منطقه مورد مطالعه با افزایش ارتفاع از سطح دریا و افزایش میزان بارندگی، مقدار پتاسیم قابل جذب مناطق مرتفع‌تر احتمالاً به دلیل شست‌شوی بیش‌تر کاهش یافته است (جدول ۴). ضرایب همبستگی پیرسون پتاسیم قابل جذب با ارتفاع (-0.991^*) و با بارندگی (-0.971^*) نیز معنی‌دار و منفی بودند (جدول ۵). مطالعه‌ای در استان ایلام نیز نشان داد که با افزایش ارتفاع از سطح دریا میزان پتاسیم خاک به دلیل بارندگی و آبشویی بیش‌تر، کاهش یافت (Karamian and Hosseini, 2016).

مطالعات همچنین نشان داده‌اند که در مناطق مرتفع‌تر، به دلیل بارندگی و آبشویی بیش‌تر، مقدار سدیم قابل جذب و میزان هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک کاهش می‌یابند (Podimanike et al., 2022). در این مطالعه نیز تاثیر ارتفاع منطقه از سطح دریا بر میزان هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در سطح احتمال یک درصد ($P \leq 0.01$) معنی‌دار بود (جدول ۳)، و با افزایش ارتفاع منطقه از مقدار آن کاسته شد (جدول ۴). ولی تاثیر ارتفاع منطقه بر میزان سدیم قابل جذب معنی‌دار نبود (جدول ۳)، اگر چه مقدار آن با افزایش ارتفاع کاهش یافت (جدول ۴). ضرایب همبستگی پیرسون محاسبه شده بین میزان هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک و ارتفاع منطقه

از سطح دریا ($0/996^{**}$) و یا این ویژگی با میزان بارندگی منطقه ($0/985^{*}$) نیز معنی‌دار و منفی بودند (جدول ۵). ولی ضرایب پیرسون محاسبه شده برای مقدار سدیم قابل جذب با ارتفاع منطقه از سطح دریا ($0/942^{ns}$) و یا با میزان بارندگی منطقه ($0/949^{ns}$) غیر معنی‌دار و منفی بودند (جدول ۵). کرمیان و حسینی (۲۰۱۶) نیز در مطالعه خود بر روی خاک‌های جنگلی استان ایلام گزارش کردند، با افزایش ارتفاع منطقه میزان هدایت الکتریکی خاک کاهش پیدا کرد.

جدول نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان می‌دهد که تاثیر ارتفاع منطقه از سطح دریا بر مقدار نیتروژن کل خاک در سطح احتمال یک درصد ($0/01 \leq P$) معنی‌دار بود (جدول ۳). جدول مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد که با افزایش ارتفاع منطقه از سطح دریا، مقدار نیتروژن کل افزایش یافت (جدول ۴). مقدار نیتروژن کل با مقدار ماده آلی خاک رابطه مستقیم دارد (Banday *et al.*, 2019). در این مطالعه نیز نیتروژن کل با ذخیره کربن آلی همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح یک درصد ($0/996^{**}$) نشان داد (جدول ۶). افزایش ارتفاع منطقه از سطح دریا و به تبع آن افزایش بارندگی و کاهش دما، باعث افزایش ذخیره کربن آلی شده و در نتیجه مقدار نیتروژن کل هم افزایش می‌یابد (Liu *et al.*, 2016). نتایج جدول ۵ نیز نشان می‌دهد که مقدار نیتروژن کل با بارندگی همبستگی مثبت و معنی‌دار ($0/962^{*}$) و با دما همبستگی منفی و معنی‌دار ($0/983^{*}$) دارد.

تاثیر ارتفاع منطقه از سطح دریا بر مقدار گوگرد قابل جذب در سطح احتمال یک درصد ($0/01 \leq P$) معنی‌دار بود (جدول ۳) و با افزایش ارتفاع منطقه از سطح دریا، مقدار گوگرد قابل جذب کاهش یافت (جدول ۴). آنیون سولفات به دلیل داشتن بار منفی جذب ذرات رس نشده و به راحتی از خاک شسته و خارج می‌شود. با افزایش ارتفاع و افزایش میزان بارندگی شرایط برای شسته شدن این آنیون از خاک سطحی فراهم می‌آید (Plumb *et al.*, 2008). مقدار گوگرد قابل جذب با ارتفاع از سطح دریا ($0/979^{*}$) و با بارندگی ($0/000^{*}$) همبستگی منفی و معنی‌داری داشت (جدول ۵). در اثر افزایش ارتفاع و بارندگی و کاهش pH، گوگرد قابل جذب موجود در لایه سطحی خاک شسته شده و به لایه‌های زیرین منتقل می‌شود و این امر باعث کم‌تر شدن مقدار گوگرد قابل جذب لایه سطحی خاکهای ارتفاعات می‌شود (Raghubanshi, 1992; Sidari *et al.*, 2008).

تاثیر ارتفاع منطقه از سطح دریا بر مقدار رطوبت ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم در سطح احتمال یک درصد ($0/01 \leq P$) معنی‌دار بود (جدول ۳) و با افزایش ارتفاع منطقه از سطح دریا، مقدار رطوبت در نقاط ظرفیت مزرعه و پژمردگی دائم افزایش یافت (جدول ۴). با توجه به اینکه بافت خاک‌های جنگلی ارتفاعات مختلف همگی یکسان و لوم رسی سیلتی (Silty Clay Loam) بود (جدول ۲)، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اختلاف خاک‌های جنگلی ارتفاعات مختلف در رطوبت نقاط ظرفیت مزرعه و پژمردگی دائم ناشی از اختلاف آن‌ها در میزان کربن آلی باشد (Moskal *et al.*, 2001). ذخیره کربن آلی با رطوبت نقاط ظرفیت مزرعه ($0/810^{**}$) و پژمردگی دائم ($0/812^{**}$) نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد نشان داد (جدول ۶). افزایش ذخیره کربن آلی و مقدار رطوبت در نقاط ظرفیت مزرعه و پژمردگی دائم با افزایش ارتفاع منطقه توسط بعضی از محققین نیز گزارش شده است (Moskal *et al.*, 2001).

تاثیر ارتفاع منطقه از سطح دریا بر پایداری خاکدانه‌ها (MWD) و دانسیته توده خاک در سطح احتمال یک درصد ($0/01 \leq P$) معنی‌دار بود (جدول ۳) و با افزایش ارتفاع منطقه از سطح دریا، مقدار پایداری خاکدانه (MWD) و دانسیته توده خاک به ترتیب افزایش و کاهش یافت (جدول ۴). مطالعات مختلف نشان داده‌اند که رابطه معکوس و معنی‌داری بین ذخیره کربن آلی با دانسیته توده خاک وجود دارد (Wang *et al.*, 2014) و با افزایش ذخیره کربن آلی، مقدار دانسیته توده خاک کاهش می‌یابد (Bauer and Black., 1992; Saeed *et al.*, 2014). در این مطالعه نیز ذخیره کربن آلی با دانسیته توده خاک همبستگی منفی و معنی‌داری ($0/912^{**}$) داشت

(جدول ۶). همچنین رابطه مثبت و معنی‌داری نیز بین ذخیره کربن آلی با پایداری خاکدانه‌ها (MWD) مشاهده شد (جدول ۶). سایر محققین نیز نشان داده‌اند که با افزایش ذخیره کربن آلی خاک، میزان پایداری خاکدانه‌ها افزایش می‌یابد (Li et al., 2016; Zhu et al., 2021).

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

خاک‌های جنگلی شمال کشور مخازن بزرگی از کربن آلی هستند که نقش کلیدی در ترسیب کربن و کاهش غلظت گاز کربنیک اتمسفری دارند. مدیریت این خاک‌ها و پیش‌بینی تغییراتی که در آینده و در اثر تغییر اقلیم در آن‌ها اتفاق می‌افتد، مستلزم شناخت ویژگی‌ها و شرایط آب‌وهوایی حاکم بر آن‌ها است.

ویژگی‌های خاک‌های جنگلی واقع در ارتفاعات و شرایط آب‌وهوایی حاکم بر آن‌ها به دلیل قابل‌دسترس نبودن این خاک‌ها و نبودن ایستگاه‌های هواشناسی تا حدود زیادی ناشناخته مانده است. به همین دلیل، مطالعه‌ای روی خاک‌های جنگلی منطقه تالش استان گیلان که در ارتفاعات مختلفی (۱۰۰۰-۵۰۰، ۱۵۰۰-۱۰۰۰، ۲۰۰۰-۱۵۰۰ و ۲۵۰۰-۲۰۰۰ متر) از سطح دریا قرار داشتند، انجام شد تا ویژگی‌های این خاک‌ها و شرایط آب‌وهوایی حاکم بر آن‌ها مشخص گردد.

نتایج این مطالعه نشان داد که: میزان میانگین بارندگی سالیانه این منطقه از ۱۲۴۷/۲۶ تا ۲۰۵۲/۰۱ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه از ۱۵/۸۳ تا ۲۶/۹۳ سانتی‌گراد متغیر بود. با افزایش ارتفاع از سطح دریا، میزان بارندگی افزایش و میزان دما کاهش یافت. میزان افزایش بارندگی به‌طور میانگین ۵۳۶/۵۰ میلی‌متر و میزان کاهش دما به‌طور میانگین ۷/۴۰ سانتی‌گراد به ازای هر ۱۰۰۰ متر افزایش ارتفاع بود. میزان تبخیر و تعرق سالیانه نیز در این منطقه از ۷۴۰/۷۶ تا ۱۲۳۸/۳۸ میلی‌متر متغیر بود و با افزایش ارتفاع، به تبعیت از کاهش دما، کاهش یافت. خاک‌های مناطق مرتفع‌تر با دریافت بارش بیشتر، دارای پوشش گیاهی انبوه‌تر و کربن آلی و نیتروژن کل بیشتری بودند. همچنین پایداری خاکدانه در آن‌ها به دلیل وجود کربن آلی بالاتر، بیش‌تر بود. با توجه به شست‌شوی بیش‌تر مواد غذایی در خاک‌های مناطق مرتفع‌تر و سرعت کم‌تر تجزیه ماده آلی ناشی از دمای کم‌تر، چرخش عناصر غذایی در آن‌ها کندتر بود و دارای فسفر، پتاسیم و گوگرد قابل‌جذب و شوری کمتری بودند. با توجه به نتایج این مطالعه، می‌توان نتیجه گرفت که خاک‌های جنگلی مناطق مرتفع‌تر شمال کشور دارای ویژگی‌های منحصربه‌فردی هستند که آن‌ها را از خاک‌های مناطق پست متمایز می‌کند. این ویژگی‌ها می‌تواند بر عملکرد اکولوژیکی و مدیریت این خاک‌ها تأثیر بگذارد. برخی از پیشنهادات برای مدیریت خاک‌های جنگلی مناطق مرتفع‌تر شمال کشور عبارت‌اند از:

با توجه به میزان بارندگی زیاد در ارتفاعات، وجود پوشش گیاهی انبوه در این مناطق، نقش کلیدی در حفاظت از خاک در برابر فرسایش، تثبیت شیب‌ها، کاهش شست‌شوی مواد غذایی و بهبود کیفیت هوا دارد. بنابراین، اقداماتی مانند ترویج کاشت درختان و بوته‌های بومی، جلوگیری از چرای بی‌رویه دام و کاهش فعالیت‌های انسانی در این مناطق می‌تواند به حفظ و توسعه پوشش گیاهی انبوه کمک کند. استفاده از کودهای آلی مانند کمپوست، کود حیوانی و کود سبز می‌تواند به حفظ مواد غذایی در خاک، بهبود ساختار خاک و افزایش حاصل‌خیزی خاک کمک کند. استفاده از این کودها در مناطق مرتفع‌تر شمال کشور می‌تواند به کاهش نیاز به کوددهی شیمیایی و حفظ سلامت خاک کمک کند. لازم به ذکر است که مدیریت خاک‌های جنگلی مناطق مرتفع‌تر شمال کشور باید با توجه

به شرایط و ویژگی‌های خاص این خاک‌ها انجام شود. بنابراین، لازم است که مطالعات بیشتری در این زمینه انجام شود تا اقدامات مدیریتی به‌طور دقیق‌تر مشخص شود.

منابع

- Angers, D. A., Bullock, M. S., & Mehuys, G. R. (2008). Aggregate stability to water. *Soil sampling and methods of analysis*, 2, 811-819.
- Baldock, J. A., & Skjemstad, J. O. (2000). Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack. *Organic geochemistry*, 31 (7-8), 697-710.
- Banday, M., Bhardwaj, D. R., & Pala, N. A. (2019). Influence of forest type, altitude and NDVI on soil properties in forests of North Western Himalaya, India. *Acta Ecologica Sinica*, 39 (1), 50-55.
- Bangroo, S. A., Najar, G. R., & Rasool, A. (2017). Effect of altitude and aspect on soil organic carbon and nitrogen stocks in the Himalayan Mawer Forest Range. *Catena*, 158, 63-68.
- Bauer, A., & Black, A. L. (1992). Organic carbon effects on available water capacity of three soil textural groups. *Soil Science Society of America Journal*, 56 (1), 248-254.
- Blake, G. R., & Hartge, K. H. (1986). Particle density. *Methods of soil analysis: Part 1 physical and mineralogical methods*, 5, 377-382.
- Bohren, C. F., & Clothiaux, E. E. (2006). *Fundamentals of atmospheric radiation: an introduction with 400 problems*. John Wiley & Sons.
- Bremner, J. M., & Mulvaney, C. S. (1983). Nitrogen—total. *Methods of soil analysis: part 2 chemical and microbiological properties*, 9, 595-624.
- Cai, A., Zhai, D., Liu, K., Hassan, W., Li, Y., & Han, T. (2023). Temporal effects of climate and soil fertility-mediated maize yield and its sustainability: A case study in subtropical China. *Land Degradation & Development*, 34(14), 4282-4295.
- Carter, M. R., & Gregorich, E. G. (Eds.). (2008). *Soil sampling and methods of analysis*. CRC press.
- Ciric, D., Nieto, R., Losada, L., Drumond, A., & Gimeno, L. (2018). The Mediterranean moisture contribution to climatological and extreme monthly continental precipitation. *Water*, 10 (4), 519.
- Dai, L., Ge, J., Wang, L., Zhang, Q., Liang, T., Bolan, N., ... & Rinklebe, J. (2022). Influence of soil properties, topography, and land cover on soil organic carbon and total nitrogen concentration: A case study in Qinghai-Tibet plateau based on random forest regression and structural equation modeling. *Science of the Total Environment*, 821, 153440.
- Deng, L., Liu, G. B., & Shangguan, Z. P. (2014). Land-use conversion and changing soil carbon stocks in China's 'Grain-for-Green' Program: a synthesis. *Global change biology*, 20 (11), 3544-3556.
- Delgado-Baquerizo, M., Eldridge, D. J., Maestre, F. T., Karunaratne, S. B., Trivedi, P., Reich, P. B., & Singh, B. K. (2017). Climate legacies drive global soil carbon stocks in terrestrial ecosystems. *Science Advances*, 3 (4), e1602008.
- Dieleman, W. I., Venter, M., Ramachandra, A., Krockenberger, A. K., & Bird, M. I. (2013). Soil carbon stocks vary predictably with altitude in tropical forests: Implications for soil carbon storage. *Geoderma*, 204, 59-67.

- Dimri, A. P., Palazzi, E., & Daloz, A. S. (2022). Elevation dependent precipitation and temperature changes over Indian Himalayan region. *Climate Dynamics*, 59 (1-2), 1-21.
- Field, A. (2013). *Discovering statistics using IBM SPSS statistics*. sage.
- Gee, G. W., & Or, D. (2002). 2.4 Particle size analysis. *Methods of soil analysis: Part 4 physical methods*, 5, 255-293.
- Haber, J. T. (2023). *The History of Surface and Subsurface Water in Lake Sediments on Mars: Observations from the Surface, Orbit, and Earth Analogs* (Doctoral dissertation, Purdue University Graduate School).
- Heckman, K., Welty-Bernard, A., Rasmussen, C., & Schwartz, E. (2009). Geologic controls of soil carbon cycling and microbial dynamics in temperate conifer forests. *Chemical Geology*, 267 (1-2), 12-23.
- Helmke, P. A., & Sparks, D. L. (1996). Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium. *Methods of soil analysis: Part 3 chemical methods*, 5, 551-574.
- Karamian, M., & Hosseini, V. (2016). Effect of trees canopy and topography on some chemical properties of forest soil (Case Study: The forest of Ilam province, Dalab). *Natural Ecosystems of Iran*, 7 (1), 81-97.
- Klute, A. (1986). Water retention: laboratory methods. *Methods of soil analysis: part 1 physical and mineralogical methods*, 5, 635-662.
- Laliberté, E., Kardol, P., Didham, R. K., Teste, F. P., Turner, B. L., & Wardle, D. A. (2017). Soil fertility shapes belowground food webs across a regional climate gradient. *Ecology letters*, 20 (10), 1273-1284.
- Li, J., Shi, J., Zhang, D. D., Yang, B., Fang, K., & Yue, P. H. (2017). Moisture increases in response to high-altitude warming evidenced by tree-rings on the southeastern Tibetan Plateau. *Climate Dynamics*, 48, 649-660.
- Li, L., Vogel, J., He, Z., Zou, X., Ruan, H., Huang, W., ... & Bianchi, T. S. (2016). Association of soil aggregation with the distribution and quality of organic carbon in soil along an elevation gradient on Wuyi Mountain in China. *PLoS One*, 11 (3), e0150898.
- Liu, Y., Gao, P., Zhang, L., Niu, X., & Wang, B. (2016). Spatial heterogeneity distribution of soil total nitrogen and total phosphorus in the Yaoxiang watershed in a hilly area of northern China based on geographic information system and geostatistics. *Ecology and Evolution*, 6 (19), 6807-6816.
- Malik, Z. A., & Haq, S. M. (2022). Soil Chemical Properties-Variation with Altitude and Forest Composition: A Case Study of Kedarnath Wildlife Sanctuary, Western Himalaya (India). *Journal of Forest and Environmental Science*, 38 (1), 21-37.
- Marshall, D. J., Cameron, H. E., & Loreau, M. (2023). Relationships between intrinsic population growth rate, carrying capacity and metabolism in microbial populations. *The ISME Journal*, 1-4.
- McDowell, R. W., Worth, W., & Carrick, S. (2021). Evidence for the leaching of dissolved organic phosphorus to depth. *Science of the Total Environment*, 755, 142392.
- Moskal, T. D., Leskiw, L., Naeth, M. A., & Chanasyk, D. S. (2001). Effect of organic carbon (peat) on moisture retention of peat: mineral mixes. *Canadian Journal of Soil Science*, 81 (2), 205-211.
- Mou, X. M., Wu, Y., Niu, Z., Jia, B., Guan, Z. H., Chen, J., ... & Li, X. G. (2020). Soil phosphorus accumulation changes with decreasing temperature along a 2300 m altitude gradient. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 301, 107050.
- Nieto, O. M., Castro, J., & Fernández-Ondoño, E. (2013). Conventional tillage versus cover crops in relation to carbon fixation in Mediterranean olive cultivation. *Plant and Soil*, 365, 321-335.

- Njeru, C. M., Ekese, S., Mohamed, S. A., Kinyamario, J. I., Kiboi, S., & Maeda, E. E. (2017). Assessing stock and thresholds detection of soil organic carbon and nitrogen along an altitude gradient in an east Africa mountain ecosystem. *Geoderma Regional*, 10, 29-38.
- Oades, J. M. (1984). Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant and soil*, 76, 319-337.
- Plumb, J. J., Muddle, R., & Franzmann, P. D. (2008). Effect of pH on rates of iron and sulfur oxidation by bioleaching organisms. *Minerals engineering*, 21 (1), 76-82.
- Podimanike, K. M. H. G. D., Dissanayaka, D. M. S. H., & Jayaneththi, J. P. H. U. (2022). KNOWLEDGE, ATTITUDES, AND PRACTICES OF EFFLUENTS MANAGEMENT IN PADDY PROCESSING PLANTS IN DIMBULAGALA GN DIVISION OF POLONNARUWA DISTRICT. Pourbabaei, H., Salehi, A., Sadat Ebrahimi, S., & Khodaparast, F. (2021). The effects of altitude and the most important soil components on vegetation characteristics, Asalem watershed. *Iranian Journal of Forest*, 13 (3), 285-304.
- Praeg, N., Seeber, J., Leitinger, G., Tasser, E., Newesely, C., Tappeiner, U., & Illmer, P. (2020). The role of land management and elevation in shaping soil microbial communities: Insights from the Central European Alps. *Soil Biology and Biochemistry*, 150, 107951.
- Qin, Y., Feng, Q., Holden, N. M., & Cao, J. (2016). Variation in soil organic carbon by slope aspect in the middle of the Qilian Mountains in the upper Heihe River Basin, China. *Catena*, 147, 308-314.
- Qiu, W., Li, Q., Lei, Z. K., Qin, Q. H., Deng, W. L., & Kang, Y. L. (2013). The use of a carbon nanotube sensor for measuring strain by micro-Raman spectroscopy. *Carbon*, 53, 161-168.
- Raghubanshi, A. S. (1992). Effect of topography on selected soil properties and nitrogen mineralization in a dry tropical forest. *Soil Biology and Biochemistry*, 24 (2), 145-150.
- Rai, A. K., Basak, N., Dixit, A. K., Rai, S. K., Das, S. K., Singh, J. B., ... & Bedwal, S. (2023). Changes in soil microbial biomass and organic C pools improve the sustainability of perennial grass and legume system under organic nutrient management. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1173986.
- Riani, M., Perrotta, D., & Torti, F. (2012). FSDA: A MATLAB toolbox for robust analysis and interactive data exploration. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 116, 17-32.
- Roe, G. H. (2005). Orographic precipitation. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 33, 645-671.
- Saeed, S., Barozai, M. Y. K., Ahmad, A., & Shah, S. H. (2014). Impact of altitude on soil physical and chemical properties in Sra Ghurgai (Takatu mountain range) Quetta, Balochistan. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 5 (3), 730-735.
- Sharma, V., & Sharma, K. N. (2013). Influence of accompanying anions on potassium retention and leaching in potato growing alluvial soils. *Pedosphere*, 23 (4), 464-471.
- Sidari, M., Ronzello, G., Vecchio, G., & Muscolo, A. (2008). Influence of slope aspects on soil chemical and biochemical properties in a Pinus laricio forest ecosystem of Aspromonte (Southern Italy). *European Journal of Soil Biology*, 44 (4), 364-372.
- Sims, J. T. (2000). Soil test phosphorus: Bray and Kurtz P-1. *Methods of phosphorus analysis for soils, sediments, residuals, and waters*, 13.
- Sisay, M. G., Tsegaye, E. A., Tolossa, A. R., Nyssen, J., Frankl, A., Van Ranst, E., & Dondeyne, S. (2023). Soil Forming Factors of High-Altitude Mountains Along the East-Africa Rift Valley: The Case of the Mount Guna Volcano, Ethiopia.

Smith, P., Smith, J. U., Powlson, D. S., McGill, W. B., Arah, J. R. M., Chertov, O. G., ... & Whitmore, A. P. (1997). A comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments. *Geoderma*, *81* (1-2), 153-225.

TerraClimate, https://climate.northwestknowledge.net/TERRACLIMATE/index_directDownloads.php

Tóth, E., Gelybó, G., Dencső, M., Kása, I., Birkás, M., & Horel, Á. (2018). Soil CO₂ emissions in a long-term tillage treatment experiment. In *Soil management and climate change* (pp. 293-307). Academic Press.

Tsozué, D., Nghonda, J. P., Tematio, P., & Basga, S. D. (2019). Changes in soil properties and soil organic carbon stocks along an elevation gradient at Mount Bambouto, Central Africa. *Catena*, *175*, 251-262.

Tucker, B. B., & Kurtz, L. T. (1961). Calcium and magnesium determinations by EDTA titrations. *Soil Science Society of America Journal*, *25* (1), 27-29.

Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, *37* (1), 29-38.

Wall, L. L., Gehrke, C. W., & Suzuki, J. (1980). An automated turbidimetric method for total sulfur in plant tissue and sulfate sulfur in soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, *11* (11), 1087-1103.

Wang, W., Lai, D. Y. F., Wang, C., Pan, T., & Zeng, C. (2015). Effects of rice straw incorporation on active soil organic carbon pools in a subtropical paddy field. *Soil and Tillage Research*, *152*, 8-16.

Wang, Y., Shao, M. A., Liu, Z., & Zhang, C. (2014). Prediction of bulk density of soils in the Loess Plateau region of China. *Surveys in Geophysics*, *35*, 395-413.

Wei, Y. M., Kang, J. N., Liu, L. C., Li, Q., Wang, P. T., Hou, J. J., ... & Yu, B. (2021). A proposed global layout of carbon capture and storage in line with a 2 C climate target. *Nature Climate Change*, *11* (2), 112-118.

Yang, Y., Mohammat, A., Feng, J., Zhou, R., & Fang, J. (2007). Storage, patterns and environmental controls of soil organic carbon in China. *Biogeochemistry*, *84*, 131-141.

Zhang, Y., Ai, J., Sun, Q., Li, Z., Hou, L., Song, L., ... & Shao, G. (2021). Soil organic carbon and total nitrogen stocks as affected by vegetation types and altitude across the mountainous regions in the Yunnan Province, south-western China. *Catena*, *196*, 104872.

Zhang, Y., Schaap, M. G., & Zha, Y. (2018). A high-resolution global map of soil hydraulic properties produced by a hierarchical parameterization of a physically based water retention model. *Water Resources Research*, *54* (12), 9774-9790.

Zhao, P., Xiao, H., Liu, C., Zhou, Y., Xu, X., & Hao, K. (2022). Evaluating a simple proxy for climatic cloud-to-ground lightning in Sichuan Province with complex terrain, Southwest China. *International Journal of Climatology*, *42* (7), 3909-3927.

Zhu, G., Shangguan, Z., & Deng, L. (2021). Dynamics of water-stable aggregates associated organic carbon assessed from delta C-13 changes following temperate natural forest development in China. *Soil and Tillage Research*, *205*, 104782.

The Impact of Altitude on Climatic Parameters and the Characteristics of Forest Soils

EXTENDED ABSTRACT

Introduction:

Altitude is one of the important factors affecting forest ecosystems. Altitude affects climatic parameters such as precipitation, temperature, evapotranspiration, and these parameters in turn affect the characteristics of forest soils.

In this study, the impact of altitude on climatic parameters and characteristics of forest soils in the Talesh region of Gilan province, Iran was investigated. The Talish region has a wide range of altitudes from sea level to 3000 meters and is therefore suitable for studying the impact of altitude on forest ecosystems.

Objectives:

The objectives of this study were to:

Investigate the impact of altitude on climatic parameters in the Talesh region of Gilan province, Iran.

Investigate the impact of altitude on characteristics of forest soils in the Talish region.

Materials and Methods:

Forest soil sampling was carried out in four different altitude classes (500-1000, 1000-1500, 1500-2000, and 2000-2500 meters). In each altitude class, three composite soil samples representing three replicates were prepared and then analyzed to measure soil characteristics. The characteristics of forest soils at different altitudes were compared in a three-replicate randomized complete block design. Climatic data were also obtained from a global gridded data base with high spatial resolution.

The characteristics of forest soils studied were: Organic matter, total nitrogen, soil aggregate stability, water holding capacity, pH, bulk density and salinity.

Results:

The results showed that the mean annual precipitation in the study area ranged from 1247.26 to 2052.01 mm and its mean annual temperature ranged from 15.80 to 26.93 degrees Celsius. With increasing altitude, precipitation increased and temperature decreased. The average increase in precipitation was 536.50 mm and the average decrease in temperature was 7.40 degrees Celsius per 1000 meters of elevation gain. The annual evapotranspiration rate also varied in this region from 740.76 to 1238.38 mm and decreased with increasing altitude, following the decrease in temperature.

The results also showed that soils located at higher altitudes had higher organic matter, total nitrogen, soil aggregate stability, and water holding capacity. However, the concentration of available nutrients such as potassium, phosphorus, and sulfur were lower due to higher precipitation and leaching and lower temperature and less decomposition of organic matter. These soils also had lower pH, bulk density, and salinity than soils in lower-lying areas.

Conclusion:

The findings of this study suggest that altitude has a significant impact on climatic parameters and characteristics of forest soils. Soils located at higher altitudes have higher organic matter, total nitrogen, soil aggregate stability, and water holding capacity. However, the concentration of available nutrients is lower in these soils. These findings have management implications for forest ecosystems. Forests located at higher altitudes are more prone to nutrient depletion and acidification and may require frequent fertilization and liming to maintain their productivity.

KEYWORDS: *Soil Characteristics, Rainfall, Temperature, North of Iran, Forest Soils on Different Elevations.*