

## Investigating structural and soil characteristics in mountainous forests (Case study: Havareh Khul Baneh)

Saman Maleki<sup>\*1</sup>, Maziar Haidari<sup>2</sup>, Majid Tavakoli<sup>3</sup>

1. Corresponding Author, Ph.D., Forestry and Rangeland Research Department, Kurdistan Province Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Sanandaj, Iran. E-mail: [sam.maleki2017@hotmail.com](mailto:sam.maleki2017@hotmail.com)
2. Assistant Prof., Forests and Rangelands Research Department, Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sanandaj, Iran. E-mail: [m.haidari@areeo.ac.ir](mailto:m.haidari@areeo.ac.ir)
3. Assistant Prof., Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Research Center of Agriculture and Natural Resource of Lorestan, Khorramabad, Iran. E-mail: [majid.tavakoli43@gmail.com](mailto:majid.tavakoli43@gmail.com)

### Article Info

**Article type:**  
Full Length Research Paper

**Article history:**  
Received: 10.31.2024  
Revised: 03.10.2025  
Accepted: 03.12.2025

**Keywords:**  
Forestry,  
Microclimate,  
Multivariate analysis,  
Slope aspect,  
Soil texture,  
Topography

### ABSTRACT

**Background and Objectives:** Approximately 23% of the world's forest cover is distributed in mountainous regions. These areas are unique in terms of biodiversity and hold significant importance in forest studies due to their role in subsistence livelihoods. The type and composition of these forests are influenced by factors such as topography (including slope aspect and gradient), climate, and soil type, which, along with the duration and intensity of solar radiation, create a range of microclimates within a region. Studies have shown that differences in forest cover between different slopes are directly influenced by the amount of solar radiation received on each slope. This research aims to evaluate the forest stand structure and soil characteristics on the northern and southern slopes of the Havareh Khul forests.

**Materials and Methods:** Due to the coppice nature of the Havareh Khul baneh forests, circular plots were deemed unsuitable because of the high density of sprouts. Instead, square plots were selected to reduce errors, with each plot measuring 4 acres (20\*20 meters). On each slope, 30 sample plots were established, and the diameter at breast height (DBH) of trees with a diameter greater than 5 cm, tree height, the two crown diameters, and species type were measured and recorded. To examine changes in the physical and chemical properties of the soil, five soil samples were collected from each slope at depths of 0-15 cm and 15-30 cm (as composite samples). The samples were packaged in plastic bags, labeled with the sampling location details, and immediately after the inventory, they were delivered to the soil laboratory. Soil texture was determined using the hydrometer method, and bulk density was measured using undisturbed soil samples collected with sampling cylinders (with an approximate volume of 100 cm<sup>3</sup>), which were then dried at 105 °C. Soil pH was measured at a 1:2.5 soil-to-water ratio using a pH meter. Soil organic carbon was determined using the Walkley-Black titration method, nitrogen content was measured using the Kjeldahl method, phosphorus was analyzed using the Olsen method, and calcium concentration was determined using atomic absorption spectroscopy.

**Results:** The forest characteristics were examined across different slope aspects. The results indicated that, except for tree height, other

---

characteristics such as the number of trees per hectare, diameter at breast height (DBH), and canopy cover showed significant differences between the northern and southern slopes. A comparison of the mean values of the examined parameters revealed that the forest on the northern slopes was in better condition. The soil texture on the northern slopes ranged from silt loam to loamy sand clay, while on the southern slopes, it varied from loam to clay loam. According to the results, the highest clay content was recorded on the southern slope, and the highest silt and sand contents were recorded on the northern slope. Consequently, the soil texture on the southern slopes was medium to heavy, while on the northern slopes, it was lighter. Additionally, the results of the variance analysis indicated that, except for the percentage of soil saturation moisture, all other examined characteristics showed statistically significant differences at the level of ( $P>0.05$ ). A comparison of the mean soil pH values revealed significant differences between the slopes and the examined depths. The soil EC showed a significant difference between the northern and southern slopes at the first depth but no significant difference at the second depth. Soil organic carbon showed significant differences between the slopes and the examined depths. Regarding total soil nitrogen, there was a significant difference between the northern and southern slopes, but no significant difference was observed between the first and second depths on the southern slope. Finally, soil potassium and phosphorus also showed significant differences between the slopes. The results of the ordination analysis indicated that the first axis was most strongly associated with total nitrogen, clay content, and soil phosphorus. These characteristics were the main factors explaining the distribution of samples in the ordination. The second axis was associated with soil texture characteristics and electrical conductivity.

**Conclusion:** The objective of this study was to investigate the effect of slope aspects on vegetation and soil characteristics in mountainous regions. The results of the study revealed that the slope aspect plays a significant role in determining vegetation and soil characteristics. However, other environmental factors also influence ecosystem processes, adding complexity to the conditions. Although uniform policies are often applied in the management of these areas, the impact of slope aspects in mountainous regions with complex topography should be given special attention for conservation, afforestation, and restoration efforts. Additionally, models analyzing vegetation diversity related to topography should primarily include slope aspects, especially for forest ecosystems in mountainous regions. Awareness of soil characteristics, such as soil leaching and shallow soil depth in mountainous areas, plays a crucial role in selecting compatible plant species. Therefore, the findings of this study can contribute to the improvement and restoration of vegetation in similar regions.

---

Cite this article: Maleki, Saman, Haidari, Maziar, Tavakoli, Majid. 2025. Investigating structural and soil characteristics in mountainous forests (Case study: Havareh Khul Baneh). *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 31 (4), 81-98.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/JWFST.2025.22910.2078

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

---

## بررسی ویژگی‌های ساختاری و خاک در جنگل‌های کوهستانی (مطالعه موردی: هواره خول بانه)

سامان ملکی\*<sup>۱</sup>، مازیار حیدری<sup>۲</sup>، مجید توکلی<sup>۳</sup>

۱. نویسنده مسئول، دکتری تخصصی، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران. رایانامه: [sam.maleki2017@hotmail.com](mailto:sam.maleki2017@hotmail.com)
۲. استادیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران. رایانامه: [m.haidari@areeo.ac.ir](mailto:m.haidari@areeo.ac.ir)
۳. استادیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، لرستان، ایران. رایانامه: [majid.tavakoli43@gmail.com](mailto:majid.tavakoli43@gmail.com)

اطلاعات مقاله	چکیده
<b>نوع مقاله:</b> مقاله کامل علمی- پژوهشی	<b>سابقه و هدف:</b> حدود ۲۳ درصد از پوشش جنگلی دنیا در مناطق کوهستانی پراکنش دارند. این مناطق به لحاظ تنوع زیستی منحصربه‌فرد و به لحاظ استفاده‌های معیشتی از جایگاه مهمی در مطالعات جنگل‌شناسی برخوردار هستند. نوع و ترکیب این جنگل‌ها تحت تأثیر عواملی مانند توپوگرافی (از جمله جهت دامنه و شیب)، آب‌وهوا و نوع خاک است و همراه با مدت و شدت تابش، طیفی از ریزاقليم‌ها را در یک منطقه ایجاد می‌کند. مطالعات نشان داده‌اند که تفاوت در پوشش جنگلی بین دامنه‌های مختلف، مستقیماً تحت تأثیر میزان تابش خورشیدی دریافتی در هر دامنه است. این پژوهش با هدف ارزیابی ساختار توده جنگلی و ویژگی‌های خاک در دامنه‌های شمالی و جنوبی جنگل‌های هواره خول بانه انجام شده است.
<b>واژه‌های کلیدی:</b> بافت خاک، تحلیل چندمتغیره، توپوگرافی، جنگل‌شناسی، جهت دامنه، ریزاقليم	<b>مواد و روش‌ها:</b> با توجه به شاخه‌زاد بودن جنگل‌های هواره خول بانه قطعات دایره‌ای به دلیل تراکم بالای جست‌ها مناسب تشخیص داده نشدند و قطعات نمونه به‌صورت مربع و به دلیل کاهش خطا ۴ آر و به ابعاد ۲۰*۲۰ انتخاب شد. در هر دامنه ۳۰ قطعه نمونه پیاده شد و قطر برابر سینه (DBH) درختان با قطر بیش از ۵ سانتی‌متر، ارتفاع درختان، دو قطر بزرگ و کوچک تاج و نوع گونه اندازه‌گیری و ثبت شد. جهت بررسی تغییرات خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در هر دامنه ۵ نمونه خاک از عمق صفر تا ۱۵ و ۱۵-۳۰ سانتی‌متری (به‌صورت نمونه مرکب) برداشت شد و داخل پلاستیک بسته‌بندی و برچسب مشخصات محل نمونه‌برداری روی بسته‌بندی نصب و بلافاصله پس از اتمام آماربرداری به آزمایشگاه خاک‌شناسی تحویل داده شد. بافت خاک با استفاده از روش هیدرومتر و جرم مخصوص ظاهری با نمونه‌های دست‌نخورده خاک با استوانه‌های نمونه‌برداری (با

حجم تقریبی ۱۰۰ سانتی متر مکعب) برداشت و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد خشک شدند. pH خاک در نسبت ۱:۲/۵ (خاک به آب) با استفاده از دستگاه pH متر اندازه گیری شد. کربن آلی خاک با استفاده از روش تیتراسیون و الکلی-بلاک، محتوای نیتروژن با روش کجالدال و فسفر با روش اولسن اندازه گیری شد و غلظت کلسیم خاک با روش طیفسنجی جذب اتمی تعیین شد.

**یافته‌ها:** ویژگی‌های جنگل‌شناسی در دامنه‌های مختلف بررسی شد. نتایج نشان داد که به جز ارتفاع، سایر ویژگی‌ها از جمله تعداد در هکتار، قطر برابر سینه و تاج پوشش در دامنه‌های شمالی و جنوبی تفاوت معنی‌داری دارند. مقایسه میانگین پارامترهای بررسی شده نشان داد که جنگل در دامنه‌های شمالی وضعیت بهتری دارد. بافت خاک در دامنه‌های شمالی از Silt Loam تا Loam Sand Clay و در دامنه‌های جنوبی از Loam تا Clay Loam متغیر بود. بر طبق نتایج بیش‌ترین میزان رس در دامنه جنوبی و بیش‌ترین میزان سیلت و شن در دامنه شمالی ثبت گردید. در نتیجه، بافت خاک در دامنه‌های جنوبی از متوسط تا سنگین و در دامنه‌های شمالی سبک‌تر بود. هم‌چنین نتایج به‌دست‌آمده از آنالیز واریانس بیانگر این بود که به غیر از درصد رطوبت اشباع خاک تمامی ویژگی‌های مورد بررسی در سطح ( $P > 0.05$ ) از نظر آماری دارای اختلاف معنی‌دار هستند. مقایسه میانگین pH خاک نشان داد که بین دامنه‌ها و عمق‌های بررسی شده اختلاف معنی‌داری وجود دارد. EC خاک بین دامنه شمالی و جنوبی در عمق اول دارای اختلاف معنی‌دار و در عمق دوم فاقد اختلاف معنی‌دار بود. کربن آلی در دامنه‌ها و عمق‌های مورد بررسی دارای اختلاف معنی‌دار بود. در رابطه با نیتروژن کل خاک بین دامنه شمالی و جنوبی اختلاف معنی‌دار را نشان داد اما بین عمق اول و دوم در دامنه جنوبی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در نهایت پتاسیم و فسفر خاک نیز بین دامنه‌های مختلف اختلاف معنی‌داری را نشان دادند. نتایج تحلیل رج‌بندی نشان داد که محور اول بیش‌ترین ارتباط را با نیتروژن کل، رس و فسفر خاک دارد، این ویژگی‌ها اصلی‌ترین عوامل در پراکندگی نمونه‌ها را در رج‌بندی توجیه می‌کنند و محور دوم با ویژگی‌های بافت خاک و هدایت الکتریکی در ارتباط بود.

**نتیجه‌گیری:** هدف این پژوهش بررسی تأثیر جهت دامنه بر ویژگی‌های پوشش گیاهی و خاک در مناطق کوهستانی بود. نتایج پژوهش نشان داد که جهت دامنه نقش مهمی در تعیین ویژگی‌های پوشش گیاهی و خاک دارد، با این حال، عوامل محیطی دیگری نیز بر فرآیندهای اکوسیستم تأثیرگذارند و موجب پیچیدگی شرایط می‌شوند. اگرچه در مدیریت این مناطق معمولاً سیاست‌های یکسانی اعمال می‌شود، اما برای حفاظت، جنگل‌کاری و بازسازی باید تأثیر جهت دامنه در مناطق کوهستانی با توپوگرافی پیچیده مورد توجه ویژه قرار گیرد. هم‌چنین، مدل‌های تجزیه و تحلیل تنوع پوشش گیاهی مرتبط با توپوگرافی باید در درجه اول شامل جهت دامنه، به‌ویژه برای اکوسیستم‌های جنگلی در مناطق کوهستانی باشد. آگاهی از ویژگی‌های خاک، مانند شست‌وشوی خاک و کم‌عمق بودن آن در مناطق کوهستانی، نقش مهمی در انتخاب گونه‌های گیاهی سازگار دارد؛ بنابراین، نتایج این پژوهش می‌تواند در اصلاح و احیای پوشش گیاهی مناطق مشابه مؤثر باشد.

استناد: ملکی، سامان، حیدری، مازیار، توکلی، مجید (۱۴۰۳). بررسی ویژگی‌های ساختاری و خاک در جنگل‌های کوهستانی (مطالعه موردی: هواره خول بانه). نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، ۳۱ (۴)، ۹۸-۸۱.

DOI: 10.22069/JWFST.2025.22910.2078



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

### مقدمه

حدود ۲۳ درصد از پوشش جنگلی دنیا در مناطق کوهستانی پراکنش دارند (۱). این مناطق از نظر تنوع زیستی منحصربه‌فرد بوده و از لحاظ استفاده‌های معیشتی، جایگاه مهمی در مطالعات جنگل‌شناسی دارند (۲). نوع و ترکیب این جنگل‌ها تحت‌تأثیر عواملی مانند توپوگرافی (از جمله جهت دامنه و شیب)، آب‌وهوا و نوع خاک است (۳) و همراه با مدت و شدت تابش، طیفی از ریزاقلیم‌ها را در یک منطقه ایجاد می‌کند (۳). مطالعات مختلف نشان داده‌اند که تفاوت پوشش جنگلی در دامنه‌های مختلف ناشی از تفاوت میزان تابش دریافتی در هر دامنه است (۴). از جمله این مطالعات که بر نقش دامنه در مناطق کوهستانی متمرکز شده‌اند می‌توان در کشورهای آمریکای شمالی (۵)، خاورمیانه (۶)، استرالیا (۷)، شرق آفریقا (۸) و هیمالیا (۹) (۱۰) اشاره کرد. کانتلون (۱۹۵۳) و پوک (۱۹۶۶) به‌صورت تخصصی نشان دادند که دامنه‌های مخالف هم در مقیاس ریزاقلیم متفاوت هستند (۵، ۱۱). شدت نور، دما، میزان رطوبت و تبخیر خاک در دامنه‌های مختلف، از عوامل مؤثر بر ترکیب و ساختار پوشش گیاهی هستند (۱۲). به‌طور کلی برای نیمکره شمالی، دامنه‌های رو به جنوب نور خورشید بیشتری دریافت، در نتیجه گرم‌تر و خشک‌تر می‌شوند، نتیجه این عوامل سبب استقرار پوشش گیاهی نسبتاً مقاوم در برابر خشکی می‌شود و از طرفی تراکم درختی کم‌تری نسبت به دامنه‌های شمالی دارند. در مقابل دامنه‌های رو به شمال رطوبت بیشتری را حفظ می‌کنند و از ریزاقلیم سرد و مرطوبی برخوردار هستند (۱۳). در رابطه با جدیدترین کارهای علمی که به بررسی جهت دامنه بر ویژگی‌های ساختاری و ویژگی‌های خاک پرداخته‌اند می‌توان به مطالعات زیر اشاره کرد: رضایی و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی تأثیر جهت دامنه بر ویژگی‌های خاک و تیپ‌های جنگلی در ارسباران به

این نتیجه رسیدند که جهت دامنه بر ویژگی‌های خاک و تیپ‌های جنگلی تأثیرگذار است و در برنامه‌های مدیریتی حتماً باید به این ویژگی توجه ویژه داشت (۱۴). کوشا و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی و مقایسه ذخیره کربن خاک و برخی خصوصیات مهم خاک در آرامگاه‌های جنگلی و گلاجرهای بخشی از جنگل‌های زاگرس شمالی نشان دادند که جهت دامنه بر ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک به غیر از هدایت الکتریکی و نیتروژن تأثیرگذار است (۱۵). در پژوهش دیگری شارما و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی تأثیر جهت دامنه بر ترکیب و ساختار جنگل و ویژگی‌های خاک در جنگل‌های معتدله هیمالیا دریافتند که دامنه‌های شمالی در کل در مورد ویژگی‌های مورد بررسی از شرایط بهتری برخوردار هستند (۱۶). بالستاد و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی ساختار جنگل در دامنه‌ها و ارتفاعات مختلف در رشته‌کوه آپالاش در شرق ایالات متحده آمریکا به این نتیجه رسیدند که تاج پوشش و زی‌توده در دامنه‌های شمالی بیشتر از دامنه‌های جنوبی است (۱۷). با وجود اطلاعات و پژوهش‌های انجام‌شده در مورد تفاوت‌های ساختاری و خاک‌شناسی دامنه‌های مختلف در جنگل‌ها، این واقعیت هم‌چنان پابرجاست که هر منطقه‌ای شرایط خاص و منحصربه‌فرد خود را دارد که ناشی از تعامل پیچیده عوامل محیطی و تعاملات اکولوژیکی است. جنگل‌های زاگرس که به‌صورت نواری بخش غربی کشور را می‌پوشانند، دارای مساحتی در حدود ۵ میلیون هکتار می‌باشند. بخشی از این جنگل‌ها که در مناطق کوهستانی شمال زاگرس قرار دارند، در تقسیم‌بندی‌های پیشین به‌عنوان زاگرس شمالی شناخته شده‌اند. گونه‌های اصلی در این جنگل‌ها شامل گونه‌های مختلف بلوط، بنه، گلابی و زالزالک می‌باشند. وابستگی جوامع محلی و روستاییان از دیرباز به این جنگل‌ها به علت ویژگی‌های جغرافیایی، بهره‌برداری از محصولات فرعی، علوفه

بنابراین استفاده از قطعات دایره‌ای برای نمونه‌برداری مناسب تشخیص داده نشد. در هر دامنه منطقه‌ای به مساحت حدودی ۴۰ هکتار با شیب نسبتاً مشابه انتخاب شد، آماربرداری به روش سیستماتیک-تصادفی در شبکه آماربرداری ۱۰۰\*۱۰۰ با قطعات نمونه مربعی ۲۰×۲۰ متر (۴ آر) انجام (شدت آماربرداری ۴ درصد) شد. برای هر دامنه تعداد ۳۰ قطعه نمونه (در مجموع ۶۰) در نظر گرفته شد. در قطعات نمونه ویژگی‌های قطر برابر سینه درختان بزرگ‌تر از ۵ سانتی‌متر، ارتفاع درختان، دو قطر بزرگ و کوچک تاج و نوع گونه آماربرداری شد (۲۱).

**مطالعات خاک‌شناسی:** برای بررسی تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در هر دامنه، ۵ نمونه خاک از عمق ۰-۱۵ سانتی‌متری و ۵ نمونه خاک از عمق ۱۵-۳۰ سانتی‌متری برداشت شد. هر یک از این نمونه‌ها از چهار جهت اطراف یک درخت جمع‌آوری و با هم ترکیب شدند تا به‌عنوان یک نمونه مرکب در نظر گرفته شوند. در مجموع ۲۰ نمونه خاک برداشت شد. نمونه‌های ترکیبی پس از همگن‌سازی، به‌منظور انجام تحلیل‌های آزمایشگاهی به یک نمونه ۲ کیلوگرمی تبدیل شدند. این نمونه‌ها در کیسه‌های پلاستیکی مخصوص بسته‌بندی و برچسب‌گذاری شدند و مشخصات دقیق محل نمونه‌برداری بر روی برچسب‌ها ثبت گردید. بلافاصله پس از تکمیل فرآیند نمونه‌برداری و خشک‌کردن، نمونه‌ها برای انجام آنالیزهای فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه خاک‌شناسی منتقل شدند.

**اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک:** بافت خاک با استفاده از روش هیدرومتر (۲۲) و جرم مخصوص ظاهری با استفاده از استوانه‌های نمونه‌برداری با حجم تقریبی ۱۰۰ سانتی‌مترمکعب و با تهیه نمونه‌های دست‌نخورده تعیین شد. نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند (۲۳). pH خاک با استفاده از pH متر و در نسبت ۱:۲/۵ خاک به آب اندازه‌گیری شد (۲۴). کربن

دام و نیاز به چوب زیاد می‌باشد (۱۸). جنگل‌های زاگرس شمالی در مناطق عمدتاً کوهستانی پراکنده‌اند و به دلیل شرایط توپوگرافی، تفاوت‌های محسوسی میان دامنه‌های شمالی و جنوبی آن‌ها مشاهده می‌شود (۱۹). بررسی تأثیر دامنه بر ویژگی‌های ساختاری جنگل و ارتباط آن با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک ضروری است. این اطلاعات نقش مهمی در برنامه‌ریزی و مدیریت جنگل‌های زاگرس، به‌ویژه از نظر ارزش‌های زیست‌محیطی، حفاظت خاک، تولید محصولات فرعی و تأمین آب کشور دارند (۲۰). هدف اصلی این پژوهش، بررسی تفاوت‌های ویژگی‌های ساختاری جنگل و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در دامنه‌های شمالی و جنوبی است. به‌طور مشخص، پژوهش به دنبال پاسخ به این سؤالات است: الف- آیا ویژگی‌های ساختاری جنگل در دامنه‌های شمالی و جنوبی تفاوت معنی‌داری دارند؟ ب- آیا بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و جهت دامنه ارتباط معناداری وجود دارد؟

### مواد و روش‌ها

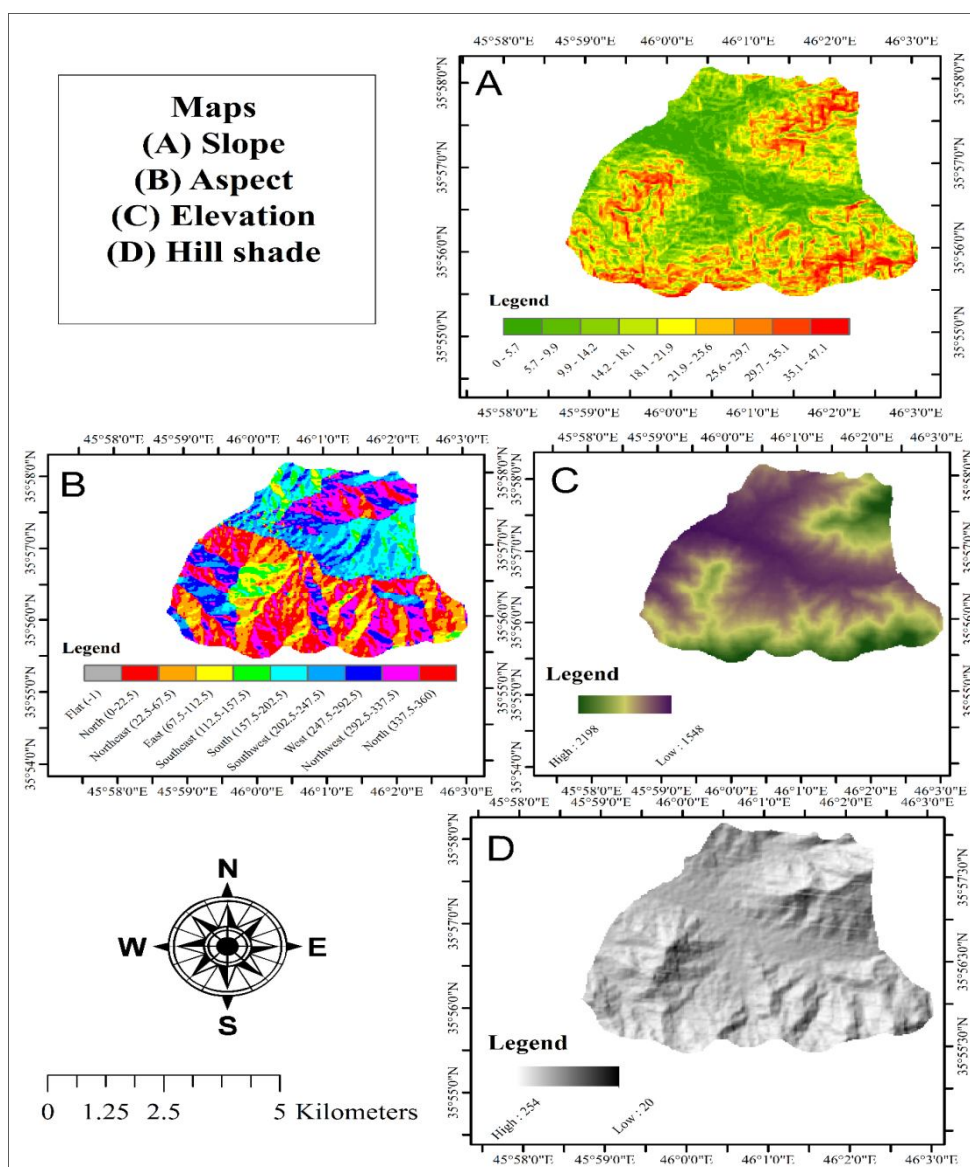
**منطقه مورد مطالعه:** جنگل‌های روستای هواره خول با مساحت ۳۴۷ هکتار و محدوده ارتفاعی ۱۵۸۰ تا ۲۱۵۰ متری از سطح دریا گسترش یافته‌اند. این جنگل‌ها کوهستانی بوده و عمدتاً در دامنه‌های شمالی و جنوبی قابل تفکیک هستند. اقلیم منطقه نیمه‌مرطوب تا نیمه‌خشک با میانگین بارندگی سالانه حدود ۸۰۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه ۱۳ درجه سانتی‌گراد است. پوشش گیاهی غالب منطقه شامل گونه‌های درختی *Q. libani*، *Q. infectoria*، *Q. brantii* به‌عنوان گونه‌های اصلی بلوط به همراه گونه‌های همراه مانند بنه، زالزالک و کیکم است. این منطقه با توجه به هدف و فرضیات پژوهش به‌عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شد (شکل ۱).

**ویژگی‌های جنگل‌شناسی:** جنگل‌های منطقه عمدتاً شاخه‌زاد بوده و دارای تراکم بالای جست‌ها هستند

واریانس یک‌طرفه (ANOVA) برای بررسی تفاوت‌های ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در عمق‌های مختلف انجام شد. جهت کاهش همبستگی متغیرها و شناسایی شاخص‌های کلیدی، از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) بهره گرفته شد. شاخص‌های با بار عاملی بالا در محورهای اصلی PCA به‌عنوان متغیرهای مؤثر در تفکیک دامنه‌ها تعیین شدند. تمامی تجزیه و تحلیل‌ها با نرم‌افزارهای SPSS و R انجام شد.

آلی خاک با روش تیتراسیون و الکی - بلاک (۲۵)، نیتروژن کل با روش کج‌دال و فسفر قابل جذب با روش اولسن تعیین شد (۲۶ و ۲۷). هم‌چنین مقدار کلسیم خاک با استفاده از طیف‌سنجی جذب اتمی اندازه‌گیری شد (۲۸).

تجزیه و تحلیل آماری: ترسیم نقشه‌ها با استفاده از نرم‌افزار GIS انجام شد. برای تحلیل داده‌ها، از آزمون تی مستقل (t-test) برای مقایسه ویژگی‌های جنگل‌شناسی بین دامنه‌های شمالی و جنوبی استفاده شد. تحلیل



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.

Figure 1. Geographical location of the studied area.

### نتایج

بین این دو دامنه دارند. نتایج مقایسه میانگین پارامترهای مورد بررسی نشان داد که دامنه‌های شمالی از نظر (تراکم درختی، قطر برابر سینه و درصد تاج‌پوشش) شرایط مطلوب‌تری دارند (جدول ۱).

بررسی ویژگی‌های جنگل‌شناسی (برحسب آزمون تی مستقل) در دامنه‌های شمالی و جنوبی نشان داد که به‌جز ارتفاع، پارامترهای تعداد درخت در هکتار، قطر برابر سینه و درصد تاج‌پوشش، اختلاف معنی‌داری

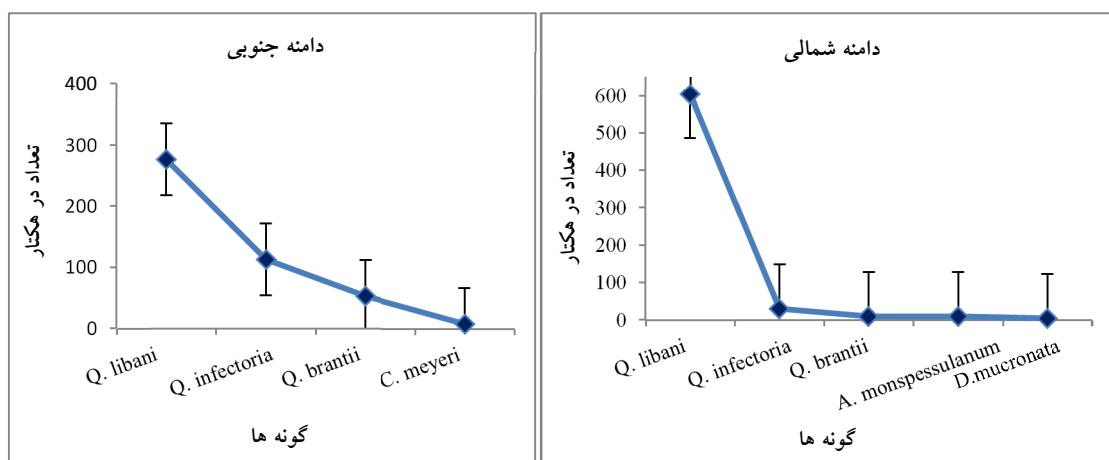
جدول ۱- نتایج آزمون تی مستقل برای ویژگی‌های ساختاری دامنه‌های شمالی و جنوبی.

**Table 1. Results of the independent t-test for structural characteristics of the northern and southern aspects.**

P Value	دامنه شمالی			دامنه جنوبی			ویژگی‌ها Characteristics
	میانگین و خطای استاندارد Mean±SE	حداکثر Maximum	حداقل Minimum	میانگین و خطای استاندارد Mean±SE	حداکثر Maximum	حداقل Minimum	
0.000*	24.90 ± 654 <sup>a</sup>	748	550	13.56±447 <sup>b</sup>	496	386	تعداد در هکتار Number per hectare
0.002*	1.48±21.38 <sup>a</sup>	31.47	15	0.67 ±15.38 <sup>b</sup>	24	17	قطر برابر سینه DBH (Cm)
0.000*	0.24 ±6.45 <sup>a</sup>	7.5	5	0.23 ±5.7 <sup>b</sup>	7	4.5	تاج پوشش Canopy area (m <sup>2</sup> )
0.06 <sup>ns</sup>	4.3±0.63	5.5	3.5	3.83±0.43	4.5	3	ارتفاع Tree height (m)

جنوبی، ویول با ۲۷۶ اصله در هکتار هم‌چنان بیش‌ترین تراکم را به خود اختصاص داد و پس از آن مازودار (۱۱۲ اصله)، برودار (۵۲ اصله) و زالزالک (۷ اصله) قرار گرفتند.

بر اساس داده‌های ارائه‌شده در شکل ۲، گونه ویول با ۶۰۴ اصله در هکتار بیش‌ترین تراکم را در دامنه شمالی داشت، درحالی‌که مازودار (۲۹ اصله)، برودار (۸ اصله)، کیکم (۸ اصله) و دافنه (۴ اصله) به‌ترتیب در رده‌های بعدی قرار گرفتند. در دامنه



شکل ۲- میانگین و خطای استاندارد گونه‌های موجود در هر دامنه.

**Figure 2. Mean and standard error of species present in each slope aspect.**



اطلاعات ضروری باشد. تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) برای بررسی ویژگی‌های خاک منطقه مورد مطالعه انجام شد تا همبستگی‌های چندگانه میان متغیرها کاهش یابد و شاخص‌های کلیدی مؤثر در تفکیک دامنه‌های شمالی و جنوبی مشخص شوند. نتایج این تحلیل در جدول ۳ و پراکنش ویژگی‌ها روی محورهای PCA در شکل ۳ ارائه شده است. بررسی واریانس تجمعی محورهای اول تا سوم نشان داد که این سه محور در مجموع ۸۴/۲۶ درصد از تغییرات داده‌ها را تبیین می‌کنند. محور اول با سهم ۴۴/۴۹ درصد بیش‌ترین میزان واریانس را توضیح داده و در آن متغیرهای نیتروژن کل، رس و فسفر بیش‌ترین نقش را در تفکیک نمونه‌ها ایفا کرده‌اند. محور دوم که ۳۱/۳۱ درصد از واریانس را شامل می‌شود، تحت تأثیر شاخص‌های شن، سیلت و هدایت الکتریکی (EC) قرار دارد. محور سوم نیز با سهم ۹/۴۶ درصدی، هم‌چنان تأثیر EC را به‌عنوان یک متغیر مهم نشان می‌دهد.

تحلیل پراکنش نمونه‌های خاک بر روی دو محور اول (شکل ۴) نشان داد که دامنه‌های شمالی و جنوبی از نظر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک الگوهای متفاوتی دارند. به‌طور مشخص دامنه‌های دارای مقادیر بالاتر نیتروژن، فسفر و رس در امتداد محور اول قرار گرفته‌اند، درحالی‌که متغیرهای مرتبط با بافت خاک (شن و سیلت) و ویژگی‌های شیمیایی مانند EC عمدتاً محور دوم را تعریف کرده‌اند. این نتایج نشان‌دهنده تأثیر قابل‌توجه شرایط توپوگرافی بر خصوصیات خاک و تفکیک دامنه‌های شمالی و جنوبی بر مبنای متغیرهای کلیدی است.

**ویژگی‌های خاک:** بررسی بافت خاک در عمق‌های اول و دوم در دامنه‌های مورد مطالعه نشان داد که بافت خاک در دامنه‌های شمالی از Loam Silt تا Sandy Clay Loam و در دامنه‌های جنوبی از Loam تا Clay Loam متغیر است (جدول ۲). براساس نتایج، بیش‌ترین میزان رس در دامنه جنوبی و بیش‌ترین میزان سیلت و شن در دامنه شمالی ثبت شد. این تفاوت‌ها باعث شده‌اند که بافت خاک در دامنه‌های جنوبی از متوسط تا سنگین و در دامنه‌های شمالی سبک‌تر باشد. نتایج آنالیز واریانس نیز نشان داد که به‌جز درصد رطوبت اشباع خاک، تمامی ویژگی‌های مورد بررسی در سطح ( $P > 0.05$ ) از نظر آماری اختلاف معنی‌داری دارند. مقایسه میانگین pH خاک نشان داد که بین دامنه‌ها و عمق‌های مورد بررسی اختلاف معنی‌داری وجود دارد. هم‌چنین، EC خاک در عمق اول بین دامنه شمالی و جنوبی اختلاف معنی‌دار داشت، اما در عمق دوم این اختلاف معنی‌دار نبود. میزان کربن آلی در دامنه‌ها و عمق‌های مختلف اختلاف معنی‌داری را نشان داد. در مورد نیتروژن کل، بین دامنه شمالی و جنوبی اختلاف معنی‌دار مشاهده شد، اما بین عمق اول و دوم در دامنه جنوبی این اختلاف معنی‌دار نبود. در نهایت، مقادیر پتاسیم و فسفر خاک نیز بین دامنه‌های مختلف اختلاف معنی‌داری داشتند (جدول ۲).

**رج‌بندی ویژگی‌های خاک:** از این روش برای کاهش همبستگی چندگانه بین متغیرها و کاهش تعداد آن‌ها استفاده می‌شود. این کار به تعریف دقیق‌تر متغیرها و تحلیل جامع‌تر داده‌ها کمک می‌کند، به‌گونه‌ای که مجموعه داده جدید هم‌چنان حاوی بخش عمده‌ای از

جدول ۲- مقایسه میانگین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جهت‌های مختلف.

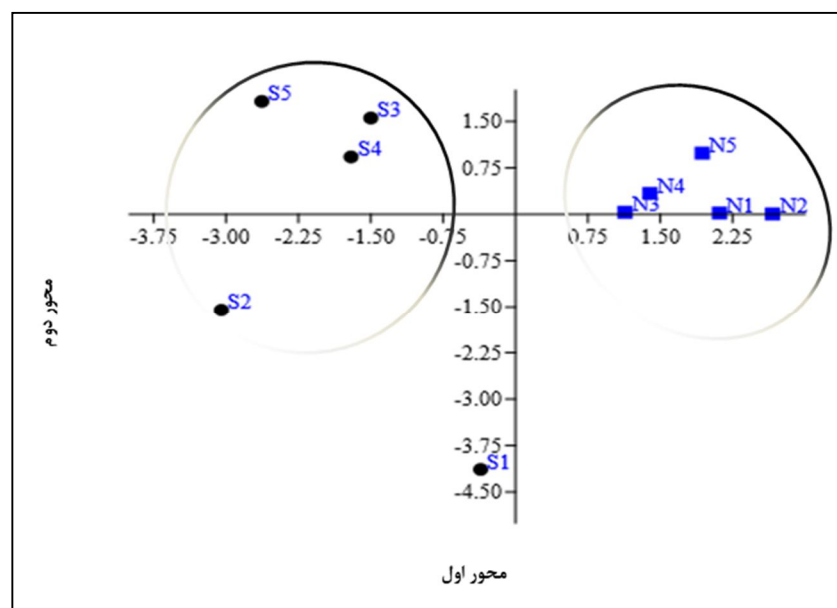
**Table 2. Comparison of mean physical and chemical soil characteristics across different aspects.**

P Value	دامنه جنوبی			دامنه شمالی			عمق‌ها	مشخصه‌ها Characteristics
	میانگین و خطای استاندارد Mean±SE	حداکثر Maximum	حداقل Minimum	میانگین و خطای استاندارد Mean±SE	حداکثر Maximum	حداقل Minimum		
	0.004	1.52±23.02 <sup>b</sup> 2.80±31.2 <sup>a</sup>	25 30	18 25	1.24±20.80 <sup>b</sup> 0.96±27.2 <sup>ab</sup>	27 37		
0.010	4.59±34 <sup>ab</sup> 9.47±28.6 <sup>b</sup>	50 42	26 20	2.38±46 <sup>a</sup> 3.30±27.2 <sup>b</sup>	52 37	40 20	0-15 15-30	سیلت Silt
0.018	3.49±42.8 <sup>ab</sup> 1.74±40.2 <sup>ab</sup>	50 43	30 35	2.05±33 <sup>b</sup> 2.4±45.6 <sup>a</sup>	40 40	30 38	0-15 15-30	شن Sand
-	Loam Clay-Loam			Silt-Loam Sandy-Clay-Loam			0-15 15-30	بافت Texture
0.364	5.39±44.50 <sup>a</sup> 5.30±51.28 <sup>a</sup>	50.32 49.12	31.13 29.13	4.79±39.00 <sup>a</sup> 4.73±41.00 <sup>a</sup>	58.64 57.12	31.17 55.18	0-15 15-30	درصد اشباع خاک Sp%
0.0001	0.02±7.25 <sup>c</sup> 0.01±7.36 <sup>ab</sup>	7.33 7.42	7.19 7.31	0.02±7.28 <sup>bc</sup> 0.10±7.42 <sup>a</sup>	7.36 7.44	7.23 7.39	0-15 15-30	اسیدیته PH
0.000	0.01±0.76 <sup>b</sup> 0.01±0.83 <sup>a</sup>	0.81 0.86	0.74 0.79	0.01±0.76 <sup>b</sup> 0.00±0.81 <sup>a</sup>	0.80 0.83	0.73 0.79	0-15 15-30	هدایت الکتریکی (μScm) میکروزیمنس بر سانتی‌متر) EC
0.000	0.02±1.03 <sup>b</sup> 0.02±0.912 <sup>c</sup>	1.14 0.96	0.90 0.88	0.02±1.39 <sup>a</sup> 0.03±1.09 <sup>b</sup>	1.42 1.19	1.32 0.98	0-15 15-30	کربن آلی خاک (درصد) Organic carbon (%)
0.001	0.00±0.087 <sup>b</sup> 0.00±0.085 <sup>b</sup>	0.09 0.09	0.077 0.077	0.00±0.11 <sup>a</sup> 0.00±0.093 <sup>b</sup>	0.13 0.09	0.09 0.08	0-15 15-30	نیتروژن (درصد) T.N
0.000	3.40±278.27 <sup>bc</sup> 4.16±270.32 <sup>c</sup>	287.13 286.15	267.9 263.9	4.18±301.49 <sup>a</sup> 3.20±286.83 <sup>ab</sup>	315 297	288.92 279.18	0-15 15-30	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Kav (mg/kg)
0.005	0.47±11.99 <sup>ab</sup> 0.21±11.18 <sup>b</sup>	13.14 11.7	10.84 10.42	0.26±13.14 <sup>a</sup> 0.28±12.18 <sup>ab</sup>	13.8 12.88	288.92 11.3	0-15 15-30	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) Pav (mg/kg)

جدول ۳- نتایج آنالیز PCA برای خصوصیات خاک در دامنه‌های مورد بررسی منطقه مورد مطالعه.

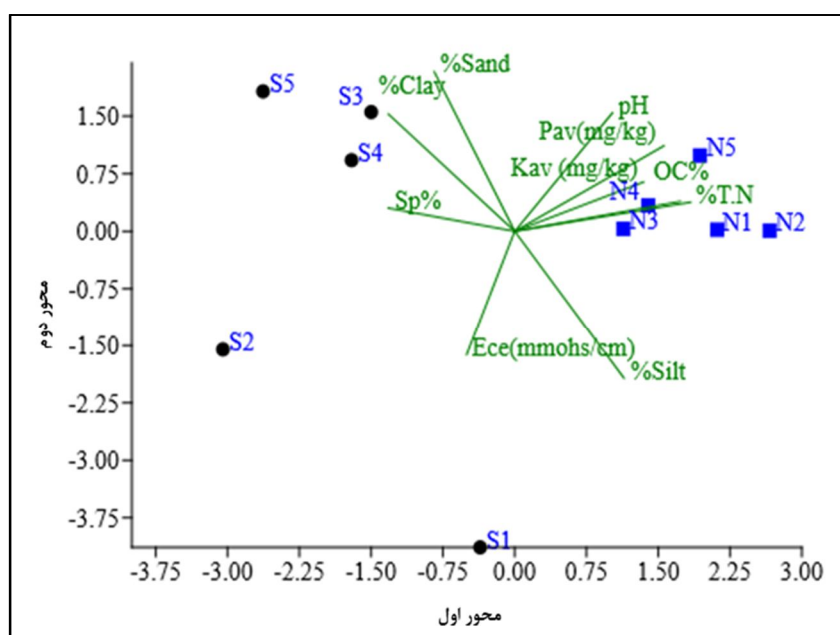
Table 3. Results of PCA analysis for soil characteristics in the studied aspects of the study area.

محورها			
محور سوم Third axis	محور دوم Second axis	محور اول First axis	ویژگی‌های خاک
0.47	0.37	0.34	اسیدیته pH
0.64	-0.38	-0.12	هدایت الکتریکی EC
0.38	0.07	-0.31	درصد اشباع خاک Sp%
0.29	0.09	0.41	رس Clay
0.26	0.36	-0.31	سیلت Silt
-0.03	-0.46	0.27	شن Sand
-0.19	0.49	-0.20	کربن آلی OC
0.05	0.09	0.44	نیترژن T.N
-0.08	0.15	0.32	پتاسیم Kav
0.04	0.26	0.37	فسفر Pav



شکل ۳- نمودار پراکنش دامنه‌های مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه با آنالیز PCA.

Figure 3. Scatter plot of the studied aspects in the study area using PCA analysis.



شکل ۴- نمودار تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) برای نمایش رابطه بین دامنه‌های مورد بررسی و ویژگی‌های خاک.  
 Figure 4. Scatter plot of the studied slope aspects in relation to soil characteristics using PCA.

می‌تواند بر پراکندگی گونه‌های گیاهی و همچنین فرایند تشکیل خاک تأثیر بگذارد. بر اساس نتایج ارائه‌شده در جدول ۱ ویژگی‌های تعداد در هکتار، قطر برابر سینه و تاج پوشش در دو دامنه دارای اختلاف معنی‌داری بودند. به‌طورکلی، دامنه‌های رو به شمال از نظر ویژگی‌های جنگل‌شناسی در وضعیت بهتری قرار داشتند. در منطقه مورد مطالعه، در هر دو دامنه گونه ویول به دلیل رطوبت‌پسندی بیش‌تر در منطقه مورد مطالعه گونه غالب بود. با این حال، در دامنه جنوبی تعداد گونه مازودار نسبت به دامنه شمالی افزایش یافت که به دلیل تحمل اکولوژیکی کم‌تر این گونه در برابر شرایط مرطوب‌تر دامنه شمالی است. این نتایج با پژوهش‌های خان‌حسینی و همکاران (۲۰۱۵) و جزیره‌ای و ابراهیمی رستاقی (۲۰۰۳) همخوانی دارد. از سوی دیگر، تعداد کم‌تر درختان در دامنه جنوبی به دلیل دخالت انسانی بیش‌تر است. در دامنه‌های جنوبی، علاوه بر ضعف رویشگاه (کاهش رطوبت و کیفیت پایین‌تر خاک)، به دلیل شرایط

#### بحث

تفاوت‌های قابل‌توجهی در میزان انرژی تابشی خورشیدی در دامنه‌های مختلف وجود دارد. در عرض جغرافیایی ۴۲ درجه شمالی، دامنه‌های جنوبی ۲۳ درصد بیش‌تر و دامنه‌های شمالی ۵۴ درصد کم‌تر از تابش خورشیدی را در یک منطقه یکسان دریافت می‌کنند. اگرچه این رویکرد ساده شده نمی‌تواند تمامی شرایط واقعی را منعکس کند، اما رابطه میان ورودی سالانه انرژی خورشیدی، جهت دامنه و زاویه تابش را نشان می‌دهد. تفاوت‌های پیش‌بینی‌شده در میزان تابش تأثیرات قابل‌توجهی بر پارامترهای ریزاقليمی دارند. به همین دلیل، دامنه‌های شمالی دارای دمای هوا و خاک کم‌تر، نوسانات دمایی سالانه و روزانه پایین‌تر، تبخیر و تعرق مؤثر کم‌تر، ضخامت و رطوبت بیش‌تر خاک و در نهایت طولانی‌تر بودن مدت‌زمان پوشش برف در مقایسه با دامنه‌های جنوبی هستند؛ بنابراین، دامنه‌های شمالی و جنوبی کوه‌های هواره خول دارای شرایط محیطی متفاوتی هستند که

شمالی و جنوبی مشاهده می‌شود (۳۶). بررسی ویژگی‌های خاک در دامنه‌های شمالی و جنوبی در این پژوهش نشان داد که به‌جز رطوبت اشباع خاک، سایر پارامترهای مورد بررسی تفاوت معنی‌داری داشتند. این نتایج با یافته‌های مارن و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای در نیپال مطابقت دارد (۳۶)؛ اما برخلاف نتایج بورکس (۲۰۰۲) است که در بررسی ویژگی‌های خاک در دامنه‌های مختلف، تنها در میزان پتاسیم خاک تفاوت معنی‌داری گزارش کرد و سایر ویژگی‌های خاک را نسبتاً مشابه یافت (۳۷). عدم تفاوت در میزان رطوبت اشباع خاک در این پژوهش ممکن است به زمان نمونه‌برداری مرتبط باشد (۳۸). تأثیر پوشش گیاهی بر ویژگی‌های خاک، عمدتاً به کیفیت بستر، از جمله ترکیب عنصری و نوع ترکیبات آلی بستگی دارد (۳۸). مشابه این نتیجه، مارک و همکاران (۲۰۰۰) نیز دریافتند که جهت دامنه یکی از عوامل اصلی الگوهای پراکنش پوشش گیاهی در مناطق کوهستانی است (۳۴). جهت جغرافیایی بر مقدار آب در دسترس گیاه، دمای خاک و میزان نور دریافتی تأثیرگذار است. از سوی دیگر، تفاوت در شدت تابش خورشید در جهت‌های مختلف یک دامنه، باعث ایجاد تغییرات مزوکلیمایی در آن دامنه می‌شود. پژوهش‌گرانی مانند زارع چاهوکی و همکاران (۱۳۸۸) نیز در بررسی تأثیر جهت دامنه بر استقرار و پراکنش گونه‌های گیاهی به نتایج مشابهی دست یافتند (۳۹) (۴۰). در مورد شوری خاک، نتایج نشان داد که مقدار آن در عمق دوم دامنه‌های جنوبی بالاتر است که ممکن است تحت تأثیر فرایندهای هیدرولوژیکی یا سنگ مادری باشد (۴۱). در دامنه‌های جنوبی به دلیل تابش مستقیم خورشید و افزایش تبخیر، ذرات خاک به هم چسبیده و انتقال‌پذیری آن‌ها کاهش می‌یابد (۴۲). این پدیده را می‌توان ناشی از تفاوت در روند تولید و تکامل خاک، در نتیجه‌ی میزان متفاوت انرژی

مناسب‌تر برای زندگی محلی (نزدیکی به روستاها و مناطق مسکونی)، تردد انسان و دام بیش‌تر است (۱۹). همچنین، تنوع و آمیختگی گونه‌ها تحت تأثیر جهت دامنه قرار دارد (۳۱). نتیجه جالب این پژوهش، بیش‌تر بودن تنوع گونه‌ای در دامنه جنوبی نسبت به دامنه شمالی بود (شکل ۲). نتایج این مطالعه با پژوهش شیقلی و کابریک (۲۰۰۴) در جنوب‌شرق میسوری مطابقت دارد. آن‌ها نشان دادند که دامنه‌های جنوبی دارای تنوع گونه‌ای بیش‌تری هستند و جهت دامنه و شکل زمین را عوامل کلیدی در تنوع گونه‌های جنگلی معرفی کردند (۳۲). مطالعات مختلف، دلیل این پدیده را دمای بالاتر و خشکی بیش‌تر دامنه‌های جنوبی نسبت به سایر دامنه‌ها عنوان کرده‌اند. البته همان‌طور که در بخش مواد و روش‌ها ذکر شد، روش آماربرداری در این پژوهش تصادفی بوده است؛ بنابراین، عدم حضور یک گونه در دامنه شمالی به معنای عدم حضور قطعی آن در منطقه نیست (۳۳). برخلاف این نتایج، پوریابایی و همکاران (۱۳۷۸) در بررسی تنوع گونه‌ای رویشگاه‌های سرخدار، بیش‌ترین تنوع را در دامنه‌های شمالی مشاهده کردند و علت آن را رطوبت بالاتر و کاهش تأثیرات انسانی دانستند. در توجیه این نتایج متناقض باید به این نکته توجه داشت که با وجود دریافت رطوبت بیش‌تر در دامنه‌های شمالی، طبق نظر مصدق (۱۳۷۵) دمای کمتر و کندتر آب شدن برف، سرمای زودرس و از بین رفتن قسمت‌های هوایی غیرخشی درختان و سایر گیاهان در برخی از مناطق به‌ویژه در ارتفاعات بالا، باعث تنوع کمتری در دامنه‌های رو به شمال می‌شود. نتایج به‌وضوح نشان می‌دهد که دامنه‌های مختلف به دلیل میزان تابش متفاوت، با وجود پوشش گیاهی تقریباً مشابه، از نظر ویژگی‌های خاک تفاوت دارند (۳۵). در مناطقی که میزان بارندگی بیش از ۴۰۰ میلی‌متر است، معمولاً تفاوت آشکاری بین دامنه‌های

### نتیجه‌گیری کلی

از دهه ۱۸۵۰، علاقه شدیدی در میان بوم‌شناسان گیاهی برای بررسی مسائل مربوط به جنبه شیب در جوامع گیاهی وجود داشته است (۴۶). این اثرات در مناطق کوهستانی که با شیب‌های تندتر از هم جدا شده‌اند، بارزتر بود (۴۷) جهت دامنه یکی از مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر پویایی پوشش جنگلی در مناطق کوهستانی است که ریزاقلیم‌ها و توزیع فضایی پوشش گیاهی را در یک منطقه متغیر می‌کند. با متفاوت بودن پوشش گیاهی (ترکیب و ساختار) در جهت‌های مختلف خاک تحت‌تأثیر پوشش گیاهی قرار می‌گیرد و در مقیاس میکرو اقلیم خاک‌های با ویژگی‌های مختلف شکل می‌گیرد (۴۸). مدل‌های پیش‌بینی پویایی پوشش گیاهی فاکتورهای اقلیمی را از مهم‌ترین عوامل بر ترکیب، ساختار و تنوع بیان می‌کنند و بر لزوم اضافه شدن جهت دامنه در این مطالعات به‌خصوص در مناطق کوهستانی تأکید دارند زیرا جهت دامنه باعث تغییر دما و رطوبت در این مناطق می‌شود. به‌طور خاص جهت دامنه باید در مقیاس محلی و منطقه‌ای مورد مطالعه قرار گیرد تا درک جامعه گیاهی افزایش یابد. چنین مطالعاتی مطمئناً به درک اثر جهت در مناطق کوهستانی کمک خواهد کرد (۴۹). هدف کلی این بررسی، برجسته کردن نقش‌هایی بود که جهت دامنه بر ویژگی‌های پوشش گیاهی و متعاقباً ویژگی‌های خاک در مناطق کوهستانی ایفا می‌کرد. هرچند این اثر در نتایج به‌خوبی دنبال و مورد تجزیه قرار گرفت اما برخی عوامل دیگر شرایط محیطی پیچیده‌ای را ایجاد می‌کنند که در اداره فرآیندهای اکوسیستم نیز مهم هستند. از آن‌جاکه در مدیریت این مناطق سیاست یکسانی در نظر گرفته می‌شود اما باید بر جهت دامنه در مناطق کوهستانی با ویژگی‌های توپوگرافی قوی برای حفاظت، جنگل‌کاری و همچنین اهداف بازسازی

خورشیدی دریافتی دانست. بررسی میزان نیتروژن، فسفر و بافت خاک نشان داد که جهت دامنه بر این ویژگی‌ها تأثیرگذار است و این یافته‌ها با نتایج سایر مطالعات هم‌راستا هستند (۴۳). با این حال برخلاف نتایج کلی این پژوهش، مارن و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی دریافتند که ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جهت‌های مختلف تفاوت معنی‌داری ندارند. نویسندگان این مطالعه فرایند توسعه خاک را عاملی مؤثر در این مسئله عنوان کرده‌اند (۳۶).

تجزیه و تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) (یکی از روش‌های تحلیل چندمتغیره) پیچیدگی متغیرهای با ابعاد بالا را با نمایش هندسی آن‌ها در ابعاد پایین‌تر ساده می‌کند. در این روش داده‌ها بر اساس مؤلفه‌های اصلی به گونه‌ای خلاصه می‌شوند که حداکثر اطلاعات ممکن با استفاده از تعداد محدودی مؤلفه حفظ شود. بر طبق تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی دامنه‌های شمالی و جنوبی به‌صورت تفکیکی به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک جدا شدند، نیتروژن و رس و فسفر از مهم‌ترین ویژگی‌ها در تفکیک دامنه‌های شمالی هستند. این نتایج با سایر پژوهش‌ها در مناطق مشابه مطابقت دارد (۴۴). در مقابل، درصد شن و هدایت الکتریکی بیش‌ترین تأثیر را در تفکیک دامنه‌های جنوبی نشان دادند. برخی پژوهش‌گران، از جمله کارنوال و تورس (۱۹۹۰) نیز نشان داده‌اند که هدایت الکتریکی خاک، یکی از مهم‌ترین متغیرهای مؤثر بر استقرار جوامع گیاهی است (۴۵). مناسب بودن بافت خاک در دامنه‌های شمالی را می‌توان نتیجه‌ی تراکم بالاتر درختان و پوشش گیاهی دانست که بازخورد متقابل بین پوشش گیاهی و ویژگی‌های خاک را نشان می‌دهد. در مجموع نتایج تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی با نتایج تحلیل واریانس هم‌راستا بود که این موضوع اعتبار و همخوانی داده‌های این مطالعه را تأیید می‌کند.

کم عمق بودن در مناطق کوهستانی) رویشگاه هرگونه گیاهی نقش مؤثری در پیشنهاد گونه‌های سازگار با شرایط خاک در مناطق مشابه دارد، بنابراین می‌توان از نتایج این پژوهش در جهت اصلاح و احیاء پوشش گیاهی مناطق با شرایط مشابه استفاده نمود که از دستاوردهای مهم این پژوهش می‌باشد.

تأکید بیشتری شود. هم‌چنین، مدل‌های تجزیه و تحلیل تنوع پوشش گیاهی مرتبط با توپوگرافی باید در درجه اول شامل جهت دامنه، به‌ویژه برای اکوسیستم‌های جنگلی در منطقه کوهستانی باشد. درنهایت با ترکیب و دنبال کردن تأثیرات مورد بررسی در این پژوهش آگاهی از ویژگی‌های خاک (شست و شوی خاک،

## منابع

1. Dinca, L., Marin, M., Radu, V., Murariu, G., Drasovean, R., Cretu, R., Georgescu, L., & Timiș-Gânsac, V. (2022). Which are the best site and stand conditions for silver fir (*Abies alba* Mill.) located in the Carpathian Mountains? *Diversity*. 14 (7), 547.
2. Baral, H., Jaung, W., Bhatta, L. D., Phuntsho, S., Sharma, S., Paudyal, K., Zarandian, A. M., Sears, R., Sharma, R., Dorji, T., & Artati, Y. (2017). Approaches and tools for assessing mountain forest ecosystem services. Center for International Forestry Research. 235p.
3. Tiwari, O. P., Sharma, C. M., & Rana, Y. S. (2020). Influence of altitude and slope-aspect on diversity, regeneration and structure of some moist temperate forests of Garhwal Himalaya. *Tropical Ecology*. 61 (1), 278-289.
4. Bhavani, M., Reddy, K. V., Mahesh, K., & Saravanan, S. (2023). Impact of variation of solar irradiance and temperature on the inverter output for grid connected photo voltaic (PV) system at different climate conditions. *Materials Today: Proceedings*. 80 (3), 2101-2108.
5. Cantlon, J. E. (1953). Vegetation and microclimates on the north and south slopes of Cushtunk Mountain, New Jersey. *Ecological Monographs*. 23 (3), 241-270.
6. Fazlollahi Mohammadi, M., Jalali, S., Kooch, Y., & Said-Pullicino, D. (2016). Slope gradient and shape effects on soil profiles in the northern mountainous forests of Iran. *Eurasian Soil Science*. 49, 1366-1374.
7. Kirkpatrick, J., Fensham, R., Nunez, M., & Bowman, D. (1988). Vegetation-radiation relationships in the wet-dry tropics: granite hills in northern Australia. *Vegetatio*. 76, 103-112.
8. Vetaas, O. R. (1992). Gradients in field-layer vegetation on an arid misty mountain plateau in the Sudan. *Journal of Vegetation Science*. 3 (4), 527-534.
9. Paudel, S., & Sah, J. P. (2003). Physiochemical characteristics of soil in tropical sal (*Shorea robusta* Gaertn.) forests in eastern Nepal. *Himalayan Journal of Sciences*. 1 (2), 107-110.
10. Ghimire, B., Mainali, K. P., Lekhak, H. D., Chaudhary, R. P., & Ghimeray, A. K. (2010). Regeneration of *Pinus wallichiana* AB Jackson in a trans-Himalayan dry valley of north-central Nepal. *Himalayan Journal of Sciences*. 6 (8), 19-26.
11. Pook, E. (1966). The influence of aspect on the composition and structure of dry sclerophyll forest on Black Mountain, Canberra. ACT. *Australian Journal of Botany*. 14 (2), 223-242.
12. English, N., Weltzin, J., Fravolini, A., Thomas, L., & Williams, D. (2005). The influence of soil texture and vegetation on soil moisture under rainout shelters in a semi-desert grassland. *Journal of Arid Environments*. 63 (1), 324-343.
13. Göl, C. (2022). Influences of slope aspects on soil properties of Anatolian black pine forests in the semiarid region of Turkey. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*. 8 (1), 17-24.

14. Rezaei, H., Jafarzadeh, A. A., Alijanpour, A., Shahbazi, F., & Kamran, K. V. (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.
15. Koosha, N., Mohammadi Samani, K., & Hosseini, V. (2022). Carbon stock and some chemical properties of soil in sacred Groves and Pollarded Forest stands of Northern Zagros forests. *Water and Soil*. 36 (5), 579-591.
16. Sharma, C., Baduni, N., Gairola, S., Ghildiyal, S., & Suyal, S. (2010). Effects of slope aspects on forest compositions, community structures, and soil properties in natural temperate forests of Garhwal Himalaya. *Journal of Forestry Research*. 21 (3), 331-337.
17. Méndez-Toribio, M., Meave, J. A., Zermeño-Hernández, I., & Ibarra-Manríquez, G. (2016). Effects of slope aspect and topographic position on environmental variables, disturbance regime, and tree community attributes in a seasonal tropical dry forest. *Journal of Vegetation Science*. 27 (6), 1094-1103.
18. Haidari, M., Namiranian, M., Gahramani, L., Zobeiri, M., & Shabanian, N. (2013). Study of vertical and horizontal forest structure in Northern Zagros Forest (Case study: West of Iran, Oak forest). *European Journal of Experimental Biology Open Access*. 3 (1), 268-278.
19. Valipour, A., Namiranian, M., Ghazanfari, H., Heshmatol Vaezin, S. M., Lexer, M. J., & Plieninger, T. (2013). Relationships between forest structure and tree's dimensions with physiographical factors in Armardeh forests (Northern Zagros). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*. 21 (1), 30-47.
20. Maleki, S., Pilehvar, B., & Mahmoodi, M. A. (2023). Response of soil microbial respiration to environmental factors of temperature and moisture in five forest types of Zagros (case study: Armardeh Baneh forests). *Forest Research and Development*. 9 (2), 275-289.
21. Maleki, S., Pilehvar, B., & Mahmoodi, M. A. (2023b). Assessing the vegetation diversity of different oak types in relation to soil characteristics in the forests of north Zagros (Case study: Armardeh Baneh). *Journal of Natural Environment*. 76 (3), 413-428.
22. Gee, G. W., & Or, D. (2002). 2.4 Particle-size analysis. *Methods of Soil Analysis: Part 4. Physical Methods*. 5, 255-293.
23. Hesse, P. R., & Hesse, P. (1971). A textbook of soil chemical analysis. *Experimental Agriculture*. 8, 2. 184p.
24. Kalra, Y. P. (1991). Methods manual for forest soil and plant analysis. *Forestry Canada, Northwest Region, Northern Forestry Centre/Edmonton*.
25. Jha, P., Biswas, A. K., Lakaria, B. L., Saha, R., Singh, M., & Rao, A. S. (2014). Predicting total organic carbon content of soils from Walkley and Black analysis. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 45 (6), 713-725.
26. Olsen, S. R. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate (No. 939). US Department of Agriculture. 4, 3.
27. Bradstreet, R. B. (1954). Kjeldahl method for organic nitrogen. *Analytical Chemistry*. 26 (1), 185-187.
28. Isaac, R. A., & Kerber, J. D. (1971). Atomic absorption and flame photometry: Techniques and uses in soil, plant, and water analysis. *Instrumental Methods for Analysis of Soils and Plant Tissue*. pp. 219-247.
29. Khanhasani, M., Sagheb-Talebi, K., Noori, F., & Khodakarami, Y. (2015). Effect of soil and physiographic factors on habitat differentiation of three Oak species: (*Q. Infectoria*, *Q. Libani*, and *Q. Brantii*). *International Journal of Scientific Research in Environmental Sciences*. 3 (2), 62.



30. Jazirei, M., & Ebrahimi Rostaghi, M. (2003). *Silviculture in Zagros forest*. Published by Tehran University. 560p.
31. Sheikholaslami, A., Yazdian, F., & Kialashki, M. (2008). Study on cover of tree and shrub species, Kojur region (Noshahr). *Journal of Pejouhesh and Sazanddeghi*. 21 (2), 175-184.
32. Kabrick, J. M., Shifley, S. R., Jensen, R. G., Larsen, D. R., & Grabner, J. K. (2004). *Oak forest composition, site quality, and dynamics in relation to site factors in the southeastern Missouri Ozarks*. Paper presented at the Upland oak ecology symposium: history, current conditions, and sustainability. Edited by MA Spetich. USDA Forest Service, Southern Research Station, Asheville, North Carolina, Gen. Tech. Rep. SRS-73.
33. Marañón, T., Pugnaire, F. I., & Callaway, R. M. (2009). Mediterranean-climate oak savannas: the interplay between abiotic environment and species interactions. *Web Ecology*. 9 (1), 30-43.
34. Mark, A. F., Dickinson, K. J., & Hofstede, R. G. (2000). Alpine vegetation, plant distribution, life forms, and environments in a per humid New Zealand region: oceanic and tropical high mountain affinities. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*. 32 (3), 240-254.
35. Sariyildiz, T., Anderson, J., & Kucuk, M. (2005). Effects of tree species and topography on soil chemistry, litter quality, and decomposition in Northeast Turkey. *Soil Biology and Biochemistry*. 37 (9), 1695-170.
36. Måren, I. E., Karki, S., Prajapati, C., Yadav, R. K., & Shrestha, B. B. (2015). Facing north or south: Does slope aspect impact forest stand characteristics and soil properties in a semiarid trans-Himalayan valley? *Journal of Arid Environments*. 121, 112-123.
37. Burke, A. (2002). Properties of soil pockets on arid Nama Karoo inselbergs—the effect of geology and derived landforms. *Journal of Arid Environments*. 50 (2), 219-234.
38. Mohammadi, G., Kakaien, A. M., Eghbal Ghobadi, M., & Najaphy, A. (2015). Effects of rye and common vetch cover crops as pure and mixed on soil physicochemical characteristics. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 25 (2), 47-63.
39. Jahni, A., Zare Chahouki, M. A., Goshtasb Meygoni, H., & Etemad, V. (2020). Modeling of Vegetation Loss in Protected Areas by Management Plan (Case Study: Sorkheh Hesar National Park). *Journal of Plant Ecosystem Conservation*. 8 (16), 229-248.
40. Badano, E. I., Cavieres, L. A., Molina-Montenegro, M. A., & Quiroz, C. (2005). Slope aspect influences plant association patterns in the Mediterranean matorral of central Chile. *Journal of Arid Environments*. 62 (1), 93-108.
41. Carnevale, N., & Torres, P. (1990). The relevance of physical factors on species distributions in inland salt marshes (Argentina). *Coenoses*. pp. 113-120.
42. Mohammad, A. (2008). The effect of slope aspect on soil and vegetation characteristics in southern West Bank. *Bethlehem University Journal*. pp. 9-25.
43. Zhu, H., Li, H., Liang, C., Chang, X., Wei, X., & Zhao, X. (2022). Spatial variation in soil physico-chemical properties along slope position in a small agricultural watershed scale. *Agronomy*. 12 (10), 2457.
44. Zaady, E., Yonatan, R., Shachak, M., & Perevolotsky, A. (2001). The effects of grazing on abiotic and biotic parameters in a semiarid ecosystem: A case study from the Northern Negev Desert, Israel. *Arid Land Research and Management*. 15 (3), 245-261.
45. Abd El-Ghani, M. M., & Amer, W. M. (2003). Soil-vegetation relationships in a coastal desert plain of southern Sinai, Egypt. *Journal of Arid Environments*. 55 (4), 607-628.
46. Gilliam, F. S., Hédli, R., Chudomelová, M., McCulley, R. L., & Nelson, J. A. (2014). Variation in vegetation and

- microbial linkages with slope aspect in a montane temperate hardwood forest. *Ecosphere*. 5 (5), 1-17.
47. Pepin, N. C., Pike, G., Schaefer, M., Boston, C. M., & Lovell, H. (2017). A comparison of simultaneous temperature and humidity observations from the SW and NE slopes of Kilimanjaro: The role of slope aspect and differential land-cover in controlling mountain climate. *Global and Planetary Change*, 157, 244-258.
48. Titshall, L., O'Connor, T., & Morris, C. (2000). Effect of long-term exclusion of fire and herbivory on the soils and vegetation of sour grassland. *African Journal of Range and Forage Science*. 17 (1-3), 70-80.
49. Heikkinen, R. K., Luoto, M., Araújo, M. B., Virkkala, R., Thuiller, W., & Sykes, M. T. (2006). Methods and uncertainties in bioclimatic envelope modeling under climate change. *Progress in Physical Geography*. 30 (6), 751-777.