

## Variability of main and secondary humus forms in relation to morphometric indices at local-scale surveys

Amir Reza Nikpour<sup>1</sup>, Hashem Habashi<sup>\*2</sup>

1. M.Sc. Graduate in Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: [amirreza.nikpour@yahoo.com](mailto:amirreza.nikpour@yahoo.com)
2. Corresponding Author, Associate Prof., Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: [habashi@gau.ac.ir](mailto:habashi@gau.ac.ir)

### Article Info

#### Article type:

Full Length Research Paper

#### Article history:

Received: 02.13.2023

Revised: 06.12.2023

Accepted: 06.19.2023

#### Keywords:

Altitude above sea level,  
Humus form,  
Morphometric index,  
Topography attribute,  
Wetness index

### ABSTRACT

**Background and Objectives:** The formation of soil humus is influenced by a combination of biological and non-biological factors. Biological elements consist of vegetation type and soil organisms, whereas non-biological components encompass climate, topography, and bedrock. Consequently, the characterization of soil humus form plays a vital role as an indicator within forest ecosystems. While previous studies have established a clear relationship between changes in humus form and variations in elevation, the connection between humus form and topographical morphology remains uncertain. Therefore, this study seeks to elucidate the relation between local-scale changes in humus forms and topographic morphometric indices.

**Materials and Methods:** A total of 510 humus profiles were analyzed to derive variables, classifying the main and secondary humus forms according to the European classification method for terrestrial humus forms. This classification method is specifically tailored for temperate mountain forests. The data collection was conducted across an altitude gradient ranging from 200 to 1000 meters within a 1700-hectare area in district one of ShastKalate forest. Primary and secondary topographic attributes were extracted from a Digital Terrain Model (DTM) with a spatial resolution of 10 meters. Discriminant and regression analysis were utilized to establish the relationships between the variables.

**Results:** The findings revealed that dividing the region into two altitude ranges had a significant impact on the accuracy of humus form classification. In the low altitude range (below 599 meters), the overall accuracy coefficient for the main humus form increased by 55%, while for the secondary humus form, it increased by 83%. In the middle altitude range (above 600 meters), the overall accuracy coefficient saw a 14% increase for the main humus form and a 58% increase for the secondary humus form. Moreover, the Kappa coefficient experienced a significant rise of 112% and 49% for the main humus form in the low and middle-altitude regions, respectively. In terms of humus form distribution, the MULL form was found to be more prevalent in the low altitude zone, whereas the MODER and AMPHI forms were more abundant in the middle zone. In terms of secondary humus forms, the Eumoll form was found to be most abundant in the low-altitude zone, while the Eumoder form dominated the middle zone. Additionally, the frequencies of Eumacroamphi, Eumesoamphi, and Leptoamphi forms were higher in the

---

middle zone compared to the low altitude zone. Contrary to previous research findings, this study observed a negative relationship between altitude and changes in primary and secondary humus forms in the middle altitude range, whereas a positive relationship was observed in the low range. Similarly, the slope had the opposite effect on humus form changes. Notably, profile curvature and plane curvature showed a positive relationship with primary and secondary humus forms in both the low and middle altitude ranges. This indicates that an increase in concavity along the slope direction and convexity perpendicular to the slope promotes the development of distinct humus differential horizons and contributes to the formation of a substantial biological soil structure within the semi-organic Ah horizon. This, in turn, accounts for the presence of Eumull and Leptoamphi forms. Additionally, the topographic wetness index exhibited a positive correlation with changes in both main and secondary humus forms in both the low and middle altitude zones. This suggests that as soil moisture levels rise, facilitated by higher organic matter content in the surface horizons, there is a tendency for the main humus form to transition towards MODER.

**Conclusion:** The analysis of morphometric indicators and their relationship with changes in primary and secondary humus forms revealed contrasting trends for altitude above sea level and slope in the low and middle altitude zones. These factors demonstrated opposing effects on humus form variations. This underscores the importance of conducting meticulous local-scale surveys to ensure more accurate and reliable results. Furthermore, among the secondary attributes, the topographic wetness index emerged as a significant variable influencing changes in humus forms. The convexity and concavity of slope positions exert substantial influences on both main and secondary humus forms, affecting water input and output, humidity levels, and drainage within the semi-organic Ah horizon.

---

Cite this article: Nikpour, Amir Reza, Habashi, Hashem. 2023. Variability of main and secondary humus forms in relation to morphometric indices at local-scale surveys. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 30 (2), 39-54.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/JWFST.2023.21014.2006

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

---

## تغییرپذیری فرم‌های اصلی و ثانویه هوموس در مقیاس محلی در رابطه با شاخص‌های مورفومتری

امیررضا نیک‌پور<sup>۱</sup>، هاشم حبشی<sup>۲\*</sup>

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: [amirreza.nikpour@yahoo.com](mailto:amirreza.nikpour@yahoo.com)
۲. نویسنده مسئول، دانشیار دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: [habashi@gau.ac.ir](mailto:habashi@gau.ac.ir)

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: فرم هوموس خاک تحت تأثیر عوامل زیستی مانند نوع پوشش گیاهی و موجودات خاک بر روی عوامل غیر زیستی مانند اقلیم، توپوگرافی و سنگ‌بستر تکامل می‌یابد؛ بنابراین شاخص مهمی در جنگل است. پژوهش‌ها نشان داده که تغییرات ارتفاع از سطح دریا تأثیر معنی‌داری بر تغییرات فرم هوموس دارد ولی رابطه آن با تغییرات متغیرهای مرتبط با ریخت‌شناسی توپوگرافی مبهم است. این پژوهش با هدف تعیین رابطه شاخص‌های مورفومتری توپوگرافی با تغییرات فرم‌های هوموس در مقیاس محلی انجام شد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۴ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۳/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۲۹	مواد و روش‌ها: در شیب یک گرادیان ارتفاعی ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ متری با استفاده از ۵۱۰ پروفیل هوموس، فرم‌های اصلی و ثانویه هوموس با استفاده از طبقه‌بندی فرم‌های هوموس خشکی‌زی تروفوم (مناسب برای جنگل‌های کوهستانی معتدله) به روش طبقه‌بندی اروپایی در مساحت ۱۷۰۰ هکتار از سری اول جنگل شصت‌کلاته تعیین شد. مشخصه‌های اولیه و ثانویه توپوگرافی از مدل رقومی زمین با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر به دست آمد. از آنالیز تشخیص و رگرسیون برای تعیین روابط استفاده شد.
واژه‌های کلیدی: ارتفاع از سطح دریا، شاخص رطوبت، شاخص مورفومتری، فرم هوموس، مشخصه توپوگرافی	یافته‌ها: نتایج نشان داد طبقه‌بندی منطقه به دو حد ارتفاعی پایین‌بند کم‌تر از ۵۹۹ متر و میان‌بند بالاتر از ۶۰۰ متر باعث افزایش ضریب صحت کلی برای فرم هوموس اصلی به ترتیب ۵۵ و ۱۴ درصد و برای فرم هوموس ثانویه ۸۳ و ۵۸ درصد خواهد شد. ضریب کاپا نیز برای فرم هوموس اصلی دو منطقه پایین‌بند و میان‌بند به ترتیب ۱۱۲ و ۴۹ درصد افزایش یافت. در پایین‌بند فراوانی فرم هوموس اصلی مول بیش‌تر بود حال آن‌که دو فرم هوموس اصلی مودر و

آمفی در میان‌بند فراوانی بیش‌تری داشتند. تغییرات فرم‌های هوموس ثانویه نشان داد که در پایین‌بند فراوانی یومول بیش‌ترین است، حال‌آن‌که یومودر در میان‌بند بیش‌ترین فراوانی را داشت. درمجموع فراوانی فرم‌های هوموس یوماکروآمفی، یومزوآمفی و لپتوآمفی در میان‌بند بیش‌تر از پایین‌بند بود. برخلاف یافته‌های پژوهشی قبلی مشخص شد ارتفاع از سطح دریا ارتباط منفی با تغییرات فرم هوموس اصلی و ثانویه در میان‌بند دارد حال‌آن‌که ارتباط مثبتی در پایین‌بند داشت و البته ارتباط شیب برعکس آن بر تغییرات فرم‌های هوموس اثر می‌گذارد. رابطه انحنا‌ی نیم‌رخ‌ی و انحنا‌ی مسطح با فرم هوموس اصلی و ثانویه در پایین‌بند و میان‌بند مثبت بود؛ به دیگر سخن با افزایش تقعر دامنه در جهت شیب و تحذب دامنه عمود بر شیب تمامی افق‌های دیفرانسیل هوموس حضور خواهند داشت و باعث تشکیل ساختمان خاکدانه بزرگ زیستی در افق نیمه آلی Ah خواهد شد که حضور یومول و لپتوآمفی را توضیح می‌دهد. شاخص رطوبت توپوگرافی نیز در پایین‌بند و میان‌بند رابطه مثبتی با تغییرات فرم‌های هوموس اصلی و ثانویه داشت که نشان می‌دهد با افزایش رطوبت خاک که ناشی از محتوای ماده آلی بیش‌تری در افق‌های سطحی خاک است، فرم هوموس اصلی به‌طرف مودر تمایل خواهد یافت.

**نتیجه‌گیری:** ارتباط تغییرات فرم‌های هوموس اصلی و ثانویه با شاخص‌های مورفومتری نشان داد که روند تغییرات ارتفاع از سطح دریا و شیب با تغییرات فرم‌های هوموس در پایین‌بند و میان‌بند به‌صورت یکسان نیست و عکس همدیگر است که تأکید می‌نماید در بررسی‌هایی با مقیاس محلی توجه به جزئیات نتایج را دقیق‌تر خواهد نمود. از بین مشخصه‌های ثانویه شاخص رطوبت توپوگرافی به‌عنوان متغیری اثرگذار بر تغییرات فرم‌های هوموس معرفی شد. وضعیت تحذب و تقعر دامنه می‌تواند با تغییر بر دخل و خرج آب، رطوبت و زهکشی افق نیمه آلی Ah تغییرات معنی‌داری بر فرم‌های هوموس اصلی و ثانویه داشته باشد.

استناد: نیک‌پور، امیررضا، حبشی، هاشم (۱۴۰۲). تغییرپذیری فرم‌های اصلی و ثانویه هوموس در مقیاس محلی در رابطه با شاخص‌های مورفومتری. نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، ۳۰ (۲)، ۵۴-۳۹.

DOI: 10.22069/JWFST.2023.21014.2006



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان






### مقدمه

در بوم‌سازگان‌های جنگلی، فرم‌های هوموس از توالی لایه‌های افق آلی که حاوی بیش از ۳۰ درصد ماده آلی باشند اما در ضخامت و ترکیب متفاوت هستند، شکل می‌گیرد. از تفاضل تولید خالص اولیه<sup>۱</sup> (NPP) و تجزیه<sup>۲</sup>؛ پوشش کف جنگل<sup>۳</sup> یا لایه بستر شکل می‌گیرد؛ بنابراین پژوهش در خصوص لایه بستر جنگل می‌تواند منجر به فهم دو فرآیند مهم فوق در اکوسیستم‌ها شود. اولین پژوهش توسط واعظ موسوی و حبشی (۲۰۱۴) برای تفکیک لایه بستر جنگل مبتنی بر آخرین طبقه‌بندی هوموس اتحادیه اروپا (زانالا و همکاران، ۲۰۱۸) انجام شد (۱ و ۲) و سپس در پژوهش‌های متعددی از این طبقه‌بندی استفاده شد (۳، ۴ و ۵). استفاده از واژه فرم‌های هوموس<sup>۴</sup> نیز بیانگر طبقه‌ها و کلاسه‌های فوق است که در دو سطح

هوموس اصلی<sup>۵</sup> (MHF) و هوموس ثانویه<sup>۶</sup> (SHF) معرفی می‌گردد. با توجه به این‌که دو فرآیند تولید خالص اولیه و تجزیه دارای پویایی زمانی و مکانی است؛ بنابراین عملاً لایه بستر جنگل در طول زمان و موقعیت‌های مختلف اکوسیستم تغییر و تحولاتی را طی می‌کند. مشخص شده است که عوامل غیرزنده مانند اقلیم، ارتفاع از سطح دریا و سنگ بستر و عوامل زنده مانند پوشش گیاهی و موجودات خاک بر پویایی مکانی فرم‌های هوموس مؤثر هستند (۶ و ۷). در بین عوامل محیطی نیز، مشخصه‌های اولیه توپوگرافی<sup>۷</sup> شامل ارتفاع از سطح دریا، جهت و شیب در شکل‌گیری فرم‌های هوموس تأثیر به‌سزایی دارد (۸، ۹، ۱۰ و ۱۱). پویایی مکانی فرم‌های هوموس بسته به مقیاس مطالعه متفاوت است (جدول ۱).

جدول ۱- مقیاس‌هایی که در آن فرآیندهای بیوفیزیکی مختلف بر رژیم‌های اولیه محیطی غالب هستند.

**Table 1. Scales at which different biophysical processes are dominate on primary environmental regimes.**

شرح تغییرات خاک Description of soil changes	مقیاس Scale
ریزاندامگان‌های خاک بازچرخش مواد مغذی را کنترل می‌کنند Soil microorganisms control the nutrients recycling	 نانو Nano
تاج پوشش گیاهی نور، گرما و آب را برای طبقه زیرین کنترل می‌کند. گیاهان؛ ساختار پوشش گیاهی و فیزیولوژی گیاهی، وضعیت استفاده از مواد مغذی کنترل می‌کنند The vegetation canopy controls light, temperature, and water for the understory. Plants, vegetation structure, and plant physiology control nutrient utilization status	 میکرو Micro
مورفولوژی سطح هیدرولوژی حوزه آبخیز را کنترل می‌کند، شیب، جهت، ارتفاع از سطح دریا و مشخصه‌های توپوگرافی شرایط خاک سطحی را کنترل می‌کنند Surface morphology controls watershed hydrology, slope, direction, altitude above sea level, and topographic features control surface soil conditions	 توپو Topo
سیستم‌های آب و هوایی غالب شرایط متوسط طولانی‌مدت را کنترل می‌کنند، نرخ‌های گذر زمان مبتنی بر ارتفاع تغییرات اقلیمی ماهانه را کنترل می‌کنند و سوبسترای زمین‌شناسی شیمی خاک را کنترل می‌کند Dominant climate systems control long-term average conditions, height-based lapse control rates of monthly climate change, and geological substrate control soil chemistry	 مزو Meso
پوشش ابر و سطوح اولیه CO <sub>2</sub> را کنترل می‌کنند، ورودی‌های انرژی الگوهای اقلیمی و آب‌وهوا را کنترل می‌کنند Cloud cover and initial CO <sub>2</sub> levels control, energy inputs control climate and weather patterns	 جهانی Global

- 1- Net primary production
- 2- Decomposition process
- 3- Forest floor
- 4- Humus forms
- 5- Main humus forms
- 6- Secondary humus forms
- 7- Primary topographic attributes

کنترل‌کننده نوع فرم هوموس خشکی‌زی معرفی کردند (۱۸). در پژوهش دیگری ویلاس و گارسیا (۲۰۱۷)، در بررسی تغییرات فرم‌های هوموس خاک توده‌های کاج جنگلی اسپانیا مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر روی فرم‌های هوموس را ارتفاع از سطح دریا بیان کردند (۱۹). بیرانوند و همکاران (۲۰۲۱) دریافتند که تغییرات ارتفاع از سطح دریا عامل مهمی است که هم‌زمان بر تغییرات فرم‌های هوموس و ویژگی‌های خاک با مکانیسم‌های متفاوتی تأثیر می‌گذارد (۲۰). در پژوهش صادقی و همکاران (۲۰۲۰) به ترتیب اهمیت ضخامت افق H، ارتفاع از سطح دریا و ضخامت افق Ah را متغیرهای تأثیرگذار بر تغییرات هوموس اصلی معرفی کردند درحالی‌که جهت دامنه، ارتفاع از سطح دریا و رویه زمینی گونه انجیلی متغیرهای تأثیرگذار بر تغییرات هوموس ثانویه بودند (۵). از آن‌جا که در بیش‌تر پژوهش‌های داخلی و خارجی توپوگرافی به‌عنوان عامل مهمی اثرگذار بر تغییرات اشکال هوموس معرفی شده است، هدف از این پژوهش بررسی تغییرپذیری فرم‌های اصلی و ثانویه هوموس در سری یک جنگل آموزشی دکتر بهرام‌نیا (شصت‌کلاته گرگان) در رابطه با شاخص‌های مورفومتری شامل مشخصه‌های اولیه و ثانویه توپوگرافی است با این فرض که در مقیاس محلی سهم متغیرهای اولیه و ثانویه توپوگرافی در بیان واریانس تغییرات فرم‌های هوموس متفاوت است.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش در سری یک جنگل آموزشی و پژوهشی شصت‌کلاته گرگان با مساحت ۱۷۱۳ هکتار شامل ۳۳ پارسل انجام گردید. میانگین بارندگی سالانه منطقه مورد مطالعه ۶۴۹ میلی‌متر (حداقل و حداکثر بارندگی بین ۵۲۸/۴ الی ۸۱۷ میلی‌متر در

جدول فوق نشان می‌دهد در هنگامی بررسی مشخصه‌های خاک سطحی و فرم‌های هوموس باید به عوامل توپوگرافی توجه ویژه نمود (۱۲). در مقیاس محلی یا موضعی مهم‌ترین عامل مؤثر بر تغییرات فرم‌های هوموس شرایط توپوگرافی یا میکرو توپوگرافی و نوع پوشش رستنی‌ها معرفی شده است (۱۳) و در مقیاس‌های بزرگ‌تر مانند مقیاس چشم‌انداز<sup>۱</sup> عواملی چون اقلیم، سنگ‌بستر، زاویه شیب و طول شیب عوامل مؤثر معرفی شده‌اند (۱۴). از آن‌جا که اغلب پژوهش‌ها در کشور ایران در مقیاس محلی انجام می‌شود، در این پژوهش تأثیر مشخصه‌های اولیه و ثانویه<sup>۲</sup> توپوگرافی بر تغییرات فرم‌های هوموس مورد مطالعه قرار گرفته است. ضمن آن‌که در پژوهش پیشین در سال ۲۰۱۹ در مجموع ۶ متغیر مرتبط با مشخصه‌های توپوگرافی به‌عنوان متغیرهای مهم تأثیرگذار در رده‌بندی فرم‌های هوموس ثانویه در این جنگل معرفی شده‌اند (۱۵). پیش‌تر تأثیر مشخصه‌های توپوگرافی بر تغییرات مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بیان و اثبات شده است (۱۶ و ۱۷) ولی ارتباط آن با تغییر پروفیل هوموس نامشخص است. لایباز و همکاران (۲۰۱۴) مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر تغییرات فرم‌های هوموس جنگل‌های معتدله جنوب غربی لهستان را ارتفاع از سطح دریا، سنگ‌بستر، نوع خاک و ترکیب گونه درختی معرفی کردند که در این میان سنگ‌بستر، در مقایسه با سایر عوامل محیطی حداقل تأثیر را بر تغییرات فرم‌های هوموس منطقه مورد مطالعه می‌گذارد (۷). بیرانوند و همکاران (۲۰۱۷) با مطالعه مورفولوژی فرم‌های هوموس تحت سنگ مادری و پوشش گیاهی مشابه واقع در جنگل معتدله خزان‌کننده هیرکانی افزایش ارتفاع از سطح دریا را یکی از عوامل مهم

1- Landscape scale

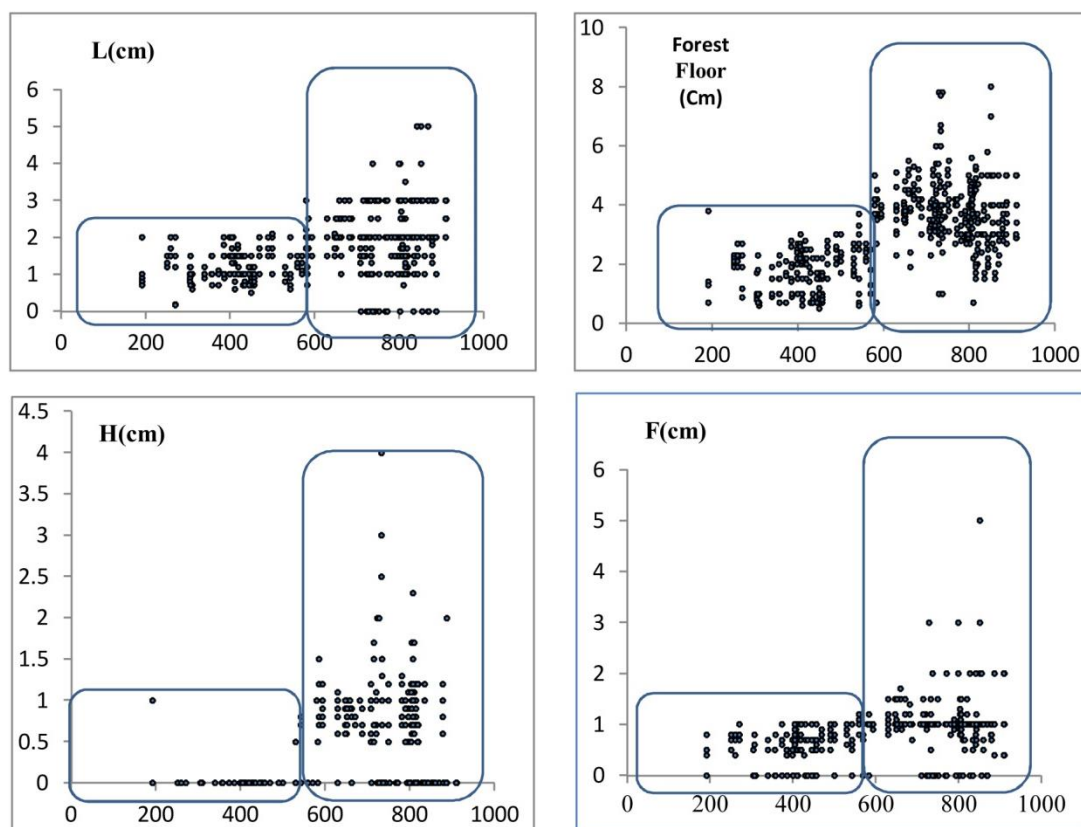
2- Secondary topographic attributes

DIGEM 2.0 به دست آمد. ویژگی‌های اولیه توپوگرافی به‌طور مستقیم از DTM<sup>1</sup> محاسبه و شامل ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت شیب، انحنای نیم‌رخ، انحنای مسطح و انحنای مماسی هستند. از سوی دیگر مشخصه‌های ثانویه یا ترکیبی توپوگرافی ترکیبی از ویژگی‌های اولیه هستند که معمولاً شاخص‌های برای توصیف تنوع مکانی بعضی فرایندهای خاص در زمین مانند شاخص رطوبت، شیب پایینی و شکل زمین می‌باشند. محاسبه ویژگی‌های اولیه و ثانویه توپوگرافی بر مبنای روش ویلسون و همکاران (۲۰۰۰) انجام شد (۲۳). در جداول ضمیمه معادلات و توضیحات مربوط به خصوصیات اولیه و ثانویه توپوگرافی ارائه شده است. تحلیل‌ها در نرم‌افزار MINITAB VER 18.1 انجام شد. تحلیل رگرسیون به روش گام‌به‌گام انجام شد و برای انتخاب بهترین مدل علاوه بر ضریب تبیین و حداقل مربعات خطا از آماره آکائیک Akaike's Information Criterion (AICc) استفاده گردید. آنالیز تشخیص Discriminant Analysis برای تعیین صحت و دقت کلی طبقه‌بندی انجام شد و از آماره‌های درصد حساسیت، آماره اف و ضریب کاپا استفاده شد که فرمول‌های آن در ضمیمه آورده شده است.

### نتایج

ارتباط ارتفاع از سطح دریا بر تغییرات فرم‌های هوموس نشان داد که تغییرات فرم‌های هوموس تا ارتفاع ۶۰۰ متر از سطح دریا که در این پژوهش پایین‌بند نامیده شد دارای یک الگو از ارتفاع ۶۰۰ متر تا ۱۰۰۰ متر که میان‌بند نامیده شده دارای الگوی متفاوتی است (شکل ۱). بر این اساس منطقه پژوهش به دو کلاسه ارتفاعی تقسیم شد.

سال) تغییر می‌کند و بر اساس کلیماتوگرام آمبرژه نوع اقلیم نیمه‌مرطوب می‌باشد. منطقه مورد مطالعه شامل گونه‌های مختلف جنگلی مانند راش (*Fagus orientalis*)، بلوط (*Quercus castaneifolia*)، ممرز (*Carpinus betulus*)، انجیلی (*Parrotia persica*)، خرمندی (*Diospirus lotus*)، افرا پلت (*Acer velutinum*)، توسکا (*Alnus subcordata*) بوده که بر روی سنگ‌بستر آهکی متعلق به (دوره اولیه مزوزوئیک) قرار دارند. به منظور شناسایی فرم‌های هوموس در طول یک گرادیان ارتفاعی (۲۰۰ تا ۱۰۰۰ متر از سطح دریا) تعداد ۵۱۰ قطعه نمونه ۴۰۰ مترمربعی به ابعاد ۲۰×۲۰ متر برای بررسی پوشش گیاهی مشخص شد. در هر قطعه نمونه ۵ میکرو پلات به ابعاد ۵۰×۵۰ سانتی‌متری و بدون محدودیت عمق (یک میکرو پلات در مرکز و ۴ میکرو پلات در گوشه هر قطعه نمونه) به روش نمونه‌برداری دومرحله‌ای از منطقه مورد مطالعه برداشت شد (صادقی و همکاران، ۲۰۲۰) و برای شناسایی فرم‌های اصلی و ثانویه هوموس در منطقه مورد مطالعه از روش طبقه‌بندی اروپایی (زانلا و همکاران، ۲۰۱۸) استفاده گردید (۲۱). نمونه‌برداری از لایه‌های هوموس در آذرماه ۲۰۱۶ انجام شد (۲۲). تشخیص لایه‌های آلی و افق نیمه آلی سطح خاک فرم‌های هوموس با عدسی با بزرگنمایی ۱۰-۵ برابر بر اساس مشخصه‌های مورفولوژیکی، ضخامت لایه‌های آلی (H, F, L) و افق نیمه آلی سطح خاک (Ah)، لایه انتقال، میزان تجزیه و هوموسی شدن و با استفاده از طبقه‌بندی فرم‌های هوموس خشکی‌زی تروفوم (مناسب برای جنگل‌های کوهستانی معتدله) صورت پذیرفت (۲۱). مشخصه‌های اولیه و ثانویه توپوگرافی از مدل رقومی زمین با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر توسط نرم‌افزار



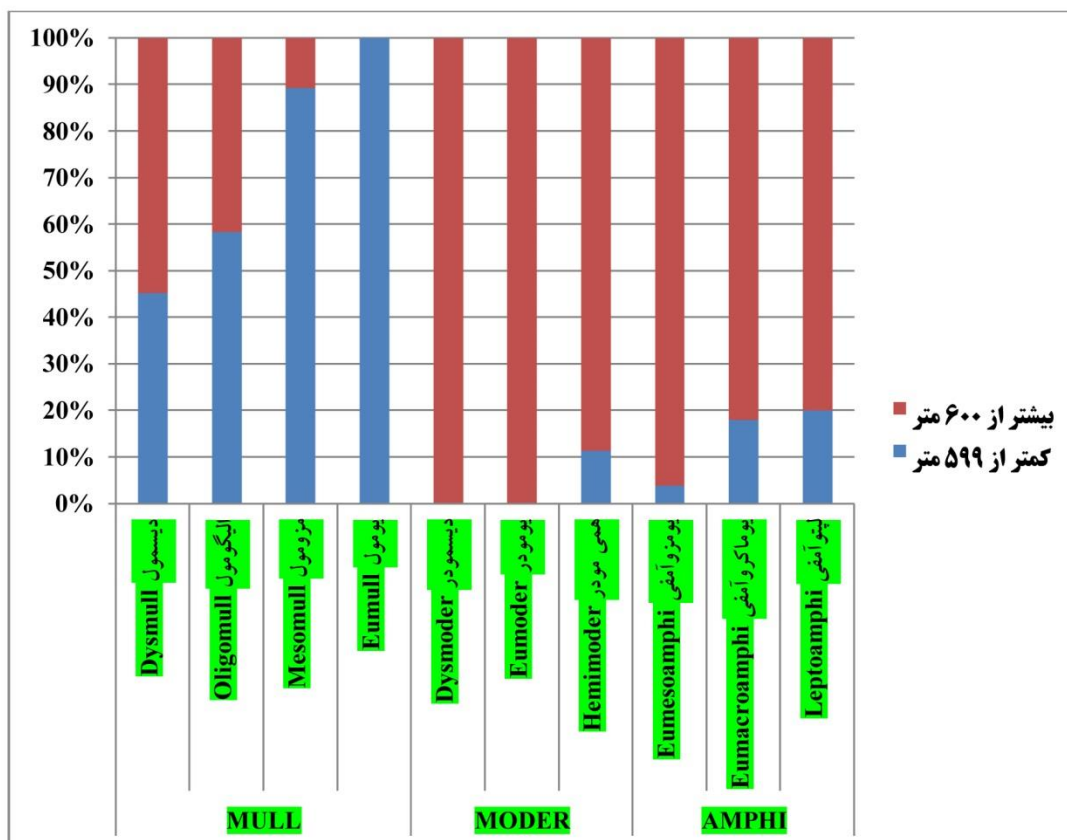
شکل ۱- ارتباط تغییرات ضخامت لایه‌های هوموس با شیب تغییرات ارتفاع از سطح دریا، محور X نشان‌دهنده ارتفاع از سطح دریا به متر و محور Y ضخامت افق‌های هوموس به سانتی‌متر می‌باشد.

**Figure 1. Relation changes Humus layers Thickness with the slope of changes altitude above sea level, The X-axis indicative altitude above sea level (m) and Y-axis Humus horizons Thickness (cm).**

فرم‌های هوموس ثانویه نشان داد که در پایین‌بند فراوانی یومول بیش‌ترین است، حال آن‌که یومودر در میان‌بند بیش‌ترین فراوانی را داشت. در مجموع فراوانی فرم‌های هوموس یوماکروآمفی، یومزوآمفی و لپتوآمفی در میان‌بند بیش‌تر از پایین‌بند بود (شکل ۲).

در ارتفاع پایین‌بند و میان‌بند فراوانی فرم اصلی و ثانویه هوموس متفاوت بود و در شکل ۲ نشان داده شده است. در پایین‌بند فراوانی هوموس اصلی مول بیش‌تر بود حال آن‌که دو فرم هوموس مودر و آمفی در میان‌بند فراوانی بیش‌تری داشت. تغییرات





شکل ۲- فراوانی فرم‌های هوموس اصلی و ثانویه در پایین‌بند و میان‌بند جنگل شصت کلاته.

Figure 2. Abundance main and secondary Humus Forms in the lower land and submountain forest of shast kalate.

طبقه‌بندی صحیح فرم هوموس اصلی و ثانویه بین ۳۱ تا ۷۸ درصد تغییر می‌کند و به شرح جدول ۲ است.

نتایج آنالیز تشخیص نشان داد در حالتی که اطلاعات تمامی پروفیل‌های هوموس با همدیگر وارد تحلیل شوند مقدار صحت، دقت و ضریب کاپا برای

جدول ۲- مقادیر صحت و دقت کلی، ضریب کاپا برای طبقه‌بندی فرم‌های هوموس اصلی و ثانویه در منطقه پژوهش.

Table 2. Total values precision and Accuracy, Kappa coefficient for main and secondary Humus Forms classification in the research region.

ضریب کاپا Kappa coefficient	آماره F F statistics	درصد حساسیت Sensitivity percentage	درصد دقت کلی Total precision percentage	درصد صحت کلی Total accuracy percentage	فرم هوموس Humus form
33	74	78	69	58	اصلی Main
53	39	50	31	24	ثانویه Secondary

به ترتیب ۳۳ و ۱۶ درصد افزایش یافته است و درصد دقت برای فرم هوموس ثانویه در هر دو منطقه پایین‌بند و میان‌بند ۸۰/۶ درصد افزایش یافت. در نهایت ضریب کاپا برای فرم هوموس اصلی دو منطقه پایین‌بند و میان‌بند به ترتیب ۱۱۲ و ۴۹ درصد افزایش یافته است و برای فرم هوموس ثانویه ضریب کاپا به ترتیب ۶۸ و ۱۱ درصد افزایش یافت.

با تقسیم‌بندی منطقه به دو حد ارتفاعی پایین‌بند و میان‌بند نتایج صحت، دقت و ضریب کاپا بین ۳۸ تا ۹۷ درصد تغییر یافت که نشان می‌دهد ضریب صحت کلی برای فرم هوموس اصلی دو منطقه پایین‌بند و میان‌بند به ترتیب ۵۵ و ۱۴ درصد افزایش یافته است و برای فرم هوموس ثانویه صحت کلی به ترتیب ۸۳ و ۵۸ درصد افزایش یافت (جدول ۳). درصد دقت برای فرم هوموس اصلی دو منطقه پایین‌بند و میان‌بند

جدول ۳- مقادیر صحت و دقت کلی، ضریب کاپا برای طبقه‌بندی فرم‌های هوموس اصلی و ثانویه در پایین‌بند و میان‌بند جنگل شصت‌کلاته.

**Table 3. Total values precision and Accuracy, Kappa coefficient for main and secondary Humus Forms classification in the lower land and submountain forest of shast kalate.**

ضریب کاپا Kappa coefficient	آماره F F statistics	درصد حساسیت Sensitivity percentage	درصد دقت کلی Total precision percentage	درصد صحت کلی Total accuracy percentage	فرم هوموس Humus form	منطقه Region
70	95	97	92	90	اصلی Main	پایین‌بند Lower land
89	61	67	56	44	ثانویه Secondary	
49	80	80	80	66	اصلی Main	میان‌بند Submountain
59	55	54	56	38	ثانویه Secondary	

درصد بهبود یافت و در میان‌بند ضریب تبیین مدل ۲۰ درصد افزایش یافت. در خصوص تخمین فرم هوموس ثانویه نتایج مدل‌سازی در جدول ۴ ارائه شده است. تقسیم‌بندی منطقه به دو ناحیه پایین‌بند و میان‌بند در خصوص فرم ثانویه هوموس نتایج متفاوتی داشت به طوری که در کل منطقه ضریب تبیین مدل حداکثر مدل ۲۵/۴ درصد بود که در پایین‌بند ۷۲ درصد افزایش و در میان‌بند رشد ضریب تبیین ۴۷ درصد بود (جدول ۴).

نتایج بررسی رابطه مشخصه‌های اولیه و ثانویه توپوگرافی با فرم هوموس اصلی نشان داد که طبقه‌بندی کل منطقه به دو حد ارتفاعی پایین‌بند و میان‌بند باعث خواهد شد مدل‌ها با ضریب تبیین بالاتری حاصل شود به طوری که در تخمین فرم هوموس اصلی در کل منطقه پژوهش حداکثر ضریب تبیین مدل ۲۹/۴ درصد به دست آمد حال آنکه با تقسیم‌بندی به دو ناحیه ریشی برای تخمین فرم هوموس اصلی در پایین‌بند ضریب تبیین مدل ۵۲

جدول ۴- نتایج پیش‌بینی فرم هوموس اصلی و ثانویه با استفاده از مشخصه‌های اولیه و ثانویه توپوگرافی و تپ جنگل به‌عنوان متغیر کمکی (مثبت و منفی نشان‌دهنده ضریب زاویه رابطه متغیرها با همدیگر است).  
**Table 4. Prediction results of main and secondary humus form by using primary and secondary Topographic attributes and forest type as a covariate variable (Positive and negative indicative of the angle coefficient of the relation between the variables).**

متغیر مستقل (اسمی) Independent variable (nominal)	متغیر مستقل (رتبائی) Independent variable (ratings)	متغیر مستقل (کمی پیوسته) Independent variable (semi continuous)										ضریب تبیین اصلاح‌شده Corrected explanation coefficient	مشخصه‌های توپوگرافی ورودی در مدل Topographic attributes input in the model	گروه‌بندی Grouping		
		متغیر ثانویه توپوگرافی Topographic secondary derivative					متغیر اصلی توپوگرافی Topographic main derivative									
Auxiliary variable	متغیر ثانویه توپوگرافی Topographic secondary derivative	شاخص رطوبت wetness index	شیب پائینی Down Slope	شکل زمین Landform	شیب پائینی Down Slope	انحنای سطحی Surface curvature	انحنای مماسی Tangential curvature	انحنای مسطح Plan curvature	انحنای نیمرخی Profile curvature	ارتفاع از سطح دریا Altitude	جهت Aspect	شیب Slope	فرم هوموس Estimated Humus form	متغیر وابسته Dependent variable		
مثبت منفی Positive negative	×	×	×	×	×	×	×	×	×	مثبت Positive	×	مثبت Positive	اصلی Main	اولیه Main	29.4	اصلی Main
مثبت منفی Positive negative	×	×	مثبت Positive	×	×	×	×	×	×	×	×	×	اصلی Main	ثانویه Secondary	22.3	ثانویه Secondary
مثبت منفی Positive negative	×	×	×	×	×	×	×	×	×	مثبت Positive	×	مثبت Positive	ثانویه Secondary	اصلی Main	25.4	اصلی Main
مثبت منفی Positive negative	×	×	×	مثبت Positive	×	×	×	×	×	×	×	×	ثانویه Secondary	ثانویه Secondary	21.7	ثانویه Secondary
مثبت منفی Positive negative	×	×	×	×	مثبت Positive	مثبت Positive	مثبت Positive	×	مثبت Positive	×	مثبت Positive	×	اصلی Main	اولیه Main	44.8	اولیه Main
مثبت منفی Positive negative	×	مثبت Positive	مثبت Positive	×	×	×	×	×	×	×	×	×	اصلی Main	ثانویه Secondary	16.5	ثانویه Secondary
مثبت منفی Positive negative	×	×	×	×	×	×	×	مثبت Positive	مثبت Positive	×	مثبت Positive	×	ثانویه Secondary	اصلی Main	43.6	اصلی Main
مثبت منفی Positive negative	×	مثبت Positive	مثبت Positive	×	×	×	×	×	×	×	×	×	ثانویه Secondary	ثانویه Secondary	15.8	ثانویه Secondary
×	×	×	×	×	×	×	×	مثبت Positive	مثبت Positive	مثبت Positive	مثبت Positive	مثبت Positive	اصلی Main	اولیه Main	35.4	اولیه Main
×	مثبت منفی Positive negative	مثبت Positive	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	اصلی Main	ثانویه Secondary	69.3	ثانویه Secondary
×	×	×	×	×	×	×	×	مثبت Positive	مثبت Positive	مثبت Positive	مثبت Positive	مثبت Positive	ثانویه Secondary	اصلی Main	37.3	اصلی Main
مثبت منفی Positive negative	مثبت منفی Positive negative	مثبت Positive	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	ثانویه Secondary	ثانویه Secondary	71.3	ثانویه Secondary

### بحث

(جدول ۳) نشان می‌دهد که شرایط محیطی در این

تقسیم‌بندی ارتفاعی بسیار همگن‌تر شده است.

در بین مشخصه‌های اولیه توپوگرافی بدون شک ارتفاع از سطح دریا مهم‌ترین عاملی است که در تمامی مدل‌های مبتنی بر مشخصه‌های توپوگرافی حضور دارد و تأثیر آن بر ایجاد تغییرات فرم‌های هوموس پیش‌تر مورد تأکید قرار گرفته بود (۴، ۵، ۷ و ۱۸). تغییرات ارتفاع از سطح دریا کنترل‌کننده عوامل اقلیمی مهمی است که می‌تواند باعث تغییرات عمده پوشش گیاهی و فرایند لاشریزی از یکسو و فرایند تجزیه از سوی دیگر باشد (۲۵). ارتفاع از سطح دریا ارتباط منفی با تغییرات فرم هوموس اصلی و ثانویه در میان‌بند داشت حال‌آن‌که ارتباط مثبتی در پایین‌بند دارد. به دیگر سخن با افزایش ارتفاع از سطح دریا در پایین‌بند فرم‌های هوموس اصلی بیش‌تر از آملی و مودر به سمت مول تمایل می‌یابند حال‌آن‌که در میان‌بند با افزایش ارتفاع از سطح دریا از فراوانی مول به شدت کاسته شده، ابتدا آملی و سپس مودر غلبه خواهند یافت. در خصوص فرم‌های ثانویه هوموس با افزایش ارتفاع روند تغییرات فرم‌های ثانویه مول به این شرح است دیس‌مول < الیگومول < مزومول < یومول و در خصوص فرم‌های ثانویه آملی ترتیب فراوانی با افزایش ارتفاع از سطح دریا این‌چنین است یومز و آملی < یوماکروآملی < لپتوآملی و در فرم‌های ثانویه مودر روند تغییرات این‌گونه است دیس‌مودر < یومودر < همی‌مودر.

دومین متغیر مهم از مشخصه‌های اولیه توپوگرافی شیب است که رابطه آن با تغییرات فرم‌های اصلی و ثانویه هوموس برعکس ارتفاع از سطح دریا است. به دیگر سخن در پایین‌بند رابطه آن با تغییرات فرم‌های هوموس منفی و در بالایند مثبت است. به‌طورکلی میان‌بند جنگل شصت‌کلاته دارای شیب بیش‌تری از پایین‌بند است بنابراین در میان‌بند افزایش شیب منجر

توجه به مقیاس تغییرات یکی از مهم‌ترین مباحثی است که در مورد متغیرهای خاک جنگل باید موردتوجه ویژه قرار گیرد چنان‌که به‌طور واضح در پژوهش Ponge و همکاران (۲۰۱۱) سنگ مادر به‌عنوان عامل اصلی مؤثر بر تغییرات فرم‌های هوموس معرفی شده است (۱۴) و نقش تاج پوشش درختان ناچیز معرفی شده، چون در مقیاس وسیعی پژوهش انجام‌شده است حال‌آن‌که در پژوهش Labaz و همکاران (۲۰۱۴)؛ حبشی و رفیعی (۲۰۱۹) سنگ مادر کم‌اهمیت‌ترین متغیر و تاج پوشش درختان متغیری اثرگذار معرفی شده چراکه تغییرات فرم هوموس در مقیاس محلی بررسی شده است (۷ و ۱۵). با توجه به این نتایج متضاد در این پژوهش که مقیاس بررسی موضعی یا محلی است و توپوگرافی متغیری اثرگذار معرفی شده، صرفاً به مشخصه‌های توپوگرافی توجه گردید. توجه به تقسیم‌بندی سنتی ارتفاعی جنگل‌ها (پایین‌بند، میان‌بند، بالایند) در این پژوهش توانست نتایج را به نحو قابل‌ملاحظه‌ای بهبود بخشد. بر اساس پیگیری‌های شخصی مبنای این تقسیم‌بندی بر اساس همگن‌سازی حجم و تیپ جنگل‌ها بوده است. سه‌طبقه ارتفاعی پایین‌بند، میان‌بند و بالایند کنترل‌کننده شرایط کلی اقلیمی حاکم بر منطقه هستند چنان‌که در جنگل شصت‌کلاته حد ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰ متری که مرز میان‌بند و بالایند هستند به‌عنوان مرز برف‌گیر شناخته می‌شود (مشاهدات شخصی). حد ارتفاعی ۶۰۰ متر نیز که مرز پایین‌بند و میان‌بند است در جنگل شصت‌کلاته کنترل‌کننده زمین‌نمای تپه و کوهستان می‌باشد که تغییرات خصوصیات محیطی و خاک در آن پیش‌تر تأیید و اثبات شده است (۲۴). رسیدن به صحت کلی بالای ۹۰ درصد در مورد فرم هوموس اصلی که دارای تغییرات مکانی و زمانی زیادی است در بخش پایین‌بند و حدود ۸۰ درصد در میان‌بند

را توضیح می‌دهد. تحدب دامنه در انحنای مسطح باعث افزایش زهکشی دامنه می‌شود که از عوامل بسیار مهم در تکامل فرم‌های هوموس محسوب می‌شود (۳۰) چنان‌که با افزایش زهکشی امکان افزایش پایداری خاکدانه و تشکیل ساختمان خاکدانه بزرگ زیستی فراهم خواهد شد (۳۱) بنابراین تأکیدی بر تحلیل قبلی خواهد بود.

شاخص رطوبت توپوگرافی<sup>۱</sup> می‌تواند برای توصیف فرآیندهای بیولوژیکی از جمله کیفیت رویشگاه جنگل، الگوهای پوشش گیاهی و تولید اولیه خالص سالانه استفاده شود (۳۲ و ۳۳). این شاخص تابعی از شیب و ناحیه کمک‌کننده بالادست در واحد عرض متعامد به جهت جریان است. این شاخص برای کاتنا شیب تپه طراحی شده است. این شاخص با چندین ویژگی خاک مانند عمق افق، درصد سیلت، محتوای ماده آلی و فسفر همبستگی بالایی دارد (۳۴). شاخص رطوبت توپوگرافی در پایین‌بند و میان‌بند رابطه مثبت با تغییرات فرم‌های هوموس اصلی و ثانویه داشت که نشان می‌دهد با افزایش رطوبت خاک که ناشی از محتوای ماده آلی بیش‌تری در افق‌های سطحی خاک است، فرم هوموس اصلی به‌طرف مودر تمایل دارد و در فرم‌های هوموس ثانویه به‌طرف یومول، لپتوآمفی و همی مودر میل خواهد نمود که نشان‌دهنده تعداد و پیوستگی افق‌های هوموس بیش‌تر در هر طبقه هوموس اصلی می‌باشد. متغیر شکل زمین در این پژوهش به‌عنوان مشخصه ثانویه توپوگرافی وارد مدل شد ولی نتوانست نقش تعیین‌کننده‌ای داشته باشد. علت آن استفاده از شکل زمین در شناسایی فرم‌های هوموس بر اساس طبقه‌بندی هوموس اروپایی است (۳۵)، ولی ورود تیپ جنگل به‌عنوان مدل کمکی نتوانست ضریب تبیین مدل را بهبود بخشد.

به افزایش تولید و سرعت رواناب شده فرصت نفوذپذیری آب در خاک را کاهش می‌دهد (۲۶)؛ ولی در پایین‌بند افزایش شیب منجر به افزایش زهکشی شده (۲۷) و در نتیجه فرصت برای تجزیه هوازی لاشریزه فراهم خواهد شد. به این ترتیب در پایین‌بند با افزایش شیب ترتیب فرم‌های هوموس ثانویه مول چنین است یومول < مزومول، الیگومول و دیس مول که نشان‌دهنده کاهش حضور تمامی افق‌های دیفرانسیل هوموس در پروفیل هوموس است.

انحنای مسطح و انحنای نیمرخی نشان‌دهنده وضعیت تحدب و تقعر نیمرخ و سطح دامنه است (۱۷). مقادیر مثبت انحنای مسطح واگرایی جریان را نشان داده که نشان‌دهنده خط‌الرأس‌ها است و مقادیر منفی آن نشان‌دهنده دره‌ها است. بر این اساس در پایین‌بند نیمی از نقاط را قله و نیم دیگر را دره تشکیل می‌دهد حال آن‌که در میان‌بند ۵۸ درصد مناطق را خط‌الرأس تشکیل می‌دهد که گویای کوهستانی بودن میان‌بند نسبت به پایین‌بند است. رابطه انحنای نیمرخی و انحنای مسطح با فرم هوموس اصلی و ثانویه در پایین‌بند و میان‌بند مثبت بود به دیگر سخن با افزایش تقعر دامنه در جهت شیب و تحدب دامنه عمود بر شیب فرم هوموس به سمت یومول، لپتوآمفی و همی مودر تمایل می‌یابد که نشان‌دهنده حضور تمامی افق‌های دیفرانسیل هوموس است. با افزایش تقعر دامنه در جهت شیب امکان تجمع بیش‌تر لاشبرگ به وجود می‌آید که منجر به حضور مقدار کربن آلی بیش‌تری خواهد شد چنان‌که در پنجه و پای شیب دامنه که حالت مقعر دارند کربن آلی بیش‌تری مشاهده می‌شود (۲۸)، هم‌چنین در چنین موقعیت‌های زمین‌نما یعنی پنجه و پای شیب دامنه همیشه بیش‌ترین مقدار رس حضور دارد (۲۹) که منجر به تشکیل ساختمان خاکدانه بزرگ زیستی Macrobiostructure در افق نیمه آلی Ah خواهد شد که حضور یومول و لپتوآمفی

1- Topographic wetness index

### نتیجه‌گیری

سطح دریا و شیب با تغییرات فرم‌های هوموس در پایین‌بند و میان‌بند به صورت یکسان نیست و عکس همدیگر است که تأکید می‌نماید در بررسی‌هایی با مقیاس محلی توجه به جزئیات نتایج را دقیق‌تر خواهد نمود. از بین مشخصه‌های ثانویه شاخص رطوبت توپوگرافی به‌عنوان متغیری اثرگذار بر تغییرات فرم‌های هوموس معرفی شد. در نهایت وضعیت تحذب و تقعر دامنه می‌تواند با تغییر بر دخل و خرج آب، رطوبت و زهکشی افق نیمه آلی Ah تغییرات معنی‌داری بر فرم‌های هوموس اصلی و ثانویه داشته باشد.

در این پژوهش ارتباط تغییرات فرم‌های هوموس اصلی و ثانویه با تعدادی از شاخص‌های مورفومتری بررسی شد. نشان داده شد که قبل از انجام هر نوع تحلیل آماری، بررسی پراکنش متغیرها در ارتباط با همدیگر می‌تواند درک بهتری از روابط آن‌ها به پژوهش‌گران ارائه دهد، چنان‌که با تقسیم‌بندی منطقه پژوهش به پایین‌بند و میان‌بند نتایج به نحو قابل‌ملاحظه‌ای بهبود یافت. در ادامه رابطه مشخصه‌های اولیه و ثانویه توپوگرافی با تغییرات فرم‌های هوموس نشان داد روند تغییرات ارتفاع از

### منابع

1. Waez-Mousavi, S. M., & Habashi, H. (2014). Humus forms and the most important factors affecting its changes in mixed beech forest (case study: Shastkalateh forest of Gorgan). *J. of Wood & Forest Science and Technology*. 20 (4), 151-166. [In Persian]
2. Zanella, A., Ponge, J. F., Jabiol, B., Sartori, G., Kolb, E., Le Bayon, R. C., Gobat, J. M., Aubert, M., De Waal, R., Van Delft, B., & Vacca, A. (2018). Humusica 1, article 5: terrestrial humus systems and forms-keys of classification of humus systems and forms. *Applied Soil Ecology J.* 122 (1), 75-86.
3. Bayranvand, M., Akbarinia, M., Salehi Jouzani, G. H., Gharechahi, J., & Kooch, Y. (2019). The variability of humus forms in relation to forest cover and soil ecology in different altitudes. *Iranian J. of Forest*. 11 (3), 335-346. [In Persian]
4. Bayranvand, M., Akbarinia, M., Salehi Jouzani, G. H., Gharechahi, J., & Kooch, Y. (2021). Humus index assessment in relation to forest cover variables and altitude gradient. *J. Ecology of Iranian Forests*. 9 (18), 169-178. [In Persian]
5. Sadeghi, M., Habashi, H., Esmailzadeh, O., Mohammadi, J., & Sajedi, T. (2020). Model Humus forms changes in the beech and hornbeam stands in the old-growth and managed forest (case study: Shastkalateh forest of Gorgan). *J. of Forest Research and Development*. 6 (3), 429-444. [In Persian]
6. Descheemaeker, K., Muys, B., Nyssen, J., Sauwens, W., Haile, M., Poesen, J., Raes, D., & Deckers, J. (2009). Humus forms development during forest restoration in enclosures of the Tigray highlands, Northern Ethiopia. *Restoration Ecology J.* 17 (2), 280-289.
7. Labaz, B., Galka, B., Bogacz, A., Waroszewski, J., & Kabala, C. (2014). Factors influencing humus forms and forest litter properties in the mid-mountains under the temperate climate of Southwestern Poland. *Geoderma J.* 230 (231), 265-273.
8. Bonifacio, E., Falsone, G., & Petrillo, M. (2011). Humus forms, organic matter stocks, and carbon fractions in forest soils of northwestern Italy. *Biology and Fertility of Soils J.* 47 (5), 555-566.
9. Ascher, J., Sartori, G., Graefe, U., Thornton, B., Ceccherini, M. T., Pietramellara, G., & Egli, M. (2012). Are humus forms, mesofauna, and microflora in subalpine forest soils sensitive to thermal conditions? *Biology and Fertility of Soils J.* 48 (6), 709-725.
10. Hellwig, N., Anschlag, K., & Broll, G. (2016). A fuzzy logic-based method for modeling the spatial distribution of

- indicators of decomposition in a high mountain environment. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research J.* 48 (4), 623-635.
11. Ma, H. P., Yang, X. L., Guo, Q. Q., Zhang, X. J., & Zhou, C. N. (2016). Soil organic carbon pools along different altitudinal levels in the Sygera mountains, Tibetan plateau. *J. of Mountain Science.* 13 (3), 476-483.
  12. Mackey, B. G. (1996). The role of GIS and environmental modeling in the conservation of biodiversity. In Proceedings of the Third International Conference Integrating GIS and Environmental Modeling, Santa Fe, NM, Pp: 21-25.
  13. Hellwig, N., Tatti, D., Sartori, G., Anschlag, K., Graefe, U., Egli, M., Gobat, J. M., & Broll, G. (2018). Modeling spatial patterns of humus forms in montane and subalpine forests: implications of local variability for upscaling. *Sustainability J.* 11 (48), 1-15.
  14. Ponge, J. F. Jabiol, B., & Gégout, J. C. (2011). Geology and climate conditions affect more humus forms than forest canopies on a large scale in temperate forests. *Geoderma J.* 162 (1-2), 187-195.
  15. Habashi, H., & Rafiee, F. (2019). Variables influencing humus form differentiation in the Hyrcanian forest on the local scale (case study: Shast-Kalateh Gorgan). *J. of Forest Research and Development.* 5 (3), 343-356. [In Persian]
  16. Abbaszadeh Afshar, F., Jalalian, A., & Ayoubi, Sh. (2010). Spatial prediction of some physicochemical soil properties and magnetic susceptibility using digital topographic model. *J. Water and Soil Conservation.* 17 (2), 89-105. [In Persian]
  17. Baboli, H., & Negahban, S. (2020). Investigation of fermi characteristics of land surface based on morphometric indices and using GIS (case study: Fahlian watershed). *J. of Geography.* 19 (68), 102-117. [In Persian]
  18. Bayranvand, M., Kooch, Y., Hosseini, S. M., & Alberti, G. (2017). Humus forms in relation to altitude and forest type in the Northern mountainous regions of Iran. *Forest Ecology and Management J.* 385 (1), 78-86.
  19. Badía-Villas, D., & Girona-García, A. (2018). Soil humus changes with elevation in Scots pine stands of the Moncayo Massif (NE Spain). *Applied Soil Ecology J.* 123, 617-621.
  20. Bayranvand, M., Akbarinia, M., Salehi Jouzani, G., Gharechahi, J., & Alberti, G. (2021). Dynamics of humus forms and soil characteristics along a forest altitudinal gradient in Hyrcanian forest. *iForest-Biogeosciences and Forestry J.* 14 (1), 26-33.
  21. Zanella, A., Ponge, J.F., Jabiol, B., Sartori, G., Kolb, E., Gobat, J.M., Le Bayon, R.C., Aubert, M., De Waal, R., Van Delft, B., & Vacca, A. (2018). Humusica 1, article 4: terrestrial humus systems and forms-specific terms and diagnostic horizons. *Applied Soil Ecology J.* 122, 56-74.
  22. De Nicola, C., Zanella, A., Testi, A., Fanelli, G., & Pignatti, S. (2014). Humus forms in a Mediterranean area (Castelporziano reserve, Rome, Italy): classification, functioning, and organic carbon storage. *Geoderma J.* 235 (236), 90-99.
  23. Wilson, J.P., & Gallant, J.C. (2000). Digital terrain analysis. Terrain analysis: principles and applications. John Wiley & Sons, INC. Edition New York. Pp: 1-27.
  24. Sepahvand, M., Khormali, F., Kiani, F., & Eftekhari, K. (2017). Modeling soil depth and topographic attributes relationship for predicting soil depth in Rimeleh catchment, Lorestan province. *J. of Iranian soil Research.* 321 (4), 601-611. [In Persian]
  25. Karamian, M., & Hosseini, V. (2014). Effect of altitude, slope, and canopy on absorbable phosphorus, carbon, and total nitrogen in forest soils (case study: The forest of Ilam province, Dalab). *J. of Forest Sustainable Development.* 1 (1), 57-71. [In Persian]
  26. Raof, M., Sadraddini, S.A.A., Nazemi, A.H., & Maroofi, S. (2011). Effect of land slope on infiltration and some physical properties of soil. *J. of Water and Soil Science.* 21 (1), 57-68. [In Persian]

27. Jokar-Sarhangi, I., Esmaeali, R., & Baba-Alipour, S. (2018). Survey of relationship between geology and topography factors with drainage density in Behrestagh watershed. *J. of Hydrogeomorphology*. 14, 135-156. [In Persian]
28. Maleki, S., Khormali, F., Kiani, F., & Karimi, A.R. (2013). Effect of slope position and aspect on some physical and chemical soil characteristics in a loess hillslope of Toshan area, Golestan province, Iran. *J. of Water and Soil Conservation*. 20 (3), 93-112. [In Persian]
29. Mahmoodi, M.B., Jalilvand, H., Hodjati, S.M., & Kooch, Y. (2019). The effect of slope position in catena landform on soil physical and chemical features in the Asalem beech forest. *J. of Iranian Forest and Poplar Research*. 27 (75), 35-47. [In Persian]
30. Klinka, K., Green, R.N., Trowbridge, R.L., & Lowe, L.E. (1981). Taxonomic classification of humus forms in ecosystems of British Columbia. Ministry of Forests, Land Management Report, ISSN: 0702-9861, Pp: 4-5.
31. Yavitt, J.B., Pipes, G.T., Olmos, E.C., Zhang, J., & Shapleigh, J.P. (2021). Soil organic matter, soil structure, and bacterial community structure in a post-agricultural landscape. *Frontiers in Earth Science J.* 9, 1-15.
32. Beven, K., & Kirkby, M. (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Science Bulletin J.* 24 (1), 43-69.
33. Sørensen, R., Zinko, U., & Seibert, J. (2006). On the calculation of the topographic wetness index: evaluation of different methods based on field observations. *Hydrology and Earth System Sciences J.* 10 (1), 101-112.
34. Moore, I.D., Gessler, P.E., Nielsen, G.A., & Petersen, G.A. (1993). Terrain attributes: estimation methods and scale effects. In: Jakeman, A.J., Beck, M.B., and McAleer, M. Modelling change in environmental systems. London: Wiley. Pp: 189-214.
35. Jabiol, B., Zanella, A., Ponge, F., Sartori, G., Englisch, M., Van Delft, B., De Waal, R., & Claire Le Bayon, R. (2013). A proposal for including humus forms in the world reference base for soil resources (WRB-FAO). *Geoderma J.* 192, 286-294.