University of Tehran Press

Journal of Natural Environment

Online ISSN: 2423-7817

Homepage: https://jne.ut.ac.ir/

The impact of shallow landslides on vegetation cover and biodiversity in Hyrcanian forest (Case study: Neka Zalemrud)

Seyed Ata ollah Hosseini[1]✉ | **Ali Babaei Ahmadabad**[2]

1. Corresponding Author, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University College of Agriculture & natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: at.hosseini@ut.ac.ir
2. Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University College of Agriculture & natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: ali.babaei.ahmad@ut.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 5 May 2026

Received in revised form 2 August 2026

Accepted 20 August 2026

Keywords:

Biodiversity,
Disturbance landslide,
Multivariate analysis,
Tree species.

ABSTRACT

Landslides are natural phenomena in mountainous regions, influenced by factors such as topography, geological structure, soil depth and texture, moisture, and climate. This study, conducted in the Hyrcanian forests, examines the short-term recovery process of vegetation (both woody and herbaceous) following landslides. The research took place in the Zalem-Rud forest at two landslide sites (aged 9 and 11 years; Landslide Sites 1 and 2) and two corresponding control sites (1C and 2C). To sample the vegetation, twenty 1-m² plots were established in each area, where the plants were identified and counted. The vegetation in the landslide sites was analyzed and compared with the control sites using four indices: Shannon–Wiener, dominance, evenness, and diversity. Furthermore, the relationships between these diversity indices and species, as well as the influence of the different ages of the landslides, were investigated using Principal Component Analysis (PCA). The results indicate that landslides have altered the flora and the dominance of herbaceous species. Regarding forest regeneration, there is a statistically significant difference between the landslide sites and the control sites. Consequently, the Shannon–Wiener (diversity), dominance, and evenness indices—reflecting changes in both the number and type of species—have been significantly affected by the disturbance caused by landslides. This is evidenced by a reduction in the number of tree species in disturbed areas, alongside a substantial and statistically significant increase in herbaceous species within the landslide-affected zones compared with the control sites.

Cite this article: Hosseini, S.A., & Babaei Ahmadabad, A. (2026). The impact of shallow landslides on vegetation cover and biodiversity in Hyrcanian forest (Case study: Neka Zalemrud). *Journal of Natural Environment*, *79* (4), 765-780. DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2026.413804.2912

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

Introduction

Landslides are among the most prevalent natural geomorphological phenomena in mountainous forest ecosystems, governed by a complex interplay of topographic attributes, geological substrate characteristics, soil depth and textural properties, moisture regime, and climatic conditions. The present study, conducted within the Hyrcanian temperate broad-leaved forests of northern Iran, aims to quantitatively evaluate the ecological disturbance induced by shallow and small-scale landslides on understory and overstory vegetation cover, in comparison with adjacent undisturbed reference sites. Furthermore, the short-term recovery trajectory of both tree and herbaceous layers following mass wasting events is systematically investigated.

Material and Methods

This field-based investigation was carried out in the Zalem-Rud forest district, located in Neka, Mazandaran Province. Two distinct shallow landslide sites—each characterized by a surface area ranging from 20 to 100 cm^2 and with post-failure ages of 9 and 11 years—were selected and designated as Landslide Area 1 (L1) and Landslide Area 2 (L2), respectively. In close proximity to each disturbed zone, two corresponding control sites with identical slope gradient and aspect, along with comparable soil taxonomic units, were established and labeled as C1 and C2. For vegetation sampling, a systematic random design was employed, utilizing 20 quadrats of 1 m × 1 m (1 m^2) within each of the four designated zones, resulting in a total of 80 sampling units. All vascular plant species encountered within each quadrat were identified at the species level and enumerated. Vegetation diversity and community structure were assessed using four complementary biodiversity indices: Shannon-Wiener diversity index (H'), Simpson's dominance index (D), Pielou's evenness index (J), and species richness (S). Multivariate statistical techniques, specifically Principal Component Analysis (PCA), were applied to elucidate the underlying ordination patterns, evaluate the correlation structure between diversity indices and individual species abundances, and assess the temporal effect of landslide age (9 vs. 11 years) on vegetation recovery dynamics.

Results

The obtained results revealed a significant reduction in tree species density, with landslide areas 1 and 2 exhibiting a 27.5-fold and 8-fold decrease in sapling numbers compared to their respective control plots (C1 and C2). Conversely, herbaceous species demonstrated a substantial proliferation, with 5-fold and 5.5-fold increases in abundance in 1 and 2, respectively, relative to control sites. These findings indicate that shallow landsliding has profoundly altered the floristic composition and shifted the dominance structure in favor of ruderal and shade-intolerant herbaceous taxa. A robust positive correlation was observed between diversity indices and tree species density, suggesting that tree regeneration is a primary driver of overall biodiversity in post-landslide successional trajectories. Eigenvector analysis within the PCA framework demonstrated that total tree sapling count and the Shannon-Wiener index loaded most heavily on the first principal component, underscoring the heightened sensitivity of tree components to landslide-induced perturbations. Moreover, the PCA ordination plot indicated a clear successional gradient, with the 11-year-old landslide site (2) exhibiting closer proximity to the vector centroid—suggesting partial ecological recovery and improved biodiversity indices compared to the 9-year-old site (1). This temporal trend is interpreted as evidence of positive successional progression with increasing time since disturbance.

Discussion and Conclusion

In the short term (≤ 11 years post-disturbance), despite observable signs of incipient recovery in terms of biodiversity indices—particularly increased evenness and species turnover—the regeneration capacity of native, economically and ecologically valuable tree species remains severely compromised. Statistically significant disparities persist between landslide-affected zones and their undisturbed control counterparts, particularly regarding tree cover density, species composition, and overall forest stand structure. The Shannon-Wiener, Simpson's dominance, Pielou's evenness, and species richness indices

were all found to be highly responsive to the perturbation gradient, collectively indicating a marked reduction in tree species abundance in disturbed patches, accompanied by a concomitant and statistically significant surge in herbaceous cover and diversity. These findings highlight the prolonged recovery period required for forest ecosystems to regain pre-disturbance structural and functional integrity following shallow landslide events.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Ethical considerations

The authors avoided data fabrication, falsification, and plagiarism, and any form of misconduct.

CRediT authorship contribution statement

All authors contributed equally to the conceptualization of the article and writing of the original and subsequent drafts.

Data availability statement

Data available on request from the authors.

Acknowledgements

The authors would like to thank anonymous reviewers for their valuable suggestions in manuscript revision.

محیط زیست طبیعی

انتشارات دانشگاه تهران

شاپای الکترونیکی: ۷۸۱۷-۲۴۲۳

Homepage: https://jne.ut.ac.ir/

تأثیر زمین‌لغزش کم‌عمق بر پوشش گیاهی و تنوع زیستی در جنگل‌های هیرکانی (مطالعهٔ جنگل ظالم‌رود نکاء)

سید عطاالله حسینی[۱]✉ | علی بابایی احمد آباد[۲]

۱. نویسنده مسئول، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، جنگل دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: at.hosseini@ut.ac.ir

۲. گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، جنگل دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: ali.babaei.ahmad@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۱۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۵/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۲۹

کلیدواژه‌ها:

آنالیز چند متغیره،

تنوع زیستی،

زمین‌لغزش،

گونه‌های درختی.

چکیده

زمین‌لغزش‌ها پدیده‌های طبیعی در مناطق کوهستانی است و متأثر از عواملی مانند توپوگرافی، ساختار زمین‌شناسی، عمق و بافت خاک، رطوبت، اقلیم می‌باشد. پژوهش حاضر که در جنگل‌های هیرکانی صورت گرفته و روند بازیابی پوشش گیاهی (درختی و علفی) در کوتاه‌مدت را مورد بررسی قرار می‌دهد. این پژوهش در جنگل ظالم‌رود و در دو منطقهٔ لغزشی با سن ۹ و ۱۱ سال انجام شد، که به‌ترتیب به مناطق ۱ و ۲ لغزشی و در مجاورت آن، دو منطقه به‌عنوان شاهد C۱ و C۲ نام‌گذاری شدند. برای نمونه‌برداری از پوشش گیاهی، ۲۰ قطعه‌نمونه یک متر مربعی در هر منطقه مشخص و گیاهان درون این قطعات شناسایی و شمارش شدند. با چهار شاخص شانون–وینر، غالبیت، یکنواختی و تنوع، پوشش گیاهی مناطق لغزشی در مقایسه با شاهد، مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. تأثیر و همبستگی بین شاخص‌های تنوع و گونه‌ها و تأثیر سنین مختلف بر روی یکدیگر نیز با استفاده از آنالیز چند متغیرهٔ PCA بررسی شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد، گونه‌های درختی در منطقهٔ لغزشی، زمین‌لغزش باعث تغییر در فلور و غالبیت گونه‌های علفی شده است. از نظر زادآوری جنگل از نظر آماری اختلاف شدیدی بین مناطق لغزشی و مناطق شاهد وجود دارد. با این وصف، شاخص‌های شانون–وینر، تنوع، غالبیت و یکنواختی با توجه به تغییر تعداد و نوع گونه‌ها به‌شدت تحت تأثیر آشفتگی حاصل از زمین‌لغزش قرار گرفته‌اند که این امر نشان‌دهندهٔ کاهش تعداد گونه‌های درختی در مناطق با آشفتگی و افزایش بسیار زیاد و معنی‌دار گونه‌های علفی در مناطق لغزشی نسبت به مناطق شاهد بوده است.

استناد: حسینی، سید عطاالله؛ و بابایی احمد آباد، علی (۱۴۰۵). تأثیر زمین‌لغزش کم‌عمق بر پوشش گیاهی و تنوع زیستی در جنگل‌های هیرکانی (مطالعهٔ جنگل ظالم‌رود نکاء). *محیط زیست طبیعی*، ۷۹ (۴)، ۷۸۰-۷۶۵.

DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2026.413804.2912

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

مقدمه

زمین‌لغزش یکی از پدیده‌های طبیعی رایج دامنه‌های شیب‌دار در اکوسیستم‌های جنگلی و یکی از دلایل ایجاد آشفتگی در عرصهٔ جنگل می‌باشد. این رخدادها با ایجاد آشفتگی (در مقیاس محلی)، از نظر بوم‌شناختی آثار زیادی مثل فرآیندهای توالی، اخلال در چرخهٔ مواد غذایی زیستگاه، مهاجرت و تهاجم گیاهی را فراهم می‌آورند (Walker and Shiels, 2012). وقوع زمین‌لغزش می‌تواند متأثر از عوامل گوناگونی مانند توپوگرافی، ساختار زمین‌شناسی، عمق خاک و انسجام (چسبندگی) ریشه باشد (Hosseini and Hosseini, 2016; Babaei Ahmadabad *et al*., 2022; Babaei Ahmadabad and Hosseini, 2024). البته اکثر این لغزش‌ها از انواع کم عمق (با عمق کمتر از ۰/۵ تا ۵ متر و وسعت کمتر از یک هکتار) بوده (Milledge *et al*., 2014; Cha *et al*., 2018; Liang, 2026) و تحت تأثیر عواملی مانند ویژگی توپوگرافی، زمین‌شناسی و نوع پوشش گیاهی ایجاد می‌شود (Asada and Minagawa, 2023). نتایج مطالعه‌ای در کشور نیوزیلند نشان داد که ۹۰ درصد از کل زمین‌لغزش‌ها از انواع کم‌عمق (سطحی) بوده و البته زمین‌لغزش‌های کم‌عمق بیشترین فراوانی را در میان سایر حرکت‌های توده‌ای و شکست شیب‌ها به خود اختصاص می‌دهند (Godt *et al.,* 2008).

زمین‌لغزش‌ها موجب تغییر در تنوع و فراوانی گیاهان کف جنگل می‌شود، به‌صورتی‌که گونه‌های بومی و متحمل به سایه جای خود را به گونه‌های نور و رطوبت‌پسند داده و جوامع گیاهی مناطق لغزشی دچار دگرگونی اساسی می‌گردند (Mohammadi Firouz *et al*., 2022). به‌عبارت دیگر بعد از این رخداد گونه‌های بومی کاهش و یا از منطقه حذف شده و جای خود را به گونه‌های علفی خواهند داد (Wei *et al.,*2016). درمناطق پرشیب (برای استحکام خاک روی شیب)، ریشه‌های ضخیم‌تر مانند میخ عمل کرده و باعث تثبیت موقعیت مکانی و استقرار ریشه‌های نازک عمل می‌کنند، با این وصف ریشه‌های عمیق سهم عمده‌ای در محافظت از زمین در برابر زمین‌لغزش‌های کم عمق ایفا می‌کنند (Stokes *et al.,* 2009).

گیاهان اعم از گیاهان علفی یا درختی، هر یک در مقاطع زمانی خاص منجر به کاهش صدمات باران‌های شدید و در نتیجه کاهش لغزش‌های کم‌عمق می شوند (Stokes *et al*., 2009). وقتی ریشه‌ها در مناطق غنی از منابع قرار گیرند جذب آب در اطراف مناطق تجمع ریشه‌ها سریع‌تر از مناطق بدون ریشه می‌شود. بنابراین آب در مناطقی از خاک استخراج می‌شود که کلنی ریشه‌ها در آن مناطق بیشتر باشد (Kazda and Schmid, 2008). تاج‌پوشش درختان جنگلی و اندام هوایی گیاهان علفی نیز در تثبیت دامنه‌ها و پایداری آنها نقش برجسته‌ای دارند. Chekizadeh و همکاران (۲۰۲۳) در تحقیقی بیان داشتند توسکای زادآوری و جنگلکاری شده هر دو از طریق تاج‌پوشش و سیستم ریشه‌ای نمایی قابلیت بالائی در جذب آب و بهبود و پایداری خاک مناطق لغزشی می‌شوند. Gargandipour و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که در منطقهٔ لغزشی پیچ صنوبر جنگل خیرود با گذشت ۲۰ سال از نظر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی خاک و تنوع زیستی علفی، به حالت اولیه برگشته و در مقایسه با منطقهٔ مجاور خود اختلاف معنی‌داری ندارد. با توجه به اینکه جنگل‌ها سیستم‌های اکولوژیک پیچیده‌ای هستند (Kuuluvainen, 2009)، تنوع زیستی جنگل، منبع مهم و با ارزشی برای بقای گونه‌ها است، زیرا گونه و ذخایر ژنتیکی موجود در جنگل برای بقای موجودات، دارای اهمیت خاصی است و نبود تنوع زیستی تهدید خطرناکی برای ادامهٔ بقای موجودات زنده محسوب می‌شود (Bijaninejad *et al.,* 2024). تنوع گونه‌های گیاهی معمولاً با تعیین تعداد گونه‌ها (غنای گونه‌ای) و محاسبهٔ میزان توزیع یکنواخت گونه‌ها در یک جامعه (یکنواختی) اندازه‌گیری می‌شود (Zhang *et al.,* 2012). علاوه براین اشاره شده است که ساختار هوایی پوشش گیاهی جنگل تأثیر بسیار زیادی بر پایداری نقاط شیب‌دار دارد، به‌صورتی‌که وقتی روشنه‌های به‌وجود آمده بیش از ۲۰ متر باشد، حساسیت به لغزش را افزایش خواهد یافت (Moos , 2015).

فرضیهٔ ما در این تحقیق بررسی این موضوع است که با گذشت زمان از وقوع لغزش (از ۹ به ۱۱ سال)، شاخص‌های تنوع گونه‌های درختی به‌طور معنی‌داری افزایش و از تعداد و تنوع گونه‌های علفی کاسته می‌شود. جدید بودن این مطالعه در این مهم است که زمین‌لغزش‌های با وسعت (کمتر از یک هکتار) و سطحی (۱۰۰ –۲۰ سانتی‌متر) چه تأثیری بر پوشش گیاهی کف جنگل در مناطق لغزشی در مقایسه با مناطق شاهد دارند و بعد از آشفتگی ایجاد شده، آیا زادآوری طبیعی درختان جنگل دچار اختلال خواهد شد یا خیر؟ و نقش باز شدن روشنه‌ها و تغییرات ناشی از آن بر فراوانی و تنوع گیاهان علفی و درختی مد نظر مطالعه است. اهمیت این تحقیق در تحلیل‌های آماری و بررسی نتایج شاخص‌های تنوع زیستی بر یکنواختی، غالبیت و تنوع می‌باشد.

روش‌شناسی پژوهش

منطقهٔ مورد مطالعه: این پژوهش در ناحیهٔ رویشگاهی هیرکانی ایران در شهرستان نکا و در پانزده کیلومتری شرق مرکز استان مازندران و بخش ۴، سری ۴، طرح جنگلداری نکاء چوب انجام شده است. متوسط بارش سالیانه منطقه ۶۱۵ میلی‌متر و پر بارش‌ترین و کم بارش‌ترین ماه‌ها به‌ترتیب آبان و مرداد با ۸/ ۲۰۴ و ۱۲/۳ میلی‌متر گزارش شده است. میانگین دمای سالانه ۳۴/۶۹ درجهٔ سانتی‌گراد است. خاک منطقه از نوع تکامل یافته و نسبتاً عمیق (۷۵ سانتی‌متر) و تیپ غالب آن الفی‌سول با pH ۷/۲–۷/۵ بوده و نفوذپذیری آن متوسط تا ضعیف و حساس به فرسایش می‌باشد (طرح جنگلداری سری ۴ بخش ۴ نکا، ۱۳۸۲). منطقهٔ مورد مطالعه در قطعه ۲۵ و ۲۶، سری ۴ از بخش ۴ نکاء چوب استان مازندران واقع شده است (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت بخش ٤، سری ٤ طرح جنگلداری نکا چوب

Figure 1. Location of section 4, series 4 of the Neka Choob forestry Plan

شناسایی مناطق لغزشی با استفاده از اطلاعات قرقبان‌ها و جنگل گردشی انجام و از میان مناطق لغزشی موجود دو منطقه با لغزش‌های کم عمق شناسایی و انتخاب شدند. دو نقطهٔ ذیل انتخاب شدند:

منطقهٔ لغزشی ۱: حرکت لغزشی صورت گرفته در حدود ۹ سال گذشته اتفاق افتاده و آثار آن کاملاً قابل رویت بود. مساحت این منطقهٔ لغزشی حدود ۷۰۰ متر مربع و عمق لغزشی ۱۰۰–۲۰ سانتی‌متر، با ارتفاع ۴۸۶ متر از سطح دریا انتخاب شد.

منطقهٔ لغزشی ۲: لغزش صورت گرفته در این منطقه حدود ۱۱ سال پیش اتفاق افتاده و آثار آن که به‌صورت کم عمق بوده هنوز مشهود می‌باشد. وسعت این منطقه حدود ۱۲۰۰ متر مربع و عمق لغزشی ۱۰۰–۲۰ سانتی‌متر ، با ارتفاع ۶۱۰ متر از سطح دریا انتخاب شد. شیب، ارتفاع، وسعت و مختصات مناطق لغزشی ۱ و ۲ به شرح جدول ۱ می‌باشد.

برابر حدود مختصات برداشت شده با دستگاه GPS، از این به بعد این مناطق تحت عنوان ناحیهٔ لغزشی ۱ و ناحیهٔ لغزشی ۲ معرفی می‌شوند. سپس ناحیه‌ای با فاصلهٔ ۱۰ متر از لبهٔ لغزش در همان شیب و جهت به‌عنوان منطقهٔ شاهد با تیپ خاک یکسان انتخاب شدند. نمونه‌برداری به‌صورت تصادفی سیستماتیک و به‌صورت زیگزاگی و با طی ۲ متر بعد از ورود به منطقهٔ لغزشی و با

قطعه‌نمونه‌های ۱×۱ متری هر کدام به فاصله ۲ متر از یکدیگر (با استفاده از کوادرات) انجام شد. در هر ناحیه لغزشی ۲۰ قطعه نمونه انتخاب شد (در مجموع ۴۰ قطعه‌نمونه از محل لغزشی و ۴۰ قطعه‌نمونه از ناحیهٔ شاهد). بعد از قراردادن هرکوادرات، از گونه‌های موجود نمونهٔ گیاهی مناسب تهیه و عکسبرداری شد و جهت شناسایی به دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران منتقل شد. در هرباریوم دانشکده و با کمک منابع معتبر مانند فلور ایرانیکا Rechinger (۱۹۶۳–۲۰۱۵) و فلور ایران Assadi, 1989- (2023) و منابع دیگر، گونه‌ها شناسایی و تعداد گیاهان هر قطعه‌نمونه شمارش شدند. نوع، تعداد و مشخصات و اطلاعات جمع‌آوری شده، در اکسل ثبت و مرتب شدند. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای Spss نسخهٔ ۱۸ و SAS JMP نسخهٔ ۱۳ با استفاده از آزمون t مستقل، شاخص‌های تنوع زیستی (شانون–وینر، غالبیت، تنوع و یکنواختی) با نرم‌افزار PAST (Sadat Mousavi and Attar Sahragard, 2024) نسخهٔ ۴/۰۳ محاسبه شد. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها به‌دلیل کم بودن گرادیان بین قطعات‌نمونه، با استفاده از آنالیز چند متغیرهٔ PCA انجام و همبستگی داده‌ها با استفاده از آزمون پیرسون بررسی شد.

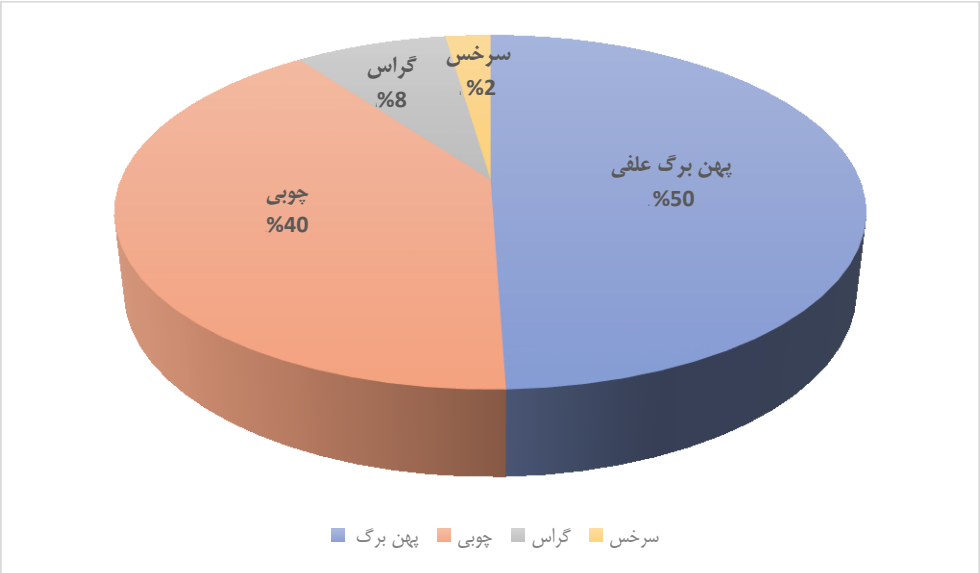
جدول ۱- شیب، ارتفاع، وسعت و مختصات مناطق لغزشی ۱ و ۲

Table 1. Slope, elevation, extent, and coordinates of landslide zones 1 and 2

منطقه	وسعت(حدود)	شیب	ارتفاع	Y	X	زون
1	700 متر	25 درجه جهت دامنه شرقی	486 متر	4059650 m N	726886 m E	39 s
2	1200 متر	25 درجه جهت دامنه شمال غربی	610 متر	4058842 m N	726845 m E	39 s

یافته‌های پژوهش

با بررسی و تحلیل‌های انجام شده از تعداد و نوع گیاهان مشاهده شده در داخل قطعات‌نمونه دو محل لغزش ۱ و ۲ و به موازات آن قطعات نمونهٔ شاهد (C۱ و C۲)، ارقام و اطلاعات ذیل به‌دست آمد (شکل ۲).



شکل ۲ - نمودار فراوانی گونه‌های موجود در منطقهٔ مورد مطالعه

Figure 2. Abundance chart of species present in the study area

نتایج به‌دست آمده در خصوص مقایسهٔ گونه‌های درختی بین منطقهٔ لغزشی ۱ و C۱ با سپری شدن ۹ سال از زمان لغزش، نشان داد که جوانه‌زنی گیاهان درختی در منطقهٔ ۱ در مقایسه با منطقهٔ C۱ به‌شدت و در سطح معنی‌داری ۰/۰۰۱ تحت تأثیر زمین‌لغزش قرار گرفته است، به‌صورتی‌که ۹ نونهال درختی در منطقهٔ لغزشی مشاهده شده در مقابل ۲۴۸ نونهال درختی در منطقهٔ C۱ شمارش

شد، که نشان‌دهندهٔ کاهش ۲۷/۵ برابری گونهٔ درختی در منطقهٔ لغزشی ۱ بوده و این کاهش چشمگیر، نشان از تفاوت معنی‌دار آماری بین این دو منطقه دارد. در خصوص گونه‌های علفی نیز رشد ۵ برابری در منطقهٔ لغزشی ۱ نسبت به منطقهٔ شاهد C۱ مشاهده شد. در منطقهٔ لغزشی ۲ کاهش ۸/۰۸ برابری گونه‌های درختی و افزایش ۵/۵ برابری گونه‌های علفی در مقایسه با منطقهٔ C۲ ثبت شد. نتایج به‌دست آمده در خصوص گونه‌های علفی نشان داد، جوانه‌زنی و فراوانی گونه‌های علفی برعکس گونه‌های درختی در منطقهٔ ۱ در مقایسه با منطقهٔ شاهد (C۱) افزایش چشمگیری داشته است (۲۹۲ گیاه در منطقهٔ لغزشی ۱ در مقابل ۵۶ گیاه در منطقهٔ C۱) و به‌عبارت دیگر گونه‌های علفی در منطقهٔ ۱، ۹۷ درصد پوشش گیاهی نسبت به گونه‌های درختی را تشکیل داده‌اند در حالی‌که این ترکیب برای مناطق شاهد ۱۸ درصد بوده است (جدول ۲).

جدول۲- نتایج فراوانی تعداد گیاهان شمارش شده به تفکیک گیاهان علفی و درختی

Table 2. Results regarding the abundance of counted plants, broken down by herbaceous and woody plants

	گونهٔ درختی		گونهٔ علفی		کل گونه‌های علفی و درختی
	تعداد	درصد	تعداد	درصد	
منطقهٔ لغزشی ۱	9	3	292	97	301
شاهد C۱	248	81	56	18	304
منطقهٔ لغزشی ۲	37	9	358	91	395
شاهد C۲	299	78	64	22	293
جمع	523		770		1293

نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به فراوانی گونه‌های درختی نشان داد که منطقهٔ لغزشی ۱ با سن ۹ سال در مقایسه با منطقهٔ شاهد آن (C۱) به‌صورت معنی‌داری و در سطح آماری ۰/۰۰۱ تحت تأثیر حرکت لغزشی قرار گرفته است. در خصوص گونه‌های علفی، باید گفت نتایج عکس تعداد گونه‌های درختی بوده و با آشفتگی ایجاد شده تعداد و تنوع گونه‌های علفی افزایش چشمگیری نشان داده است (جدول ۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس تفاوت بین گونه‌های درختی و علفی بین دو منطقهٔ ۱ و C۱

Table 3. Analysis of variance of the differences between tree and herbaceous species between the two areas, 1 and 1C

منبع	درجه آزادی	مجموع مربعات	خطای استاندارد	F	*P*
گیاهان درختی	39	478.975	0.217	10362.7	0.00***
گیاهان علفی	39	219.600	0.344	1855.7	0.00***

نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به گونه‌های درختی منطقه لغزشی ۲ و C۲ با سن لغزشی ۱۱ سال نشان داد که جوانه‌زنی و رشد نونهال‌های درختی این منطقه تحت آشفتگی ایجاد شده به‌شدت تحت تأثیر زمین‌لغزش قرار گرفته‌اند. در خصوص گیاهان علفی نیز همان‌گونه که در منطقهٔ لغزشی ۱ مشاهده شد، فراوانی و تنوع گیاهان علفی به‌شدت تحت تاثیر آشفتگی ناشی از لغزش قرار داشته و با منطقهٔ شاهد C۲ دارای اختلاف معنی‌داری است (جدول ۴).

جدول ٤- تجزیه واریانس تفاوت بین گونه‌های درختی و علفی بین دو منطقه ۲ و C۲

Table 3. Analysis of variance of the differences between tree and herbaceous species between regions 2 and C2

منبع	درجه آزادی	مجموع مربعات	خطای استاندارد	F	*P*
گیاهان درختی	39	379.600	0.280	4841.84	0.00***
گیاهان علفی	39	133.775	0.212	5.2976	0.00***

برای تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست آمده و تأثیر مدت زمان سپری شده بر تعداد گیاهان و گونه‌های درختی به تفکیک هر گونه و همچنین بر شاخص‌های تنوع زیستی از آنالیز چند متغیره PCA استفاده شد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که در خصوص گونه‌های درختی تا مؤلفهٔ چهارم جدول، مقادیر ویژه دارای بیشترین اثر می‌باشند (جدول ۵).

جدول ۵- مقادیر ویژه، درصد واریانس و درصد واریانس تجمعی گونه‌های درختی

Table 5. Eigenvalues, percentage of variance, and cumulative percentage of variance for tree species

محور	مقدار ویژه	درصد واریانس	درصد واریانس تجمعی	کای اسکوئر	درجه آزادی	*P*
1	3.186	35.405	35.405	113.476	34.403	<0.0001***
2	1.819	20.215	55.620	61.857	31.044	0.0008***
3	1.381	15.345	70.965	33.700	25.684	0.1334
4	1.125	12.503	83.468	7.878	20.178	0.9933

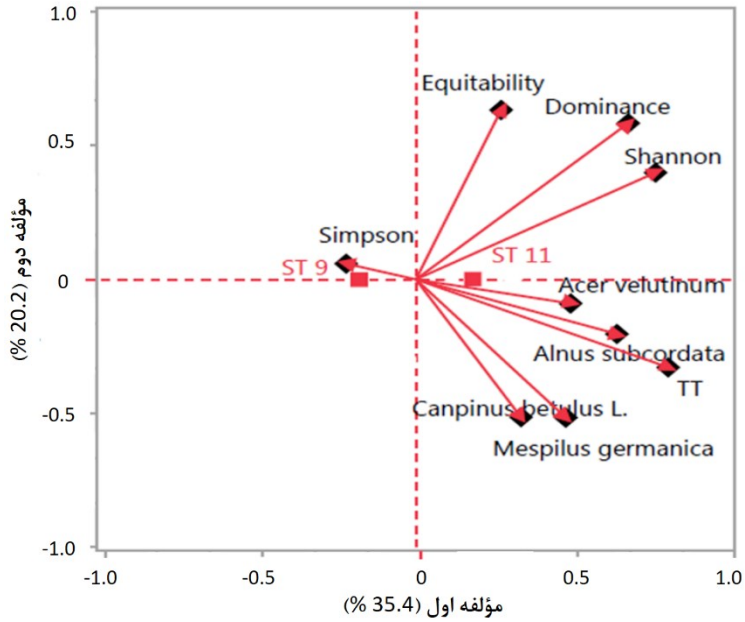
در مؤلفه‌های بردارهای ویژه با چهار مؤلفه و در مؤلفه اول بیشترین تأثیرپذیری را جمع کل گونه‌های درختی با رقم ۰/۴۸۰ و بعد از آن شاخص تنوع زیستی شانون با ۰/۴۵۵ داشته و از میان گونه‌های درختی نیز بیشترین تأثیرپذیری مربوط به توسکا با ۰/۳۸۲ بوده است. در مقادیر مؤلفه‌های دوم تا چهارم نیز به‌ترتیب بیشترین سهم را شاخص یکنواختی (یکنواختی) با ۰/۵۰۱، گونهٔ ممرز ۰/۵۵۷ و شاخص تنوع با ۰/۷۷۵ داشته‌اند (جدول ۶).

جدول ٦- مقادیر بردارهای ویژه برای گونه‌های درختی مناطق ۱و ۲

Table 6. Eigenvector values for tree species in regions 1 and 2

	محور۱	محور۲	محور ۳	محور ٤
افرا	0.294	-0.071	-0.205	0.473
ممرز	0.199	-0.407	0.557	-0.083
ازگیل	0.285	-0.409	0.442	0.117
توسکای ییلاقی	0.382	-0.161	-0.372	0.028
مجموع گیاهان درختی	0.480	-0.260	-0.224	0.233
شاخص تنوع	-0.132	0.046	0.227	0.775
شاخص غالبیت	0.403	0.462	0.111	-0.122
شاخص شانون	0.455	0.316	-0.029	-0.203
شاخص ایکویتابلیتی	0.162	0.501	0.443	0.203

در تحلیل مؤلفه‌های اصلی آنالیز چند متغیره مبنی بر تأثیر شاخص‌های تنوع زیستی بر تعداد گونه‌ها و گیاهان، نتایج به‌دست آمده نشان داد که محورهای اول و دوم به‌ترتیب ۳۵/۴ و ۲۰/۲ درصد از کل واریانس را توضیح می‌دهند. تجزیه‌وتحلیل اثر گذشت زمان پس از لغزش نشان داد که مناطق لغزشی با سن بیشتر (۱۱ سال) نسبت به مناطق با سن کمتر (۹ سال) به‌طور نسبی روند احیاء ظاهری پوشش گیاهی را داشته‌اند، زیرا فاصلهٔ نقطهٔ ۱۱ سال با مرکز مختصات، کمتر از نقطهٔ مربوط به ۹ سال می‌باشد و سه شاخص شانون، تنوع و غالبیت و جمع گیاهان درختی در مناطق لغزشی تحت تأثیر آشفتگی بوده‌اند ولی این لغزش، کمترین اثر را بر شاخص تنوع داشته است، البته در واقعیت و با توجه به کاهش شدید جوانه‌زنی نونهال‌های درختی این مناطق در مقایسه با مناطق شاهد، با کاهش زادآوری روبه‌رو بوده‌اند (شکل ۳).



شکل ۳– تجزیه‌وتحلیل PCA گونه‌های درختی، شاخص¬های تنوع زیستی و سن لغزشی

igure 3. PCA analysis of tree species, biodiversity indices, and landslide age

بین شاخص‌های تنوع زیستی و گونه‌های درختی و جمع کل گیاهان درختی موجود در مناطق لغزشی همبستگی شدیدی وجود دارد. شاخص‌های شانون و غالبیت با ۰/۸۸ و یکنواختی با ۰/۶۱ بیشترین همبستگی مثبت و شاخص شانون و تنوع با ۰/۲۸– بیشترین همبستگی منفی را داشته‌اند. در میان گونه‌های درختی نیز بیشترین همبستگی را گونهٔ توسکا و جمع کل گیاهان ۰/۸۱ و گونهٔ ممرز با ازگیل ۰/۶۹ داشته‌اند و کمترین همبستگی مثبت بین افرا و ممرز با ۰/۰۴ بوده است. در بین شاخص‌های تنوع زیستی و گونه‌ها نیز بیشترین همبستگی مثبت بین شانون با جمع کل گونه‌های درختی ۰/۴۷ و شانون با گونهٔ توسکا ۰/۴۳ بوده است و بیشترین همبستگی منفی بین شاخص یکنواختی و توسکا ۰/۱۳– مشاهده شد (جدول ۷).

نتایج همبستگی بین متغیرها نیز با آزمون همبستگی پیرسون انجام شد و نتایج آن نشان داد، بین شاخص‌های تنوع زیستی و گونه‌های علفی و جمع کل گیاهان علفی موجود در مناطق لغزشی با سن ۹ و ۱۱ سال همبستگی شدیدی وجود دارد. در خصوص شاخص‌های تنوع زیستی بیشترین همبستگی مثبت بین شاخص شانون و غالبیت با ۰/۸۸ بود و بیشترین همبستگی منفی نیز بین شاخص تنوع و شانون با ۰/۲۸– مشاهده شد. در خصوص تأثیر گونه‌های علفی بر شاخص‌های تنوع زیستی نیز بیشترین همبستگی بین تعداد کل گیاهان با شاخص شانون با ۰/۵۹ و بعد از آن بین گزنه با شانون ۰/۴۵ وجود داشت و بالاترین همبستگی منفی نیز مربوط به شاخص تنوع و گیاه متامتی ۰/۱۷– بود. بالاترین همبستگی مثبت بین تعداد گونه‌های علفی با بنفشه ۰/۵۲ و بیشترین همبستگی منفی بین فرفیون و پیچک با ۰/۲۴– گزارش شد. نتایج به‌دست آمده از تجزیه‌وتحلیل انجام شده برای بررسی تأثیر مدت زمان سپری شده بر تعداد گیاهان و گونه‌های علفی (۱۰ گونه علفی با بیشترین تعداد) و اثر متقابل آنها بر شاخص‌های تنوع زیستی از آنالیز چند متغیره PCA استفاده شد، که نتایج به‌دست آمده نشان داد در خصوص گونه‌های علفی تا محور ششم بیشترین اثر را دارند (جدول ۸).

جدول ۷- جدول همبستگی بین گونه‌های درختی و شاخص‌های تنوع زیستی

Table 7. Correlation table between tree species and biodiversity indices

	افرا	ممرز	ازگیل	توسکا	تعداد کل	تنوع	غالبیت	شانون	ایکویتابلیتی
افرا	1.00								
ممرز	0.041	1.00							
ازگیل	0.143	0.698	1.00						
توسکای ییلاقی	0.169	0.072	0.218	1.00					
جمع گیاهان درختی	0.648	0.309	0.449	0.818	1.00				
شاخص تنوع	-0.018	-0.011	-0.120	-0.108	-0.099	1.00			
شاخص غالبیت	0.177	0.025	0.099	0.315	0.325	-0.148	1.00		
شاخص شانون	0.286	0.074	0.179	0.430	0.477	-0.287	0.881	1.00	
شاخص ایکویتابلیتی	0.083	0.023	0.029	-0.130	-0.041	0.197	0.611	0.363	1.00

جدول ۸- مقدار ویژه، درصد واریانس و درصد واریانس تجمعی گونه‌های علفی

Table 8. Eigenvalue, percentage of variance, and cumulative percentage of variance for herbaceous species

محور	مقدار ویژه	درصد واریانس	درصد واریانس تجمعی	کای اسکوئر	درجه آزادی	*P*
1	3.389	22.599	22.599	276.653	103.636	<0.0001***
2	1.967	13.117	35.717	224.363	95.057	<0.0001***
3	1.790	44.935	47.651	200.638	84.125	<0.0001***
4	1.577	40.514	58.165	176.528	73.524	<0.0001***
5	1.385	9.238	67.404	153.043	63.251	<0.0001***
6	1.035	6.900	74.304	129.620	53.522	<0.0001***

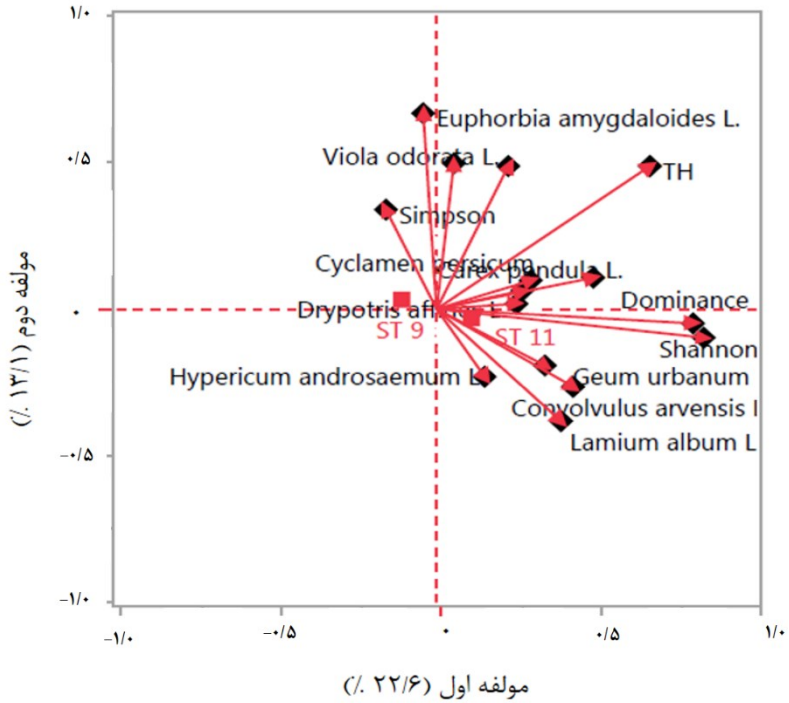
در مؤلفه‌های بردارهای ویژه و در مؤلفه اول شاخص شانون با ۰/۴۹ بیشترین اثر و در مؤلفه‌های بعدی (دوم تا ششم) بیشترین اثر به‌ترتیب عبارت بود از فرفیون ۰/۵۲، جگن ۰/۴۱، علف مبارک ۰/۴۴، یکنواختی ۰/۵۵ و بنفشه ۰/۴۳ بیشترین سهم را داشته‌اند که نشان‌دهندهٔ بیشترین سهم در ارتباط با سایر متغیرهای دیگر است و در میان گونه‌های علفی نیز گونهٔ فرفیون دارای بالاترین سهم اثر روی شاخص‌های تنوع زیستی است (جدول ۹).

جدول ۹- مقادیر بردارهای ویژه برای گونه‌های علفی مناطق ۱ و ۲

Table 9. Eigenvector values for herbaceous species in regions 1 and 2

	محور ۱	محور ۲	محور ۳	محور ٤	محور ٥	محور ٦
جگن	0.176	0.076	0.409	-0.374	-0.308	0.193
فرفیون	-0.025	0.523	0.104	-0.052	0.154	-0.137
تمشک خزری	0.032	0.30	-0.246	0.121	-0.174	-0.530
بنفشه	0.133	0.382	0.64	0.131	-0.249	0.431
متامتی	0.090	-0.181	0.016	0.632	0.088	0.018
پیچک	0.255	-0.208	-0.286	0.048	0.248	0.335
سرخس پری	0.149	0.014	-0.399	0.074	0.226	0.282
گزنه	0.232	-0.299	0.222	0.371	-0.106	0.049
علف مبارک	0.202	0.151	0.332	0.446	-0.061	-1.00
سیکلامین	0.159	0.049	-0.543	0.078	-0.250	0.054
کل گیاهان علفی	0.399	0.382	-0.032	-0.072	-0.111	0.257
شاخص تنوع	-0.094	0.266	0.237	0.232	0.505	0.216
شاخص غالبیت	0.480	-0.039	0.025	-0.053	0.099	-0.292
شاخص شانون	0.499	-0.076	0.017	-0.007	-0.096	-0.182
شاخص ایکویتابلیتی	0.292	0.084	0.061	-0.111	0.552	-0.197

در تجزیه‌وتحلیل PCA (تحلیل مؤلفه‌های اصلی) برای مدت زمان ۹ و ۱۱ سال سپری شده از حدوث زمین‌لغزش، بر گونه‌های علفی و شاخص‌های تنوع زیستی، نتایج به‌دست آمده نشان داد که محورهای اول و دوم به‌ترتیب با ۲۲/۶ درصد و ۱۳/۱ درصد از کل واریانس را توضیح می‌دهند. تجزیه‌وتحلیل اثر گذشت زمان نیز نشان می‌دهد که پس از لغزش و سپری شدن ۱۱ سال در مقایسه با ۹ سال پوشش گیاهی مناطق تحت لغزش بهبود و بازیابی بیشتری را داشته‌اند، ولی با این‌حال هنوز بین این مناطق ۱ و ۲ و مناطق شاهد (C۱ و C۲) هنوز تفاوت معنی‌دار زیادی وجود دارد. به‌صورتی‌که فاصلهٔ نقطهٔ ۱۱ سال با مرکز مختصات کمتر از نقطه ۹ سال می‌باشد و سه شاخص شانون، غالبیت و یکنواختی دارای بیشترین تأثیرپذیری و شاخص تنوع دارای کمترین مقدار اثرپذیری بوده است (شکل ۴).



شکل ٤- تجزیه‌وتحلیل PCA گونه‌های علفی، شاخص‌های تنوع زیستی و سن لغزشی

Figure 4. PCA of herbaceous species, biodiversity indices, and landslide age

نتایج همبستگی بین متغیرها نیز با آزمون همبستگی پیرسون انجام شد و نتایج آن نشان داد، بین شاخص‌های تنوع زیستی و گونه‌های علفی و جمع کل گیاهان علفی موجود در مناطق لغزشی با سن ۹ و ۱۱ سال همبستگی شدیدی وجود دارد. در خصوص شاخص‌های تنوع زیستی بیشترین همبستگی مثبت بین شاخص شانون و غالبیت با ۰/۸۸ بود و بیشترین همبستگی منفی نیز بین شاخص تنوع و شانون با ۰/۲۸- مشاهده شد. در خصوص تأثیر گونه‌های علفی بر شاخص‌های تنوع زیستی نیز بیشترین همبستگی بین تعداد کل گیاهان با شاخص شانون با ۰/۵۹ و بعد از آن بین گزنه با شانون ۰/۴۵ وجود داشت و بالاترین همبستگی منفی نیز مربوط به شاخص تنوع و گیاه متامتی ۰/۱۷- بود. بالاترین همبستگی مثبت بین تعداد گونه‌های علفی با بنفشه ۰/۵۲ و بیشترین همبستگی منفی بین فرفیون و پیچک با ۰/۲۴- گزارش شد.

بحث

با توجه به محدود بودن مطالعهٔ حاضر به دو منطقهٔ لغزشی ۱ و۲ از نظر مکانی و در نظر گرفتن این محدودیت در تعمیم نتایج آن به سایر مناطق باید گفت: نتایج پژوهش حاضر نشان داد، زمین‌لغزش‌های کم عمق بر پوشش گیاهی و تنوع زیستی مناطق لغزشی در مقایسه با منطقهٔ مجاور با شیب و جهت یکسان تفاوت معنی‌داری ایجاد می‌کنند و بعد از ایجاد آشفتگی ناشی از لغزش جوانه‌زنی

گیاهان درختی از نظر فراوانی در مقایسه با مناطق شاهد به‌صورت معنی‌داری کاهش پیدا کرده‌اند و از ۸۱ درصد نهال‌ها در منطقهٔ شاهد C۱ و ۷۸ درصد نهال‌ها منطقهٔ شاهد C۲ به ۳ درصد نهال در منطقهٔ لغزشی ۱ و ۹ درصد نهال در منطقهٔ ۲ کاهش یافته‌اند. این تفاوت می‌تواند به‌دلیل جابجایی افقی خاک در اثر لغزش، باز شدن روشنه[1] و تاج‌پوشش، تغییر رطوبت و مدفون شدن بذور درختان از سطح خاک به لایه‌های پایین‌تر و کاهش ریزش بذر از درختان[2] یا در اثر کاهش تاج‌پوشش باشد. یافته‌های این پژوهش با نتایج تحقیقات Gargandipour و همکاران (۲۰۱۷)، Mohammadi Firouz و همکاران (۲۰۲۲) و Deljooi و همکاران (۲۰۱۷) همخوانی دارد.

در مناطق لغزش ۱ و ۲ علی‌رغم کاهش معنی‌دار نونهال‌های درختی افرا، ممرز، توسکا و ازگیل، با افزایش چشمگیر گونه‌های علفی مواجه بوده‌ایم و این گونه‌ها از نظر فراوانی گیاهان و تنوع به‌شدت افزایش یافته‌اند، که این امر می‌تواند نشان‌دهندهٔ تأثیر شدید پدیدهٔ زمین‌لغزش کم عمق و تغییر در شدت نور، رطوبت و تغییر در مواد مغذی خاک و یا تغییر در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و ورود گونه‌های رطوبت و نورپسند، رودرال و مهاجم به مناطق لغزشی باشد، که البته اثبات آن نیازمند تحقیقات لازم در خصوص ضعف رویشگاه و یا از بین رفتن پوشش گیاهی منطقه قبل از لغزش می‌باشد. مثلاً در گونهٔ توسکا که بیشترین همبستگی مثبت با تعداد گیاهان داشته، باید گفت که این گونه، گونه‌ای رطوبت‌پسند و نورپسند است که تحمل بالایی نسبت به آشفتگی دارد. توسکا با دارا بودن ریشه‌های عمیق و توانایی تثبیت نیتروژن خاک، شرایط را برای استقرار سایر گونه‌های درختی فراهم می‌کند. در خصوص گونه‌های درختی موجود در مناطق لغزشی ۱ و ۲ به این نکته نیز باید توجه کرد که گونه‌های درختی موجود در این مناطق غالباً از نوع افرا و توسکا بودند و دو گونهٔ مذکور از گونه‌های نور و رطوبت پسند و متحمل به آشفتگی می‌باشند. با توجه به مطالب فوق و نتایج به‌دست آمده باید گفت که گیاهان درختی و گیاهان علفی موجود در مناطق لغزشی ۱ و ۲ در مقایسه با منطقهٔ شاهد (C۱ و C۲) به‌شدت تحت تأثیر آشفتگی ناشی از حرکت لغزشی قرار داشتند. نتایج این تحقیق با یافته‌های Chakizadeh و همکاران (۲۰۲۳) مطابقت دارد.

نتایج به‌دست آمده از آنالیز چند متغیرهٔ PCA داده‌های موجود گیاهان درختی نشان داد که در مقادیر بردارهای ویژه در مؤلفهٔ اول، تعداد کل نهال‌های درختی و شاخص تنوع شانون–وینر و توسکای ییلاقی بیشترین سهم را در تأثیرپذیری از لغزش اتفاق افتاده را داشته‌اند و شاخص‌های شانون–وینر، غالبیت، بیشترین سهم و شاخص تنوع کمترین سهم را بر این تغییرات داشته‌اند و این امر نشان از تغییر نتایج به‌دست آمده از شاخص‌های تنوع و یکنواختی حاکم بر محیط‌زیست و جامعهٔ گیاهی منطقهٔ لغزشی در مقایسه با عرصه‌های دست‌نخورده جنگل است. بررسی نتایج نمودار PCA نشان داد که در محورهای اول و دوم به‌ترتیب ۳۵/۴ و ۲۰/۲ درصد از کل واریانس را توضیح می‌دهند و نمودار PCA ترسیم شده نیز نشان می‌دهد که داده‌های سه شاخص تنوع زیستی غالبیت، شانون–وینر و یکنواختی و گونهٔ درختی توسکا بیشترین درصد تغییرپذیری را در مناطق لغزش به‌خود اختصاص می‌دهند و در خصوص مدت زمان سپری شده از زمان لغزش نیز باید گفت نقطهٔ ترسیم شده در منطقهٔ لغزشی ۲ با سن ۱۱ سال، به مرکز نمودار نزدیکتر از نقطهٔ رسیمی با سن ۹ سال بوده، که این تفاوت نشان‌دهندهٔ بهبود نسبی ظاهری در روند احیای پوشش گیاهی بعد از ۱۱ سال در مقایسه با ۹ سال بوده است، ولی این امر به هیچ وجه نشان‌دهندهٔ احیاء زادآوری طبیعی جنگل و بازگشت پوشش گیاهی منطقهٔ لغزشی به حالت اولیه و طبیعی خود نمی‌باشد. البته باید گفت با توجه به اینکه مدل PCA انجام شده در محورهای اول و دوم جمعاً ۵۵/۶ درصد واریانس را تبیین می‌کنند، بنابراین بخش قابل‌توجهی از واریانس را تبیین نمی‌شود. ولی با تفسیر تا محور چهارم که ۸۳/۴۷ درصد از واریانس را تبیین می‌کند، می‌توان بیشترین درصد واریانس را تفسیر نمود و عملاً بعد از محور چهارم، محورهای بعدی ارزش چندانی در تفسیر نتایج PCA ارائه نمی‌نمایند.

نتایج همبستگی بین متغیرها نیز نشان داد که بین گونه‌های درختی و شاخص‌های تنوع زیستی شانون–وینر، غالبیت و یکنواختی و گونه‌های درختی در مجموع بیشترین همبستگی مثبت با شاخص شانون را داشته و گونهٔ ازگیل با شاخص تنوع بیشترین همبستگی منفی را نشان داده است، که با توجه به ضعیف بودن این همبستگی، دلیل آن می‌تواند پایین بودن تعداد نونهال‌های ازگیل در مقایسه با سایر گونه‌ها باشد. در میان گونه‌های درختی نیز، بیشترین همبستگی مثبت را توسکا به‌خود اختصاص داده بود. نتایج

[1] Gap

[2] Seed rain

به‌دست آمده در خصوص گونه‌های علفی نیز نشان داد، در مقادیر بردارهای ویژه در مؤلفهٔ اول بیشترین سهم را شاخص‌های تنوع زیستی شانون–وینر و غالبیت داشته و جمع کل گیاهان علفی و گیاه پیچک در مرتبهٔ بعدی قرار داشتند. در مؤلفهٔ دوم نیز گونه‌های جگن، تمشک و بنفشه در تغییرات صورت گرفته بیشترین سهم را به‌خود اختصاص داده‌اند. نتایج نمودار PCA در کل محورهای اول و دوم نیز به‌ترتیب با ۲۲/۶ درصد و ۱۳/۱ درصد از کل واریانس را توضیح می‌دهند.

بررسی نمودار PCA نشان داد که تعداد گیاهان و شاخص‌های تنوع زیستی شانون–وینر و غالبیت، بیشترین تأثیرپذیری را از لغزش داشته‌اند و در سن ۱۱ سال پس از لغزش (با توجه به اینکه به نقطهٔ مرکز محور نسبت به نقطه ۹ سال نزدیکتر است) از نظر پوشش علفی به پایداری نسبی ظاهری نزدیکتر شده است، البته همان‌گونه که در بالا نیز ذکر شد پوشش علفی نمی‌تواند نشان‌دهندهٔ پایداری خاک دامنه‌های جنگل بعد از آشفتگی ناشی از زمین‌لغزش باشد، بلکه احیا گونه‌های بومی درختی منطقه نشان‌دهندهٔ پایداری واقعی عرصهٔ جنگل می‌باشد. نتایج همبستگی بین متغیرها نیز نشان داد که بین شاخص‌های تنوع زیستی و گونه‌های علفی همبستگی شدید وجود دارد و بیشترین همبستگی مثبت بین شاخص شانون–وینر و غالبیت و بیشترین همبستگی منفی بین نتایج شاخص تنوع با شانون–وینر مشاهده شد. همچنین بیشترین همبستگی مثبت بین شاخص‌های تنوع زیستی را شانون–وینر با تعداد کل گیاهان و با گیاه گزنه داشته است و بیشترین همبستگی منفی را نیز شاخص تنوع با گونهٔ متامتی داشته است و در این موارد همگی نشان‌دهندهٔ تغییرات شدید در غنا، تنوع و یکنواختی ایجادشده در جامعهٔ گیاهی منطقه می‌باشد. نتایج این پژوهش با تحقیقات Gilliam و همکاران (۲۰۰۷) و Wei و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر نشان داد که زمین‌لغزش‌های کم‌عمق (با عمق تقریبی ۱۰۰–۲۰ سانتی‌متر و وسعت کمتر از یک هکتار) در کوتاه‌مدت (۹ تا ۱۱ سال) منجر به کاهش ۸ تا ۲۷ برابری نونهال‌های درختی و افزایش ۵ تا ۵/۵ برابری گونه‌های علفی مهاجم می‌شوند. هر چند شاخص شانون–وینر روند بهبود نسبی را در سال ۱۱ نسبت به سال ۹ نشان می‌دهد، اما اختلاف با مناطق شاهد همچنان معنی‌دار است. بنابراین بازیابی کامل ساختار درختی در لغزش‌های کم‌عمق جنگل‌های هیرکانی نیازمند زمانی بیش از یک دهه می‌باشد، ولی هرچه از زمان حرکت لغزشی می‌گذرد شاخص‌های مربوط به احیاء زادآوری طبیعی جنگل در این عرصه‌ها بهبود می‌یابد. به‌طور کلی نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که بعد از وقوع زمین‌لغزش‌های کم عمق و ایجاد آشفتگی ناشی از آن پوشش علفی و درختی در این مناطق در مقایسه با مناطق شاهد و مجاور آن (با شیب و جهت یکسان) به‌شدت تحت تأثیر قرار گرفته و پوشش گیاهی این عرصه‌ها تغییر یافته و زادآوری طبیعی درختان بومی جنگل به مخاطره افتاده است، به‌صورتی‌که جوانه‌زنی و رشد این گونه‌ها در مقایسه با گونه‌های علفی کاهش معنی‌داری را نشان داده‌اند. تفاوت معنی‌دار آماری بین این دو منطقه در سطح یک هزارم دارد (α=۰/۰۰۰) به‌طوری‌که در کوتاه‌مدت علی‌رغم مشاهده روند بهبودی احیا و بازیابی پوشش گیاهی از نظر شاخص‌های تنوع زیستی ولی از از نظر زادآوری جنگل و احیای گونه‌های بومی ارزشمند جنگلی و پوشش درختی منطقهٔ لغزشی هنوز از نظر آماری اختلاف شدیدی بین مناطق لغزشی و مناطق شاهد وجود دارد. با توجه به نتایج شاخص‌های شانون–وینر، تنوع، غالبیت و یکنواختی، در تعداد و نوع گونه‌ها تغییرات عمده‌ای مشاهده شد که در همهٔ گونه‌ها صرف‌نظر از علفی یا درختی بودن، به‌شدت تحت تأثیر این آشفتگی قرار گرفته‌اند که این امر نشان‌دهندهٔ کاهش تعداد گونه‌های درختی در مناطق با آشفتگی و افزایش بسیار زیاد و معنی‌دار گونه‌های علفی در مناطق لغزشی نسبت به مناطق شاهد بوده است، که اصطلاحاً به آن علفی شدن می‌گویند. ولی هر چه به‌مدت زمان سپری شده از زمان لغزش اضافه می‌شود (در این پژوهش از ۹ سال به ۱۱ سال)، نتایج حاصل بیانگر روند بهبود و احیای نسبی پوشش گیاهی دارند، ولی با منطقهٔ شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. با توجه به محدودیت‌های موجود در این پژوهش از نظر زمانی و مالی پیشنهاد می‌شود، در مطالعات بعدی فاکتورهای محیطی خاک (خصوصیات فیزیکی و شیمیایی) رطوبت، نور، pH و عناصر غذایی موجود در سطح خاک مناطق لغزشی در مقایسه با مناطق شاهد نیز مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد، زیرا فاکتورهای محیطی و عناصر غذایی خاک در جوانه‌زنی بذر، استقرار گیاهچه، رشد سریع و رقابت بین گونه‌ای و یا درون گونه‌ای نقش اساسی دارد.

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی

مقاله حاضر با حمایت مالی و معنوی معاونت پژوهشی دانشگاه تهران انجام شد.

مشارکت نویسندگان

نویسندگان به‌طور مساوی در کلیهٔ مراحل طراحی و انجام پژوهش، گردآوری داده‌ها، تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات و نتایج، تهیه پیشنویس مقاله، بررسی و کنترل نتایج، اصلاح، بازبینی و نهایی‌سازی مقاله مشارکت داشتند.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

بیانیه دسترسی به داده‌ها

داده‌های پژوهش حاضر از طریق درخواست از نویسندگان (نویسنده مسئول) قابل دسترسی است.

سپاسگزاری

از داوران محترم به‌خاطر ارائهٔ نظرهای ساختاری و علمی سپاسگزاری می‌شود.

References

Asada, H., Minagawa,T., 2023. Impact of Vegetation Differences on Shallow Landslides: A Case Study in Aso, Japan. Water 15.

Assadi, M., 2023. Flora of Iran 1989-2023 (Vols. 1-183). Research Institute of Forests and Rangelands. (In Persian)

Bijaninejad, A., Fallah, A., Jalilvand, H., Asadi, H., 2024. Evaluation of biodiversity indices for understory plant species in Boxwood (Buxus hyrcana) habitats within the Hyrcanian forests. Forest Ecology of Iran 12(2), 41-58. (In Persian)

Babaei Ahmadabad, A., Jourgholami, M., Etemad, V., Oveisi, M., 2022. Long-term evaluation of vegetation cover of logging routes after logging operations (case study: Kheyrud Forest), Journal of Forst and wood Product 76 (2), 103-111. (In Persian)

Babaei Ahmadabad, A., Hosseini, S. A., 2023. A review of the findings of physical and statistical models to investigate the effect of plant roots on the reduction of shallow landslides. Third National Conference on Environmental Changes (with emphasis on water resources management in coastal areas). (In Persian)

Chekizadeh, A., Hosseini, S. A., Abdi, A., Babaei Ahmadabad, A., 2023. Comparison and evaluation of stabilization of landslide areas with alder by two methods of afforestation and regeneration in Khairud Forest, Nowshahr. Third National Conference on Environmental Changes (with emphasis on water resources management in coastal areas). (In Persian)

Cha, D., Hwang, J., Choi, B., 2018. Landslides detection and volume estimation in Jinbu area of Korea, Forest Science and Technology 61-65.

Deljooi, A., Abdi, A., Majnoonian, B., 2017. The effect of forest roads on the variability of soil characteristics (Case study: Khairud Forest, Nowshahr), Iranian Journal of Forest, Iranian Forestry Association 9(9), 941-994.

Forestry Plan, Neka Series 4, Section 4 .2003. Forest, Range and Watershed Management Organization. 355.

Gargandipour, M., Hosseini, S. A., Abdi, A., Zahedi Amiri, Q., 2017. Comparison of stabilized and non-slip landslide areas in terms of herbaceous biodiversity and some soil characteristics (case study: Patam section, Khairud forest). Ecology of Iranian Forest 5(9).

Godt, J. W. , Baum, R. L. , Savage, W. Z. , Salciarini, D., Schulz, W.H., Harp, E.L., 2008. Eng. Geol, 102 , 214.

Gilliam, F.S., 2007. The ecological significance of the Herbaceous layer in temperate forest ecosystems. Over Review, American Institute of Biological Sciences 14.

Hosseini, S., Hosseini, S. A., 2016. Study of the stabilized and unstabilized landslide area of the forest road excavation wall with respect to the diversity of vegetation (case study: Chachkam series of

Mazandaran wood and paper). Natural Environment, Natural Resources of Iran 69(2), 361-376. (In Persian)

Hosseini, S.A., Babaei Ahmadabad, A., Pouya, H., Hadizadeh, S.J., 2024. Evaluation and comparison of the growth status of plant species in landslide and control areas in series 4 of the Neka Choub forestry plan. Ecology of Iranian Forest 13(2), 3-11. (In Persian)

Kazda, M., Schmid, L., 2008. Clustered distribution of tree roots and soil water exploitation. In: Lüttge U, Beyschlag W,Büdel B, Francis D (eds) Progress in botany 70. Springer-Verlag, Berlin 219-235.

Kuuluvainen, T., 2009. Forest management and biodiversity conservation based on natural ecosystem dynamics in northern Europe: the complexity challenge. Ambio 38, 309-315.

Liang, W.L. 2026. Topographic and hydrological controls on a shallow landslide: Prefailure evidence from a forested headwater catchment, Earth Surface Processes and Landforms 51(7).

Mohammadi Firouz, Kh., Hosseini, S. A., Zahedi, Q., Fakhari, M.A., 2022. Evaluation of the status of the diversity of herbaceous cover of the forest road embankment wall using the bioengineering method in the Surdar Vatashan forestry project, Ecology of Iranian Forest 10(19). (In Persian)

Moos, C., Bebi, P., Graf, F., Mattli, J., Rickli, C., Schwarz, M., 2015. How does forest structure affect root reinforcement and susceptibility to shallow landslides? Earth Surf. Process. Landf 5, 41, 951-960.

Milledge, D., Bellugi, D.G., McKean, J.A., Densmore, A.L., Dietrich, W.E., 2014. Controls on Shallow Landslide Area, Depth, and Shape, American Geophysical Union.

Rechinger, K.H. (ed.). (1963-2015). Flora Iranica. 1-174: Akademische Druck- u. Verlagsanstalt, Graz; 175: Akademische Verlagsgesellschaft, Salzburg; 176-181: Naturhistorisches Museum, Wien.

Sadat Mousavi, H.S., Attar Sahragard, F., 2024. Introduction to Plant Biodiversity Indices and Their Calculation Using PAS Software. Zist-Sepehr Student Journal 17(2), 29-42. (In Persian)

Stokes,A , Atger ,C, Bengough,A.G , Fourcaud,T ,Sidle, R.C., 2009. Desirable plant root traits for protecting natural and engineered slopes against landslides. Plant Soil 324.

Wei, L., Hulin, F., Chevalier, R., Archaux, F., Gosselin, F., 2016. Is plant diversity on tractor trails more influenced by disturbance than by soil characteristics? Forest Ecology and Management 379, 173-184.

Walker, L.R. , A.B. Shiels., 2012. Landslide Ecology. Cambridge University Press.

Zhang, Y., Chen, H.Y.H., Reich, P.B., 2012. Forest productivity increases with evenness, species richness and trait variation: a global meta-analysis. Journal of Ecology 100(3), 742-749.