

مهمترین عوامل تأثیرگذار بر تنوع گونه‌ای درختی در جنگل‌های هیرکانی چیست؟ هوش مصنوعی پاسخ می‌دهد

محمود بیات*

* استادیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، تهران، ایران. mbayat@rifr-ac.ir

چکیده

حفظ تنوع زیستی و غنای گونه‌ای درختی در جنگل‌های هیرکانی یکی از مهمترین وظایف مدیران و جنگلبانان است. عوامل زیادی بر تنوع گونه‌ای این جنگل‌ها اثرگذارند که از آن جمله می‌توان به عوامل توپوگرافی یعنی ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت دامنه اشاره کرد. از آنجا که پیدایش و پراکنش جوامع جنگلی نتیجه ارتباط متقابل بین عناصر زیستی و عوامل محیطی فیزیکی است، در نتیجه بررسی این عوامل از اهمیت زیادی برخوردار است. امروزه استفاده از روش‌های کلاسیک رگرسیون و روش‌های نوین هوش مصنوعی به‌علت مزایای زیاد، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. هدف از این نوشتار، معرفی مهمترین عامل‌های تأثیرگذار بر تنوع گونه‌ای درختی در جنگل‌های هیرکانی به کمک مدل‌های هوش مصنوعی است. ترکیبی از روش‌های ناپارامتریک شامل، جنگل تصادفی (RF) و ماشین بردار تصمیم‌گیری (SVM) و مدل‌های رگرسیون خطی برای مدل‌سازی و بررسی رابطه بین تنوع درخت و عوامل زنده و غیرزنده مورد استفاده قرار گرفت. متغیرهای زنده و غیرزنده به ترتیب شامل تعداد درختان در هکتار، قطر برابر سینه، سطح مقطع برابر سینه قطورترین درختان (BAL)، شیب، جهت و ارتفاع از سطح دریا بود. نتایج حاصل از مدل‌سازی یادگیری ماشین نشان داد که ارتفاع از سطح دریا و عامل رقابت مهمترین عوامل تأثیرگذار بر تنوع زیستی درختی در جنگل‌های هیرکانی می‌باشند. به‌علت پیچیدگی‌ها و ناشناخته بودن عوامل تأثیرگذار بر تنوع زیستی در جنگل، امروزه استفاده هرچه بیشتر از روش‌های هوش مصنوعی پیشنهاد و توصیه می‌گردد. با شناخت عوامل تأثیرگذار می‌توان با مدیریت این عوامل و عملیات پرورشی، به حفظ و احیاء جنگل‌ها کمک کرد. یکی از مهمترین عوامل تأثیرگذار بر تنوع زیستی با کمک مدل‌های هوش مصنوعی، عامل رقابت است که ناشی از تأثیر درختان قطور در جنگل است و با مدیریت این درختان قطور می‌توان رقابت در جنگل را به نفع گونه‌های نخبه مدیریت کرد.

واژگان کلیدی: ارتفاع از سطح دریا، جنگل تصادفی، هوش مصنوعی.

بیان مسأله

جنگل‌های شمال ایران از منظر تنوع گونه‌های گیاهی، یکی از غنی‌ترین و با ارزش‌ترین اکوسیستم‌های جنگلی در مناطق معتدله جهان شناخته می‌شوند و شامل تقریباً ۸۰ گونه درختی و ۵۰ گونه درختچه‌ای به صورت طبیعی است (مروری مهاجر، ۱۳۹۴). عوامل زیادی بر تنوع گونه‌ای این جنگل‌ها اثرگذارند که از آن جمله می‌توان به عوامل توپوگرافی یعنی ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت دامنه اشاره کرد. از آنجا که پیدایش و پراکنش جوامع جنگلی نتیجه ارتباط متقابل بین عناصر زیستی و عوامل محیطی فیزیکی است، در نتیجه بررسی این عوامل از اهمیت زیادی برخوردار است (Yao et al., 2020).

استفاده از مدل‌سازی و اصول آماری، به درک تغییرات تنوع زیستی در طول زمان کمک فراوانی می‌کند. با این حال، یکی از چالش‌برانگیزترین موضوعات در مدل‌سازی بوم‌سازگان جنگلی، درک رابطه بین تنوع زیستی و عوامل محیطی است. اگرچه در سال‌های اخیر این موضوع مورد توجه تحقیقات بسیاری قرار گرفته و در این زمینه تحقیقات گسترده‌ای انجام شده است اما هنوز نکات نامعلوم زیادی در ارتباط با تغییرات تنوع زیستی و عوامل تأثیرگذار بر آن باقی مانده است که ضرورت بر انجام پژوهش‌های بیشتر در این باره بسیار زیاد است.

مطابق با بسیاری از پژوهش‌های انجام شده، ترکیب بوم‌سازگان جنگلی نتیجه فعل و انفعالات زیست‌شناختی بوده و همراه با تأثیرات زیست‌محیطی تغییر می‌یابد (Yao et al., 2020). در سال‌های اخیر، مدل‌های ناپارامتریک یادگیری ماشین^۱ برای بررسی تأثیر تغییرات شرایط محیطی بر تنوع زیستی، به‌طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. یادگیری ماشین، یکی از مهمترین شاخه‌های هوش مصنوعی است که به دلیل مزایای چشمگیر آن در برخی شرایط، برای تجزیه و تحلیل داده‌های جنگل نیز بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد که از آن جمله کاربرد یادگیری ماشین برای بهبود برآورد متغیرهای جنگل در سطح محلی، منطقه‌ای و جهانی در این اکوسیستم‌ها است (Bayat et al., 2019b).

مدل‌های یادگیری ماشین شامل؛ الگوریتم ماشین‌بردار پیش‌بین (SVM) و مدل جنگل‌های تصادفی (RF) بوده و سعی شده تا مهمترین متغیرهای زنده شامل؛ میانگین قطر برابر سینه در قطعه نمونه (DBH)، سطح مقطع قطورترین درختان به متر مربع در هکتار (BAL)، سطح مقطع درختان به مترمربع در هکتار (BA)، تعداد درخت در هکتار و متغیرهای غیرزنده شامل؛ شیب، جهت و ارتفاع، در نظر گرفته شده و وارد مدل شوند.

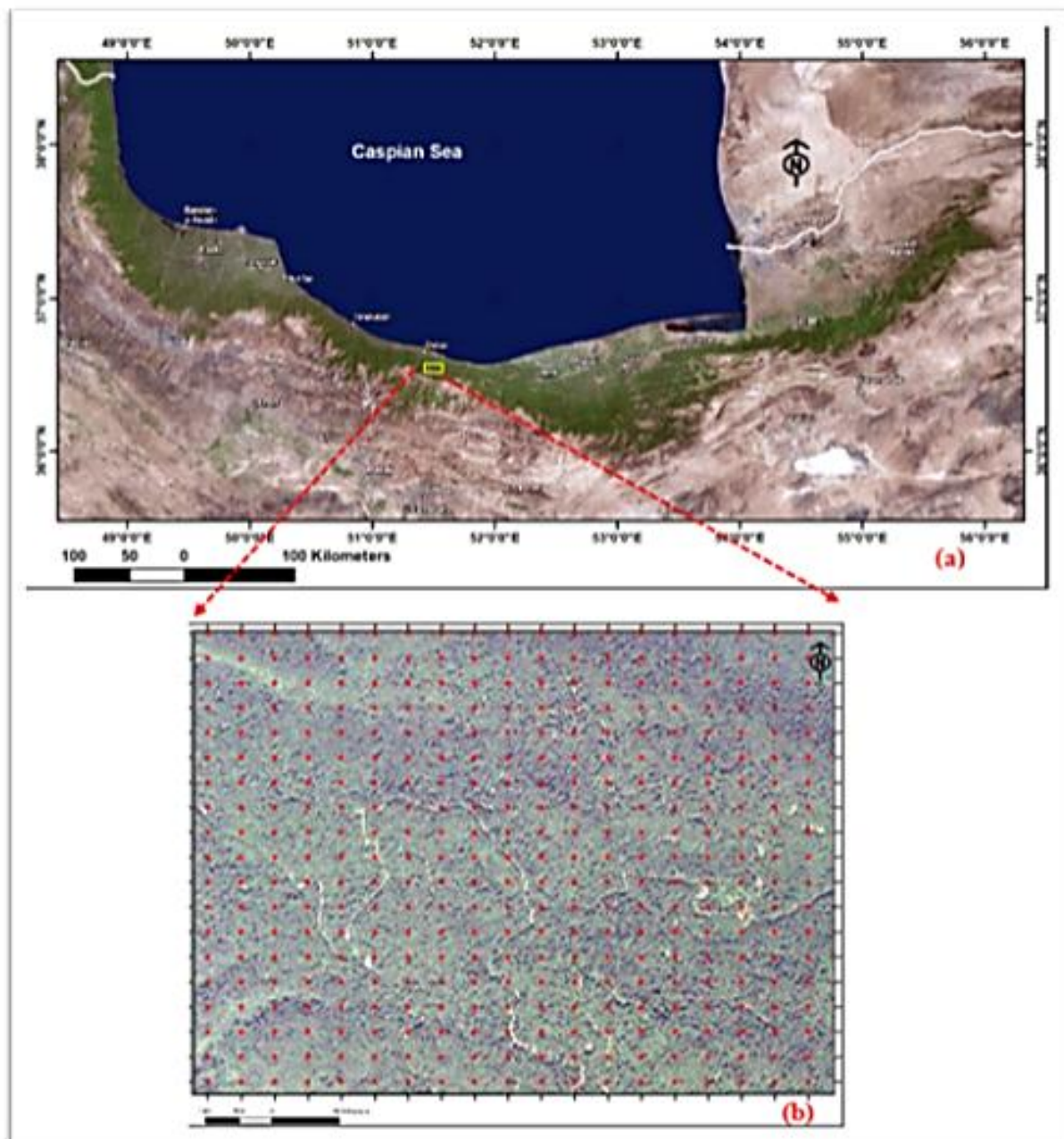
جنگل‌های شمال ایران در جنوب دریای مازندران و در امتداد دامنه‌های شمالی رشته کوه البرز از آستارا در غرب تا گلیداغی در شرق را پوشش می‌دهد. گونه‌های اصلی درختان در جنگل‌های هیرکانی عبارتند از؛ راش، ممرز، بلوط بلندمازو، افرا پلت، افرا شیردار، نم‌دار، انجیلی، ملج، لرگ و توسکای بیلاقی (Borque and Bayat, 2015). از نظر تقسیم جهانی، این جنگل‌ها، جنگل‌های پهن‌برگ خزان‌کننده و دارای آب و هوای مرطوب نیمه‌مدیترانه‌ای هستند، اما تعداد کمی از درختان سوزنی برگ نیز در این جنگل‌ها یافت می‌شوند که سرخ‌دار و ارس از مهمترین این گونه‌ها می‌باشند. میانگین بارندگی سالانه از ۶۰۰ میلی‌متر در شرق تا ۲۰۰۰ میلی‌متر در غرب جنگل‌ها (آستارا) متغیر است (Alavi et al., 2019). شکل ۱، موقعیت جنگل‌های هیرکانی در شمال ایران و تصاویری از این رویشگاه‌ها را نشان می‌دهد.

نحوه پراکنش و اندازه‌گیری در قطعات نمونه دائم برای تعیین غنای گونه‌ای جنگل

به کمک یک شبکه آماربرداری مستطیلی ۱۵۰×۲۰۰ مترمربعی، با شدت آماربرداری ۳/۳ درصد، تعداد مورد نیاز قطعه نمونه دائمی دایره‌ای شکل به مساحت ۱۰ آر، به‌طور منظم (سیستماتیک) تصادفی، در سطح بخش در جنگل‌های هیرکانی و در سه استان شمالی کشور شامل استان‌های مازندران، گیلان و گلستان پراکنده شد. امروزه استفاده از قطعات نمونه دائمی به

¹ Machine Learning

علت مزایای بسیار زیاد آن، از قبیل پایش و بررسی تغییرات جنگل در بلندمدت، در جنگل‌ها بسیار رایج و مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این تحقیق رویشگاه‌های مختلف، با ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت متفاوت انتخاب شدند که شامل رویشگاه‌های ناو اسالم، چفروود، لوه، رامسر، خیرود سنگده، هفتخال و سردآبرود می‌باشند. در داخل قطعه نمونه، قطر برابر سینه تمام درختان زنده که در ارتفاع برابر سینه، قطری بزرگتر از $7/5$ سانتی متر داشتند به کمک خط‌کش دوبازو، اندازه‌گیری و مقادیر آنها در طبقات یک سانتی متری در فرم‌های آماربرداری به تفکیک گونه یادداشت شد.



شکل ۱- جنگل‌های هیرکانی در شمال کشور و شبکه آماربرداری ۲۰۰ در ۱۵۰

دستاوردها

معرفی مهمترین عوامل تأثیرگذار بر تنوع گونه‌ای درختی در جنگل‌های شمال کشور

- عوامل فیزیوگرافیک

عوامل فیزیوگرافی شامل ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت، تأثیر قابل توجهی بر پوشش گیاهی یک منطقه دارند و ارتفاع از سطح دریا، عامل تعیین‌کننده‌ای در تعیین دما و رژیم آب و هوایی یک منطقه است. در یک ارتفاع مشخص، شیب و جهت شیب بر نور تابیده شده در منطقه تأثیر می‌گذارند و باعث تشکیل خرد اقلیم‌های موجود در جنگل می‌شود (Bayat et al., 2021).

- عوامل زنده تأثیرگذار بر تنوع گونه‌ای

سطح مقطع درختان به مترمربع در هکتار: این معیار در واقع به‌عنوان مجموع سطح مقطع درختان در قطرهای اندازه‌گیری شده و در هر هکتار بیان می‌شود. سطح مقطع در واحد سطح شاخص مهمی در مدیریت و اکولوژی جنگل است که برای بررسی ساختار جنگل مورد استفاده قرار می‌گیرد و همچنین با عامل حجم در هکتار توده‌های جنگلی در ارتباط است.

- سطح مقطع بزرگترین درختان ۱ در هکتار

این شاخص یکی از مهمترین شاخص‌های تعیین رقابت در جنگل است و از آنجا که با نور در دسترس درختان در ارتباط می‌باشد، از اهمیت زیادی برخوردار است. میزان نور موجود در درختان کوچک با افزایش BAL کاهش می‌یابد (Burkhart & Tomé, 2012). هرچه درخت قطر کمتری داشته باشد، عامل رقابت BAL تأثیر بیشتری روی آن درخت دارد.

- شاخص تنوع زیستی شانون وینر

شاخصی اکولوژیک است که در آن تنوع گونه‌های موجود در یک جامعه زیستی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. معروف‌ترین شاخصی که تاکنون برای تنوع ابداع شده است، شاخص تنوع شانون وینر به سال ۱۹۴۸ می‌باشد (پوربایبی و حقگوی، ۱۳۹۲).

روش‌های مدل‌سازی

مدل ماشین‌بردار پشتیبان^۲ یکی از روش‌های یادگیری ماشین بوده که نتایج آن وابسته به تنظیم درست و صحیح پارامترهای ورودی مدل است. این روش، یک روش آماری ناپارامتری و نظارت شده و در واقع یک نوع طبقه‌بندی باینری است (Mountrakis et al., 2011). مدل جنگل تصادفی^۳، نیز یک الگوریتم یادگیری ماشین نظارت شده مبتنی بر درخت تصمیم‌گیری بوده که در آن تعداد زیادی درخت تصمیم‌گیری ایجاد و درختان برای پیش‌بینی، ترکیب می‌گردند. این روش، روشی جدید و قدرتمند است که پیشرفت‌های خوبی در داده‌کاوی و مدل‌سازی ارائه داده (جعفریان و کارگر، ۱۳۹۶) و در حال حاضر یکی از بهترین الگوریتم‌های یادگیری است. این مدل، طبقه‌بندی با دقت بالا را برای بسیاری از مجموعه‌های داده انجام می‌دهد (Lee et al., 2017). درخت تصمیم‌گیری، ابزاری قدرتمند و مفید برای طبقه‌بندی و پیش‌بینی است.

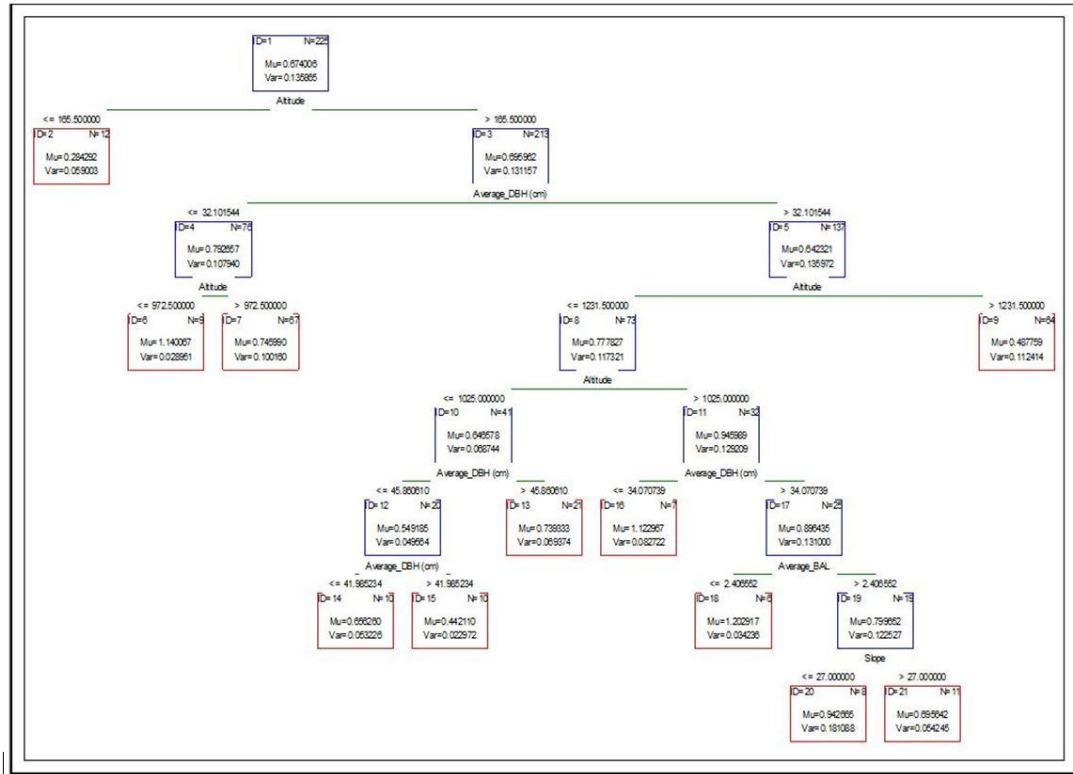
درخت حاصل (شکل ۲)، شامل گره‌های زیادی است که توسط شاخه‌ها به هم متصل شده‌اند. در شکل ۲، هر گره حاوی اطلاعاتی در مورد تعداد نمونه‌ها (N) در آن گره و توزیع مقادیر متغیر وابسته است. موارد موجود در گره ریشه همه مشاهدات

¹ Basal Area in Largest tree (BAL)

² Support Vector Machine (SVM)

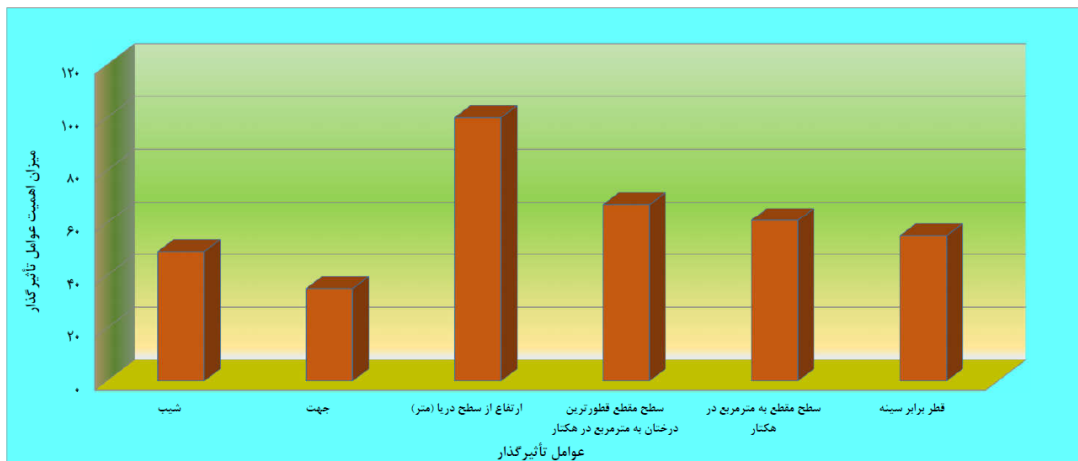
³ Random Forest model

موجود در مجموعه آموزش است. مهمترین متغیرهای تصمیم‌گیری در این مدل به ترتیب، ارتفاع با اهمیت ۱/۰، سطح مقطع قطورترین درختان در هکتار با اهمیت ۰/۶۷، سطح مقطع در هکتار با اهمیت ۰/۶۱، قطر برابر سینه با اهمیت ۰/۵۵، شیب با اهمیت ۰/۴۹ و جهت با اهمیت ۰/۳۵ است. همچنین، بر اساس نتایج به دست آمده، مدل‌سازی با هفت متغیر در هر گره ($K=8$) منجر به حداقل جذر میانگین خطا (RMSE) شد و به عنوان K بهینه انتخاب شد.



شکل ۲- درخت تصمیم‌گیری حاصل از جنگل تصادفی

شکل ۳، نتیجه مدل‌سازی با مدل جنگل تصادفی را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، در مدل جنگل تصادفی که به عنوان بهترین مدل یادگیری ماشین شناخته شده است، عوامل ارتفاع از سطح دریا و سطح مقطع بزرگترین درختان، به ترتیب به عنوان مهمترین عوامل تعیین کننده تنوع گونه‌ای درختی شناخته شدند.



شکل ۳- میزان اهمیت عوامل تأثیرگذار در مدل جنگل تصادفی (بهترین مدل یادگیری ماشین)

توصیه ترویجی

در این نوشتار برای مدل‌سازی تنوع گونه‌ای درختی، از روش‌های ناپارمتریک (یادگیری ماشین)، شامل مدل جنگل تصادفی و ماشین بردار تصمیم‌گیری استفاده شد. مقایسه ضرایب تعیین و ارزیابی صحت روش‌های مختلف برآورد نشان می‌دهد که روش‌های جنگل تصادفی منجر به بهترین مدل‌ها شده است.

با توجه به نتایج تجزیه و تحلیل حساسیت، عامل ارتفاع از سطح دریا مهمترین عامل موثر بر تنوع زیستی در مدل انتخاب شده (RF) است. دومین عامل تأثیرگذار، سطح مقطع درختان قطور به‌عنوان عامل رقابت است. عامل ارتفاع از سطح دریا با شاخص تنوع زیستی دارای ارتباط و همبستگی منفی معنی‌دار بود. به این معنی که با افزایش ارتفاع از سطح دریا، شاخص‌های تنوع گونه‌های درختی به‌طور مشخصی کاهش یافته است. مهمترین دلیل آن می‌تواند کاهش دما به ازای افزایش ارتفاع از سطح دریا باشد، چرا که با توجه به وجود سرما در ارتفاعات بالا، شرایط برای حضور برخی گونه‌ها نامساعد شده و به‌همین دلیل با افزایش ارتفاع از سطح دریا، تنوع زیستی کاهش می‌یابد. بنابراین توصیه می‌شود:

۱. به علت پیچیدگی‌ها و ناشناخته بودن عوامل تأثیرگذار بر تنوع زیستی در جنگل، امروزه استفاده هرچه بیشتر از روش‌های هوش مصنوعی پیشنهاد و توصیه می‌شود.
۲. با شناخت عوامل تأثیرگذار بر تنوع زیستی که با استفاده از روش‌های هوش مصنوعی امکان‌پذیر می‌باشد، می‌توان با مدیریت این عوامل و عملیات پرورشی، به حفظ و احیاء جنگل‌ها کمک کرد.
۳. یکی از مهمترین عوامل تأثیرگذار بر تنوع زیستی به کمک مدل‌های هوش مصنوعی، عامل رقابت است که ناشی از تأثیر درختان قطور در جنگل است و با مدیریت این درختان قطور می‌توان رقابت در جنگل را به نفع گونه‌های نخبه مدیریت کرد.

فهرست منابع

- پوربابایی، ح. و حفگوی، ط. ۱۳۹۲. تأثیر عوامل فیزیوگرافیک بر تنوع گونه‌های درختی (تحقیق موردی: پارک جنگلی کندلات، گیلان). فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۲۱ (۲): ۲۵۵-۲۴۳.
- جعفریان، ز. و کارگر، م. ۱۳۹۶. مقایسه مدل‌های جنگل تصادفی (RF) و درخت رگرسیون تقویت شده (BRT) در پیش‌بینی حضور گونه‌های غالب مرتعی در مراتع پلور، مازندران. بوم‌شناسی کاربردی. ۶ (۱): ۵۴-۴۱.
- مروی مهاجر، م. ۱۳۹۴. جنگل‌شناسی و پرورش جنگل. انتشارات دانشگاه تهران، ۳۸۷ ص.
- Alavi, S.J., Ahmadi, K., Hosseini, S.M., Tabari, M. and Nouri, Z. 2019. The response of English yew (*Taxus baccata* L.) to climate change in the Caspian Hyrcanian Mixed Forest ecoregion. *Regional Environmental Change*, 19 (5): 1495-1506.
- Bayat, M., Burkhart, H., Namiranian, M., Hamidi, S.K., Heidari, S. and Hassani, M. 2021. Assessing biotic and abiotic effects on biodiversity index using machine learning. *Forests*, 12 (4): 461.
- Bayat, M., Noi, P.T., Zare, R. and Bui, D.T. 2019b. A semi-empirical approach based on genetic programming for the study of biophysical controls on diameter-growth of *Fagus orientalis* in northern Iran. *Remote Sensing*, 11 (14), Article 1680.
- Bourque, C.P.A. and Bayat, M. 2015. Landscape variation in tree species richness in northern Iran forests. *PLoS ONE*, 10 (4), e0121172.
- Lee, S., Kim, J.C., Jung, H.S., Lee, M.J. and Lee, S. 2017. Spatial prediction of flood susceptibility using random-forest and boosted-tree models in Seoul metropolitan city, Korea. *Geomat. Nat. Hazard. Risk*, 8: 1185-1203.

Mountrakis, G., Im, J. and Ogole, C. 2011. Support Vector Machines in Remote Sensing: A Review, ISPRS. Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 66: 247-259.

Yao, L., Ding, Y., Xu, H., Deng, F., Yao, L., Ai, X. and Zang, R. 2020. Patterns of diversity change for forest vegetation across different climatic regions-A compound habitat gradient analysis approach. Global Ecology and Conservation, p.e01106.