Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Ecology of Iranian Forests, Vol. 12, Issue 2, 2024 p: 15-25

OPEN ACCESS

Research Paper

Does the Frequency of Fog Affect the Structural Properties of *Fagus orientalis* in the Hyrcanian Forest?

Seyedeh Fatemeh Hosseini[1], Hamid Jalilvand[2], Asghar Fallah[2], Hamed Asadi[3], and Mahya Tafazoli[4]

1- Ph.D. Student, Department of Forest Science and Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
2- Professor, Department of Forest Science and Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
3- Assistant Professor, Department of Forest Science and Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, (Corresponding author: h.asadi@sanru.ac.ir)
4- Ph.D. in Forest Soil Science, Department of Forest Science and Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

Received: 12 February, 2024 Accepted: 17 May, 2024

Extended Abstract

Background: Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) is one of the well-known industrial species of Hyrcanian forests that spreads from the west to east of these forests. Human activities have caused significant damage to Hyrcanian forests, and this issue highlights the importance of identifying factors affecting the structural characteristics of trees, especially beech, for the optimal management of these forests and the restoration of degraded areas. Considering the effect of environmental factors on the structural characteristics (the basal area and number per hectare) and the distribution of trees, the knowledge of their ecological requirements can be used to prepare programs for the protection and development of forests. Previous research about factors affecting the distribution of this species focused on topographical variables and the effects of climate change. Thus, No research has so far investigated the effect of the frequency of fog occurrence on the structural characteristics of this species. Therefore, the effect of topographical variables (height above sea level, slope, and direction), temperature, relative humidity, and fog on the number per hectare, basal area, and the presence of beech species was investigated in the present study using a generalized linear model (GLM). The results of this research and other studies on the future data from the forests of northern Iran can help predict possible changes in the distribution of species, especially beech species, under the effect of global warming.

Methods: To carry out this research, beech species data were obtained from the forest inventory data bank in the north of Iran. Because no meteorological station was available for the whole region of Hyrcanian forests, meteorological data were obtained from the POWER project of the National Aeronautics and Space Administration of the USA. Since fog is defined as water droplets suspended near the earth's surface, which reduces horizontal visibility to less than one kilometer, the occurrence of fog was determined using the horizontal visibility index. After preparing the data, first the number of trees per hectare and then the basal area of trees were calculated in each sample plot. The collected data were separated based on the presence or absence of beech. Data were analyzed using GLM and cross-validation evaluation in R software and the caret package.

Results: The results of the correlation between the independent variables showed that the amount of precipitation had a significant and high correlation with relative humidity, hence the precipitation variable was removed from the modeling. The GLM showed acceptable accuracy for predicting the number of trees per hectare ($R^2 = 0.16$), basal area ($R^2 = 0.16$), and the presence of beech species (AUC = 0.75). The fog, height above sea level, and relative air humidity variables had a positive relationship with all three traits (number per hectare, basal area, and the presence of beech species) while temperature was negatively related only to the presence of beech species. The aspect variable had a positive and significant relationship with the number of beech trees per hectare and basal area, respectively, but it was not significantly related to the presence of this species. The height above sea level was the most important variable for predicting the number of trees per hectare, the basal area, and the presence of beech species. Relative humidity was the second most important variable for predicting the number of trees per hectare and basal area while fog was the second most important variable for the presence of beech species. The temperature, slope, and aspect had a significance of less than 20%.

Conclusion: The reason for the higher relative importance of the height above sea level can be attributed to low temperature and high rainfall as the optimal conditions for the growth of the beech tree; these conditions are directly related to the height above sea level. Our results also determine the importance of relative humidity and the occurrence of fog in the distribution of beech species. The high importance of the relative humidity variable may result from the fact that beech is generally described as adapting to full-shade to partial-shade conditions. Since the

Copyright ©2024 Hosseini et al. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 Unported License, which allows users to read, copy, distribute, and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

northern aspect (in the Northern Hemisphere) generally receives less direct sunlight and is usually cooler, this species usually establishes in the northern direction in the Hyrcanian forest. On the other hand, since relative humidity increases with decreasing temperature, it can be concluded that beech prefers higher relative humidity. In the forests of mountainous areas and near the coast, the number of fog occurrences is high due to high air humidity and altitude. Finally, this phenomenon leads to rain fog and increases the amount of water reaching the forest floor. Therefore, it can be stated that the occurrence and production of fog play a pivotal role in providing the water needs of beech trees due to the high moisture requirement of this species. The high importance of relative air humidity and the occurrence of fog in the distribution of beech species necessitate additional studies regarding the accurate estimation of the occurrence and amount of fog in Hyrcanian forests. Studies on fog and its effects on vegetation, particularly in temperate regions, can provide valuable insight into the potential benefits of fog for this species. Given the lack of studies, it is suggested to investigate the effects of other environmental factors, including soil properties, on the distribution of beech species.

Keywords: Beech species distribution, Fog precipitation, Horizontal visibility index, Climate change, Generalized linear model.

How to Cite This Article: Hosseini, S. F., Jalilvand, H., Fallah, A., Asadi, H., & Tafazoli, M. (2024). Does the Frequency of Fog Affect the Structural Properties of *Fagus orientalis* in the Hyrcanian Forest? *Ecol Iran For,* 12(2), 15-25. DOI: 10.61186/ifej.12.2.15

مقاله پژوهشی

آیا فراوانی وقوع مه بر ویژگی‌های ساختاری راش در جنگل‌های هیرکانی تأثیر دارد؟

سیده فاطمه حسینی[۱]، حمید جلیلوند[۲]، اصغر فلاح[۲]، حامد اسدی[۳] و محیا تفضلی[۴]

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۲- استاد گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۳- استادیار گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، (نویسنده مسوول: h.asadi@sanru.ac.ir)
۴- دانش‌آموخته دکتری علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۲۸
صفحه: ۱۵ تا ۲۵

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: راش (*Fagus orientalis* Lipsky) از مهمترین گونه‌های صنعتی جنگل‌های هیرکانی است که از غرب تا شرق این جنگل‌ها گسترش دارد. فعالیت‌های انسانی باعث آسیب قابل‌توجهی به جنگل‌های هیرکانی شده و این موضوع اهمیت شناسایی عوامل مؤثر بر ویژگی‌های ساختاری درختان به‌ویژه راش را در مدیریت بهینه این جنگل‌ها و احیاء مناطق تخریب شده بیش از پیش مشخص می‌کند. با توجه به تأثیر عوامل محیطی روی ویژگی‌های ساختاری (سطح مقطع و تعداد در هکتار) و پراکنش درختان، آگاهی از خواهش‌های بوم‌شناختی آنها می‌تواند به‌منظور تدوین برنامه‌های حفاظت، احیاء و توسعهٔ منابع جنگلی مورد استفاده قرار گیرد. پژوهش‌های پیشین در خصوص عوامل مؤثر بر پراکنش این گونه روی متغیرهای توپوگرافی و اثرات تغییر اقلیم متمرکز بود و تاکنون پژوهشی در مورد اثر فراوانی وقوع مه بر ویژگی‌های ساختاری این گونه انجام نشده است. بنابراین در پژوهش حاضر اثر متغیرهای توپوگرافی (ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت)، دما، رطوبت نسبی و مه روی تعداد در هکتار، سطح مقطع و حضور گونه راش با استفاده از مدل خطی تعمیم یافته بررسی شد. نتایج حاصل از تحقیق حاضر و همچنین سایر مطالعات آتی بر روی داده‌هایی که در آینده از جنگل‌های شمال کشور تهیه خواهد شد، می‌تواند برای پیش‌بینی تغییرات احتمالی در پراکنش گونه‌ها به‌ویژه گونه راش تحت تأثیر گرمایش جهانی مؤثر باشد.

مواد و روش‌ها: برای انجام این پژوهش داده‌های گونه راش از بانک داده‌های آماربرداری جنگل‌های شمال کشور تهیه شد. با توجه به این‌که ایستگاه هواشناسی برای کل منطقه جنگل هیرکانی وجود ندارد، بنابراین داده‌های هواشناسی از پروژه POWER مربوط به سازمان ملی هوانوردی و فضایی ایالات متحده آمریکا تهیه شد. از آنجایی‌که مه به‌عنوان قطرات آب معلق در نزدیکی سطح زمین تعریف می‌شود که دید افقی را به کمتر از یک کیلومتر کاهش می‌دهد، وقوع مه با استفاده از شاخص دید افقی تعیین شد. پس از تهیه داده‌ها، ابتدا تعداد در هکتار درختان و سپس سطح مقطع درختان در هر قطعه نمونه محاسبه شد. همچنین داده‌های جمع‌آوری شده بر اساس حضور و عدم حضور راش نیز تفکیک شد. در نهایت تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از مدل خطی تعمیم یافته و روش ارزیابی متقابل در نرم‌افزار R و بسته caret انجام شد.

یافته‌ها: نتایج بررس همبستگی بین متغیرهای مستقل نشان داد که مقدار بارش با رطوبت نسبی همبستگی معنی‌دار و بالایی داشت، بنابراین در ادامه محاسبات متغیر بارش حذف شد. مدل خطی تعمیم یافته دقت قابل قبولی برای پیش‌بینی تعداد در هکتار (R^2=۰/۱۶)، سطح مقطع (R^2=۰/۱۶) و حضور گونه راش (AUC = ۰/۷۵) داشت. متغیرهای مه، ارتفاع از سطح دریا و رطوبت نسبی هوا رابطه مثبت با هر سه ویژگی تعداد در هکتار، سطح مقطع و حضور گونه راش داشت؛ درحالی‌که دما فقط با حضور گونه راش رابطه منفی داشت. همچنین متغیر جهت نیز رابطه مثبت و معنی‌داری با تعداد در هکتار و سطح مقطع درختان راش داشت ولی با حضور این گونه رابطه معنی‌داری نداشت. متغیر ارتفاع از سطح دریا بالاترین اهمیت را برای پیش‌بینی تعداد در هکتار، سطح مقطع و حضور گونه راش داشت. رطوبت نسبی دومین متغیر مهم برای پیش‌بینی تعداد در هکتار و سطح مقطع بود درحالی‌که برای حضور گونه راش، مه دومین متغیر مهم ارزیابی شد. متغیرهای دما، شیب و جهت اهمیت نسبی کمتر از ۲۰ درصد داشتند.

نتیجه‌گیری: دلیل اهمیت نسبی ارتفاع از سطح دریا می‌تواند ناشی از این مسأله باشد که شرایط بهینه برای رشد درخت راش دمای پایین و بارندگی زیاد است؛ که این شرایط ارتباط مستقیمی با ارتفاع از سطح دریا دارد. همچنین نتایج پژوهش حاضر اهمیت رطوبت نسبی و وقوع مه را در پراکنش گونه راش مشخص کرد. دلیل اهمیت بالای متغیر رطوبت نسبی ممکن است به‌دلیل این واقعیت باشد که راش به‌طور کلی به‌عنوان سازگار با شرایط سایه کامل تا نیمه‌سایه توصیف می‌شود. از آنجایی‌که جهت شمالی (در نیمکره شمالی) عموماً کمتر نور مستقیم خورشید را دریافت می‌کند و معمولاً خنک‌تر است، این گونه معمولاً در جهت شمالی در جنگل هیرکانی مستقر می‌شود. از سوی دیگر، از آنجایی‌که با کاهش دما، رطوبت نسبی افزایش می‌یابد، می‌توان نتیجه گرفت که راش رطوبت نسبی بیشتر را ترجیح می‌دهد. در جنگل‌های نواحی کوهستانی و نزدیک به ساحل، به‌دلیل بالا بودن رطوبت هوا و ارتفاع، تعداد رخدادهای مه زیاد است. در نهایت این پدیده منجر به مه بارش می‌شود مقدار آب رسیده به کف جنگل را افزایش می‌دهد. بنابراین می‌توان بیان کرد که با توجه به نیاز رطوبتی بالای درختان راش، وقوع مه و تولید مه‌بارش نقش بسیار مهمی در تأمین نیاز آب درختان راش دارد. با توجه به اهمیت بالای رطوبت نسبی هوا و وقوع مه در پراکنش گونه راش، انجام مطالعات تکمیلی درخصوص تخمین دقیق وقوع مه و میزان مه‌بارش در جنگل‌های هیرکانی لازم و ضروری به‌نظر می‌رسد. مطالعات در مورد مه و تأثیر آن بر پوشش گیاهی، به‌ویژه در مناطق معتدل، می‌تواند بینش ارزشمندی در مورد مزایای بالقوه مه برای این گونه ارائه دهد. همچنین با توجه به کمبود مطالعات پیشنهاد می‌شود اثر سایر عوامل محیطی از جمله ویژگی‌های خاک روی پراکنش گونه راش نیز مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: پراکنش گونه راش، مه‌بارش، شاخص دید افقی، تغییر اقلیم، مدل خطی تعمیم یافته

مقدمه

گونه‌های جنس *Fagus* به‌طور وسیعی در بخش‌هایی از اوراسیا با بارندگی کافی و دماهای متوسط پراکنش دارند (Fang and Lechowicz, 2006; Dagtekin *et al*., 2020). از میان جنس *Fagus*، یکی از رایج‌ترین گونه‌های پهن برگ در غرب اوراسیا، راش (*Fagus orientalis* Lipsky) است. محدوده پراکنش طبیعی راش شامل کشورهای بلغارستان، یونان، ترکیه، جنوب روسیه، کریمه، گرجستان، آذربایجان، ارمنستان و ایران است (Ertekin *et al*., 2015). در این مناطق، گونه راش از سطح دریا تا ارتفاع ۲۱۰۰ متر حضور می‌یابد (Papageorgiou *et al*., 2008). راش یکی از اصلی‌ترین گونه‌های درختی بومی در جنگل‌های هیرکانی است که از غرب (آستارا) تا شرق (دره زیارت واقع در گرگان) این

جنگل‌ها گسترش دارد. این گونه حدود ۱۷/۶ درصد از کل مساحت جنگل‌های هیرکانی ایران را پوشش می‌دهد و حدود ۳۰ درصد از حجم و ۲۳/۶ درصد از تعداد در هکتار درختان را در بر می‌گیرد (Sagheb talebi *et al*., 2014). این‌گونه دارای آشیان بوم‌شناختی محدودی است که به یخبندان اواخر بهار و خشک‌سالی تابستان حساس است (Peters and Peters 1997; Dagtekin *et al*., 2020)، در نتیجه در برابر اثرات تغییرات اقلیمی بسیار آسیب‌پذیر شناخته شده است (Martin-Benito *et al*., 2018). همچنین فعالیت‌های انسانی باعث آسیب قابل‌توجهی به جنگل‌های هیرکانی شده است (Hojjati *et al*., 2021; Tafazoli *et al*., 2021; Rohani *et al*., 2022) و این موضوع اهمیت شناسایی عوامل مؤثر بر ویژگی‌های ساختاری درختان به‌ویژه راش را در مدیریت بهینه این جنگل‌ها و احیاء مناطق تخریب شده بیش از پیش مشخص می‌کند. از جمله ویژگی‌های ساختاری درختان می‌توان به پراکنش، تعداد در هکتار، سطح مقطع و حجم در هکتار آنها اشاره کرد (Gadow *et al*., 2012). به‌طور کلی، مطالعه داده‌های سطح مقطع دقیق‌تر از حجم درخت هستند؛ زیرا اندازه‌گیری‌های حجم درخت به ارتفاع کل درخت و ضریب شکل آنها نیز بستگی دارد (Gschwantner *et al*., 2019).

به‌منظور شناسایی راه‌کارهای مدیریت صحیح بوم‌سازگان‌های جنگلی، به‌ویژه جنگل‌های هیرکانی شمال ایران، باید ارتباط بین عوامل بوم‌شناختی موجود در طبیعت همچون عوامل اقلیمی و توپوگرافی به‌خوبی شناخته شود. رابطه‌ی تنگاتنگ بین عوامل محیطی و پوشش گیاهی موجب می‌شود که استقرار یک جامعه گیاهی خاص در یک منطقه به‌وسیله‌ی عوامل محیطی غالب در آن منطقه محدود یا گسترش یابد. اقلیم را می‌توان از اصلی‌ترین عوامل پراکنش گونه‌های گیاهی در یک ناحیه جنگلی دانست (Dagtekin *et al*., 2020). عوامل اقلیمی افزون بر تعیین نوع پراکنش گونه‌های گیاهی می‌تواند در تعیین سیمای کلی و نوع کاربری جنگل در نقاط مختلف زمین مؤثر باشد. همچنین عوامل اقلیمی بر خصوصیات کمی و کیفی و رویش درختان اثرگذار هستند و این عوامل بر زی‌توده درختان نیز اثرگذار می‌باشند (Kahyaoğlu *et al*., 2020; Naderi *et al*., 2021). از آنجایی‌که گونه راش نسبت به تغییرات اقلیمی حساس است، بنابراین درک عوامل اقلیمی مؤثر بر حضور این گونه از اهمیت بالایی برخوردار است. مرور منابع نشان می‌دهد که مهمترین عوامل محیطی مؤثر بر پراکنش راش، ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت است (Esmailzadeh *et al*., 2011; Kahyaoğlu *et al*., 2020; Asadi *et al*., 2021). همچنین تأثیر عوامل اقلیمی مهم مانند نور، دما و بارندگی با توجه به تغییرات این عوامل محیطی تغییر می‌کند.

پراکنش جنگل‌های راش به‌دلیل سایه‌پسند بودن این گونه عمدتاً در محیط‌های سایه‌دار دامنه‌های شمالی کوه‌ها که در فصل رویش مه‌آلود هستند، بیشتر است. همچنین این جنگل‌ها در دامنه‌های جنوبی که مه مشاهده می‌شود و در قسمت‌های بالای دامنه‌های مه‌آلود جنوبی پراکنش دارند (Atalay, 1992)، چراکه درختان راش با نیاز رطوبتی زیاد، در فصول خشک و کم باران می‌توانند رطوبت لازم را از طریق مه دریافت کنند. مه به‌عنوان قطرات آب معلق در نزدیکی سطح زمین تعریف می‌شود که دید افقی را به کمتر از یک کیلومتر کاهش می‌دهد (American Meteorological Society, 2012). رطوبت نسبی در طول دوره‌های طغیان مه نزدیک یا برابر ۱۰۰ درصد گزارش شده است (Tolle *et al*., 2005; Cáceres *et al*., 2007; Fischer *et al*., 2009). با توجه به این‌که بادهای شمال شرقی با منشأ توده پرفشار سیبری پس از عبور از سطح دریای مازندران رطوبت زیادی را به بخش‌های جنوبی این دریا منتقل می‌کنند، منجر به وقوع پدیده مه در مناطق کوهستانی و ارتفاعات جنگل‌های هیرکانی می‌شود (Dezhban *et al*., 2019). قطرات مه غالباً در فصل خشک تابستان به افزایش رطوبت خاک کمک می‌کند (Ingraham and Matthews, 1995; Dawson, 1998; Fischer *et al*., 2016). از این‌رو درختچه‌ها و گیاهان کف جنگل به‌دلیل دارا بودن ریشه‌های کم‌عمق، بیشتر به مه برای ادامه حیات خود متکی هستند. همچنین نهال‌های گونه‌های چوبی که مانند گونه‌های گیاهی کف جنگل دارای ریشه‌های کم عمقی هستند، بیشتر از درختان بالغ از قطرات مه سود می‌برند (Baguskas *et al*., 2016).

پژوهش‌های گذشته در خصوص مه در جنگل‌های راش شمال کشور متمرکز روی مقادیر مه‌بارش و مقدار آب رسیده به کف جنگل از طریق مه‌بارش بود (Dezhban *et al*., 2019; Kavianpour, 2023) و تاکنون مطالعه‌ای در خصوص تشخیص وقوع مه در جنگل‌های شمال کشور انجام نشده است. فرآیندها و فعل و انفعالات زیادی در شکل‌گیری رویدادهای مه دخیل هستند و بنابراین پیش‌بینی دقیق وقوع مه و شدت آن بسیار چالش‌برانگیز است. بنابراین، شاخص دید افقی (Horizontal visibility) توسط سازمان جهانی هواشناسی (World Meteorological Organization) برای تشخیص شدت‌های مختلف مه پیشنهاد شده است (Long *et al*., 2021; WMO, 2006). بر این اساس مه یک پدیده آب و هوایی است که به‌دلیل متراکم شدن بخار آب در نزدیکی زمین به قطرات کوچک آب یا بلورهای یخ و معلق شدن در هوا باعث کاهش دید افقی به کمتر از یک کیلومتر می‌شود و معمولاً دید افقی زیر ۲۰۰ متر به‌عنوان مه غلیظ در نظر گرفته می‌شود (Pohl *et al*., 2021; Nilo *et al*., 2021). از این شاخص برای پیش‌بینی نقاط زمینی وقوع مه در بوم‌سازگان جنگل نیز استفاده شده است (Pohl *et al*., 2021).

مطالعات پیشین در ارتباط با شناسایی عوامل مؤثر بر پراکنش گونه راش در خصوص ویژگی‌های توپوگرافی و بررسی اثرات تغییرات اقلیمی انجام شده است و با وجود اثرات و اهمیت زیاد رطوبت نسبی و همچنین مه تاکنون مطالعه‌ای در این خصوص انجام نشده است. با توجه به تأثیر عوامل محیطی روی ویژگی‌های ساختاری (سطح مقطع و تعداد در هکتار) و پراکنش درختان، آگاهی از خواهش‌های بوم‌شناختی آنها می‌تواند به‌منظور تدوین برنامه‌های حفاظت، احیاء و توسعهٔ منابع جنگلی مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین هدف از اجرای پژوهش حاضر بررسی اثرات عوامل محیطی شامل ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت، دما، بارش، رطوبت نسبی و مه روی ویژگی‌های ساختاری گونه راش بود. نتایج حاصل از تحقیق حاضر و

همچنین سایر مطالعات آتی بر روی داده‌هایی که در آینده از جنگل‌های شمال کشور تهیه خواهد شد، می‌تواند برای پیش‌بینی تغییرات احتمالی در پراکنش گونه‌ها به‌ویژه گونه راش تحت تأثیر گرمایش جهانی مؤثر باشد.

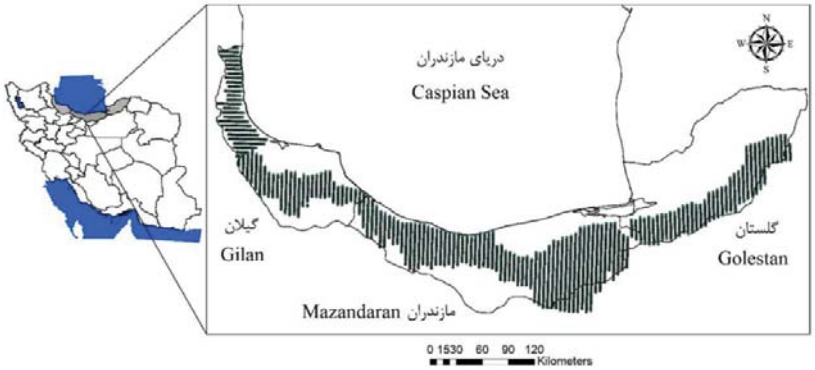
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در کل سطح منطقه جنگل‌های هیرکانی شمال کشور انجام شد. این جنگل‌ها که به‌عنوان میراث جهانی به ثبت رسیده است (Jafari *et al.*, 2022)، به‌دلیل تنوع گیاهی غنی آن شناخته شده است. جنگل‌های هیرکانی شامل کمربند سبز باریک از جنگل‌های خزان‌کننده معتدل است که در دامنه‌های شمالی رشته کوه البرز و در مرزهای جنوبی دریای خزر به طول حدود ۸۰۰ کیلومتر و عرضی بین ۲۰ تا ۷۰ کیلومتر امتداد یافته است (Marvi-Mohadjer, 2006). میزان بارش به‌طور متوسط ۱۰۰۰ میلی‌متر در سال است و مقدار بارش از غرب (منطقه انزلی حدود ۲۰۰۰ میلی‌متر) به‌سمت شرق (منطقه گرگان حدود ۶۰۰ میلی‌متر) کاهش می‌یابد. از نظر میزان درجه حرارت نیز متوسط سالانه بین ۱۵ تا ۱۸ درجه سانتی‌گراد است. از نظر خاک‌شناسی، خاک‌های جنگل شمال کشور اغلب تحول یافته هستند و از نظر تیپ نیز شامل تیپ خاک راندزین و قهوه‌ای جنگلی می‌باشد (Marvi-Mohadjer, 2006).

تهیه داده‌های پوشش درختی

به‌منظور انجام این پژوهش، از بانک داده‌های آماربرداری جنگل‌های شمال کشور استفاده شد (Valizadeh *et al.*, 2023). این بانک داده شامل ۲۷۰۰ قطعه نمونه دایره‌ای ۱۰۰۰ متر مربعی با ابعاد شبکه ۱ × ۵ کیلومتر در کل سطح جنگل‌های شمال کشور می‌باشد (شکل ۱). اطلاعات موجود برای قطعه نمونه شامل قطر، نوع گونه و ارتفاع درختان می‌باشد. همچنین موقعیت جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت نیز در هر قطعه نمونه ثبت شده است.



شکل ۱- موقعیت قطعات نمونه بانک داده‌های آماربرداری جنگل‌های هیرکانی
Figure 1. The location of sampling plots of Hyrcanian forest inventory data bank

تهیه داده‌های اقلیمی

با توجه به این‌که ایستگاه هواشناسی برای کل منطقه جنگل هیرکانی وجود ندارد، بنابراین داده‌های هواشناسی شامل مقدار بارش، دما، رطوبت نسبی و نقطه شبنم از پروژه POWER مربوط به سازمان ملی هوانوردی و فضایی ایالات متحده آمریکا (NASA Power) تهیه شد (Sparks, 2018; Duarte and Sentelhas, 2020). به‌طور کلی، این پروژه داده‌های روزانه جهانی را از سال ۱۹۸۳ تاکنون برای همه پارامترها به‌جز بارش، فراهم می‌کند و برای متغیر بارش، داده‌ها از ژانویه ۱۹۹۷ در دسترس هستند (Sparks, 2018).

تشخیص وقوع مه

با توجه به این‌که در کل جنگل‌های شمال ایستگاه هواشناسی زمینی برای ثبت داده‌های اقلیمی و سنجش وقوع مه وجود ندارد، بنابراین با استفاده از شاخص دید افقی رخداد مه برآورد شد. متغیرهای زیادی روی دید افقی اثرگذار هستند که مهم‌ترین آنها شامل دما، نقطه شبنم و رطوبت نسبی است (Butler and Montzka, 2018). با توجه به اهمیتی که پدیده مه روی کاهش شاخص دید افقی دارد (مواردی مانند شرایط پرواز، سفرهای دریایی، کشتیرانی و حمل و نقل)، فرمول‌های زیادی برای تخمین و محاسبه آن پیشنهاد شده است. یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین آنها فرمولی (رابطه ۱) است که توسط اداره ملی اقیانوسی و جوی (National Oceanic and Atmospheric Administration) و آزمایشگاه سیستم‌های پیش‌بینی (Forecast Systems Laboratory) بر اساس رطوبت نسبی (RH)، دما (T) و نقطه شبنم (T_d) پیشنهاد شده است (Butler and Montzka, 2018; Salman and Kanigoro, 2021; Negishi and Kusaka, 2022). در نهایت فراوانی وقع مه برای هر پلات در فصل رویش محاسبه شد.

$$Vis\ (m) = 1609 \times 6000 \times \frac{T - T_d}{RH^{1.75}} \qquad \text{رابطه ۱}$$

تجزیه و تحلیل داده‌ها

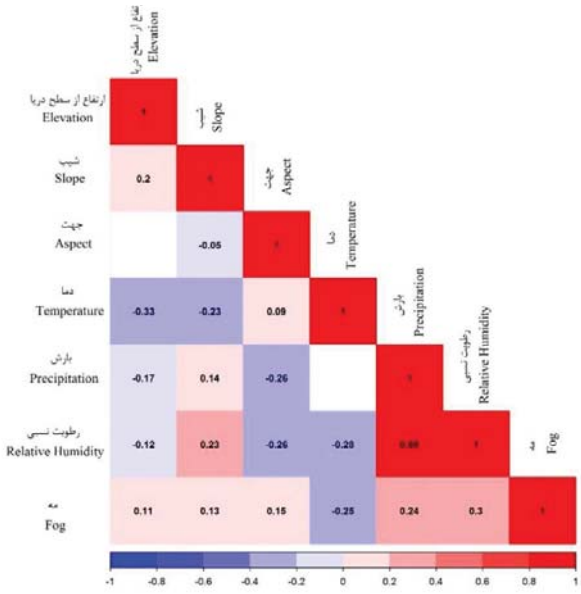
پس از تهیه داده‌ها، ابتدا تعداد در هکتار درختان و سپس سطح مقطع درختان (رابطه ۲) در هر قطعه نمونه محاسبه شد. همچنین داده‌های جمع‌آوری شده بر اساس حضور و عدم حضور راش نیز تفکیک شد. از داده‌های مربوط به تعداد در هکتار، سطح مقطع و همچنین حضور و عدم حضور راش به‌عنوان متغیر وابسته و متغیرهای توپوگرافی (ارتفاع ازسطح دریا، شیب و جهت) و اقلیمی (دما، بارش، رطوبت نسبی و مه) به‌عنوان متغیر مستقل استفاده شد.

$$Basal\ Area = \frac{\pi}{4} DBH^2 \qquad \text{رابطه ۲}$$

به‌منظور بررسی اثر متغیرهای مورد مطالعه روی تعداد درهکتار، سطح مقطع و حضور گونه راش از مدل خطی تعمیم‌یافته در نرم‌افزار R و بسته caret استفاده شد (Kuhn *et al.*, 2020). برای این‌منظور از روش ارزیابی متقابل (10-Fold Cross Validation) استفاده شد. همچنین اهمیت نسبی متغیرهای مورد مطالعه نیز با استفاده از بسته caret محاسبه شد. در ادامه به‌منظور ارزیابی دقت در مدل‌سازی تعداد در هکتار و سطح مقطع از آماره‌های ضریب تبیین (R^2)، میانگین قدر مطلق خطا (Mean Absolute Error) و جذر میانگین مربعات خطا (Root Mean Square Error) استفاده شد (Valizadeh *et al.*, 2023). همچنین برای ارزیابی پیش‌بینی حضور گونه راش از آماره سطح زیر منحنی استفاده شد. همچنین لازم به ذکر است که پیش از اجرای مدل خطی تعمیم یافته به‌منظور افزایش دقت مدل‌سازی همبستگی بین متیغرهای مستقل با استفاده از همبستگی پیرسون مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

نتایج بررس همبستگی بین متغیرهای مستقل نشان داد که مقدار بارش با رطوبت نسبی همبستگی معنی‌دار و بالایی داشت (بیشتر از ۰/۸)، بنابراین در ادامه محاسبات متغیر بارش حذف و مدل‌سازی‌ها با سایر متغیرها انجام شد (شکل ۲).



شکل ۲- همبستگی پیرسون بین متغیرهای مستقل مورد مطالعه
Figure 2. Pearson correlation of the independent studied variables

بر اساس نتایج بدست آمده، مدل خطی تعمیم یافته ارزیابی قابل‌قبولی را برای پیش‌بینی تعداد در هکتار و سطح مقطع درختان راش به‌همراه داشت (جدول ۱) در حالیکه برای پیش‌بینی حضور گونه راش ارزیابی بالایی را به‌همراه داشت (جدول ۲). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که متغیرهای مه، ارتفاع از سطح دریا و رطوبت نسبی هوا اثر مثبت و معنی‌داری با هر سه ویژگی تعداد در هکتار، سطح مقطع و حضور گونه راش دارد (جدول ۳). متغیر دما فقط با حضور گونه راش رابطه منفی و معنی‌دار داشت. همچنین متغیر جهت نیز رابطه مثبت و معنی‌داری با تعداد در هکتار و سطح مقطع درختان راش داشت ولی با حضور این گونه رابطه معنی‌داری نداشت.

جدول ۱- نتایج ارزیابی مدل خطی تعمیم یافته برای پیش‌بینی تعداد در هکتار و سطح مقطع در هکتار درختان راش

Table 1. Evaluation results of the generalized linear model for predicting the number of beech trees per hectare and basal area per hectare

ضریب تبیین Rsquared	میانگین قدر مطلق خطا Mean Absolute Error	جذر میانگین مربعات خطا Root Mean Square Error	
0.16±0.02	58.15±4.18	97.61±11.78	تعداد در هکتار Number per hectare
0.16±0.02	0.70±0.01	0.99±0.04	سطح مقطع (متر مربع در هکتار) Basal area (m^2 per hectare)

جدول ۲- نتایج ارزیابی مدل خطی تعمیم یافته برای پیش‌بینی حضور و غیاب درختان راش

Table 2. Evaluation results of the generalized linear model for predicting the presence and absence of beech trees

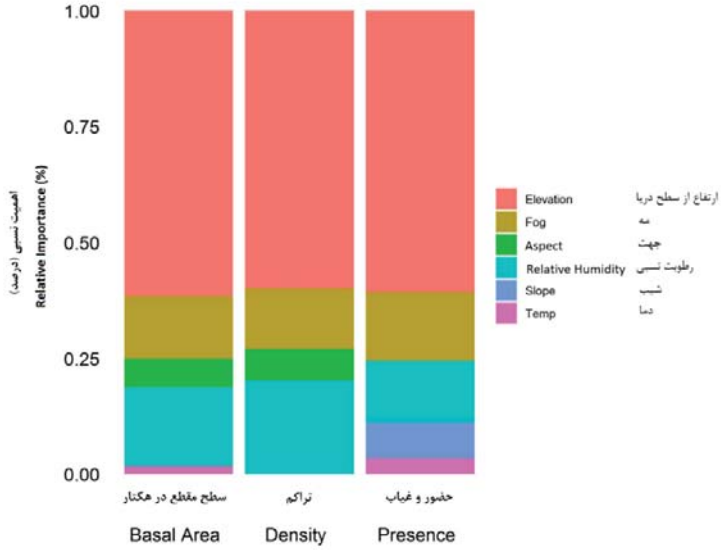
صحت Accuracy	سطح زیر منحنی Area Under Curve	
0.70±0.03	0.75±0.03	حضور و غیاب Presence and Absence

جدول ۳- مقادیر ضرایب متغیرهای مورد مطالعه برای پیش‌بینی تعداد در هکتار، سطح مقطع و حضور و غیاب گونه راش

Table 3. Values of the coefficients of the studied variables for predicting the number per hectare, the basal area and the presence or absence of beech species.

حضور و غیاب Presence and Absence		سطح مقطع Basal area (m^2 per hectare)		تعداد در هکتار Number per hectare		
آماره z z Value	ضرایب Coefficients	آماره t t Value	ضرایب Coefficients	آماره t t Value	ضرایب Coefficients	
-11.35 **	-0.50	32.71 **	0.63	26.38 **	50.01	ضریب ثابت Constant
5.10 **	0.24	4.21 **	0.08	4.30 **	9.04	مه Fog
16.06 **	0.81	18.55 **	0.39	19.20 **	40.45	ارتفاع از سطح دریا Elevation
-2.37 *	-0.11	0.68 ns	-0.01	0.17 ns	0.37	دما Temperature
4.74 **	0.25	5.25 **	0.12	6.60 **	14.85	رطوبت نسبی Relative Humidity
3.38 **	0.15	0.16 ns	0.003	-0.16 ns	-0.33	شیب Slope
1.54 ns	0.07	1.99 *	0.04	2.30 *	4.68	جهت Aspect

نتایج بررسی اهمیت نسبی متغیرها نشان داد که ارتفاع از سطح دریا بالاترین اهمیت را برای پیش‌بینی تعداد در هکتار، سطح مقطع و حضور گونه راش داشت (شکل ۳). در عین حال، رطوبت نسبی دومین متغیر مهم برای پیش‌بینی تعداد در هکتار و سطح مقطع بود درحالی‌که برای حضور گونه راش، مه دومین متغیر مهم ارزیابی شد. به‌طور کلی متغیرهای دما، شیب و جهت دارای اهمیتی کمتر از ۲۰ درصد برای پیش‌بینی هر سه ویژگی گونه راش بودند.



شکل ۳- اهمیت نسبی متغیرهای مورد مطالعه برای پیش‌بینی تعداد در هکتار، سطح مقطع و حضور گونه راش

Figure 3. The relative importance of the studied variables for predicting the number per hectare, the basal area and the presence of beech species

شرایط بهینه برای رشد درخت راش دمای پایین و بارندگی زیاد است که این شرایط ارتباط مستقیمی با ارتفاع از سطح دریا دارد (Atalay, 1992; Fazlollahi Mohammadi *et al*., 2022). با افزایش ارتفاع، دما کاهش می‌یابد در حالی‌که بارش، تبخیر و شدت تابش افزایش می‌یابد (Rangwala *et al*., 2012). گونه راش در جنگل‌های هیرکانی می‌تواند در مناطقی در بازه ارتفاع ۵۰۰ تا ۱۸۰۰ متر به‌صورت گروهی پراکنش داشته باشد (Fazlollahi Mohammadi *et al*., 2022). این ممکن است به‌دلیل رطوبت کمتر در ارتفاعات زیر ۵۰۰ متر باشد زیرا درختان راش نیاز رطوبتی بالایی دارند (Kahyaoğlu *et al*., 2020). از سوی دیگر، در مطالعات قبلی نشان داده شده است که با افزایش ارتفاع (بیش از ۱۰۰۰ متر)، کوتاه شدن دوره رشد و دمای پایین بر توسعه توده‌های راش تأثیر منفی می‌گذارد (Kahyaoğlu *et al*., 2020). از آنجایی‌که راش‌ها این محدوده ارتفاعی خاص را ترجیح می‌دهند، ارتفاع از سطح دریا مهم‌ترین متغیر بود. به‌طور کلی این واقعیت به ویژگی‌های مطلوب این رویشگاه برای راش مربوط می‌شود. به‌ویژه اینکه شرایط دما و رطوبت برای راش در این ناحیه ارتفاعی بهینه است. مطالعات قبلی همچنین گزارش کردند که توپوگرافی یک عامل مهم در توزیع پوشش گیاهی است (Yang *et al*., 2021).

با توجه به نتایج این پژوهش، رطوبت نسبی متغیر مهمی برای پیش‌بینی ویژگی‌های گونه راش بود. به‌طور کلی اطلاعات در مورد تأثیر افزایش بارندگی یا رطوبت هوا بر رشد درخت و سازگاری هیدرولیکی بسیار محدود است. دلیل اهمیت بالای متغیر رطوبت نسبی ممکن است به‌دلیل این واقعیت باشد که راش به‌طور کلی به‌عنوان سازگار با شرایط سایه کامل تا نیمه‌سایه توصیف می‌شود (Packham *et al*., 2012). از آنجایی‌که جهت شمالی (در نیمکره شمالی) عموماً کمتر نور مستقیم خورشید را دریافت می‌کند و معمولاً خنک‌تر است، این گونه معمولاً در جهت شمالی در جنگل هیرکانی مستقر می‌شود. از سوی دیگر، از آنجایی‌که با کاهش دما، رطوبت نسبی افزایش می‌یابد (شکل ۲)، می‌توان نتیجه گرفت که راش رطوبت نسبی بیشتر را ترجیح می‌دهد. سطح مناسب رطوبت از خشک شدن بافت‌های گیاهی جلوگیری می‌کند. رطوبت کافی به‌ویژه در دوره‌های خشک یا گرم بسیار مهم است، زیرا به راش کمک می‌کند رطوبت را در برگ‌ها و بافت‌های خود حفظ کند و خطر آسیب ناشی از خشکی را کاهش دهد (Oladi *et al*., 2017). اهمیت رطوبت نسبی برای راش در برخی از مطالعات گلخانه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. کاهش رطوبت نسبی در اتاق‌های رشد به‌میزان ۴۰ درصد منجر به کاهش ۶۰ درصدی رشد زیست توده نهال‌های راش شد (Lendzion and Leuschner, 2008). کاهش ۱۵ درصد رطوبت نسبی در محفظه‌های روباز در مزرعه منجر به کاهش ۳۰ درصدی رشد زیست توده شد. این امر به کاهش رشد برگ نسبت داده شد (کاهش در سطح ٪۷۹ و ٪۲۳ به ترتیب، در اتاقک‌های رشد و اتاق‌های باز).

بر اساس نتایج به‌دست آمده، مه اثر معنی‌دار و مثبت روی هر سه ویژگی گونه راش داشت. به‌طور کلی مه یک پدیده بسیار مهم در علوم هواشناسی است چراکه منجر به کاهش دید افقی می‌شود و می‌تواند خطرات بسیاری را به‌همراه داشته باشد (Salman and Kanigoro, 2020). از طرف دیگر، از آنجایی‌که پیش‌بینی وقوع این پدیده همراه با چالش‌های بسیاری است، روش‌های مختلفی برای تشخیص وقوع و شدت آن استفاده شده است که یکی از مهم‌ترین آنها که در علوم منابع طبیعی و به‌ویژه جنگل قابل استفاده است، روش محاسبه دید افقی است (Pohl *et al*., 2021). بر اساس منابع، دید افقی کمتر از ۱۰۰۰ متر نشان‌دهنده وقوع مه و دید کمتر از ۲۰۰ متر نشان‌دهنده مه بسیار غلیظ است (Eugster *et al*., 2006; Long *et al*., 2021). با توجه به اینکه سه متغیر دما، نقطه شبنم و رطوبت روی دید افقی تأثیر دارند، از این سه متغیر برای تخمین وقوع مه استفاده شده است. مه معمولاً زمانی رخ می‌دهد که هوا از رطوبت اشباع شده و به رطوبت نسبی ۱۰۰ درصد می‌رسد. با سرد شدن هوا، ظرفیت خود را برای نگهداری بخار آب از دست می‌دهد و منجر به تراکم می‌شود. هنگامی‌که تراکم در نزدیکی زمین رخ می‌دهد، مه تشکیل می‌شود. بنابراین، رطوبت نسبی بالا شرط لازم برای ایجاد مه است، زیرا نشان می‌دهد که هوا به نقطه اشباع خود نزدیک است و برای ایجاد تراکم مطلوب است. رابطه بین مه و رطوبت نسبی نقش دما را در تشکیل مه برجسته می‌کند. با سرد شدن هوا، توانایی آن در نگهداری رطوبت کاهش می‌یابد و اگر رطوبت نسبی از قبل بالا باشد، احتمالاً تراکم رخ می‌دهد و در نتیجه مه ایجاد می‌شود.

مه منبع اصلی بارش تابستانی برای ارتفاعات بیش از ۵۰۰ متر (جایی‌که دامنه‌ها و قله‌های کوه‌ها توسط ابر پوشیده شده است) در نظر گرفته می‌شوند، (Atalay, 1992; Esen 2000). در جنگل‌های نواحی کوهستانی و نزدیک به ساحل، به‌دلیل بالا بودن رطوبت هوا و ارتفاع، تعداد رخدادهای مه زیاد است. با برخورد مه به تاج‌پوشش درختان، قطره‌های مه در سطح برگ به‌هم متصل شده و به‌صورت تاج بارش یا ساقاب به کف جنگل می‌چکند که به این پدیده مه‌بارش اطلاق می‌شود که طی این پدیده، مقدار آب رسیده به کف جنگل افزایش خواهد یافت (Kavianpour, 2023). شرایط آب و هوایی، ارتفاع از سطح دریا و ساختار تاج‌پوشش، سه عامل اصلی در ایجاد مه‌بارش می‌باشند. در این راستا، دژبان و همکاران (Dezhban *et al*., 2019) در پژوهش خود به کمی‌سازی مه‌بارش و باران‌ربایی توده طبیعی راش در جنگل خیرود پرداختند. نتایج نشان‌داد مه‌بارش سبب افزایش تاج‌بارش و کاهش باران‌ربایی می‌شود. همچنین کاویان‌پور و همکاران (kavianpour *et al*., 2023) در پژوهش خود به کمی‌سازی مه‌بارش در توده راش خالص در ارتفاعات بالابند جنگل‌های هیرکانی (۲۰۰۰ متر از سطح دریا) در طی فصل رویش (اردیبهشت تا آبان‌ماه، ۱۴۰۱) پرداخت. نتایج نشان داد که مه‌بارش در توده راش خالص از نظر کمی، در بیلان آبی حداقل ۳۵/۵ میلی‌متر (۳۴/۹ درصد از کل بارندگی) و در افزایش ورودی آب، ۱۲/۹ میلی‌متر مؤثر است. همچنین، ورودی آب مه‌بارش به‌ازای هر هکتار توده راش خالص در فصل رویش ۱۲۹ مترمکعب و به‌ازای هر درخت در توده ۶۰۰ لیتر برآورد شد. وقوع مه و مه‌بارش از نظر کمی سهم زیادی در افزایش ورودی آب و چرخه اکوهیدرولوژیکی

بوم‌سازگان‌های جنگلی کوهستانی و ساحلی به‌ویژه در فصل خشک دارد. بنابراین می‌توان بیان کرد که با توجه به نیاز رطوبتی بالای درختان راش، وقوع مه و تولید مه‌بارش نقش بسیار مهمی در تأمین نیاز آب درختان راش دارد. مه و مه‌بارش، رطوبت نسبی، رطوبت خاک، بقای نونهال‌ها، رطوبت لایه لاشبرگ، رویش درختان به ویژه در فصول خشک، تنوع گونه‌ای، بقای میکروارگانیسم‌ها و رطوبت خاک را افزایش می‌دهد. در پژوهش‌های پیشین در ارتباط با اثر مه روی درختان *Fagus sylvatica* نیز اثر مثبت مه روی رویش این درختان گزارش شد (Gutiérrez , 1988; Atalay, 1992; Esen 2000; Barbeta *et al*., 2019).

علاوه بر این، مه می‌تواند با کاهش میزان تعرق به کاهش تنش آبی در گیاهان کمک کند. قطرات مه می‌تواند مستقیماً توسط برگ‌ها جذب شود و رطوبت موجود در هوا می‌تواند به حفظ سطح رطوبت کافی در اطراف درخت کمک کند و از خشک شدن در دوره‌های خشک جلوگیری کند (Barbeta *et al*., 2019). در حالی‌که منابع خاص در مورد تعامل بین راش و مه ممکن است محدود باشد، مطالعات در مورد مه و تأثیر آن بر پوشش گیاهی، به‌ویژه در مناطق معتدل، می‌تواند بینش ارزشمندی در مورد مزایای بالقوه مه برای این گونه ارائه دهد. از طرف دیگر، مه کیفیت، انتشار، پخش، شدت، مدت و دسترسی نور ورودی جنگل را تغییر می‌دهد. مطالعات متعدد نشان می‌دهند که در شرایط مه‌آلود، مجموع تابش فرازمینی، تشعشعات طول موج کوتاه ظرفیت تابش خورشیدی، تابش فعال فتوسنتزی و بازتاب نور با طول موج بلند، تا حد زیادی کاهش می‌یابد. در حالی‌که نسبت تابش خورشیدی پراکنده به مستقیم تابش فعال فتوسنتزی در آشکوب‌های پایینی بیشتر است. همچنین شرایط مه‌آلود، میزان نور آبی، قرمز و نسبت باند طیفی را نیز تغییر می‌دهد.

با توجه به اینکه مه و رطوبت نسبی اهمیت بالایی در شکل‌گیری راشستان‌های با ارزش در مناطق کوهستانی جنگل هیرکانی دارد، ذکر این نکته حائز اهمیت است که تغییر اقلیم نه‌تنها با تأثیر روی مقدار بارش و دما به‌طور مستقیم روی حضور این گونه تأثیر دارد، بلکه به شکل غیرمستقیم با اثر روی تشکیل مه نیز روی حضور و گسترش این گونه اثرگذار خواهد بود. گرم شدن کره زمین ممکن است با تغییر شرایط جوی محلی بر مه تأثیر بگذارد. به‌عنوان مثال، افزایش گرمایش تابشی در شب می‌تواند سطح را گرم کند و از تشکیل مه جلوگیری کند. پایداری جوی نزدیک به سطح نیز می‌تواند به‌دلیل افزایش دمای هوای سطحی تضعیف و حتی از بین برود. این دو شرایط تمایل به کاهش وقوع مه، به‌ویژه مه تشعشعی دارند (Gu *et al*., 2019). علاوه بر این، تشکیل مه که به رطوبت نسبی بستگی دارد تحت تأثیر دمای هوا قرار دارد و مطالعات نشان داده است که تعداد روزهای مه‌آلود بر اثر تغییر اقلیم کاهش خواهد یافت (Liu *et al*., 2018; Wu *et al*., 2018).

نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت گونه راش در جنگل‌های شمال کشور، کسب اطلاعات در زمینه عوامل مؤثر بر پراکنش این گونه به‌منظور مدیریت بهینه این جنگل‌ها لازم و ضروری است. پژوهش حاضر نشان داد که تعداد در هکتار، سطح مقطع و حضور گونه راش در جنگل‌های هیرکانی رابطه مثبت و معنی‌داری با ارتفاع از سطح دریا، رطوبت نسبی و مه دارد درحالی‌که با دما رابطه منفی داشت. همچنین ارتفاع از سطح دریا به‌عنوان مهمترین عامل برای پیش‌بینی هر سه ویژگی بود، درحالی‌که رطوبت نسبی هوا دومین عامل مهم برای پیش‌بینی تعداد در هکتار و سطح مقطع درختان راش بود. متغیر مه به‌عنوان دومین عامل مهم برای حضور گونه راش شناسایی شد. مطالعه اثرات مه بر روی گونه راش در جنگل هیرکانی فراتر از درک یک تعامل بوم‌شناختی خاص است. این امر پیامدهای عملی برای حفظ یک اکوسیستم منحصر به‌فرد، مدیریت پایدار منابع آب و سازگاری با چالش‌های تغییرات اقلیمی دارد. دانش به‌دست‌آمده می‌تواند نه‌تنها تلاش‌های حفاظتی محلی، بلکه همچنین استراتژی‌های گسترده‌تری برای حفاظت از بوم‌سازگان‌های وابسته به مه در مناطق مشابه را فراهم کند. با توجه به اهمیت بالای رطوبت نسبی هوا و وقوع مه در پراکنش گونه راش، انجام مطالعات تکمیلی درخصوص تخمین دقیق وقوع مه و میزان مه‌بارش در جنگل‌های هیرکانی لازم و ضروری به‌نظر می‌رسد. همچنین با توجه به کمبود مطالعات پیشنهاد می‌شود اثر سایر عوامل محیطی اثرگذار روی پراکنش گونه راش نیز موردتوجه قرار گیرد.

References

American Meteorological Society. (2012). Fog. Glossary of Meteorology. Retrieved January 2020, from http://glossary.ametsoc.org/wiki/Fog

Asadi, H., Jalilvand, H., & Moslemi, S. M. (2021). Vegetation Classification of Darabkola Forest and Their Relation to Physiographic Factors. *Iranian Journal of Applied Ecology*, *10*(3), 17-33.

Atalay, I. (1992). Kayın Ormanlarının Ekolojisi ve Tohum Transferi Açısından Bölgelere Ayrımı. The ecology of beech (Fagus orientalis Lipsky) forests and their regioning in terms of seed transfer. *The Improvement Institute of Forest Trees and Seeds, Forest Ministry*, *5*, 54-59.

Baguskas, S. A., Peterson, S. H., Bookhagen, B., & Still, C. J. (2014). Evaluating spatial patterns of drought-induced tree mortality in a coastal California pine forest. *Forest Ecology and Management*, 315, 43-53.

Barbeta, A., Camarero, J.J., Sangüesa-Barreda, G., Muffler, L., & Peñuelas, J. (2019). Contrasting effects of fog frequency on the radial growth of two tree species in a Mediterranean-temperate ecotone. *Agricultural and Forest Meteorology*, 264, 297-308.

Butler, H. J., & Montzka, S. A. (2018). National Oceanic & Atmospheric Administration.

Cáceres, L., Gómez-Silva, B., Garró, X., Rodríguez, V., Monardes, V., & McKay, C. P. (2007). Relative humidity patterns and fog water precipitation in the Atacama Desert and biological implications. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, *112*(G4). https://doi.org/10.1029/2006JG000344

Dagtekin, D., Şahan, E. A., Denk, T., Köse, N., & Dalfes, H. N. (2020). Past, present and future distributions of Oriental beech (*Fagus orientalis*) under climate change projections. *PLoS One*, *15*(11), e0242280.

Dawson, T. E. (1998). Fog in the California redwood forest: ecosystem inputs and use by plants. *Oecologia*, *117*, 476-485.

Dezhban, A., Attarod, P., Zahedi Amiri, G., Grant Pypker, T., & Nanko, K. (2019). Fog precipitation and rainfall interception in a pure natural oriental beech (*Fagus orientalis* L.) stand in the Hyrcanian Forests, North of Iran. *Forest and Wood Products*, *72*(2), 89-100.

Duarte, Y.C. & Sentelhas, P.C. (2020). NASA/POWER and DailyGridded weather datasets—how good they are for estimating maize yields in Brazil?. *International Journal of Biometeorology*, 64, 319-329.

Ertekin, M., Kırdar, E., & Ayan, S. (2015). The effects of exposure, elevation and tree age on seed characteristics of Fagus orientalis Lipsky. *South-east European forestry: SEEFOR*, *6*(1), 15-23.

Esen, D. (2000). *Ecology and control of Rhododendron (Rhododendron ponticum L.) in Turkish eastern beech (Fagus orientalis* Lipsky*) forests* (Doctoral dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University).

Esmailzadeh, O., Hosseini, S. M., Tabari, M., & Asadi, H. (2011). Classification system analysis in classification of forest plant communities (Case study: Darkola's beech forest). *Iranian Journal of Plant biology*, *3*(7), 11-28.

Eugster, W., Burkard, R., Holwerda, F., Scatena, F. N., & Bruijnzeel, L. S. (2006). Characteristics of fog and fogwater fluxes in a Puerto Rican elfin cloud forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, *139*(3-4), 288-306.

Fang, J., & Lechowicz, M. J. (2006). Climatic limits for the present distribution of beech (*Fagus* L.) species in the world. *Journal of Biogeography*, *33*(10), 1804-1819.

Fazlollahi Mohammadi, M., Tobin, B., Jalali, S. G., Kooch, Y., & Riemann, R. (2022). Fine-scale topographic influence on the spatial distribution of tree species diameter in old-growth beech (*Fagus orientalis* Lipsky.) forests, northern Iran. *Scientific reports*, *12*(1), 7633.

Fischer, D. T., Still, C. J., Ebert, C. M., Baguskas, S. A., & Park Williams, A. (2016). Fog drip maintains dry season ecological function in a California coastal pine forest. *Ecosphere*, *7*(6), e01364. https://doi.org/10.1002/ecs2.1364

Gadow, K. V., Zhang, C. Y., Wehenkel, C., Pommerening, A., Corral-Rivas, J., Korol, M., ... & Zhao, X. H. (2012). Forest structure and diversity. *Continuous cover forestry, 29-83.*

Gu, Y., Kusaka, H., Doan, V. Q., & Tan, J. (2019). Impacts of Urban Expansion on Fog Types in Shanghai, China: Numerical Experiments by WRF Model. Atmos Res, 220, 57–74.

Gutiérrez, E. (1988). Dendroecological study of *Fagus silvatica* L. in the Montseny mountains (Spain). *ACTA OECOL. (OECOL. PLANT.),* 9(3), 301-309.

Hojjati, S. M., Darzi, A., Asadi, H., & Tafazoli, M. (2021). Changes in soil properties and plant biodiversity after 12 years of rehabilitating livestock farms in the Hyrcanian Forests. *Agroforestry Systems*, *95*, 1493-1503.

Ingraham, N. L., & Matthews, R. A. (1995). The importance of fog-drip water to vegetation: Point Reyes Peninsula, California. *Journal of Hydrology*, *164*(1-4), 269-285.

Jafari, A., Mortazavi, S., & Hosseini, S. M. (2022). Investigation the effectiveness of protected areas in Hyrcanian forests, Iran. *Ecology of Iranian Forest, 10*(20), 151-161.

Kahyaoğlu, N., Kara, Ö., & Güvendi, E. (2020). Effects of Elevation on The Aboveground Biomass and Carbon Stock in The Oriental Beech (*Fagus Orientalis* Lipsky) Forests of The Sinop Region, Turkey. *Applied Ecology & Environmental Research*, *18*(6).

Kavianpour., S. (2023). Quantification of fog precipitation of pure beech stands (*Fagus orientalis* L.) in high altitudes of Hyrcanian forests. Master of Science Thesis. Tehran University, 70 pages.

Kuhn, M., Wing, J., Weston, S., Williams, A., Keefer, C., Engelhardt, A., ... & Team, R. C. (2020). Package 'caret'. *The R Journal*, *223*(7), 48.

Lendzion, J., & Leuschner, C. (2008) Growth of European Beech (*Fagus sylvatica* L.) Saplings is Limited by Elevated Atmospheric Vapour Pressure Deficits. *Forest Ecology and Management*, 256, 648–655.

Liu, W., Han, Y., Li, J., Tian, X., & Liu, Y. (2018). Factors Affecting Relative Humidity and its Relationship with the Long-term Variation of Foghaze Events in the Yangtze River Delta. Atmos Environ, 193, 242–250

Long, Q., Wu, B., Mi, X., Liu, S., Fei, X., & Ju, T. (2021). Review on Parameterization Schemes of Visibility in Fog and Brief Discussion of Applications Performance. *Atmosphere*, *12*(12), 1666.

Martin-Benito, D., Pederson, N., Köse, N., Doğan, M., Bugmann, H., Mosulishvili, M., & Bigler, C. (2018). Pervasive Effects of Drought on Tree Growth Across a Wide Climatic Gradient in the Temperate Forests of the Caucasus. *Global Ecology and Biogeography*, *27*(11), 1314-1325.

Marvi-Mohadjer, M. R. (2006). Silviculture. Tehran University Press

Naderi, M., Kialashaki, A., Veisi, R., Sheykheslami, A., & Tafazoli, M. (2021). Effect of Site on Soil Properties and Carbon Sequestration in *Populus deltoids* Stand in Sari. *Ecology of Iranian Forest*, *9*(18), 187-195.

Negishi, M., & Kusaka, H. (2022). Development of statistical and machine learning models to predict the occurrence of radiation fog in Japan. *Meteorological Applications*, *29*(2), e2048.

Nilo, S. T., Cimini, D., Di Paola, F., Gallucci, D., Gentile, S., Geraldi, E., ... & Romano, F. (2020). Fog Forecast using WRF Model Output for Solar Energy Applications. *Energies*, *13*(22), 6140.

Oladi, R., Elzami, E., Pourtahmasi, K., & Bräuning, A. (2017). Weather Factors Controlling Growth of Oriental Beech are on the Turn Over the Growing Season. *European Journal of Forest Research*, *136*(2), 345-356.

Packham, J. R., Thomas, P. A., Atkinson, M. D., & Degen, T. (2012). Biological Flora of the British Isles: *Fagus sylvatica*. *Journal of ecology*, *100*(6), 1557-1608.

Papageorgiou, A. C., Vidalis, A., Gailing, O., Tsiripidis, I., Hatziskakis, S., Boutsios, S., ... & Finkeldey, R. (2008). Genetic Variation of Beech (*Fagus sylvatica* L.) in Rodopi (NE Greece). *European Journal of Forest Research*, *127*, 81-88.

Peters, R., & Peters, R. (1997). Beech forests: woody species composition, populations and spatial aspects. *Beech forests*, 89-130.

Pohl, M. J., Lehnert, L., Bader, M. Y., Gradstein, S. R., Viehweger, J., & Bendix, J. (2021). A new fog and low stratus retrieval for tropical South America reveals widespread fog in lowland forests. *Remote Sensing of Environment*, *264*, 112620.

Rangwala, I., & Miller, J. R. (2012). Climate change in mountains: a review of elevation-dependent warming and its possible causes. *Climatic change*, *114*, 527-547.

Rohani, K., Hosseini Nasr, S. M., Asadi, H., & Tafazoli, M. (2022). The effect of recreation, rural population and forest roads on the diversity of forest understory species (case study: Zarin Abad Forests of Sari). *Forest Research and Development*, *8*(2), 165-179.

Salman, A. G., & Kanigoro, B. (2021). Visibility forecasting using autoregressive integrated moving average (ARIMA) models. *Procedia Computer Science*, *179*, 252-259.

Scholl, M., Eugster, W., & Burkard, R. (2011). Understanding the role of fog in forest hydrology: stable isotopes as tools for determining input and partitioning of cloud water in montane forests. *Hydrological Processes*, *25*(3), 353-366.

Sparks, A. H. (2018). nasapower: a NASA POWER global meteorology, surface solar energy and climatology data client for R. *Journal of Open Source Software*, *3*(30), 1035.

Tafazoli, M., Hojjati, S. M., Biparva, P., Kooch, Y., & Lamersdorf, N. (2021). Using nano-scale Fe0 particles and organic waste to improve the nutritional status of tree seedlings growing in heavy metal-contaminated soil. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, *14*(5), 447.

Tolle, G., Polastre, J., Szewczyk, R., Culler, D., Turner, N., Tu, K., ... & Hong, W. (2005). A Macroscope in the Redwoods. In Proceedings of the 3rd international conference on Embedded networked sensor systems (pp. 51-63).

Valizadeh, E., Asadi, H., Jaafari, A., & Tafazoli, M. (2023). Machine Learning Prediction of Tree Species Diversity using Forest Structure and Environmental Factors: a Case Study from the Hyrcanian forest, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, *195*(11), 1334.

WMO, G. (1996). Guide to meteorological instruments and methods of observation.

Wu, J., Zha, J., Zhao, D., & Yang, Q. (2018). Changes in Terrestrial Near-Surface Wind Speed and their Possible Causes: an Overview. *Climate dynamics*, *51*(5-6), 2039-2078.

Yang, Q., Zhang, H., Wang, L., Ling, F., Wang, Z., Li, T., & Huang, J. (2021). Topography and Soil Content Contribute to Plant Community Composition and Structure in Subtropical Evergreen-Deciduous Broadleaved Mixed Forests. *Plant Diversity*, *43*(4), 264-274.