جنگل و فرآورده‌های چوب، مجلهٔ منابع طبیعی ایران
دورهٔ ۷۲، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۸
ص ۲۱-۳۱

دانشکده منابع طبیعی
دانشگاه تهران

DOI: 10.22059/jfwp.2018.262699.950

# تحلیل آشیان اکولوژیک گونهٔ شمشاد هیرکانی (*Buxus hyrcana* Pojark) در برابر برخی متغیرهای محیطی در جنگل‌های شمال ایران

**شادی حبیبی کیلک[۱]، سید جلیل علوی [۲*]، امید اسماعیل‌زاده [۳]**

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مدیریت جنگل دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور
۲. استادیار گروه علوم و مهندسی جنگل دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور
۳. استادیار گروه علوم و مهندسی جنگل دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۱۰، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۲۴

## چکیده

با تعیین عوامل محیطی اثرگذار بر گونهٔ گیاهی در یک رویشگاه ویژه می‌توان حضور گونهٔ موردنظر را پیش‌بینی کرد یا با حضور آن در یک رویشگاه به‌طور غیرمستقیم به شرایط محیطی پی برد. هدف پژوهش حاضر، تحلیل منحنی پاسخ گونهٔ شمشاد به برخی متغیرهای محیطی و تعیین مقدار بهینهٔ آن با استفاده از تابع HOF است. به‌روش انتخابی، ۸۳۴ رولوه (۴۰۰ متر مربعی) در رویشگاه‌های بزرگ شمشاد در جنگل‌های هیرکانی شامل جنگل حفاظت‌شدهٔ خیبوس در حوزهٔ تالار، جنگل‌های شیرگاه در حوزهٔ تالار، ذخیره‌گاه سی‌سنگان، جنگل‌های فریم، جنگل‌های حوزهٔ غرب هراز، جنگل‌های سری یک بخش ۳ حوزهٔ نکا-ظالم‌رود، جنگل آموزشی- پژوهشی خیرود و تربیت مدرس پیاده شد و در هر قطعه نمونه، وجود و نبود گونهٔ شمشاد، عوامل توپوگرافی و خاکی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که منحنی پاسخ گونهٔ شمشاد به متغیرهای ارتفاع از سطح دریا و درصد رس تک‌نمایی چوله به راست، برای متغیر درصد شن تک‌نمایی چوله به چپ، برای متغیر نیتروژن تک‌نمایی متقارن و برای دیگر متغیرها همنوای افزایشی یا کاهشی است. به‌کارگیری معیار انحراف توجیه‌شده نشان داد که pH، ارتفاع از سطح دریا و رس مهم‌ترین متغیرها برای حضور گونهٔ شمشادند. براساس مقدار بهینهٔ هریک از متغیرها می‌توان بیان داشت که شمشاد گونه‌ای است آهک‌دوست و رطوبت‌پسند که در ارتفاعات پایین و شیب‌های تند و خاک‌های سبک با نیتروژن زیاد حضور دارد. برمبنای پژوهش حاضر می‌توان فرض رفتار تک‌نمایی و گوسی گونهٔ شمشاد در برابر متغیرهای محیطی را رد کرد.

**واژه‌های کلیدی**: تابع HOF، دامنهٔ اکولوژیک، شمشاد هیرکانی، گرادیان اکولوژیکی، مقدار بهینه، منحنی پاسخ.

## مقدمه

بیش از یک قرن است که اکولوژیست‌ها برای یافتن عوامل محیطی کنترل‌کنندهٔ پراکنش و تنوع گونه‌های گیاهی تلاش می‌کنند [۱]. گیاهان منعکس‌کنندهٔ مجموعه‌ای از شرایط محیطی شامل آب‌وهوا، پستی و بلندی و متغیرهای خاکی‌اند [۲]، از این‌رو حضور یک گونهٔ گیاهی در یک رویشگاه را می‌توان مبین تأمین برخی از نیازهای آن از نظر عناصر غذایی، رطوبت، دما، نور و ... قلمداد کرد. از مهم‌ترین مسائل تأثیرگذار در شکل‌گیری ساختار جوامع گیاهی و پراکنش آنها در هر ناحیه، همبستگی بین پوشش گیاهی و عوامل محیطی است [۳]. هر گونهٔ گیاهی می‌تواند تنها در بخش‌های محدود و مشخصی به‌طور مؤثر حضور داشته باشد و در این محدودهٔ

* نویسندهٔ مسئول: تلفن: ۰۹۱۱۱۵۸۰۰۹۷
Email: j.alavi@modares.ac.ir

مناسب یا بهینه، می‌تواند باقی بماند و جمعیت بزرگی را تشکیل دهد و به حداکثر فراوانی برسد. محدودهٔ چنین شرایطی، دامنهٔ اکولوژیک گونه نامیده می‌شود؛ ولی خارج از این بخش‌ها، متحمل فشارهای فیزیولوژیکی فزاینده‌ای می‌شود. هنگامی‌که دامنهٔ اکولوژیک یک گونه شناخته شود، با مشخص بودن شرایط رویشگاهی (خاکی و اقلیمی) آن منطقه می‌توان حضور آن گونه را پیش‌بینی کرد [۴]. از سوی دیگر می‌توان با حضور یک گونه در یک رویشگاه به‌طور غیرمستقیم به شرایط رویشگاهی پی برد. یک مفهوم مهم در بررسی روابط گونه و محیط، منحنی پاسخ گونه است که به‌صورت نمودار عملکرد گونه در رابطه با تغییر در عوامل محیطی تعریف می‌شود. بررسی منحنی پاسخ گونه به‌دلیل ارائهٔ مقدار بهینه و دامنهٔ آشیان اکولوژیک گونه به متغیر محیطی و اینکه کدام عامل محیطی، بیشترین و کدام‌یک کمترین سهم را در پاسخ گونه دارند، از اهمیت بسزایی برخوردار است. دیدگاه متعارف در بوم‌شناسی پوشش گیاهی آن است که گونه‌ها پاسخ‌های متقارن و تک‌نمایی به شیب‌های بوم‌شناسی دارند، اما ممکن است این حالت در همهٔ رویشگاه‌های گونه‌های گیاهی عمومیت نداشته باشد، زیرا کنش و واکنش گونه‌های گیاهی ممکن است شکل پاسخ را تغییر دهد، حتی اگر پاسخ‌های بنیادی متقارن باشد [۵]. از انواع منحنی پاسخ گونه‌ها می‌توان به منحنی پاسخ ثابت، به‌طور موزون یا همنوای افزایشی یا کاهشی[1]، تک‌نمایی[2] یا دونمایی[3] اشاره کرد [۶]. در واقع، شکل‌های پاسخ در میان انواع گرادیان‌ها یا مکان آنها متفاوت است [۷]. در طول چند دههٔ گذشته با توسعهٔ مداوم ابزارهای مدل‌سازی آماری و در نتیجه پیشرفت روش‌های تجزیه‌وتحلیل روابط بین توزیع گونه و عوامل محیطی می‌توان واکنش یک گونه به متغیرهای محیطی را با استفاده از دامنهٔ وسیعی از توابع مختلف مانند تابع گوسی در چارچوب مدل خطی تعمیم‌یافته، مدل جمعی تعمیم‌یافته، تابع HOF و تابع بتا، مدل‌سازی و پیش‌بینی کرد [۸]. بررسی منحنی واکنش گونه به متغیرهای محیطی به‌منظور کمّی کردن شاخص‌های مؤثر بر پراکنش گونه، بررسی نیازهای رویشگاهی گونه، آزمون تئوری‌های رایج در بوم‌شناسی گونه‌های گیاهی و اصلاح روش‌های تحلیل جوامع گیاهی، تعیین گونه‌های شاخص در ارزیابی زیست‌محیطی و پایش تغییرات، تخمین پراکنش بوم‌شناختی و پراکنش جغرافیایی گونه‌ها مفید است. با بررسی پیشینهٔ پژوهش‌های مرتبط با موضوع می‌توان ضعف و قوت آنها را دریافت و بهترین روش را برای پیشبرد کار تحقیقاتی انتخاب کرد. در تحقیق Lawesson و Oksanen (۲۰۰۲) در دانمارک، ویژگی‌های آشیان گونه‌های چوبی با استفاده از تابع HOF بررسی شده و مشخص شد که گونه‌های مربوط به توالی اولیه، آشیان وسیع‌تری داشته و از طرفی آشیان بعضی گونه‌ها نیز همپوشانی داشتند [۹]. Uğurlu و Oldeland (۲۰۱۲) برای توصیف الگوی کلی توزیع درختان بلوط و نوع پاسخ آنها در طول گرادیان‌های اقلیمی منحنی‌های پاسخ گونه‌های مختلف جنس بلوط را با استفاده از مدل HOF تجزیه‌وتحلیل کرده و شاخص‌های اقلیمی مؤثر بر هر یک را معرفی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل‌های پاسخ خطی، افزایشی، کاهشی و آستانه‌ای (مدل‌های ۱، ۲ و ۳) در دوسوم مدل‌ها مشاهده می‌شود [۱۰]. Jansen و Oksanen (۲۰۱۳) با استفاده از داده‌های حاصل از ۵۴۷ پلات پوشش گیاهی زمین‌های زراعی پوشیده از علف‌های هرز در طول شیب pH، به این نتیجه رسیدند که در هنگام مدل‌سازی پاسخ گونه‌ها در برابر pH با استفاده از معیارهای اطلاعاتی مانند AIC[4] و BIC[5] مدل‌های HOF[6] در بسیاری از موارد از مدل GAM[7] مناسب‌ترند [۱۱]. Suchrow و Stock (۲۰۱۴) در پژوهشی با استفاده از مدل HOF الگوی غنای چند گونهٔ گیاهی در

1. Monotonically increasing or decreasing
2. Unimodal
3. Bimodal

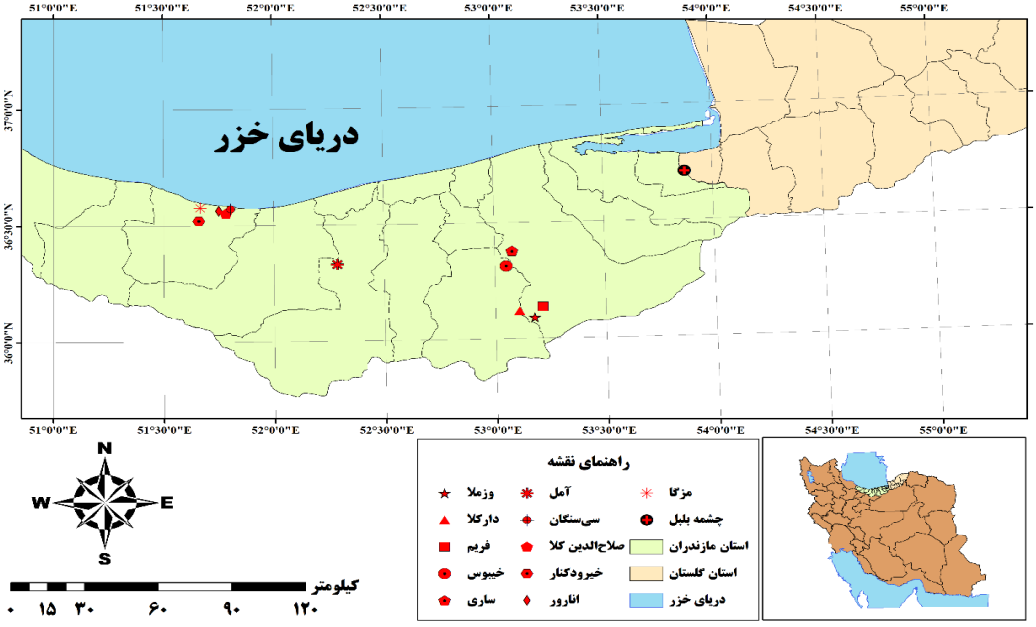
4. Akaike Information Criterion
5. Bayesian Information Criterion
6. Huisman–Olff–Fresco
7. Generalized Additive Model

باتلاق‌های نمکی شمال آلمان نسبت به شیب‌های محیطی را بررسی کردند. نتایج نشان داد که بیشتر پاسخ‌های به‌دست‌آمده از نوع مدل تک‌نمایی نامتقارن (مدل ۵) بودند و بیشتر گونه‌های گیاهی در این منطقه به متغیرهای زنده و غیرزنده پاسخ چوله‌دار نشان دادند [۱۲]. شمشاد هیرکانی (*Buxus hyrcana* Pojark) از معدود درختان پهن‌برگ همیشه‌سبز و انحصاری جنگل‌های هیرکانی است که دیرزیستی زیادی (بالغ بر ۵۰۰ سال) دارد [۱۳]. امروزه به‌دلیل بروز بیماری سوختگی شمشاد، با کاهش چشمگیر این گونهٔ گیاهی در جنگل‌های شمال روبه‌رو هستیم، به‌طوری که این گونه در فهرست گونه‌های در معرض خطر[1] قرار گرفته است که برنامه‌ریزی و تدوین راهبردهای مناسب را ضرورت می‌بخشد. یکی از این برنامه‌ها، حفظ پایه‌های این گونه در جنگل‌های طبیعی و شناخت مهم‌ترین ویژگی‌های اکولوژیک مؤثر در پراکنش مکانی آن است. از این‌رو هدف این پژوهش، بررسی شکل منحنی پاسخ گونهٔ شمشاد هیرکانی به برخی از متغیرهای محیطی به‌صورت انفرادی و تعیین مقدار بهینه در زمینهٔ مهم‌ترین عوامل محیطی مؤثر در واکنش گونهٔ شمشاد هیرکانی است.

## مواد و روش‌ها

### منطقهٔ تحقیق

در پژوهش حاضر از اطلاعات ۸۳۷ قطعه نمونهٔ (۴۰۰ متر مربعی) رویشگاه‌های بزرگ شمشاد هیرکانی شامل جنگل حفاظت‌شدهٔ خیبوس در حوزهٔ تالار، جنگل‌های شمشاد شیرگاه در حوزهٔ تالار، ذخیره‌گاه سی‌سنگان، جنگل‌های شمشاد فریم، جنگل‌های شمشاد حوزهٔ غرب هراز، جنگل‌های شمشاد سری یک بخش ۳ حوزهٔ نکا- ظالم‌رود (اسدی و همکاران، ۲۰۱۶)، جنگل آموزشی پژوهشی خیرودکنار و جنگل آموزشی پژوهشی تربیت مدرس استفاده شد [۱۴]. جنگل‌های بررسی‌شده در امتداد شیب ارتفاعی از ۳۵ متر از سطح دریا در ذخیره‌گاه جنگلی سی‌سنگان تا ۱۷۰۰ متر از سطح دریا در منطقهٔ فریم پراکنش دارند (شکل ۱).




**شکل ۱. مناطق تحقیق**

1. Endangered species

**جمع‌آوری داده**

قطعات نمونه به روش انتخابی و با رعایت اصل تودهٔ معرف (بران بلاکه، ۱۹۳۲) پیاده شدند. در هر قطعه نمونه گذشته از اطلاعات پوشش گیاهی، درصد شیب، جهت شیب، ارتفاع از سطح دریا (متر) و خصوصیات خاک مانند بافت، درصد نیتروژن، درصد کربن، نسبت کربن به نیتروژن و pH ثبت شد. در مورد جهت جغرافیایی روش‌های مختلفی برای تبدیل آزیموت به یک متغیر کمی ابداع شده است. Moisen و Frescino (۲۰۰۲)، از رابطهٔ ۱ برای تبدیل جهت به شاخص تابش خورشیدی استفاده کرده‌اند که به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$TRASP = [1 - COS((\pi / 180)(\theta - 30))] / 2 \quad (1)$$

که در آن θ آزیموت برحسب درجه است. مقدار TRASP از صفر تا ۱ متغیر است؛ عدد ۱ نشان‌دهندهٔ جهت خشک و گرم (جنوب و جنوب غربی) و عدد صفر نشان‌دهندهٔ جهت خنک و مرطوب (شمال و شمال شرقی) است.

**تحلیل داده‌ها**

پس از ثبت داده‌های وجود و نبود گونهٔ شمشاد و اندازه‌گیری متغیرهای محیطی از تابع HOF به‌منظور بررسی شکل منحنی واکنش گونهٔ شمشاد در برابر متغیرهای محیطی و استخراج مقدار بهینه استفاده شد. تابع HOF مجموعه‌ای سلسله‌مراتبی از پنج مدل است و انواع شکل منحنی واکنش (چوله‌دار، متقارن، یکنواخت و خطی) را شامل می‌شود (شکل ۲): مدل ۱: روند معنی‌داری در زمان و مکان ندارد (مدل صاف)؛ مدل ۲: شامل روند افزایشی یا کاهشی است که در آن بیشترین مقدار برابر با کران بالای M است؛ مدل ۳: شامل روند افزایشی یا کاهشی که در آن بیشترین مقدار زیر کران بالای M است؛ مدل ۴: افزایش یا کاهش با نرخ یکسان، منحنی پاسخ متقارن (تک نمایی متقارن)؛ مدل ۵: افزایش و کاهش با نرخ‌های متفاوت، منحنی پاسخ چوله‌دار (تک‌نمایی چوله‌دار). در این مدل‌ها M مقدار ثابت است که برابر با بیشترین مقدار است (برای داده‌های حضور و غیابی M =۱، برای درصد M =۱۰۰) است.

انتخاب بین مدل‌های پیشنهادشده از طریق استنباط‌های آماری صورت می‌گیرد. به‌منظور انتخاب بهترین مدل از یک مجموعه مدل‌های پیش‌بینی‌شده، معیار اطلاعاتی آکاییک به‌کار گرفته می‌شود. این معیار با برقرار کردن تعادل میان دقت مدل و پیچیدگی آن به انتخاب بهترین مدل آماری کمک می‌کند. یک مدل با AIC[1] کمتر، مناسب‌ترین مدل در برازش منحنی واکنش گونه است. برای تعیین مهم‌ترین متغیر در تحلیل رفتار گونهٔ شمشاد، از معیار انحراف توجیه‌شده[2] استفاده می‌شود که همانند ضریب تبیین در تحلیل رگرسیون است [۱۵]. فرمول محاسبهٔ انحراف توجیه‌شده به‌صورت زیر است. هر متغیری که مقدار انحراف توجیه‌شدهٔ بیشتری داشته باشد، به‌عنوان مؤثرترین متغیر شناخته می‌شود.

$$\left[\left(\text{null deviance} - \text{residual deviance}\right) / \left(\text{null deviance}\right)\right] \times 100 \quad (2)$$

همهٔ تحلیل‌ها در پژوهش حاضر با استفاده از بستهٔ eHOFدر نرم‌افزار R v.3.5.0 صورت گرفت.

## نتایج و بحث

با توجه به مقادیر AIC به‌دست‌آمده برای مدل‌های یک تا پنج، در برابر متغیرهای محیطی مختلف، می‌توان گفت گونهٔ شمشاد دارای انواع متنوعی از واکنش‌ها در برابر متغیرهای محیطی است (جدول ۱). در جدول ۲ آماره‌های توصیفی متغیرهای تحت بررسی، مقدار بهینه و دامنهٔ اکولوژیک گونه با استفاده از تابع HOF ارائه‌شده است.

**تحلیل آشیان اکولوژیک گونهٔ شمشاد**

با مراجعه به جدول ۱ و مقدار آکاییک، می‌توان بیان داشت که پاسخ شمشاد هیرکانی به متغیر ارتفاع از سطح دریا تک‌نمایی و چوله به راست است، بدین معنا که از ارتفاعات

1. Akaike Information Criterion
2. Explained Deviance

زیاد گریزان است (جدول ۱، شکل ۳). این گونه در برابر متغیر ارتفاع از سطح دریا دارای مقدار بهینهٔ اکولوژیکی ۱۷۵ متر است (جدول ۲). در گذشته بیشتر رویشگاه‌های شمشاد در نواحی پست و جلگه‌ای هیرکانی بود و فقط قسمت‌هایی از رویشگاه‌های مزبور به دامنه‌های دره‌های اصلی و مرطوب کشیده می‌شد. امروزه به‌دلیل از بین رفتن رویشگاه‌های شمشاد در مناطق جلگه و فقط باقی ماندن چند لکهٔ کوچک (مانند جنگل حفاظت‌شدهٔ سی‌سنگان و پارک جنگلی نور) این گونهٔ گیاهی فقط در نواحی کوهستانی پایین‌بند تا میان‌بند جنگل‌های هیرکانی پراکنش دارد [۱۶]. ارتفاع از سطح دریا هنگامی‌که با محدودیت‌های اقلیمی همراه می‌شود به‌عنوان یک عامل محدودکننده در استقرار و رشد گیاهان عمل می‌کند [۱۷]. عامل ارتفاع از سطح دریا با تأثیری که بر دما و رطوبت دارد، همواره در پژوهش‌های زیادی در مناطق رویشی مختلف به‌عنوان یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار بر پراکنش گونه‌ها معرفی شده است [۱۸]. اسدی و همکاران (۲۰۱۲) نیز در بررسی جوامع گیاهی شمشاد منطقهٔ حفاظت‌شده خیبوس، تأثیر خصوصیات توپوگرافی (به‌ویژه ارتفاع از سطح دریا) را از خصوصیات فیزیکی- شیمیایی خاک مهم‌تر ارزیابی کردند [۱۶]. حسین‌زاده و اسماعیل‌زاده (۲۰۱۷) بهترین رویشگاه‌های شمشاد را مناطق مختلف استان‌های گیلان و مازندران و گلستان در ارتفاع ۴۰۰-۲۰ متر از سطح دریا معرفی کردند و همچنین بیان داشتند که این گونه تا ارتفاع ۱۷۰۰ متر نیز مشاهده می‌شود [۱۹]. تحقیق حاضر هم نشان داد که شمشاد در ارتفاعات بالا هم حضور دارد. این مسئله با ایدهٔ گسترش نیافتن شمشاد در جنگل‌های کوهستانی شمال به‌دلیل گرماپسند بودن این گونه و در نتیجه محدود شدن توده‌های جنگلی آن در نواحی پایین‌دست و جلگه‌ای در تضاد است [۲۰]؛ اما شایان‌ذکر است که این گونه در ارتفاعات زیاد به‌صورت انفرادی حضور دارد و چون با افزایش ارتفاع از سطح دریا، دما کاهش می‌یابد، در ارتفاعات پایین حضور بهینه داشته و در برابر ارتفاع از سطح دریا روند کاهشی دارد.

در زمینهٔ درصد شیب، گونهٔ شمشاد در برابر این متغیر رفتار همنوای افزایشی داشته (جدول ۱، شکل ۳) و مقدار بهینه آن ۱۰۰ درصد برآورد شده است (جدول ۲). نتایج به‌دست‌آمده حاکی از آن است که شمشاد در شیب‌های زیاد حضور بیشتری دارد که دلیل آن توان زیاد این گونه در استقرار در شیب‌های تند است.

واکنش گونهٔ شمشاد به شاخص تابش خورشیدی به‌صورت همنوای کاهشی است (جدول ۱، شکل ۳) که در طول گرادیان ۰-۱ دارای مقدار بهینه اکولوژیکی ۰/۰۰۰۰۷ است (جدول ۲). Bale و همکاران (۱۹۹۸) معتقدند که جهت دامنه، عاملی مهم در ایجاد تنوع در اکوسیستم است، همچنین یکی از عوامل مؤثر بر مقدار نور دریافتی، مقدار آب در دسترس گیاه و دمای خاک اکوسیستم است [۲۱] و ازآنجا که شمشاد طالب آب‌وهوای مرطوب (بحری) است و در شیب‌های جنوبی، رطوبت کمتر از شیب‌های شمالی است، حضورش در شیب‌های جنوبی کم است؛ بنابراین شمشاد در جهت‌های شمالی و شمال شرقی دارای بیشترین حضور است، درحالی که در جهت‌های جنوبی و جنوب غربی حضور و پراکنش کمتری دارد.

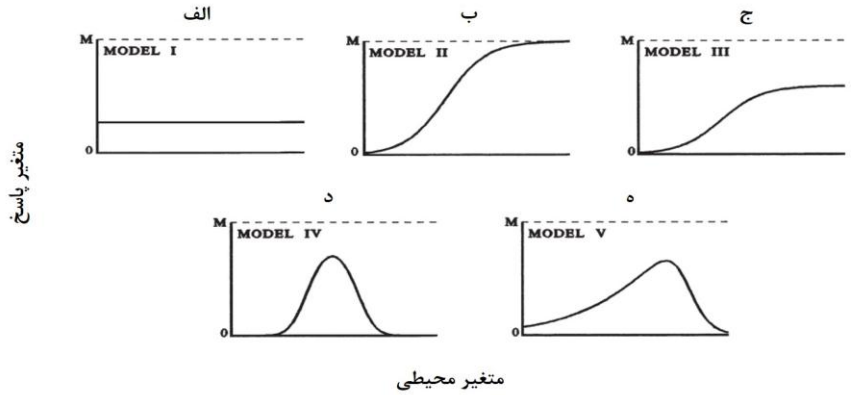
در خصوص رفتار گونهٔ شمشاد در برابر متغیرهای بافت خاک می‌توان اظهار داشت که با توجه به میزان آکاییک، گونهٔ شمشاد در برابر شاخص درصد شن، رس و سیلت خاک به‌ترتیب دارای رفتار تک‌نمایی چوله به چپ، تک‌نمایی چوله به راست و همنوای کاهشی است (جدول ۱، شکل ۴). این گونه نسبت متغیر درصد شن، دارای مقدار بهینهٔ اکولوژیکی ۷۳/۷۴ است. شاخص مقدار بهینهٔ درصد رس ۵/۱۶ درصد تخمین زده شده است. برای متغیر درصد سیلت خاک نیز مقدار بهینهٔ اکولوژیکی ۰/۰۰۰۰۵ درصد برآورد شده است (جدول ۲). این نتایج حاکی از آن است که این گونه از خاک‌هایی با درصد رس و سیلت زیاد گریزان است، ولی به‌راحتی می‌تواند در خاک‌هایی با درصد شن زیاد رویش پیدا

کند. شاهویی (۲۰۰۶) بیان داشت که بافت خاک تأثیر زیادی در کنترل میزان رطوبت و مواد غذایی در دسترس برای گیاهان دارد، بنابراین خاک‌های با عمق مناسب، آب در دسترس را به‌راحتی و به مقدار مناسب در اختیار گیاهان قرار می‌دهند [۲۲].

منحنی پاسخ گونهٔ شمشاد هیرکانی به متغیر نیتروژن خاک تک‌نمایی متقارن است (جدول ۱، شکل ۴)، به‌طوری که در میانهٔ گرادیان دارای بیشترین احتمال حضور است. گونهٔ شمشاد در برابر این شاخص دارای مقدار بهینهٔ اکولوژیکی ۰/۷۶ درصد است. ازت به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ریزمغذی‌های اکوسیستم زمینی شناخته‌شده و شاخص خوبی از بهره‌وری و در دسترس بودن مواد غذایی در رویشگاه است، Seidling و Fischer (۲۰۰۸) بیان کردند که گونه‌های بردبار به سایه در خاک‌های غنی از نیتروژن در دسترس یافت می‌شوند؛ بنابراین خاک‌های حاوی نیتروژن زیاد، برای رشد این گیاهان مناسب‌اند. در این‌گونه خاک‌های غنی، رقابت بر سر مواد غذایی کمتر است و بیشتر در کسب نور رقابت می‌کنند [۲۳]. به همین دلیل ارزش شاخص گونه‌ها برای فاکتور ازت خاک در رویشگاه‌های شمشاد هیرکانی زیاد است و تأثیر مهمی در پراکنش اجتماعات گیاهی شمشاد در جنگل‌های هیرکانی دارد.

در خصوص متغیر کربن آلی، واکنش گونهٔ شمشاد از نوع همنوای افزایشی است (جدول ۱، شکل ۴). این گونه در برابر این شاخص دارای مقدار بهینهٔ اکولوژیکی ۲/۸۶ درصد است (جدول ۲). رفتار شمشاد هیرکانی در خصوص متغیر نسبت کربن به نیتروژن از نوع کاهشی است (جدول ۱، شکل ۴). این گونه در برابر این شاخص دارای مقدار بهینهٔ اکولوژیکی ۵/۰۷ است (جدول ۲). افزایش نیتروژن در خاک سبب کاهش نسبت کربن به نیتروژن می‌شود. شمشاد در برابر متغیر نسبت کربن به نیتروژن روند کاهشی دارد، یعنی با افزایش نسبت کربن به نیتروژن حضورش کمتر می‌شود. علوی و همکاران (۲۰۱۷) نسبت کربن به نیتروژن را از شاخص‌های مهم معدنی شدن و حاصلخیزی خاک معرفی کردند که می‌تواند در مورد غنی بودن نیتروژن هوموس و فعالیت خاک‌ها اطلاعاتی ارائه دهد. با افزایش نیتروژن و در نتیجه، کاهش نسبت کربن به نیتروژن فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک بیشتر شده و عملیات تجزیهٔ لاشبرگ سریع‌تر می‌شود [۲۴].

منحنی پاسخ گونهٔ شمشاد هیرکانی به متغیر pH خاک، همنوای افزایشی است (جدول ۱، شکل ۴). این گونه در برابر این شاخص دارای مقدار بهینهٔ اکولوژیکی ۸/۱۰ است (جدول ۲). پاسخ شمشاد به pH خاک نشان می‌دهد که با افزایش pH حضور شمشاد بیشتر می‌شود که با یافته‌های رودی و همکاران (۲۰۱۲) همخوانی دارد. همچنین ثابتی (۱۹۹۴) اظهار داشت که درختان شمشاد حساسیتی در خصوص pH خاک از خود نشان نمی‌دهند و روی اغلب خاک‌ها حتی خاک‌های آهکی نیز رشد می‌کنند [۲۰، ۲۵].




**شکل ۲. مدل‌های تابع HOF**

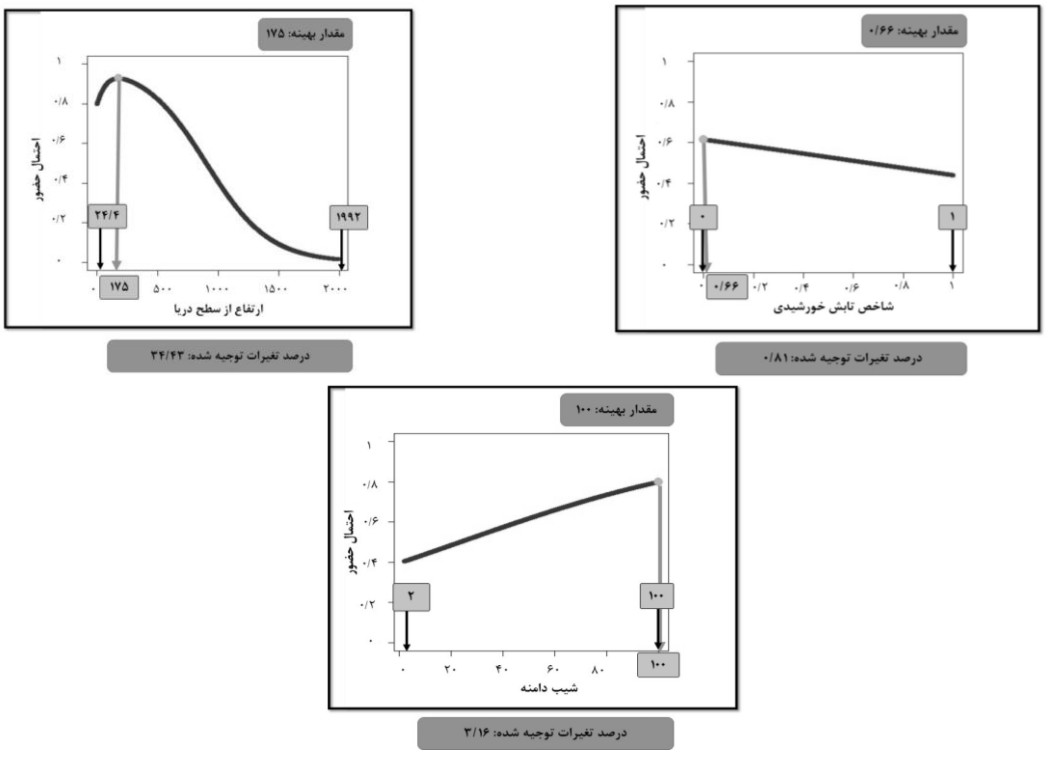
**جدول ۱. میزان AIC حاصله از برازش مدل‌های HOF به متغیرهای محیطی در رابطه با حضوروغیاب گونهٔ شمشاد**

| متغیر محیطی / مدل | مدل ۱ | مدل ۲ | مدل ۳ | مدل ۴ | مدل ۵ |
|---|---|---|---|---|---|
| ارتفاع از سطح دریا (متر) | ۱۱۵۰/۱۲ | ۷۵۶/۴۵ | ۷۵۷/۰۳۰ | ۷۵۴/۴۵ | ۷۵۴/★۰۷ |
| شیب (درصد) | ۱۱۳۰/۰۴ | ۱۰۹۴/★۳۰ | ۱۰۹۶ /۳۱ | ۱۱۱۱/۱۰ | ۱۰۹۸ /۳۳ |
| شاخص تابش خورشیدی | ۱۱۵۰/۱۲ | ۱۱۴۰/★۷۸ | ۱۱۴۲/۸۰ | ۱۱۴۲/۸۰ | ۱۱۴۲/۸۰ |
| شن (درصد) | ۱۱۴۷/۷۹ | ۹۳۳/ ۳ | ۹۳۳/۴۶ | ۹۳۲/ ۳ | ۹۲۹/ ★۷ |
| سیلت (درصد) | ۱۱۵۰/۱۲ | ۱۱۴۲/★۵۹ | ۱۱۴۴/۶۰ | ۱۱۴۴/۶۰ | ۱۱۴۶/۶۲ |
| رس (درصد) | ۱۱۵۰/۱۲ | ۸۶۵/۹۵ | ۸۶۷/۷۱ | ۸۶۶/۱۶ | ۸۶۳/★۹۰ |
| نیتروژن (درصد) | ۱۱۵۰/۱۲ | ۱۰۳۶/۱۱ | ۱۰۳۵/۸۸ | ۱۰۳۲/★۳۷ | ۱۰۳۲/۸۳ |
| کربن آلی (درصد) | ۱۱۵۰/۱۲ | ۱۱۰۴/۴۶ | ۱۰۷۶/★۲۰ | ۱۰۸۲ /۰۲ | ۱۰۷۷/۱۸ |
| نسبت کربن به نیتروژن | ۱۱۵۰/۱۲ | ۱۱۳۵/★۰۹ | ۱۱۳۷/۱۱ | ۱۱۳۷/۱۱ | ۱۱۳۹/۱۳ |
| pH | ۱۱۵۰/۱۲ | ۷۰۵/★۱۶ | ۷۰۷/۱۷ | ۷۰۷/۱۷ | ۷۰۹/۱۹ |

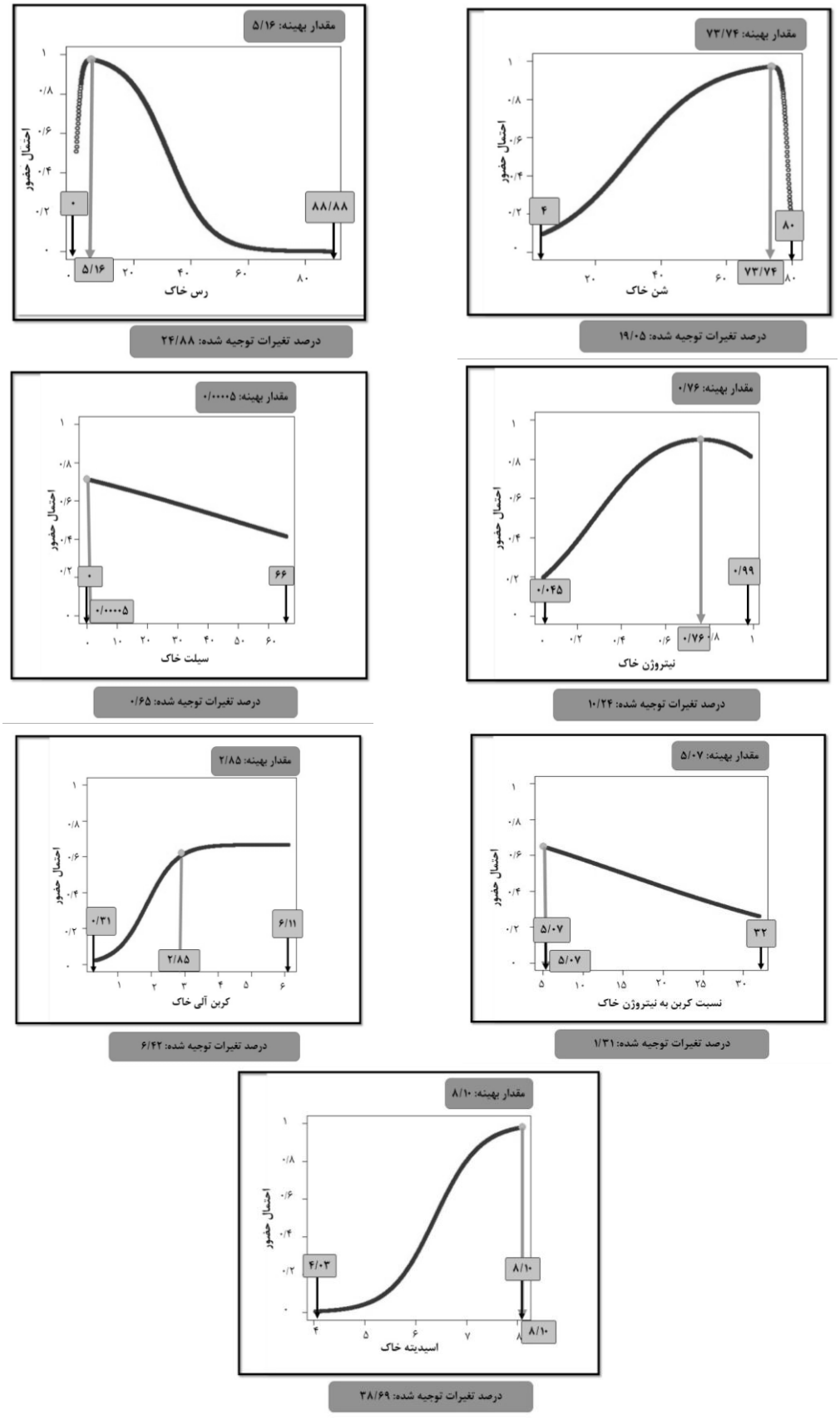
علامت ★ بیانگر مقدار کمترین آکاییک و بهترین مدل برای متغیر تحت بررسی است.

**جدول ۲. آماره‌های توصیفی، مقدار بهینهٔ گونه با استفاده از تابع HOF**

| متغیر محیطی | حداقل | حداکثر | میانگین | انحراف معیار | مقدار بهینه |
|---|---|---|---|---|---|
| ارتفاع از سطح دریا (متر) | ۲۴ | ۱۹۹۲ | ۷۵۰/۳ | ۵۲۰/۰۷ | ۱۷۵ |
| شیب (درصد) | ۲ | ۱۰۰ | ۳۶/۶۴ | ۲۵/۰۴ | ۱۰۰ |
| شاخص تابش خورشیدی | ۰ | ۱ | ۰/۳۱ | ۰/۳۳ | ۰/۰۰۰۰۷ |
| شن (درصد) | ۴ | ۸۰ | ۳۵/۲۴ | ۱۵/۱۱ | ۷۳/۷۴ |
| سیلت (درصد) | ۰ | ۶۶ | ۳۴/۹۴ | ۱۱/۴۰ | ۰/۰۰۰۰۵ |
| رس (درصد) | ۰ | ۸۸/۸۸ | ۲۹/۷۲ | ۱۱/۲۸ | ۵/۱۶ |
| نیتروژن (درصد) | ۰/۰۴۵ | ۰/۹۸۹ | ۰/۳۴ | ۰/۱۷ | ۰/۷۶ |
| کربن آلی (درصد) | ۰/۳۱ | ۶/۱۱ | ۳/۲۹ | ۱/۱۸ | ۲/۸۵ |
| نسبت کربن به نیتروژن | ۵/۰۷ | ۳۲ | ۱۱/۰۴ | ۴/۷۴ | ۵/۰۶۷ |
| pH | ۴/۰۳ | ۸/۱۰ | ۶/۵۲ | ۰/۹۴ | ۸/۰۹ |




**شکل ۳. برازش تابع HOF در برابر متغیرهای توپوگرافی**




**شکل ۴. برازش تابع HOF در برابر متغیرهای محیطی**

## نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، آشیان اکولوژیک گونهٔ شمشاد به‌عنوان یکی از گونه‌های انحصاری جنگل‌های هیرکانی با استفاده از تابع HOF در برابر برخی متغیرهای خاکی و فیزیوگرافی تحلیل شد. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که گونهٔ شمشاد در برابر متغیرهای موردبررسی همیشه رفتار گوسی نشان نداده است و می‌توان فرض صفر تحقیق را که گونهٔ شمشاد در برابر متغیرهای محیطی رفتاری تک‌نمایی و گوسی دارد رد کرد. با توجه به مقادیر انحراف توجیه‌شده، از میان متغیرهای محیطی به‌ترتیب سه عامل pH، ارتفاع از سطح دریا و درصد رس بیشترین سهم و متغیر سیلت کمترین سهم را در تغییرات پراکنش شمشاد داشتند. پژوهش حاضر نشان می‌دهد که در اکولوژی گیاهی شناسایی شاخص‌های آشیان اکولوژیک مشکل است، زیرا عوامل متعددی پراکنش و رفتار گونه‌ها را تعیین می‌کنند. تحقیق حاضر واکنش گونه‌ها را به تک‌متغیر محیطی سنجیده است و نشان می‌دهد که شمشاد گونه‌ای است آهک‌دوست و رطوبت‌پسند که ارتفاعات پایین و شیب‌های تند شمالی و خاک‌های سبک با نیتروژن زیاد را برای استقرار ترجیح می‌دهد و ازآنجا که همزمان بیش از یک عامل بر رفتار گونه تأثیر می‌گذارد، توصیه می‌شود که شکل منحنی پاسخ گونهٔ تحت بررسی در حضور گونه‌های دیگر، با در نظر گرفتن متغیرهای محیطی به‌صورت توأم و با مدل‌های دیگر، نیز بررسی شود. در پایان باید یادآور شد که بیان ریاضی روابط بین متغیرهای محیطی و واکنش گونه‌ها تنها کمکی برای تفسیر مشاهدات میدانی است و حتی قوی‌ترین همبستگی‌ها نیز نمی‌توانند قطعی درنظر گرفته شود.

## References


[1]. Comstock, J.P., and Ehleringer, J. R. (1992). Plant adaptation in the Great Basin and Colorado Plateau. Journal of Western North American Naturalist, 52(3): 195-215.

[2]. Ellenberge, H. (1992). Indicator values of plants in central Europe, Erich Goltze KG, D-3400 Gottingen.

[3]. Burke, A. (2001). Classification and ordination of plant communities of the Naukluft Mountain, Namibia. Journal of Vegetation Science, 12(1):53-60.

[4]. Cox, C.B., Moore, P.D., and Ladle, R. (2016). Biogeography: an ecological and evolutionary approach, John Wiley & Sons.

[5]. Austin, M.P., Nicholls, A.O., and Margules, C.R. (1990). Measurement of the realized qualitative niche: environmental niches of five Eucalyptus species. Ecological monographs, 60(2):161-177.

[6]. Jongman, R.H.G., Ter Braak., C.J.F., and Van Tongeren, O.F.R. (1995). Data Analysis in Community and Landscape Ecology, Cambridge University Press.

[7]. Austin, M.P., and Gaywood, M.J. (1994). Current problems of environmental gradients and species response curves in relation to continuum theory. Journal of Vegetation Science. 5(4): 473-482.

[8]. Huisman, J., Olff, H., and Fresco, L.F.M. (1993). A hierarchical set of models for species response analysis. Journal of Vegetation Science, 4(1): 37-46.

[9]. Lawesson, J.E., and Oksanen, J. (2002). Niche characteristics of Danish woody species as derived from Coenoclines. Journal of Vegetation Science, 13(2): 279-290.

[10]. Uğurlu, E., and Oldeland, J. (2012). Species response curves of oak species along climatic gradients in Turkey. International journal of biometeorology, 56(1): 85-93.

[11]. Jansen, F., and Oksanen, J. (2013). How to model species responses along ecological gradients–H uisman–O lff–F resco Models Revisited. Vegetation Science, 24(6): 1108-1117.

[12]. Suchrow, S., Stock, M., and Jensen, K. (2015). Patterns of plant species richness along environmental gradients in German North Sea Salt Marshes. Estuaries and coasts, 38(1): 296-309.

[13]. Mohadjer, M. R. (2006). Silviculture. University of Tehran Press, Tehran.

[14]. Asadi, H., Esmailzadeh, O., Hosseini, S. M., Asri, Y., and Zare, H. (2016). Application of Cocktail method in vegetation classification. Taxonomy and Biosystematics, 8(28): 21-38.

[15]. Moisen, G.G., and Frescino, T.S. (2002). Comparing five modelling techniques for predicting forest characteristics. Ecological modelling, 157(2-3): 209-225.

[16]. Asadi, H., Hosseini, S. M., and Esmailzadeh, O. (2012). Persistent soil seed bank in Khybus protected area. Journal of Forest and Wood Products (JFWP), Iranian Journal of Natural Resources, 65(2): 131-145.

[17]. Giannini, T. C., Lira-Saade, R., Ayala, R., Saraiva, A. M., and Alves-Santos, I. (2011). Ecological niche similarities of Peponapis bees and non-domesticated cucurbita species. Journal of Ecological Modelling, 222(12): 2011-2018.

[18]. Noroozi, J., Willner, W., Pauli, H., and Grabherr, G. (2014). Phytosociology and ecology of the high-alpine to subnival scree vegetation of N and NW Iran (Alborz and Azerbaijan Mts.). Applied Vegetation Science, 17(1): 142-161.

[19]. Hosseinzadeh, S., and Esmailzadeh, O. (2017). Floristic study of Buxus hyrcana stands in the Western Forests of Haraz District, Amol. Iranian Journal of Applied Ecology, 6(1):1-13.

[20]. Sabeti, H. (1994). Forests, trees and shrubs of Iran. Yazd University publication. Yazd.

[21]. Bale, C. L., Williams, J. B., and Charly, J. L. (1998). The impact of aspect on forest structure and floristics in some eastern Australian sites. Forest Ecology and Management, 110(1-3): 363-377.

[22]. Brady, N.C., and Weil, R., (2006). Nature and properties of soils, the: Pearson new international edition. Pearson Higher Ed.. Translated by Shawuy, S., Kurdistan University.

[23]. Seidling, W., and Fischer, R. (2008). Deviances from expected Ellenberg indicator values for nitrogen are related to N throughfall deposition in forests. Ecological indicators, 8(5): 639-646.

[24]. Alavi, S.J., Nouri, Z., and Zahedi Amiri, G. (2017).The response curve of Beech Tree (Fagus Orientalis Lipsky.) in relation to environmental variables using generalized additive model in Khayroud Forest, Nowshahr. Journal of Forest and Wood Science and Technology, 24(1): 29-42.

[25]. Roodi, Z., Jalilvand, H., and Esmailzadeh, O. (2012). Edaphic effects on distribution of plant ecological groups (Case study: Sisangan Buxus (Buxus hyrcana Pojark.) forest reserve). Journal of Plant Biology, 13(4): 39-55.

# Analyzing the ecological niche of *Buxus hyrcana* Pojark in the northern forests of Iran

**SH. Habibi kilak;** MSc. Student, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Nour, I.R. Iran

**S.J. Alavi[*] ;** Assist. Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Nour, I.R. Iran

**O. Esmailzadeh;** Assist. Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Nour, I.R. Iran

(Received: 01 August 2018, Accepted: 15 December 2018)

## ABSTRACT

By determining the environmental factors affecting the plant species in a particular site, the presence of the species in a site can be predicted, or indirectly, the environmental conditions in a site can be found by species presence. The aim of this research was to study the response of *Buxus hyrcana* Pojark to some environmental variables individually and to extract its ecological optimum and amplitude in relation to the most important environmental factors by using HOF function. This study has been done in the major sites of *Buxus hyrcana* in the Hyrcanian forests. 834 sample plots (400 $m^2$) were established by systematic-selective method and within each plot, the presence of this species, topographic factors (altitude, slope and aspect) and some soil variables (soil texture, nitrogen, carbon and pH) were recorded and measured. Fitting the response curve to the environmental variables with HOF function showed that pH, altitude, and clay were the most important predictors on the performance of box tree. The results of this study showed that the response curves of *Buxus* species relative to the elevation and clay are unimodal and right-skewed, for sand variable, it is left- skewed, for nitrogen the curve is symmetric and for the remaining variables, the response are monotonically increasing or decreasing. The general conclusion based on the ecological optimum amount for each variable showed that the Buxus tree is lime- and moisture-demanding species, which is present in low altitudes, steep slopes and light soils with high nitrogen content. Since more than one factor affects the behavior of species simultaneously, it is recommended that the shape of the *Buxus* response curve is studied by taking into account the environmental variables in combination and by using other models.

**Keywords:** HOF function, Response curve, Optimum, Ecological amplitude, Box tree (*Buxus hyrcana* Pojark).

[*]Corresponding Author: Email: j.alavi@modares.ac.ir, Tel: +98 9111580097