نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل
جلد بیست و چهارم، شماره اول، ۱۳۹۶
http://jwfst.gau.ac.ir

منحنی عکس‌العمل گونه راش نسبت به متغیرهای محیطی با استفاده از مدل جمعی تعمیم‌یافته در جنگل خیرود، نوشهر

***سیدجلیل علوی[۱]، زهرا نوری[۲] و قوام‌الدین زاهدی امیری[۳]**

[۱]استادیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، دانشگاه تربیت مدرس،
[۲]دانش‌آموخته دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران،
[۳]استاد گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۹/۰۱

چکیده

سابقه و هدف: یکی از زمینه‌های مطرح در بوم‌شناسی پوشش گیاهی، تحلیل و درک روابط گونه‌های گیاهی و عوامل رویشگاهی، مخصوصاً عکس‌العمل گونه‌ها به گرادیان‌های اکولوژیکی است. از چند دهه گذشته تلاش‌های زیادی برای پیوند عملکرد گونه‌های گیاهی به عوامل محیطی صورت گرفته است. هدف از انجام این تحقیق بررسی منحنی عکس‌العمل گونه راش نسبت به متغیرهای محیطی با استفاده از مدل جمعی تعمیم‌یافته می‌باشد.

مواد و روش‌ها: بدین منظور در جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود نوشهر، پس از تهیه نقشه شکل زمین بر اساس ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت جغرافیایی، ۱۱٤ قطعه‌نمونه دایره‌ای شکل به مساحت ۱۰ آر در تیپ‌های راش انتخاب و در مرحله بعد محل این نقاط در طبیعت با مختصات مربوطه با استفاده از سامانه مکان‌یاب جهانی مشخص گردید. بعد از پیاده نمودن قطعات نمونه، ارتفاع ۵ اصله از قطورترین درختان در هر قطعه‌نمونه اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها به‌عنوان ارتفاع غالب در نظر گرفته شد. ارتفاع از سطح دریا، آزیموت و درصد شیب قطعات نمونه، اندازه‌گیری و ثبت شد. همچنین در مرکز هر قطعه‌نمونه، از عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری خاک صورت گرفت. پارامترهای بافت خاک، وزن مخصوص ظاهری، pH خاک، درصد رطوبت اشباع، درصد آهک، درصد نیتروژن، درصد کربن و ماده آلی، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و فسفر قابل‌جذب آنالیز شد. در مطالعه حاضر با استفاده از مدل جمعی تعمیم‌یافته در نرم‌افزار آماری R و بسته mgcv، منحنی پاسخ گونه راش نسبت به متغیرهای محیطی به‌صورت انفرادی و ترکیبی تحلیل شد. با توجه به ماهیت متغیر پاسخ، توزیع گوسی و تابع پیوند همانی برای مدل جمعی تعمیم‌یافته در نظر گرفته شد.

یافته‌ها: مقایسه منحنی‌های پاسخ حاصل از مدل جمعی تعمیم‌یافته برای متغیرهای تبیینی به‌صورت انفرادی و ترکیبی نشان می‌دهد که اختلافات قابل‌توجهی در شکل منحنی پاسخ وجود دارد. همچنین در خصوص معنی‌داری متغیرهای تبیینی نیز تفاوت‌هایی وجود دارد. به‌کارگیری مدل‌های جمعی تعمیم‌یافته برای هر یک از متغیرهای محیطی به‌صورت

*مسئول مکاتبه: j.alavi@modares.ac.ir

انفرادی نشان می‌دهد که متغیرهای ارتفاع از سطح دریا، درصد شیب، تابش خورشیدی، درصد رس، درصد سیلت، درصد شن، درصد نیتروژن، درصد رطوبت اشباع، درصد کربن، درصد ماده آلی، اسیدیته، فسفر و پتاسیم در سطح ۰/۰۵ درصد معنی‌دار می‌باشند. در صورت در نظر گرفتن هم‌زمان تمامی متغیرهای غیر هم خط، ارتفاع از سطح دریا، تابش خورشیدی، درصد شن، وزن مخصوص ظاهری، درصد نیتروژن، نسبت کربن به نیتروژن، اسیدیته و فسفر متغیرهای مؤثر بر ارتفاع غالب گونه راش در مدل جمعی تعمیم‌یافته می‌باشند.

نتیجه‌گیری: نتایج مطالعه حاضر بیان می‌دارد که چنانچه هدف از مطالعه، تنها بررسی شکل منحنی پاسخ گونه باشد، در نظر گرفتن توأمان متغیرهای تبیینی، توصیف دقیق‌تری از رفتار گونه نسبت به متغیرهای محیطی ارائه می‌دهد، اما اگر محقق در نظر داشته باشد علاوه‌بر شکل منحنی پاسخ، پارامترهایی نظیر مقدار اپتیمم و دامنه اکولوژیک متغیر محیطی را برای یک گونه استخراج نماید، رفتار گونه‌ها نسبت به متغیرها به‌صورت انفرادی می‌تواند گزینه بهتری باشد.

واژه‌های کلیدی: گونه راش، متغیرهای محیطی، مدل جمعی تعمیم‌یافته، منحنی پاسخ

مقدمه

کلیه گونه‌های گیاهی در محیط‌زیست خود تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار می‌گیرند و هیچ گونه‌ای بدون وابستگی به محیط اطراف و به‌صورت مجزا زندگی نمی‌کند. عکس‌العمل گونه‌ها در زمان و مکان ممکن است ناشی از محدودیت‌های فیزیولوژیکی، اثرات متقابل با سایر گونه‌ها، دخالت بشری و غیره باشد (۷)، اما دلیل آن هر چه باشد به مدل‌های ریاضی نیاز است تا بتوان الگوهای عکس‌العمل مشاهده‌شده را توصیف نمود (۲۱). بیش از یک قرن است که بوم شناسان برای یافتن عوامل محیطی کنترل‌کننده پراکنش و تنوع گونه‌های گیاهی تلاش می‌کنند (۸). به‌منظور مدیریت صحیح اکوسیستم‌های جنگلی ارتباط بین عوامل محیطی همچون عوامل پستی‌وبلندی، اقلیم و خاک با پراکنش و عملکرد گونه‌های گیاهی باید به‌خوبی شناخته شود (۱۲).

نکته قابل‌توجه این است که یک گونه گیاهی در بخش‌های محدود و مشخصی از هر گرادیان و تحت شرایط اکولوژیکی مشخص رشد، تکثیر و بقا می‌یابند و در این محدوده مناسب گونه می‌تواند باقی بماند و جمعیت بزرگی را تشکیل بدهد و به حداکثر فراوانی برسد. ولی خارج از این محدوده، متحمل فشارهای فزاینده عوامل اکولوژیک می‌شود (۹)، ازاین‌رو حضور یک گونه گیاهی در یک رویشگاه و عملکرد خوب آن لزوماً به معنی تأمین نیازهای آن ازنظر عناصر غذایی، رطوبت، دما، نور و غیره می‌باشد (۳۹).

از چند دهه گذشته تلاش‌های زیادی برای پیوند عملکرد گونه‌ها (عملکرد دربرگیرندهٔ اندازه‌گیری بعضی از قسمت‌های گیاه همانند ارتفاع گیاه، طول، شکل و اندازه برگ و غیره است که به شاخص اندازه رشد، قدرت و توان گیاهی مرتبط باشد (۲۵) به متغیرهای محیطی توسط بوم‌شناسان و آماردانان صورت گرفته است. یک موضوع کلیدی در مطالعه روابط گونه و محیط، منحنی پاسخ گونه با بهره‌گیری از تکنیک‌های آماری مختلف می‌باشد. منحنی پاسخ گونه که به‌صورت منحنی عملکرد گونه در رابطه با تغییر در عوامل محیطی تعریف می‌شود که ممکن

است ثابت، به‌طور موزون یا هم‌نوا افزایشی یا کاهشی[1]، تک نمایی[2] یا دو نمایی[3] باشد (۲٤).

متداول‌ترین رویکردی که در بررسی منحنی پاسخ گونه‌ها مورداستفاده می‌گیرد، مدل‌های خطی تعمیم‌یافته می‌باشد. هرچند این مدل، زمانی که به‌طور مناسب مورداستفاده قرار گیرد، یک رویکرد ارزشمندی است، اما برای بسیاری از وضعیت‌های واقعی خیلی ساده‌اند و توسط فرض‌های اساسی محدود می‌شود. همچنین استفاده از مدل‌های خطی تعمیم‌یافته در بوم‌شناسی پوشش گیاهی دارای نقاط ضعفی است که مهم‌ترین آن این است که در تحلیل رابطه عملکرد گونه و محیط، شکل منحنی پاسخ ممکن است ازنظر زیستی، غیرواقع بینانه باشد (۱۸ و ٤۲)، برای رفع این مسئله، مدل‌های جمعی تعمیم‌یافته توسعه پیداکرده است (٤۲). به‌طورکلی در اکولوژی پوشش گیاهی این دیدگاه مطرح می‌باشد که عکس‌العمل گونه در امتداد گرادیان‌های محیطی، متقارن و تک نمایی است (۳۱)، اما نتایج بسیاری از مطالعات حکایت از آن دارد که هرچند منحنی‌های عکس‌العمل تک نمایی متقارن در طبیعت مشاهده می‌شود، ولی عمومیت ندارند و ممکن است منحنی‌هایی با شکل‌های دیگر همانند دونمایی، چوله دار و غیره نیز وجود داشته باشد (۲۵).

در خصوص استفاده از مدل جمعی تعمیم‌یافته[4] (GAM) در بررسی منحنی پاسخ مطالعات معدودی صورت گرفته است، اما در کشور ایران می‌توان به مطالعه احمدی و همکاران (۲۰۱۵) اشاره نمود که در آن توان تولید رویشگاه راش نسبت به متغیرهای محیطی موردبررسی قرار گرفت (۲). علوی و همکاران (۲۰۱۲ و ۲۰۱۳) با استفاده از مدل خطی تعمیم‌یافته و تابع بتا به بررسی منحنی پاسخ گونه راش پرداخته و مقدار بهینه و دامنه اکولوژیک تعدادی از متغیرهای محیطی را برای گونه راش برآورد نمودند (۳ و ٤). مرور مطالعات صورت رفته در خصوص نیاز رویشگاهی راش نشان می‌دهد که این‌گونه در جنگل‌های میان‌بند از قدرت رویشگاهی و توان تولیدی بیشتری برخوردار بوده (۲۸)، شیب‌های ملایم را در جنگل‌های طبیعی جهت‌های شمالی و دامنه‌هایی با شیب متوسط را ترجیح می‌دهد و به رطوبت زیاد هوا و محیط خنک نیازمند است (٤)، از خاک‌های خیلی سنگین و خیلی نمناک اجتناب می‌نماید (۳٤)، همچنین از رطوبت زیاد خاک گریزان است و خاک خوب زهکشی شده از نیازهای بنیادی گونه راش می‌باشد.

در خصوص مطالعات صورت گرفته در خارج از کشور می‌توان به موارد زیر اشاره داشت. مدل جمعی تعمیم‌یافته توسط یی و میشل (۱۹۹۱) با استفاده از داده‌های حضوروغیاب سه گونه گیاهی موردبحث قرارگرفته است و مدل GAM به‌عنوان یک ابزار تبیینی در تحلیل پراکنش گونه گیاهی در رابطه با متغیر اقلیمی معرفی شد. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد در خصوص این سؤال که آیا منحنی پاسخ گونه، در یک بعد، متقارن و زنگوله‌ای شکل است یا خیر، می‌تواند با استفاده از GAM آزمون گردد (٤۰). با استفاده از مدل‌های خطی تعمیم‌یافته، مدل‌های جمعی تعمیم‌یافته و درخت طبقه‌بندی، پراکنش ۲۰ گونه درختچه در جنوب غربی کالیفرنیا با استفاده از متغیرهای اقلیمی و توپوگرافی توسط فرانکلین (۱۹۹۸) پیش‌بینی شد. نتایج نشان داد که GAM برای بررسی شکل منحنی‌های پاسخ مفید بوده است (۱۱). وتاس (۲۰۰۰) منحنی پاسخ گونه *Rhododendron arboretum* را نسبت به متغیر درجه حرارت سالانه در هیمالیا با استفاده از مدل خطی و جمعی تعمیم‌یافته

1- Monotonically increasing or decreasing
2- Unimodal
3- Bimodal
4- Generalized Additive Model

موردبررسی قرار داد. نتایج نشان داد که منحنی پاسخ تا حدودی چوله دار بوده است (۳۷). اکسانن و مینچین (۲۰۰۱) با استفاده از یک مجموعه داده‌های گیاهان آوندی در طول گرادیان ارتفاعی، مدل‌های HOF[1]، مدل‌های خطی تعمیم‌یافته و تابع بتا را مقایسه نمودند و به این نتیجه رسیدند که مدل HOF روش مؤثری برای توصیف شکل عکس‌العمل گونه می‌باشد (۳۱). میلر و فرانکلین (۲۰۰۲) از مدل جمعی تعمیم‌یافته به‌منظور تعیین شکل منحنی پاسخ به‌منظور پارامتریزه کردن مدل خطی تعمیم‌یافته استفاده نمودند (۳۰). هیکینن و ماکیپا (۲۰۱۰) منحنی‌های عکس‌العمل اکولوژیک گونه‌های گیاهی رقابت کننده را در طول گرادیان منابع در جنگل‌های بوره آل کشور فنلاند با استفاده از ٤٥٥ قطعه‌نمونه مطالعه نمودند. منحنی‌های عکس‌العمل گونه‌ها در گرادیان حاصلخیزی خاک (برحسب نسبت کربن به نیتروژن) با استفاده از مدل جمعی تعمیم‌یافته برآورد شد (۱۹). جانزن و اکسانن (۲۰۱۳) محنی پاسخ پوشش گیاهی حاصل از ٥٤۷ قطعه‌نمونه در شمال شرق آلمان را نسبت به گرادیان pH با استفاده از مدل جمعی تعمیم‌یافته و تابع HOF موردبررسی قراردادند. نتایج نشان داد مدل‌های HOF با استفاده از معیارهای اطلاعاتی AIC و BIC در برخی موارد از مدل جمعی تعمیم‌یافته در بررسی منحنی پاسخ گونه‌ها مناسب‌تر می‌باشند (۲۳).

هرچند بسیاری از پژوهشگران بر این باورند که یک روش کلی به‌عنوان بهترین تکنیک در بررسی پاسخ گونه‌ها به متغیرهای محیطی وجود ندارد، اما بسته به وسعت و هدف مطالعه، برخی از تکنیک‌ها در شرایط خاص احتمالاً کارایی بهتری نسبت به تکنیک‌های دیگر دارند (۱). نکته مهم در مورد مدل‌های جمعی تعمیم‌یافته این است که به‌جای پیش‌فرض‌های پارامتری، این مدل‌ها به‌جای مدل‌محوری، داده‌محورند، یعنی نتایج پارامترهای به‌دست‌آمده از مدل پیشین استنباط نمی‌شود، بلکه ساختار داده‌ها آزمون می‌شود (۲، ٤۰). با توجه به این‌که گونه راش یکی از فراوان‌ترین و اقتصادی‌ترین گونه‌های پهن‌برگ در جنگل‌های هیرکانی بوده که حدود ۱۷/٦ درصد از سطح کل جنگل‌ها، ۳۰ درصد از کل حجم سرپا و حدود ۲۳/٦ درصد از کل تعداد درختان را به خود اختصاص داده است (۳۳)، در این مطالعه منحنی پاسخ ارتفاع غالب گونه راش نسبت به هریک از متغیرهای محیطی در جنگل‌های آمیخته و ناهمسال راش با بهره‌گیری از مدل جمعی تعمیم‌یافته موردبررسی قرار می گیرد. شایان ذکر است ارتفاع غالب یکی از معیارهای مهمی است که تحت تأثیر کیفیت رویشگاه و توان تولیدی آن می‌باشد (۵). این معیار برخلاف قطر برابر سینه کمتر تحت تأثیر عملیات پرورشی در جنگل قرار می‌گیرد و رابطه نزدیکی با حجم درختان دارد، به همین دلیل معیار مناسبی برای بررسی کیفیت رویشگاه می‌باشد (۲۰).

مواد و روش‌ها

وضعیت منطقه موردمطالعه: جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود در ۷ کیلومتری شرق نوشهر بین ′۳٦°۲۷ تا ′۳٦°٤۰ عرض شمالی و ′۵۱°۳۲ تا ′۵۱°٤۳ طول شرقی واقع‌شده است. مساحت کل منطقه حدود ۸۰۰۰ هکتار می‌باشد. این جنگل شامل ۷ بخش می‌باشد. مطالعه حاضر در بخش‌های پاتم، نم خانه، گرازبن، چلیر و بهاربن (به مساحت تقریباً ٦۰۰۰ هکتار) صورت گرفته است. میزان بارندگی سالیانه در منطقه خیرود ۱۳۰۰ میلی‌متر است که حداقل آن در تیرماه و حداکثر آن در مهرماه است. گرم‌ترین ماه سال تیر و مرداد با میانگین دمای °۲۹/۲

1- Huisman-Olff-Fresco

و سردترین ماه سال، بهمن ماه با میانگین دمای ۲/٦ ° است. همچنین میانگین دمای سالانه برابر با ۱۵/۹ ° ثبت شده است (۳۵).

روش انجام تحقیق

در مطالعه حاضر از روش نمونه‌برداری طبقه‌بندی شده بر مبنای شکل زمین استفاده شده است. بدین منظور پس از تهیه نقشه شکل زمین بر اساس ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت جغرافیایی با توجه به تعداد زیاد واحدهای شکل زمین با یک کُد یا مشخصه در تیپ‌های راش، واحدی که بیشترین سطح را در توده راش داشته، انتخاب و مختصات مرکز آن تعیین شد. در این تحقیق سعی شده است که قطعات نمونه در منطقه مورد مطالعه به خوبی پراکنش داشته باشند. در مرحله بعد محل این نقطه در طبیعت با مختصات مربوطه با استفاده از سیستم مکان‌یاب جهانی[1] (GPS) مشخص گردید. بعد از پیاده نمودن ۱۱٤ قطعات نمونه دایره‌ای شکل به مساحت ۱۰ آر، ارتفاع ۵ اصله از قطورترین درختان در هر قطعه‌نمونه اندازه‌گیری گردید و میانگین ارتفاع آن‌ها به‌عنوان ارتفاع غالب در نظر گرفته شد. پس از پیاده نمودن قطعه‌نمونه، ارتفاع از سطح دریا، آزیموت و درصد شیب قطعات نمونه، اندازه‌گیری و ثبت شد. جهت جغرافیایی با استفاده از رابطه زیر به شاخص تابش خورشیدی[2] تبدیل گردید که در آن θ مقدار آزیموت جهت بر حسب درجه می باشد. مقدار شاخص تابش خورشیدی بین صفر و یک می باشد و جهت شمال شرقی دارای مقدار صفر (خنک‌ترین دامنه) و جهت جنوب غربی دارای مقدار یک (گرمترین دامنه) می باشد (۱).

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

در مرحله بعد در همچنین در مرکز هر قطعه‌نمونه، از عمق ۰-۱۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری خاک صورت گرفت. نمونه‌های خاک بعد از انتقال به آزمایشگاه در هوای آزاد خشک گردیدند و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شد و پارامترهای بافت خاک به روش هیدرومتری، وزن مخصوص ظاهری به روش کلوخه و پارافین، pH خاک با دستگاه pH متر الکتریکی، درصد رطوبت اشباع با استفاده از گل اشباع، نیتروژن به روش کجلدال، کربن آلی به روش اکسیداسیون دی‌کرومات، پتاسیم به‌وسیله دستگاه طیف‌سنج اتمی و فسفر قابل‌جذب به روش اولسن در آزمایشگاه آنالیز شد (۲۲).

مدل‌های جمعی تعمیم‌یافته: مدل جمعی تعمیم‌یافته یک مدل ناپارامتری بوده و بسط مدل‌های خطی تعمیم‌یافته می‌باشد، اما برخلاف مدل خطی تعمیم‌یافته که در آن رابطه بین متغیرهای تبیینی و پاسخ به‌وسیله فرمول ارائه می‌شود، اجازه داده می‌شود داده‌ها شکل منحنی پاسخ را تعیین کنند (۱۷)، ازاین‌رو این مدل‌ها به‌جای مدل‌محوری، داده‌محورند، یعنی نتایج پارامترهای به‌دست‌آمده از مدل پیشین استنباط نمی‌شود.

در مدل جمعی تعمیم‌یافته فرض بر این است که متغیر پاسخ Y دارای توزیعی از خانواده نمایی می‌باشد که از طریق تابع پیوند[1] (g) به متغیرهای پیشگو (X_j) متصل می‌شود. مدل‌های جمعی تعمیم‌یافته به‌صورت زیر بیان می‌شود (۱۷):

$$g(\mu) = \alpha + \sum_{j=1}^{p} f_j(X_j)$$

که در آن f_jها توابعی نامعلوم و هموار و X_j متغیرهای پیشگو هستند. به‌طور خاص f_j از روی داده‌ها و با استفاده از تکنیک‌های پیشرفته هموارساز نمودار پراکنش برآورد می‌شود. وجود هموارسازها در مدل‌های جمعی تعمیم‌یافته سبب توانایی این مدل در تجزیه‌وتحلیل داده‌های اکولوژیکی و مشخص کردن

1- Global Positioning System
2- Radiation Index

رابطه غیرخطی بین متغیرهای مختلف دارند (۱۳). در مطالعه حاضر با استفاده از نرم‌افزار آماری R نسخه ۳,۲,٤ (۳۲) و بسته mgcv (۳۹) منحنی پاسخ گونه راش نسبت به هر یک از متغیرهای محیطی تحلیل شد. با توجه به ماهیت متغیر پاسخ، توزیع گوسی و تابع پیوند همانی در نظر گرفته شد.

در بررسی منحنی پاسخ، رفتار گونه‌ها در طول تنها یک گرادیان موردبررسی قرار می‌گیرد، درصورتی‌که عوامل متعددی به‌صورت توأمان پراکنش و رفتار گونه‌ها را تعیین می‌نمایند، بنابراین عکس‌العمل گونه‌ها به تک متغیر محیطی ممکن است غیرممکن باشد (۲٦). نکته قابل‌توجه در مدل‌های جمعی تعمیم‌یافته این است که این توابع قابلیت جمع‌پذیری دارند، از آنجا که اثر هر متغیر، به‌صورت جداگانه بیان می‌شود، هر تابع می‌تواند برای آزمون نقش متغیرها در پیشگویی پاسخ به‌صورت جداگانه بررسی شود. از آنجاکه در مدل جمعی تعمیم‌یافته، پارامترها توسط اصل درست نمایی حداکثر برآورد می‌شوند، برای اندازه‌گیری نکویی برازش مدل به‌جای ضریب تبیین از درصد انحراف توجیه شده استفاده می‌شود که فرمول آن به صورت زیر است (٤):

$$\frac{\text{انحراف باقیمانده} - \text{انحراف صفر}}{\text{انحراف صفر}} * 100$$

انحراف صفر[1]، انحراف باقیمانده در مدل است که فقط شامل عرض از مبداء است. هرچه انحراف باقیمانده کمتر باشد، مدل بهتر است. درصد انحراف توجیه شده، همانند ضریب تبیین، به‌عنوان نسبتی از تغییرپذیری متغیر پاسخ توصیف شده توسط مدل رگرسیون است (٤).

نتایج و بحث

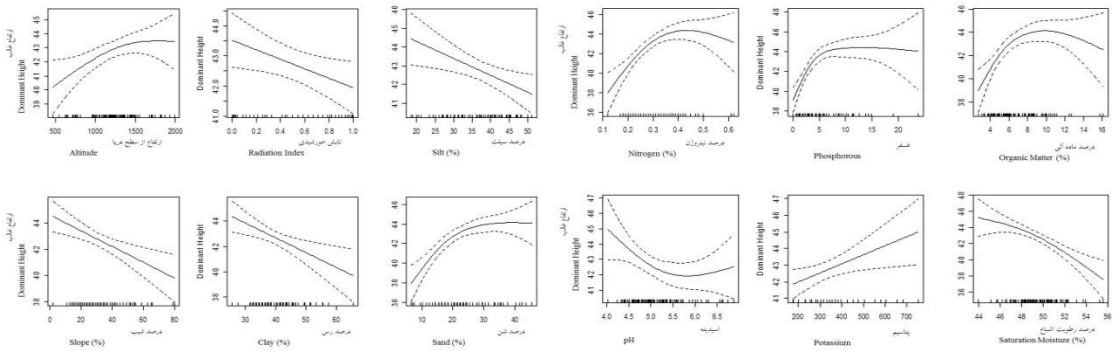
به‌کارگیری مدل‌های جمعی تعمیم‌یافته با توزیع گوسی و تابع پیوند همانی برای هر یک از متغیرهای محیطی به‌صورت انفرادی نشان می‌دهد که متغیرهای ارتفاع از سطح دریا، درصد شیب، تابش خورشیدی، درصد رس، درصد سیلت، درصد شن، درصد نیتروژن، درصد رطوبت اشباع، درصد کربن، درصد ماده آلی، اسیدیته، فسفر و پتاسیم در سطح ۰/۰۵ درصد معنی‌دار می‌باشند. رتبه‌بندی متغیرهای اثرگذار بر عملکرد گونه راش با استفاده از معیار انحراف توجیه شده و معیار اطلاعاتی آکائیک نشان می‌دهد که فسفر، درصد شن، درصد نیتروژن مهم‌ترین متغیر و تابش خورشیدی و پتاسیم کم‌اهمیت‌ترین متغیر بر ارتفاع غالب گونه راش می‌باشند (جدول ۱). در شکل ۱، منحنی پاسخ گونه راش نسبت به هر یک از متغیرهای محیطی اثرگذار ارائه‌شده است.

1- Null Deviance

جدول ۱- نتایج برازش مدل جمعی تعمیم‌یافته نسبت به هر یک از متغیرهای تبیینی معنی‌دار به‌صورت انفرادی.

Table 1. The results of GAM fitting to each significand explanatoty variable individually.

متغیر محیطی Variables	درجه آزادی مدل Model's Degree of Freedom	پی ولیو p-value	درصد انحراف توجیه شده Deviance Explained	معیار اطلاعاتی آکائیک Akaike Information Criterion
فسفر Phosphorus	2.82	0.000	31.4	525.33
درصد شن Sand (%)	2.38	0.000	27.4	530.93
درصد نیتروژن Nitrogen (%)	2.32	0.000	26.1	532.73
درصد رطوبت اشباع Saturation (%)	1.78	0.000	22.8	536.72
درصد کربن و ماده آلی OC and OM (%)	2.50	0.000	20.4	541.54
درصد شیب Slope (%)	1	0.001	9.3	553.50
ارتفاع از سطح دریا Altitude	1.74	0.015	8.2	556.35
درصد رس Clay (%)	1	0.003	7.37	555.90
اسیدیته pH	1.89	0.033	7.34	557.71
درصد سیلت Silt (%)	1	0.008	6.08	557.47
پتاسیم Potassium	1	0.0182	4.88	558.92
تابش خورشیدی Radiation Index	1	0.030	4.12	559.82



شکل ۱- منحنی پاسخ گونه راش نسبت به هر یک از متغیرهای تبیینی معنی‌دار به‌صورت انفرادی.

Figure 1. The response curve of Beech tree to each significant explanatory variable individually.

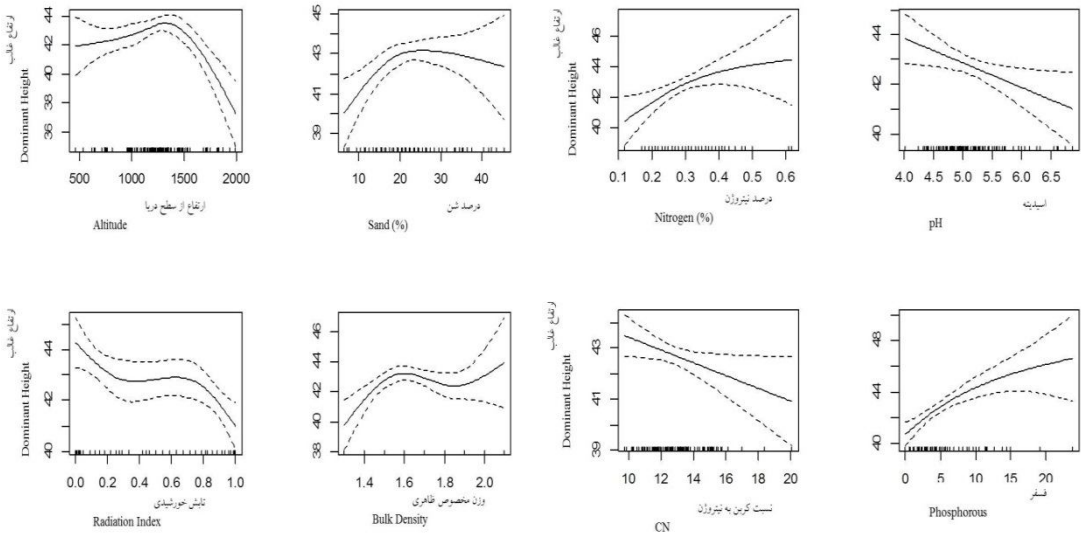
بعد از حذف متغیرهای درصد رطوبت اشباع، درصد کربن و درصد ماده آلی که دارای هم خطی بوده‌اند، گزینش متغیرهای غیر هم خط با استفاده از روش روبه‌جلو و معیار اطلاعاتی آکائیک در مدل جمعی تعمیم‌یافته نشان داد که ارتفاع از سطح دریا، تابش خورشیدی، درصد شن، وزن مخصوص

ظاهری، درصد نیتروژن، نسبت کربن به نیتروژن، اسیدیته و فسفر متغیرهای مؤثر بر ارتفاع غالب گونه راش می‌باشند (جدول ۲). بر اساس نتایج حاصل از این روش و استفاده از مقادیر درجه آزادی به‌دست آمده در جدول ۲ می‌توان بیان داشت که ارتفاع از سطح دریا، تابش خورشیدی، درصد شن و وزن مخصوص ظاهری رابطه غیرخطی با متغیر ارتفاع غالب دارند.

جدول ۲- نتایج برازش مدل جمعی تعمیم‌یافته به‌صورت توأمان با متغیرهای معنی‌دار مورد بررسی.

Table 2. The results of GAM fitting to all significant explanatoty variable simultaneously.

متغیر Variables	درجه آزادی مدل Model's Degree of Freedom	پی ولیو p-value
ارتفاع از سطح دریا Altitude	2.84	0.000
تابش خورشیدی Radiation Index	2.82	0.000
درصد شن Sand (%)	2.38	0.019
وزن مخصوص ظاهری Bulk Density	2.77	0.008
درصد نیتروژن Nitrogen (%)	1.72	0.014
نسبت کربن به نیتروژن Carbon/Nitrogen Ratio	1	0.037
اسیدیته pH	1	0.018
فسفر Phosphorus	1.85	0.000



شکل ۲- منحنی پاسخ گونه راش به‌صورت توأمان نسبت به متغیرهای محیطی معنی‌دار.

Figure 2. The response curve of Beech tree to all significant explanatory variable simultaneously.

مقایسه نمودارهای حاصل از مدل جمعی تعمیم‌یافته برای متغیرهای تبیینی به‌صورت انفرادی و ترکیبی نشان می‌دهد که اختلافات قابل‌توجهی در شکل منحنی پاسخ وجود دارد. همچنین در خصوص معنی‌داری تعدادی از متغیرهای تبیینی نیز تفاوت‌هایی وجود دارد، به‌عنوان مثال برازش مدل جمعی تعمیم‌یافته به‌صورت انفرادی نشان می‌دهد وزن مخصوص ظاهری و نسبت کربن به نیتروژن رابطه معنی‌داری را با ارتفاع غالب نشان ندادند، اما این دو متغیر در حضور سایر متغیرها، اثر معنی‌داری را بروز دادند. همچنین متغیرهای پتاسیم، درصد سیلت، درصد رس و درصد رس که به‌صورت انفرادی تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع غالب گونه راش داشتند، در مدل جمعی تعمیم‌یافته ترکیبی، غیر معنی‌دار بوده است.

همان‌طور که بیان شد در مطالعات مرتبط با منحنی پاسخ، رفتار گونه‌ها در طول تنها یک گرادیان مورد بررسی قرار می‌گیرد، درصورتی که عوامل متعددی به‌صورت توأمان پراکنش و رفتار گونه‌ها را تعیین می‌نمایند. رفتار گونه راش نسبت به متغیر ارتفاع از سطح دریا از نوع تک نمایی است به‌طوری که با افزایش ارتفاع از سطح دریا، بر مقدار ارتفاع غالب گونه راش افزوده می‌شود و در مقدار ارتفاع از سطح دریا ۱٤۰۰ متر یعنی در مناطق میان‌بند به حداکثر ارتفاع می‌رسد و از آن به بعد با شیب نسبتاً زیادی کاهش می‌یابد. مطالعات مهاجر (۱۹۷٦)، علوی و همکاران (۲۰۱۲)، علوی و همکاران (۲۰۱۳) و گلیساشویلی و همکاران (۱۹۷۵) نیز تأیید نمودند قدرت رویشگاهی و تولیدی راشستان‌های واقع در منطقه میان‌بند بیشتر می‌باشد (۳، ٤، ۱٤ و ۲۸). در خصوص جهت جغرافیایی مشاهده می‌شود که با گرم‌تر شدن دامنه، منحنی عکس‌العمل گونه راش رفتاری کاهنده را نشان می‌دهد، به عبارتی این گونه از گرمای زیاد دامنه گریزان می‌باشد. با توجه به طولانی‌تر بودن زمان بهره‌گیری از تابش خورشید، دامنه‌های مشرف به سمت جنوب و غرب انرژی حرارتی بیشتری را در مقایسه با دامنه‌های مشرف به شمال دریافت می‌نمایند (۲). با توجه به این‌که گونه راش بیشتر محیط‌های خنک می‌پسندد (٤)، ارتفاع غالب آن در دامنه‌های شمال و شمال شرقی به بالاترین حد رسیده است.

در خصوص وزن مخصوص ظاهری مشاهده می‌گردد که گونه راش رفتاری تک نمایی به این متغیر را نشان می‌دهد به این معنی که گونه راش از خاک‌های با وزن مخصوص ظاهری زیاد دوری می‌نماید. وزن مخصوص ظاهری زیاد با کم بودن تخلخل خاک و فشردگی خاک در ارتباط می‌باشد که از یک‌طرف موجب محدودیت در رشد ریشه و حرکت ضعیف آب‌وهوا در خاک می‌گردد و از طرف دیگر می‌تواند باعث افزایش روان آب و فرسایش از اراضی شیب‌دار یا خاک‌های اشباع از آب در مناطق مسطح شود. برآیند این عوامل باعث رشد ضعیف گیاه گردیده و توان تولید درخت را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۲). ساعی (۱۹٤۸) نیز بیان می‌دارد گونه راش از خاک‌های سنگین اجتناب می‌نماید (۳٤).

نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که گونه راش نسبت به pH خاک رفتاری خطی کاهنده دارد و این گونه در pH های پائین دارای عملکرد بهتری بوده و مقادیر pH بالا عامل محدود کننده‌ای بر ارتفاع غالب آن می‌باشد. pH خاک به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مهم‌ترین نقش pH خاک، کنترل حلالیت عناصر غذایی در خاک می‌باشد. به‌عبارت دیگر قابلیت جذب عناصر غذایی وابستگی زیادی به pH خاک دارد. عناصر غذایی در pH های مختلف، حلالیت‌های متفاوتی دارند معمولاً با افزایش pH حلالیت عناصر غذایی معمولاً کاهش پیدا می‌کند. pH قلیایی باعث می‌شود که حلالیت

عناصر غذایی ضروری برای گیاه کاهش پیداکرده و کمبود عناصر غذایی مثل فسفر، آهن، روی و منگنز در گیاه مشاهده شود. در مطالعه حاضر فسفر مهم‌ترین متغیر تأثیرگذار بر ارتفاع غالب گونه راش می‌باشد. با افزایش مقدار فسفر ارتفاع غالب گونه راش نیز روندی افزایش دارد که افزایش از نوع تقریباً غیرخطی است. از آنجاکه ماده‌ای است که اهمیت ویژه‌ای در تسریع رشد ریشه، تقسیم سلول و رشد بافت‌های مریستمی دارد، کمبود آن کاهش شدید در رشد درخت را به همراه دارد. از این‌رو کمبود فسفر هم رشد بخش هوایی و هم رشد ریشه را کند و یا متوقف می‌نماید.

درصد نیتروژن نیز یکی از مهم‌ترین متغیرهای اثرگذار بر ارتفاع غالب گونه راش بوده است، به‌طوری‌که با افزایش مقدار درصد نیتروژن، ارتفاع غالب گونه راش افزایش می‌یابد. از طرفی دیگر، گونه راش نسبت به متغیر C/N رفتاری کاهشی می‌باشد. افزایش نیتروژن در خاک باعث کاهش نسبت C/N می‌شود. نسبت کربن به نیتروژن یکی از شاخص‌های مهم معدنی شدن و حاصلخیزی خاک است. با افزایش میزان نیتروژن و طبیعتاً کاهش نسبت کربن به نیتروژن فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک بیشتر شده و عملیات تجزیه لاشبرگ سریع‌تر صورت می‌گیرد (۱۵ و ۳٦)؛ درنتیجه رشد ارتفاعی گونه راش افزایش می‌یابد. مروی مهاجر (۲۰۰٤) بیان می‌نماید که گونه راش در خاک‌های با کربن کم و طبیعتاً نسبت کربن/ نیتروژن کم، استقرار و رشد بهتری نسبت به مناطق دارای کربن بیشتر دارد (۲۷).

متغیر تأثیرگذار دیگر بر ارتفاع غالب گونه راش درصد شن می‌باشد. به‌طورکلی بافت خاک کنترل حرکت آب در خاک را تحت تأثیر قرار داده و عامل مهمی در دسترس بودن مواد مغذی و یک عامل در پتانسیل فرسایش خاک می‌باشد. رفتار گونه راش نسبت به درصد شن در مطالعه حاضر به‌صورت تک نمایی است. با مراجعه به شکل ۲ مشاهده می‌گردد که گونه راش در مقدار درصد شن کم (حدود ۲۰ درصد) بهترین عملکرد را داشته و بیشترین مقدار ارتفاع غالب دست می‌یابد. با افزایش درصد شن، عملکرد گونه راش نیز کاهش می‌یابد. نتایج مطالعه حاضر با پژوهش متاجی (۲۰۰۳) که در آن درصد سیلت یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در گسترش جامعه راش بوده است، مغایرت دارد (۲۹). نتایج این پژوهش با مطالعه حبیبی کاسب (۱۹۷٤) که ابراز می‌دارد میزان سیلت خاک می‌تواند در میزان رویش و ارتفاع درختان راش نقش مؤثری داشته باشد همخوانی ندارد (۱٦). معمولاً نفوذ آب در خاک‌های خیلی شنی سریع‌تر بوده و نگهداری آب در آن‌ها کم است. از طرفی عناصر غذایی نیز در آن‌ها کمتر قابل دسترس می‌باشد.

نتیجه‌گیری

هدف از مطالعه حاضر، بررسی منحنی پاسخ گونه راش نسبت به متغیرهای تبیینی خاکی و فیزیوگرافی با استفاده از مدل جمعی تعمیم‌یافته بوده است. نکته حائز اهمیت در بررسی منحنی پاسخ گونه‌ها این است که در بوم‌شناسی پوشش گیاهی معمولاً فرض می‌شود که گونه‌ها عکس‌العمل تک نمایی و متقارن به گرادیان‌های محیطی نشان می‌دهند و اغلب از توزیع گوسی در مطالعات بوم‌شناسی انفرادی گونه‌ها استفاده می‌شود. از آنجاکه توزیع گوسی همیشه منحنی‌های تک نمایی و متقارن ایجاد می‌نماید، محققین به دنبال مدل‌هایی بوده‌اند تا شکل‌های دیگر عکس‌العمل را نیز نمایان سازند که در این بین تابع بتا، مدل‌های جمعی تعمیم‌یافته و مدل HOF محبوبیت زیادی کسب نموده‌اند.

نتایج مطالعه حاضر نشان داد از ۱۷ متغیر تبیینی موردبررسی، ۱۲ متغیر (ارتفاع از سطح دریا، درصد شیب، تابش خورشیدی، درصد رس، درصد سیلت، درصد شن، درصد نیتروژن، درصد رطوبت اشباع، درصد کربن، درصد ماده آلی، اسیدیته، فسفر و پتاسیم) در حالت انفرادی و تنها هشت متغیر (ارتفاع از سطح دریا، تابش خورشیدی، درصد شن، وزن مخصوص ظاهری، درصد نیتروژن، نسبت کربن به نیتروژن، اسیدیته و فسفر) به‌صورت ترکیبی بر ارتفاع غالب گونه راش مؤثر بوده‌اند. می توان نتیجه‌گیری نمود چنانچه هدف از مطالعه، تنها بررسی شکل منحنی پاسخ گونه باشد، در نظر گرفتن توأمان متغیرهای تبیینی، توصیف دقیق‌تری از رفتار گونه نسبت به متغیرهای محیطی ارائه می‌دهد، اما اگر محقق در نظر داشته باشد علاوه بر شکل منحنی پاسخ، پارامترهایی نظیر مقدار اپتیمم و دامنه اکولوژیک متغیر محیطی را برای یک گونه استخراج نماید، رفتار گونه‌ها نسبت به متغیرها به‌صورت انفرادی می‌تواند گزینه بهتری باشد.

نکته حائز اهمیت در تحلیل روابط گونه و محیط این است که از یک طرف روش‌های مورد استفاده تا حد امکان انعطاف‌پذیر و درعین‌حال قوی باشد تا بتواند روابط غیرخطی، اثرات متقابل و داده‌های ازدست‌رفته را کنترل نماید و از طرف دیگر فهم و ارائه نتایج حاصل از این روش‌ها نیز ساده باشد و به‌آسانی تفسیر گردد. در سال‌های اخیر روش‌های مدل‌سازی متعددی در بوم‌شناسی توسعه‌یافته است، که تکنیک‌هایی نظیر درخت طبقه‌بندی و رگرسیون، جنگل تصادفی، شبکه‌های عصبی و درخت رگرسیون تقویت‌شده ازجمله این موارد می‌باشند (٦). متأسفانه به دلیل عدم شناخت و آگاهی محقق نسبت به این تکنیک‌ها، در بوم‌شناسی نسبت به روش‌های دیگر کمتر به کار گرفته شده‌اند (۱۰)، ازاین‌رو توصیه می‌گردد در پژوهش‌های آتی این تکنیک‌ها به کار گرفته شوند تا بتوان روابط بین متغیرهای محیطی و عملکرد گونه‌های گیاهی را با کیفیت بهتری تحلیل نمود.

منابع

1. Aertsen, W., Kint, V., Van Orshoven, J., Özkan, K., and Muys, B. 2010. Comparison and ranking of different modelling techniques for prediction of site index in Mediterranean mountain forests, Ecological Modeling. 221: 8. 1119-1130.
2. Ahmadi, K., Alavi, S.J., and Tabari Kouchaksaraei, M. 2015. Evaluation of oriental beech (*Fagus orientalis* L.) site productivity using generalized additive model. Iranian Journal of Forest. 7: 1. 17-32. (In Persian)
3. Alavi, S.J., Zahedi Amiri, Gh., Rahmani, R., Marvi Mohajer, M., Moyes, B., and Fathi, J. 2012. Extracting Ecological Optimum and Amplitude of *Fagus orientalis* along environmental gradients in Kheyrud Forest, Nowshahr. Journal of Natural Environment (Iranian Journal of Natural Resources). 64: 4. 399-415. (In Persian)
4. Alavi, S.J., Zahedi Amiri, Gh., Rahmani, R., Marvi Mohajer, M., Moyes, B., and Nouri, Z. 2013. Investigation on the response of *Fagus orientalis* Lipsky to some environmental variables using beta function and its comparison with Gaussian function (Case study: Kheyrud forest research station). Iranian Journal of Forest. 5: 2. 161-171. (In Persian)
5. Alder, D. 1980. Forest Volume Estimation and Yield Prediction, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 194p.
6. Bergès, L., Chevalier, R., Dumas, Y., Franc, A., and Gilbert, J. 2005. Sessile oak (Quercus petraea Liebl.) site index variations in relation to climate, topography and soil in even-aged high-forest stands in northern France, Annals of forest science. 62: 5. 391-402.

7. Bongers, F., Poorter, L., Rompaey, R.S.A.R., and Parren, M. 1999. Distribution of Twelve Moist Forest Canopy Tree Species in Liberia and Côte d'Ivoire: Response Curves to a Climatic Gradient. Journal of Vegetation Science. 10: 3. 371-382.
8. Comstock, J.P., and Ehleringer, J.R. 1992. Plant adaptation in the Great Basin and Colorado plateau, Western North American Naturalist, 52(3): 195-215.
9. Cox, C.B., Ian, N.H., and Peter, D.M. 1973. Biogeography: An ecological and Publisher, Alterra, 2007. 20 pages. Evolutionary approach. Blackwell Scientific Publication, 179p.
10. Elith, J., Leathwick, J.R., and Hastie, T. 2008. A working guide to boosted regression trees, Journal of Animal Ecology. 77: 4. 802-813.
11. Franklin, J. 1998. Predicting the distribution of shrub species in southern California from climate and terrain-derived variables. Journal of Vegetation Science. 9: 733-748.
12. Ghanbari, F., Shataee, Sh., Dehghani, A.A., and Ayoubi, Sh. 2009. Tree density estimation of forests by terrain analysis and artificial neural network. Journal of Wood and Forest Science and Technology. 16: 4. 25-42. (In Persian)
13. Guisan, A., Edwards, T.C., and Hastie, T. 2002. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene, Ecological Modeling. 157: 2. 89-100.
14. Gulisashvili, V.Z., Makhatadze, L.B., and Prilipko, L.I. 1975. Vegetation of the Caucasus. Moscow, 73-86.
15. Habibi Kaseb, H. 1992. Fundamentals of forest soil science. Tehran University. Press, 424p. (In Persian)
16. Habibi, H. 1974. Investigation of influence of soil texture on Beech trees' growth rate in Iran. Journal of Iranian Natural Resources. 31: 61- 69. (In Persian)
17. Hastie, T., and Tibshirani, R. 1990. Non-parametric logistic and proportional odds regression, Applied statistics. 260-276.
18. Heegaard, E. 2002. The outer border and central border for species–environmental relationships estimated by non-parametric generalised additive models. Ecological Modelling. 157: 2. 131-139.
19. Heikkinen, J., and Mäkipää, R. 2010. Testing hypotheses on shape and distribution of ecological response curves. Journal of Ecological Modelling. 221: 3. 388-399.
20. Hogg, B.W., and Nester, M.R. 1991. Effect of stocking rate on predominant height of young Caribbean pine plantations in coastal Queensland, Australian Forestry. 54: 3. 134-138.
21. 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.
22. Jafari Haghighi, M. 1382. Methods of soil analysis sampling and important physical. Nedaye Zoha Press, 236p. (In Persian)
23. Jansen, F., and Oksanen, J. 2013. How to model species responses along ecological gradients–Huisman–Olff–Fresco models revisited. Journal of Vegetation Science. 24: 6. 1108-1117.
24. 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, 299p.
25. Kent, M. 2011. Vegetation description and data analysis: a practical approach. John Wiley and Sons, 414p.
26. 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.
27. Marvi Mohajer, M. 2004. Silviculture. Tehran University. Press, 387p. (In Persian)
28. Marvi Mohajer, M. 1976. Evaluation of quality properties of the beech forests northern Iran. Iranian Journal of Natural Resources. 34. 77-96. (In Persian)
29. Mataji, A. 2003. Site classification based on plant association, stand structure and soil properties in natural forests (Case study in Khyroud forests of Iran). Ph.D. Thesis. Islamic Azad University, 165p. (In Persian)

30. Miller, J., and Franklin, J. 2002. Modeling the distribution of four vegetation alliances using generalized linear models and classification trees with spatial dependence. Ecological Modelling. 157: 2. 227-247.
31. Oksanen, J., and Minchin, P.R. 2002. Continuum theory revisited: what shape are species responses along ecological gradients? Ecological Modelling. 157: 2. 119-129.
32. R Development Core Team. 2014. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. http://www.R-project.org
33. Sagheb Talebi, Kh., Sajedi, T., and Yazdian, F. 2014. Forests of Iran. Research Institute of Forests and Rangelands Press, 28p. (In Persian)
34. Saie, K. 1948. Silviculture, volume 1. University of Tehran Press, 339p. (In Persian)
35. Sarmadian, F., and Jafari, M. 2001. Investigation of forest soil in Educational and Experimental forest of Tehran University. Journal of Iranian Natural Resources, Special Issue. 111p. (In Persian)
36. Shabani, S., Akbarinia, M., Jalali, S.G., and Aliarab, A.A. 2011. Relationship between Soil Characteristics and Beech Regeneration Density in Canopy Gaps with Different Sizes. Journal of Wood and Forest Science and Technology. 18: 3. 63-78. (In Persian)
37. Vetaas, O.R. 1993. Spatial and Temporal Vegetation Changes along Moisture Gradient in Northeastern Sudan. Biotropica. 25: 2. 164-175.
38. Wang, G. 2000. Use of understory vegetation in classifying soil moisture and nutrient regimes. Journal of Forest Ecology and Management. 129: 3. 93-100.
39. Wood, S.N. 2006. Generalized Additive Models: An Introduction with R. Chapman and Hall/CRC press, 384p.
40. Yee, T.W., and Mitchell, N.D. 1991. Generalized additive models in plant ecology, Journal of Vegetation Science. 2: 5. 587-602.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 24 (1), 2017
http://jwfst.gau.ac.ir

The response curve of beech tree (*Fagus orientalis* Lipsky.) in relation to environmental variables using generalized additive model

***S.J. Alavi[1], Z. Nouri[2] and Gh. Zahedi Amiri[3]**
[1]Assistant Prof., Dept., of Forestry, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Iran, [2]Ph.D. Graduate in Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran, [3]Professor, Dept., of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran
Received: 08/10/2016; Accepted: 11/21/2016

Abstract

Background and objectives: One of the main fields of interest in vegetation ecology is the analysis and understanding of vegetation-site relationships, particularly the response of species to underlying ecological gradients. Many attempts have been done in linking the performance of plant species to environmental variables since last decades. The aim of this study is investigating on the response curve of the beech tree to environmental variables using the generalized additive model.

Materials and methods: For this purpose, a stratified sampling method based on landform was used to locate 114 0.1 ha circular sample plots in beech dominated forests in experimental and educational forest of Kheyrud, Nowshar. The mean height of five largest diameter trees within each plot was considered as dominant height. Elevation above sea level, geographical aspect and slope of the ground were also recorded or measured. At the center of plot, soil samples from 0-10 cm depth were taken for analyzing soil texture, bulk density and saturation moisture, pH, lime (%), nitrogen (%), carbon and organic matter (%), potassium, calcium, magnesium and phosphorous. By using generalized additive model and mgcv package in R statistical software, the response curves of the beech tree were individually and simultaneously analyzed. Due to the nature of response variable, Gaussian distribution and identity link function were selected for generalized additive model.

Results: The comparison of response curves resulted from GAM for explanatory variables individually and simultaneously showed that there are considerable differences in the shape of the response curve. There are also differences in significance of predictors among these two approaches. By using GAM for each explanatory variable individually indicated that altitude, slope, radiation index, clay, silts, sand, nitrogen, saturation moisture, carbon and organic matter, pH, phosphorous and potassium are significant ($P<0.05$). Considering all non-collinear predictors showed that altitude, ration index, sand, bulk density, nitrogen, CN, pH and phosphorous are significant variables on beech dominant height in the generalized additive model.

Conclusion: The results of this research imply that if the study aims at investigating only the shape of the response curve, considering simultaneously all predictors will present the precise description of species behavior to environmental variables. But if the researcher wants to extract ecological optimum and tolerance for the species besides the shape of the response curve, the behavior of species to predictors individually would be the better choice.

Keywords: Beech Tree, Environmental variables, Generalized Additive Model, Response Curve

∗Corresponding author: j.alavi@modares.ac.ir