بررسی واکنش گونهٔ راش به برخی متغیرهای محیطی با استفاده از تابع بتا و مقایسهٔ آن با تابع گوسی (مطالعهٔ موردی: جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود)

سیدجلیل علوی*[۱]، قوام‌الدین زاهدی امیری[۲]، رامین رحمانی[۳]، محمدرضا مروی مهاجر[۴]، بارت مویس[۵] و زهرا نوری[۶]

[۱]استادیار گروه جنگلداری دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

[۲و۴]دانشیار و استاد گروه جنگلداری دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران

[۳]دانشیار گروه جنگلداری دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه گرگان

[۵]استاد گروه اکولوژی و مدیریت جنگل، دانشگاه کاتولیک لوون، بلژیک

[۶]دانش‌آموختهٔ دکتری جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۹۱/ ۳ / ۲۰، تاریخ پذیرش: ۱ / ۹ / ۹۱)

چکیده

این پژوهش در بخش‌های پاتم، نم‌خانه، گرازبن، چلیر و بهاربن جنگل خیرود نوشهر متعلق به دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران صورت گرفت. به این منظور در تیپ‌هایی که در آنها گونهٔ راش غالب بود، به روش تصادفی- طبقه بندی ۱۹۰ قطعهٔ نمونه دایره‌ای به مساحت ۱۰۰۰ متر مربع پیاده و در هر یک از آنها تعداد پایه‌های راش با قطر بیشتر از ۷/۵ سانتی‌متر، ارتفاع از سطح دریا و درصد شیب اندازه‌گیری و ثبت شد. همچنین در مرکز هر قطعهٔ نمونه، از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری، نمونه‌برداری خاک صورت گرفت و متغیر بافت خاک، وزن مخصوص ظاهری و درصد رطوبت اشباع اندازه‌گیری شد. سپس تابع بتا و گوسی در چارچوب مدل خطی تعمیم‌یافته به هر یک از متغیرهای محیطی مورد بررسی برازش داده شد. با استفاده از درصد انحراف توجیه‌شده و مقایسهٔ شکل منحنی حاصل از توابع گوسی و بتا، دو تابع ارزیابی شدند. تابع بتا نشان داد که برای ارتفاع از سطح دریا گونهٔ راش دارای رفتاری چوله به چپ است. مقدار اپتیمم و دامنهٔ اکولوژیک برای متغیر ارتفاع به‌ترتیب ۱۴۲۰ و ۲۱۵۰-۳۰۰ متر تعیین شد. از نظر شیب، این گونه دارای اپتیمم ۴۰ درصد و دامنهٔ اکولوژیک ۸۰-۰ درصد است و رفتاری تک‌نمایی و متقارن نشان می‌دهد. مقدار بهینهٔ درصد شن، رس و سیلت به‌ترتیب ۲۵، ۴۳ و ۳۵ درصد محاسبه شد. دامنهٔ بوم‌شناختی گونهٔ راش برای شن (۴۸-۱ درصد)، رس (۵۸-۲۰ درصد) و سیلت (۵۵-۱۷ درصد) برآورد شد. به‌کارگیری تابع بتا نشان داد که گونهٔ راش نسبت به وزن مخصوص ظاهری، رفتاری تک‌نمایی اما چوله به راست دارد و برای متغیر درصد رطوبت اشباع منحنی واکنش، تک‌نمایی و متقارن است. مقدار بهینهٔ وزن مخصوص ظاهری خاک و درصد رطوبت اشباع با استفاده از تابع بتا به‌ترتیب ۱/۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب و ۵۰ درصد محاسبه شد. براساس نتایج، هرچند اختلاف تابع گوسی و تابع بتا بر اساس درصد انحراف توجیه‌شده خیلی چشمگیر نیست، تابع بتا توانسته است منحنی‌های چوله‌دار را به‌خوبی نمایان کند. در این تحقیق، گونهٔ راش نسبت به متغیرهای مورد بررسی همیشه رفتار گوسی نشان نداد و می‌توان این فرض را که گونهٔ راش نسبت به متغیرهای محیطی رفتاری تک‌نمایی و گوسی دارد رد کرد.

واژه‌های کلیدی: راش، مقدار بهینه، دامنهٔ بوم‌شناختی، تابع بتا، تابع گوسی، مدل خطی تعمیم‌یافته، انحراف توجیه‌شده.

*نویسندهٔ مسئول: تلفن: ۰۱۲۲ ۶۲۵۳۱۰۱ Email: j.alavi@modares.ac.ir

مقدمه و هدف

یکی از موضوعات مطرح در بوم‌شناسی انفرادی گیاهان، تجزیه‌وتحلیل و درک روابط گونهٔ گیاهی و عوامل رویشگاهی، مخصوصاً واکنش گونه‌ها به شیب تغییرات عوامل بوم‌شناسی است (Härdtle, 2005). واکنش گونه‌ها در زمان و مکان ناشی از شرایط خاکی، اقلیم، رقابت بین گونه‌های گیاهی برای فضای تاج و ریشه، تأثیرات متقابل با جانوران، وقایع و رخدادهای تاریخی، آشفتگی‌ها و تأثیرات انسانی است (Bongers *et al*., 1999)، دلیل این واکنش‌ها هرچه باشد، برای توصیف آن و روابط مشاهده‌شده به مدل‌های ریاضی نیاز است. یک مفهوم کلیدی در بررسی روابط گونه و محیط، منحنی واکنش گونه است که به‌صورت «نمودار عملکرد گونه در رابطه با تغییر در عوامل محیطی» تعریف می‌شود که ممکن است ثابت، به‌طور موزون یا همنوا، افزایشی یا کاهشی، تک‌نمایی یا دونمایی باشد (Jongman *et al*., 1995). واکنش یک گونه به یک متغیر محیطی را با استفاده از دامنهٔ وسیعی از توابع مختلف می‌توان مدلسازی و پیش‌بینی کرد؛ از جملهٔ این توابع می‌توان به تابع گوسی در چارچوب مدل خطی تعمیم‌یافته[1]، مدل جمعی تعمیم‌یافته[2]، مدل HOF[3] و تابع بتا اشاره داشت. Austin (1976) تأکید می‌کند از آنجا که تابع گوسی واکنش زنگوله‌ای و متقارن ایجاد می‌کند، غیرواقع‌بینانه است. او تابع بتا را به‌عنوان جایگزین پیشنهاد کرد. Austin *et al.* (1990) منحنی‌های واکنش پنج گونهٔ اکالیپتوس را در استرالیا به گرادیان‌های درجهٔ حرارت و بارندگی برازش دادند و نتیجه گرفتند که منحنی واکنش گونه‌ها، اغلب چوله‌دار است، نه گوسی. Austin *et al.* (1994) واکنش ۹ گونهٔ اکالیپتوس را به درجهٔ حرارت با استفاده از تابع بتا بررسی کردند و نتیجه گرفتند که تمام گونه‌های مورد بررسی منحنی چوله‌دار را به این متغیر نشان دادند. Karadzic *et al.* (2003) تابع بتا را برای بررسی چولگی واکنش گونه‌ها مورد استفاده قرار دادند و بیان کردند که تابع بتا از دیگر توابع مناسب‌تر است. Jansen (2008) شکل منحنی واکنش گونه‌های گیاهی را به گرادیان pH با استفاده از مدل HOF بررسی کرد و به این نتیجه رسید که درصد بسیار کمی از گونه‌ها واکنش تک‌نمایی و متقارن دارند. Heikkinen & Mäkipä (2010) فرضیه‌های موجود در مورد شکل منحنی واکنش گونه‌های مختلف گیاهی در جنگل‌های بورآل فنلاند را با استفاده از مدل جمعی تعمیم‌یافته ارزیابی کردند.

جنگل‌های خالص و آمیختهٔ راش از مهم‌ترین، غنی‌ترین و زیباترین جنگل‌های ایران به‌شمار می‌رود که در آن گونهٔ راش به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گونه‌های تجاری، حدود ۳۰ درصد از کل حجم سرپا و ۲۳ درصد از کل تعداد درختان را به خود اختصاص داده است (مشتاق کهنمویی، ۱۳۷۸). راشستان‌های میان‌بند جنگل‌های شمال از قدرت رویشگاهی و تولیدی بیشتری برخوردارند (مروی مهاجر، ۱۳۵۵). ساعی (۱۳۲۷) اشاره می‌کند که گونهٔ راش، خاک‌های سبک و به‌ویژه آهکی را خیلی دوست دارد و خاک‌های خیلی سنگین و خیلی نمناک را نمی‌پسندد. گونهٔ راش به رطوبت زیاد هوا و محیط خنک نیازمند و از رطوبت زیاد خاک گریزان است و به خاک زهکشی‌شده احتیاج دارد. Gulisashvili *et al.* (1975) بیان کردند که در بخش‌های غربی و شمالی قفقاز که اقلیم مرطوب دارند، اپتیمم شرایط بین ارتفاع‌های ۹۰۰ تا ۱۶۰۰ متر رخ می‌دهد که در آن جنگل‌های راش به بیشترین توان تولید دست می‌یابند. Harris (2002) بیان کرد که خاک خوب، زهکشی‌شده از نیازهای بنیادی گونهٔ راش است. مرور منابع فارسی نشان داد که تاکنون مطالعه‌ای در زمینهٔ واکنش گونه‌های گیاهی به متغیرهای محیطی با استفاده از تابع بتا و تعیین مقدار بهینه و دامنهٔ بردباری آنها با استفاده از این تابع در کشور صورت نگرفته است و تحقیق حاضر، اولین نمونه در این زمینه است. شایان ذکر است که علوی و همکاران (۱۳۹۰) استفاده از تابع گوسی در بررسی واکنش گونهٔ راش به تعدادی از متغیرهای محیطی را به تفصیل بررسی کردند. هدف از این بررسی، استفاده از تابع بتا در: ۱) تعیین مقدار بهینه و دامنهٔ بردباری گونهٔ راش در رابطه با عوامل توپوگرافی و تعدادی از متغیرهای خاک و ۲) بررسی شکل منحنی واکنش گونهٔ راش نسبت به هر یک از

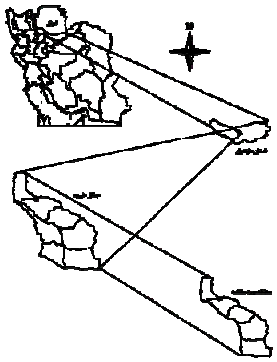
1- Generalized Linear Model
2- Generalized Additive Model
3- Huisman, Olff and Fresco

متغیرهای محیطی بر اساس پارامترهای α و β و مقایسهٔ آن با منحنی حاصل از برازش تابع گوسی است.

مواد و روش‌ها

- وضعیت منطقهٔ مورد بررسی

جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود در ۷ کیلومتری شرق نوشهر بین ′۲۷ °۳۶ تا ′۴۰ °۳۶ عرض شمالی و ′۳۲ °۵۱ تا ′۴۳ °۵۱ طول شرقی واقع شده است. مساحت کل منطقه ۸۰۰۰ هکتار است. این جنگل شامل هفت بخش است و تحقیق حاضر در بخش‌های پاتم، نم‌خانه، گرازبن، چلیر و بهاربن صورت گرفته است (شکل ۱). بر اساس گزارش نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به منطقه (ایستگاه کلیماتولوژی نوشهر)، مقدار بارندگی سالیانه در منطقهٔ خیرود ۱۳۰۰ میلی‌متر است که حداقل آن در تیرماه و حداکثر آن در مهرماه است. گرم‌ترین ماه‌های سال تیر و مرداد با میانگین دمای ۲۹٫۲ درجهٔ سانتی‌گراد و سردترین ماه سال، بهمن با میانگین دمای ۲٫۶ درجهٔ سانتی‌گراد است. همچنین میانگین دمای سالانه ۱۵٫۹ درجهٔ سانتی‌گراد ثبت شده است (سرمدیان و جعفری، ۱۳۸۰).



شکل ۱- منطقهٔ مورد بررسی

- روش اجرای تحقیق

در این تحقیق از روش نمونه‌برداری طبقه‌بندی‌شده بر مبنای شکل زمین استفاده شد. به این منظور پس از تهیهٔ نقشهٔ شکل زمین بر اساس ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت جغرافیایی با توجه به تعداد زیاد واحدهای شکل زمین با یک کد یا مشخصه در تیپ‌های راش، یک واحد شکل زمین که بیشترین سطح را در تودهٔ راش داشت، انتخاب و مختصات مرکز آن تعیین و در طبیعت با استفاده از سیستم مکان‌یاب جهانی (GPS) مشخص شد. از آنجا که در آماربرداری جنگل‌های شمال کشور در طرح‌های جنگلداری، معمولاً از قطعات نمونهٔ دایره‌ای به مساحت ۱۰ آر استفاده می‌شود و حد شمارش قطری ۷٫۵ سانتی‌متر در نظر گرفته می‌شود، در این پژوهش نیز از این قاعده تبعیت شد تا بتوان از اطلاعات به‌دست‌آمده از آماربرداری در بررسی روابط گونه و محیط نیز استفاده کرد. در هر قطعه نمونه در طبیعت، تعداد پایه‌های راش با قطر بیشتر از ۷٫۵ سانتی‌متر یادداشت شد. پس از پیاده کردن قطعهٔ نمونه، ارتفاع از سطح دریا، درصد شیب اندازه‌گیری و ثبت شد. همچنین در مرکز هر قطعهٔ نمونه، از لایهٔ اول (۱۰-۰ سانتی‌متر) نمونه‌برداری خاک صورت گرفت و بافت خاک با استفاده از روش هیدرومتری، وزن مخصوص ظاهری با استفاده از روش کلوخ و درصد رطوبت اشباع با استفاده از گل اشباع تعیین شد (جعفری حقیقی، ۱۳۸۲). در مجموع ۱۹۰ قطعه نمونه برداشت شد که تعدادی از آنها به علت پرت بودن، حذف و در تجزیه‌وتحلیل دخالت داده نشد. برای بررسی معنی‌دار بودن پارامترهای تابع بتا، تعیین مقادیر اپتیمم و دامنهٔ اکولوژیک گونهٔ راش از نرم‌افزار R ver 2.11 (R Development Core Team, 2010) استفاده شد.

- تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

همان‌طور که اشاره شد، یکی از مدل‌های کلاسیک که اغلب استفاده می‌شود، تابع واکنش گوسی است. مدل گوسی (رابطهٔ ۱) یک واکنش متقارن و زنگوله‌ای را در طول گرادیان با سه پارامتر قابل تفسیر، یعنی محل اپتیمم (u)، ارتفاع تابع (h) و بردباری یا پهنای تابع (t) توصیف می‌کند (Oksanen & Minchin, 2001).

رابطهٔ ۱

$$\mu = h \exp\left[-\frac{(x-u)^2}{2t^2}\right]$$

علوی و همکاران (۱۳۹۰) تابع واکنش گوسی را پیش از این به تفصیل بررسی کرده‌اند. همان‌طور که بیان شد Austin (1976) تابع بتا را به‌عنوان یک تابع واکنش توصیفی برای گونه‌ها در طول یک گرادیان پیشنهاد کرد. شکل کلی تابع بتا به‌صورت رابطهٔ ۲ است:

رابطهٔ ۲

$$y = k(x-a)^{\alpha}(b-x)^{\beta}, a \le x \le b$$

که y معیاری از وفور گونه، k پارامتر مقیاس‌بندی که ارتفاع تابع را تعدیل می‌کند، α و β پارامترهایی که چولگی، کشیدگی و محل اپتیمم (نما) تابع واکنش را تعیین می‌کنند، a و b نقاط انتهایی گرادیان که دامنهٔ بردباری گونه را توصیف می‌کنند، هستند. در محدودهٔ a و b تابع می‌تواند دامنهٔ وسیعی از شکل‌ها از تقریباً گوسی تا خیلی چوله‌دار و حتی U شکل را نشان دهد (Karadzic *et al.*, 2003). Oksanen (1997) پیشنهاد کرد که تابع بتا به‌صورت رابطهٔ ۳ ارائه و سپس از آن در GLM واکنش گونه‌ها استفاده شود:

رابطهٔ $\log(y) = \log(k) + \alpha \log(x - a) + \beta \log(b - x)$

در این پژوهش نیز از این روش برای برآورد پارامترهای تابع بتا استفاده شد. برازش تابع بتا به داده‌های مشاهده‌شده، به تعیین پنج پارامتر (a، b، k، α و β) با استفاده از دو متغیر (یکی فاکتور محیطی و دیگری متغیر پاسخ) نیاز دارد. انتخاب نقاط انتهایی تأثیر زیادی بر شکل واکنش برازش‌شده دارد. Oksanen (1997) پیشنهاد کرد که نقاط انتهایی تابع همزمان به همراه دیگر پارامترها (k، α و β) با استفاده از شبکه‌ای از مقادیر آزمایشی برای نقاط انتهایی داده برآورد شود. مقادیر شبکه با کمترین انحراف برآوردهای a و b هستند. برای بررسی شکل منحنی واکنش گونهٔ راش در رابطه با متغیرهای محیطی و همچنین تعیین مقدار بهینه از این روش استفاده شد. به این منظور پس از تعیین مقدار حداقل و حداکثر متغیر محیطی بر اساس داده‌های ثبت‌شده که به‌ترتیب نقطهٔ ابتدایی و انتهایی گرادیان است، شبکه‌ای از مقادیر متغیر محیطی تعیین شد و در هر نوبت یک عدد از نقطهٔ ابتدایی و یک عدد از نقطهٔ انتهایی این شبکه به‌عنوان a و b انتخاب و مدل خطی تعمیم‌یافته و تابع پیوند لگاریتمی برازش داده شد. مقداری از نقطهٔ ابتدایی و انتهایی گرادیان که کمترین انحراف را ارائه می‌دهد، به‌عنوان مدل پایانی انتخاب شد و مقادیر α و β بر اساس مدل برازش‌یافته برآورد شد.

در مدل‌های خطی تعمیم‌یافته، پارامترها توسط اصل درست‌نمایی حداکثر برآورد می‌شود و برای اندازه‌گیری نکویی برازش یک مدل، از معیار انحراف توجیه‌شده برای بیان درصد تغییرات توجیه‌شده استفاده می‌شود (رابطهٔ ۴).

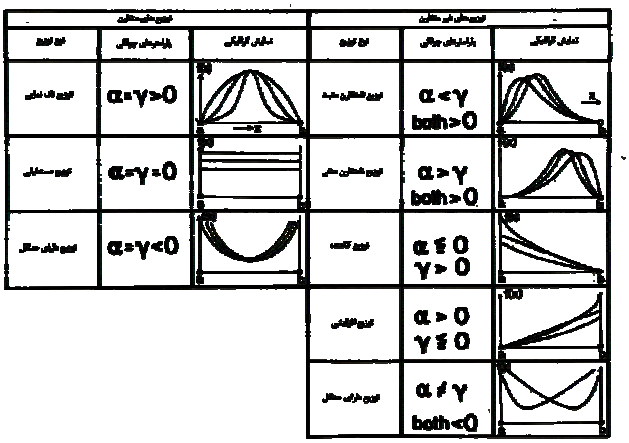
رابطهٔ ۴ $\frac{\text{انحراف صفر} - \text{انحراف باقیمانده}}{\text{انحراف صفر}} * 100$

انحراف صفر[1]، انحراف باقیمانده در مدل است که فقط شامل عرض از مبدأ است. هرچه انحراف باقیمانده کمتر باشد، مدل بهتر است. استفاده تنها از انحراف باقیمانده به‌عنوان یک معیار نکویی برازش کافی نیست، بر اساس p-value در خروجی آزمون آماری می‌توان در مورد معنی‌دار بودن یا نبودن پارامتر در سطح معنی‌داری مورد نظر قضاوت کرد (Zuur *et al.*, 2007). در این تحقیق از سطح معنی‌داری ۰/۰۵ برای بررسی معنی‌داری پارامترهای تابع بتا و تعیین سهم هر یک از متغیرها در تبیین تغییرات توجیه‌شده از معیار درصد انحراف توجیه‌شده استفاده شد.

همان‌طور که اشاره شد، در محدودهٔ a و b تابع بتا می‌تواند دامنهٔ وسیعی از شکل‌ها از تقریباً گوسی تا خیلی چوله‌دار و حتی U شکل را نشان دهد. Loetsch *et al.* (1973) انواع منحنی واکنش را بر اساس α و β ارائه دادند که در شکل ۲ نشان داده شده است. برای مثال اگر α و β مساوی و بزرگ‌تر از صفر باشد، منحنی، تک‌نمایی و متقارن است. معنی‌دار بودن انحراف از تقارن با استفاده از اختلاف بین مقدار انحراف باقی‌مانده بین تابع بتا و مدلی که در آن $\beta = \alpha$ است، مورد آزمون قرار می‌گیرد. چنانچه کاهش در انحراف باقی‌ماندهٔ این دو مدل بزرگ‌تر از مقدار بحرانی توزیع کای اسکور در سطح احتمال مورد نظر (۰/۱ درصد) و درجهٔ آزادی ۱ باشد، تابع بتا به‌طور معنی‌دار با مدل تک‌نمایی و متقارن اختلاف دارد. مد یا نمای یک تابع واکنش با اپتیمم اکولوژیک گونه مطابق است. با در نظر گرفتن تابع بتا، محل اپتیمم (X_0) در یک گرادیان توسط دامنه (a و b) و پارامتر چولگی (α و β) تعریف می‌شود (رابطهٔ ۵).

رابطهٔ ۵ $x_o = \frac{\alpha b + \beta a}{\alpha + \beta}$

1- Null Deviance



شکل ۲- انواع مختلف منحنی واکنش بر اساس پارامتر α و β در تابع بتا (Loetsch *et al.*, 1973)

نتایج

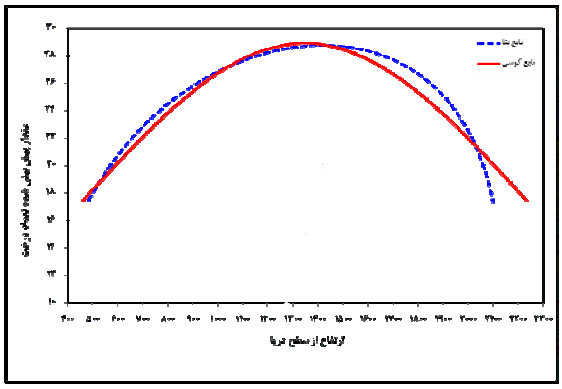
استفاده از مدل خطی تعمیم‌یافته با توزیع پواسون و تابع پیوند لگاریتمی نشان داد که تأثیر پارامترهای تابع بتا در سطح ۵ درصد معنی‌دار است. در جدول ۱، کاهش در انحراف از مدل تک‌نمایی متقارن به تابع بتا ارائه شده است که براساس آن می‌توان در مورد معنی‌دار بودن درجهٔ چولگی قضاوت کرد. متغیرهایی که اختلاف انحراف آنها با علامت ستاره مشخص شده‌اند، متغیرهایی هستند که چولگی آنها به‌طور معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۱ درصد معنی‌دار است. در جدول ۲ آماره‌های توصیفی متغیرهای مورد بررسی، مقدار اپتیمم، بردباری و دامنهٔ اکولوژیک با استفاده از تابع بتا ارائه شده است.

- ارتفاع از سطح دریا

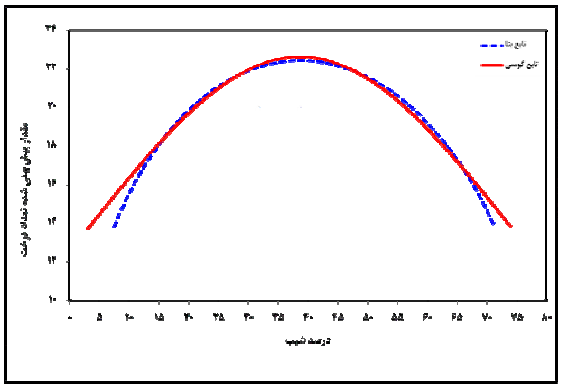
استفاده از تابع گوسی نشان می‌دهد که گونهٔ راش نسبت به ارتفاع از سطح دریا، رفتاری تک‌نمایی و متقارن دارد (شکل ۳). به‌کارگیری تابع بتا حاکی از آن است که رفتار گونهٔ راش در رابطه با ارتفاع از سطح دریا تک‌نمایی است. با توجه به مقدار α و β برآوردشده (به‌ترتیب ۰/۹ و ۰/۶) و با مراجعه به جدول ۱، تابع بتا نشان می‌دهد که گونهٔ راش نسبت به متغیر ارتفاع از سطح دریا چوله به چپ است (شکل ۳). به‌کارگیری این تابع بیانگر آن است که گونهٔ راش در ارتفاع ۱۴۲۰ متر از سطح دریا بهترین عملکرد از نظر تعداد را دارد. تابع بتا، ۱۴/۳۰ درصد و تابع گوسی ۱۴/۲۵ درصد تغییرات در پراکنش گونهٔ راش را نسبت به متغیر ارتفاع از سطح دریا توجیه می‌کند. دامنهٔ اکولوژیک گونهٔ راش برای این متغیر با به‌کارگیری تابع بتا از ارتفاع ۳۰۰ متر تا ۲۱۵۰ متر برآورد شد.

- شیب

به‌کارگیری تابع بتا نشان می‌دهد که گونهٔ راش دارای دامنهٔ بوم‌شناختی ۰ تا ۸۰ درصد در رابطه با شیب است و در شیب ۴۰ درصد به بهترین عملکرد خود از نظر تعداد دست می‌یابد. با توجه به مقدار α و β (هر یک ۱/۱) ملاحظه می‌شود که گونهٔ راش نسبت به درصد شیب، رفتاری تک‌نمایی و متقارن دارد. تابع گوسی نیز نشان‌دهندهٔ رفتاری تک‌نمایی و متقارن برای گونهٔ راش نسبت به درصد شیب است (شکل ۴). اختلاف انحراف بین دو تابع بتا و مدل تک‌نمایی متقارن، اختلاف معنی‌داری را حتی در سطح احتمال ۵ درصد نشان نداد. ۳/۳۰ درصد از تغییرات در پراکنش گونهٔ راش در رابطه با متغیر شیب توسط تابع بتا و تابع گوسی توجیه شد.



شکل ۳- برازش تابع بتا و گوسی به متغیر ارتفاع از سطح دریا



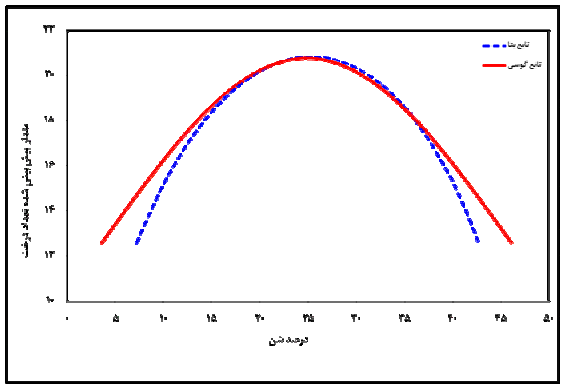
شکل ۴- برازش تابع بتا و گوسی به متغیر درصد شیب

- بافت خاک

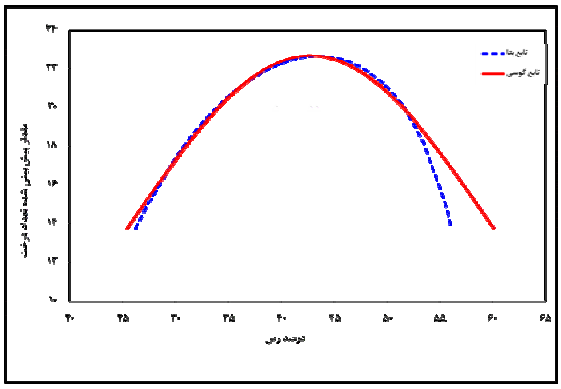
استفاده از تابع گوسی نشان می‌دهد که گونهٔ راش نسبت به فاکتور بافت خاک واکنش تک‌نمایی و متقارن نشان می‌دهد. به‌کارگیری تابع بتا نشان می‌دهد که گونهٔ راش در ۲۵ درصد شن، ۴۳ درصد رس و ۳۵ درصد سیلت، بیشترین فراوانی را دارد که نشان‌دهندهٔ بهینه بودن این شرایط برای گونهٔ راش است (شکل‌های ۵ ، ۶ و ۷). با توجه به مقدار α و β برای درصد شن که به‌ترتیب ۱٫۴ و ۱٫۳ و برای درصد سیلت مقدار ۰٫۶ و ۰٫۶ است، استفاده از تابع بتا، رفتار تک‌نمایی و متقارن را نشان می‌دهد. نسبت α و β و اختلاف انحراف دو تابع بتا و مدلی که در آن $\beta = \alpha$ است (جدول ۱)، نیز مؤید این مطلب است. در مورد درصد رس، تابع بتا رفتاری چوله‌دار را ارائه می‌دهد (α و β به‌ترتیب ۱٫۴ و ۰٫۸). همان‌طور که جدول ۱ و شکل ۶ نشان می‌دهد، منحنی چوله به چپ است که این چولگی به‌طور معنی‌دار در سطح ۰٫۱ درصد از مدل متقارن اختلاف نشان می‌دهد و بیانگر این موضوع است که گونهٔ راش از خاک‌هایی با درصد رس کم گریزان است. دامنهٔ اکولوژیک گونهٔ راش برای مقدار رس با استفاده از تابع بتا ۵۸-۲۰ درصد، برای سیلت ۵۵-۱۷ درصد و برای شن ۴۸-۱ درصد تعیین شد. درصد تغییرات توجیه‌شده توسط متغیرهای شن، سیلت و رس به‌ترتیب ۶٫۵، ۳٫۱ و ۵٫۵ درصد است. ۴٫۹۹، ۳٫۳۵ و ۴٫۳۶ درصد از تغییرات نیز توسط تابع گوسی توجیه شد.

- وزن مخصوص ظاهری خاک

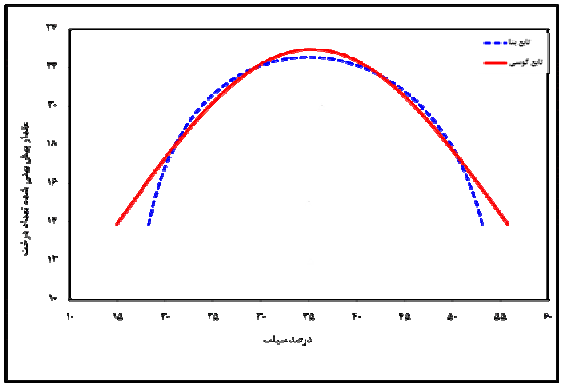
گونهٔ راش بر اساس α و β در تابع بتا (به‌ترتیب ۰٫۷ و ۲٫۶)، رفتاری چوله به راست را نسبت به این متغیر نشان می‌دهد که نمایانگر گریزان بودن این گونه از خاک‌های فشرده است (شکل ۸). درجهٔ چولگی نیز در سطح ۰٫۱ درصد بسیار معنی‌دار است. مقدار اپتیمم وزن مخصوص ظاهری برای گونهٔ راش، ۱٫۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب تعیین شد. با به‌کارگیری تابع بتا، دامنهٔ اکولوژیک گونهٔ راش ۱٫۳-۲٫۷ محاسبه شد. ۴٫۲ و ۴٫۶ درصد از تغییرات در پراکنش گونهٔ راش در رابطه با متغیر وزن مخصوص ظاهری به‌ترتیب توسط تابع بتا و تابع گوسی توجیه شد. درصد تغییرات توجیه‌شده توسط تابع بتا اندکی کمتر از تابع گوسی است، اما تابع بتا توانسته است به‌خوبی رفتار چوله‌دار گونهٔ راش را نسبت به این متغیر نشان دهد.



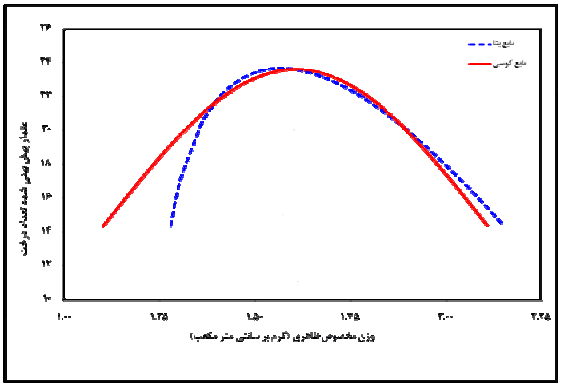
شکل ۵- برازش تابع بتا و گوسی به متغیر درصد شن



شکل ۶- برازش تابع بتا و گوسی به متغیر درصد رس



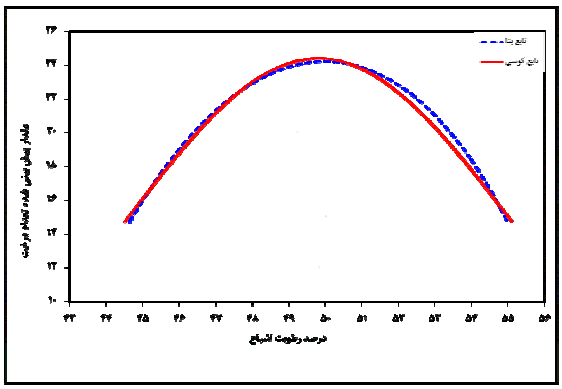
شکل ۷- برازش تابع بتا و گوسی به متغیر درصد سیلت



شکل ۸- برازش تابع بتا و گوسی به وزن مخصوص ظاهری

- رطوبت اشباع

مقدار بهینهٔ رطوبت اشباع با استفاده از تابع بتا ۵۰ درصد برآورد شد. شکل منحنی واکنش گونهٔ راش در رابطه با درصد رطوبت اشباع با استفاده از تابع بتا و بر اساس مقدار پارامتر α و β (به‌ترتیب ۱٫۸ و ۱٫۶) تک‌نمایی و متقارن است (شکل ۹). اختلاف انحراف تابع بتا و مدل تک‌نمایی متقارن نیز نشان‌دهندهٔ نبود تفاوت معنی‌دار این دو مدل است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که تابع بتا، ۸٫۱ درصد و تابع گوسی ۸٫۴ درصد تغییرات در پراکنش گونهٔ راش را نسبت به رطوبت اشباع توجیه می‌کند. با استفاده از تابع بتا، دامنهٔ اکولوژیک گونهٔ راش ۵۷-۴۲ درصد برآورد شد.



شکل ۹- برازش تابع بتا و گوسی به متغیر درصد رطوبت اشباع

جدول ۱- پارامترهای تابع بتا و اختلاف انحراف آن با توزیع متقارن

متغیر محیطی	ضریب α	ضریب β	نسبت α به β	مقدار انحراف تابع گوسی	مقدار انحراف تابع بتا	اختلاف انحراف تابع بتا و گوسی	منحنی واکنش
ارتفاع از سطح دریا (متر)	۰٫۹	۰٫۶	۱٫۵	۲۸۰٫۸۴	۲۶۹٫۴	۰٫۳*	چوله به چپ
شیب (درصد)	۱٫۱	۱٫۱	۱	۵۹۹٫۲۲	۵۹۸٫۹۲	۰٫۵۴	متقارن
شن (درصد)	۱٫۴	۱٫۳	۱٫۱	۴۷۰٫۴۱	۴۶۹٫۸۷	۱۴٫۶۲	متقارن
سیلت (درصد)	۰٫۶	۰٫۶	۱	۵۰۴٫۸۴	۵۰۴٫۲۵	۰٫۵۹	متقارن
رس (درصد)	۱٫۴	۰٫۸	۱٫۸	۵۲۳٫۱۲	۵۰۸٫۵	۱۱٫۴۴*	چوله به چپ
وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌مترمکعب)	۰٫۷	۲٫۶	۰٫۲۷	۳۵۶٫۳۳	۳۴۱٫۳۹	۱۴٫۹۴*	چوله به راست
رطوبت اشباع (درصد)	۱٫۸	۱٫۶	۱٫۱	۳۸۴٫۷۴	۳۸۲٫۵۴	۲٫۲	متقارن

*: معنی‌دار در سطح ۰/۱ درصد

جدول ۲- آماره‌های توصیفی، مقدار بهینه و دامنهٔ بردباری گونهٔ راش در منطقهٔ مورد بررسی با استفاده از تابع بتا

متغیر	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	میانگین	مقدار بهینه	دامنهٔ بردباری
ارتفاع از سطح دریا (متر)	۴۷۰	۲۱۲۳	± ۳۰۴	۱۲۵۲	۱۴۲۰	۳۰۰-۲۱۵۰
شیب (درصد)	۱۱	۶۶	± ۱۲	۳۱	۴۰	۰-۸۰
شن (درصد)	۸	۴۵	± ۸	۲۴	۲۵	۱-۴۸
رس (درصد)	۲۶	۵۷	± ۶	۳۹	۴۳	۲۰-۵۸
سیلت (درصد)	۱۸	۵۱	± ۸	۳۶	۳۵	۱۷-۵۵
وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌مترمکعب)	۱٫۳	۲٫۱	± ۰٫۲	۱٫۶	۱٫۶	۱٫۳-۲٫۷
رطوبت اشباع (درصد)	۴۴	۵۵	± ۲	۴۹	۵۰	۴۲-۵۷

بحث

برای بررسی این فرض که آیا منحنی‌های واکنش گونهٔ راش نسبت به متغیرهای محیطی مورد بررسی، تک‌نمایی و متقارن است از نسبت α و β و آزمون آماری اختلاف انحراف تابع بتا و مدلی که در آن α و β مساوی است، استفاده می‌شود، بر این اساس برای ارتفاع از سطح دریا، درصد رس و وزن مخصوص ظاهری، منحنی واکنش چوله‌دار و البته معنی‌دار است. در صورتی‌که برای متغیر

درصد شیب، شن، سیلت و رطوبت اشباع، اختلاف انحراف، تک‌نمایی و متقارن بودن منحنی را تأیید می‌کند؛ بنابراین می‌توان این فرض را که گونه‌ها واکنش تک‌نمایی و متقارن به عوامل محیطی نشان می‌دهند، رد کرد.

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که گونهٔ راش در منطقهٔ مورد بررسی در ارتفاع میان‌بند دارای بهترین عملکرد از نظر تعداد است که نشان‌دهندهٔ شرایط بهینه در این ارتفاع‌هاست. مروی مهاجر (۱۳۵۵) و Gulisashvili *et al.* (1975) نیز به این نتیجه رسیدند که راشستان‌های واقع در منطقهٔ میان‌بند، قدرت رویشگاهی و تولیدی بیشتری دارند. در مورد درصد شیب، گونهٔ راش در میانهٔ گرادیان شیب، بیشترین تعداد را به خود اختصاص می‌دهد. در اراضی پرشیب، فرصت نفوذ آب کم است و در درازمدت پدیدهٔ خاکسازی کمتر اتفاق می‌افتد. همچنین در اراضی کم‌شیب ممکن است زهکشی خاک که از نیازهای بنیادی گونهٔ راش است (Harris, 2002)، نامناسب باشد که برای حضور گونهٔ راش مطلوب نیست.

رفتار گونهٔ راش نسبت به درصد رس، برخلاف درصد شن و سیلت، چوله به چپ است که نشان می‌دهد گونهٔ راش از خاک‌های با مقدار رس کم گریزان است و خاک‌هایی با رس بیشتر را ترجیح می‌دهد، اما از حضور در خاک‌هایی با مقدار رس خیلی زیاد نیز اجتناب می‌کند. در خاک‌های شنی، معمولاً نفوذ آب سریع‌تر و نگهداری آب کم است. در مقایسه، خاک‌هایی با ذرات کوچک‌تر (لومی و رسی)، خلل و فرج کوچک‌تری دارند، جذب آب در آنها کندتر صورت می‌گیرد و ظرفیت نگهداری رطوبت آنها بیش از خاک‌های شنی است. نتایج این پژوهش با تحقیق حبیبی کاسب (۱۳۵۳) که ابراز می‌دارد راش ایران از خاک‌های خیلی رسی گریزان است مطابقت دارد.

در مورد وزن مخصوص ظاهری، گونهٔ راش از خاک‌هایی با وزن مخصوص ظاهری زیاد اجتناب می‌کند. وزن مخصوص ظاهری زیاد که نشان‌دهندهٔ کم بودن تخلخل خاک و فشردگی خاک است، سبب محدود شدن رشد ریشه و حرکت ضعیف آب‌وهوا در خاک می‌شود. فشردگی ممکن است به ریشه‌دوانی سطحی و رشد ضعیف گیاه بینجامد که توان تولید گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. ساعی (۱۳۲۷) نیز در کتاب *جنگل‌شناسی* اشاره می‌کند که گونهٔ راش خاک‌های خیلی سنگین را نمی‌پسندد.

هدف دیگر این تحقیق، مقایسه و ارزیابی دو تابع گوسی و بتا در بررسی اوت‌اکولوژی گونهٔ راش است. هرچند مدل‌های آماری گوناگونی تا به امروز به‌منظور بررسی واکنش گونه‌ها به گرادیان‌های محیطی پیشنهاد شده، بسیاری از محققان بدون اینکه کارآیی تابع گوسی را بررسی کنند، از آن استفاده می‌کنند، چرا که اغلب محققان به دنبال مقدار اپتیمم یک متغیر محیطی برای گونه هستند و علاوه بر آن برازش تابع گوسی نسبت به دیگر توابع بسیار آسان‌تر است. منحنی‌های حاصل از تابع گوسی دارای یکی از حالت‌های تک‌نمایی[1]، همنوا افزایشی یا کاهشی[2] و ثابت[3] است. در صورتی‌که تابع بتا بسته به مقدار پارامتر چولگی و کشیدگی، شکل‌های بسیار متنوعی دارد که می‌تواند شکل منحنی واکنش یک گونه را نسبت به متغیر محیطی بهتر آشکار کند. به‌علاوه، محاسبهٔ مقدار اپتیمم با توجه به شکل منحنی واکنش متفاوت با تابع گوسی است. ضعف بزرگ تابع گوسی، ناتوانی آن در آشکارسازی منحنی‌های چوله‌دار است که تفسیر نیازهای رویشگاهی یک گونه را با مشکل مواجه می‌کند. با برازش تابع گوسی، در صورت معنی‌دار بودن منحنی تک‌نمایی و متقارن، گونهٔ گیاهی همیشه در میانهٔ گرادیان بهترین عملکرد را دارد، در صورتی‌که رفتار واقعی آن ممکن است چوله‌دار باشد که شدت تأثیرات بازدارندگی را بر پراکنش گونه نشان می‌دهد. با تغییر منحنی واکنش از حالت تک‌نمایی متقارن به تک‌نمایی چوله‌دار، در برآورد مقدار اپتیمم و تیپولوژی گونه بر اساس مقدار اپتیمم متغیر محیطی تغییراتی ایجاد می‌شود.

معیار دوم برای تصمیم‌گیری در مورد عملکرد بهتر تابع‌ها، درصد تغییرات توجیه شد. نتایج نشان می‌دهد که تابع بتا و گوسی درصد تغییرات به‌نسبت مشابهی را نشان دادند. شاید نزدیکی درصد تغییرات توجیه‌شده توسط این دو تابع را بتوان به‌دلیل محدود کردن نمونه‌برداری در جوامع غالب راش نسبت داد که سبب کاهش طول گرادیان شد، به‌طوری‌که نمی‌توان واکنش گونه‌ها را به‌خوبی بررسی کرد

1- Unimodal
2- Monotonically Increasing or Decreasing
3- Constant

که البته به بررسی بیشتری نیاز دارد. لحاظ کردن قطعات نمونه‌ای که در آن گونهٔ راش حضور ندارد، ممکن است شکل منحنی واکنش و پارامترهای برآوردی را تغییر دهد. نکتهٔ مهم دیگر این است که در این بررسی از قطعات نمونهٔ دایره‌ای ۰/۱ هکتاری استفاده شد که به نظر نویسنده در بررسی‌های منحنی واکنش، بزرگ است. بردباری گونه‌ها و فراوانی آنها به‌طور مثبت با مقیاس محلی و منطقه‌ای همبستگی دارد. زمانی که اندازهٔ قطعه نمونه کاهش می‌یابد، میانگین انحراف منحنی‌های واکنش گونه‌ها نیز کم می‌شود و طول گرادیان که مبتنی بر میانگین‌گیری انحراف معیار منحنی‌های واکنش گونه‌هاست، افزایش می‌یابد (Økland, 1990). Allen *et al*. (1984) نشان دادند که با کم کردن اندازهٔ قطعه نمونه، تنوع بتا افزایش می‌یابد. بنابراین پیشنهاد می‌شود در صورتی که از معیاری همانند سطح مقطع، تعداد، ارتفاع درخت و ... برای تجزیه‌وتحلیل منحنی واکنش گونه‌ها استفاده می‌شود، با به‌کارگیری روش حداقل سطح که در مطالعات جامعه‌شناسی گیاهی از آن استفاده می‌شود، سطح مناسب قطعه‌نمونه تعیین شود.

در پایان باید اشاره داشت که مفهوم آشیان اکولوژیک در تمام زمینه‌های اکولوژی مهم است. توصیف دقیق مؤلفه‌های آشیان اکولوژیک بنیادی و حقیقی به‌منظور بهبود تئوری‌های پوشش گیاهی، ارزیابی محیطی و شبیه‌سازی گیاهی مورد نیاز است. برای توصیف و کمی‌سازی مؤلفه‌های آشیان اکولوژیک می‌توان انواع متفاوتی از توابع واکنش را به‌کار گرفت. در این تحقیق تابع‌های بتا و گوسی برای بررسی اوت‌اکولوژیک گونهٔ راش استفاده شد که تابع بتا با توجه به نمایان‌سازی منحنی‌های چوله‌دار و درصد تغییرات نسبتاً مشابه با تابع گوسی، عملکرد بهتری داشت. البته پیشنهاد می‌شود مدل‌های دیگر مانند HOF و GAM نیز به‌کار گرفته شود و کارایی آنها با دو تابع گوسی و بتا مقایسه و مدل مناسب معرفی شود. در خاتمه باید خاطرنشان کرد که بیان ریاضی روابط بین متغیرهای محیطی و واکنش گونه‌ها تنها کمکی برای تفسیر مشاهدات میدانی است و حتی قوی‌ترین همبستگی‌ها را نیز نمی‌توان قطعی فرض کرد.

منابع

مشتاق کهنمویی، محمدحسن، ۱۳۷۸. وضعیت کمی و کیفی جنگل‌های شمال، جلد اول، بازنگری طرح جامع مقدماتی جنگل‌های شمال کشور، مطالعات دورهٔ پنجم (۱۳۷۵)، سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور، معاونت امور جنگل‌های شمال، دفتر فنی جنگلداری، ۱۰۳ ص.

جعفری حقیقی، مجتبی. ۱۳۸۲. روش‌های تجزیهٔ خاک، انتشارات ندای ضحی، ۲۳۶ ص.

حبیبی کاسب، حسین. ۱۳۵۳. بررسی تأثیر بافت خاک در میزان رویش راش ایران، نشریهٔ دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۳۱: ۷۰-۶۰.

ساعی، کریم، ۱۳۲۷. جنگل‌شناسی، جلد اول، انتشارات دانشگاه تهران. شمارهٔ ۳۲. ۳۳۹ ص.

سرمدیان، فریدون و محمد جعفری، ۱۳۸۰. بررسی خاک‌های جنگلی ایستگاه تحقیقاتی آموزشی دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران، مجلهٔ منابع طبیعی، ویژه‌نامهٔ سال ۱۳۸۰، ۱۱۱ ص.

علوی، سیدجلیل، قوام‌الدین زاهدی امیری، رامین رحمانی، محمدرضا مروی مهاجر، بارت مویس و جعفر فتحی، ۱۳۹۰. تعیین مقدار بهینه و دامنهٔ بوم‌شناختی درخت راش (*Fagus orientalis*) با استفاده از تابع گوسی در جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود نوشهر، محیط زیست طبیعی (منابع طبیعی ایران)، ۶۴(۴): ۴۱۵-۳۹۹.

مروی مهاجر، محمدرضا، ۱۳۵۵. بررسی خواص کیفی راشستان‌های شمال کشور، نشریهٔ دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تهران، شماره ۳۴ ، ۷۷ ص.

Allen, T.F.H., D.A. Sadowsky & N. Woodhead, 1984. Data transformation as a scaling operation in ordination of plankton, *Vegetatio*, 56: 147-160.

Austin, M.P., 1976. On non-linear species response models in ordination, *Vegetatio*, 33: 33-41.

Austin, M.P., A.O. Nicholls & C.R. Margules, 1990. Measurement of the realized qualitative niche: environmental niches of five eucalyptus species, *Ecological Monographs*, 60(2): 161-177.

Austin, M.P., A.O. Nicholls, M.D. Doherty & J.A. Meyers, 1994. Determining species response functions to an environmental gradient by means of

a beta- function, *Journal of Vegetation Science*, 5(2): 215-228.

Bongers, F., L. Poorter, R.S.A.R. Van Rompaey & M.P.E. Parren, 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.

Gulisashvili, V.Z., L.B. Makhatadze & L.I. Prilipko, 1975. Vegetation of the Caucasus, Nauka Publishers, Moscow, 240 pp.

Härdtle, W., 2005. Relationships between the vegetation and soil conditions in beech and beech-oak forests of northern Germany, *Plant Ecology*, 177: 113-124.

Harris, E., 2002, Goodbye to Beech? Farewell to Fagus?, *Quarterly Journal of Forestry*, 96(2): 97-98.

Heikkinen, J. & R. Mäkipä, 2010. Testing hypotheses on shape and distribution of ecological response curves, *Journal of Ecological Modelling*, 221: 388-399.

Jansen, F., 2008. Shape of species resonses: Huisman-Olff–Fresco models revisited.In: Mucina, L., Kalwij, J.M., Smith, V.R. (Eds.), Frontiers of Vegetation Science -An Evolutionary Angle. Keith Phillips Images, Somerset West, South Africa, 80-81.

Jongman, R.H.G., C.J.F. ter Braak & 0.F.R. van Tongeren, 1995. Data Analysis in Community and Landscape Ecology, Cambridge University Press, 299 pp

Karadzic, B., S. Marinkovic & D. Katarinovski, 2003. Use of Beta function to estimate the skewness of species response, *Journal of Vegetation Science*, 14: 799-805.

Loetsch, F., F. Zohner & K.E. Haller, 1973. Forest Inventory. Vol. 2. BLV, München, 469 pp.

Økland, R.H., O. Eilertsen & T. Økland, 1990. On the Relationship between sample plot size and beta diversity in boreal coniferous forests, *Vegetatio*, 87(2): 187-192.

Oksanen, J., 1997. Why the beta function cannot be used to estimate skewness of species responses, *Journal of Vegetation Science*, 8: 147-152.

Oksanen, J. & P.R. Minchin, 2001. Continuum theory revisited: what shape are species responses along ecological gradients?, *Ecological Modelling*, 157: 119-129.

R Core Team, 2010. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL http://www.R-project.org/.

Zuur, A.F., E.N. Ieno & G.M. Smith, 2007. Analysing Ecological Data, Springer, 680 pp.

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)

S.J. Alavi[*1], G. Zahedi Amiri[2], R. Rahmani[3], M.R. Marvi Mohajer[4], B. Muys[5] and Z. Nouri[6]
[1]Assistant Professor, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, I. R. Iran
[2,4]Associate Prof. and Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran
[3]Associate Prof., Faculty of Forestry, University of Gorgan, I. R. Iran
[5]Professor of Forest Ecology and Management, Catholic University of Leuven, Belgium
[6]Ph.D. Graduate, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran
(Received: 9 June 2012, Accepted: 21 November 2012)

Abstract
The current study was done in Patom, Namkhaneh, Gorazbon, Chelir and Baharbon districts in Kheyrud forest. A stratified sampling method based on landform was used to locate 190 0.1 ha circular sample plots in beech dominated forests. The number of *Fagus orientalis* Lipsky trees with DBH ≥ 7.5 cm within each plot was recorded along with elevation and slope of the ground. Also, at the center of plot, soil samples from first layer were taken for analyzing soil texture, bulk density and saturation moisture. In order to study the shape of response curve and extract the ecological optimum and amplitude in relation to the mentioned variables, beta function was used in the context of generalized linear model (GLM) with poison distribution and logarithmic link function. Gaussian Function were also applied to the data and its performance was compared to Beta Function using Deviance Test and the shape of response whether it is unimodal and symmetric or skewed. Beta function showed the response of beech to altitude is left-skewed, meaning it avoids lower elevations. This species has 1420 and 300-2150 m a.s.l for its optimum and ecological amplitude, respectively. Beech tree can distribute from gentle to steep slopes in the study area. The behavior of beech to slope is symmetric and unimodal attaining its optimum at 40% slope. Using beta function indicated that *Fagus* have amplitude of 0 to 80% regarding to slope percentage. In light of sand, clay and silt, Beech tree has 25, 43 and 35 % for optimum and 1-48 % for sand, 20-58% for clay and 17-55 % for silt for ecological amplitude, respectively. Using beta function showed the response of *Fagus* to sand and silt is unimodal and symmetric, but for clay it shows left-skewed shape. It implies that *Fagus* avoids soils containing low clay contents. The optimum and tolerance of saturation moisture for *Fagus* have been determined 50 and 17-55%, respectively. *Fagus* showed right-skewed response to bulk density. It gets its optimum at 1.6 g/cm^3 and it can distribute from 1.3 to 2.7 g/cm^3. Gaussian function always gives symmetric and bell-shaped species responses whereas the beta function has the advantage of describing either very skewed unimodal responses, or symmetric responses. It can also detect some types of bimodal. The results of this study showed although there is not much difference between Gaussian and beta functions based on deviance explained, but beta function could detect skewed response curve well, compared to Gaussian function. Beech tree has not always showed symmetric responses to the selected variables and the hypothesis implying Beech tree has unimodal and symmetric response to environmental variables can be rejected.

Key words: Beech, Optimum, Ecological amplitude, Beta function, Gaussian function, Generalized linear model, Explained deviance.

[*]Corresponding author Tel: +98 122 6253101 Email: j.alavi@modares.ac.ir