



دانشگاه گنبد کاووس

نشریه "حفاظت زیست بوم گیاهان"

دوره پنجم، شماره یازدهم، پاییز و زمستان ۹۶

<http://pec.gonbad.ac.ir>

مقایسه منحنی پاسخ گونه *Bromus tomentellus* و گونه *Achillea millefolium* نسبت به

گرادیان‌های محیطی با استفاده از مدل جمعی تعمیم یافته

فاطمه حیدری^۱، قاسمعلی دیانتی تیلکی^{۲*}، سید جلیل علوی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مرتع داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور

^۲ دانشیار گروه مرتع داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور

^۳ استادیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۵/۸

چکیده

پاسخ گونه‌های گیاهی نسبت به گرادیان‌های محیطی نشان دهنده تاثیر فاکتورهای محیطی روی گیاهان می‌باشد. هدف اصلی این مطالعه مقایسه شکل عکس‌العمل بین گونه‌های *Bromus tomentellus* و *Achillea millefolium* با استفاده از مدل جمعی تعمیم یافته نسبت به متغیرهای محیطی بود. جهت انجام این تحقیق ۱۵۳ پلات یک متر مربعی در طول گرادیان ارتفاعی برداشت شدند. نمونه‌برداری به روش تصادفی-سیستماتیک انجام و در سطح نمونه‌گیری حضور دو گونه *Br. tomentellus* و *A. millefolium* ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت ثبت شدند، همچنین در مرکز هر پلات، از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری، نمونه‌برداری از خاک صورت گرفت. در هر پلات مشخصات خاکشناسی شامل pH محلول، نیتروژن (N)، هدایت الکتریکی (EC)، کربن آلی، درصد شن، سیلت و رس اندازه‌گیری شدند. مقایسه شکل عکس‌العمل دو گونه *Br. tomentellus* و *A. millefolium* با استفاده از مدل جمعی تعمیم یافته در بسته mgcv در نرم‌افزار R_{ver.3.0.2} صورت گرفت. نتایج نشان داد که دو گونه نسبت به متغیر ارتفاع از سطح دریا، عکس‌العمل متفاوتی را نشان داده‌اند و برای گونه *Br. Tomentellus* نسبت به این متغیر ابتدا روند افزایشی و سپس روند ثابتی را نشان می‌دهد و در ارتفاع ۲۴۱۷ متر به بالاترین حضور خود رسیده در حالی که برای گونه *A. millefolium* روند کاهنده را نشان می‌دهد و با افزایش ارتفاع از حضور این گونه کاسته می‌شود و بیشترین حضور این گونه در ارتفاع ۲۱۲۵ متر می‌باشد. مقدار شن در خاک پارامتری است که تاثیر مثبت در توزیع گونه *Br. tomentellus* داشته در حالی که این متغیر تاثیر منفی بر حضور گونه *A. millefolium* را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: *Achilla millefolium* *Bromus tomentellus* مدل جمعی تعمیم یافته، متغیرهای محیطی، منحنی پاسخگونه‌ها

مقدمه

بررسی شکل منحنی عکس‌العمل گونه‌های گیاهی نسبت به گرادیان‌های محیطی و این که کدامیک از روش‌ها و مدل‌ها در یک آشیان بوم‌شناختی دامنه و اپتیمم اکولوژیک گونه گیاهی را نسبت به گرادیان‌های محیطی بتواند بهتر نشان دهد، یکی از مسائل و موضوعات اساسی در علم اکولوژی مرتع می‌باشد. دانشمندان امروزی در حال توسعه مدل‌های آماری و ریاضی برای پی بردن و پیش‌بینی پراکنش جغرافیایی از گونه‌ها بر وقوع گونه در مقیاس فضایی متفاوت با داده‌های محیط‌زیست (بیوکلیماتیک) هستند (Pearson and Dason, 2003). شکل پاسخ گونه‌ها در امتداد شیب‌های زیست محیطی دارای پیامدهای مهمی برای هر دو نظریه پیوستگی و تجزیه و تحلیل جامعه است. پاسخ گونه‌ها به متغیرهای زیست محیطی به صورت متقارن، تک‌نمایی است (Begon, 1972; Gauch and Whittaker, 1996). در جوامع گیاهی بسیاری از عوامل فیزیکی و حیاتی بر روی گونه‌های گیاهی اثر گذاشته که تأثیر هر یک از این عوامل یک گرادیان را تشکیل می‌دهند، این گرادیان‌ها در تمام محیط وجود داشته و بر همه گونه‌های موجود در اکوسیستم اثر می‌گذارد (Cox et al., 1973). عکس‌العمل گونه در زمان و مکان ناشی از عوامل مختلف می‌باشد. دلیل آن هر چه باشد، نیاز به مدل‌هایی است تا روابط مشاهده شده را توصیف نماید. برای این منظور مدل جمعی تعمیم یافته^۱، مدل HOF^۲ و تابع بتا اشاره داشت. حضور و پراکنش جوامع گیاهی در اکوسیستم‌های مرتعی، تصادفی نیست؛ بلکه عوامل اقلیمی، خاکی، پستی و بلندی و انسانی در گسترش آن‌ها نقش مهمی ایفا می‌کنند (Leonard et al., 1984). گونه *Bromus tomentellus* گیاهی از قبیله *Bromeae* از جنس *Bromus* و خانواده *Poaceae* زیر خانواده *Poideae* است چند ساله و پایا با ساقه‌های ماشوره‌ای و دارای تیپ بیولوژیک کامفیت^۳ که دارای درجه خوش خوراکی و ارزش بالای علوفه‌ای و تغذیه دام سبک و سنگین (گوسفند و گاو) کلاس یک است. این گونه دارای پراکنش بسیار زیاد در مناطق رویشی نیمه استپی و در مناطق کوهستانی البرز، زاگرس و رشته کوه‌های مرکزی در ناحیه رویشی ایران و تورانی نیز گسترده‌گی وسیعی دارد. در تیپ اراضی کوه‌ها، تپه‌ها و تراس‌های فوقانی، دامنه ارتفاع زیاد و با فراوانی بیش‌تر در شیب‌های شمالی دیده می‌شود. بعلاوه این گونه اغلب در اقلیم نیمه خشک سرد رویش دارد و یکی از بهترین گندمیان کوهستانی برای اصلاح و توسعه مراتع بیلاقی به شمار می‌آید (احسانی: ۱۳۹۲). بومادران گیاهی علفی و چندساله از خانواده کاسنی *Composite* است، گونه بومادران هزار برگ *Achillea millefolium* یکی از گونه‌های با ارزش و دارویی و صنعتی موجود در مراتع ایران از این تیره گیاهی است. این گیاه به طور خودروی در دشت‌ها، کنار جاده‌ها و نواحی کوهستانی می‌روید. جمعیت گونه‌های *A. millefolium* در شمال، غرب، شمال غرب و مناطق مرکزی و شمالی ایران پراکنده شده‌اند (Hemmati et al., 2011; Farajpour et al., 2012). مدل جمعی تعمیم یافته روش بسیار مناسبی را برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و بررسی رابطه بین متغیرهای مستقل و پاسخ ارائه می‌دهد. مدل -

1 Generalized additive model

2 Huisman-Olff-Fresco

3 Chamaephyte

های جمعی تعمیم یافته دارای توانایی بالایی در تجزیه و تحلیل داده‌های اکولوژیکی و مشخص کردن رابطه غیرخطی بین متغیرهای مختلف دارند (Guisan et al., 2002). در این مدل برخلاف مدل رگرسیون خطی (که در آن فرمولی ارائه می‌گردد و رابطه بین متغیرهای تبیینی و پاسخ به وسیله پارامتر برآورد شده رگرسیون سنجش می‌شود) اجازه داده می‌شود، داده‌ها شکل منحنی پاسخ را تعیین کنند. در مدل جمعی تعمیم یافته فرض بر این است که متغیر پاسخ Y دارای توزیعی از خانواده نمایی با میانگین $\mu = E(Y|X_1, \dots, X_p)$ می‌باشد. که از طریق تابع پیوند g به متغیر پیشگو متصل می‌شود. مدل‌های جمعی تعمیم یافته به صورت زیر بیان می‌شود (Hastie and Tibshirani, 1990):

$$g(\mu) = \alpha + \sum_{j=1}^p f_j(x_j) \quad \text{رابطه ۱}$$

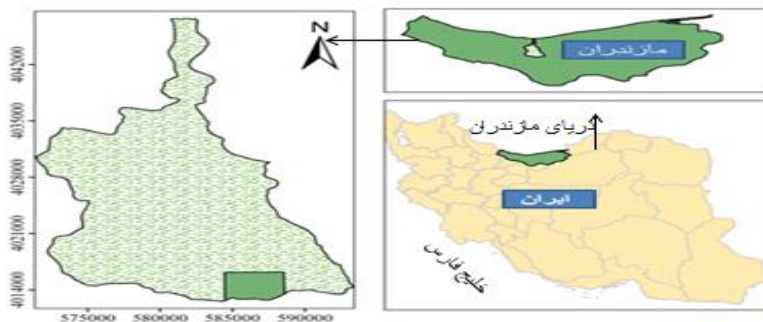
در اینجا فرض می‌شود، f_j ها توابعی نامعلوم و هموار می‌باشند. به طور خاص f_j از روی داده‌ها و با استفاده از تکنیک‌های پیشرفته هموارساز نمودار پراکنش برآورد می‌شود. تفاوت اساسی مدل‌های جمعی تعمیم یافته با مدل‌های پارامتری در این است که توابع خطی به وسیله توابع هموار نامعلوم جانشین می‌شوند که دارا بودن هموارسازها یکی از مزایای مهم مدل جمعی تعمیم یافته (Generalized additive model) است که آن را از سایر مدل‌ها متمایز می‌سازد. این توابع قابلیت جمع‌پذیری دارند، از آن جا که اثر هر متغیر به صورت جداگانه بیان می‌شود؛ بنابراین هر تابع می‌تواند برای آزمون نقش متغیرها در پیشگویی پاسخ به صورت جداگانه بررسی شود. وجود هموارسازها در این مدل باعث توانایی این مدل در شناسایی روابط غیرخطی شده است. به طور کلی مزیت مدل‌های جمعی تعمیم یافته را می‌توان این گونه بیان کرد که ساختار جمعی به بیان نتایج قابل تفسیر برای هر کدام از متغیرهای تبیینی که به مدل وارد می‌شود، می‌پردازد. در مدل‌های جمعی تعمیم یافته به جای پیش فرض‌های پارامتری غیر قابل انعطاف، رابطه بین متغیرهای پاسخ و تبیینی به هر صورتی که باشد، بیان می‌شود و نکته مهم در مورد این مدل‌ها این است که به جای مدل محوری، داده محور هستند؛ به همین دلیل است که استفاده از GAM روز به روز در حال توسعه است (صالحی و همکاران: ۱۳۹۱). در نرم افزار آماری R دو بسته اصلی برای GAM وجود دارد که در این مطالعه از بسته mgcv استفاده کردیم. فرییر و واتسون (Ferrier and Watson, 1997) چند گروه مختلف گیاه را در استرالیا با استفاده از مدل GAM با حضور / عدم حضور و تنها حضور داده‌های تکمیل شده با یک نمونه به طور تصادفی مورد بررسی قرار دادند؛ نتایج آن‌ها نشان داد که مدل‌های GAM به دست آمده از حضور/عدم حضور اطلاعات داده‌ها نتایج پیش‌بینی ضعیف‌تر است (احمدی و همکاران: ۱۳۹۴). از مدل جمعی تعمیم یافته برای بررسی توان تولید گونه راش استفاده شده و نتایج قابل قبولی نیز به دست آمده است. با توجه به نتایج مدل جمعی تعمیم یافته، این مدل توانست بیش از ۵۳ درصد تغییرات در فرم رویشگاه را توجیه کند که حاکی از کارایی مناسب این مدل در ارزیابی توان رویشگاه نسبت به مدل خطی تعمیم یافته است و از بین متغیرهای تبیینی مورد بررسی، متغیر وزن مخصوص ظاهری، ارتفاع از سطح دریا، درصد سیلت، نیتروژن، رطوبت اشباع ارتباط معنی‌داری با فرم رویشگاه داشتند. نکته مهم در مورد

مدل‌های جمعی تعمیم‌یافته این است که به جای مدل محوری، داده محور هستند؛ یعنی نتایج پارامترهای به‌دست آمده از مدل پیشین استنباط نمی‌شود، بلکه ساختار داده‌ها مورد آزمون قرار می‌گیرد (Yee and Mitche., 2015). شریفی و همکاران (۱۳۹۳) از مدل HOF برای بررسی عکس‌العمل گونه *L. Festucaovina* به برخی متغیرهای محیطی در مراتع حوزه آبخیز گلندرود استفاده کردند نتایج به‌دست آمده نشان داد که گونه *F.ovina* نسبت به متغیرهای مورد مطالعه عکس‌العمل متفاوتی نشان داد و منحنی پاسخی که اکثراً برای این گونه در این منطقه رایج بوده منحنی پاسخ هم‌نوا افزایشی بوده است. در رابطه با pH منحنی پاسخ به‌دست آمده به صورت تک‌نمایی متقارن بود. تعیین شکل عکس‌العمل دو گونه *Br. tomentellus* و *A. milefolium* نسبت به گرادبان‌های محیطی با استفاده از مدل GAM و تعیین اهمیت نسبی متغیرها هدف اصلی این تحقیق می‌باشد که در ارتباط با اصلاح و احیاء مراتع و پاسخ به برخی سوال‌های اکولوژیکی می‌تواند کاربرد داشته باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، در شمال ایران، استان مازندران، شهرستان نور، و در حوزه آبخیز گلندرود در ۱۳' ۳۴' تا ۲۰' ۴۱' عرض شمالی و ۱۹' ۱" تا ۴۴' ۵۶" طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). مساحت کل حوزه آبخیز گلندرود حدود ۳۳۵۰۰ هکتار و به عنوان عرصه مطالعاتی منطقه هیرکانی می‌باشد. مطالعه حاضر در ارتفاعات منطقه یعنی در مراتع ییلاقی صورت گرفته است که حداقل ارتفاع آن ۱۹۰۰ و حداکثر ارتفاع آن ۳۲۰۰ متر از سطح دریا و میانگین بارش سالیانه آن ۶۰۰ میلی‌متر می‌باشد (قلیچ نیا و همکاران: ۱۳۸۷).



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی در استان مازندران

نمونه‌برداری و اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک: در مطالعه حاضر با توجه به نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱/۲۰۰۰۰ و عملیات صحرایی و پیمایش زمینی بر مبنای عوارض طبیعی و عوامل توپوگرافی، رویشگاه‌های این گونه مشخص شد (قلیچ نیا و همکاران، ۱۳۸۷). سپس در امتداد دامنه و در تیپ‌های رویشی مختلف (چه در تیپ‌هایی که گونه مورد مطالعه حضور داشت و چه در تیپ‌هایی که گونه‌های مورد مطالعه

در آنجا حضور نداشت) با در نظر گرفتن طبقات ارتفاعی، شیب و جهت دامنه، نمونه‌گیری از خاک و پوشش گیاهی به روش تصادفی- سیستماتیک صورت گرفت. بدین صورت که نمونه‌برداری در طبقات ارتفاعی (از ارتفاع ارتفاع ۳۰۰۰-۲۱۰۰) و در چهار جهت که در هر طبقه ارتفاعی سه ترانسکت ۱۰۰ متری مستقر گردید و سه پلات یک متر مربعی در امتداد هر ترانسکت برداشت شد. در مجموع ۱۵۳ پلات برداشت شد. سپس در داخل هر قطعه نمونه پارامتر حضور و عدم حضور گونه، عوامل توپوگرافی و متغیرهای خاکی تعیین گردید. در مرکز هر قطعه‌نمونه، به دلیل عمق ریشه‌دوانی این دو گونه نمونه‌برداری از خاک در عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری صورت گرفت. بافت خاک به روش هیدرومتری، نیتروژن به روش کج‌لدال، کربن آلی به روش والکی بلاک، EC با هدایت سنج مدل Jenway ۳۳۱۰ بر حسب دسی زیمنس بر متر، pH با دستگاه pH متر تعیین شد (امیری و همکاران، ۱۳۸۷). محل استقرار کلیه پلات‌ها و ارتفاع از سطح دریا با استفاده از سیستم مکان‌یاب جهانی (GPS) مشخص گردید. شیب نیز توسط دستگاه شیب‌سنج و جهت نیز به صورت آزیموت توسط قطب‌نما تعیین گردید. در مورد جهت جغرافیایی، روش‌های مختلفی برای تبدیل آزیموت به یک متغیر کمی ابداع شده است (Frescino and Moisen, 2002) و از این رابطه برای تبدیل جهت استفاده نموده‌اند که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\text{TRASP} = [1 - \cos((\pi/180)(\theta - 30))] / 2 \quad \text{رابطه ۲}$$

در این مطالعه نیز از این فرمول برای تبدیل جهت استفاده شده است، که در آن θ جهت پلات بر حسب درجه است. مقدار TRASP از صفر تا یک متغیر است و عدد یک نشان دهنده گرم‌ترین جهت (جنوب و جنوب غربی) و عدد صفر نشان دهنده سردترین جهت (شمال و شمال شرقی) است. برای جهت، نمی‌توان بردباری و دامنه اکولوژیک برآورد نمود.

تجزیه و تحلیل آماری

اطلاعات حاصله از داده‌های پوشش گیاهی و متغیرهای محیطی به صورت بانک اطلاعاتی ذخیره شدند. تجزیه و تحلیل داده‌ها از نسخه ۳٫۲ نرم افزار آماری R صورت گرفت. مدل جمعی تعمیم یافته در بسته mgcv در نرم افزار آماری R استفاده گردید. از مدل جمعی تعمیم یافته با پراکنش توزیع دو جمله‌ای به منظور بررسی شکل منحنی عکس‌العمل گونه گیاهی مورد مطالعه نسبت به متغیرهای محیطی به صورت جداگانه استفاده شد. GAM یک روش مدل‌سازی است که یکسری عملکرد ویژه و قوی در بر دارد زمانی که اطلاعات حضور / عدم حضور گونه‌ها در دست باشد، مدل‌سازی را انجام می‌دهد (Yee and Gaywood and Austin, 1994; Mitchell, 1991). از مقادیر AIC^1 به منظور تعیین مدل بهینه در برازش منحنی پاسخ گونه *Br. tomentellus* استفاده گردیده است. یک مدل با AIC پایین‌تر مناسب‌ترین مدل در برازش منحنی عکس‌العمل گونه می‌باشد.

¹ Akaike information criterion

آزمون تشخیص هم خطی

یکی از اساسی ترین مشکلاتی که محققین با آن روبه‌رو هستند؛ وجود هم خطی بین متغیرهای مستقل می‌باشد. به منظور بررسی هم خطی یا هم‌راستایی بین متغیرهای مستقل از عامل تورم واریانس^۲ (VIF) استفاده گردید (Fernández et al., 2004). متغیرهایی که VIF آن‌ها کم‌تر از ۱۰ باشد مشکل هم‌راستایی نخواهند داشت (Guisan et al., 2002). بدین منظور ابتدا مقدار VIF برای تمام متغیرهای مستقل محاسبه شد. در رابطه با گونه *Br. tomentellus* نتایج نشان داد که مقدار VIF برای متغیرهای درصد سیلت، درجه حرارت، بارش، هدایت الکتریکی، کربن آلی خاک بالاتر از ۱۰ می‌باشد. در نتیجه این متغیرها از تجزیه و تحلیل حذف گردیده و مدل‌سازی با استفاده از باقیمانده متغیرها صورت گرفته است و برای گونه *A. millefolium* مقدار VIF برای تمام متغیرهای مستقل محاسبه شد. نتایج نشان داد که مقدار VIF برای متغیر هدایت الکتریکی خاک بالاتر از ۱۰ می‌باشد؛ در نتیجه این متغیر از تجزیه و تحلیل حذف گردیده و مدل‌سازی با استفاده از باقیمانده متغیرها صورت گرفت (جدول ۳).

نتایج

برآزش مدل جمعی تعمیم یافته GAM به متغیرهای محیطی در رابطه با داده‌های فراوانی دو گونه *Br. tomentellus* و *A. millefolium* با توجه به جداول مختلف که نتایج تجزیه مولفه‌های اصلی را برای ۱۲ خصوصیت محیطی (خصوصیات خاک و ارتفاع از سطح دریا) در رویشگاه دو گونه *Br. tomentellus* و *A. millefolium* در حوزه آبخیز گلندرود را نشان می‌دهد، این اشکال چگونگی حضور گونه‌ها را نسبت به متغیرهای محیطی مشخص می‌نمایند. در جدول ۱ نتایج معنی‌داری هموارسازها در مدل جمعی تعمیم یافته برای بررسی اثر متغیرهای محیطی مورد مطالعه بر پراکنش گونه ارائه شد. اهمیت نسبی ترکیبی هر کدام از متغیرها در ارتباط با حضور گونه *Br. tomentellus* و *A. millefolium* را با استفاده از مدل جمعی تعمیم یافته مورد بررسی قرار داده و براساس نتایج به دست آمده از جدول ۲ متغیرهایی که اهمیت نسبی ترکیبی آن‌ها در حدود ۰/۹ و بیشتر باشد، متغیرهایی هستند که اهمیت زیاد و تأثیر قوی بر روی حضور گونه مورد مطالعه داشتند و اگر اهمیت نسبی آن‌ها بین ۰/۶-۰/۹ باشد متغیرهایی هستند که تأثیر متوسط بر روی گونه مورد مطالعه دارند و اگر اهمیت نسبی آن‌ها بین ۰/۵-۰/۶ باشد این متغیرها کمترین تأثیر را بر روی گونه مورد مطالعه دارند (leogan, 2011). برای تعیین اهمیت نسبی هر کدام از متغیرها از بسته MuMin در نرم افزار آماری R ورژن 2. 0. 3 استفاده شد. بر این اساس در ارتباط با حضور گونه *Br. tomentellus* متغیر ارتفاع از سطح دریا تأثیر قوی بر حضور گونه مورد مطالعه داشته و بعد از آن اثر بقیه متغیرها بر حضور گونه مورد نظر تقریباً به صورت یکسان بوده است. اهمیت نسبی، سهم هر یک از متغیرهای پیشگو را در توجیه تغییرپذیری کل به صورت ترکیب با سایر متغیرها نشان می‌دهد

^۲ Variance Inflation Factor

جدول ۲-اهمیت نسبی ترکیبی متغیرها و معیار اطلاعاتی آکائیک برای دو گونه *Br. tomentellus* و *A. millefolium*

AIC		اهمیت نسبی		متغیر محیطی
<i>Br. Tomentellus</i>	<i>A. millefolium</i>	<i>Br. Tomentellus</i>	<i>A. millefolium</i>	
۱۶۷/۳۳	۹۰/۶۶	۰/۹۳	۰/۸۳	ارتفاع از سطح دریا(متر)
۱۶۳/۷۸	۹۳/۲۰	۰/۹۸	۰/۵۲	بارش(میلی متر)
۱۸۹/۶۸	۱۰۹/۷۰	۰/۵۲	۰/۵۴	جهت(آزیموت)
۱۹۰/۲۴	۱۱۲/۸۸	۰/۵۲	۰/۵۲	شن(درصد)
۱۸۹/۴۴	۱۱۵/۱۰	۰/۹۲	۰/۵۰	رس(درصد)
۱۹۵/۰۲	۱۱۶/۴۰	۰/۵۱	۰/۴۹	سیلت(درصد)
۲۰۰/۸۷	۱۱۹/۰۶	۰/۹۹	۰/۴۹	کربن آلی(درصد)
۱۶۷/۱۱	۹۳/۶۵	۰/۸۹	۰/۵۴	درجه حرارت (درجه سانتی گراد)
۲۰۵/۷۷	۱۲۱/۶۸	۰/۹۷	۰/۵۰	نیترژن کل(درصد)
۱۹۶/۸۶	۱۱۳/۷۵	۰/۸۱	۰/۵۸	pH
۲۰۳/۲۴	۱۱۵/۹۲	۰/۵۲	۰/۵۱	شیب(درصد)

جدول ۳-اهمیت نسبی ترکیبی متغیرها بدون وجود هم خطی

Vif		متغیر محیطی
<i>Br. Tomentellus</i>	<i>A. millefolium</i>	
۳/۳۵	۱	ارتفاع از سطح دریا(متر)
۶/۷۶	-	بارش(میلی متر)
۲/۳۰	۰/۵۴	جهت(آزیموت)
۱/۵۲	۰/۵۰	شن(درصد)
۳/۲۳	۰/۵۰	رس(درصد)
۱/۷۷	-	سیلت(درصد)
۴/۴۱	-	کربن آلی(درصد)
۳/۶۷	-	درجه حرارت (درجه سانتی گراد)
۵/۶۶	۰/۴۶	نیترژن کل(درصد)
۱/۷۹	۰/۵۸	pH
۱/۵۵	۰/۵۰	شیب(درصد)

گزینش متغیرها با استفاده از معیار AIC در مدل جمعی تعمیم یافته نشان داد که ارتفاع از سطح دریا، درصد شن، رس و سیلت، درصد نیترژن و کربن آلی خاک جهت و شیب دامنه و متغیرهای اقلیمی دما و بارش در ارتباط با حضور گونه *Br.tomentellus* موثر می باشند و متغیرهای موثر در ارتباط با حضور گونه *A. millefolium* عبارتند از ارتفاع از سطح دریا، درصد شن، رس و سیلت، درصد کربن آلی خاک جهت و

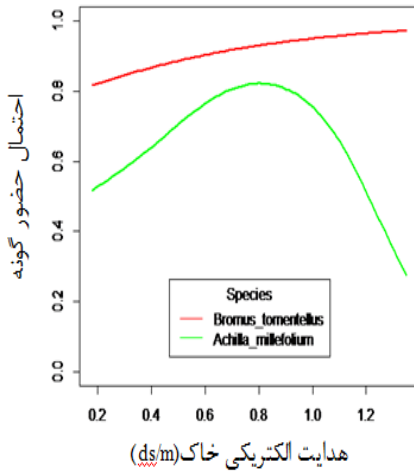
شیب دامنه و متغیرهای اقلیمی دما و بارش می‌باشد. براساس نتایج به دست آمده از این روش و استفاده از درجه آزادی به دست آمده در جدول ۱ می‌توان بیان داشت که در ارتباط با گونه *Br. tomentellus* متغیرهای جهت دامنه، درصد سیلت خاک، درصد شن خاک، کربن آلی خاک، و درصد نیتروژن خاک دارای رابطه خطی با احتمال حضور گونه می‌باشند در حالی که متغیرهای بارش، ارتفاع از سطح دریا، درصد شیب، رس خاک، هدایت الکتریکی خاک، درجه حرارت و pH خاک رابطه غیر خطی با حضور گونه داشتند. و برای گونه *A. millefolium* متغیرهای کربن آلی خاک، درصد شیب و درصد نیتروژن خاک دارای رابطه خطی با احتمال حضور گونه می‌باشند و بقیه متغیرها رابطه غیر خطی با حضور گونه داشتند.

ارتفاع از سطح دریا

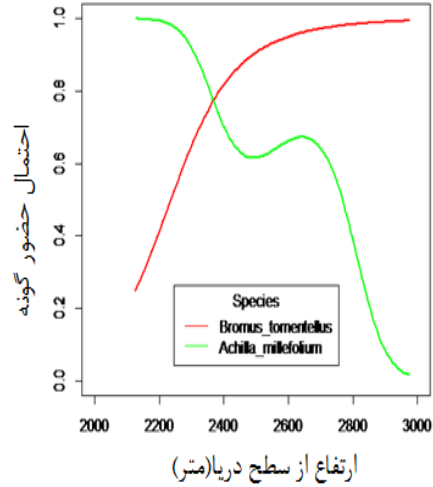
در شکل ۲ منحنی‌های هموارسازی برای مدل جمعی تعمیم یافته است که شامل متغیرهای تأثیر گذار بر حضور هر دو گونه ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، ارتفاع از سطح دریا دارای رابطه افزایشی و با درجه آزادی ۲ در ارتباط با حضور گونه *Br. tomentellus* است که در آن با افزایش ارتفاع بر حضور این گونه نیز افزوده می‌شود در حالی که در ارتباط با حضور گونه *A. millefolium* این متغیر دارای رابطه کاهشی و با درجه آزادی ۲ می‌باشد که با افزایش ارتفاع از حضور این گونه کاسته می‌شود (جدول ۱).

هدایت الکتریکی خاک

رابطه هدایت الکتریکی خاک با حضور گونه *Br. tomentellus* به صورت خطی و تقریباً به صورت افزایشی با درجه آزادی ۱ می‌باشد که در آن با افزایش هدایت الکتریکی خاک هر چند که بر حضور گونه افزوده می‌شود؛ ولی تأثیر معنی‌داری بر روی حضور گونه را نداشت در حالی که رابطه این متغیر با حضور گونه *A. millefolium* ابتدا به صورت افزایشی و سپس به صورت کاهنده می‌باشد و حالت تک‌نمایی متقارن را دارد که در آن با افزایش هدایت الکتریکی خاک بر حضور گونه تا مقدار ۰/۸ دسی‌زیمنس بر متر افزوده می‌شود و بعد از آن با افزایش هدایت الکتریکی خاک از احتمال گونه کاسته می‌شود (شکل ۳ و جدول ۱).



شکل ۳- برازش مدل GAM به متغیر هدایت الکتریکی خاک



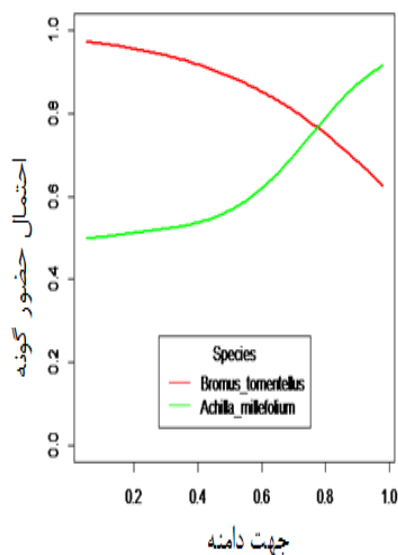
شکل ۲- برازش مدل GAM به متغیر ارتفاع از سطح دریا

جهت دامنه

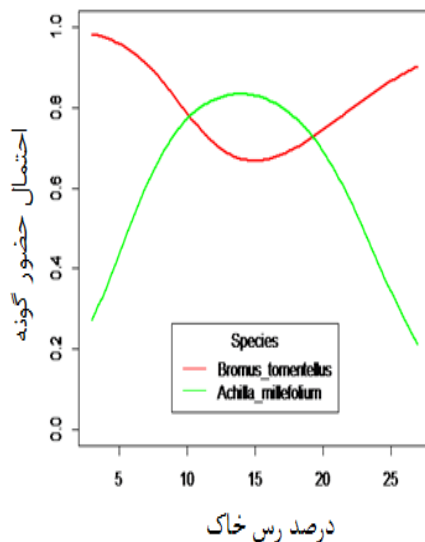
متغیر جهت دامنه در رابطه با حضور گونه *Br.tomentellus* دارای رابطه کاهنده می‌باشد یعنی هر چه به سمت مناطق گرم می‌رویم از احتمال حضور گونه کاسته می‌شود در حالی که ارتباط حضور گونه *A. millefolium* با جهت دامنه به صورت افزایشنده می‌باشد و در مناطق سرد و خنک احتمال حضور گونه کم و هر چه به مناطق گرمتر می‌رویم، بر حضور این گونه افزوده می‌شود. ارتباط حضور گونه *Br. tomentellus* با جهت دامنه به صورت خطی در حالی که ارتباط این متغیر با گونه *A. Millefolium* به صورت غیر خطی می‌باشد و این متغیر در ارتباط با حضور دو گونه تأثیر معنی‌داری دارد (شکل ۴).

رس خاک

متغیر رس خاک در ارتباط با حضور دو گونه تأثیر معنی‌داری دارد و رابطه غیر خطی با حضور دو گونه دارد. گونه *Br. tomentellus* نسبت به متغیر درصد رس خاک رفتار تک نمایی متقارن نشان می‌دهد (شکل ۵). گونه بومادران هزار برگ در مقدار رس کم حضور کمی دارد و سپس با افزایش درصد رس بر حضور گونه افزوده می‌شود؛ ولی زمانی که مقدار رس خاک خیلی افزایش می‌یابد و در مقدار رس ۱۵ درصد به حداکثر حضور خود رسیده است؛ در حالی که برای گونه *Br. tomentellus* در مقدار رس کم حضور گونه زیاد و با افزایش درصد رس از احتمال حضور گونه کاسته و در مقدار رس ۱۵ درصد به کمترین مقدار خود رسیده و دوباره با افزایش درصد رس بر حضور گونه افزوده می‌شود.



شکل ۵ - برازش مدل GAM به متغیر درصد رس خاک



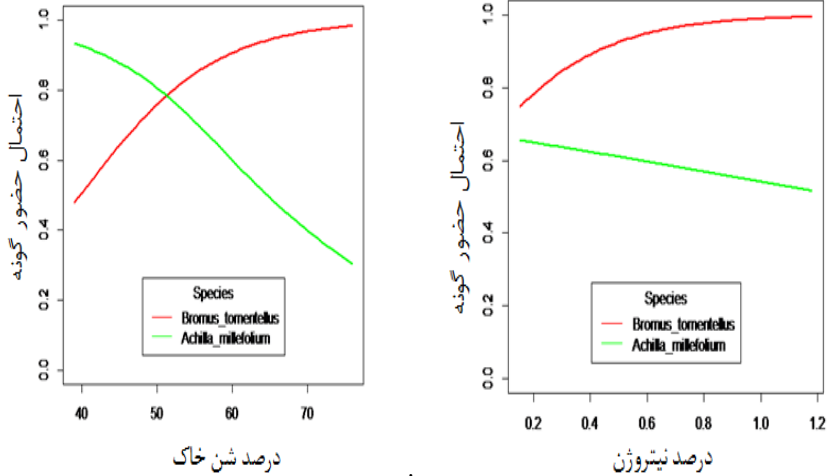
شکل ۴ - برازش مدل GAM به متغیر جهت دامنه

درصد نیتروژن

رابطه درصد نیتروژن خاک در رابطه با حضور گونه *Br. tomentellus* به صورت خطی و به صورت افزایشی با درجه آزادی ۱ می‌باشد (جدول ۱) که با افزایش درصد نیتروژن خاک بر احتمال حضور گونه افزوده می‌شود در حالی که رابطه این متغیر با حضور گونه *A. millefolium* به صورت کاهش می‌باشد و با درجه آزادی ۱ می‌باشد؛ ولی افزایش و کاهش این متغیر تأثیر معنی‌داری در ارتباط با حضور دو گونه مورد مطالعه ندارد (شکل ۶).

درصد شن

رابطه درصد شن خاک در رابطه با حضور گونه *Br. tomentellus* به صورت افزایشی و با درجه آزادی ۱ می‌باشد در حالی که رابطه درصد شن خاک با حضور گونه *A. millefolium* به صورت کاهش می‌باشد و دارای رابطه غیر خطی با حضور گونه می‌باشد و در ارتباط با حضور دو گونه تأثیر معنی‌داری دارد (شکل ۷).

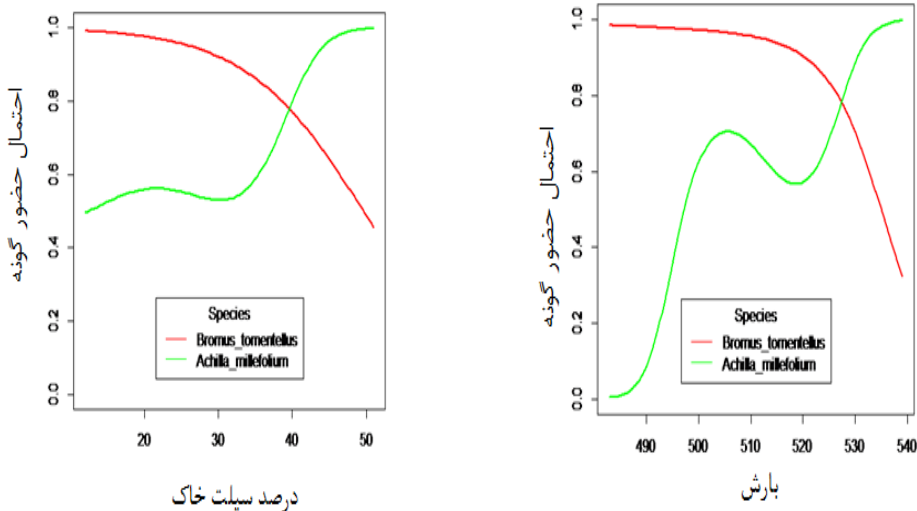


شکل ۶- برازش مدل GAM به متغیر درصد نیتروژن خاک برآزش مدل GAM به متغیر درصد نیتروژن خاک بارش

رابطه بارش با احتمال حضور گونه *Br.tomentellus* در ابتدا به صورت ثابت و سپس روند کاهشی را نشان می‌دهد در حالی که ارتباط گونه *A. millefolium* با متغیر بارش روند افزایشی را نشان داده و رابطه هر دو گونه با متغیر بارش به صورت غیر خطی می‌باشد (شکل ۸).

درصد سیلت خاک

متغیر درصد سیلت خاک در رابطه با حضور گونه *Br.tomentellus* دارای رابطه کاهنده و با درجه آزادی ۱ می‌باشد در حالی که برای گونه *A. millefolium* دارای رابطه افزایشی با درجه آزادی ۲/۱۹ می‌باشد و این متغیر در ارتباط با حضور دو گونه تأثیر معنی‌داری دارد (شکل ۹).



شکل ۹- برازش مدل GAM به متغیر درصد سیلت خاک

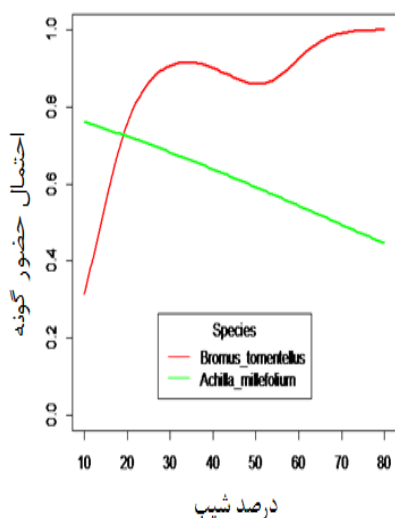
شکل ۸- برازش مدل GAM به متغیر بارش

PH خاک

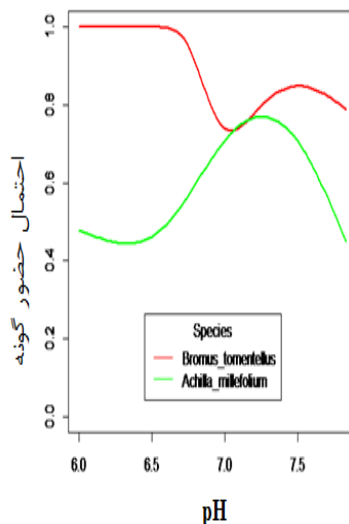
این متغیر تاثیر معنی داری بر حضور دو گونه مورد مطالعه نداشته و در ارتباط دو گونه رابطه غیر خطی را نشان می دهد و بیشترین حضور گونه *Br. tomentellus* زمانی است که خاک ما به صورت اسیدی می باشد و هرچه خاک ما قلیایی می شود، حضور این گونه کم شده ولی برای گونه *A. millefolium* عکس می باشد و هر چه خاک ما قلیایی می شود، بر احتمال گونه افزوده می شود (شکل ۱۰).

درصد شیب

رابطه درصد شیب با احتمال حضور گونه *Br. tomentellus* به صورت کاهنده و دارای رابطه غیر خطی با حضور گونه می باشد و رابطه درصد شیب با احتمال حضور گونه *A. millefolium* به صورت افزایشی و دارای رابطه خطی می باشد (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- برازش مدل GAM به متغیر pH



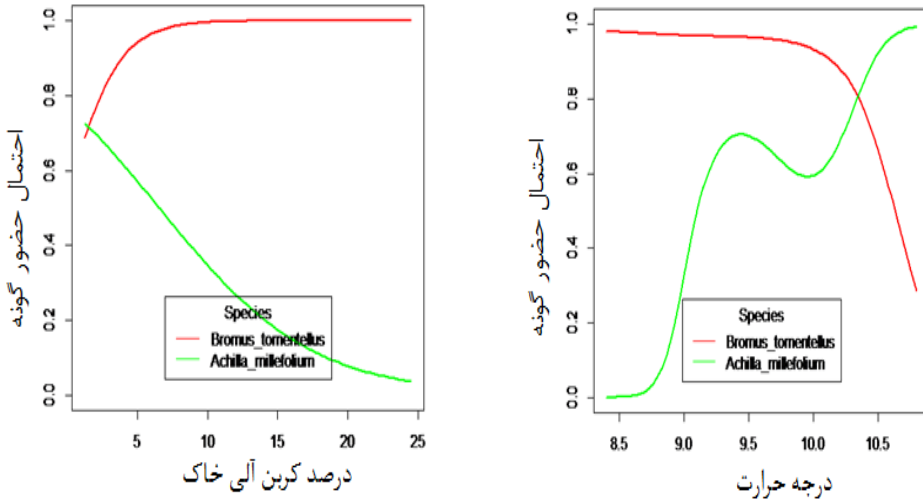
شکل ۱۰- برازش مدل GAM به متغیر درصد شیب

درجه حرارت

ارتباط متغیر درجه حرارت با حضور گونه *Br. tomentellus* ابتدا به صورت ثابت و سپس روند کاهشی را نشان می دهد؛ در حالی که با حضور گونه *A. millefolium* روند افزایشی را نشان داده است (شکل ۱۲).

کربن آلی خاک

متغیر کربن آلی خاک با حضور گونه *A. millefolium* دارای رابطه کاهنده می باشد و تاثیر معنی دار و رابطه خطی در ارتباط با حضور گونه مورد مطالعه دارد در حالی که تاثیر این متغیر بر احتمال حضور گونه *Br. tomentellus* دارای رابطه افزایشی است (شکل ۱۳).



شکل ۱۲ - برازش مدل GAM به متغیر درجه حرارت شکل ۱۳ - برازش مدل GAM به متغیر درصد کربن آلی خاک

بحث و نتیجه گیری

هدف از این مطالعه بررسی عکس‌العمل دو گونه *Br.tomentellus* و *A.millefolium* نسبت به متغیرهای محیطی با استفاده از مدل جمعی تعمیم یافته بوده است. حضور و توزیع جوامع گیاهی در اکوسیستم‌های مرتعی، تصادفی نیست، بلکه عوامل اقلیمی، خاکی، پستی و بلندی و انسانی در گسترش آن‌ها نقش مهمی ایفا می‌کنند (Leonard et al., 1984). در مطالعه حاضر تأثیر متغیرهای توپوگرافی، متغیرهای خاکی و اقلیمی بر حضور دو گونه *Br. tomentellus* و *A. millefolium* بررسی شده است که در آن تعدادی از این متغیرهای محیطی تأثیر معنی‌داری بر حضور دو گونه مورد مطالعه داشتند که این نتایج با بررسی‌های قلیچ نیا و همکاران (۱۳۸۷) و قنبری و همکاران (۱۳۹۱) هم خوانی دارد. با توجه به نتایج مطالعه حاضر در رابطه با حضور گونه مورد مطالعه *Br.tomentellus* از بین متغیرهای محیطی فقط دو متغیر هدایت الکتریکی خاک و pH بر حضور این گونه تأثیر معنی‌داری نداشتند و همان‌طور که اشاره شد با توجه به معیار اهمیت نسبی، ارتفاع از سطح دریا مهم‌ترین متغیر تأثیر گذار بر حضور گونه *Br. tomentellus* بوده و محققان بسیاری به تأثیر ارتفاع از سطح دریا بر حضور این گونه اشاره کرده‌اند (قلیچ نیا و همکاران: ۱۳۸۷). در مطالعه حاضر نیز با افزایش ارتفاع از سطح دریا، حضور گونه *Br. tomentellus* افزایش یافته است و این گونه معرف ارتفاع از سطح دریا می‌باشد، در حالی که با افزایش ارتفاع از سطح دریا گونه *A. millefolium* کاسته شد که این نتایج با نتایج اوصیا و همکاران (۱۳۹۱) و قنبری همکاران (۱۳۹۱) هم خوانی دارد (شکل ۲).

نتایج مطالعه کلاهی و همکاران (Kolahiet al., 2014) نشان داد که گونه *Br.tomentellus* در جهات جنوبی و جنوب غربی دارای کمترین حضور می‌باشد؛ در حالی که در جهات شمال و شمال شرقی حضور و

پراکنش بیشتری دارد؛ یعنی هر چه به مناطق گرمتر برویم از حضور گونه کاسته می‌شود؛ در حالی که اوسیا و همکاران (۱۳۹۱) بیان داشتند که گونه *A. millefolium* در جهات جنوبی و جنوب شرقی حضور بیشتری داشته که این نتایج با نتایج بررسی حاضر هم خوانی دارد (شکل ۴). نتایج مطالعه قلیچ نیا و همکاران (۱۳۸۷) نشان داد که گونه *Br. tomentellus* در خاک‌هایی که درصد شن بالایی دارد، حضور زیادی داشته است و هرچه درصد شن خاک افزوده شود، بر حضور این گونه افزوده می‌شود، در حالی که هر چه بر مقدار شن خاک افزوده می‌شود، از حضور گونه *A. millefolium* کاسته می‌شود که این نتایج با نتایج قنبری هم خوانی، ولی با نتایج اوسیا مطابقت ندارد. در ارتباط با درصد سیلت خاک با افزایش این متغیر از حضور گونه *Br. tomentellus* کاسته می‌شود در حالی که با افزایش این متغیر خاکی حضور گونه *A. millefolium* بیشتر و روند افزایشی را نشان می‌دهد و این متغیر تأثیر معنی‌داری را بر حضور دو گونه مورد مطالعه نشان می‌دهد که این نتایج با نتایج حاصل از مطالعات قلیچ نیا و همکاران (۱۳۸۷) و باقری (۱۳۹۲) در رابطه با گونه *Br. tomentellus* هم سو نمی‌باشد و این نتایج با نتایج اوسیا و همکاران (۱۳۹۱) در رابطه با گونه *A. millefolium* مطابقت دارد. در مورد واکنش این گونه‌ها به مقادیر درصد رس خاک رفتار هر دو گونه به صورت تک‌نمایی می‌باشد و در مقدار رس ۱۵ درصد حضور گونه *A. millefolium* به حداکثر مقدار خود رسیده در حالی که حضور گونه *Br. tomentellus* در این مقدار رس به کمترین حضور رسیده است در رابطه با متغیر درصد نیتروژن با حضور گونه *Br. tomentellus* روند افزایشی نشان داده است که این نتایج با نتایج کیا و همکاران (۱۳۹۰) هم خوانی دارد و برای گونه *A. millefolium* روند کاهنده را نشان می‌دهد و این متغیر تأثیر معنی‌داری بر حضور این گونه نداشت. در مورد واکنش این گونه‌ها به مقادیر pH، گونه *Br. tomentellus* در خاک‌های اسیدی حضور بیشتری دارد و هر چه بر قلیائیت خاک افزوده شود از حضور این گونه کاسته می‌شود که این نتایج هم سو با نتایج قلیچ نیا و همکاران (۱۳۸۷) می‌باشد. در حالی که این متغیر در رابطه با حضور گونه *A. millefolium* رابطه عکس داشته و هر چه خاک قلیایی‌تر شود، حضور گونه افزایش می‌یابد و این نتیجه نیز با نتایج قنبری و همکاران (۱۳۹۱) هم خوانی دارد. در رابطه با درجه حرارت نیز دو گونه عکس‌العمل متفاوتی را نشان داده‌اند؛ هر چه محیط گرمتر شود و درجه حرارت افزایش یابد، حضور گونه *Br. tomentellus* کاهش می‌یابد و این گونه در مناطق سرد حضور بیشتری دارد و هرچه درجه حرارت افزوده شود حضور گونه *A. millefolium* بیشتر می‌شود که نتایج ما همسو با نتایج اوسیا و همکاران (۱۳۹۱) می‌باشد. نتایج مطالعه کیا و همکاران (۱۳۹۰) نشان داد که حضور گونه *Br. tomentellus* با افزایش درصد کربن آلی خاک افزوده می‌شود که هم سو با نتایج این تحقیق می‌باشد؛ ولی در رابطه با حضور گونه بومادران هزاربرگ با افزایش این متغیر روند کاهنده را نشان داده است. در رابطه با هدایت الکتریکی خاک بر حضور هر دو گونه عکس‌العمل متفاوتی را نشان داده است و هر چه شوری خاک بیشتر شود؛ حضور گونه *Br. tomentellus* افزوده می‌شود در حالی که عکس‌العمل گونه بومادران هزاربرگ در ارتباط با این متغیر به صورت تک‌نمایی متقارن می‌باشد.

نتیجه گیری کلی اینکه در مطالعه حاضر از مدل جمعی تعمیم یافته برای بررسی عکس العمل دو گونه *Br. tomentellus* و *A. millefolium* نسبت به متغیرهای محیطی استفاده شد و نتایج قابل قبولی به دست آمد. نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان داد که هر دو گونه مورد مطالعه نسبت به متغیرهای محیطی مورد مطالعه عکس العمل متفاوتی را نشان دادند و بیشتر پاسخ هر دو گونه نسبت به این متغیرها به صورت روند کاهنده و افزایش بود. با افزایش رس، شن، نیتروژن، شیب، ارتفاع و درصد کربن آلی حضور گونه *Br. tomentellus* بیشتر شده و این نشان دهنده این است که این متغیرها اثر مثبت بر بقاء *Br. tomentellus* و اثر منفی بر بقاء *A. millefolium* دارند. از طرف دیگر افزایش متغیرهای سیلت، بارش، درجه حرارت و جهت دامنه افزایش حضور گونه *A. millefolium* را سبب شده و شانس بقاء آن را نسبت به *Br. tomentellus* بیشتر نموده است. تجزیه و تحلیل داده‌های پیچیده اکولوژیکی نیازمند روش‌های تحلیلی انعطاف پذیر و قوی است که بتواند روابط غیر خطی، اثرات متقابل و داده‌های از دست رفته را کنترل کند. مدل جمعی تعمیم یافته روش ساده برای بررسی عکس العمل گونه‌ها با توجه به متغیرهای محیطی می‌باشد که نتایج حاصله به راحتی قابل تفسیر است.

منابع

- احسانی، ع. ۱۳۹۲. کاربرد دانش فنولوژی گونه *Bromus tomentellus* برای مدیریت چرای دام، مرتع، ۷ (۲): ۱۰۰-۱۰۹.
- احمدی، ک، علوی، س.ج، طبری کوچکسرایبی، م. ۱۳۹۴. ارزیابی توان تولید رویشگاه راش شرقی (*Fagus orientalis* Lipsky) با استفاده از مدل جمعی تعمیم یافته (مطالعه موردی: جنگل آموزشی و پژوهشی دانشگاه تربیت مدرس). جنگل ایران، ۱۷(۱): ۱۷-۳۲.
- امیری، ف، خواجه‌الدین، س.ج، مختاری، ک. ۱۳۸۷. تعیین عوامل محیطی مؤثر بر استقرار گونه *Bromus tomentellus* با استفاده از روش رسته‌بندی، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۲(۴۴): ۳۴۷-۳۵۶.
- اوصیا، ن، خلیلی وسوی، آ، مازندرانی، م، بیات، ه، برهانی، گ. ۱۳۹۲. اوت اکوپزی. اکوفیتوشیمی گیاهان دارویی ۱۱(۱): ۵۶-۶۵.
- باقری، س، جعفری، م، طویلی، ع، عباسی، ح.ر، معینی، ا. ۱۳۹۲. بررسی تأثیر بافت خاک بر برخی ویژگی‌های خاک و تولید گونه *Bromus tomentellus* با تأکید بر رطوبت قابل دسترس خاک (مطالعه موردی: مرتع حسنجون طالقان)، مرتع، ۷(۲): ۱۳۴-۱۴۳.
- شریفی، م. ع، دیان‌تی تیلکی، ق.ع، علوی، س.ج. ۱۳۹۳. بررسی عکس‌العمل گونه *Festuca ovina* L. به‌برخی متغیرهای محیطی با استفاده از تابع HOF در مراتع حوزه آبخیز گلندرود، مرتع، ۸(۴): ۳۲۸-۳۴۱.
- صالحی، م، وزیری نسب، ح، خوشگام، م، رفعتی، ن. ۱۳۹۱. به کارگیری مدل جمعی تعمیم یافته در تعیین نوع ارتباط عوامل خطر رتینوپاتی در بیماران دیابتی شهر تهران، علوم پزشکی رازی، ۱۹(۹۷): ۱-۹.
- قلیچ نیا، ح. ۱۳۸۵. گزارش تحقیقات ارزیابی مراتع در اقلیم‌های مختلف، مازندران، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، ۱۱۰ صفحه.
- قلیچ نیا، ح، شاهمادی، ا.ع، زارع کیا، ص. ۱۳۸۷. آت اکولوژی دو گونه مرتعی *Agropyron pectiniforme* و

- Bromus tomentellus* در استان مازندران، تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۵(۳): ۳۴۸-۳۵۹.
- قنبری، م.، سوری، م.ک.، امید بیگی، ر.، هداوندی میرزایی، ح. ۱۳۹۲. بررسی برخی خصوصیات بوم شناختی، ریختی و میزان اسانس بومادران هزاربرگ *Achillea millefolium*L در منطقه آذربایجان شرقی. -تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۳۰(۵): ۶۹۲-۷۰۱.
- کیا، ف.، طویلی، ع.، جوادی، س.ا. ۱۳۹۰. بررسی رابطه پراکنش چند گونه مرتعی با برخی عوامل محیطی در منطقه چهارباغ استان گلستان، مرتع، ۵(۳): ۲۹۲-۳۰۱.
- Akaike, H. 1974. A new look at the statistical model identification, Automatic Control, IEEE Transactions on, 19(6): 716-723.
- Austin, M.P., Gaywood, M.J. 1994. Current problems of environmental gradients and species response curves in relation to continuum theory Vegetation Science, 5(4): 473-482.
- Begon, M., Harper, J.L., Townsend, C.R. 1996. Ecology: Individuals, Populations and Communities, third ed. Wiley-Blackwell; 4 edition, 752 p.
- Cox, C.B., Ian, N.H., Peter, D.M. 1973. Biogeography: An ecological and Publisher, Alterra, 2007. 20 pages evolutionary approach. Blackwell Scientific Publication, 179p
- Farajpour, M., Ebrahimi, M., Amiri, R., Golzari, R., Sanjari, S. 2012. Assessment of genetic diversity in *Achillea millefolium* accessions from Iran using ISSR marker. Biochemical Systematics and Ecology, 43: 73-79.
- Fernández, B., Herrera, J.J., Kleinn, C.C. 2004. Site Productivity Estimation Using Height-Diameter Relationships in Costa Rican Secondary Forests, Sistemasyrecursosforestales, 13(2): 295-303.
- Ferrier, S., Watson, G. 1997. An evaluation of the effectiveness of environmental surrogates and modeling techniques in predicting the distribution of biological diversity, Environment Australia, NSW National Parks and Wildlife Service.
- Gauch, H.G., Whittaker, R.H. 1972. Coenocline simulation. Ecology, 53(3): 446-451.
- Guisan, A., Edwards, T.C., Hastie, T.J. 2002. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. Ecological modeling, 157(2): 89-100.
- Hastie, T., Tibshirani, R. 1990. Generalized Additive Model, Chapman and Hall/ CRC press, 43rd Edition, 352p.
- Hemmati, A.A., Arzi, A., dinehy, A., Mostofi, A., Mozaffari, A. R., Jalali, A. 2011. Yarrow (*Achillea millefolium*L.) extract impairs the fibrogenic effect of bleomycin in rat lung. Medicinal Plants Research, 5(10): 1843-1849.
- Kabacoff, R. 2011. R in Action. Manning Publications Co., 447 pp.
- Kolahi, M., Atr, m. 2014. The Effect of Ecological Factors on Vegetation in Hamedan Alvand Region (Iran), International, Farming and Allied Sciences, 3 (5): 489-496.
- Leonard, S.G., Miles, R.L., Burkhardt, J.W. 1984. Comparison of soil properties associated with basin wildrye and black greasewood in the Great Basin region.
- Logan, M. 2011. Bio statistical design and analysis using R: a practical guide. John Wiley & Sons, 541pp.
- Moisen, G. G., Frescino, T. S. 2002. Comparing five modelling techniques for

predicting forest characteristics, *Ecological modelling*, 157(2): 209-225.

Pearson, R.G., Dawson, T.P. 2003. Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful?, *Global Ecology and Biogeography*, 12(5): 361-371.

R Core Team. 2013. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://WWW.R-project.org>.

Wagenmakers, E. J., Farrell, S. 2004. AIC model selection using Akaike weights. *psychonomicbulletin and review*, 11(1):192-196.

Yee, T.W., Mitchell, N.D. 1991. Generalized additive models in plant ecology. *Vegetation Science*, 2(5): 587-602.