DOI: 10.29252/ARIDBIOM.2023.18233.1885

ارزیابی پاسخ گونه *Salsola arbusculiformis* Drob در دشت شوقان خراسان شمالی نسبت به متغیرهای محیطی با استفاده از مدل جمعی تعمیم‌یافته

(مقالۀ پژوهشی)

۱- سیدجواد میری‌سلیمان*، دکتری محقق بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان شمالی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
j.mirisoliman@gmail.com
۲- حمیدرضا میرداوودی، استادیار پژوهشی بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۰۶
پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۳

چکیده

یکی از زمینه‌های مطرح در بوم‌شناسی پوشش گیاهی، درک روابط گونه‌های گیاهی و عوامل محیطی و تحلیل واکنش گونه‌ها در امتداد شیب عوامل محیطی است. با توجه به اهمیت گیاه *Salsola arbusculiformis* Drob در حفاظت خاک و تولید علوفه در منطقه شوقان استان خراسان شمالی، در این تحقیق به بررسی عکس‌العمل این گونه نسبت به متغیرهای محیطی با استفاده از مدل جمعی تعمیم‌یافته پرداخته شد. بدین منظور برای اندازه‌گیری مؤلفه‌های گیاهی و عوامل محیطی از روش تصادفی-سیستماتیک استفاده شد. برای بررسی ارتباط پوشش گیاهی با عوامل محیطی از روش آنالیز تطبیقی‌متعارفی استفاده شد. نتایج حاصل از آنالیز تطبیقی متعارفی نشان داد که عوامل محیطی مثل درصد شن، یون‌های سولفات و بیکربنات خاک، بارندگی سالانه و ارتفاع از سطح دریا، به‌ترتیب با بیان ۵/۸ ، ۱۱/۴، ۵/۷، ۹/۱ و ۷ درصد از واریانس موجود در ترکیب گیاهی، نقش مهمی در تغییرات پوشش گیاهی در رویشگاه مورد مطالعه داشتند. مطالعه عکس‌العمل این گونه به عوامل محیطی نشان داد که از ۲۵ متغیر محیطی مورد مطالعه، ۱۴ متغیر تأثیر معنی‌داری ($p < ۰/۰۱$) بر عملکرد گیاه داشتند. الگوی پاسخ گونه مورد مطالعه در امتداد شیب عواملی مثل اسیدیته، درصد شن و رس خاک، ارتفاع از سطح دریا و درصد شیب زمین به صورت تک‌نمایی بود، و حد بهینه رشد آن برای هر یک از این عوامل به ترتیب ۸/۴، ۶۶٪، ۲۸٪، ۱۴۵۲ متر و ۵٪ بود. پاسخ این گونه به میزان سولفات و درصد آهک خاک از مدل کاهشی پیروی کرد. بدین ترتیب که با افزایش مقادیر این عوامل، عملکرد آن کاهش نشان داد. الگوی پاسخ گونۀ مورد نظر در امتداد شیب عواملی مثل کلر، سدیم، کربن آلی، ازت، شوری خاک و متوسط درجه حرارت سالانه حالت دو مد داشت. این مدل، نشان‌دهندۀ وجود یک محدودیت رقابتی در طول شیب محیطی است. نتایج نشان داد که این گونه در شیب‌های شمالی دارای بیشترین مقدار عملکرد است. مطالعه عکس‌العمل گونۀ مورد نظر در امتداد شیب عوامل توپوگرافی و خاک، اطلاعات ارزشمندی برای تعیین نیازهای اکولوژیکی این گونه ارائه داد که می‌تواند در عملیات اصلاح مراتع در مناطق مشابه، مورد توجه قرار گیرد.

واژگان کلیدی: رسته‌بندی، سالسولا، عوامل اکولوژیک، مدل‌جمعی تعمیم‌یافته، منحنی‌پاسخ.

مقدّمه

همۀ گونه‌های گیاهی در محیط زیست خود، تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار دارند و هیچ گونه‌ای بدون وابستگی به محیط اطراف خود به صورت مجزا زندگی نمی‌کند. واکنش گونه‌ها در زمان و مکان ممکن است ناشی از محدودیت‌های فیزیولوژیکی و اکولوژیکی باشد [۹].

در واقع، دلیل این پاسخ هرچه که باشد به مدل‌های ریاضی نیاز است تا بتوان الگوهای و مشاهده شده را توصیف نمود [۲۱]. بیش از ۱۰۰ سال است که بوم‌شناسان برای یافتن عوامل محیطی کنترل‌کنندۀ پراکنش و تنوع گونه‌ها تلاش می‌کنند [۱۰].

نکتهٔ قابل تأمل این است که یک گونهٔ گیاهی در یک محدودهٔ مشخص از هر گرادیان و تحت شرایط اکولوژیکی مشخص رشد، سازگاری، بقا و در آخر، جمعیت بزرگی را تشکیل می‌دهد و به حداکثر فراوانی و وفور می‌رسد [۱۱]. از این رو، حضور یک گونهٔ گیاهی در یک رویشگاه و عملکرد خوب آن از لحاظ رشد، تکثیر و سازگاری، بقا، الزاماً به معنی تأمین نیازهای آن از لحاظ عوامل محیطی است [۳۶].

در دهه‌های اخیر تلاش‌های زیادی برای پیوند عملکرد گونه‌ها به متغیرهای محیطی توسط بوم‌شناسان صورت گرفته است. دانشمندان در حال توسعهٔ مدل‌های آماری و ریاضی برای پی‌بردن و پیش‌بینی پراکنش جغرافیایی گونه‌ها بر مبنای حضور گونه در مقیاس مکانی متفاوت با داده‌های بیوکلیماتیک هستند [۳۳]. شکل پاسخ گونه‌ها در امتداد شیب‌های زیست محیطی، دارای پیامدهای مهمی برای هر دو نظریه پیوستگی و تجزیه و تحلیل جامعه است [۸]. آگاهی از نیازهای بوم‌شناختی گونه‌های مختلف گیاهی و آستانه‌های محیطی مورد نیاز برای هر گونه با استفاده از روش‌های رسته‌بندی می‌تواند با تفسیر روابط بین پوشش گیاهی و عوامل محیطی، مدیریت صحیح مراتع را امکان‌پذیر نماید [۲۶].

منحنی پاسخ گونه که به صورت منحنی عملکرد گونه در ارتباط با عامل محیطی تعریف می‌شود، ممکن است ثابت، به طور موزون یا هم نوای افزایشی، کاهشی[1]، تک‌نمایی[2] و نهایتاً دونمایی[3] باشد [۱۵]. با توجه به این که عوامل محیطی بیشترین اثر را در پیدایش گونه‌های گیاهی و ثبات گونه‌ها دارند، می‌توان با استفاده از مدل‌های پیش‌بینی توزیع گونه‌ای و شناسایی عوامل تأثیرگذار، پاسخ گونه‌های گیاهی را در مقابل متغیرهای محیطی بررسی نمود [۲۲].

متداول‌ترین رویکردی که در بررسی منحنی پاسخ گونه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، مدل‌های خطی تعمیم‌یافته است. هرچند این مدل‌ها، زمانی که به صورت مناسب مورد استفاده قرار گیرد، نتایج ارزشمندی دارد، اما برای بسیاری از وضعیت‌های جهان واقعی، بسیار ساده‌انگارانه است [۱۹، ۳۸]. برای رفع این مسأله، مدل‌های جمعی تعمیم‌یافته توسعه پیدا کرده است [۳۸]. این روش به دلیل توانایی شناسایی الگوهای متغیر برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و بررسی رابطه ی بین متغیرهای مستقل و پاسخ بسیار مناسب هستند [۳۷].

به طورکلی، در اکولوژی پوشش گیاهی، این دیدگاه مطرح می‌باشد که عکس‌العمل گونه در امتداد گرادیان محیطی، متقارن و تک‌نمایی است [۳۰]، اما نتایج بسیاری از مطالعات حکایت از آن دارد که هرچند منحنی‌های عکس‌العمل تک‌نمایی متقارن در طبیعت مشاهده می‌شود، ولی عمومیت ندارند و ممکن است منحنی‌هایی با شکل‌های دیگر همانند دونمایی، چوله‌دار و غیره نیز وجود داشته باشد [۲۵]. به طور کلی به دلیل انعطاف‌پذیری در تعیین نوع و درجه ارتباط بین متغیر پاسخ و متغیر پیشگو مدل GAM نسبت به مدل GLM دارای عملکرد بهتری در مدل‌سازی پراکنش گونه های گیاهی می‌باشد [۲۲].

با توجه به تخریب پوشش گیاهی بخصوص در اکوسیستم‌های حساس و شکنندهٔ مناطق خشک، تدوین و اجرای طرح‌های مدیریت مرتع با شیوه‌های علمی بسیار کارآمد و ضروری است. افزایش سطح تولید و ممانعت از تخریب رویشگاه‌های طبیعی در گرو داشتن اطلاعات پایه و مقدماتی از منابع و ذخایر ژنتیک گیاهی آن می‌باشد. با آگاهی و شناخت علمی پیرامون ویژگی‌های اکولوژیک بومی هر منطقه، نه تنها از عوامل تخریب و سیر قهقرایی آن جلوگیری می‌شود، بلکه با اتخاذ تصمیم معقول گامی مؤثر در احیا و توسعه آن برداشته می‌شود [۶].

یکی از مهم‌ترین گیاهان مناطق خشک و بیابانی، گیاهان جنس سالسولا از خانواده اسفناجیان (*Chenopodiaceae*) است. گیاهان این جنس، علاوه بر خشبی‌بودن، جزء گیاهان علوفه‌ای بوده و قدرت تولید بذر و علوفهٔ بالایی دارند. این جنس با داشتن بیش از ۱۰۰ گونه، بزرگ‌ترین جنس در زیر خانواده *Salsolaideae* می‌باشند که به خاطر تنوع گونه‌ای، نداشتن ویژگی‌های قابل تشخیص ساده، زیستگاه‌های خیلی متغیر، اختلافات مورفولوژیکی گیاهان جوان با گیاهان بالغ (بخاطر تفاوت در الگوهای انشعاب، برگ‌ها و پوشش کرکی)، شناسایی گونه‌های مختلف آن بسیار مشکل است [۷].

[1] Monotonically increasing or decreasing
[2] Unimodeal
[3] Bimodal

سالسولا به خاطر ویژگی‌هایی مانند مقاومت به خشکی، شوری، آفات و بیماری‌ها، چرا، سیستم ریشه‌ای عمیق، تولید، کارآیی بالا در استفاده آب و شکل‌های زیستی مختلف به عنوان یک گیاه مهمّ علوفه‌ای در زمین‌های خشک و شور در نظر گرفته می شود.

گونهٔ مورد مطالعه، توسط Drop در سال ۱۹۱۶ شناسایی و نام‌گذاری گردید و مربوط به راستهٔ *Caryophyllales* است که با ویژگی‌هایی مانند، یکساله یا چندساله‌بودن، بدون کرک به جزء در دستجات محوری، پایهٔ برگ کوهانی‌شکل، سخت و دائمی، براکته‌ها و براکتئول‌ها بدون خار، زائدهٔ بساک سه گوش و متصل به کیسه گرده و کلالهٔ پهن مشخص می‌شوند.

در خصوص استفاده از مدل جمعی تعمیم‌یافته[1] در بررسی منحنی پاسخ، مطالعات متعددی صورت گرفته است. احمدی و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهشی توان تولید رویشگاه راش نسبت به متغیرهای محیطی را مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که به‌کارگیری مدل جمعی تعمیم‌یافته برای هر یک از متغیرهای محیطی به‌صورت انفرادی، جهت بیان عکس‌العمل گونه‌ها نسبت به این متغیرها، گزینه بهتری خواهد بود [۲].

میرداودی (۱۳۹۲) با استفاده از مدل جمعی تعمیم‌یافته، پاسخ گونه‌های گیاهی شاخص به عوامل محیطی را در بلوط‌های غرب ایران (در کلاس‌های مختلف آشفتگی) مطالعه نمود. عکس‌العمل این گونه‌ها در امتداد شیب تغییرات محیطی و چرای دام بررسی و مشخص شد که عکس‌العمل گونه‌های مهاجم، به‌شدت چرای دام و عوامل متأثّر از آن، مانند وزن مخصوص خاک، یک پاسخ افزایشی است [۲۹].

فرجی (۱۳۹۳) با استفاده از مدل جمعی تعمیم‌یافته، پاسخ گونه‌های گیاهی شاخص به عوامل محیطی را در رویشگاه‌های درمنه دشتی در استان مرکزی بررسی و رشد بهینه این گونه را در ارتباط با عوامل اکولوژی مورد مطالعه، مشخص نمود [۱۴].

حیدری و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از مدل جمعی تعمیم‌یافته، پاسخ گونه‌های گیاهی *Bromus tomentellus* و *Achillea millefolium* را به گرادیان‌های محیطی، مورد بررسی قرار داده و بیان کردند که این دو گونه نسبت به متغیر ارتفاع از سطح دریا، عکس‌العمل متفاوتی را نشان دادند. مقدار شن در خاک، پارامتری است که تأثیر مثبت در توزیع گونهٔ *B. tomentellus* داشته در حالی‌که این متغیر، تأثیر منفی بر حضور گونهٔ *A. millefolium* داشته است [۲۰].

علوی و همکاران (۱۳۹۶) منحنی عکس‌العمل گونهٔ راش نسبت به متغیرهای محیطی را با استفاده از مدل جمعی تعمیم‌یافته در جنگل خیرود نوشهر مطالعه نمودند. نتایج نشان داد که چنانچه هدف از مطالعه، علاوه بر شکل منحنی پاسخ، برآورد خصوصیاتی مثل مقدار بهینه و دامنه اکولوژیک متغیر محیطی برای یک گونه نیز مدنظر باشد، به‌کارگیری مدل جمعی تعمیم‌یافته برای هر یک از متغیرهای محیطی به‌صورت انفرادی، برای بیان عکس‌العمل گونه‌ها نسبت به این متغیرها، گزینه بهتری خواهد بود [۴].

شهسوارزاده و همکارن (۱۳۹۶) با استفاده از مدل ژنتیک الگوریتم، دو مؤلفهٔ میزان سیلت و ارتفاع را به عنوان مهم‌ترین متغییرهای تأثیرگذار بر پراکنش گونه کما (*Ferula ovina*) تعیین نمودند [۳۳].

دشتی و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعه‌ای، پاسخ گونه اسپرس کپه داغی را نسبت به گرادیان‌های محیطی با استفاده از مدل جمعی تعمیم‌یافته بررسی کردند. نتایج نشان داد که پاسخ گونه نسبت به شیب، درصد لاشبرگ و آهک خاک از مدل افزایشی، برعکس درصد سنگ و سنگریزه از مدل کاهشی پیروی نموده است. پاسخ گونه نسبت به درصدشن، درصد عصاره اشباع و اسیدیته خاک از مدل زنگوله‌ای و نسبت به درصد سیلت و کربن آلی از مدل دونمایی پیروی کرده است. در کل نتایج حاکی از این است که مدل جمعی تعمیم‌یافته می‌تواند در بیان آشیان اکولوژیکی یک گونه خاص مناسب باشد [۱۲].

در خصوص مطالعات صورت گرفته در خارج از کشور، گوسان و همکاران (۲۰۰۲) عنوان داشتند که مدل جمعی تعمیم‌یافته روش بسیار مناسبی را برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و بررسی رابطهٔ بین متغیرهای مستقل و پاسخ ارائه می‌دهد. این مدل توانایی بالایی در تجزیه و تحلیل

[1] Generalized Additive Model

داده‌های اکولوژیکی و مشخص‌کردن رابطهٔ غیرخطی بین متغیرهای مختلف دارد. در این مدل برخلاف مدل رگرسیون خطی (که در آن رابطه‌ای ارائه می‌گردد و رابطهٔ بین متغیرهای تبیینی و پاسخ به وسیله پارامتر برآورد شده رگرسیون سنجش می‌شود) اجازه داده می‌شود، داده‌ها شکل منحنی پاسخ را تعیین کنند [۱۸].

مطالعهٔ پاسخ گونه‌های گیاهی (حضور، تجدید حیات) و پراکندگی گونه‌های گیاهی در شیب تغییرات عوامل اکولوژیک، به درک بهتر آشیان اکولوژیک گونه‌ها کمک می‌کند [۲۸]. کمّی‌سازی روابط بین گونه و محیط، هستهٔ اصلی برای مدل‌سازی جهت پیش‌بینی پراکنش جغرافیایی گونه‌ها در اکولوژی است که می‌تواند پایه‌ای برای بیان فرضیه‌های مختلف در ارتباط با کنترل عوامل محیطی در پراکنش گونه‌ها باشد. در ابتدا از این مدل‌ها، به‌عنوان ابزاری در مطالعات آت اکولوژی استفاده شده است، ولی امروزه در بسیاری از موارد نظیر ارزیابی اثرات استفاده از زمین، فرضیه‌های مختلف در جغرافیای زیستی، تهیه نقشه‌ها و همچنین مباحث حفاظتی، نیز مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۱۷].

تراوره و همکاران (۲۰۱۲) استفاده از مدل جمعی تعمیم‌یافته (GAM) را به دلایل زیر برای مطالعه پاسخ گونه‌های گیاهی به عوامل محیطی مناسب دانستند: ۱) اثر هر متغیر به‌صورت جداگانه بیان شده و هر تابع می‌تواند برای آزمون نقش متغیرها در پیشگویی پاسخ، به‌صورت جداگانه رسم شود؛ ۲) در مدل جمعی تعمیم‌یافته، منحنی پاسخ توسط اشکال موجود در کلاس پارامتری محدود نمی‌شود، بلکه مدل اجازه می‌دهد داده‌ها، شکل منحنی پاسخ را تعیین کنند؛ ۳) در این مدل، به‌جای پیش فرض‌های پارامتری غیرقابل انعطاف، رابطهٔ بین متغیر پاسخ و مستقل، توسط تابع هموارساز که عملاً می‌تواند برای هر شکلی از داده‌ها به‌کار رود، بیان شود [۳۵].

شناخت ویژگی‌های اکولوژیک گونه‌های گیاهی و چگونگی عکس‌العمل آنها به عوامل محیطی، ضمن تعیین پتانسیل گونه‌های مورد نظر در شرایط مختلف اکولوژیکی، اطلاعات ارزشمندی برای تعیین نیازهای اکولوژیکی گونه‌های گیاهی، ارائه دانش پایه برای معرفی گونه‌های مناسب اصلاح مراتع، تولید علوفه، مدیریت پوشش گیاهی و همچنین مدیریت بهره‌برداری از مراتع را در مناطق مشابه، ارائه می‌دهد.

امروزه استفاده از مدل‌های پیش‌بینی پراکنش گونه‌های گیاهی، نقش برجسته‌ای در نظارت، ارزیابی، احیا، حفاظت و توسعهٔ اکوسیستم‌های مرتعی ایفا می‌کنند. مدل‌ها ابزارهای بالقوه جهت کسب اطلاعات دربارهٔ علل پراکنش گونه‌ها و تناسب رویشگاه برای گونه‌های گیاهی محسوب می‌شوند [۱۸]. مدل‌سازی پیش‌بینی پراکنش گونه‌های گیاهی بر اساس ارتباط بین داده‌های حضور یک گونه و متغیرهای محیطی، تعریف می‌شود. در این مدل‌ها، احتمال رخداد گونه‌های گیاهی از پراکنش مکانی متغیرهای محیطی قابل پیش‌بینی است.

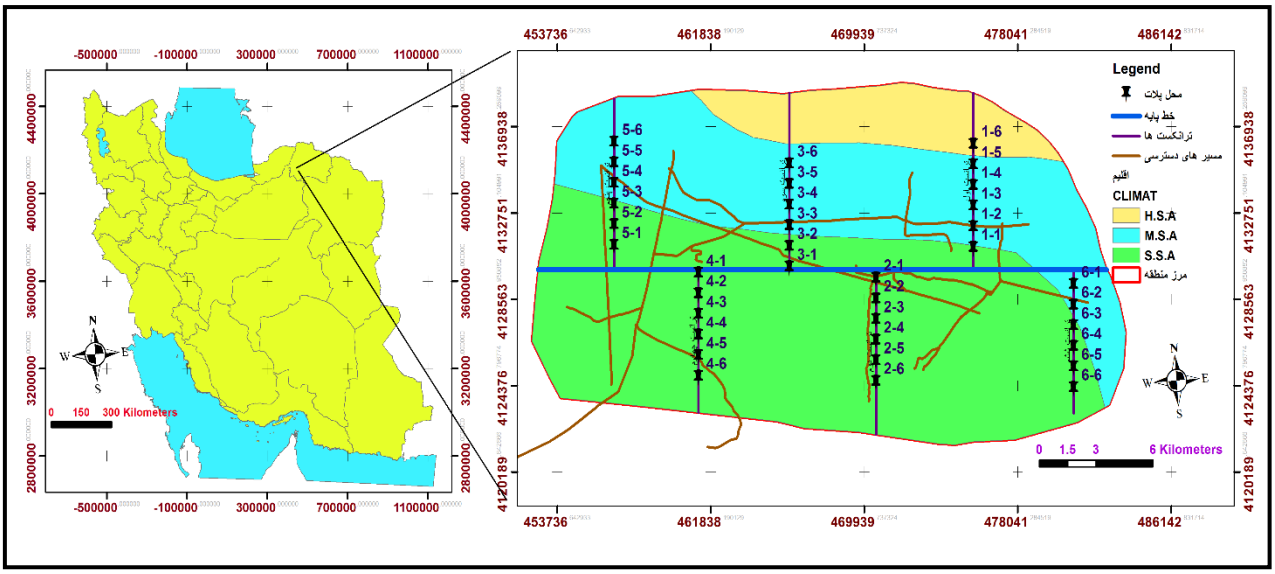
در این پژوهش، تلاش شده است تا با استفاده از آنالیزهای چندمتغیره، ضمن تعیین عوامل اکولوژیک مؤثر بر پراکنش گونهٔ سالسولا، به بررسی پاسخ این گونهٔ گیاهی به تغییرات عوامل محیطی و تعیین پتانسیل مورد نظر در شرایط مختلف اکولوژیکی پرداخته شود.

مواد و روش‌ها

الف) منطقه مورد مطالعه

محدودهٔ مورد مطالعه به‌نحوی انتخاب شد که دامنهٔ وسیعی از پراکنش و حضور گونه مورد پژوهش را در بر داشته باشد. بدین ترتیب که گونه مورد نظر در محدودهٔ مورد مطالعه، در امتداد شیب تغییرات محیطی، از حد پائین تحمل تا حد بالای تحمل مشاهده گردد. منطقه مورد مطالعه در واقع بخشی از جلگه شوقان و سنخواست در استان خراسان‌شمالی و در عرصه‌ای به وسعت ۴۶۰ کیلومتر مربع انتخاب گردید.

برخی از خصوصیات و مشخصات مهم پراکنش گونه سالسولا در منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه در برداشت‌های میدانی را روی نقشه اقلیمی استان نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه با توجه به شرایط اقلیمی در استان خراسان شمالی

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه

عنوان	ویژگی
نام گونه مورد مطالعه	*Salsola arbusculiformis* Drob
وضعیت و سطح پراکنش در استان (دامنه پراکنش)	جنوب‌شرقی و غرب استان (شهرستان‌های گرمه و جاجرم)
مختصات طول جغرافیایی	از ۴۱۲۳۱۷۴ تا ۴۱۳۹۰۵۱
مختصات عرض جغرافیایی	از ۴۵۳۵۳۰ تا ۴۸۲۹۵۳
ناحیه رویشی	ایرانی و تورانی
اقلیم رویشی	نیمه‌استپی
متوسط بارندگی سالانه (میلیمتر) در بازه آماری	۲۴۷/۵ میلیمتر (ایستگاه جاجرم)
متوسط دما سالانه (سانتی‌گراد) در بازه آماری	۱۶/۵ درجه سانتی‌گراد (ایستگاه جاجرم)
تعداد روزهای خشک	۲۵۶ روز
مساحت منطقه مورد مطالعه (کیلومتر مربع)	۴۶۰ کیلومتر مربع
تیپ گیاهی عرصه مورد مطالعه	*Salsola- Acantholimon*
کاربری اراضی	مرتع فقیر
حداقل ارتفاع از سطح دریا	۱۰۹۰ متر
حداکثر ارتفاع از سطح دریا	۱۷۰۰ متر
مهم‌ترین تغییرات شیب محیطی	عمده شیب تا ۶ درجه؛ شمالی و شمال‌غربی

ب- طرح نمونه‌گیری و اندازه پلات

برای اندازه‌گیری مؤلفه‌های مختلف گیاهی و اکولوژیکی از روش تصادفی-سیستماتیک (ارزانی و عابدی، ۱۳۹۴) استفاده شد [۶]. با توجه به این که شیب تغییرات محیطی در دو جهت بود، استقرار ترانسکت‌ها به نحوی انجام گردید که بتوان وفور گونه مورد نظر را در امتداد تغییرات عوامل محیطی (جهت جغرافیایی و ارتفاع) و در طول محدوده مورد مطالعه بررسی کرد. در مجموع ۶ ترانسکت و ۳۶ پلات در نظر گرفته شد. محل انتخاب اولین پلات بر روی هر ترانسکت از خط پایه نیز به‌طور تصادفی انتخاب شد [۶].

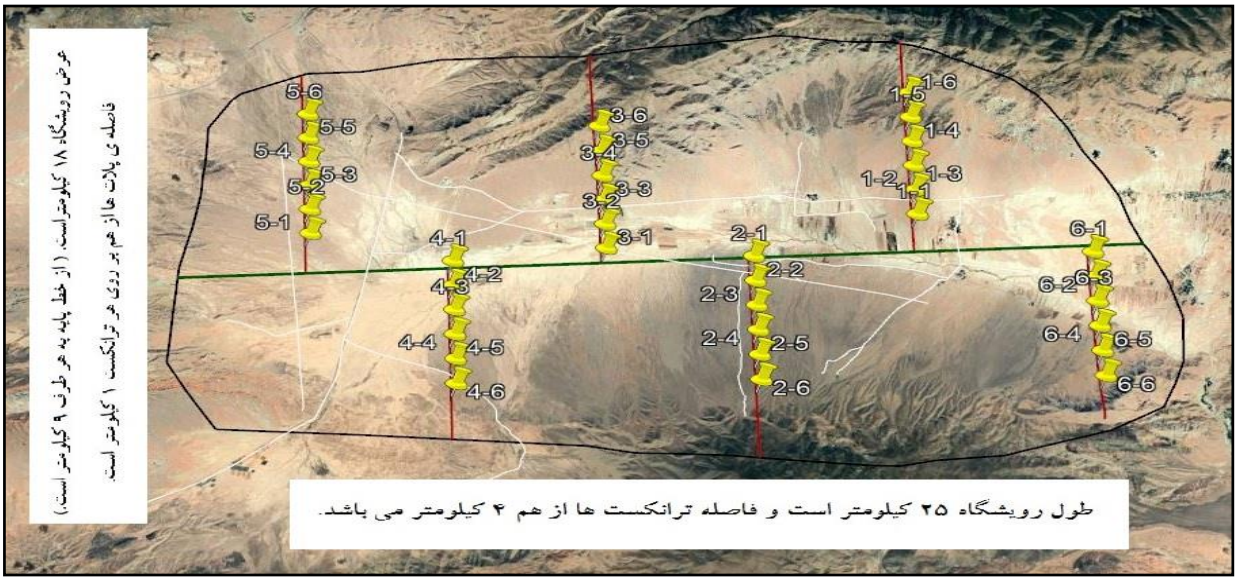
برای تعیین اندازهٔ سطح پلات از روش منحنی سطح-گونه استفاده گردید. اندازه پلات در رویشگاه مورد مطالعه، ۱۰۰ مترمربع بدست آمد. شکل ۲ چگونگی استقرار شبکه نمونه‌برداری متناسب با شیب تغییرات محیطی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

ج-آماربرداری از پوشش گیاهی و عوامل محیطی در محل پراکنش گونه مورد مطالعه

پس از استقرار شبکه نمونه‌برداری در هر یک از واحدهای اکولوژیکی؛ فراوانی، تعداد پایه‌ها و درصد پوشش تاجی هر یک از گونه‌های واقع در داخل پلات‌ها و رشد سال جاری گونه مورد پژوهش اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری همهٔ متغییرها در مرحلهٔ گلدهی صورت گرفت. فراوانی از طریق حضور و غیاب گونه، تعداد پایه‌ها از طریق شمارش و درصد پوشش تاجی، خاک لخت، سنگ و سنگریزه و لاشبرک آنها از طریق برآورد نظری پس از شبکه‌بندی هر یک از پلات ها جهت مشخص‌شدن ۱ درصد با توجه به سطح پلات، تخمین زده شد. مقدار رشد سال جاری گونه مورد پژوهش نیز از طریق قطع و توزین اندازه‌گیری گردید.

به‌منظور بررسی اثر عوامل محیطی بر پراکنش گونه مورد پژوهش، از هر یک از پلات‌ها (مرکز پلات)، یک نمونه خاک تا عمق ریشه‌دوانی (در مجموع ۳۶ نمونه خاک) برداشت گردید و پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آنها شامل بافت خاک (روش هیدرومتر)، اسیدیته (گل اشباع و با استفاده از pH متر)، شوری خاک (گل اشباع و با استفاده از EC متر)، درصد آهک (با استفاده از روش تیتراسیون)، فسفر قابل‌جذب (با استفاده از روش السون)، پتاسیم قابل‌جذب (با استفاده از روش استات آمونیوم)، کربن آلی (با استفاده از روش والکی-بلاک)، ازت کل (با استفاده از روش کجدال)، اندازه‌گیری شد [۵].

عوامل توپوگرافی شامل ارتفاع از سطح دریا، درصد شیب زمین و جهات جغرافیایی هر پلات ثبت گردید. عوامل اقلیمی مثل میانگین بارندگی سالانه، متوسط دمای سالانه، با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی نزدیک به منطقه مورد مطالعه و با استفاده از مطالعات هواشناسی موجود در استان، نظیر خطوط هم‌بارش و دما، مد نظر قرار گرفت. مختصات جغرافیایی محل هر یک از پلات‌ها نیز با استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب (GPS) مشخص گردید.



شکل ۲- نحوه استقرار شبکه نمونه‌برداری متناسب با شیب تغییرات محیطی در منطقه مورد مطالعه

د- تجزیه و تحلیل داده‌ها

جهت بررسی ارتباط متغیرهای محیطی اثرگذار بر پوشش گیاهی و انتخاب روش مناسب خطی و غیرخطی، آنالیز تطبیقی قوس‌گیری شده[1] بر روی داده‌های پوشش گیاهی (داده‌های پاسخ)، انجام و طول گرادیان محور اول مشخص گردید. با توجه به طول گرادیان محور اول (که بزرگ‌تر از چهار بود)، از روش آنالیز تطبیقی متعارفی[2] به عنوان روش غیرخطی استفاده شد.

در این ارتباط، داده‌های پوشش گیاهی و عوامل محیطی، در دو ماتریس خلاصه گردید که ماتریس اولیه،

[1] Detrended Correspondence Analysis

[2] Canonial Correspondence Analysis

شامل گونه‌های گیاهی در واحدهای نمونه‌برداری (پلات‌ها) و ماتریس ثانویه شامل عوامل محیطی در هر پلات بود. از آنجا که در این روش‌ها، از رگرسیون چندمتغیره برای انتخاب ترکیب غیرخطی متغیرهای محیطی برای رسیدن به بهترین ترکیب از متغیرها استفاده می‌شود، بنابراین ورود تعداد زیاد متغیرهای با همبستگی بالا ممکن است منجر به ایجاد اثر کمانی[1] گردد [۲۷]. برای کاهش این خطا، از انتخاب رو به جلو[2]، جهت انتخاب مهم‌ترین متغیرهای محیطی استفاده شد [۳۱].

در تجزیه و تحلیل اطلاعات با استفاده از این روش، شیب تغییرات گونه‌ها از طریق شبیه‌سازی داده‌ها، تحت شرایط مختلف عوامل محیطی، بررسی و معنی‌داری رابطه بین ترکیب گونه ای و محورهای به‌دست آمده از متغیرهای محیطی با استفاده از آزمون جایگشت[3] مونت کارلو [4] (معادله ۱) بررسی شد [۳۳، ۳۴]. در این رابطه نیز با انجام آزمون مونت کارلو، معنی‌داری کل مدل توسط F-ratio و P-value با ۹۹۹ تکرار ارزیابی گردید.

$$P = \frac{n_x + 1}{N + 1} \quad (۱)$$

n_x: تعداد دفعاتی است که ارزش ویژه محاسبه شده (یا همبستگی بین گونه‌ها و متعیرهای محیطی) داده‌های تصادفی بزرگ‌تر از ارزش ویژه داده‌های واقعی (یا همبستگی بین گونه‌ها و متغیرهای محیطی) است و N تعداد کل دفعات تصادفی (شبیه سازی)کردن است. اگر ارزش p کوچکتر از ۰/۰۵ باشد، ارزش ویژه یا همبستگی بین گونه‌ها و متغیرهای محیطی معنی‌دار است [۲۳].

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها در این بخش، از نرم‌افزار Canoco نسخه ۴/۵ استفاده شد [۳۳].

و- ترسیم منحنی پاسخ گونه گیاهی مورد مطالعه به عوامل محیطی

منحنی پاسخ گونه، به‌صورت منحنی عملکرد گونه در رابطه با تغییر در عوامل محیطی، تعریف می‌شود. برای پیش‌بینی پاسخ گونه‌های گیاهی به تغییرات عوامل محیطی از مدل افزایشی تعمیم‌یافته استفاده شد [۳۷، ۳۵، ۳۱، ۱۶، ۷]. آنالیز تابع اتصال لگاریتمی[5] (به‌دلیل این که منحنی پاسخ به شکل گوسن برای آن برازش شود) و توزیع خطا پوآسون[6] برای برازش مدل افزایشی تعمیم‌یافته، استفاده شدند. (به‌منظور اجتناب از بیش برازش متغیرهای پیشگو، این متغیرها به‌صورت انفرادی وارد مدل شدند).

توابع تبدیل هموار (استخراج یک تابع رگرسیونی (ناپارامتری) از داده‌ها یا Smooth terms)، توسط هموارسازی به روش اسپلین درجه سوم[7] با درجه آزادی سه یا کمتر از سه برازش شد [۳۵، ۲۶]. به‌منظور رتبه‌بندی متغیرهای اثرگذار بر عملکرد گونه‌ها، معیار اطلاعاتی آکائیک[8] به‌کار گرفته شد. AIC معیاری برای سنجش نیکویی برازش است. این معیار، با برقرارکردن تعادل میان دقت مدل و پیچیدگی آن، به انتخاب بهترین مدل آماری و معرفی متغیرهای اثرگذار بر عملکرد گونه، کمک می‌کند [۳]. هرچه مقدار AIC کوچک‌تر باشد، در نتیجه متغیر مورد نظر، دارای اثرگذاری بیشتر بر عملکرد گونه (وفور/ درصد پوشش تاجی/ تولید/ ارتفاع) می‌باشد، یا این که مدل ارائه شده، مناسب‌ترین مدل در برازش منحنی عکس‌العمل گونه می‌باشد.

در حالت کلی، AIC به‌صورت معادله‌های زیر محاسبه می‌شود:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i-1}^{n}(Q_i - \hat{Q}_i)^2}{n}} \quad (۲)$$

$$AIC = nln(RMSE) + 2p \quad (۳)$$

که در آن، RMSE مجذور میانگین مربعات خطا، Qi مقدار مشاهده شده، مقدار برازش یافته،n تعداد مشاهده‌ها و p نیز تعداد متغیرهای مدل است.

[1] Arch effect
[2] Interactive-Forward-selection
[3] Permutation
[4] Monte Carlo
[5] log link function
[6] Poisson error distribution
[7] cubic spline smoother
[8] Akaike Information Criterion

نتایج

خصوصیات رویشگاهی، گیاهی و دامنه تغییرات عوامل

با توجه به درصد پوشش گیاهی گونه‌ها، تیپ گیاهی غالب در منطقه *Salsola-Acantholimon* بوده و میانگین ویژگی‌های پوشش سطح خاک در رویشگاه مورد مطالعه و همچنین برخی از خصوصیات گیاه سالسولا در این منطقه در جدول ۲ نشان داده شده است. به لحاظ سیمای ظاهری، رویشگاه گونه مورد مطالعه کوهستانی با خاک نسبتاً عمیق همراه با بیرون‌زدگی سنگی نسبتاً بالا بوده و از سازندهای آهکی (بعضاً مارنی) تشکیل شده است.

جدول ۳ نشان‌دهندهٔ میانگین عوامل محیطی مورد بررسی در رویشگاه گیاه مورد نظر است. نتایج حاصل از تعیین حدود خصوصیات اکولوژیکی مورد مطالعه (بالاترین و پایین‌ترین مقدار عامل اکولوژیک) در رویشگاه سالسولا با توجه به حضور گونه مورد مطالعه در آن، در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۲- میانگین ویژگی‌های پوشش گیاهی و سطح خاک در منطقه مورد مطالعه در استان

تولید علوفه ساسولا (Kg/ha)	تعداد پایه در هکتار سالسولا	درصد پوشش تاجی سالسولا	درصد سنگ و سنگریزه	درصد خاک بدون پوشش	درصد لاشبرگ	درصد کل پوشش تاجی	مکان/ رویشگاه
۴۵/۵	۷۷/۵۰	۲/۹	۱۴/۸	۶۸/۳	۸/۷	۸/۲	جلگه شوقان

جدول ۳- میانگین خصوصیات رویشگاهی گیاه سالسولا در منطقه مورد مطالعه در استان خراسان شمالی

شن(٪)	سیلت(٪)	TNV٪	ماده آلی خاک(٪)	pH	EC (دسی زیمنس بر متر)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	مکان/ رویشگاه
۷۳±۹	۲۲/۸۸±۹	۲۶/۴±۱۷/۶	۱±۰/۷۲	۸/۲±۰/۳	۷/۱±۶/۵	۱۴۰۰±۳۰۰	جلگه شوقان

جدول ۴- بالاترین و پایین‌ترین مقدار عوامل محیطی در رویشگاه مورد مطالعه با توجه به حضور گونه سالسولا در آن

ردیف	عوامل محیطی	بالاترین مقدار	پایین‌ترین مقدار
۱	درصد شن	۸۰	۶۴
۲	درصد رس	۳۱/۸	۱۵/۸
۳	هدایت الکتریکی خاک (دسی زیمنس بر متر)	۱/۷	۰/۳
۴	درصد آهک خاک	۴۳/۹	۸/۶
۵	درصد کربن آلی خاک	۱/۶۴	۰/۲۵
۶	درصد ازت کل	۰/۱۴	۰/۰۲
۷	ارتفاع از سطح دریا (متر)	۱۷۰۰	۱۰۹۰
۸	درصد شیب زمین	۹	۲
۹	درصد خاک بدون پوشش	۹۰	۲۰
۱۰	درصد سنگ و سنگریزه	۶۰	۱
۱۱	درصد لاشبرگ	۱۰	۱
۱۲	درصد پوشش گیاهی سالسولا	۱۰	۰/۲

روابط پراکنش گونه‌های گیاهی موجود با عوامل محیطی

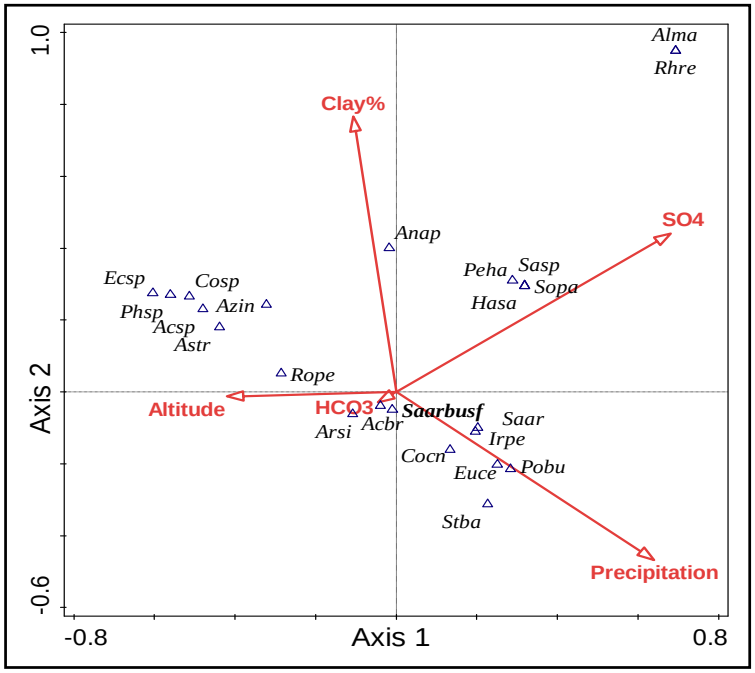
بررسی تأثیر مجموعه‌ای از عوامل محیطی بر تغییرات پوشش گیاهی در جوامع با استفاده از روش انتخاب رو به جلو در رسته‌بندی کانونیک، منجر به انتخاب ۵ متغیر از بین ۲۵ متغیر اولیه شد. متغیرهای انتخاب شده سولفات، بیکربنات، درصد رس، بارندگی و ارتفاع بودند (جدول ۵).

جدول ۵- متغیرهای مهم و اثرگذار بر تغییرات پوشش گیاهی در رویشگاه مورد مطالعه از روش انتخاب رو به جلو در رسته‌بندی کانونیک

متغیرهای	Explains %	Contribution %	F
SO4	۱۱/۴	۱۴/۵	۳/۹**
HCO_3	۵/۷	۷/۳	۲/۴**
Sand%	۵/۸	۷/۴	۲/۳*
Precipitation	۹/۱	۱۱/۶	۳/۳**
Altitude	۷	۸/۹	۲/۷**

F آماره آزمون محاسبه شده برای معنی‌داری محورهای کانونی، مقدار سطح احتمال بدست آمده از آزمون جایگشت مونت کارلو (با ۹۹۹ جایگشت تصادف)

نتایج رسته‌بندی تطبیقی متعارفی (CCA) بر اساس محورهای اول و دوم، و عوامل مهم مشخص‌شده در روش انتخاب رو به جلو، در شکل ۳ ارائه شده است. میزان فاصله نقاط از محورهای مختصات، بیانگر شدت یا ضعف رابطه است و هرچه طول بردار بزرگ‌تر و زاویه آنها با محور کوچک‌تر باشد، همبستگی بین مولفه ها و گونه‌های گیاهی با محورها بیشتر و رابطه آن با خصوصیات معرف محورها، قوی‌تر است. با توجه به شکل ۳، جدول همبستگی بین متغیرهای محیطی اندازه‌گیری شده، محور اول همبستگی منفی زیادی با متغیر ارتفاع دارد، درحالی که متغیرهای درصد رس و HCO_3 با محور دوم همبستگی دارند، بنابراین محور دوم به طور عمده متغییر های خاک را نشان می‌دهد.



شکل ۳- توزیع گونه‌های گیاهی در ارتباط با عوامل اکولوژیک

بررسی همبستگی بین درصد پوشش گیاهی سالسولا و عوامل اکولوژیک مورد مطالعه، در جدول ۶ نشان داده شده است. پراکنش این گونه با عامل اسیدیته خاک همبستگی مثبت و با میزان کلر، سدیم و مقدار هدایت الکتریکی خاک در عصاره اشباع خاک همبستگی منفی دارد.

به کارگیری مدل جمعی تعمیم‌یافته با توزیع خطا پوآسون، برای هر یک از متغیرهای محیطی، نشان داد که از ۲۵ عامل مورد بررسی، ۱۴ متغیر مورد مطالعه در سطح ۱٪، بر عملکرد سالسولا معنی‌دار بوده‌اند (جدول ۷). با توجه به عکس‌العمل معنی‌دار گیاه سالسولا در رابطه با

عوامل اشـاره شـده در منطقه مورد مطالعه، منحنی پاسـخ این گونه نسـبت به هر یک از متغیرهای محیطی اثرگذار، مورد بررسی قرارگرفت (شکل۴).

همـانطور کـه در شـکـل ۴ ملاحظـه می‌شـود کـه عکس‌العمل گیاه سالسولا در رابطه با عواملی مانند اسیدیته و TNV به صـورت تک‌نمایی (Unimodal) است. بررسی پاسـخ سالسولا در ارتباط با درصد شن و درصد رس نشان می‌دهد که پاسـخ این گونه نسـبت به تغییرات مقادیر این عوامل تقریباً حالت زنگوله‌ای اسـت. بررسـی عملکرد گونه (درصد پوشش گیاهی) مورد مطالعه در ارتباط با Cl، Na، درصد مواد آلی، ازت کل و EC همچنین نشان می‌دهد که پاسـخ این گونه نسبت به تغییرات مقادیر این عوامل حالت دو مد است.

جدول ۶- همبستگی معنی دار بین عوامل محیطی با درصد پوشش گیاهی سالسولا

عوامل محیطی	ضریب همبستگی
Cl (mg/lit)	-۰/۴۱۱*
Na (meq/lit)	-۰/۵۱۵**
EC (dS/m)	-۰/۴۱۲*
pH	۰/۳۷۹*

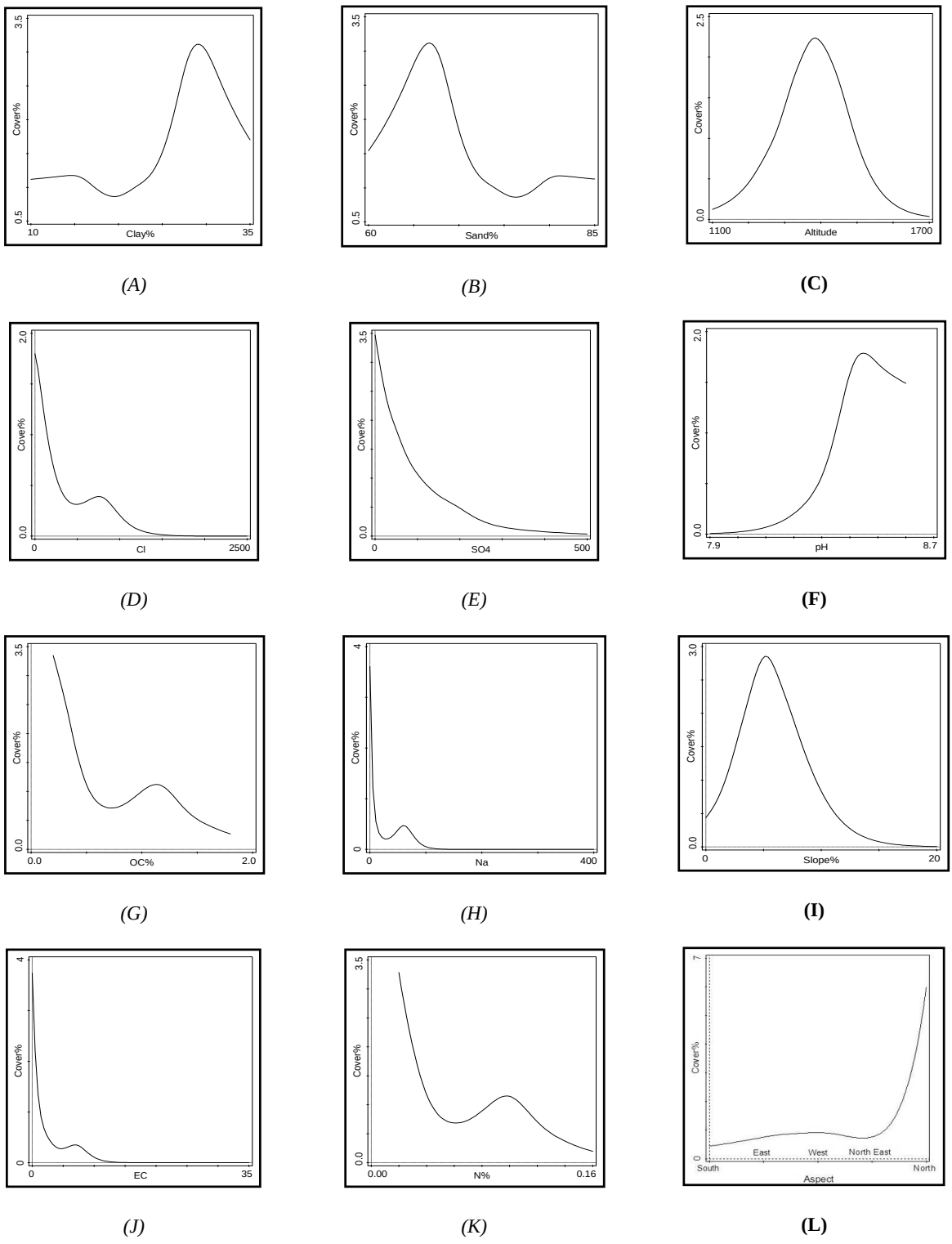
** همبستگی در سطح ۰/۰۱ درصد معنی‌دار است.

* همبستگی در سطح ۰/۰۵ درصد معنی‌دار است.

جدول ۷- نتایج برازش مدل جمعی تعمیم‌یافته نسبت به هر یک از متغیرهای تبیینی معنی‌دار

ردیف	متغیر محیطی	F	معیار اطلاعاتی آکائیک
۱	شن(٪)	۵/۵**	۹۵/۲۱
۲	سیلت(٪)	۵/۵**	۹۵/۲۱
۳	اسیدیته خاک	۴/۸**	۹۷/۱۱
۴	هدایت الکتریکی خاک (دسی زیمنس بر متر)	۸/۵**	۸۶/۳۷
۵	سولفات (mg/lit)	۶/۹**	۹۰/۵۸
۶	آهک(٪)	۴/۳*	۸۱/۳۸
۷	کربن آلی خاک(٪)	۸**	۸۷/۶۱
۸	ازت کل(٪)	۸/۶**	۸۵/۸۹
۹	کلر خاک (ppm)	۶/۱**	۹۳/۲۲
۱۰	سدیم خاک (ppm)	۱۱/۸**	۷۶/۶۴
۱۱	ارتفاع از سطح دریا (m)	۴/۸**	۹۷/۱۸
۱۲	جهت جغرافیایی	۵/۱*	۹۶/۲۹
۱۳	شیب زمین(٪)	۸/۲**	۸۷/۲۷
۱۴	درجه حرارت (^{o}c)	۱۰**	۸۱/۶

F آماره آزمون محاسبه شده برای معنی‌داری برازش مدل، مقدار سطح احتمال بدست آمده از آزمون برازش مدل



شکل ۱- منحنی پاسخ گونه به عوامل محیطی (A: درصد رس، B: درصد شن، C: ارتفاع، D: مقدار CL، E: مقدار SO_4، F: مقدار PH، G: مقدار H،OC : مقدار Na، I: درصد شیب، J: مقدار EC، K: مقدار ازت کل، L: جهت شیب)

بررسی پاسخ گونه در خصوص اسیدیته خاک نشان داد که با افزایش اسیدیته خاک تا ۷/۵، پاسخ گونه افزایشی بوده و از آن به بعد با افزایش اسیدیته خاک حضور گونه کاهش می‌یابد. پاسخ گونه سالسولای مورد مطالعه به عامل TNV کاهشی بوده و با افزایش درصد TNV خاک پاسخ گونه کاهشی بوده و حضور گونه کاهش یافت.

عکس‌العمل گونه سالسولا به عامل دما از مدل دو نمایی (Bimodal) پیروی کرده است، بدین ترتیب که با

افزایش مقدار دما تا ۱۲/۵درجه سانتی‌گراد، پوشش گیاهی گونه مورد نظر نیز افزایش و با افزایش مقادیر این متغییر به ۱۳درجه سانتی‌گراد، پاسخ کاهشی نشان داده است. با افزایش میزان این پارامتر از این مقادیر تا حدود ۱۳/۵ درجه سانتی‌گراد، در محدوده حضور گونه، افزایش نشان داده است و پس از آن از روند کاهشی برخوردار است.

بحث

بررسی و تحقیق در زمینهٔ پاسخ گونه‌های گیاهی به تغییرات عوامل محیطی، اطلاعات ارزشمندی برای تعیین نیازهای اکولوژیکی گونه‌های گیاهی، دانش پایه برای معرفی گونه‌های مناسب جهت احیای مراتع تخریب‌یافته، تولید علوفه، مدیریت پوشش گیاهی و سایر اهداف مدیریت مراتع ارائه می‌دهد. بنابراین با توجه به کمبود اطلاعات در این زمینه و همچنین اهمیت گونهٔ *Salsola arbusculiformis Drob*، از نظر سطح مناطق پراکنش، تولید بالای علوفه و خوشخوراکی مطلوب و همچنین حفاظت خاک در این تحقیق، به مطالعه نیازهای اکولوژیک این گونه و عکس‌العمل آن به تغییرات عوامل محیطی، با استفاده از مدل افزایشی تعمیم‌یافته پرداخته شد.

نتایج بررسی‌ها نشان داد که دامنهٔ ارتفاع رویشگاه این گیاه ۱۰۹۰ تا ۱۷۰۰ متر از سطح دریاست. مقادیر متغیرهای هدایت الکتریکی خاک از ۰/۳تا ۱۳/۴ دسی‌زیمنس بر متر، اسیدیته خاک از ۷/۹ تا ۸/۶، درصد مواد خنثی‌شونده (آهک) از ۸/۶ تا ۴۹/۹، کربن آلی خاک از ۰/۲۱ تا ۱/۷۲ درصد، بوده است. نتایج حاصل از آنالیز تطبیقی متعارفی نشان داد که عوامل محیطی SO_4، بارندگی، ارتفاع، درصد شن خاک، و HCO_3 خاک به ترتیب با بیان ۱۱/۴، ۹/۱، ۷/۰ ، ۵/۸ و ۵/۷ درصد از واریانس موجود در ترکیب گیاهی، نقش مهمی در تغییرات ترکیب گیاهی در رویشگاه مورد مطالعه داشتند. این نتیجه به یافته‌های احمدی و همکاران (۱۳۹۲)، دشتی و همکاران (۱۳۹۰) و میر داوودی (۱۳۹۲)، مطابقت داشت [۲۹، ۱۲، ۱].

درصد شن به عنوان یکی از اجزای تشکیل دهنده بافت خاک، نقش مهمی در میزان آب و عناصر در دسترس گیاهان و نیز تهویه و عمق ریشه دوانی گیاه داشته و در پراکنش پوشش گیاهی نقش مهمی دارد. این یافته با نتایج واهبا و همکاران (۱۹۹۰)، خلاصی اهوازای و همکاران (۱۳۹۰)، اسفنجانی و همکاران (۱۳۹۵) نیز مطابقت دارد [۳۶، ۲۴، ۱۳].

مقدار کل واریانس موجود در پوشش گیاهی که با استفاده از رسته‌بندی کانونیک بیان شده است، برابر۲/۹ می‌باشد. با در نظرگرفتن تمامی متغیرهای انتخاب شده به عنوان متغیر محدوده‌کننده (Constraining Variable) و در نظرگرفتن همبستگی مکانی به عنوان متغیر همراه (Covariates) و حذف تأثیر این متغیر بر تغییرات پوشش گیاهی، مدل فوق ۳۸/۹ درصد از کل این واریانس را بیان می‌نماید که این مقدار با توجه به پیچیدگی‌های موجود در جوامع طبیعی، مطلوب به نظر می‌رسد [۲۷]. محور اول با مقدار ویژه ۰/۵۱، ۱۷/۵۸ درصد و محور دوم با مقدار ویژه ۰/۳۰، ۱۰/۴۵ درصد از کل تغییرات پوشش گیاهی را توجیه می‌کنند.

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که از ۲۵ متغیر محیطی مورد مطالعه، ۱۴ متغیر محیطی بر عملکرد گیاه سالسولا مؤثر بوده‌اند. بنابراین می‌توان گفت مدل جمعی تعمیم‌یافته برای بررسی پاسخ گونه سالسولا نسبت به متغیرهای محیطی نتایج قابل قبولی را ارائه می‌کند. بررسی همبستگی بین درصد پوشش گیاهی سالسولا و عوامل اکولوژیک مورد مطالعه، نشان داد که پراکنش این گونه با عامل اسیدیته خاک همبستگی مثبت و با میزان کلر، سدیم و مقدار هدایت الکتریکی خاک در عصاره اشباع خاک همبستگی منفی دارد.

نتایج حاکی از این است که این گونه نسبت به متغیرهای محیطی مورد مطالعه عکس‌العمل متفاوتی را نشان دادند. بیشتر پاسخ سالسولا نسبت به این متغیرها به صورت زنگوله‌ای و یا روند کاهنده و افزاینده بود. با افزایش رس، شن، اسیدیتیه، شیب تا ۵ درصد، ارتفاع تا ۱۴۵۲ متر حضور گونه سالسولا بیشتر شده‌است. این امر نشان‌دهندهٔ این است که این متغیرها اثر مثبت بر بقاء این گونه دارند. از طرف دیگر افزایش متغیرهای رس، بارش، درجه حرارت و جهت دامنه افزایش حضور گونه را سبب شده و شانس بقاء آن را بیشتر نموده است.

نتیجه گیری کلی

پاسخ بالقوهٔ گونه‌های گیاهی به تغییرات متغیرهای محیطی را می‌توان بر اساس پراکنش گونه با استفاده از مدل‌های پراکنش گونه‌های گیاهی پیش‌بینی کرد. در نتیجه، می‌توان زیستگاه گونه‌های مناسبی را تعریف کرد. این به طور فزاینده‌ای توسط مدیران منابع طبیعی برای حفاظت از تنوع زیستی، برای ارزیابی اثرات آب و هوا و برای فعالیت‌های کاربری زمین استفاده شده است.

تجزیه و تحلیل داده‌های پیچیدهٔ اکولوژیکی نیازمند روش‌های تحلیلی انعطاف‌پذیر و قوی است که بتواند روابط غیرخطی، اثرات متقابل و داده‌های از دست رفته را کنترل کند. مدل جمعی تعمیم‌یافته روش ساده برای بررسی عکس‌العمل گونه‌ها با توجه به متغیرهای محیطی می‌باشد که نتایج حاصل به راحتی قابل تفسیر است. اگرچه رگرسیون‌های چند متغیره نظیر مدل افزایشی تعمیم‌یافته می‌توانند در بیان آشیان اکولوژیک یک گونه خاص نقش داشته باشند [۱۸]، این دامنه اکولوژیک می‌تواند شامل تأثیرات متقابل عوامل غیزنده و زنده باشد. هرچند نقش نسبی فاکتورهای زنده نظیر رقابت گونه‌ها در مقایسه با عوامل غیرزنده مشخص نیست و این از جمله مسائلی است که نیاز به تحقیقات بیشتری دارد. علاوه بر این، بسیاری از مراتع و جنگل های ایران از بروز اختلالات انسانی و طبیعی (مثل چرای دام، آتش‌سوزی، تغییر کاربری اراضی و تک‌تکه‌شدن رویشگاه‌های گیاهان) مصون نبوده و این موضوع فرض تعادل در این اکوسیستم‌ها را بر هم زده است. بنابراین این محدودیت به ویژه برای گونه‌ها یا جوامعی که دوره زندگی کوتاهی داشته یا سریع در برابر تغییرات محیطی واکنش نشان می‌دهند (به عنوان مثال مناطق ساحلی و چمنزارها) محدودکننده است. بنابراین، اطلاعاتی مثل آشفتگی‌ها نیز بایستی به عنوان پیش بینی کننده در مدل سازی توزیع مبتنی بر رگرسیون در نظر گرفته شوند.

به دلیل اهمیت حضور *Salsola arbusculiformis Drob* در پوشش گیاهی مناطق خشک و نیمه‌خشک استان، علم نحوه پراکنش آن برای برنامه‌ریزی مدیریت اکوسیستم ضروری است. با توجه به نتایج، توزیع گونه مد نظر توسط GAM توصیف می‌شود و کاهش فراوانی و عملکرد گونه با محدودیت‌های عوامل محیطی توضیح داده می‌شود و می‌توان پاسخ گونهٔ مورد نظر به عوامل محیطی را برای توضیح محدودیت‌های غیرزیستی، مدیریت مرتع، حفاظت، بهبود و احیای زیستگاه‌های تخریب شده استفاده کرد.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که عوامل محیطی، به ویژه، مقدار SO_4، HCO_3، درصد رس، میانگین بارندگی سالانه، ارتفاع و شیب زمین، اثرات قابل سنجشی بر عملکرد *Salsola arbusculiformis Drob* دارند. درک بهتر از این روابط گونه-محیط در زمینه نوسانات آب و هوایی طبیعی نیز به پیش‌بینی بهتر اثر تغییرات آب و هوایی روی زیستگاه گونه‌ها کمک می‌کند. علاوه بر این، با توجه به سهم برهم‌کنش‌های زیستی، تعامل بین متغیرها و تنش شدید محیطی در شکل پاسخ گونه‌ها، به نظر می‌رسد، مطالعات بیشتری برای توسعه رویکردهای مدل‌سازی که این عوامل را در ارتباط با پراکنش گونه‌ها در نظر می‌گیرند، مورد نیاز است.

References

[1]. Ahmadi, A., Shahmoradi, A., Zarehkiya, S., Nateghi, S., 2013. Atheological study of *Astragalus effusus* rangeland species in rangelands of West Azerbaijan province. *Iranian Range and Desert Research*, 20 (1): 172-181. (in Farsi)

[2]. Ahmadi, K., Alavi, S., Tabari Kochaksaraei, M., 2014. Evaluation of production capacity of *Fagus orientalis* habitat using generalized collective model (Case study: Educational and research forest of Tarbiat Modares University). *Iranian Forest Magazine*, 7 (1): 32-17. (in Farsi)

[3]. Akaike, H., 1974. A new look at the statistical model identification, Automatic Control, *IEEE Transactions on*, 19(6): 716-723.

[4]. Alavi, S., Nori, Z., Zahedi, A., 2017. Beech reaction curve to environmental variables using a generalized collective model in Nowshahr Khairid forest. *Journal of Wood and Forest Science and Technology Research*, 24 (1): 29-42. (in Farsi)

[5]. Ali Ahyaei, M., Behbahani Zadeh, A., 1993. Description of the methods of chemical analysis of soil. Technical magazine, No. 893. *Soil and Water Research Institute*, 129 pages.

[6]. Arzani, H., Abedi, M., 2015. Rangeland Assessment, Vegetation Measurement, Volume II. University of Tehran Press, 305 p.

[7]. Bakhshi Khaniki, G, R., Mohamadi, B., 2012. Ecological study of some species of the genus Salsola in Golestan province. *New Journal of Cellular and Molecular Biotechnology*, 2 (6): 51-45.

[8]. Begon, M., Harper, J.L., Townsend, C.R. 1996. Ecology: Individuals, Populations and Communities, third ed. Wiley-Blackwell; 4 edition, 752 p.

[9]. 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.

[10]. 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.

[11]. 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

[12]. Dashti, M., Mirdavodi, H., Fazeli Kakhli, S, F., Azizi, N., 2020. Response of rangeland species Hedysarum kopetdaghi to environmental gradients in natural habitats of Khorasan Razavi. *Agricultural Ecology*, 12 (2): 194-179.

[13]. Esfanjani, j., Zareh Chahoki, M, A., Rohani, R., Mohamad Esmaeili, M., Behmanesh, B., 2016. Simulation of habitat suitability of plant species in Chaharbagh rangelands of Golestan province using the Ecological Niche Factor Analysis. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 3 (23): 526-516. (in Farsi)

[14]. Faraji, A., 2014. Reaction of Artemisia Dashti communities to some environmental changes in Markazi province. Isfahan University of Technology, Faculty of Natural Resources. Master Thesis in Range Management. 102 p. (in Farsi)

[15]. Gauch, H.G., Whittaker, R.H. 1972. Coenocline simulation. *Ecology*, 53(3): 446-451.

[16]. 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 Farsi)

[17]. Gogina, M. 2010. Investigation of interrelations between sediment and near-bottom environmental parameters and macrozoobenthic distribution patterns for the Baltic Sea. A doctoral thesis at the Ernst Moritz Arndt University of Greifswald, Germany.

[18]. Guisan, A., Edwards, T. C. Jr., Hastie, T. 2002. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Ecol. Modell*. 157: 89–100.

[19]. 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.

[20]. Heydari, F., Diyanaki Nilky, G., Alavi, S., 2017. Comparison of response curves of *Bromus tomentellus* and *Achillea millefolium* to environmental gradients using a generalized collective model. *Journal of Plant Ecology*, 5 (11): 34-17. (in Farsi)

[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]. Jafariyan, Z., Kargar, M. 2018. Distribution Modeling of Protective and Valuable Plant Species in the Tourist Area of Polour Using Generalized Linear Model (GLM) and Generalized Additive Model (GAM). *Geography and Development Quarterly*, 15: 46. 117-132. (in Farsi)

[23]. 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.

[24]. Khasi Ahvazi, L., Chahoki, M, A., Azarnivand, H., Soltani, M., 2011. Modeling the suitability of Eurotia ceratoides habitat using the Ecological Niche Factor Analysis in

the northeastern rangelands of Semnan. *Rangeland Scientific Journal*, 5 (4): 373- 362.

[25]. Kent, M. 2011. Vegetation description and data analysis: a practical approach. Johan Wiley and Sons, 414p.

[26]. Kiasi, Y., Foroozeh, M.R., Mirdeylami, S.Z. and Niknahad, H., 2020. Environmental factors and the presence of medicinal species in Khosh Yeylagh Rangelands in Golestan Province. *Journal of Rangeland*, 3(14): 462-478.

[27]. Leps, J., Smilauer, P., 2003. Multivariate Analysis of Ecological Data using CANOCO. Cambridge University Press.269 pp.

[28].McGill, B.J., Enquist, B.J., Weiher, E. & Westoby, M. 2006. Rebuilding community ecology from functional traits. *Trends in Ecology and Evolution*, 21: 178–185.

[29]. Mirdavodi, H., 2013. The effect of turbulence on plant diversity and invasive species in oak groves in western Iran (Case study: Dalab forest of Ilam). PhD Thesis, University of Tehran, Department of Forestry and Forest Economics, 128 p.

[30]. 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.

[31]. Palmer, M. W., 1993. Putting things in even better order: The advantages of canonical correspondence analysis. *Ecology* 74: 2215- 2230.

[32]. 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.

[33]. Shahsavarzadeh, R., Tarkesh, M., Rahmati, Z. and Ghazizadeh, M., 2016. Potential habitat modelling Ferula ovina Boiss. Using by genetic algorithms in Ferydoun shahr, Isfahan. *Iranian Journal of Medical and Aromatic Plants*, 31(6): 977-987.

[34]. Ter Braak, C.J.F., Smilauer, P., 2002. Canoco, reference manual and CanoDraw for Windows user's guide: software for canonical community ordination (version 4.5). Microcomputer Power, Ithaca.

[35]. Traoré, S., Zerbo, L., Schmidt, M., Thiombiano, L. 2012. Acacia communities and species responses to soil and climate gradients in the Sudano-Sahelian zone of West Africa. *Journal of Arid Environments*, 87:144-152.

[36]. Wood, S.N. 2006. Generalized Additive Models: An Introduction with R. Chapman and Hall/CRC press, 384p.

[37]. Wieling, M. 2018. Analyzing dynamic phonetic data using generalized additive mixed modeling: A tutorial focusing on articulatory differences between L1 and L2 speakers of English. *Journal of Phonetics*. 70: 86-116.

[38]. Yee, T.W., and Mitchell, N.D. 1991. Generalized additive models in plant ecology, *Journal of Vegetation Science*. 2: 5. 587-602.

Evaluation of the reaction of *Salsola arbusculiformis* Drob in the Shoghan plain of North Khorasan to environmental factors using a generalized additive model (Research Paper)

1- Seyed Javad Mirisoliman*, Ph.D. and Researcher, Natural Resources Research Department, North Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.
j.mirisoliman@gmail.com
2- Hamid Reza Mirdavoudi, Assistant Professor Natural Resources Research Department, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

Received: 27 Nov. 2021
Accepted: 14 Mar. 2022

Abstract

One of the fields in vegetation ecology is understanding the relationships between plant species and environmental factors and analyzing species reactions along the slope of environmental factors. Considering the importance of *Salsola arbusculiformis* Drob in soil conservation and forage production, the reaction of this species to environmental factors was investigated using the Generalized Additive Model in Shoghan region of North Khorasan province. For this purpose, a systematic random-method was used to measure plant parameters and environmental factors. Canonical Correspondence Analysis was used to examine the relationship between vegetation and environmental factors. The results showed that environmental factors such as percentage of sand, sulfate ions and soil bicarbonate, annual rainfall and altitude, respectively, expressed 5.8, 11.4, 5.7, 9.1 and 7% of the existing variance and have an important role in vegetation changes in the studied habitat. The study of the reaction of this species to environmental factors showed that out of 25 environmental variables studied, 14 variables had a significant effect on plant yield ($p < 0.01$). The response pattern of the studied species along the slope of factors such as acidity, percentage of sand and clay, altitude and finally the percentage of slope was unimodal. The optimal growth limit for each of the above factors was 8.4, 66%, 28%, 1452 meters and 5%, respectively. The response of this species to the amount of sulfate and percentage of soil lime followed a decreasing model, so that with increasing the values of these factors, its yield decreased. The response pattern of the desired species was in two modes, along the slope of factors such as chlorine, sodium, organic carbon, nitrogen, soil salinity and average annual temperature. This model indicates a competitive constraint startsrecalong the peripheral slope. The results also showed that this species has the highest yield in the northern slopes. Studying the reaction of the desired species along the slope of topographic and soil factors provided valuable information for determining the ecological needs of this species, which can be considered in rangeland improvement operations in similar areas.

Keywords: Classification, Salsola, Ecological factors, Generalized Additive Model, Response curve.