دانشگاه گنبد کاووس
نشریه "حفاظت زیست بوم گیاهان"
دوره هفتم، شماره پانزدهم
http://pec.gonbad.ac.ir

تعیین عوامل خاکی مؤثر بر شاخص‌های تنوع کارکردی و گونه‌ای گیاهان در مراتع راور، استان کرمان

زینب جعفریان*[1]، مژده دهقان[2]، فرهاد برجسته[3] و منصوره کارگر[4]

[1] استاد گروه مرتع‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری
[2] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مرتع‌داری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری
[3] کارشناس ارشد مرتع‌داری، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری، استان کرمان، کرمان
[4] دکتری علوم مرتع، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری، استان البرز، کرج

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۱/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۱۶

چکیده

تنوع زیستی موجود در اکوسیستم مرتع، به طور مستقیم تحت تأثیر ویژگی‌های رویشی و تنوع گونه‌های گیاهی آن قرار دارد که همواره متضمن پایداری این اکوسیستم در مقابل تغییرات محیطی و زیستی است. هدف از تحقیق حاضر بررسی عوامل خاکی مؤثر بر شاخص‌های تنوع کارکردی و گونه‌ای به منظور اعمال مدیریت منطبق با شرایط اکولوژیک مراتع چشمه سرخو شهرستان راور استان کرمان است. برای تعیین خصوصیات کارکردی گیاهان مرتعی در طول گرادیان ارتفاعی، ۱۲ نقطه ارتفاعی به فاصله ۱۰۰ متر از هم در نظر گرفته شد و در هر نقطه، در راستای ترانسکتی عمود برجهت شیب، ۵ پلات نمونه‌برداری مستقر شد. در مجموع ۶۰ پلات برداشت شد. در هر نقطه نمونه‌برداری ۳ نمونه خاک از عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری برداشت شد. هشت شاخص تنوع کارکردی شامل رائو (Rao)، چند وجهی محدب (CHull)، غنای کارکرد (FRic)، یکنواختی کارکرد (FEve)، واگرایی کارکرد (FDiv)، پراکندگی کارکرد (FDis)، تنوع ویژگی کارکرد (FAD1) و شاخص تنوع ویژگی کارکرد اصلاح شده (FAD2) و چهار شاخص تنوع گونه‌ای از نرم‌افزار FDivrsity استخراج شدند. برای بررسی ارتباط بین عوامل محیطی، گونه‌های گیاهی و شاخص‌های تنوع کارکردی و گونه‌ای از آنالیزهای چند متغیره (DCA، CCA، RDA) استفاده شد. نتایج نشان داد که عواملی نظیر ارتفاع، درصد آهک، ماده آلی و رطوبت بیشترین تأثیر

* نویسنده مسئول: Jafarian79@yahoo.com

را بر روی گونه‌ها داشتند. نتایج حاصل از همبستگی بین متغیرهای محیطی با تنوع کارکردی نشان داد که بیشترین همبستگی برای محور اول مربوط به درصد رطوبت اولیه ۰/۶۴ و محور دوم مربوط به آهک با مقدار ۰/۳۸۱۷ می‌باشد. همچنین همبستگی بین عوامل محیطی حاکی از آن بود که همبستگی بالایی بین رطوبت (r=۰/۶۱)، هدایت الکتریکی (r=۰/۷۵)، اسیدیته (r=۰/۶۸)، درصد مواد آلی (r=۰/۷۸)، آهک (r=۰/۷۲) و ارتفاع از سطح دریا (r=۰/۷۷) با محور اول گونه‌ای وجود دارد. ارتباط بین شاخص‌های تنوع کارکردی و غنای گونه‌ای بیانگر این مطلب بود که اکثر شاخص‌ها با افزایش غنا گونه‌ای نیز افزایش پیدا کرده است. نتایج این پژوهش می‌تواند در پروژه‌های اجرایی مورد استفاده قرار بگیرد، به این دلیل که ویژگی‌های کارکردی شدت و جهت تغییرات اکوسیستم را در نتیجه عوامل محیطی به‌خوبی نشان می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: تنوع کارکردی، ویژگی‌های کارکردی، عوامل خاکی، مرتع راور

مقدمه

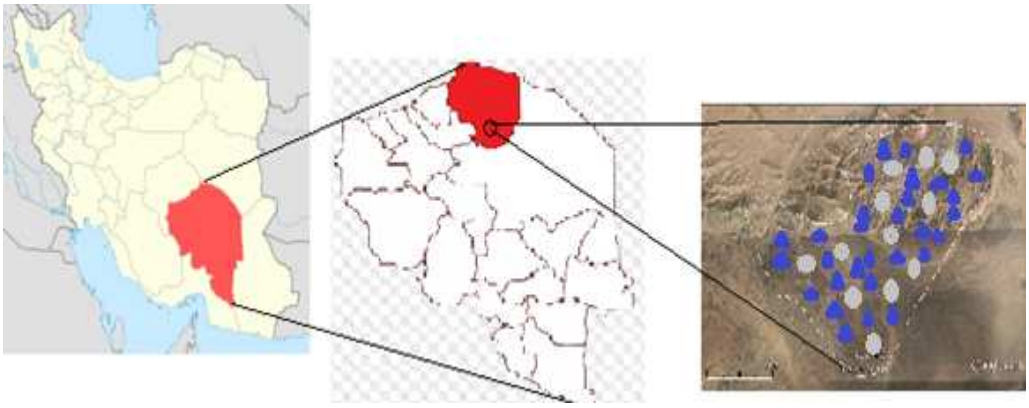
وجود رابطه تنگاتنگ بین عوامل محیطی و پوشش گیاهی موجب می‌شود که استقرار یک جامعه گیاهی خاص در یک منطقه به‌وسیله عوامل محیطی غالب در آن منطقه، محدود یا گسترش یابد. به بیان دیگر عوامل محیطی باعث می‌شوند گیاهانی که نیازهای بوم‌شناختی یکسانی دارند در یک ناحیه با هم مشاهده شوند و جوامع گیاهی را تشکیل دهند (He et al., 2007). بیش از یک قرن است که اکولوژیست‌ها برای یافتن عوامل محیطی کنترل‌کننده پراکنش و تنوع گونه‌های گیاهی تلاش می‌کنند (Comstock and Ehleringer, 1992). تنوع موجودات زنده اکوسیستم‌های طبیعی در نتیجه مداخله انسان، تغییرات اقلیمی، تأثیرات عوامل مداخله‌گر زنده و غیر زنده به طور افزونی در حال کاهش است. این موضوع، تأثیرات سوئی بر کارکرد و خدمات اکوسیستم خواهد داشت. در دهه گذشته پیشرفت‌های قابل توجهی در استفاده از پراکنش مکانی گونه‌های گیاهی به منظور درک سازوکارهای بوم‌شناختی، حفظ تنوع زیستی و پیش‌بینی پویایی توده‌های گیاهی و کارکرد جوامع گیاهی صورت گرفته است (Getzin et al., 2006). در گذشته برای بررسی ارتباط بین کارکرد سیستم‌های اکولوژیکی و تنوع، از شاخص‌های کلاسیک تنوع استفاده می‌کردند که این موضوع مورد انتقاد قرار گرفت چون قادر نبود به خوبی ارتباط بین تنوع و کارکرد و تنوع و پایداری را نشان دهد. به‌همین دلیل محققان به دنبال استفاده از شاخص‌هایی بودند که بتواند مشکل فوق را حل کند. آن‌ها بهترین راه برای حل مشکل فوق را استفاده از ویژگی‌های گیاهی و دخیل کردن آن‌ها در شاخص‌های تنوع بیان کردند. بر این اساس مفاهیمی مانند گروه‌ها و صفات کارکردی را تعریف نمودند. بسیاری از اکولوژیست‌ها بر این باورند که برای ارزیابی تنوع و غنای گونه‌ای و تعیین عوامل تأثیرگذار بر آن‌ها بهتر است که گونه‌های موجود در یک جامعه گیاهی را بر اساس ویژگی‌هایی که دارند به گروه‌های متفاوتی تقسیم کرد. اکولوژیست‌ها معتقدند که در هر اکوسیستم گروه گونه‌های گیاهی خاصی وجود دارند که بر یک کارکرد خاص در اکوسیستم بیشترین تأثیر را می‌گذارند. بنابراین حذف یک گروه کارکردی تأثیرات زیادی بر روی

کارکرد اکوسیستم دارد نسبت به زمانی که همان تعداد گونه از گروه‌های کارکردی دیگر برداشت شود (Vilole, 2007). محدود کردن ارزیابی‌ها به سطح گونه، پیچیدگی‌های موجود در یک جامعه را به خوبی نشان نمی‌دهد. این احتمال وجود دارد که بعضی از جوامع گیاهی با غنای گونه‌ای زیاد، تنوع اکولوژیکی کمتری نسبت به جوامع گیاهی با غنای گونه‌ای کم داشته باشند. به این علت که ممکن است همه گونه‌ها متعلق به یک گروه گونه از نظر اکولوژیکی یکسان باشند. صفات کارکردی درون یک جامعه سهم‌های متفاوتی در جریان‌های مختلف اکوسیستم دارند (طهماسبی، ۱۳۸۸). برای کمی‌کردن این صفات شاخص‌های تنوع کارکرد متفاوتی ارائه گردیده‌اند. مطالعاتی در زمینه اثر عوامل محیطی بر شاخص‌های تنوع و غنای گونه‌ای انجام شده است از جمله می‌توان به نتایج پژوهشی اثر برخی از عوامل محیطی بر تنوع گونه‌ای در مراتع طالقان (زارع چاهوکی و همکاران، ۱۳۸۶) اشاره نمود. در زمینه تنوع کارکردی می‌توان به تحقیق کارگر (۱۳۹۴) در پیش‌بینی پراکنش مکانی برخی صفات کارکردی گونه-های گیاهی مراتع لاسم اشاره نمود. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل گروه‌بندی تغییرات عوامل محیطی بر شاخص‌های تنوع کارکردی بیانگر این مطلب بود که عوامل شیمیایی خاک با ۰/۳۳ درصد نسبت به سایر عوامل محیطی بیشترین تغییرات را بر تنوع کارکرد گونه‌های منطقه داشتند. بااین‌حال، مطالعات کمتری در مورد صفات کارکردی در سطح جامعه و مکان انجام‌شده است (Dubuis et al., 2013؛ Tahmasebi et al., 2017، Sonnier et al., 2010 ؛Rossier, 2011 ؛Pellissier et al., 2010 ؛Jafarian et al., 2019). با توجه به این‌که قسمت اعظم مساحت کشور ایران شامل اکوسیستم‌های مرتعی است و هم چنین عدم حضور هرگونه گیاهی نشان‌دهنده این نیست که آن رویشگاه مطلوبیت حضور گونه را ندارد، همچنین با توجه به اینکه دانش ارتباط بین ویژگی‌های گونه‌های گیاهی و عوامل محیطی احتیاج به بررسی‌های بیشتری دارد و در مراتع راور مطالعاتی در مورد تنوع گونه‌ای و کارکردی و ارتباط عوامل محیطی و با پوشش و تنوع صورت نگرفته است، لذا در این تحقیق بررسی تنوع کارکردی و گونه‌ای گونه‌های گیاهی و ارتباط آن‌ها با عوامل محیطی انجام‌شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

مرتع چشمه سرخو راور با مساحت ۵۰۹۸ هکتار در شمال شرق شهرستان راور و در شمال استان کرمان با موقعیت جغرافیایی ″۳۰ ′۱۰ °۵۱ تا ″۳۰ ′۱۸ °۵۱ طول شرقی و″۳۰ ′۴۱ °۳۰ تا ″۳۰ ′۳۲ °۳۰ عرض شمالی قرارگرفته است. حداقل و حداکثر ارتفاع آن به ترتیب ۱۸۸۰ و ۳۰۴۰ متر از سطح دریا می‌باشد (شکل ۱). میزان بارندگی متوسط سالانه آن ۱۴۰ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه منطقه



شکل ۱- محدوده مطالعه شده، سایت‌های نمونه‌برداری (نقاط روشن: نقاط ارتفاعی و نقاط تیره: نمونه‌های خاک) و موقعیت آن در استان کرمان و در کشور

۲۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. دو نوع تیپ گیاهی شامل تیپ *Artemisia aucheri- Salsola rigida* و تیپ *Artemisia aucheri- Ferula gumosa* در منطقه غالب است که به ترتیب ۳۴۸۸ و۱۶۱۰ هکتار از مساحت منطقه را به خود اختصاص داده‌اند (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کرمان). نمونه‌برداری در طول یک گرادیان ارتفاعی از ۱۸۸۰ متر تا ۲۹۸۰ متر از سطح دریا انجام گرفت. ۱۲ نقطه ارتفاعی به فاصله ۱۰۰ متر برای نمونه‌برداری در نظر گرفته شد. در اطراف هر نقطه نمونه‌برداری ۵ پلات به فاصله ۱۰ متر در امتداد ترانسکت افقی مستقر و اطلاعات همه‌ی گونه‌های داخل پلات‌ها ثبت شد. اندازه پلات‌ها با توجه به پوشش گیاهی برای گیاهان علفی ۱ مترمربعی و برای گیاهان بوته‌ای ۴ مترمربعی و برای درختچه‌ای‌ها ۲۵ مترمربعی در نظر گرفته شد (مقدم، ۱۳۸۷). در هر پلات اطلاعاتی نظیر نام گونه‌ها، تعداد گونه‌ها، درصد پوشش، ارتفاع گیاه به طور مستقیم اندازه-گیری شد. ارتفاع گیاهان علفی و بوته‌ای با استفاده از یک خط‌کش و درختچه‌ها با استفاده از یک متر اندازه‌گیری شد (Zhang et al., 2014). برای نشان دادن کارکرد گونه‌های گیاهی در جامعه، ۲ صفت کارکردی شامل ارتفاع گیاه، فرم رویشی به طور مستقیم در پلات اندازه‌گیری و ثبت شد و ۴ صفت دیگر شامل نوع تکثیر، طول عمر، فرم زندگی و نوع تثبیت نیتروژن از منابع گردآوری گردید. سپس داده‌های جمع‌آوری شده با کمک نرم‌افزار FDiversity که لینک با نرم‌افزار R است (R Core Team, 2014)، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و شاخص‌های تنوع کارکردی و تنوع گونه‌ای برای هر پلات محاسبه گردید. در این پژوهش هشت شاخص تنوع کارکردی شامل رائو[2] (Rao)، شاخص چند وجهی

[2] Quaderatc entropy

محدب[3] (CHull)، غنای کارکرد[4] (FRic)، یکنواختی کارکرد[5] (FEve)، واگرایی کارکرد[6] (FDiv)، پراکندگی کارکرد[7] (FDis)، تنوع ویژگی کارکرد[8] (FAD1) و شاخص اصلاح‌شده تنوع ویژگی کارکرد[9] (MFAD) استفاده شد (Casanoves et al., 2011). همچنین شاخص‌های تنوع گونه‌ای شانون-واینر، سیمپسون، غنا و یکنواختی گونه‌ای نیز محاسبه شد. در هر پلات ارتفاع از سطح دریا و طول و عرض جغرافیایی با استفاده از GPS ثبت گردید. در هر نقطه نمونه‌برداری به منظور بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه، از عمق ۰ تا ۲۰، ۳ پلات از ۵ پلات نمونه‌های خاک برداشت شد و در مجموع ۳۶ نمونه خاک مورد آزمایش قرار گرفت. نمونه‌های خاک به آزمایشگاه خاکشناسی منتقل و خصوصیات خاک شامل رطوبت اولیه، فسفر، پتاسیم، نیتروژن، کربن آلی، اسیدیته، هدایت الکتریکی، آهک و بافت خاک در آزمایشگاه تعیین و اندازه‌گیری شدند (جعفری حقیقی،۱۳۸۲).

تجزیه و تحلیل آماری

برای نشان دادن ارتباط بین شاخص‌های تنوع کارکردی و گونه‌ای با عوامل خاکی و ارتفاع از آنالیزهای چند متغیره استفاده شد. ابتدا از آنالیز DCA (آنالیز تطبیقی قوس‌گیری شده) جهت شناسایی همبستگی و تعیین طول گرادیان استفاده شد. سپس ازآنجایی‌که طول گرادیان DCA برای گونه‌های گیاهی بیشتر از ۳ بود، از آنالیز CCA و طول گرادیان DCA برای شاخص‌های تنوع کارکردی کمتر از ۳ بود از آنالیز RDA استفاده گردید. در مرحله بعد آزمون مونت کارلو برای بررسی معنی‌داری مدل به‌وسیله F-ratio و P-value به‌کاررفته و ازآنجاکه هر دو معنی‌دار بود، دیاگرام‌های دو بعدی مربوطه ترسیم شد. آنالیز مربوط در نرم‌افزار CANOCO نسخه ۴/۵ انجام گرفت (Hooper et al., 2000).

نتایج

نتایج آنالیز تطبیق قوس‌گیری شده (DCA)

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه DCA می‌توان بیان کرد که طول گرادیان در هر چهار محور کمتر از ۳ بود و اهمیت محورها بر اساس مقدار ویژه از محور اول به سمت محور چهارم کاهش یافت (جدول۱).

[3] Convex Hull
[4] Funcctional Richness
[5] Functional Evenness
[6] Functional Divergence
[7] Functional Dispersion
[8] Functional Attribute diversity
[9] Modified Functional Attribute diversity

جدول ۱ - نتایج حاصل از آنالیز تطبیق قوس‌گیری شده (DCA) بر مبنای چهار محور برای شاخص‌های تنوع کارکردی

محور	۱	۲	۳	۴
مقادیر ویژه	۰/۱۶۲	۰/۰۲۵	۰/۰۰۸	۰/۰۰۷
طول گرادیان	۱/۵۲۶	۰/۹۰۰	۰/۸۵۰	۰/۸۵۰
درصد واریانس تجمعی	۶۵/۴	۷۵/۳	۷۸/۷	۸۱/۶

نتایج حاصل از آنالیز چند متغیره CCA

داده‌های جدول (۲) ضرایب همبستگی CCA را برای درصد پوشش گونه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهند، به نحوی که میزان این همبستگی بین محورهای اول گونه‌ها و داده‌های محیطی (r=۰/۹۳)، محورهای دوم گونه‌ها و داده‌های محیطی (r=۰/۹۲)، محورهای سوم گونه‌ها و داده‌های محیطی (r=۰/۹۰)، و محورهای چهارم گونه‌ها و داده‌های محیطی (r=۰/۸۴) معنی‌دار بوده است. با توجه به اعداد مقادیر ویژه گونه‌های گیاهی نتیجه می‌شود که محور اول ۶۴/۵ درصد، محور دوم ۵۱/۴ درصد، محور سوم ۴۰/۱ درصد و محور چهارم ۳۴ درصد در تعیین تغییرات داده‌ها سهیم هستند که به ترتیب ۶/۷، ۱۲، ۱۶/۲و ۱۹/۷ درصد از تغییرات پوشش گیاهی را توجیه می‌کند.

جدول ۲- مقادیر ارزش ویژه محورهای چهارگانه در رج بندی گونه‌های گیاهی با عوامل محیطی به روش CCA

محور	۱	۲	۳	۴	جمع ساکن
مقادیر ویژه	۰/۶۴۵	۰/۵۱۴	۰/۴۰۱	۰/۳۴۰	۹/۶۳۶
طول گرادیان	۶/۹۵۵	۵/۷۸۴	۴/۷۷۹	۳/۸۴۷	
همبستگی گونه_محیط	۰/۹۳۳	۰/۹۲۷	۰/۹۰۷	۰/۸۴۶	
درصد تجمعی واریانس					
داده‌های گونه	۶/۷	۱۲	۱۶/۲	۱۹/۷	
نسبت گونه_محیط	۱۹/۱	۳۴/۳	۴۶/۲	۵۶/۲	

مطابق جدول (۳) همبستگی بالایی بین رطوبت (r=۰/۶۱)، هدایت الکتریکی (r=۰/۷۵)، اسیدیته (r=۰/۶۸)، درصد مواد آلی (r=۰/۷۸)، آهک (r=۰/۷۲) و ارتفاع از سطح دریا (r=۰/۷۷) با محور اول گونه‌ای وجود دارد.

جدول ۳ -همبستگی متغیرهای محیطی با دو محور نخست گونه‌ها در آنالیز CCA

نام کل متغیر	علامت اختصاری	محور اول	محور دوم
درصد رطوبت اولیه	moisture	-۰/۶۱۵	۰/۱۸۸
درصد مواد آلی	OC	ـ۰/۷۸۸	۰/۱۷۴
هدایت الکتریکی	EC	۰/۷۵۹	ـ۰/۱۲۹
اسیدیته کل اشباع	PH	۰/۶۸۴	ـ۰/۰۵۲
آهک	CaCo3	ـ۰/۷۲۱	۰/۳۲۸
فسفر	P	۰/۱۸۷	ـ۰/۱۱۳
نیتروژن	N	ـ۰/۲۵۶	ـ۰/۴۱۳
پتاسیم	K	۰/۲۴۲	۰/۱۴۷
رس	Clay	ـ۰/۱۵۷	۰/۰۹۳
ماسه	Sand	ـ۰/۷۷۶	۰/۲۶۳
سیلت	Silt	ـ۰/۴۷۶	ـ۰/۰۷۵
ارتفاع از سطح دریا	Elevation	۰/۰۴۲	ـ۰/۳۶۴

نتایج حاصل از آنالیز چند متغیره RDA

بر اساس نتایج موجود در جدول (۴) می‌توان گفت اکثر عوامل محیطی همبستگی بیشتری با محور اول و دوم دارند. مقادیر ویژه محوها در جدول زیر بیان می‌کند که محور اول ۶۱/۷ درصد و محور دوم ۰/۰۵ درصد واریانس پارامترهای تنوع کارکردی و گونه‌ای مطالعه شده را نشان می‌دهند.

جدول ۴- مقادیر ارزش ویژه محورهای چهارگانه در رج بندی شاخص‌های تنوع کارکردی و گونه‌ای با عوامل محیطی به روش RDA

محور	۱	۲	۳	۴	جمع ساکن
مقادیر ویژه	۰/۶۱۷	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۹/۶۳۶
طول گرادیان	۱/۵۲۶	۰/۹۰۰	۰/۸۵۰	۰/۸۵۰	
همبستگی گونه_محیط	۰/۷۹۳	۰/۶۲۲	۰/۵۲۴	۰/۵۲۶	
درصد تجمعی واریانس					
داده‌های گونه	۶۱/۷	۶۲/۲	۶۲/۳	۶۲/۴	
نسبت گونه_محیط	۹۸/۸	۹۹/۶	۹۹/۸	۹۹/۹	

نتایج جدول ۵ حاکی از آن می‌باشد که بیشترین همبستگی برای محور اول مربوط به درصد رطوبت اولیه ۰/۶۴ و محور دوم با مربوط به آهک با مقدار ۰/۳۸۱۷ می‌باشد.

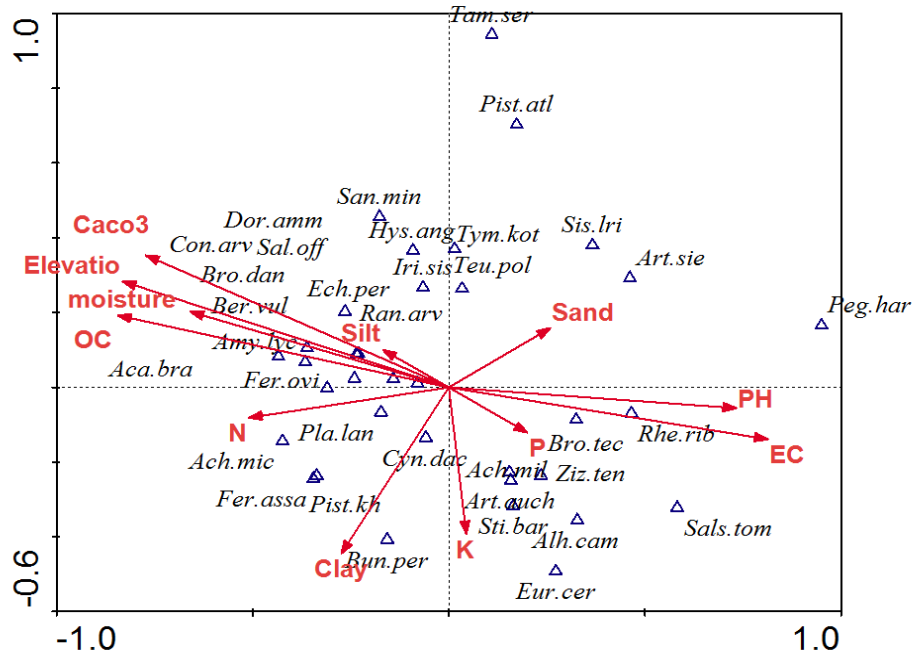
جدول ۵- همبستگی متغیرهای محیطی با دو محور نخست تنوع کارکردی آنالیز RDA

نام کامل متغیرها	علامت اختصاری	محور اول	محور دوم
درصد رطوبت اولیه	moisture	۰/۶۴۷	۰/۱۰۲
درصد مواد آلی	OC	۰/۳۵۸	۰/۱۲۲
هدایت الکتریکی	EC	ـ۰/۲۲۳	ـ۰/۳۳۷
اسیدیته کل اشباع خاک	PH	ـ۰/۱۸۴	ـ۰/۳۸۰
آهک	CaCo3	۰/۰۳۹	۰/۳۸۱
فسفر	P	۰/۴۸۸	۰/۰۳۵
نیتروژن	N	۰/۵۶۰	۰/۱۰۵
پتاسیم	K	۰/۲۷۷	۰/۰۲۸
رس	Clay	۰/۳۰۱	ـ۰/۳۷۹
ماسه	Sand	ـ۰/۴۴۰	۰/۲۴۴
سیلت	Silt	۰/۲۹۷	۰/۰۴۹
ارتفاع از سطح دریا	Elevation	۰/۱۱۶	۰/۳۲۵

اثر عوامل محیطی بر ترکیب گونه‌ای منطقه

نتایج حاصل از آنالیز چند متغیره CCA نشان داد که اثر عوامل محیطی شامل ارتفاع و بافت، درصد کربن آلی، درصد رطوبت، اسیدیته خاک و عناصر غذایی اصلی بر روی ترکیب پوشش گیاهی منطقه معنی‌دار بوده است. بر اساس دیاگرام دوبعدی حاصل از CCA (شکل ۲) می‌توان اظهار داشت که محور اول و دوم ۰/۷۹ و ۰/۷۳ درصد از تغییرات در رابطه محیط و تنوع گونه را تشریح نمودند. همچنین عوامل خاکی شامل درصد شن با جهت مثبت محور اول و دوم، درصد سیلت، آهک، رطوبت، مواد آلی و ارتفاع با جهت منفی محور اول و مثبت محور دوم، درصد رس و نیتروژن با جهت منفی محور اول و

دوم و نیز پتاسیم، فسفر، اسیدیته و هدایت الکتریکی با جهت مثبت محور اول و منفی محور دوم همبستگی نشان می‌دهند. با توجه به شکل (۲) در قسمت مثبت محور اول و دوم، درصد شن بیشترین تأثیر را دارد. گونه‌های *Artemisia sieberi*، *Sisymbrum lrio*، *Teucrium polium* با درصد شن همبستگی بالا و مثبت و با اسیدیته، هدایت الکتریکی، پتاسیم و فسفر همبستگی بالا و منفی دارند. همچنین مقدار پتاسیم، فسفر، اسیدیته و هدایت الکتریکی همبستگی بالایی با یکدیگر دارند و با عوامل ارتفاع، رطوبت، کربن آلی، آهک و سیلت منطقه همبستگی بالا و منفی دارند یعنی با زیاد شدن عوامل اولیه عوامل دیگر کاهش می‌یابد و بالعکس. همچنین میزان شن با میزان ازت و رس همبستگی منفی دارند. در قسمت محور منفی محور اول و مثبت محور دوم، ارتفاع از سطح دریا، مقدار آهک، مواد آلی، رطوبت بیشترین تأثیر را دارد و با میزان سیلت همبستگی بالا و مثبتی دارند و که گونه‌های *Amygdalus*، *Salvia officinalis*، *Dorema ammoniacum*، *Convolvulu arvensis*، *lycoides*، *Acantholimon bracteatum* با عوامل محیطی رطوبت، ارتفاع، آهک، کربن الی و درصد سیلت منطقه همبستگی بالا و مثبت و با عوامل ازت و درصد رس همبستگی بالا ولی منفی دارند؛ اما تأثیر درصد سیلت در ربع دوم بسیار کمتر از عوامل دیگر بوده است. در ربع منفی محور اول و محور دوم، میران ازت و رس بیشترین تأثیر را دارند. همچنین گونه‌های *Ferula*، *Ferula ovina*، *assafoetida*، *Achanthophyllum microcephalum*، *Platago lanceolata*، *Bunium persicum*، *Pistacia khinjuk*، *Cyndon dactylon* با مقدار ازت و رس همبستگی بالا و مثبت و با عوامل رطوبت، ارتفاع، آهک، کربن الی و درصد سیلت همبستگی بالا ولی منفی دارند. در قسمت مثبت محور اول و منفی محور دوم، میزان اسیدیته، هدایت الکتریکی بیشترین تأثیر دارند. گونه‌های *Achillea millefolium*، *Artemisia aucheri*، *Stipa barbata*، *Alhaji camelorum*، Ziziphora tenuior، *Bromus tectorum*، *Rheum ribes*، *Eurotia ceratpides*، *Salsola tomentosa* با عوامل پتاسیم، سدیم، اسیدیته و هدایت الکتریکی همبستگی بالا و مثبت و با مقدار شن همبستگی بالا و منفی دارند. گونه‌های نظیر Tamarix serotina، *Pistacia atlantica*، *Peganum harmalla*، *Artemisia sieberi*، *Tymus kotschyanus*، *Sanguisorba minor*، *Eurotia ceratpides* جز گیاهانی هستند که تعداد آن‌ها در محیط کم بود و پراکنش کمی در منطقه دارند.

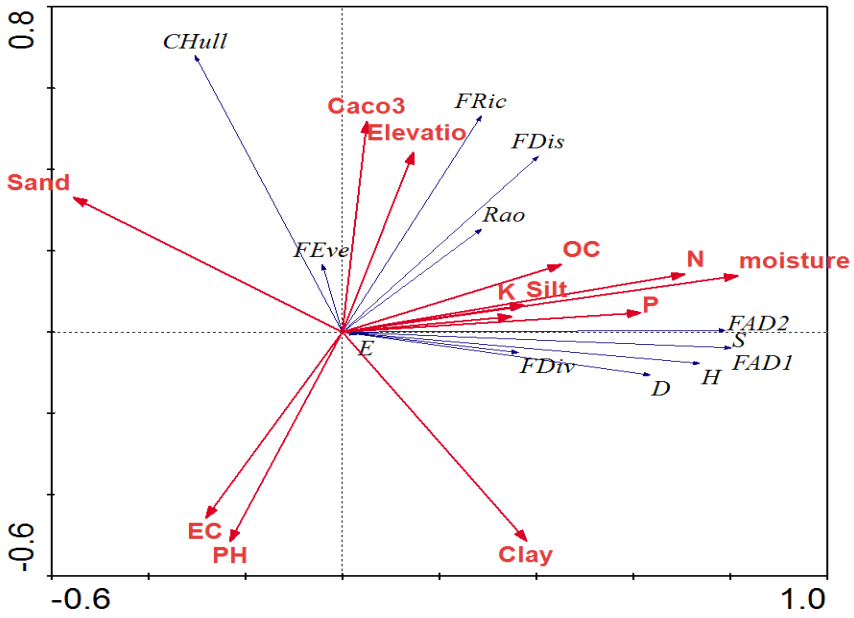


شکل ۲- ارتباط گونه‌های گیاهی منطقه با عوامل محیطی در آنالیز CCA

اثر عوامل محیطی بر شاخص‌های تنوع کارکردی و گونه‌ای منطقه

همانطوریکه در شکل ۳ دیده می‌شود در سمت مثبت محور اول و دوم مقدار رطوبت، ارتفاع از سطح دریا و آهک در بین متغیرهای محیطی بیشترین تأثیر را در مقدار شاخص‌های تنوع کارکردی داشته است و دارای تأثیر همسو و مثبت با پتاسیم، فسفر، ازت، سیلت و مواد آلی می‌باشد. در قسمت منفی محور اول و مثبت محور دوم درصد شن بیشترین تأثیر را داشته است و با میزان اسیدیته و هدایت الکتریکی تأثیر همسو و مثبتی دارند. در قسمت منفی محور اول و دوم میزان اسیدیته و هدایت الکتریکی و در قسمت مثبت محور اول و منفی محور دوم درصد رس بیشترین تأثیر رادارند. شاخص-های رائو، غنای کارکردی و پراکندگی کارکردی و FAD2 با عوامل محیطی آهک، ارتفاع، مواد آلی، سیلت، پتاسیم، ازت، فسفر و رطوبت همبستگی بالا و مثبت دارند و همچنین با درصد رس همبستگی بالا و منفی دارند. شاخص‌های تنوع سیمپسون، شانون-واینر، شاخص غنای گونه‌ای، یکنواختی گونه-

های، شاخص تنوع واگرایی کارکرد و FAD1 با میزان رس همبستگی بالا و مثبت و با میزان آهک، ارتفاع، مواد آلی، سیلت، پتاسیم، ازت، فسفر و رطوبت همبستگی بالا و منفی دارند. شاخص‌های چند وجهی محدب و یکنواختی کارکردی با میزان درصد شن همبستگی بالا و مثبت و با میزان اسیدیته و هدایت الکتریکی همبستگی بالا و منفی دارند. هیچ کدام از شاخص‌های موجود با میزان اسیدیته و هدایت الکتریکی همبستگی مثبت ندارند (شکل۳).



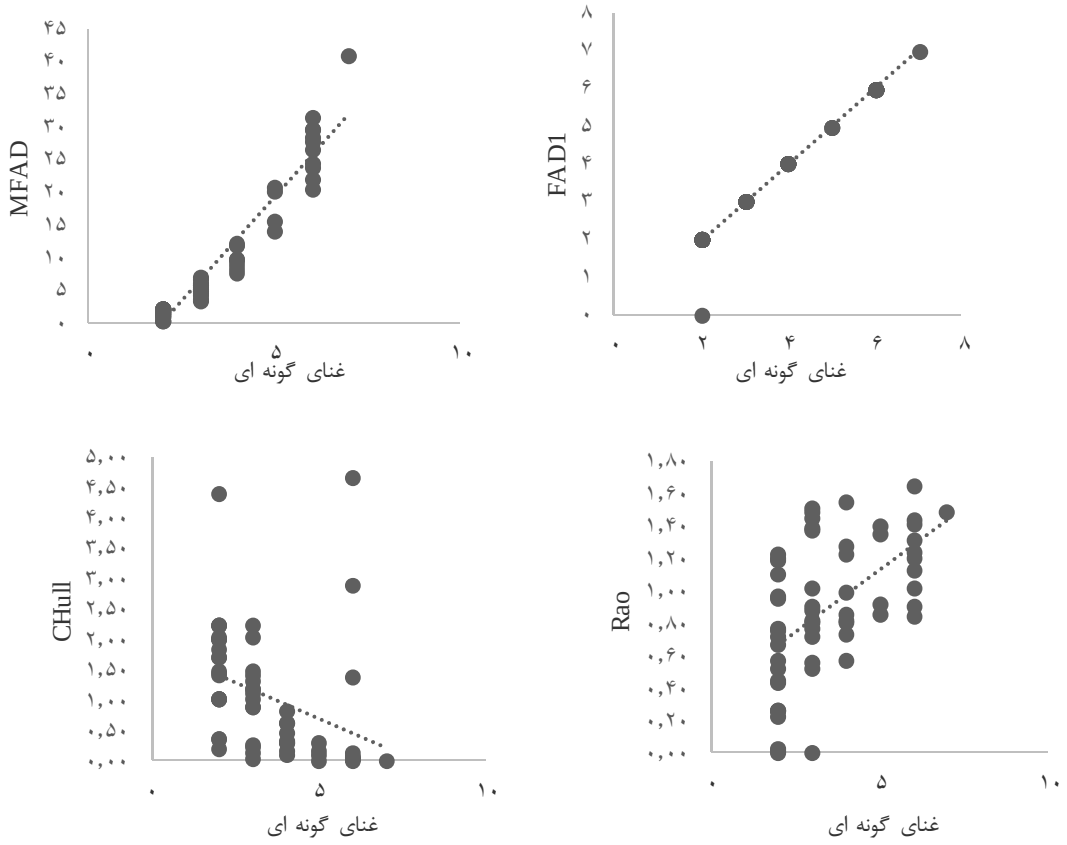
شکل ۳- ارتباط شاخص‌های تنوع کارکردی و گونه‌ای با عوامل محیطی در آنالیز RDA

S: غنای گونه‌ای،D : تنوع گونه‌ای، E: یکنواختی، FAD: شاخص تنوع کارکردی، FEve: شاخص یکنواختی، FDiv: شاخص تنوع کارکردی، CHull: شاخص چند وجهی محدب، FDis: شاخص پراکندگی کارکردی، Rao: شاخص رائو

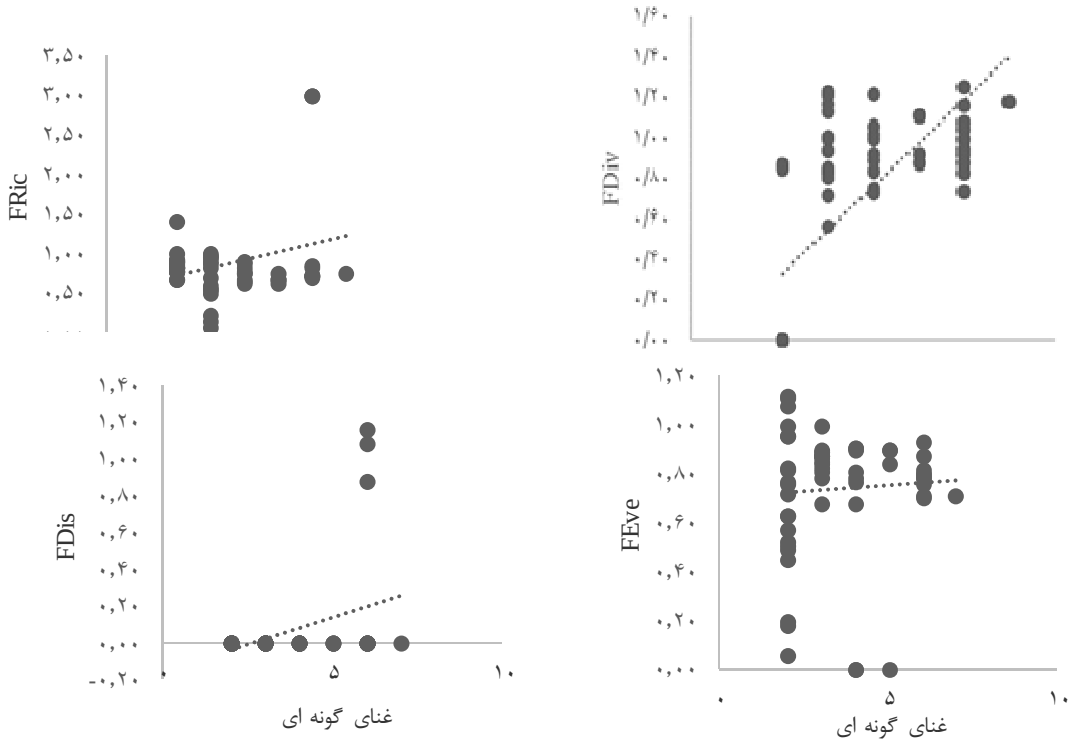
ارتباط بین شاخص‌های تنوع کارکردی و غنای گونه‌ای

نتایج ارتباط بین شاخص‌های تنوع کارکردی و غنای گونه‌ای نشان داد که اکثر شاخص‌ها با افزایش غنا گونه‌ای نیز افزایش پیداکرده است. تنها شاخص چند وجهی محدب با افزایش غنای گونه‌ای کم شده

است و شاخص‌های یکنواختی کارکرد و غنای کارکرد با غنای گونه‌ای ارتباط زیادی نداشته‌اند (شکل ۳).



شکل ۳- تغییرات هشت شاخص مذکور تنوع کارکردی (Rao, Chull, FDis, FEve, FAD1, MFAD, FDiv, Fric) نسبت به غنای گونه‌ای



ادامه شکل (۳)

بحث و نتیجه‌گیری

در منطقه مورد مطالعه شاخص‌های تنوع موردبررسی هر کدام تحت تأثیر عوامل مختلف قرار گرفتند. دو شاخص شانون و سیمپسون تأثیرپذیری بیشتری از عوامل درصد رطوبت خاک، درصد نیتروژن، پتاسیم، فسفر، مواد آلی و درصد سیلت داشتند و با شاخص‌های درصد رس، کربنات کلسیم و ارتفاع از سطح دریا ارتباط کمتری نشان دادند که با نتایج دوبویس و همکاران (Dubuis et al., 2013) هم‌خوانی دارد. ازآنجاکه یکی از عوامل اصلی محدود کننده رشد گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک کمبود آب و رطوبت می‌باشد، لذا ایجاد چنین همبستگی منطقی به نظر می‌رسد. با افزایش مقدار بارش و نیز رطوبت نسبی هوا و خاک، شرایط برای رشد گیاهان به‌ویژه در مناطق خشک فراهم شده و گونه‌های مختلف یک‌ساله و چند ساله افزایش می‌یابد (He et al., 2007). شاخص غنای گونه-ای در طول گرادیان ارتفاعی تغییر زیادی داشته و دلیل آن به توپوگرافی منطقه بر می‌گردد که باعث ایجاد شرایط اقلیمی متفاوت بین نقاط مرتفع و کم ارتفاع شده و محیط‌های متنوعی برای رشد گونه-

های گیاهی به وجود آورده است که با یافته‌های ماسون و همکاران (Mason et al., 2013) مطابقت دارد. نقش رطوبت در ایجاد تنوع نیز می‌تواند به دلیل سهم آن در شکل‌دهی و تهویه ساختمان خاک باشد. بنابراین تنوع گونه‌ها بیشتر متأثر از فراوانی و تعدد گونه‌ها بوده و با تغییر مقدار رطوبت خاک، بارندگی، رطوبت نسبی و جهات جغرافیایی، مقدار این شاخص‌ها نیز تغییر می‌کنند. بافت خاک نیز از طریق عامل درصد رس بر ایجاد تنوع در این منطقه مشارکت دارد که نتایج حاصل با نتایج مطالعات دوبویس و همکاران (Dubuis et al., 2013) هم‌خوانی دارد. در مطالعه حاضر عامل ارتفاع تأثیر زیادی بر روی گیاهان و شاخص‌های تنوع گونه‌ای و کارکردی داشت که می‌توان این تأثیر را به‌صورت غیر مستقیم، از طریق تأثیری که ارتفاع بر میزان بارندگی و رطوبت خاک می‌گذارد بررسی کرد که با نتایج واندزل و همکاران (Wondzell et al., 1990) و روسیر (Rossier, 2011) مشابه است. با افزایش هدایت الکتریکی میزان املاح شور کننده در خاک افزایش می‌یابد، سبب محدودیت رشد بعضی از گونه‌ها می‌شود و از تنوع گونه‌ای و یکنواختی کاسته می‌شود، همچنین با افزایش ضریب اشباع‌پذیری فعالیت گیاهان خشکی‌پسند و میانه دچار رکود می‌شود، در نتیجه تنوع گونه‌ای و یکنواختی کاهش می‌یابد که با یافته‌های جعفریان و همکاران (۱۳۸۹) مشابه است. ماسون و همکاران (Mason et al., 2013) در شناسایی تغییرات در طول گرادیان تنش در فرآیندهای جمع‌پذیری جوامع گیاهی بیان داشتند در بین شاخص‌های تنوع کارکرد، شاخص‌های غنای کارکرد و واگرایی کارکرد بالاترین عملکرد را داشتند که برخلاف نتایج ما می‌باشد. این بدان علت است که اثرات غنای گونه‌ای را در سه سطح (تنش کم، متوسط و شدید) بررسی نمودند، اما در این تحقیق غنای گونه‌ای در یک سطح و پایدار در نظر گرفته شده است. در شرایط کوهستانی و سرد منطقه مورد مطالعه، منابع غذایی در دسترس گیاهان کمیاب هستند و عمدتاً گونه‌هایی که سطح مخصوص برگ آن‌ها کم می‌باشد قادر به حفظ منابع به جای بهره‌برداری از منابع در برگ‌های خود و تحمل آن شرایط هستند (Pellissier et al., 2010). گونه‌هایی که بیشتر در ارتفاعات بالاتر رویش دارند جز گونه‌های حفاظتی محسوب می‌شوند. انتظار می‌رود که گونه‌هایی که از مقاومت بیشتر و بسته نوع به فرم رویشی خود با پیش‌بینی‌گرهای خاکی همبستگی داشته باشند و به طور مستقیم تغذیه گیاه مانند میزان نیتروژن و فسفر را تغییر می‌دهد یا به طور غیر مستقیم از طریق اسیدیته و بافت خاک بر مواد غذایی و آب در دسترس تأثیر دارند که نتایج ما با یافته‌های ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2015) مطابقت دارد. عناصر نیتروژن و پتاسیم از عناصر محدود کننده رشد گیاه می‌باشند. نیتروژن به عنوان یک شاخص کیفی خاک می‌باشد و به عنوان یک شاخص شیمیایی خاک‌های مناسب، تشخیص داده شده است. در چنین خاک‌های غنی، رقابت گیاهان برای به دست آوردن مواد غذایی کمتر بوده و بیشتر در کسب نور رقابت می‌کنند. در نتیجه گیاهانی که توان رقابت نوری ندارند از بین رفته و تنوع و غنا کاهش می‌یابد (Buri et al.,

2017). خصوصیات فیزیکی خاک نقش مهمی از دید اکولوژیکی دارد. توسعه سریع ریشه‌ها، نفوذ، حفظ و به کارگیری منابع آب به خصوصیات فیزیکی خاک مرتبط است. بافت خاک از جمله خصوصیات مهم فیزیکی خاک تلقی می‌شود. در جاهایی که بافت خاک لومی و شنی است گونه‌های بیشتری مستقر شده و تنوع و غنای گونه‌ای بالا می‌رود.

سانگ و همکاران (Song et al., 2014) نیز به نتیجه رسیدند که تنوع کارکردی و گونه‌ای بسته به شرایط محیطی و شدت اختلال می‌توانند باهم همبستگی مثبت یا منفی داشته باشند و یا همبستگی نداشته باشند که با یافته‌های ما همخوانی دارد. مقدار شاخص غنای کارکردی (طول بردار) زیاد بوده است که نشان از تفاوت بیشتر گونه‌ها از نظر کارکرد دارد و با شاخص رائو و پراکندگی کارکردی همسو بوده، شاخص پراکندگی فاصله گونه‌ها از مرکز همه گونه‌ها در فضای چند بعدی را نشان می‌دهد، هر چه فاصله بین گونه‌ها بیشتر باشد فاصله گونه‌ها از مرکز بیشتر بوده و این شاخص بیشتر شده و تنوع کارکردی بیشتر می‌شود که با نتایج کازانو و همکاران (Casanoves et al., 2011) و منصوری و همکاران (۱۳۹۲) هم‌خوانی دارد. شاخص رائو زمانی که بی‌نظمی بیشتر باشد، بیشتر است. پس می‌توان گفت زمانی که کارکرد گونه‌ها متفاوت باشد، بی‌نظمی آن‌ها بیشتر شده و فاصله گونه‌ها از مرکز نیز بیشتر می‌شود و در نتیجه شاخص رائو و غنای کارکرد و پراکندگی نیز بیشتر می‌شوند (Sebastian, 2004 ،Dubuis et al., 2013). شاخص‌های نظیر واگرایی کارکرد، تنوع ویژگی کارکرد و تنوع ویژگی کارکرد اصلاح‌شده با شاخص تنوع شانون، سیمپسون، غنا و یکنواختی گونه‌ای در یک راستا قرار دارند، بنابراین می‌توان گفت که با افزایش تنوع، غنا و یکنواختی نیز افزایش داشته است و پایداری و کارکرد سیستم نیز بیشتر می‌شود. همان‌طور که گفته شد شاخص تنوع ویژگی کارکرد به تعداد ویژگی استوار است و به‌کل ویژگی‌های گیاهی یک جامعه یا نمونه گفته می‌شود بنابراین با افزایش تنوع، غنا و یکنواختی گونه‌ای در منطقه در راستای افزایش تعداد گونه و کل ویژگی‌های گونه‌ای، این شاخص نیز بیشتر می‌شود (Walker and Longridge, 2002). شاخص یکنواختی کارکرد و جحم چند وجهی در یک راستا و برخلاف شاخص‌های تنوع، غنا و یکنواختی هستند، بنابراین می‌توان گفت که با افزایش تنوع، غنا و یکنواختی ازلحاظ ویژگی‌های گیاهی متفاوت‌تر شده‌اند و یکنواختی در ویژگی‌های آن‌ها کم می‌شود (Tahmasebi et al., 2017). ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2015) نیز بیان کردند که تنوع کارکرد همبستگی بالایی با تراکم تخریب، شیب و ارتفاع از طریق تأثیری که بر میزان رطوبت می‌گذارند، دارند، همچنین در تحقیق ایشان تنوع کارکرد با تنوع گونه‌ای و یکنواختی نیز همبستگی داشت که با نتایج ما مشابه است. روسیر (Rossier, 2011) نیز بیان کرد که متغیرهای محیطی و آب و هوایی مهم‌ترین پیش‌بینی کننده‌ها برای تنوع کارکردی گونه‌ها هستند. در

نقاط ارتفاع میانی تنوع و فراوانی به طور چشمگیری افزایش داشته است بنابراین در کنار آن نیز تنوع کارکردی نیز افزایش داشته است. ارتباط قابل‌توجه بین تنوع کارکردی با غنا و تنوع در نتایج ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2014) تائید شده است. نتایج نشان می‌دهد که ارتفاع بر شاخص‌های تنوع کارکردی تأثیر دارد که با نتایج برخی محققین مطابقت دارد (Bu et al., 2014; Zhang et al., 2014; Duivenvoor and Cuello, 2012). با توجه به کوهستانی بودن منطقه مورد مطالعه می‌توان گفت عوامل فیزیوگرافی از طریق تأثیر اقلیم و خصوصیات خاک در پراکنش و حضور گونه‌های گیاهی تأثیرگذار می‌باشند. هدایت الکتریکی در قسمت منفی محور اول و مثبت محور دوم دیاگرام حاصل از آنالیز CCA بیشترین تأثیر را داشته که حضور بعضی از گونه‌های مذکور شور پسند *Salsola tomentosa* و *Tamarix serotina* مؤید این مطلب است. هر چه میزان شوری و املاح در خاک زیادتر باشد، امکان رشد و نمو گیاهان محدودتر می‌شود به طوری‌که تعداد گونه‌های کمتری حضور خواهند داشت. گیاهان قادرند یون‌های موردنیاز خود را در صورت برابری نسبت ثابت و معین بین یون-های موجود در خاک جذب کنند. نامتناسب بودن نسبت یونی در خاک‌های دارای املاح زیاد، جذب یون‌های مذکور را توسط ریشه گیاهان مختل ساخته و موجب اختلالاتی در رشد و پراکنش آن‌ها می-گردد (Song et al., 2014). در این منطقه میزان درصد رس بالاست، شوری خاک باعث فشرده شدن خاک و ایجاد مشکل زه‌آب می‌شود لذا با افزایش هدایت الکتریکی و ضریب اشباع‌پذیری تنوع گونه‌ای و یکنواختی کاهش می‌یابد (Masa et al., 2003). در دیاگرام حاصل از آنالیز CCA ارتباط مثبت این دسته از گیاهان با عوامل شوری خاک محسوس است. برخی از پژوهشگران نظیر زارع چاهوکی و همکاران (۱۳۸۸) عامل شوری خاک را از مهم‌ترین عوامل خاکی مؤثر در استقرار جوامع گیاهی معرفی نمود. در مورد اسیدتیه خاک، pH در تمام منطقه مورد مطالعه بالاتر از ۷ بوده است، بنابراین محیط خاک در کل منطقه، خنثی به سمت قلیاییت خاک است که به طور مستقیم یا غیر مستقیم رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مهم‌ترین نقش قلیاییت خاک کنترل حلالیت عناصر غذایی در خاک است. بالا بودن pH خاک در این منطقه می‌تواند به دلیل کمبود بارندگی باشد که باعث تجمع بازهای تبادلی در خاک و در نتیجه خاک قلیایی می‌شود (Hooper et al., 2000). در ربع سوم علاوه بر تأثیر زیاد هدایت الکتریکی میزان pH خاک نیز زیاد بوده و به‌طرف قلیاییت رفته است. این دو عامل میزان هدایت الکتریکی و pH با هم در ارتباط مستقیم و مثبتی بوده و باهم تأثیر بر گیاهان مشترکی داشته-اند (Hooper et al., 2000; Thuiler et al., 2008; Bu et al., 2014). بیشترین میزان کربنات کلسیم در ربع دوم قرار داشته و اثر بر میزان pH و هدایت الکتریکی خاک دارای اثر غیر مستقیم و منفی بوده است. وجود آهک در pH خاک مؤثر بوده و باعث خنثی شدن اسیدیته خاک می‌شود، بنابراین می‌توان آن را از عوامل محدود کننده رشد و انتشار گیاهان به حساب آورد. آهک قابلیت نفوذ

خاک را زیاد کرده و در گرم نمودن آن مؤثر است. نتایج تحقیق حاضر در این زمینه با یافته‌های دوبویس و همکاران (Dubuis et al., 2013) همخوانی دارد. در آنالیز CCA گیاهان عکس‌العمل‌های زیادی را نسبت به میزان آهک خاک‌نشان دادند، بعضی از گیاهان مانند *Berberis vulgaris*، *Bromes danthonia*، *Convolvulu arvensis*، *Dorema ammoniacum*، *Salvia officinalis*، *Amygdalus lycoides*، *Acantholimon bracteatum*، *Ranunculus arvensis*، *Echinops persicusl* در ارتباط مستقیم با آهک وجود داشتند، سایر گیاهان ارتباط چندان مستقیمی با درصد آهک نداشته‌اند. می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تنوع کارکردی گیاهان جایگزین بسیار مناسبی برای شاخص‌های تنوع گونه‌ای هستند، زیرا به ویژگی‌های کارکردی گیاهان اشاره دارند و به صورت مستقیم با گیاهان در ارتباط نیستند. شاخص‌های گونه‌ای در ارتباط با عوامل محیطی بوده‌اند و به تبعیت از آن‌ها شاخص‌های کارکردی نیز با عوامل محیطی دارای همبستگی مثبت یا منفی داشتند، یا اینکه همبستگی نداشتند. عوامل محیطی نیز بر روی گیاهان منطقه تأثیر مثبت یا منفی داشتند. نتایج این پژوهش می‌تواند در پروژه‌های اجرایی مورد استفاده قرار بگیرد به این دلیل که ویژگی‌های کارکردی شدت و جهت تغییرات اکوسیستم را در نتیجه عوامل خاکی به‌خ وبی نشان می‌دهند و در درک فرآیند-های اکولوژیکی نظیر تشکیل توالی و پایداری اجتماعات به ما کمک می‌کنند. همچنین از ویژگی‌های کارکردی گیاهی می‌توان به عنوان ابزار مدیریتی برای ارزیابی اثرات تخریب بر اکوسیستم‌های طبیعی استفاده نمود.

منابع

جعفری حقیقی، م.۱۳۸۲. تجزیه و تحلیل ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، انتشارات ندی ضحی، ۲۳۶ صفحه.

جعفریان ز.، ارزانی ح.، زاهدی ق.، آذرنیوند، ح. ۱۳۸۹. کاربرد آنالیز تشخیصی برای تعیین ارتباط پراکنش گونه‌های گیاهی با عوامل محیطی و داده‌های ماهواره‌ای در مراتع رینه استان مازندران. پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی)،۲۳ (۳): ۶۴-۷۱.

زارع چاهوکی، م.، جعفری، م.، آذرنیوند، ح.، شفیع‌زاده، م. ۱۳۸۶. مقایسه روش‌های مدل‌سازی برای پیش‌بینی احتمال حضور گونه‌های گیاهی در مراتع خشک و نیمه‌خشک (مطالعه موردی: مراتع پشت کوه استان یزد). مجله علمی پژوهشی مرتع، ۴: ۳۴۲-۳۵۶.

طهماسبی، پ. ۱۳۸۸. تجزیه و تحلیل عملکرد اکوسیستم مرتعی، انتشارات پلک، ۲۲۴ صفحه.

کارگر، م.۱۳۹۴. پیش‌بینی پراکنش برخی ویژگی‌های کارکردی گونه‌های مرتعی در مراتع لاسم، رساله دکتری گروه مرتع‌داری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری،۱۷۰ صفحه.

مقدم، م.ر. ۱۳۸۷. مرتع و مرتع‌داری، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۶۹ صفحه.

منصوری ز.، طهماسبی پ.، سعیدفر م.، شیرمردی، ح. ع. ۱۳۹۲. پاسخ تنوع عملکرد جوامع گیاهی به چرای حیوانات در طول شیب تغییرات بارش به منظور حفاظت مناطق استپی و نیمه استپی، نشریه حفاظت زیست‌بوم گیاهی. ۱ (۳) :۹۱-۱۰۴.

Bu, W., Zang, R., Ding, Y. 2014. Functional diversity increases with species diversity along successional gradient in a secondary tropical lowland rainforest. Tropical Ecology, 55(3): 393-401.

Buri, A, Cianfrani, C, Pinto-Figueroa, E, Yashiro, E, Spangenberg, J, Adatte, T, Verrecchia, E, Guisan, A, Pradervand, J.N. 2017. Soil factors improve predictions of plant species distribution in a mountain environment. Progress in Physical Geography: Earth and Environment 41(6): 703-722.

Casanoves, F., Pla, L., Di Rienzo, A., Díaz, S. 2011. FDiversity: a software package for the integrated analysis of functional diversity: Ecology and Evolution, 2(3): 233-237.3.

Comstock, J.P. Ehleringer, J.R. 1992. Plant adaptation in the Great Basin and Colorado Plateau. Naturalist, 21: 43-52.

Dubuis, A., Rossier, L., Pottie,r J., Pellisseir, L., Vittoz, P., Gusian, A. 2013. Predicting current and future spatial community patterns of plant functional traits. Ecoghraphy, 36: 1-13.

Duivenvoorden, J.F., Cuello, A. 2012. Functional trait state diversity of Andean forests in Venezuela changes with altitude. Journal of Vegetation Science, 23(6): 1105-1113.

Getzin, S., Dean, C.H., He, F., Trofymow, J.A. , Wiegand, K., Wiegand, T. 2006. Spatial patterns and competition of tree species in adouglas-fir cjoronosequenceon Vancouver Island. Ecography, 29: 671-682.

He, M.Z., Zheng, J.G. Li, X. R., Qian, Y.L. 2007. Environmental factors affecting vegetation composition in the Alxa Plateau, China, Journal of Arid Environments 69: 473–489.

Hooper, D.U., Bignell, D.E., Brown, V.K., Brussard, L., Dangerfield, J. M., Wall, D.H. 2000. Interactions between aboveground and belowground biodiversity in terrestrial ecosystems: patterns, mechanisms, and feedbacks. Bioscience, 50 (12): 1049–1061.

Jafarian, Z., Kargar, M., Tamartash, R., Alavi, S.J., 2019. Spatial distribution modelling of plant functional diversity in the mountain rangeland, north of Iran. Ecol Indica,97, 231-238. doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.10.019

Laliberte, E., Legendre, P. 2010. A distance-based framework for measuring functional diversity from multiple traits. Ecology, 91(1): 299–305.

Masa, N.W.H, MacGillivray, K. Steel, J.B., Wilson, J.B. 2003. An index of functional diversity. Journal of Vegetation Science 14:571–578.

Mason, N., de Bello F. Mouillot, D. Pavoine, S. Dray, S. 2013. A guide for using functional diversity indices to reveal changes in assembly processes along ecological gradients, Journal of Vegetation Science 24: 794–806.

Pellissier, L., Fournier, B., Guisan, A., Vittoz, P. 2010. Plant traits co-vary with altitude in grasslands and forests in the European Alps. Plant Ecology, 211:351-365.

R Core Team. , 2014. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL http://www.R-project.org/

Rossier, L., 2011. Predicting spatial patterns of functional traits. PhD thesis in Department of Ecology and Evolution, University of Lausanne, Switzerland, 44 p.

Sebastia,´ M.T. 2004. Role of topography and soils in grassland structuring at the landscape and community scales. Basic and Applied Ecology, 5: 331–346.

Song, Y., Wang, P., Zhou, G. D. 2014. Relationships between functional diversity and ecosystem functioning: A review. Acta Ecologica Sinica, 34: 85-91.

Sonnier, G., Shiply, B., Navas, M.L. 2010. Plant traits, species pools and the prediction of relative abundance in plant communities: a maximum entropy approach. Journal of Vegetion Science, 27: 318-331.

Tahmasebi, P., Moradi, M., Omidpour, R., 2017. Plant functional identity as the predictor of carbon storage in semi-arid ecosystems, Plant Ecology & Diversity. 10: 139-151.

Thuiller, W., C. Albert, M.B. Araujo, P.M. Berry, M. Cabeza, A. Guisan, T. Hickler G.F. Midgely, J. Paterson F.M. Schurr M. Sykes, T., Zimmermann, N.E. 2008. Predicting global change impacts on plant species distributions: future challenges. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, 9: 137–152.

Violle, C. 2007. Let the concept of trait be functional. Oikos, 116: 882-892.

Walker B.H., Langridge, J. L. 2002. Measuring Functional Diversity in Plant Communities with Mixed Life Forms: A Problem of Hard and Soft Attributes. Ecosystems, 5: 529–538.

Wondzell, S, M., Cornelius, J.M., Cunningham, G.L. 1990. Vegetation patterns, microtopography and Soil on a Chinhuhuan desert. Journal of Vegetation science, 1: 403-410.

Zhang J., Li, T., Nie, M. E. 2014. Pattern of functional diversity along an altitudinal gradient in the Baihua Mountain Reserve of Beijing, China: Brazilian Journal of Botany, 37(1): 37–45.

Zhang J. T., Linfeng, J. X. 2015. Variation of plant functional diversity along a disturbance gradient in mountain meadows of the Donglingshan reserve, Beijing, China. Russian Journal of Ecology 46 (2):157-166.