محیط‌شناسی، دورهٔ ٤٥، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۹۸، صفحهٔ ۳۲۹-۳۱۷

ارزیابی تنوع و گروه گونه‌های کارکردی به‌عنوان یکی از شاخص‌های تنوع زیستی در پاسخ به گرادیان ارتفاعی (مطالعهٔ موردی: مراتع چشمه سرخو، راور کرمان)

زینب جعفریان *[۱]، مژده دهقان[۲]، فرهاد برجسته[۳]، منصوره کارگر[٤]

۱. دانشیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.
۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مرتع‌داری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران. Dehghan@yahoo.com
۳. کارشناس ارشد مرتع‌داری، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کرمان، ایران. Farhad.barjasteh@yahoo.com
٤. دکتری علوم مرتع، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان البرز، ایران. Kargar_Sahar@yahoo.com

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۶/۱۱/۳۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰٤/۲۰

چکیده

شناسایی گروه‌های کارکردی و تنوع کارکردی پیشگوی مناسبی برای درک پاسخ به تغییرات محیطی مانند تغییرات ارتفاع بوده و از شاخص‌های تنوع زیستی به شمار می‌رود. هدف از تحقیق حاضر بررسی گروه گونه‌ها و تنوع کارکردی گیاهان در طول گرادیان ارتفاعی به منظور اعمال مدیریت منطبق با شرایط اکولوژیک مرتع چشمه سرخو شهرستان راور استان کرمان است. برای این منظور، ۱۲ نقطه ارتفاعی به فاصله ۱۰۰ متر از هم در نظر گرفته شد و در هر نقطه، در راستای ترانسکتی عمود بر جهت شیب، ۵ پلات نمونه‌برداری مستقر شد. در مجموع ۶۰ پلات برداشت شد. ۲ صفت کارکردی شامل ارتفاع گیاه و فرم رویشی به طور مستقیم در پلات‌ها اندازه‌گیری شد و ۴ صفت دیگر شامل نوع تکثیر، طول عمر، فرم زندگی و نوع تثبیت نیتروژن از منابع گردآوری شد. سپس شاخص‌های تنوع کارکردی با کمک نرم‌افزار FDiversity تجزیه‌وتحلیل شدند و گروه گونه‌های کارکردی نیز استخراج شدند. برای بررسی روابط شاخص‌های کارکرد با عامل ارتفاع از سطح دریا از آزمون تحلیل واریانس و رگرسیون‌های غیرخطی در نرم‌افزار Infostat استفاده شد. نتایج نشان داد که بین شاخص‌های یکنواختی کارکرد، غنای کارکردی و یکنواختی گونه‌ای با ارتفاع رابطهٔ معناداری وجود نداشت و پنج شاخص دیگر رابطه معناداری با ارتفاع نشان دادند. شش گروه گونه کارکردی در منطقه شناسایی شدند. ارتفاع گیاهان بین گروه‌های کارکردی دارای اختلاف معناداری با یکدیگر بودند، اما فراوانی گیاهان اختلاف معناداری با یکدیگر نداشتند. هم‌چنین ویژگی‌های کارکردی شدت و جهت تغییرات اکوسیستم را در نتیجهٔ عوامل محیطی به‌خوبی نشان می‌دهند.

کلیدواژه

ارتفاع گیاهان، تنوع کارکردی، صفات کارکردی، مرتع چشمه سرخو.

۱. سرآغاز

تنوع موجودات زندهٔ اکوسیستم‌های طبیعی در نتیجه مداخله انسان، تغییرات اقلیمی، تأثیرات عوامل مداخله‌گر زنده و غیرزنده به طور روزافزونی کاهش می‌یابد. این موضوع تأثیرات سوئی بر کارکرد و خدمات اکوسیستم خواهد داشت (Violle , 2007) . در دههٔ گذشته پیشرفت‌های چشمگیری در استفاده از پراکنش مکانی گونه‌های گیاهی به منظور درک سازوکارهای بوم‌شناختی، حفظ تنوع زیستی و پیش‌بینی پویایی توده‌های گیاهی و کارکرد جوامع گیاهی انجام شده است (Getzin et al., 2006). در گذشته برای بررسی ارتباط بین کارکرد سیستم‌های اکولوژیکی و تنوع از شاخص‌های کلاسیک

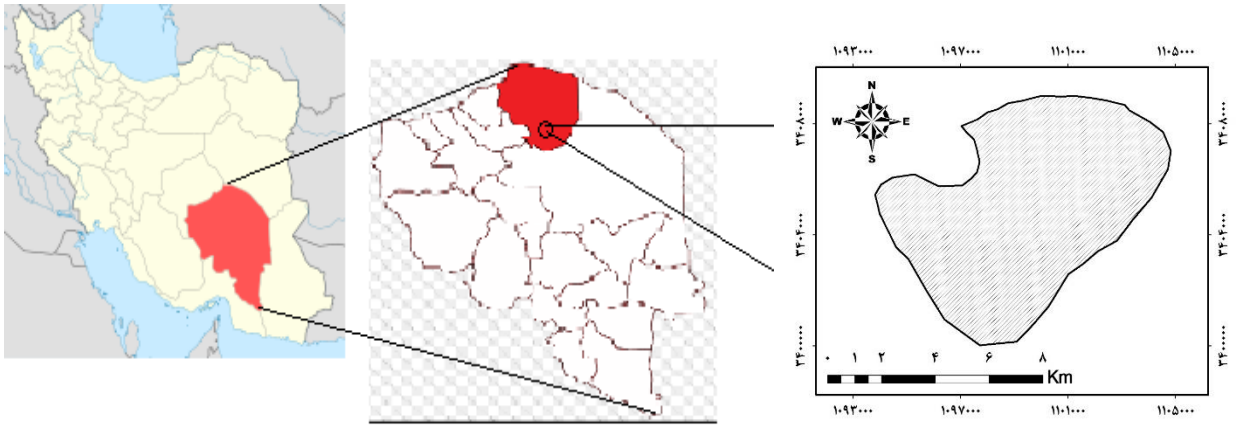
* نویسنده مسئول: Email: Z.Jafarian@sanru.ac.ir

تنوع استفاده می‌کردند که این موضوع مورد انتقاد قرار گرفت چون قادر نبود به‌خوبی ارتباط بین تنوع و کارکرد، و تنوع و پایداری را نشان دهد. به همین دلیل محققان به دنبال استفاده از شاخص‌هایی بودند که بتواند مشکل فوق را حل کند. محققان بهترین راه برای حل مشکل فوق را استفاده از ویژگی‌های گیاهی و دخیل کردن این ویژگی‌ها در شاخص‌های تنوع بیان کردند. بر این اساس مفاهیمی مانند گروه‌ها و ویژگی‌های کارکردی را تعریف کردند. 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 (Dubuis et al., 2013). اکولوژیست‌ها معتقدند که در هر اکوسیستم گروه گونه‌های گیاهی خاصی وجود دارند که بر کارکردی خاص در اکوسیستم بیشترین تأثیر را می‌گذارند (Violle et al., 2007). محدود کردن ارزیابی‌ها به سطح گونه، پیچیدگی‌های موجود در جامعه را به‌خوبی نشان نمی‌دهد. ویژگی‌های کارکردی درون یک جامعه دارای سهم‌های متفاوتی در جریان‌های مختلف اکوسیستم هستند (طهماسبی، ۱۳۸۸). اگر تنها یک گونه از یک گروه کارکرد گیاهی حذف شود گونه‌های دیگر متعلق به این گروه احتمالاً نقش آن را به عهده می‌گیرند و تغییر چندانی در نتیجه حذف آن گونه در جریان اکولوژیکی به وجود نمی‌آید (Sonier et al., 2010). گروه کارکردی (Functional group) شامل گونه‌هایی است که دارای خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و یا فنولوژیکی تقریباً یکسانی هستند یا در یکی از خصوصیات فوق به هم شبیه هستند و احتمالاً از لحاظ پاسخی که به شرایط محیطی زنده و غیر زنده از خود نمایش می‌دهند و هم‌چنین از نظر تأثیری که بر کارکرد آن جامعه دارند یکسان هستند (Violle , 2007). پیدایش هر گونه گیاهی تحت تأثیر عوامل محیطی و روابط بین گونه‌ای است که یک یا چند عامل محیطی تأثیر زیادی در استقرار یک گونه دارند، اگر به گونه‌ای بتوان این عوامل را تعیین و رفتار آن را با متغیرهای محیطی گونه‌های همراه بررسی کرد، دستیابی به مدل‌های پیش‌بینی توزیع گونه امکان‌پذیر خواهد بود (آذرنیوند و زارع چاهوکی، ۱۳۸۹). با این حال، مطالعات کمی در مورد ویژگی‌های کارکردی در سطح جامعه و مکان انجام شده است (Pelessier et al., 2010; Dobuis et al., Rossier, 2011; Sonier et al., 2010; 2013;). در داخل کشور نیز مطالعات بسیار کمی صورت گرفته است. از جمله می‌توان به تحقیقات کارگر (۱۳۹۵) در پیش‌بینی پراکنش مکانی برخی ویژگی‌های کارکردی گونه‌های گیاهی مراتع لاسم اشاره کرد. نتایج حاصل از تجزیه‌وتحلیل گروه‌بندی تغییرات عوامل محیطی بر شاخص‌های تنوع کارکرد بیانگر این مطلب بود که عوامل شیمیایی خاک با ۰/۳۳ درصد نسبت به دیگر عوامل محیطی سبب بیشترین تغییرات تنوع کارکرد گونه‌های منطقه شدند. با توجه به اینکه بیشتر کارهای تحقیقاتی انجام شده در کشور مربوط به بررسی جوامع گیاهی، غنا و تنوع گونه‌ای بوده و تاکنون مطالعه در زمینهٔ تعیین گروه گونه‌های کارکردی و تنوع کارکردی گیاهان بسیار کم انجام شده است و از آنجا که آگاهی از تأثیر عوامل محیطی از جمله گرادیان ارتفاع از سطح دریا بر ویژگی‌های کارکردی که باعث تخریب زیستگاه‌ها، بیوم‌ها و در نتیجه کاهش تنوع گونه‌ای و کارکردی می‌شود ضروری است، چنین مطالعاتی در سطح کشور از جمله مراتع راور ضروری به نظر می‌رسد.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. منطقه مورد مطالعه

مرتع چشمه سرخو 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 قرار گرفته است. حداقل و حداکثر ارتفاع آن به ترتیب ۱۸۸۰ و ۳۰۴۰ متر از سطح دریاست. میزان بارندگی متوسط سالانه آن ۱۴۰ میلی‌متر است.



شکل ۱. محدودهٔ مطالعه شده و موقعیت آن در استان کرمان و در کشور

حداقل و حداکثر دمای آن ۱۷- و ۳۵+ درجهٔ سانتی‌گراد است (شکل ۱). این منطقه طبق تقسیم‌بندی دومارتن جزء اقلیم گرم و خشک محسوب می‌شود. دو نوع تیپ گیاهی شامل تیپ *Artemisia sieberi-Salsola rigida* و تیپ *Artemisia sieberi –Ferula ovina* در منطقه غالب است که به ترتیب ۳۴۸۸ و ۱۶۱۰ هکتار از مساحت منطقه را به خود اختصاص داده‌اند (دهقان، ۱۳۹۵).

۲.۲. روش انجام پژوهش

نمونه‌برداری در 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 همهٔ گونه‌های داخل پلات‌ها ثبت شد. اندازهٔ پلات‌ها با توجه به پوشش گیاهی برای گیاهان علفی ۱ مترمربعی و برای گیاهان بوته‌ای ۴ متر مربعی و برای درختچه‌ای‌ها ۲۵ مترمربعی در نظر گرفته شد. در هر پلات اطلاعاتی نظیر نام گونه‌ها، تعداد گونه‌ها، درصد پوشش، ارتفاع گیاه به‌طور مستقیم اندازه‌گیری شد. ارتفاع گیاهان علفی و بوته‌ای با استفاده از یک خط کش 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 فلور گیاهی دکتر قهرمان و سایت‌های معتبر گردآوری شد. سپس داده‌های جمع‌آوری شده با کمک نرم‌افزار FDiversity که لینک با نرم‌افزار R است (R Core Team., 2014)، تجزیه‌وتحلیل شدند و شاخص‌های تنوع کارکردی و تنوع گونه‌ای برای هر پلات محاسبه شد. در این پژوهش هشت شاخص تنوع کارکردی شامل رائو (Rao)، شاخص چندوجهی محدب (CHul)، غنای کارکرد (FRic)، یکنواختی کارکرد (FEve)، واگرایی کارکرد (FDiv)، پراکندگی کارکرد (FDis)، تنوع ویژگی کارکرد (FAD1) و شاخص اصلاح شده تنوع ویژگی کارکرد (MFAD) استفاده شد (Casanoves et al., 2011).

شاخص رائو طبق معادله زیر به دست خواهد آمد (Rao, 1982):

$$Rao = \sum_{i=1}^{s}\sum_{j=1}^{s} d_{ij}\, w_i w_j = \frac{1}{2} w' DW \quad (۱)$$

شاخص واگرایی کارکرد نیز از رابطه زیر به دست می‌آید (Casanoves et al., 2011):

$$FDvar = \frac{2}{\pi} = arctan(5V) \quad (۲)$$

در این فرمول v واریانس ویژگی گیاهی است.

$V = \sum_{i=1}^{s} wi(Lnxi - \overline{Ln})^2$V از طریق روبه‌رو

محاسبه می‌شود که xi ارزش ویژگی برای گونه i و $\overline{lnx}$ میانگین ارزش ویژگی در نمونه یا جامعه است که از طریق زیر محاسبه می‌شود (Casanoves et al., 2011):

S: تعداد گونه در نمونه

W: درصد فراوانی گونه

$$\overline{lnx} = \sum_{i=1}^{s} WiLnxi \qquad (۳)$$

محاسبه شاخص یکنواختی کارکرد به‌صورت زیر است: تعداد کل شاخه‌ها در MST برای S گونه، S-1 است و هر طول شاخه (b) تقسیم بر مجموع فراوانی‌های گونه‌های مرتبط می‌شود.

که EW_b یکنواختی وزن داده شده است، d_{ij} فاصله اقلیدسی بین گونه‌های i و j در شاخه b هستند، و w_i و w_j فراوانی نسبی این گونه‌ها هستند.

در صورت نظم کامل فراوانی‌ها، همه یکنواختی‌های وزن‌دهی شده برابر خواهد بود، اما در غیراین‌صورت محاسبه یکنواختی وزنی جزئی (PEW_b) با تقسیم EW_b بر مجموع کل شاخه‌های S-1، مفید است.

$$PEWb = \frac{EWb}{\sum_{b=1}^{s-1} EWb} \qquad (۴)$$

زمانی که مقدار PEW_b بین شاخه‌ها متفاوت است، شاخص نهایی کاهش می‌یابد. برای کمی کردن اختلاف، آن‌ها PEW_b را با (S-1) /1 مقایسه کردند، شاخص یکنواختی به‌صورت زیر است (Casanoves et al., 2011):

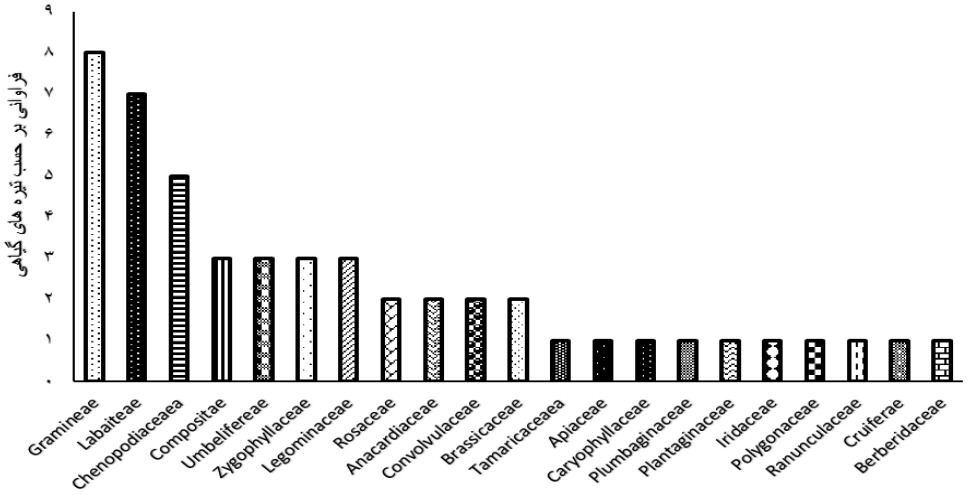
$$FEVe = \frac{\sum_{b=1}^{s-1} \min\left(PWEb, \frac{1}{s-1} - \frac{1}{s-1}\right)}{1 - \frac{1}{s-1}} \qquad (۵)$$

هم‌چنین شاخص‌های تنوع گونه‌ای شانون-واینر، سیمپسون، غنا و یکنواختی گونه‌ای نیز محاسبه شد. اثر ارتفاع از سطح دریا بر تنوع کارکردی و گونه‌ای با کمک آنالیز ANOVA و آزمون‌های مقایسه میانگین دانکن در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۳ بررسی شد. همچنین برای بررسی دقیق‌تر ارتباط بین شاخص‌های تنوع و ارتفاع، از رگرسیون خطی درجه دو استفاده شد. برای این منظور با استفاده از صفات کارکردی و با روش وارد و فاصله اقلیدسی دارنگاره گروه‌ها استخراج شد (Casanoves et al., 2011). سپس ارتفاع و فراوانی گونه‌ها بین گروه‌های کارکردی مقایسه شدند.

$$EWb = \frac{dij}{wi + wj}$$

۳. نتایج

در مجموع در این نمونه‌برداری ۳۸ گونه گیاهی که بیشتر مربوط به خانواده‌های Graminaeae و Labiatae بودند شناسایی شد. گروه‌بندی گونه‌ها بر مبنای طبقه‌بندی زیستی رانکایر نشان داد که همی‌کریپتوفیت‌ها (۳۴ درصد)، کامفیت‌ها (۲۴ درصد)، تروفیت‌ها (۱۶ درصد)، ژئوفیت‌ها (۱۳ درصد) و فانروفیت‌ها (۱۳ درصد)، از گونه‌هایی که در پلات‌های نمونه‌برداری حضور داشتند را به خود اختصاص می‌دهند. در کل مرتع مذکور جزو مراتع ضعیف با تنوع پوشش کم بوده است (شکل ۲).



شکل ۲. فراوانی گونه‌های گیاهی به تفکیک تیره‌های گیاهی

۱.۳. تغییرات شاخص‌های تنوع گونه‌ای و کارکردی در گرادیان ارتفاعی

نتایج نشان داد که تنها شاخص‌های غنای کارکرد، یکنواختی کارکرد و یکنواختی گونه‌ای در ارتفاعات مختلف تفاوت معنادار نداشته‌اند، اما مابقی شاخص‌ها معنادار شده که می‌توان گفت ارتفاع در این شاخص‌ها تأثیر داشته است (جدول ۱).

نتایج مقایسه میانگین شاخص‌های معنادار کارکردی در ارتفاعات مختلف در جدول (۲) آمده است. همان‌طوری که مشاهده می‌شود بیشترین میزان تنوع و غنا کارکردی مربوط به حدود ارتفاعی ۲۳۸۰ تا ۲۶۸۰ متر است.

جدول۱. نتایج آنالیز ANOVA شاخص‌های تنوع گونه‌ای و کارکردی گیاهان در ارتفاعات مختلف

شاخص‌های تنوع گونه‌ای و کارکردی	df	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	Sig
شاخص تنوع شانون- واینر (H)	۱۱	۸/۱۰۴۰	۰/۷۳۶۷	۸/۴۲	۰/۰۰
شاخص تنوع سیمپسون (D)	۱۱	۰/۷۸۶۳۳	۰/۰۷۱۴۸	۷/۸۷	۰/۰۰
شاخص غنای گونه‌ای (S)	۱۱	۱۱۳/۹۳۳	۱۰/۳۸۵	۱۳/۵۱۰	۰/۰۰
شاخص یکنواختی گونه‌ای (E)	۱۱	۰/۴۲۰	۰/۰۳۸	^{ns}۰/۷۹۳	۰/۶۴۶
شاخص رائو یا مربع آنتروپی (Rao)	۱۱	۳/۷۲۴	۰/۳۳۹	۲/۰۰۵	۰/۰۴۹
شاخص حجم چندوجهی محدب (CHull)	۱۱	۱۸/۶۲۸	۱/۶۹۳	۲/۴۲	۰/۰۰۲
غنای کارکرد (FRic)	۱۱	۴/۹۲۱	۰/۴۴۷	^{ns}۱/۶۰۴	۰/۱۲۸
یکنواختی کارکرد (FEve)	۱۱	۰/۸۵۹۸	۰/۰۷۸۳	^{ns}۰/۸۶	۰/۵۸۰
واگرایی کارکرد (FDiv)	۱۱	۴/۶۱۹	۰/۴۲۰	۲/۴۰	۰/۰۰۳
شاخص پراکندگی کارکرد (FDis)	۱۱	۰/۰۱۲۱	۰/۰۹۲۰	۲/۰۵	۰/۰۴
شاخص تنوع ویژگی کارکرد (FAD)	۱۱	۱۲۲/۵۸۳	۱۱/۱۴۴	۱۱/۷۳۰	۰/۰۰
شاخص تنوع ویژگی کارکرد اصلاح شده (MFAD2)	۱۱	۴۵۴/۹۵۶	۴۱۴/۰۸۷	۱۲/۷۷۷	۰/۰۰

جدول ۲. مقایسهٔ میانگین شاخص‌های تنوع کارکردی در گرادیان ارتفاعی

طبقات ارتفاعی (متر)	Rao	CHull	FDiv	FDis	FAD1	FRic
۱۸۸۰	۰/۶۹۲±۰/۲۰۰^{abcd}	۱/۱۸۰±۰/۱۷۷^{bc}	۱/۰۰±۰/۰۶۰^{abc}		۲/۶۰۰±۰/۴۰۰^{ab}	۰/۸۲۸۰±۰/۰۵۷^{a}
۱۹۸۰	۰/۸۳۶±۰/۲۲۸^{abcd}	۱/۰۸۴±۰/۳۳۳^{bc}	۰/۹۶۷±۰/۰۷۷^{bcde}	۰/۰۰^{a}	۲/۲۰۰±۰/۵۸۳^{ab}	۰/۶۷۰±۰/۱۸۴^{a}
۲۰۸۰	۱/۰۲۶±۰/۲۳۹^{abcd}	۰/۵۱۸±۰/۱۵۰^{ab}	۱/۰۸۵±۰/۰۸۳۹^{cde}		۳/۴۰۰±۰/۴۰۰^{bc}	۰/۷۳۶۰±۰/۱۴۹^{a}
۲۱۸۰	۰/۶۰۲±۰/۱۶۸^{abc}	۰/۷۵۲±۰/۳۶۰^{ab}	۰/۷۴۶±۰/۱۰۷^{abcd}		۲/۸۰۰±۰/۳۷۴^{ab}	۰/۷۰۶۰±۰/۱۲۳^{a}
۲۲۸۰	۰/۸۴۴±۰/۱۶۰^{abcd}	۰/۸۴۸± ۰/۴۱۴^{ab}	۰/۸۴۸±۰/۰۷۳^{cde}		۳/۲۰۰±۰/۲۰۰^{bc}	۰/۶۰۰±۰/۱۴۴^{a}
۲۳۸۰	۱/۲۱۰±۰/۰۹۸^{bc}	۰/۴۷۰±۰/۴۴۲^{ab}	۰/۸۹۵±۰/۰۶۹^{abcde}	۰/۴۵۲۰±۰/۲۷۷^{b}	۵/۰۰±۰/۷۷۵^{de}	۱/۶۳۰±۰/۵۵۹^{b}
۲۴۸۰	۱/۱۱۴±۰/۱۰۴^{bcd}	۰/۰۵۰±۰/۰۱۵۸^{a}	۱/۰۱۰±۰/۰۴۴^{de}		۵/۶۰۰±۰/۴۰۰^{e}	۰/۷۳۴۰±۰/۰۳۵^{a}
۲۵۸۰	۱/۲۸۶±۰/۱۵۱^{c}	۰/۷۶۰±۰/۰۳۳^{a}	۱/۰۶۶±۰/۰۷۸^{e}	۰/۱۷۶۰±۰/۱۷۶^{a}	۶/۰۰±۰/۳۱۶^{e}	۱/۲۱۲±۰/۴۴۷^{ab}

ادامه جدول ۲. مقایسهٔ میانگین شاخص‌های تنوع کارکردی در گرادیان ارتفاعی

طبقات ارتفاعی (متر)	Rao	CHull	FDiv	FDis	FAD1	FRic
۲۶۸۰	۱/۰۳۰±۰/۱۱۳^{abcd}	۰/۵۲۵±۰/۲۴۱^{ab}	۰/۹۴۶±۰/۰۵۲^{cde}		۴/۲۰۰±۰/۳۷۴^{cd}	۰/۶۸۸۰±۰/۰۳۶^{a}
۲۷۸۰	۰/۸۹۰±۰/۱۸۸^{abcd}	۱/۹۰۴±۰/۱۳۹^{c}	۱/۲۱۰^{ab}		۲/۲۰۰±۰/۲۰۰^{ab}	۰/۸۶۸۰±۰/۰۲۲^{a}
۲۸۸۰	۰/۴۷۸±۰/۲۰۷^{a}	۱/۲۱۸±۰/۳۶۱^{bc}	۰/۸۵۰^{a}	۰/۰۰^{a}	۱/۶۰۰±۰/۴۰۰^{a}	۰/۶۲۰±۰/۱۶۱^{a}
۲۹۸۰	۰/۵۷۲±۰/۲۵۸^{ab}	۱/۰۵۶±۰/۳۸۸^{bc}	۰/۹۸۵±۰/۱۱۵^{abc}	۰/۰۰^{a}	۱/۸۰۰±۰/۴۸۹^{a}	۰/۶۸۶۰±۰/۱۷۴^{a}

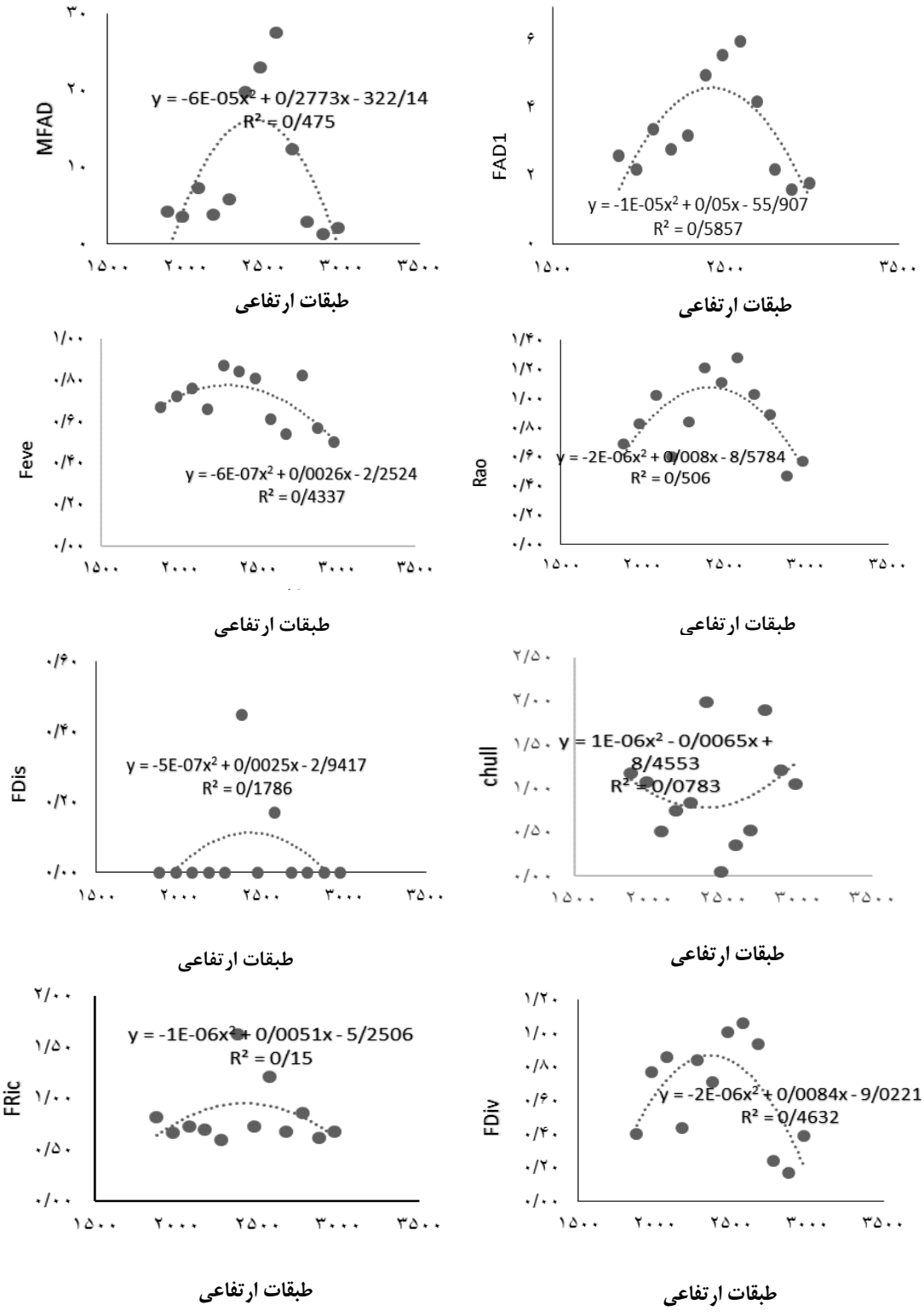
جدول۳. مقایسه میانگین شاخص‌های تنوع گونه‌ای در امتداد ارتفاع

طبقات ارتفاعی	شاخص‌های تنوع گونه‌ای		
	S	H	D
۱۸۸۰	۲/۶۰۰±۰/۴۰۰^{abc}	۰/۸۶۶±۰/۱۳۲^{abc}	۰/۵۴۴±۰/۰۵۲^{abc}
۱۹۸۰	۲/۴۰۰±۰/۴۰۰^{abc}	۰/۷۶۰±۰/۲۰۳^{abc}	۰/۵۹۵±۰/۰۳۸^{abcd}
۲۰۸۰	۳/۴۰۰±۰/۴۰۰^{cd}	۱/۱۵۲±۰/۱۲۹^{cd}	۰/۶۶۰±۰/۰۴۴^{cde}
۲۱۸۰	۲/۸۰۰±۰/۳۷۴^{abc}	۰/۸۶۰±۰/۱۳۸^{abc}	۰/۵۱۰±۰/۰۷۱^{ab}
۲۲۸۰	۳/۲۰۰±۰/۲۰۰^{bcd}	۱/۰۵۲±۰/۰۵۸^{bcd}	۰/۶۲۰±۰/۰۲۲^{bcd}
۲۳۸۰	۵/۰۰±۰/۷۷۴^{ef}	۱/۴۰۸±۰/۱۹۰^{ed}	۰/۷۱۲±۰/۰۶۰^{def}
۲۴۸۰	۱/۶۱۰±۰/۰۶۲^{f}	۱/۶۱۰±۰/۰۶۲^{e}	۰/۷۸۲±۰/۰۱۳^{ef}
۲۵۸۰	۶/۰۰±۰/۳۱۶^{f}	۱/۶۸۴±۰/۰۵۸^{e}	۰/۸۰۲±۰/۰۱۲^{f}
۲۶۸۰	۴/۲۰۰±۰/۳۷۴^{de}	۱/۳۱۶±۰/۱۰۹^{de}	۰/۷۰۴±۰/۰۳۲^{de}
۲۷۸۰	۲/۲۰۰±۰/۲۰۰^{abc}	۰/۷۰۰±۰/۰۹۷^{ab}	۰/۴۶۸±۰/۰۵۷^{a}
۲۸۸۰	۱/۸۰۰±۰/۲۰۰^{a}	۰/۵۲۸±۰/۱۳۲^{a}	۰/۴۶۵±۰/۰۱۵^{a}
۲۹۸۰	۲/۰۰±۰/۳۱۶^{ab}	۰/۵۵۲±۰/۱۴۷^{a}	۰/۴۵۵±۰/۰۲۸^{a}

نتایج حاصل از جدول ۳ بیانگر این مطلب است که شاخص‌های تنوع شانون ـ واینر، سیمپسون و غنای گونه‌ای تفاوت معنادار در ارتفاعات مختلف داشتند. این شاخص‌ها نیز در ارتفاعات میانی افزایش داشتند.

۲.۳. نتایج رگرسیون بین ارتفاع و شاخص‌های تنوع کارکردی

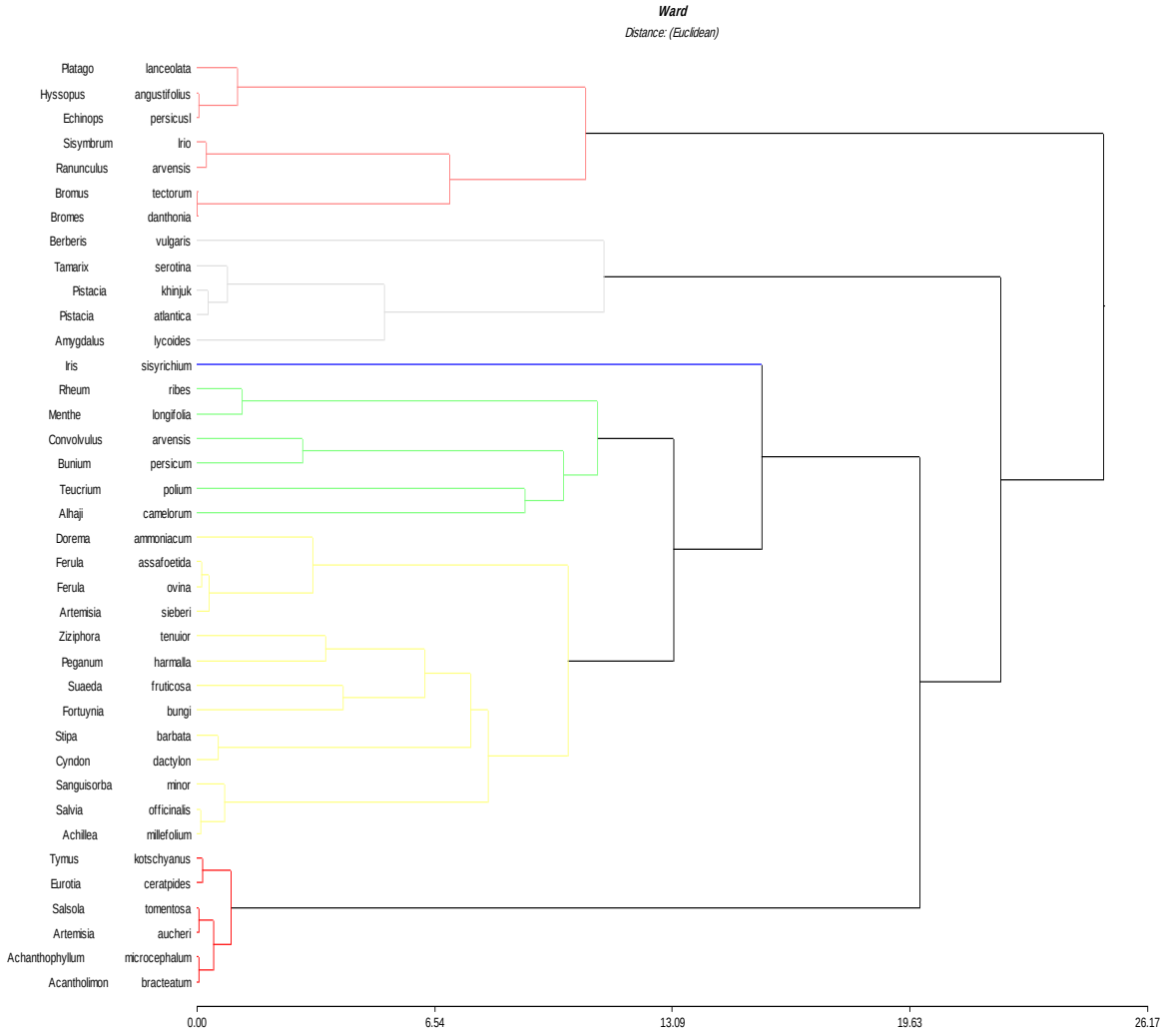
همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود اکثر شاخص‌های تنوع کارکردی یک الگوی تک نمایی را نشان می‌دهند. به این صورت که در ارتفاعات میانی بیشترین مقدار این شاخص‌ها دیده می‌شود. شاخص چندوجهی محدب با R^2 = ۰/۰۷۸ کمترین و شاخص FAD1 با R^2 = ۰/۵۸ بیشترین مقدار R^2 را به خود اختصاص دادند. شاخص پراکندگی کارکرد و واگرایی کارکرد و غنای کارکرد در تمام نقاط ارتفاعی حالت بینابینی دارد و تغییرات زیادی را نداشته است.



شکل ۳. رگرسیون چندجمله‌ای شاخص‌های تنوع کارکردی گیاهی (*Rao, Chull, FDis, FEve, FAD1, MFAD, FDiv, Fric*) در طول گرادیان ارتفاعی

۳.۳. گروه گونه‌های کارکردی در طول گرادیان ارتفاع

با توجه به دندروگرام حاصل از منطقه (شکل ۳) شش گروه گونه گیاهی کارکردی وجود دارد که هر کدام دارای گونه‌های خاصی است که هر چه گونه‌ها از لحاظ ویژگی متفاوت‌تر باشند در گروه‌های متفاوتی از لحاظ کارکرد قرار می‌گیرد و فاصله آن‌ها در فضای خوشه‌بندی زیادتر می‌شود.



شکل ۳. دندروگرام گروه‌های کارکردی گیاهی در منطقه مطالعه شده (جامعهٔ نخست با خطوط صورتی و جامعهٔ دوم با خطوط خاکستری و جامعهٔ سوم با خطوط آبی و جامعهٔ چهارم با خطوط سبز، جامعهٔ پنجم با خطوط زرد و جامعهٔ ششم با خطوط قرمز نشان داده شده‌اند)

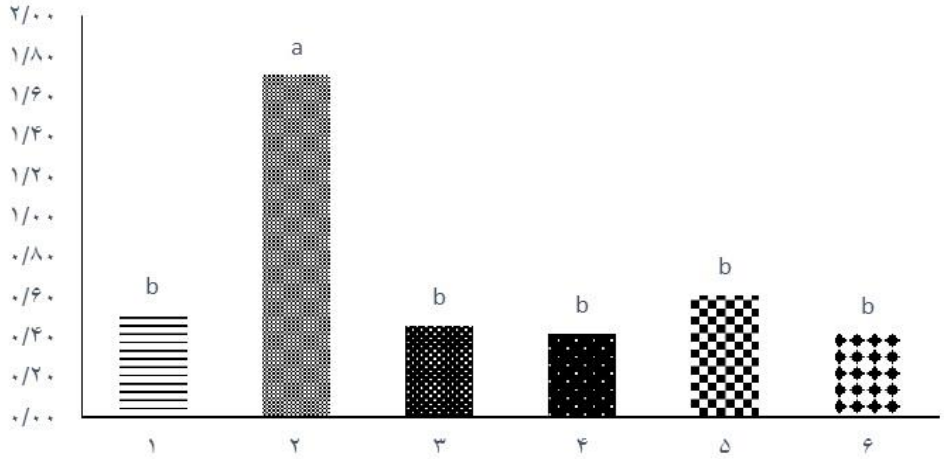
در جدول ۵ برخی از آماره‌های توصیفی مربوط به دو صفت کمی اندازه‌گیری شده در شش گروه کارکردی آمده است، همانطوری‌که نتایج نشان می‌دهد بین فراوانی گروه‌ها باهم اختلاف معناداری وجود ندارد، اما بین ارتفاع گونه‌ها در گروه‌های مختلف کارکردی اختلاف معنادار مشاهده می‌شود. با توجه به شکل (۴) ارتفاع گونه‌های گروه کارکردی دو بیشترین بوده به‌طوری‌که این گروه به‌تنهایی در یک گروه جداگانه قرارگرفته‌اند و ارتفاع گونه‌های گروه‌های دیگر با هم در یک گروه قرار داشتند که با گروه ۲ تفاوت معناداری داشتند.

جدول۴. گونه‌های گیاهی موجود در شش گروه کارکردی

گروه‌های کارکردی	
گروه نخست با ۷ گونه اصلی	*Platago lanceolata, Hyssopus angustifolius, Echinops persicusl, Sisymbrum lrio, Ranunculus arvensis,Bromus tectorum,Bromes danthonia*
گروه دوم با ۵ گونه اصلی	*Berberis vulgaris, Tamarix serotina, Pistacia khinjuk, Pistacia atlantica, Amygdals ycoides*
گروه سوم با ۱ گونه اصلی	*Iris sisyrichium*
گروه چهارم با ۶ گونه اصلی	*Rheum ribes, Menthe longifolia, Convolvulus arvensis, Bunium persicum, Teucrium polium, Alhaji camelorum,*
گروه پنجم با ۱۳ گونه اصلی	*Dorema ammoniacum, Ferula assafoetida, Ferula ovina, Artemisia sieberi, Ziziphora tenuior, Peganum harmalla, Suaeda fruticosa Fortuynia bungi, Stipa barbata, Cyndon dactylon, Sanguisorba minor, Salvia officinalis, Achillea millefolium*
گروه ششم با ۶ گونه اصلی	*, Acantholimon bracteatu Tymus kotschyanus, Eurotia ceratpides, Salsola tomentosa, Artemisia aucheri, Achanthophyllum microcephalum*

جدول ۵. برخی آماره‌های توصیفی و مقایسهٔ میانگین دو صفت کمی فراوانی و ارتفاع گونه‌ها در شش گروه کارکردی

ارتفاع گونه‌ها					فراوانی گونه‌ها			
	میانگین	انحراف معیار	واریانس	Sig	میانگین	انحراف معیار	واریانس	Sig
گروه اول	۵/۲±۰/۰۵۳	۰/۱۴۱	۰/۰۲۰	۰/۰۰۰	۱۰/۴۲±۱/۴۲۸	۳/۷۷۹	۱۴/۲۸۵	۰/۱۶۵
گروه دوم	۰/۶۹±۱۷/۱۸	۰/۱۵۵	۰/۰۲۴		۰/۵۰۹±۶/۴	۱/۱۴۰	۱/۳	
گروه سوم	۰/۰۰۱±۰/۴۷	–	–		۵	–	–	
گروه چهارم	۰/۰۸۳±۴/۳	۰/۲۰۷	۰/۰۴۲		۱/۸۳۹±۱۱/۵	۴/۵۰۵	۲۰/۳	
گروه پنجم	۰/۱۱±۶/۲۲	۰/۴۰۶	۰/۱۶۴		۱/۱۷۴±۹/۶۴۱	۴/۲۳۵	۱۷/۹۳۵	
گروه ششم	۰/۰۵۳±۴/۲۶	۰/۱۳۰	۰/۰۱۶		۱/۷۳۲±۱۲	۱/۲۴۲	۱۸	



شکل ۴. مقایسهٔ میانگین ارتفاع گونه بین شش گروه

۴. بحث و نتیجه‌گیری

تنوع کارکردی شاخص مناسبی برای تعیین روابط کمیت ترکیب، ساختار، کارکرد، و محیط‌زیست در جوامع در نظر گرفته می‌شود (Mason et al., 2013; Zhang et al., 2011; Dubuis et al., 2013). تنوع کارکردی با افزایش ارتفاع از ۱۸۸۰تا ۲۸۸۰ متر افزایش داشته و بالاترین میزان تنوع کارکردی بین ۲۲۸۰ تا ۲۶۸۰ متر بوده و بالاتر از ۲۶۸۰ متر کاهش یافته است. افزایش تنوع کارکردی از ۱۸۸۰ تا ۲۲۸۰ متر به احتمال بسیار به دلیل افزایش بارش است که عاملی کلیدی برای رشد گیاه، بالا رفتن تنوع گونه‌ای و توسعهٔ جامعه گیاهی در مناطق کوهستانی است که با نتایج برخی محققان مطابقت دارد (Sonnier et al., 2010). بالاترین تنوع کارکردی بین ۲۲۸۰ و ۲۶۸۰ متر به علت رطوبت و شرایط مناسب است که با نتایج برخی محققان مطابقت دارد (Greetens, Lee, 2005; Liu & Ren,1992; Hegzy et al., 2007; 2006). هم‌چنین کاهش تنوع کارکردی از ۱۸۸۰ متر به بالا به علت کاهش دما است که عامل محدود کننده برای رشد گیاه و توسعهٔ جامعه در ارتفاعات بالا است که با نتایج He و همکاران (۱۹۹۲) و Zhang (۲۰۱۱) مطابقت دارد. بارش و دما تنوع کارکردی را به طور غیرمستقیم تحت تأثیر قرار داده و هم‌چنین، روی غنای گونه گیاهی و توابع فیزیولوژیکی تأثیر می‌گذارد (Diaze & Cabido, 2001). در منطقهٔ مطالعه شده با افزایش ارتفاع شاخص واگرایی کم شده اما در ارتفاعات میانی بیشتر شده است. کم بودن واگرایی کارکرد نشان می‌دهد که گونه‌ها دارای اختلافات آشیانه‌ای زیادی بر منابع غذایی هستند و در نتیجه رقابت کمتری شکل می‌گیرد. چنین جوامعی دارای کارکرد پایینی هستند (Jafarian et al., 2019; Mason et al., 2013). در این منطقه ارتفاعات میانی بیشترین میزان شاخص رائو را نشان می‌دهد زیرا در این طبقات ارتفاعی تنوع و غنای گونه‌ای زیاد شده هماهنگ با آن میزان بی‌نظمی گونه‌ای نیز زیاد می‌شود و در نتیجه میزان شاخص رائو نیز افزایش می‌یابد. Zoltan (۲۰۰۵) نیز همین نتیجه را گزارش کردند. هرچه درجه بی‌نظمی بالاتر باشد، آنتروپی بیشتر است (Rao, 1982; De Bello et al., 2009). هر چه گونه‌ها از لحاظ ویژگی‌های گیاهی شبیه‌تر باشند فاصلهٔ آن‌ها در فضای چندبعدی شاخص حجم چندوجهی محدب به هم نزدیکتر است در نتیجه تنوع کارکردی نیز کم می‌شود. هر اندازه این حجم بیشتر باشد نشان می‌دهد که تنوع کارکرد بیشتر است (Cernovel et al., 2006). شاخص غنای کارکردی و حجم چندوجهی محدب یک روند کاهشی را طی گرادیان ارتفاعی نشان دادند، زیرا با افزایش ارتفاع، میزان غنا کاهش یافته است بنابراین حجم چندوجهی تشکیل شده از گونه‌های موجود در ارتفاعات بالا کوچک بوده و میزان شاخص چندوجهی نیز کم می‌شود که با مطالعهٔ Zhang و همکاران (۲۰۱۴) همخوانی دارد. شاخص غنای کارکرد، مبتنی بر تعداد ترکیبات ویژگی‌های گیاهی در یک نمونه یا جامعه است. هر چه غنای کارکرد بیشتر باشد نشان از تفاوت بیشتر گونه‌ها از نظر کارکرد دارد (محدوده‌ای از منبع غذایی که به‌وسیلهٔ آشیان اکولوژیک گونه‌ها اشغال شده است). اگر غنای کارکرد کم باشد، نشان می‌دهد که منابع غذایی در محیط هستند که بدون استفاده مانده در نتیجه کارکرد سیستم کم است (De Bello et al., 2009). در منطقهٔ مورد مطالعه میزان شاخص غنای کارکرد در تمام ارتفاعات تغییر چشم‌گیر و معناداری نداشته، زیرا غنای گونه‌ای در منطقه زیاد نبوده و بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در تمام ارتفاعات منابع غذایی به یک اندازه استفاده شده و تغییر ارتفاع اثر معناداری بر روی این شاخص نداشته است. Mason و همکاران (۲۰۱۳) بیان کردند غنای کارکرد و شاخص رائو زمانی که غنای گونه‌ای ثابت است، قدرت کمتری داشته و در غنای گونه‌ای زیاد تا حد بسیاری تحت تأثیر قرار می‌گیرند، که با نتایج ما مطابقت دارد. شاخص پراکندگی کارکرد نشان دهندهٔ میانگین فاصله گونه‌ها از مرکز فضای چندبعدی است که درصد فراوانی در آن دخیل شده است. هرچند فاصله بین گونه‌ها بیشتر باشد فاصلهٔ گونه‌ها از مرکز بیشتر بود و این شاخص بیشتر شده و نشان‌دهندهٔ تنوع کارکرد بالاتر است (Laliberte & Legendre, 2010). بنابراین در ارتفاعات پایین و بالا به دلیل کاهش فراوانی چشم‌گیر گونه‌ها میزان

شاخص پراکندگی کارکردی نیز کاهش یافته اما در ارتفاعات میانی با افزایش فراوانی گونه‌ها این شاخص نیز افزایش داشته است، که با نتایج Zhang و همکاران (۲۰۱۴) مطابقت دارد. شاخص یکنواختی کارکردی، یکنواختی ویژگی گیاهی در یک نمونه یا یک جامعه را نشان می‌دهد که از نظر مفهوم شبیه به شاخص یکنواختی سیمپسون ولی از نظر کارکرد با آن متفاوت است. یکنواختی کارکردی نشان می‌دهد گونه‌ها در تأثیرشان بر کارکرد سیستم چقدر یکنواخت است (De Bello et al., 2009). بنابراین در مطالعهٔ حاضر یکنواختی در ویژگی‌های گیاهی در تمام نقاط ارتفاعی یکسان بوده اگر چه غنا و تنوع گیاهان تغییر زیادی داشته اما گیاهانی که در منطقه وجود داشتند دارای ویژگی‌های متفاوت معناداری نبودند و تغییر چشم‌گیری نداشته بنابراین ارتفاع تأثیر معناداری بر آن نداشته است. شاخص تنوع ویژگی کارکرد (FAD1) تعداد ترکیبات کل ویژگی‌های گیاهی یک نمونه یا جامعه که مساوی یا کمتر از تعداد گونه‌های موجود است (Walker et al., 1999) را نشان می‌دهد، که در این مطالعه با افزایش تعداد گونه‌ها در ارتفاعات میانی کل ویژگی‌های گیاهان نیز افزایش داشته، بنابراین میزان شاخص تنوع ویژگی کارکرد نیز افزایش یافته و در ارتفاعات کم و دشت و هم‌چنین در ارتفاعات کوهستانی و زیاد کاهش داشته است. شاخص FAD1 که معادل غنای گونه‌ای است، در ارتفاعات دارای کمترین عملکرد است. این مطلب مؤید آن است که در شرایطی که غنای کارکرد کم شود استفاده تکمیلی از منابع غذایی اتفاق افتاده و کارکرد کاهش می‌یابد که با یافته‌های Mouchet و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت دارد. شاخص FAD1 در ارتباط مستقیم با تعداد گونه هست، به عبارت دیگر با افزایش تعداد گونه افزایش یا کاهش یابند. در نتیجه برای اصلاح شاخص فوق شاخص MFAD ارائه شد (Schmera & Eros, 2009). شاخص FEve ارزش کارکرد ضعیفی را نشان داد زیرا این شاخص از نظر اکولوژیکی پیچیده است. این شاخص بیشتر ممکن است تحت تأثیر فاکتورهای دیگری مانند رقابت بین گونه‌ای گیاهی یا کاربری اراضی قرار گیرد. یکنواختی کارکرد از دامنهٔ صفر برای عدم یکنواختی تا یک برای یکنواخت تغییر می‌کند که با نتایج Rossier (۲۰۱۱) مطابقت دارد. مقدار شاخص زمانی که فراوانی نسبی گونه‌ها با یکنواختی کمتری توزیع شده باشند و زمانی که فاصله بین گونه‌ها نامنظم است، کاهش می‌یابد که نتیجه این تحقیق نیز مؤید آن است که یکنواختی کارکرد در منطقهٔ مورد مطالعه دارای تغییرپذیری کمی است.

هر چه گونه‌های یک منطقه از لحاظ ویژگی‌ها متفاوت‌تر باشند در گروه‌های متفاوتی از لحاظ کارکرد قرار می‌گیرند و فاصلهٔ آن‌ها در فضای خوشه‌بندی در دندروگرام‌ها زیادتر می‌شود. منطقهٔ مطالعه شده دارای شش جامعهٔ کارکردی گیاهی است. این نتیجه با واقعیت مشاهده شده در طبیعت همخوانی دارد چراکه بیشتر گونه‌های جامعهٔ نخست اغلب یک‌ساله علفی و پهن‌برگ، بیشتر با فرم رویشی تروفیت و همی‌کریپتوفیت هستند، جامعهٔ کارکردی دوم بیشتر شامل گونه‌های درختچه‌ای، چندساله با فرم رویشی فانروفیت هستند، جامعه کارکردی سوم دارای یک گونهٔ زنبق است که از لحاظ تکثیر با همهٔ گونه‌های گیاهی منطقه متفاوت است. جامعهٔ چهارم بیشتر شامل گونه‌های چندساله و پهن‌برگ بودند. جامعهٔ کارکردی پنجم نیز اکثراً شامل گونهٔ چندساله، اکثراً علفی و پهن‌برگ با فرم رویشی همی کریپتوفیت هستند. جامعهٔ ششم دارای گونه‌های چندساله، بوته‌ای و با فرم رویشی کاموفیت است که این تفاوت‌های گونه‌ای سبب تفاوت در کارکرد آن‌ها می‌شود. هر چه تعداد گونه‌های یک خوشه زیادتر باشد تنوع کارکرد آن خوشه زیادتر است (Podani & Schemra, 2006). نتایج مقایسهٔ ارتفاع شش جامعه کارکردی نشان داده که ارتفاع جامعه دوم از جوامع دیگر بیشتر است زیرا شامل درختچه و فرم رویشی فانروفیت است. همهٔ گونه‌های موجود در منطقه از طریق بذر تکثیر پیدا می‌کنند به جز گیاه *Iris sisyrichium* که از طریق غدهٔ زیرزمینی تکثیر می‌شود که در یک جامعه کارکردی جداگانه قرار گرفت. اکثر گیاهان موجود در منطقه خاصیت دارویی دارند.

نتایج این پژوهش می‌تواند در پروژه‌های اجرایی

استفاده شود به این دلیل که ویژگی‌های کارکردی شدت و جهت تغییرات اکوسیستم را در نتیجهٔ عوامل محیطی به‌خوبی نشان می‌دهند و در درک فرایندهای اکولوژیکی نظیر تشکیل توالی و پایداری اجتماعات به ما کمک می‌کنند. هم‌چنین از ویژگی‌های کارکردی گیاهی می‌توان به‌عنوان ابزار مدیریتی برای ارزیابی آثار تخریب بر اکوسیستم‌های طبیعی استفاده کرد.

منابع

آذرنیوند، ح. و زارع چاهوکی، م.ع. ۱۳۸۹. اکولوژی مرتع، انتشارات دانشگاه تهران.۲۳۵ ص.

دهقان،م. ۱۳۹۵. مطالعهٔ تنوع کارکردی گیاهان در طول گرادیان ارتفاعی در مراتع راور استان کرمان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری. ۱۰۲ ص.

طهماسبی، پ. ۱۳۸۸. تجزیه‌وتحلیل عملکرد اکوسیستم‌های مرتعی، انتشارات پلک، تهران، ۲۲۴ ص.

کارگر،م. ۱۳۹۵. پیش‌بینی پراکنش مکانی برخی ویژگی‌های کارکردی گونه‌های غالب مرتعی در مراتع لاسم. رسالهٔ دکتری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ۱۷۶ ص.

Casanoves, F., Pla, L., Di Rienzo, J.A. and Díaz, S. 2011. FDiversity: a software package for the integrated analysis of functional diversity: Ecology and Evolution, 2(3): 233-237.

Cornwell, WK., Schwilk, D.W. and Ackerly, D.D. 2006. A trait-based test for habitat filtering: onvex hull volume. Ecology, 87:1465–1471.

De Bello, F.S., Lavergne, C.N., Meynard, Leps, J. and Thuiller, W., 2009. The partitioning of diversity: showing These us a way out of the labyrinth. Journal of Vegetation Science, 21:992-1000.

Díaz, S., and Cabido, M. 2001. Plant functional diversity matters to ecosystem processes. Trends in Ecology and Evolution, 16 (11): 646-655.

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

Grytnes, J. A. 2006. Species richness of vascular plants, bryophytes and lichens along an altitudinal gradient in Western Norway. Acta Oecologia, 29(3): 241-246.

Getzin, S., Dean, CH., He, F., Trofymow, J. A., Wiegand, K., and 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, and Qian, Y.L. 2007. Environmental factors affecting vegetation composition in the Alxa Plateau, China, Journal of Arid Environments, 69: 473–489.

Hegazy, A.K., Lovett, Doust, J., Hammouda, O.d. and Gomaa, N.H. 2007. Vegetation distribution along the altitudinal gradient in the northwestern Red Sea region. Community Ecology, 8 (2): 151-162.

Jafarian, Z., Kargar, M., Tamartsh, R. and Alavi, S, J. 2019. Spatial distribution modeling of plant functional diversity in the mountain rangeland, north of Iran, Ecological indicator, 97:231-238.

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

Lee, T.H. 2005. Ecological patterns of distribution on gradients of elevation and species diversity of Snakes in southern Taiwan, Amphibia-Reptilia, 26(3): 325-332.

Liu, M.W. and Ren, X.W. 1992. Inter-specific correlations and classification of plants in Baihua Mountain Mountains in Beijing. Journal Beijing for University, 14(4): 77-84.

Mouchet, M.A. Villeger, S., Mason, N.W.H. and Mouillot, D. 2010. Functional diversity measures: an overview of their redundancy and their ability to discriminate community assembly rules. Functional Ecology 24:867-876.

Mason, N., de Bello, F. Mouillot, D. Pavoine,S. and 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.

Mason, N.W.H., Mouillot, D., Lee, W.G. and Wilson, J.B. 2005. Functional richness, functional evenness and functional divergence: the primary components of functional diversity. Oikos, 111: 112-118.

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

Podani, J. and Schmera, D. 2006. On dendrogram-based measures of functional diversity. Oikos, 115: 179-185.

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/

Rao, C.R. 1982. Diversity and dissimilarity coefficients: a united approach. Theor. Popul. Biol, 21: 24-43.

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

Schmera, D. and Eros, T. 2009. A measure for assessing functional diversity in ecological communities. Aqua Ecology, 43: 157-167.

Sonnier, G., Shiply, B. and 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., 21 :318-331.

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

Walker, B., Kinzing, A., Langridge, J. 1999. Plant attributes diversity, resilience, and ecosystem function: the nature and significance of dominant and minor species. Ecosystems, 2: 95-113.

Zhang, J.T., Li, M. and Nie, 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. 2011. Quantitative ecology, 2nd edn. Science Press, Beijing.

Zoltan, B.2005. Rao's quadratic entropy as a measure of functional diversity based on multiple traits. Journal of Vegetation Science,16: 533-540.