فصلنامهٔ علمی - پژوهشی پژوهش و توسعه جنگل
جلد ۳، شماره ۳، صفحه ۳۹۴-۳۷۷، (۱۳۹۶)

کارایی شاخص‌های عددی و غیرعددی در تعیین تنوع زیستی بندپایان مزوفون خاک و لاشبرگ در شرایط فیزیوگرافی مختلف در جنگل‌های بلوط ایرانی

جواد چراغی[۱]، مهدی حیدری*[۲]، مجید میراب بالو[۳] و رضا امیدی‌پور[٤]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.
۲- استادیار، گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.
۳- استادیار، گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.
٤- دانشجوی دکتری مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران.

تاریخ دریافت: ۹٦/۰٤/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹٦/۰۹/۲٦

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی کارایی شاخص‌های عددی و مدل‌های توزیع رتبه–فراوانی در ارزیابی تنوع مزوفون خاک و لاشبرگ در شرایط فیزیوگرافی مختلف انجام شد. نمونه‌برداری در سه طبقه ارتفاعی پایین‌بند، میان‌بند و بالابند و در دو جهت جغرافیایی (شمالی و جنوبی) انجام شد. همچنین در هر طبقه ارتفاعی، سه طبقه شیب مختلف (کمتر از ۲۵، ۲۵–۵۰ و بیش از ۵۰ درصد) تعیین شد. سه خط‌نمونه با طول حدود ۱۰۰ متر در هر طبقه شیب پیاده شد. سه مرکز نمونه‌برداری در طول هر خط‌نمونه (ابتدا، وسط و انتها) تعیین شد. در اطراف هر مرکز نمونه‌برداری، یک نمونه لاشبرگ و یک نمونه خاک از عمق ۱۰ سانتی‌متری برداشت شد. در آزمایشگاه نمونه‌های خاک و لاشبرگ در داخل قیف برلیز قرار داده شد تا بندپایان مزوفون موجود در آن خارج شوند. نتایج نشان داد که تنوع شانون وینر، یکنواختی پایلو و غنای مارگالف مزوفون به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر عمق نمونه‌برداری، جهت دامنه، شیب، ارتفاع از سطح دریا و اثر متقابل آنها قرار گرفته است. مقدار تنوع شانون وینر در دامنه شمالی، میان‌بند، شیب کمتر از ۲۵ درصد و در لاشبرگ بیش‌ترین مقدار بود. تنوع شانون وینر و غنای مارگالف در میان‌بند هر دو جهت شمالی و جنوبی در لاشبرگ بیشتر بود و به‌طور معنی‌داری در عمق ۱۰ سانتی‌متری کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: بندپایان، تنوع، زاگرس، شاخص‌های عددی و غیرعددی، فیزیوگرافی.

* نویسنده مسئول: Email: m.heidari@ilam.ac.ir

مقدمه

اندازه‌گیری تنوع زیستی یک موضوع کلیدی در بوم-شناسی بوده و به‌عنوان شاخصی مناسب که بیانگر سلامت اکوسیستم در مقیاس‌های مختلف مکانی و زمانی است، مورد توجه است (Rocchini *et al*., 2017). مخاطرات تهدیدکننده تنوع زیستی، همچون از دست دادن سریع زیستگاه، افزایش آسیب به موجودات زنده و اثرهای جهانی تغییرات آب و هوایی در زندگی، نیاز به تلاش بیشتر برای تجزیه‌وتحلیل الگوهای تنوع در سراسر جهان را نشان می‌دهند (Margules and Pressey, 2000، Worm *et al*., 2006). برآورد تنوع زیستی از مشاهدات میدانی (سرشماری کامل محدودهٔ مورد بررسی) ممکن است سبب به‌وجود آمدن مشکلاتی از قبیل افزایش هزینه و زمان مورد نیاز شود (Rocchini *et al*., 2017)؛ بنابراین روش‌های متعددی برای ارزیابی و پژوهش‌های تنوع پیشنهاد شده است. دو گروه عمده از این روش‌ها شامل شاخص‌های عددی (از قبیل شاخص‌های غنا، یکنواختی و تنوع) و شاخص‌های غیرعددی (از قبیل مدل توزیع فراوانی گونه‌ای مثل سری هندسی و عصای شکسته) است. هر دو گروه مذکور از روش‌های مرسوم بررسی تنوع زیستی جوامع مختلف هستند که هرکدام دارای مزایا و معایب خاص خود هستند. مشکلات اساسی شاخص-های عددی، کاربرد آنها در مورد گروه‌های خاص گونه-ها است (Ejtehadi *et al*., 2009). برای مثال شاخص شانون (Shannon and Weaner, 1963) به گونه‌های کمیاب اهمیت بیشتری می‌دهد، درحالی‌که برای شاخص سیمپسون (Simpson, 1949) گونه‌های عمومی اهمیت بیشتری دارند. از این‌رو این نحوهٔ بررسی تنوع زیستی مشکلاتی را در خصوص تفسیرهای اکولوژیکی ایجاد کرده است که یکی از راهکارهای ممکن برای حل این مشکل، استفاده از شاخص‌های غیرعددی (که در بیشتر موارد از چهار مدل لوگ نرمال، سری هندسی، عصای شکسته و سری لگاریتمی پیروی می‌کنند) است (Magurran, 1988). این گروه از شاخص‌ها به‌صورت گرافیکی دو جامعه را با یکدیگر مقایسه کرده که در این حالت مدل‌های توزیع فراوانی می‌توانند به‌عنوان یک مکمل کارآمد در تفسیر اکولوژیکی نتایج مؤثر باشند (Motamedi and Souri, 2016). به‌طور مثال مدل‌های سری هندسی نشان‌دهنده جوامع نابالغ با تنوع گونه‌ای پایین و غالب بودن مدل لوگ نرمال بر یک جامعه نشانگر جوامع با تنوع و غنای گونه‌ای بالا و با ثبات است (Magurran, 1988; Pielou, 1975). خاک در زمرهٔ مهم‌ترین و متنوع‌ترین زیستگاه‌های زمین بوده که دارای ترکیب‌هایی متفاوت از متنوع‌ترین موجودات زنده اعم از ماکروفون، مزوفون و میکروفون است (Barrios, 2007). مزوفون به گروهی از موجودات خاک‌زی اطلاق می‌شود که اندازهٔ طول بدن آنها از نیم تا دو میلی‌متر است (Brevault *et al*., 2007). بسیاری از موجوداتی که کمتر به چشم می‌آیند و به‌ظاهر بی‌تأثیر هستند ممکن است نقش مهم و منحصربه‌فردی را در اکوسیستم‌ها و چرخه‌های زیستی ایفاء کرده (Matthew *et al*., 2011; Speight *et al*., 2008; Hattenschwiler, 2005) و به-شدت بر ترکیب پوشش گیاهی طبیعی و نیز حاصلخیزی خاک (Bokhorsta *et al*., 2017) تأثیرگذار باشند.

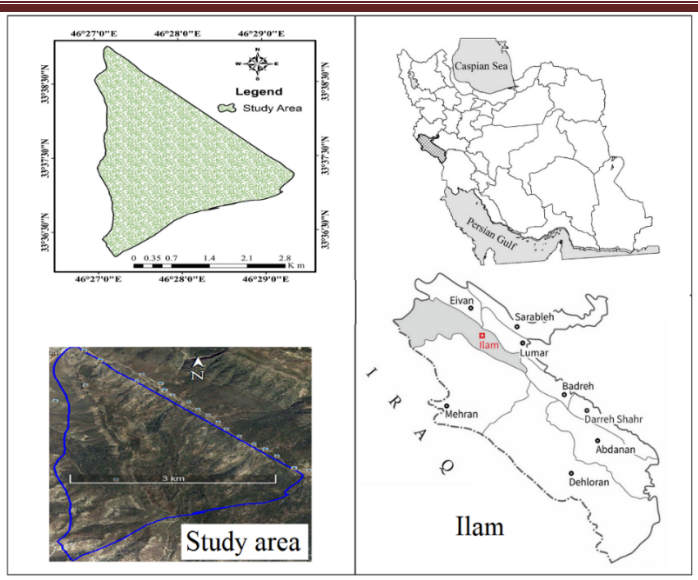
یکی از جنبه‌های مهم حفاظت از تنوع زیستی، درک مکانیسم تأثیر عوامل توپوگرافی از قبیل شیب، جهت و ارتفاع از سطح دریا بر تنوع زیستی است (Kraft *et al*., 2011). بررسی تنوع گونه‌ای در میان مناطقی با ارتفاع مختلف می‌تواند نشان دهد که چگونه ساختار جامعه با فشارهای محیطی زنده و غیرزنده دست‌خوش تغییر می‌شود (Condit *et al*., 2002; Shmida and Wilson, 1985). پژوهش‌های انجام‌شده در مورد اثر ارتفاع بر

تنوع گونه‌ای گروه‌هایی مانند عنکبوت‌ها (Sebastian *et al*., 2005)، پروانه‌ها (Axmacher and Fiedler, 2009) و مورچه‌ها (Smith *et al*., 2014) گزارش کرده‌اند که تنوع گونه‌ای با افزایش ارتفاع از سطح دریا کاهش می‌یابد. Zou (2014) با بررسی دو گونه از حشرات شامل سوسک‌های خاک‌زی (Coleoptera: Carabidae) و پروانه‌های ژئومتریده (Lepidoptera: Geometridae) در جنگل معتدل بکر و جنگل تحت زراعت به این نتیجه رسید که تنوع هر دو گروه با افزایش ارتفاع به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌یابد. بر اساس پژوهش انجام‌شده توسط Koehler (1999)، پوشش گیاهی بر فراوانی و تنوع فون خاک شدیداً تأثیرگذار است. Mayvan و همکاران (2015) دریافتند که در لایه‌های رویی خاک جنگل، تنوع و تراکم بالایی از جانوران خاک‌زی وجود دارد. Khodashenas و همکاران (2012) در بررسی ساختار تنوع زیستی موجودات خاک‌زی در اکوسیستم‌های طبیعی مناطق خشک و نیمه‌خشک شهرستان‌های مشهد، گناباد و شیروان نشان دادند، تنوع زیستی این مناطق به‌علت شرایط اقلیمی حاکم، پایین است. Duhour و همکاران (2009) با بررسی منحنی رتبه- فراوانی جوامع کرم خاکی نشان داد که تنوع شانون وینر در رویشگاه بدون چرا به‌طور معنی‌داری بیشتر از دیگر رویشگاه‌های دارای چرای دام بود اما تمام این رویشگاه‌ها تنها از مدل سری هندسی و عصای شکسته پیروی کردند. از این‌رو با توجه به لزوم حفاظت از تنوع زیستی، بررسی آن با استفاده از شاخص‌های مختلف تنوع برای توصیف و مقایسه وضعیت اکولوژیک اکوسیستم‌ها برای تصمیم-گیری‌های مدیریتی در عرصه‌های منابع طبیعی بسیار مورد توجه قرارگرفته است (Barnes *et al*., 1998; Kolongo *et al*., 2006). در اکوسیستم‌های جنگلی و مرتعی رشته‌کوه‌های زاگرس در غرب ایران در زمینهٔ ارتباط فون خاک با اقدامات مدیریتی مانند حفاظت و نیز عدم حفاظت (Heydari *et al*., 2014)، پایش سابقه اختلالات و تخریب رویشگاه (Pourreza *et al*., 2014; Heydari *et al*., 2017)، نیز ارزیابی تأثیر آشفتگی بر تنوع گونه‌ای جنگل‌های بلوط (Valadi *et al*., 2017) پژوهش‌هایی انجام شده است، ولی در زمینهٔ بررسی تأثیر عوامل توپوگرافی بر شاخص‌های عددی و غیرعددی تنوع مزوفون خاک تحقیق چندانی صورت نگرفته است. از طرفی در زمینهٔ بررسی کارایی شاخص‌های عددی و غیرعددی تنوع مزوفون خاک تحقیقی در کشور صورت نگرفته است. از این‌رو در این تحقیق کارایی شاخص‌های عددی و منحنی‌های توزیع رتبه- فراوانی برای ارزیابی تنوع مزوفون خاک در شرایط فیزیوگرافی مختلف بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مورد بررسی

رویشگاه مورد بررسی با مساحت ۱۱۰۰ هکتار با گونه غالب بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) در منطقهٔ کوهستانی و جنگلی شلم واقع شده است که بخشی از منطقهٔ حفاظت‌شده مانشت قلارنگ، در شهرستان ایلام است. این منطقه در طول جغرافیایی ′۲۶، °۴۶ تا ′۲۸، °۴۶ شرقی و عرض جغرافیایی ′۳۶، °۳۳ تا ′۳۷، °۳۳ شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۱۵۰۰ تا ۲۱۵۰ متر قرار دارد. این منطقه دارای دو دامنه غالب شمالی و جنوبی است (شکل ۱). رژیم بارندگی منطقهٔ مورد بررسی، مدیترانه‌ای بوده و داده‌های هواشناسی طولانی مدت (۱۳۷۸ تا ۱۳۹۴) از نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی (ایلام) نشان داد که متوسط بارندگی سالیانه ۶۵۲ میلی-متر در سال و متوسط درجه حرارت سالانه ۱۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (Fathizadeh et al., 2017).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقهٔ مورد بررسی

Figure 1. Geographical location of the study area

جمع‌آوری داده‌ها

نمونه‌برداری مزوفون خاک و لاشبرگ در بهار ۱۳۹۵ با استفاده از استوانه‌ای با سطح مقطع ۳۱٤ سانتی‌مترمربع (Feijoo *et al.*, 2011; Alberti *et al.*, 1991) از لاشبرگ (مزوفون لاشبرگ) و عمق ۱۰ سانتی‌متری (مزوفون خاک) به‌دلیل تهویه مناسب‌تر و سطح عناصر غذایی بالاتر و در نتیجه امکان فعالیت و حضور بیشتر فون خاک در این عمق (Moghimian *et al.*, 2013) صورت گرفت. به این منظور پس از بازدید از منطقه مورد بررسی، بر اساس تغییرات پوشش گیاهی، طبقات ارتفاعی (پایین‌بند، میان‌بند و بالابند) در طول گرادیان ارتفاعی (۱۵۰۰ تا ۲۱۵۰ متر) تعیین شد. در هر دو جهت این منطقه کوهستانی (شمالی و جنوبی) سه طبقهٔ ارتفاعی پایین‌بند، میان‌بند و بالابند مشخص شد. سپس در هر طبقه ارتفاعی، سه طبقهٔ مختلف شیب (کمتر از ۲۵ درصد، ۲۵-۵۰ درصد و بیش از ۵۰ درصد) تعیین و در نهایت در هر طبقهٔ شیب، سه نقطه به‌صورت تصادفی مشخص شد. در هر نقطه یک خط‌نمونه به طول ۱۰۰ متر عمود بر جهت شیب (برای کاهش تغییرات پوشش گیاهی در طول خط‌نمونه‌ها) پیاده شد. نمونه‌های خاک موردنیاز برای بررسی مزوفون، از ابتدا، وسط و انتهای هر خط‌نمونه برداشت شد. در مجموع از هر طبقه ارتفاعی و در دو جهت شمالی و جنوبی تعداد ۱۰۸ نمونه (لاشبرگ و خاک) هرکدام به وزن تقریبی ۵۰۰ گرم برداشت شد. نمونه‌های جمع‌آوری‌شده داخل کیسه‌های پلاستیکی ریخته شده و پس از ثبت مشخصات به آزمایشگاه گیاه‌پزشکی دانشگاه ایلام منتقل شد. در آزمایشگاه، نمونه‌های خاک به‌مدت هشت ساعت در داخل قیف برلیز قرار داده شد تا بندپایان موجود در آن خارج شوند. سپس بندپایان موجود در داخل الکل، در زیر بینوکولار جداسازی شدند. نمونه-های کنه‌های ذخیره‌شده در الکل توسط دکتر امید جوهرچی، نمونه‌های پادمان توسط خانم دکتر معصومه شایان‌مهر و نمونه‌های شبه‌عقرب توسط دکتر مهراد نصیرخانی شناسایی و تأیید شدند.

تجزیه‌وتحلیل آماری

برای اندازه‌گیری تنوع گونه‌ای، از شاخص‌های تنوع شانون وینر، غنای مارگالف و یکنواختی پایلو استفاده

شد. این شاخص‌ها در نرم‌افزار Ecological methodology نسخه ۷/۱۲ محاسبه شدند. نرمال بودن و همگنی داده‌ها به‌ترتیب با استفاده از آزمون کولموگروف–اسمیرنف و لون بررسی شد و در صورت نیاز تبدیل‌های لازم انجام شد. با توجه به نرمال بودن داده‌ها برای بررسی اثر ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت دامنه و عمق نمونه‌برداری (لاشبرگ و خاک) و اثر متقابل آنها بر تنوع، غنا و یکنواختی مزوفون خاک از آزمون تجزیه واریانس چند طرفه (GLM) و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد. همچنین مقایسهٔ شاخص‌های تنوع بین دو عمق نمونه‌برداری (لاشبرگ و خاک) و در هرکدام از موقعیت‌ها با استفاده از آزمون t مستقل انجام شد. در این پژوهش علاوه بر شاخص‌های عددی تنوع، مدل‌های توزیع فراوانی-رتبه تنوع گونه‌ای (شاخص‌های غیرعددی) شامل عصای شکسته، سری لگاریتمی و سری هندسی استفاده شد. برای بررسی تطابق بین الگوی پراکنش گونه‌ای در هر منطقه با مدل‌های مورد استفاده، ابتدا فراوانی هر گونه تعیین و پس از مرتب کردن (رتبه‌بندی) داده بر اساس فراوانی (از زیاد به کم) نمودار توزیع فراوانی گونه‌ای هر منطقه ایجاد شد. بر اساس داده‌های فراوانی واقعی، فراوانی هر گونه بر اساس مدل‌های غیرعددی نیز ایجاد شدند (Motamedi and Souri, 2016). در نهایت برای بررسی تطابق بین فراوانی گونه‌ای واقعی و فراوانی ایجادشده توسط هر مدل، از آزمون کای‌اسکور در نرم-افزار PAST var 3/04 استفاده شد. لازم به ذکر است که مدل لوگ–نرمال از مدل‌های حساس به تعداد گونه (غنا) و مقدار فراوانی افراد مورد بررسی است و درصورتی‌که غنای جامعه کم و یا منطقه ناهمگن باشد، امکان استفاده از آزمون کای‌اسکور و برازش مدل مذکور وجود نخواهد داشت. با توجه به غنای کم پژوهش‌های مزوفون خاک، در این پژوهش تنها از سه مدل شامل عصای شکسته، سری لگاریتمی و سری هندسی استفاده شد.

نتایج

در این پژوهش در مجموع، ۸ گونه متعلق به ۸ خانوادهٔ مختلف از حشرات، کنه‌ها، شبه عقرب‌ها و صد پایان جمع‌آوری و شناسایی شد (جدول ۱). نتایج نشان داد که وجود تغییرات زیاد ارتفاع از سطح دریا در مناطق شلم (کمینه و بیشینه ۱۵۰۰ تا ۲۱۵۰ متر در دامنه جنوبی) و (کمینه و بیشینه ارتفاع ۱۵٤۰ تا ۲۱۵۰ متر در دامنه شمالی) و همچنین وجود اختلاف در دامنهٔ شیب-های هر دو منطقه (شیب صفر تا بیش از ۵۰ درصد) و نیز داشتن جهت‌های شمالی و جنوبی منطقهٔ مورد پژوهش از عوامل اصلی ایجاد تنوع گونه‌ای هستند.

شاخص‌های عددی تنوع مزوفون خاک

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌های مزوفون خاک، شاخص‌های تنوع شانون وینر، یکنواختی پایلو و غنای مارگالف به‌طور معنی‌داری (P-value <۰/۰۵) تحت تأثیر عمق نمونه‌برداری، شیب، جهت دامنه، ارتفاع از سطح دریا و اثر متقابل آنها قرار گرفته است (جدول ۲). در دامنه شمالی مقدار تنوع شانون وینر مزوفون لاش برگ در شیب کمتر از ۲۵ درصد طبقه میان‌بند، بیشترین مقدار و در شیب ۲۵–۵۰ درصد پایین‌بند،کمترین مقدار را داشت. مقدار تنوع شانون وینر مزوفون لاشبرگ در دامنهٔ جنوبی متفاوت با جهت شمالی بود (شکل ۲). همچنین مقدار تنوع شانون وینر مزوفون خاک در دامنه شمالی در شیب کمتر از ۲۵ و۲۵–۵۰ درصد پایین‌بند و میان بند بیشترین مقداررا داشت. همچنین درتمام طبقات ارتفاعی در شیب بیشتر از ۵۰ درصد کمترین میزان تنوع شانون وینر ثبت شد. درصورتی‌که در دامنه-جنوبی در شیب کمتر از ۲۵ درصد بیشترین مقدار را نشان داد (شکل ۲).

جدول ۱- لیست مزوفون خاک (بندپایان) در منطقهٔ مورد بررسی

Table 1. List of soil mesofauna (arthropods) in the study area

راسته	خانواده	گونه
Order	Family	Species
Collembola	Entomobryidae	*Pseudosinella octopunctata* Börner
Collembola	Isotomidae	*Folsomides marchicus* (Frenzel)
Collembola	Neelidae	*Neelus murinus* Folsom
Mesostigmata	Macrochelidae	*Macrocheles glaber* (Müller)
Mesostigmata	Laelapidae	*Gaeolaelaps aculeifer* (Canestrini)
Oribatida	Oppiidae	*Ramusella* sp.
Pseudoscorpiones	Neobisiidae	*Acanthocreagris iranica* Beier
Centipede	Dignathodontidae	*Henia* sp.

شاخص‌های عددی تنوع مزوفون خاک

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌های مزوفون خاک، شاخص‌های تنوع شانون وینر، یکنواختی پایلو و غنای مارگالف به‌طور معنی‌داری (P-value <۰/۰۵) تحت تأثیر عمق نمونه‌برداری، شیب، جهت دامنه، ارتفاع از سطح دریا و اثر متقابل آنها قرار گرفته است (جدول ۲). در دامنه شمالی مقدار تنوع شانون وینر مزوفون لاش برگ در شیب کمتر از ۲۵ درصد طبقه میان‌بند، بیشترین مقدار و در شیب ۲۵-۵۰ درصد پایین‌بند،کمترین مقدار را داشت. مقدار تنوع شانون وینر مزوفون لاشبرگ در دامنهٔ جنوبی متفاوت با جهت شمالی بود (شکل ۲). همچنین مقدار تنوع شانون وینر مزوفون خاک در دامنه شمالی در شیب کمتر از ۲۵ و۲۵-۵۰ درصد پایین‌بند و میان بند بیشترین مقداررا داشت. همچنین درتمام طبقات ارتفاعی در شیب بیشتر از ۵۰ درصد کمترین میزان تنوع شانون وینر ثبت شد. درصورتی‌که در دامنه-جنوبی در شیب کمتر از ۲۵ درصد بیشترین مقدار را نشان داد (شکل ۲). در طول تغییرات دامنه‌شمالی و در میان لاشبرگ، مقدار غنای مارگالف در شیب کمتر از ۲۵ درصد میان‌بند و در شیب ۲۵-۵۰ درصد پایین‌بند به‌ترتیب بیشترین و کمترین مقدار را داشت. از طرفی در دامنه‌جنوبی و در میان لاشبرگ، مقدار غنای مارگالف در شیب کمتر از ۲۵ درصد میان‌بند، مقدار بیشتری نشان داد و در تمام طبقات ارتفاعی، شیب‌های بیش از ۵۰ درصد کمترین مقدار غنا را به خود اختصاص دادند. در طول تغییرات دامنه شمالی و در عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک، مقدار غنای مارگالف در شیب کمتر از ۲۵ درصد بالابند و ۲۵ -۵۰ میان بند بیشترین بود. همانند تنوع، غنا نیز در تمام طبقات ارتفاعی در شیب‌های بیش از ۵۰ درصد کمترین مقدار را به خود اختصاص داد. درطول تغییرات دامنه جنوبی در عمق ۱۰ سانتی‌متر، مقدار غنای مارگالف در شیب کمتر از ۲۵ درصد پایین بند بیشترین مقدار را نشان داد. مقدار یکنواختی مزوفون لاشبرگ در دامنه شمالی بین طبقات ارتفاعی و شیب اختلاف معنی‌داری نداشت. در دامنه جنوبی میزان یکنواختی مزوفون لاشبرگ در شیب بیشتر از ۵۰ درصد بالابند و بیشتر از ۵۰ درصد پایین‌بند کمترین مقدار را به خود اختصاص داد ولی بین سایر طبقات ارتفاعی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در عمق ۱۰ سانتی-متری نیز مقدار یکنواختی در طول دامنه شمالی و جنوبی در موقعیت‌های مختلف فیزیوگرافی اختلاف معنی‌داری نشان نداد (شکل ۲).

مقایسهٔ میانگین شاخص‌های عددی تنوع مزوفون خاک بین لاشبرگ و خاک

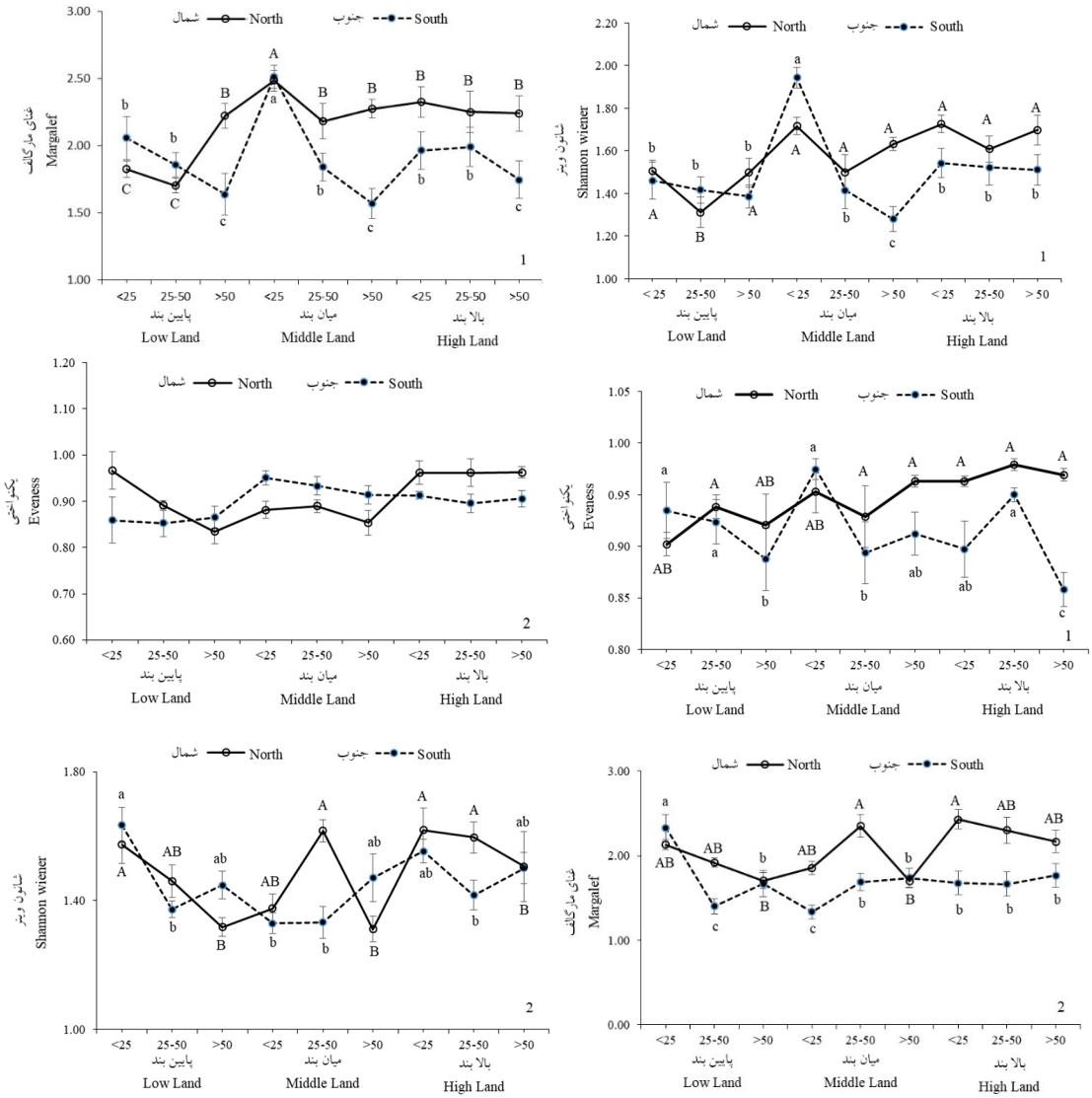
مقایسهٔ میانگین شاخص‌های عددی تنوع بر اساس آزمون t مستقل نشان داد که بین دو عمق (لاشبرگ و

عمق ۱۰ سانتی‌متر) در هر دو جهت شمالی و جنوبی، تنوع شانون وینر و غنای مارگالف به‌طور معنی‌داری در میان‌بند، شیب کمتر از ۲۵ درصد، در لاشبرگ بیشتر از عمق ۱۰ سانتی‌متر است. با این حال در هر دو جهت شمالی و جنوبی در پایین‌بند، شیب کمتر از ۲۵ درصد مقدار غنای مارگالف در عمق ۱۰ سانتی‌متری بیشتر از لاشبرگ بود. یکنواختی مزوفون لاشبرگ در دامنهٔ جنوبی و در شیب بیشتر از ۵۰ درصد پایین‌بند و میان‌بند، بیشتر از عمق ۱۰ سانتی‌متری بود. در جهت شمالی- شیب کمتر از ۲۵ درصد و ۲۵-۵۰ درصد پایین‌بند نیز یکنواختی مزوفون لاشبرگ بیشتر از عمق ۱۰ سانتی‌متری بود. به‌طورکلی در موارد دارای اختلاف معنی‌دار، یکنواختی در هر دو جهت شمالی و جنوبی در لاشبرگ بیشتر از عمق ۱۰ سانتی‌متر بود (شکل ۳).

جدول ۲- تأثیر عمق نمونه‌برداری، جهت دامنه، ارتفاع از سطح دریا، شیب و همچنین اثر متقابل آنها بر تنوع شانون وینر، غنای مارگالف و یکنواختی پایلو (معنی‌داری در سطح کمتر از پنج درصد با خط در زیر مشخص شده است)

Table 2. The effect of sampling depth, aspect, elevation, slope, and their interaction on Shannon Wiener diversity, Margalef richness, and Pielou evenness (Significant p-values at $p<0.05$ are indicated using underline)

یکنواختی پایلو Pielou evenness		غنای مارگالف Margalef richness		تنوع شانون وینر Shannon diversity		منبع تغییرات Source of variation
Sig.	F	Sig.	F	Sig.	F	
0.0002	13.96	0.0001	23.78	0.0007	75.11	عمق Depth
0.0001	15.15	0.0001	84.36	0.0044	26.8	جهت Aspect
0.0001	12.37	0.0001	9.91	0.0001	91.11	ارتفاع از سطح دریا Elevation
0.0024	6.16	0.0001	10.18	0.0001	36.15	شیب Slope
0.2360	1.41	0.2691	1.23	0.2691	23.10	عمق × جهت دامنه Depth × Aspect
0.0502	3.02	0.0004	8.06	0.0001	41.90	عمق × ارتفاع Depth × Elevation
0.6561	0.42	0.1915	1.66	0.0193	4.00	عمق × شیب Depth × Slope
0.0001	12.05	0.0001	12.78	0.0360	3.36	جهت × ارتفاع Aspect × Elevation
0.6585	0.42	0.0348	3.40	0.1599	1.85	جهت × شیب Aspect × Slope
0.3608	1.09	0.0028	4.14	0.3378	1.14	ارتفاع × شیب Elevation × Slope
0.0052	5.36	0.8208	0.20	0.8402	0.17	عمق× جهت × ارتفاع Aspect × Elevation × Depth
0.0020	6.38	0.0001	19.52	0.0001	12.37	عمق × جهت × شیب Aspect × Slope × Depth
0.0749	2.15	0.0348	2.57	0. 1255	1.82	جهت × ارتفاع × شیب Aspect × Slope × Elevation
0.0014	3.26	0.0001	6.85	0.0001	5.66	عمق × جهت × ارتفاع × شیب Aspect × Slope × Elevation × Depth



شکل ۲- مقایسهٔ میانگین تنوع، غنا و یکنواختی مزوفون خاک (میانگین ± اشتباه معیار) در بین طبقه‌های ارتفاعی و شیب برای دو جهت دامنه (شمال: خط پیوسته و جنوب: نقطه‌چین) در نمونه لاشبرگ (۱) و در عمق ۱۰ سانتی‌متر (۲). میانگین‌ها با حروف یکسان بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار بین طبقات ارتفاعی مختلف و هر طبقه شیب است (p<۰/۰۱).

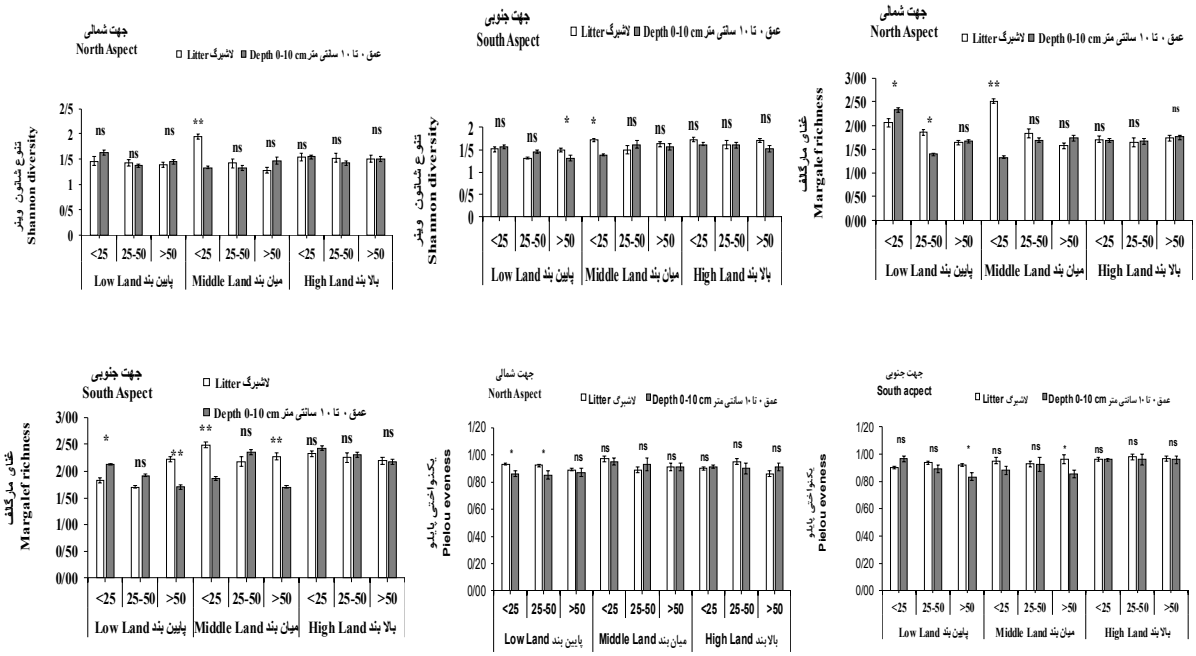
Figure 2. Comparison of soil mesufauna diversity, richness and evenness (mean ± SE) between elevation and slope classes for two aspects (north and south) at sampling depth litter (1) and 10 cm (2). Means with the same letters are not significantly different between elevation classes and each slope class based on Duncan's multiple range test ($P< 0.01$).

توزیع فراوانی مزوفون خاک و لاشبرگ

نتایج بررسی تطابق الگوی توزیع فراوانی مزوفون خاک در لاشبرگ با مدل‌های مورد استفاده در این تحقیق نشان داد که در تمامی موارد الگوی پراکنش از مدل سری هندسی پیروی می‌کند (P-value > 0.05). پس از مدل سری هندسی، داده‌های مورد بررسی بیش‌ترین تطابق را با مدل عصای شکسته نشان دادند و تقریباً در تمامی موارد، الگوی پراکنش از این مدل نیز پیروی کرده است (P-value > 0.05) (جدول ۲).

مقایسه الگوهای توزیع فراوانی مزوفون خاک در طبقه‌های شیب در هر طبقهٔ ارتفاعی (پایین‌بند، میان‌بند و بالابند) در لاشبرگ نشان‌دهنده نتایج مختلفی در هر

جهت (شمالی و جنوبی) بود. برای مثال در طبقهٔ ارتفاعی میان‌بند در جهت شمالی، الگوی پراکنش در طبقهٔ شیب کمتر از ۲۵ درصد و ۲۵–۵۰ درصد مشابه و تقریباً بر روی یکدیگر قرار دارند، درحالی‌که طبقهٔ شیب بیشتر از ۵۰ درصد در همین منطقه در قسمت پایین‌تری (بر روی نمودار) نسبت به دو طبقهٔ قبلی قرار دارد که نشان‌دهندهٔ تحت‌فشار بودن بیشتر و عدم یکنواختی این طبقه شیب است و دلالت بر یکنواختی بیشتر طبقه‌های شیب کمتر از ۲۵ درصد و ۲۵–۵۰ درصد دارد (شکل ٤). این در حالی بود که در قسمت‌های جنوبی (پایین‌بند)، نمودار فراوانی– رتبه طبقهٔ شیب بیش از ۵۰ درصد در بالای دو طبقه شیب کمتر از ۲۵ درصد و ۲۵–۵۰ درصد قرار دارد که نشان‌دهنده یکنواختی بیشتر این طبقه است. این نتیجه کاملاً مخالف نتایج به‌دست‌آمده در جهت شمالی بود. با توجه به تعدد نمودارها، از هر طبقهٔ عمق در هر جهت تنها یک نمودار ارائه شده است (شکل ٤).



شکل ۳– تفاوت تنوع مزوفون خاک، غنا و یکنواختی (مقایسه میانگین) بین دو عمق خاک برای هر محدود ارتفاع و هر شیب. (* $P<0.05$ و ** $P<0.01$ و ns اختلاف معنی‌دار نیست).

Figure 3. Differences in soil mesufauna diversity, richness and evenness (mean ± SE) between the two soils depths for each elevation range and each slope.
(*p< 0.05 and **p < 0.01; ns = no significant)

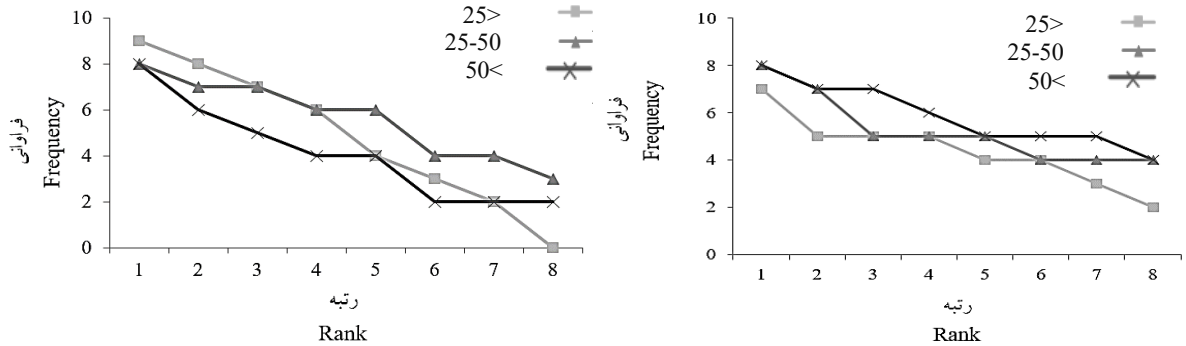
توزیع فراوانی مزوفون خاک در عمق ۱۰ سانتی‌متری

بررسی الگوی توزیع فراوانی مزوفون خاک در عمق ۱۰ سانتی‌متری نشان داد که در تمامی طبقه‌ها، داده‌ها دارای بیش‌ترین هم‌خوانی با مدل سری هندسی هستند (P-value > 0.05). از طرفی دیگر، تمامی داده‌های پس از مدل سری هندسی، به‌صورت معنی‌داری از مدل عصای شکسته پیروی می‌کردند (P-value > 0.05). با توجه به بالاتر بودن مقدار معنی‌داری در مدل سری هندسی، این مدل در اولویت اول و مدل عصای شکسته در اولویت دوم قرار خواهد گرفت (جدول ٤).

جدول ۳- نتایج تطابق مزوفون لاشبرگ با مدل‌های توزیع فراوانی مورد بررسی

Table 3. Results of fitting of litter mesofauna data with studied models of frequency distribution

مدل Model		شمالی North								
		پایین‌بند Low land			میان‌بند Middle land			بالابند High land		
		<25	25-50	>50	<25	25-50	>50	<25	25-50	>50
هندسی Geometric	کای اسکور Chi-square	0.24	0.39	0.12	0.56	0.39	0.35	0.71	0.93	0.2
	P	1	1	1	0.99	1	1	0.99	0.99	1
سری لگاریتمی Log-Series	کای اسکور Chi-square	5.12	7.68	10.41	8.78	12.21	3.49	9.36	10.71	22.82
	P	0.08	0.05	0.02	0.03	0.01	0.32	0.02	0.01	0
عصای شکسته Broken Stick	کای اسکور Chi-square	3.93	4.62	10.02	3.49	7.07	1.85	5.82	6.74	17.2
	P	0.42	0.46	0.07	0.48	0.22	0.76	0.32	0.24	0
		جنوبی South								
		پایین‌بند Low land			میان‌بند Middle land			بالابند High land		
		<25	25-50	>50	<25	25-50	>50	<25	25-50	>50
هندسی Geometric	کای اسکور Chi-square	0.47	0.37	0.12	1.81	0.19	0.1	0.17	0.59	0.17
	P	1	1	1	0.94	1	1	1	1	1
سری لگاریتمی Log-Sseries	کای اسکور Chi-square	6.32	8.51	11	12.61	11.21	13.38	14.37	6.72	12.61
	P	0.1	0.04	0.01	0.01	0.01	0	0	0.08	0.01
عصای شکسته Broken Stick	کای اسکور Chi-square	3.74	5.67	7.83	11.29	8.69	6.75	9.84	5.22	8.89
	P	0.44	0.34	0.17	0.05	0.12	0.15	0.08	0.39	0.11



شکل ٤- رتبه–فراوانی مزوفون لاشبرگ در پایین‌بند- دامنهٔ جنوبی (سمت راست) و میان‌بند – دامنهٔ شمالی (سمت چپ)

Figiure 4. Species abundance –ranking of litter mesofauna in low land- south aspect (right) and middle land- north aspect (left)

جدول ٤- نتایج تطابق مزوفون خاک با مدل‌های توزیع فراوانی مورد بررسی

Table 4. Results of fitting of soil mesofauna data with studied models of frequency distribution.

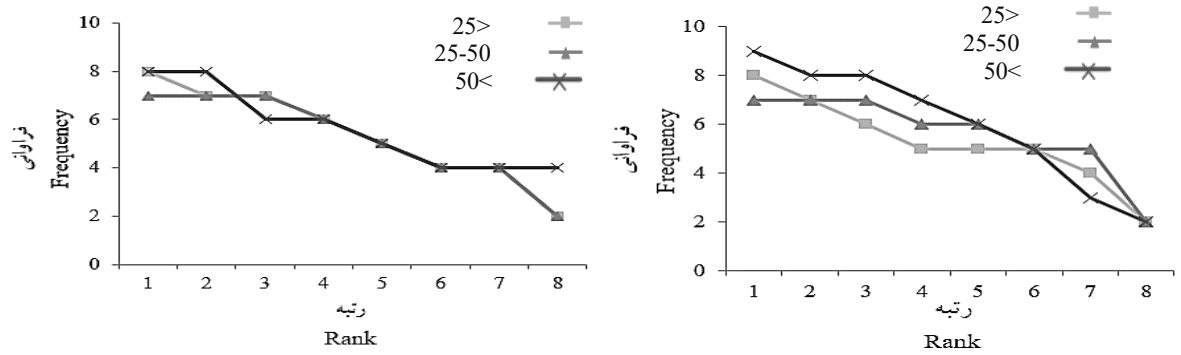
مدل Model		شمالی North								
		پایین‌بند Low land			میان‌بند Middle land			بالابند High land		
		<25	25-50	>50	<25	25-50	>50	<25	25-50	>50
هندسی Geometric	کای اسکور Chi-square	0.47	0.83	0.97	0.95	0.53	0.82	1.27	2.04	0.83
	P	1	0.93	0.99	0.97	1	0.99	0.97	0.84	0.98
سری لگاریتمی Log-Series	کای اسکور Chi-square	13.44	7.52	9.36	12.25	8.01	6.39	7	8.33	9.44
	P	0	0.02	0.02	0.01	0.05	0.09	0.07	0.04	0.02
عصای شکسته Broken Stick	کای اسکور Chi-square	8.35	4.45	7.67	5.49	5.3	4.69	6.19	5.03	4.78
	P	0.14	0.35	0.18	0.24	0.38	0.45	0.29	0.41	0.31
		جنوبی South								
		پایین‌بند Low land			میان‌بند Middle land			بالابند High land		
		<25	25-50	>50	<25	25-50	>50	<25	25-50	>50
هندسی Geometric	کای اسکور Chi-square	0.81	1.6	1.39	1.78	0.64	1.7	0.75	1.7	0.24
	P	0.99	0.95	0.97	0.94	1	0.94	0.99	0.94	1
سری لگاریتمی Log-Series	کای اسکور Chi-square	8.4	13.4	13.13	9.69	7.33	12.07	7.94	12.07	9.42
	P	0.04	0	0	0.02	0.06	0.01	0.05	0.01	0.02
عصای شکسته Broken Stick	کای اسکور Chi-square	7.33	9.77	7.86	8.79	4.96	7.09	5.09	7.09	5.64
	P	0.2	0.08	0.16	0.12	0.42	0.21	0.41	0.21	0.34

مقایسه الگوهای توزیع فراوانی مزوفون خاک در طبقه‌های شیب در هر طبقه ارتفاعی در خاک عمقی مشابه با خاک سطحی بود. این نتایج نشان داد که در دامنهٔ شمالی، طبقهٔ شیب بیش از ۵۰ درصد دارای کم‌ترین یکنواختی است درحالی‌که در شیب جنوبی همین طبقه (بیش از ۵۰ درصد) دارای بیش‌ترین یکنواختی نسبت به دو طبقهٔ دیگر (کمتر از ۲۵ و ۲۵-۵۰) است (شکل ۵).

بحث

جوامع فون خاک از اجزای مهم اکوسیستم‌های خاکی هستند و نقش مهمی در تجزیهٔ لاشبرگ، آزاد کردن عناصر غذایی و جریان انرژی دارند (Meyer *et al*., 2011). نتایج نشان داد که تنوع شانون وینر، یکنواختی پایلو و غنای مارگالف مزوفون به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر عمق نمونه‌برداری، جهت دامنه، شیب، ارتفاع از سطح دریا و اثر متقابل آنها قرار گرفته است. وجود تغییرات زیاد ارتفاع از سطح دریا در مناطق کوه شلم (کمینه و بیشینه ۱۵۰۰ تا ۲۱۵۰ متر در دامنه جنوبی) و (کمینه و بیشینه ارتفاع ۱۵۴۰ تا ۲۱۵۰ متر در دامنه شمالی) و همچنین وجود تغییرات شیب هر دو منطقه (شیب صفر تا بیش از ۵۰ درصد) و نیز جهت های

شمالی و جنوبی از عوامل اصلی ایجاد تغییر شرایط محیطی مانند خصوصیات خاک، تاج پوشش اشکوب درختی، درختچه‌ای و علفی و نیز ترکیب گیاهی است. این تغییرات سبب ایجاد خرد اقلیم‌های متنوع در اکوسیستم‌های جنگلی می‌شوند و نوع و فراوانی موجودات خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند. تغییرات خرد اقلیم در اثر تغییر تاج‌پوشش و ساختار ریشه‌ای گونه‌های مختلف می‌تواند به‌طور مستقیم بر زنده‌مانی جانداران در تمام سطوح زنجیره غذایی تأثیرگذار باشد (Negrete-Yankelevich *et al*., 2008).



شکل ۵- نمودار رتبه–فراوانی مزوفون خاک در بالابند- دامنهٔ شمالی (سمت راست) و پایین‌بند - دامنهٔ جنوبی (سمت چپ)

Figure 5. Species abundance –ranking curve of soil mesofauna in high land- north aspect (right) and low land- south aspect (left)

توزیع عناصر غذایی خاک، کیفیت لاشبرگ و دمای خاک بر پراکنش، حضور و عدم حضور موجودات خاک‌زی تأثیر چشم‌گیری دارد (Pospiech and Skalski, 2006، Antunes *et al*., 2008، Binkley and Fisher, 2012). Kromer و همکاران (2005) نشان دادند که ارتفاع از سطح دریا یکی از عوامل اصلی تغییر حضور گونه‌ها است و معمولاً بیش‌ترین غنای گونه‌ای مربوط به میان‌بند است که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در طول تغییرات دامنه جنوبی و در لاشبرگ مقدار تنوع شانون وینر در شیب کمتر از ۲۵ درصد میان‌بند، بیشترین مقدار و در شیب بیش از ۵۰ درصد میان‌بند، کمترین مقدار است. بررسی‌ها نشان داده که تنوع و تراکم مناسب گونه‌های گیاهی (چوبی و علفی)، حاصلخیزی بیشتر خاک و به‌طورکلی شرایط مناسب محیطی و پوششی در میان‌بند وجود دارد (Heydari and Mahdavi, 2009; Saha *et al*., 2016). چنین شرایط مناسبی در این موقعیت ارتفاعی می‌تواند عامل ایجاد تنوع در آشیان‌های اکولوژیک و نیز تنوع و فراوانی منابع تغذیه‌ای برای مزوفون خاک شود که منطبق با یافته‌های دیگر محققان است (Kaneko *et al*., 2005). Scheu و همکاران (2003) بیان کردند که تغییرات بارز ساختار جنگل و نیز تغییر شرایط محیطی سبب تغییر شبکه‌های غذایی خاک شده که این مسئله بر روی تنوع مزوفون خاک اثر می‌گذارد. در این رابطه غنا و یکنواختی مزوفون خاک نیز واکنش یکسانی نشان داد و در دامنهٔ شمالی و شیب کم، در میان‌بند بیش‌ترین مقدار را به خود اختصاص دادند. به عبارتی تنوع تحت تأثیر افزایش هم‌زمان هر دو مؤلفه یکنواختی و غنا (بیشتر این عامل) در این موقعیت دامنه افزایش نشان داد. حضور و تنوع موجودات خاک‌زی ارتباط مثبتی با مقدار و تنوع تاج-پوشش اشکوب درختی دارد (Ferguson and Berube, 2004) که چنین شرایطی در میان‌بند حاکم است. در پایین‌بند دامنهٔ جنوبی و در عمق ۱۰ سانتی‌متر مقدار

تنوع و غنای مزوفون خاک در شیب کمتر از ۲۵ درصد بیشتر بود. دلیل این نتیجه می‌تواند تنک بودن پوشش گیاهی طبقهٔ شیب به‌خصوص اشکوب درختی به‌عنوان منبع لاشبرگ و نیز کاهش سایه‌انداز (کاهش رطوبت خاک سطحی) و کاهش منابع غذایی باشد (Ashford *et al*., 2013; Ober and de Groote, 2011) که موجب حضور بیشتر مزوفون خاک در زیر خاک می‌شود. بر اساس تحقیق انجام‌شده توسط Koehler (1999)، فراوانی و تنوع فون خاک به‌طور قابل‌توجهی متأثر از پوشش گیاهی است. Mirzaei و همکاران (2008) و Kouba و همکاران (2014) در پژوهش‌های خود بر روی پوشش گیاهی دریافتند که ارتباط نزدیکی بین ارتفاع از سطح دریا و مقدار تنوع وجود دارد و با افزایش ارتفاع از سطح دریا، شاخص‌های تنوع در منطقه میان‌بند مقدار بیشتری را نشان دادند. همچنین Sohrabi و همکاران (2007) و Taleshi and Akbarini (2011) شیب را به‌عنوان یکی از عوامل بسیار تأثیرگذار بر تنوع گونه‌ای دانستند. این شرایط می‌تواند بر تغییرات تنوع مزوفون خاک مؤثر باشد.

نتایج نشان داد که با افزایش شیب دامنه در این موقعیت، تنوع مزوفون خاک کاهش معنی‌داری داشت. به نظر می‌رسد افزایش شیب سبب کاهش تجمع منابع غذایی و کاهش عمق خاک شده که این مسئله به‌خصوص در فصل گرما موجب کاهش رطوبت خاک و منابع غذایی شده و در نتیجه بر حضور مزوفون خاک اثر منفی خواهد داشت (Begum *et al*., 2013). در دامنهٔ جنوبی و در میان لاشبرگ، مقدار تنوع شانون وینر و غنای گونه‌ای در موقعیت‌های مختلف اختلاف معنی‌داری نشان داد و مقدار غنای مارگالف در میان لاشبرگ در شیب کمتر از ۲۵ درصد میان‌بند مقدار بیشتر و در شیب بیش از ۵۰ درصد پایین‌بند ومیان بند کمترین مقدار را نشان داد. تفاوت در الگوی تنوع در دامنهٔ شمالی و جنوبی می‌تواند به‌دلیل گرم‌تر بودن دامنه‌های رو به جنوب و تنک‌تر بودن پوشش و در نتیجه کاهش عمق لاشبرگ و منابع غذایی باشد. Gan (2013) نشان داد که شرایط سخت محیطی مانند دریافت بیشتر اشعه خورشید و نیز کاهش عمق لاشبرگ و کاهش کیفیت منابع بر حضور بندپایان خاکزی اثر منفی دارد. مقایسه میانگین شاخص‌های عددی تنوع بین دو عمق (لاشبرگ و عمق ۱۰ سانتی‌متر) در هر دو جهت شمالی و جنوبی نشان داد که مقدار تنوع شانون وینر و غنای مارگالف در میان‌بند، شیب کمتر از ۲۵ درصد به‌طور معنی‌داری در لاشبرگ بیشتر از عمق ۱۰ سانتی‌متر است. از نظر عمقی، در دامنهٔ جنوبی و در شیب بیشتر از ۵۰ درصد هم درپایین‌بند و هم در میان‌بند، یکنواختی در نمونه‌های لاشبرگ بیشتر از نمونه‌های عمق ۱۰ سانتی‌متری بود. در جهت شمالی، در شیب کمتر از ۲۵ درصد و شیب ۲۵–۵۰ درصد پایین‌بند، از نظر عمقی، یکنواختی در لاشبرگ بیشتر از عمق ۱۰ سانتی‌متری بود. به‌طورکلی در موارد دارای اختلاف معنی‌دار، یکنواختی در هر دو جهت شمالی و جنوبی در لاشبرگ بیشتر از عمق ۱۰ سانتی‌متر بود (شکل ۳)؛ و نیز به‌طورکلی تنوع، غنا و یکنواختی مزوفون خاک در هر دو جهت شمالی و جنوبی در لاشبرگ بیشتر از عمق ۱۰ سانتی‌متری بود. جمعیت فون خاک ارتباط مستقیمی با مقدار مواد مغذی خاک دارد (Ge *et al*., 2013) و تجمع آنها وابستگی بالایی به تجمع و کیفیت لاشبرگ دارد زیرا ورودی لاشبرگ انرژی پایه را برای شبکه غذایی خاک فراهم می‌کند (Verhoef and Brussaard, 1990). وجود لایهٔ قطور لاشبرگ می‌تواند به‌عنوان یک میانجی بر میکروکلیمای خاک اثر مثبت داشته باشد و فراوانی تنوع فون خاک را بهبود بخشد (Bultman and Uetz, 1982). منطبق با نتایج این پژوهش، Schuldt و همکاران (2008) نشان دادند که تمرکز فون خاک در

زیر تاج‌پوشش درختان و نقاط با لاشبرگ عمیق‌تر بیشتر است. به‌طوری‌که با کاهش مقدار لاشبرگ فراوانی و حضور این موجودات کاهش پیدا می‌کند. بر اساس نتایج تنوع و غنای فون خاک در شیب کمتر ۲۵ درصد بین دو عمق تفاوت معنی‌داری داشت و در شیب بالاتر این تفاوت معنی‌دار نبود. دلیل این مسئله می‌تواند اثر منفی شیب بر تجمع لاشبرگ و در نتیجه کاهش عمق لاشبرگ باشد که شرایط را برای حضور فون خاک در میان لاشبرگ با محدودیت مواجه می‌کند (Schuldt *et al*., 2008). نتایج بررسی تطابق الگوی توزیع فراوانی مزوفون خاک در لاشبرگ و عمق ۱۰ سانتی‌متری با مدل‌های مورد استفاده در این تحقیق نشان داد که در تمامی موارد الگوی پراکنش از مدل سری هندسی پیروی می‌کند. پس از مدل سری هندسی، داده‌های مورد بررسی بیش‌ترین تطابق را با مدل عصای شکسته نشان دادند و تقریباً در تمامی موارد، الگوی پراکنش از این مدل نیز پیروی کرده است. مدل سری هندسی نشان‌دهنده جوامعی با تعداد کمی از گونه‌ها است که می‌تواند به علت شرایط اکولوژیکی سخت حاکم بر آن‌ها و یا به علت واقع بودن در مراحل اولیه توالی باشد که در آن مراحل اکثر گونه‌ها نابالغ بوده و تعداد کمی از آن‌ها توانایی استقرار در محیط را دارند و لذا آن جوامع از فقر گونه‌ای رنج می‌برندو به‌طورکلی مدل سری هندسی بیانگر جوامع شکننده و حساس است (Motamedi and Shidaye Karkaj, 2014). در منطقهٔ مورد بررسی تعداد گونه‌های مزوفون خاک کم است و هرچند شاخص‌های عددی تنوع، تفاوت تنوع و غنای گونه‌ای را در موقعیت‌های مختلف فیزیوگرافی تبیین کردند، اما مدل‌های مبتنی بر فراوانی چنین توانی را در مورد مزوفون خاک نشان ندادند؛ زیرا در تمامی موقعیت‌ها، توزیع فراوانی از یک مدل (مدل سری هندسی) پیروی کرد. هر چند در برخی پژوهش‌ها، در زمینه بررسی تنوع پوشش گیاهی، کارایی هر دو گروه شاخص‌های عددی تنوع و نیز مدل‌های توزیع فراوانی گونه‌ای نشان داده شده است (Motamedi and Shidaye Karkaj, 2014، Motamedi and Souri, 2016)؛ اما پژوهش‌ها در زمینهٔ فون خاک و کارایی این شاخص‌ها محدود است.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که تنوع مزوفون خاک در جنگل‌های بلوط ایرانی منطقهٔ مورد بررسی، تحت تأثیر موقعیت‌های مختلف فیزیوگرافی قرار می‌گیرد، به‌طوری‌که بیش‌ترین تنوع گونه‌ای مربوط به میان‌بند و شیب کمتر از۲۵ درصد است. بررسی تطابق الگوی توزیع فراوانی مزوفون خاک در هر دو عمق نمونه‌برداری یعنی لاشبرگ و عمق ۱۰ سانتی‌متری نشان داد که در تمامی موقعیت‌های نمونه‌برداری، الگوی پراکنش مزوفون خاک از مدل سری هندسی پیروی می‌کند. بر این اساس می‌توان بیان کرد که برخلاف شاخص‌های عددی تنوع، شاخص‌های مبتنی بر توزیع فراوانی، کارایی لازم را برای تبیین تنوع مزوفون خاک در موقعیت‌های مختلف فیزیوگرافی و عمق نمونه‌برداری نشان نداده‌اند.

Reference

- Alberti, G., M. Kratzmann, C. Błaszak, H. Streit & U. Blumröder, 1991. Soil mites and acidification: a comparative study of four forest stands near Heidelberg, *The Acari*, 50: 491-493.
- Antunes, S. C., R. Pereira, J. P. Sousa, M. C. Santos & F. Goncalves, 2008. Spatial and temporal distribution of litter arthropods in different vegetation covers of Porto Santo Island (Madeira Archipelago, Portugal), *European Journal of Soil Biology*, 44(1): 45-56.
- Ashford, O. S., W. A. Foster, B. L. Turner, E. J. Sayer, L. Sutcliffe & E. V. J. Tanner, 2013. Litter manipulation and the soil arthropod

community in a lowland tropical rainforest. *Soil Biology and Biochemistry*, 62: 5-12.
- Axmacher, J. C. & K. Fiedler, 2009. Habitat type modifies geometry of elevational diversity gradients in geometrid moths (Lepidoptera Geometridae) on Mt Kilimanjaro, Tanzania, *Tropical Zoology*, 21(2): 243-251.
- Barnes, B. V., D. R. Zak, S. R. Denton & S. H. Spurr, 1998. Forest Ecology, 4th edition. John Wiley and Sons Press, New York, 773 p.
- Barrios, E., 2007. Soil biota, ecosystem services and land productivity, *Ecological. Economics,* 64(2): 269-285.
- Begum, F., R. M. Bajracharya, B. K. Sitaula & S. Sharma, 2013. Seasonal dynamics, slope aspect and land use effects on soil mesofauna density in the mid-hills of Nepal, *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, 9(4): 290-297.
- Binkley, D. & R. Fisher, 2012. Ecology and Management of Forest Soils, 4th Edition. *Wiley-Blackwell* Press, 362 p.
- Bokhorst, S., P. Kardol, P. J. Bellingham, R. M. Kooyman, S. J. Richardson, S. Schmidt & D. A. Wardle, 2017. Responses of communities of soil organisms and plants to soil aging at two contrasting long-term chronosequences, *Soil Biology and Biochemistry,* 106: 69–79.
- Bowker, M. A., R. L. Mau, F. T. Maestre, C. Escolar & A. P. Castillo-Monroy, 2011. Functional profiles reveal unique ecological roles of various biological soil crust organisms, *Functional Ecology*, 25(4):787-795.
- Brevault, T., S. Bikay, J. M. Maldes & K. Naudin, 2007. Impact of a no-till with mulch soil management strategy on soil macrofauna communities in a cotton cropping system, *Soil & Tillage Research*, 97(2): 140-149.
- Bultman, T. L. & G. W. Uetz, 1982. Abundance and community structure of forest floor spiders following litter manipulation, *Oecologia*, 55(1): 34-41.
- Condit, R., N. Pitman, E. G. Leigh, J. Chave, J. Terborgh, R. B. Foster, P. Núnez, S. Aguilar, R. Valencia & G. Villa, 2002. Beta-diversity in tropical forest trees, *Science*, 295(5555): 666-669.
- Duhour, A., C. Costa, F. Momoa, L. Falco & L. Malacalza, 2009. Response of earthworm communities to soil disturbance: Fractal dimension of soil and species' rank-abundance curves, *Applied Soil Ecology,* 43(1): 83–88.
- Ejtehadi, H., A. Sepehry & H. R. Akkafi, 2009. Methods of Measuring Biodiversity, Ferdowsi University Press, 228 p. (In Persian)
- Fathizadeh, O., Hosseini, S. M., Zimmermann, A., Keim, R. F., & Boloorani, A. D. (2017). Estimating linkages between forest structural variables and rainfall interception parameters in semi-arid deciduous oak forest stands. Science of The Total Environment, 601, 1824-1837.
- Feijoo, A., A. F. Carvajal, M. C. Zniga, H. Quintero & C. Fragoso, 2011. Diversity and abundance of earthworms in land use systems in central-western Colombia, *Pedobiologia*, 54: S69–S75.
- Ferguson, S. H. & D. K. A. Berube, 2004. Invertebrate diversity under artificial cover in relation to boreal forest habitat characteristics, *The Canadian Field-Naturalist,* 118(3): 386-394.
- Gan, H., 2013. Oribatid mite communities in soil: structure, function and response to global environmental change. PhD thesis. Department of Ecology and Evolutionary Biology. University of Michigan. Michigan, USA, 175 p.
- Ge, X., L. Zeng, W. Xiao, Z. Huang, X. Geng & B. Tan, 2013. Effect of litter substrate quality and soil nutrients on forest litter decomposition: A review, *Acta Ecologica Sinica*, 33(2): 102-108.
- Hattenschwiler, S., 2005. Effects of tree species diversity on litter quality and decomposition, *Forest Diversity and Function,* 149-164.
- Heydari, M. & A. Mahdavi, 2009. Pattern of Plant Species Diversity in Related to Physiographic Factors in Melah Gavan Protected Area, Iran, *Asian Journal of Biological Sciences*, 2(1): 21-28.
- Heydari, M., B. Prévosto, T. Abdi, J. Mirzaei, M. Mirab-balou, N. Rostami, M. Khosravi & D. Pothier, 2017. Establishment of oak seedlings in historically disturbed sites: Regeneration success as a function of stand structure and soil characteristics, *Ecological Engineering*, 107: 172-182.
- Heydari, M., H. Poorbabaei, M. Bazgir, A. Salehi & J. Eshaghirad, 2014. Earthworms as indicators of different forest management types and human disturbance in llam Oak

foresto Iran, *Folia Forestalia Polonica,* 56(3): 121–134.
- Kaneko, N., Y. Sugawara, T. Miyamoto, M. Hasegawa & T. Hiura, 2005. Oribatid mite community structure and tree species diversity: A link? *Pedobiologia*, 49(6): 521-528.
- Khodashenas, A., A. Koocheki, P. Rezvani Moghaddamand & A. Lakzian, 2012. Evaluation of Structural Biodiversity in Natural Systems of Arid and Semiarid Regions: 1- Soil Characteristic and Biodiversity*, Journal of Natural Environment, Iranian Journal of Natural Resources*, 65(2):163-179.
- Koehler, H. H., 1999. Predatory mites (Gamasina, Mesostigmata), Ag*riculture, Ecosystems and Environment*, 74(1): 395-410.
- Kolongo, T. S. D., G. Decocq, C. Y. A. Yao, E. C. Blom & R. S. Van Rompaey, 2006. Plant species diversity in the southern part of the Tai National Park (Co te divoire), *Biodiversity and Conservation*, 15(7): 2123-2142.
- Kouba, Y., F. Martínez-García, Á. de Frutos & C. L. Alados, 2014. Plant β-diversity in human-altered forest ecosystems: the importance of the structural, spatial, and topographical characteristics of stands in patterning plant species assemblages, *European Journal of Forest Research*, 133(6): 1057–1072.
- Kraft, N. J. B., L. S. Comita, J. M. Chase, N. J. Sanders, N. G. Swenson, T. O. Crist, J. C. Stegen, M. Vellend, B. Boyle, M. J. Anderson, H. V. Cornell, K. F. Davies, A. L. Freestone, B. D. Inouye, S. P. Harrison & M. J. Anderson, 2011. Disentangling the drivers of β diversity along latitudinal and elevational gradients, *Science,* 333(6050): 1755–1758.
- Kromer, T., M. Kessler, S. Robbert Gradstein & A. Acebey, 2005. Diversity patterns of vascular epiphytes along an elevational gradient in the Andes, *Journal of Biogeography* 32(10): 1799-1809.
- Magurran, A. E., 1988. Ecological diversity and its measurement, Princeton university press.
- Margules, C. R. & R. L. Pressey, 2000. Systematic conservation planning, *Nature*, 405(6783): 243–253.
- Mayvan, M. M. & M. Shayanmehr, 2015. An investigation of soil chilopoda from Semeskandeh forest (Sari, Mazandaran, Iran), *Taxonomy And Biosistematics Journal,* 7(25): 1-12. (In Persian)
- Meyer, W. M., R. Ostertag & R. H. Cowie, 2011. Macro-invertebrates accelerate litter decomposition and nutrient release in a Hawaiian rainforest, *Soil Biology and Biochemistry*, 43(1): 206-211.
- Mirzaei, J., M. Akbarinia, S. M. Hosseni & M. Kohzadi, 2008. Biodiversity comparison of woody and ground vegetation species in relation to environmental factors in different aspects of Zagros forest, *Environmental Sciences*, 5(3): 85-94.
- Moghimian, N., H. Habashi, & Y. Kooch. 2013. Response of Soil Mesofauna to Different Afforested Types in the North of Iran, *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*, 3(4): 34-45.
- Motamedi, J. & E. Shidai Karkaj, 2014. Suitable species diversity abundance model in three grazing intensities in Dizaj Batchi rangelands of west Azerbaijan, *Journal of Range and Watershed Management*, 67(1): 103-115. (In Persian)
- Motamedi, J. & M. Souri, 2016. Efficiency of numerical and parametrical indices to determine biodiversity in mountain rangelands, *Acta Ecologica Sinica*, 36(2): 108–112.
- Negrete-Yankelevich, S., C. Fragoso, A. C. Newton, G. Russell & O. W. Heal, 2008. Species-specific characteristics of trees can determine the litter macroinvertebrate community and decomposition process below their canopies, *Plant and Soil*, 307(1-2): 83-97.
- Ober, H. K. & L. W. DeGroote, 2011. Effects of litter removal on arthropod communities in pine plantations, *Biodiversity and Conservation*, 20(6): 1273-1286.
- Pielou, E. C., 1975. Ecological diversity, John Wiley and Sons Press, New York.
- Pospiech, N. & T. Skalski, 2006. Factors influencing earthworm communities in post-industrial area of Krakow Soda Works, *European Journal of Soil Biology*, 42: S278-S283.
- Pourreza, M., S. M. Hosseini, A. A. S. Sinegani, M. Matinizadeh & W. Dick, 2014. Effect of fire severity on soil macrofauna in Manna oak coppice forests, *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 21(4): 729-740. (In Persian)

- Rocchini, D., M. Marcantonio & C. Ricotta, 2017. Measuring Rao's Q diversity index from remote sensing: An open source solution, *Ecological Indicators*, 72: 234–238.
- Saha, S., G. S. Rajwar & M. Kumar, 2016. Forest structure, diversity and regeneration potential along altitudinal gradient in Dhanaulti of Garhwal Himalaya, *Forest Systems*, 25(2): 058.
- Scheu, S., D. Albers, J. Alphei, R. Buryn, U. Klages, S. Migge, C. Platner & J. A. Salamon, 2003. The soil fauna community in pure and mixed stands of beech and spruce of different age: trophic structure and structuring forces, *Oikos*, 101(2): 225-238.
- Schuldt, A., N. Fahrenholz, M. Brauns, S. Migge-Kleian, C. Platner & M. Schaefer, 2008. Communities of ground-living spiders in deciduous forests: Does tree species diversity matter? *Biodiversity and conservation*, 17(5): 1267-1284.
- Sebastian, P. A., M. J. Mathew, S. P. Beevi, J. Joseph & C. R. Biju, 2005. The spider fauna of the irrigated rice ecosystem in central Kerala, India across different elevational ranges, *Journal of Arachnology*, 33(2): 247-255.
- Shannon, C. E. & W. Weaner, 1963. The Mathematical Theory of Communication, University of Illinois Press.
- Shmida, A. & M. V. Wilson, 1985. Biological determinants of species diversity, *Journal of biogeography*, 12: 1-20.
- Simpson, E. H., 1949. Measurement of diversity, *Nature*, 163: 688.
- Smith, M. A., W. Hallwachs & D. H. Janzen, 2014. Diversity and phylogenetic community structure of ants along a Costa Rican elevational gradient, *Ecography*, 37(8): 720-731.
- Sohrabi, H., M. Akbarinia & S. M. Hosseini, 2007. Investigating the diversity of plant species in ecosystems in the forests of Deh Sorkh Javanroud, *Iranian ecology*, 33(41): 68-61. (In Persian)
- Speight, M. R., M. D. Hunter & A. D. Watt, 2008. Ecology of insects: concepts and applications, Wiley-Blackwell, New Jersey, 579 p.
- Taleshi, H. & M. Akbarinia, 2011. Biodiversity of woody and herbaceous vegetation species in relation to environmental factors in the Lowland forests of Eastern Noshahr, *Iranian Journal of Biology*, 24(5): 766-777. (In Persian)
- Valadi, G., J. Eshaghi-Rad and M. R. Zargaran, 2017. Zargaran.Evaluation of disturbance impact on species diversity of oak forest using parametric method. *Journal of Forest Research and Development*, 2(4), 315-324. (In Persian).
- Verhoef, H. A. & L. Brussaard, 1990. Decomposition and nitrogen mineralization in natural and agroecosystems: the contribution of soil animals, *Biogeochemistry*, 11(3): 175-211.
- Worm, B., E. B. Barbier, N. Beaumont, J. E. Duffy, C. Folke, B. S. Halpern, J. B. C. Jackson, H. K. Lotze, F. Micheli & S. R. Palumbi, 2006. Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services, *science*, 314(5800): 787-790.
- Zou, Y., 2014. Insect diversity patterns along environmental gradients in-the temperate forests of Northern China. PhD thesis. Department of Geography. University College London. London, 241 p.

Efficiency of numerical and parametrical indices to evaluate biodiversity of soil and litter arthropods mesofauna in different physiographic positions in Zagros oak forests

J. Cheraghi[1], M. Heydari[*2], M. Mirab-balou[3] and R. Omidipour[4]

1- M.Sc. Student of Forest Science, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, I.R. Iran.
2- Assistant Profesor, Department of Forest Science, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, I.R. Iran.
3- Assistant Profesor, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, I.R. Iran.
4- Ph.D. Student of Rangeland, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Shahrekord University, Shahrekord, I.R. Iran.

Received: 16.07.2017 Accepted: 17.12.2017

Abstract

This study aimed to determine the efficiency of numerical and parametrical indices to evaluate biodiversity of soil and litter mesofauna in different physiographic positions. Sampling was conducted in three height classes above sea level (low land, middele land and high land) and two aspects (north and south). Also, in each altitude class, three different slope classes (less than 25%, 50-25% and more than 50%) were determined. Three transects of about 100 m were established in each of the slope classes. Three sample points were located along each transect. Around the center of each sample point, a litter layer and a soil sample to a depth of 10 cm speratly were taken. In the laboratory, soil and litter samples were placed inside a Berlese funnel to bring out arthropods mesofauna. The results showed that soil mesufauna Shannon–Wiener's diversity, Pielou's evenness and Margalef's richness indices, were significantly affected by aspect, elevation, sampling depth and their interactions. Along the northern aspect and in the litter layer, the highest Shannon–Wiener's diversity index was observed in middle land and slpoe < 25 percentage. In both slope-faces, soil mesufauna Margalef's and Shannon–Wiener's indices were higher in the litter layer and decreased significantly at a depth of 10 cm.

Keywords: Arthropods, Diversity, Zagros, Numerical and parametrical indices, Physiography.

[*] Corresponding author: Email: m.heidari@ilam.ac.ir