مقاله پژوهشی

نشریه علمی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران
جلد ۲۹ شماره ۲، صفحه ۱۷۵-۱۶۴، (۱۴۰۰)

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/ijfpr.2021.354014.1993
شناسه دیجیتال (DOR): 20.1001.1.17350883.1400.29.2.2.5

مقایسه غنا، تنوع زیستی و یکنواختی ماکروفون خاک در فصل‌های رویش و استراحت در توده خالص بادامک (*Amygdalus scoparia* Spach) در منطقه حفاظت‌شده گنو

مریم بنی‌فاطمه [۱]، حسین پرورش [۲*]، مریم مصلحی [۳]، صابر قاسمی [۴] و عبدالنبی باقری [۵]

۱- دانشجوی دکتری تنوع زیستی، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بندرعباس، بندرعباس، ایران
۲*- نویسنده مسئول، استادیار، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بندرعباس، بندرعباس، ایران
پست الکترونیک: parvaresh163@gmail.com
۳- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان هرمزگان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرعباس، ایران
۴- استادیار، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بندرعباس، بندرعباس، ایران
۵- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات گیاه‌پزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان هرمزگان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرعباس، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۱۱

چکیده

در پژوهش پیش‌رو، غنا، تنوع و یکنواختی ماکروفون خاک در یک توده خالص بادامک (*Amygdalus scoparia* Spach) و عوامل مؤثر بر آن‌ها در فصل‌های رویش و استراحت مقایسه شده‌اند. پس از انتخاب یک توده نیم‌هکتاری در منطقه حفاظت‌شده گنو در استان هرمزگان، ۱۰ نمونه خاک به‌صورت تصادفی تا عمق ۱۵ سانتی‌متری از زیر تاج درختان در فصل‌های رویش و استراحت برداشت شد. در عرصه، ماکروفون از نمونه‌ها جدا شد و برای شناسایی به آزمایشگاه انتقال یافتند. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک نیز در آزمایشگاه اندازه‌گیری شدند. مقایسه ویژگی‌های اندازه‌گیری‌شده بین دو فصل رویش و استراحت با آزمون آماری T در سطح اطمینان ۹۵ درصد و رابطه بین آن‌ها با ماکروفون خاک با استفاده از همبستگی پیرسون در سطح اطمینان ۹۹ درصد ارزیابی شد. نتایج نشان داد که همه ویژگی‌های خاک شامل کربن آلی، نیتروژن، فسفر و درجه‌حرارت به‌جز هدایت الکتریکی و اسیدیته خاک در فصل رویش به‌طور معنی‌داری بیشتر از فصل استراحت بودند. فراوانی و زی‌توده بیشتری برای ماکروفون خاک در فصل رویش (به‌ترتیب ۱۰۶۰ عدد در متر مربع و ۵/۹ میلی‌گرم در متر مربع) نسبت به فصل استراحت (به‌ترتیب ۹۰ عدد در متر مربع و ۰/۷ میلی‌گرم در متر مربع) به‌دست آمد. همچنین، شاخص‌های غنای مارگالف، غنای منهینیک، تنوع زیستی سیمپسون، تنوع زیستی شانون- وینر، یکنواختی پیلو و یکنواختی هیل در فصل رویش (به‌ترتیب ۲/۵۵، ۲/۱۵، ۰/۷۹، ۱/۷۷، ۰/۸۹ و ۰/۹۳) به‌طور معنی‌داری بیشتر از فصل استراحت (به‌ترتیب ۰/۲۳، ۰/۵۳، ۰/۰۹، ۰/۱۳، ۰/۴۹ و ۰/۱۹) بودند. تراکم ماکروفون خاک و شاخص‌های تنوع زیستی، غنا و یکنواختی پیلو، همبستگی‌های مثبت و معنی‌داری با کربن آلی، فسفر، نیتروژن و دمای خاک نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: تنوع، فصل رویش، ماکروفون خاک.

مقدمه

تنوع زیستی خاک شامل موجوداتی است که همه یا بخشی از چرخه زندگی خود را در خاک یا لاش‌برگ سپری می‌کنند. موجودات زنده خاک، بخش بزرگی از تنوع زیستی خشکی

را تشکیل می‌دهند و فرایندهای مهم و حیاتی برای حاصلخیزی خاک را انجام می‌دهند (Asgari, 2013). ماکروفون خاک به‌عنوان یک جزء زیستی مهم و تأثیرگذار در فرایندهای خاک، اهمیت زیادی در چرخه مواد غذایی، انرژی، پویایی مواد آلی و روند تجزیه آن در خاک دارد (Mathieu *et al*., 2009). دستیابی به اطلاعات پایه در این زمینه شامل بررسی اثرات رویشگاه، پوشش گیاهی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بر تنوع زیستی موجودات زنده خاک و تعیین سهم هریک از آن‌ها به‌منظور برنامه‌ریزی‌های مدیریتی صحیح در راستای حفاظت و حمایت از بوم‌سازگان‌های جنگلی ضروری است.

نتایج پژوهش Moghimian و Kooch (۲۰۱۳) درمورد تأثیر برخی از عوامل فیزیوگرافی، فیزیکی و شیمیایی خاک بر زی‌توده کرم خاکی در جنگل‌های ممرز نوشهر نشان داد که نسبت کمتر کربن به نیتروژن سبب افزایش فراوانی و زی‌توده ماکروفون خاک می‌شود. Mehrafrooz Mayvan و Shayanmehr (۲۰۱۳) با بررسی تنوع و تغییرات جمعیت بندپایان طی فصل‌های مختلف در خاک جنگل سمسکنده در استان مازندران گزارش کردند که بیشترین تنوع ماکروفون خاک در فصل تابستان و کمترین تنوع آن در فصل‌های زمستان و بهار وجود دارند. براساس نتایج پژوهش Rasouli-Sadaghiani و همکاران (۲۰۱۵)، مقدار نیترات خاک در کشت گلخانه‌ای و در حضور ماکروفون، ۴۹ درصد افزایش یافت. به‌طور کلی، استفاده از مواد آلی مختلف با تلقیح ماکروفون، نتایج مطلوب‌تری نسبت به شرایط عدم حضور آن‌ها به‌همراه دارد که سبب بهبود ویژگی‌های زیستی خاک می‌شود. Mohammadi و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی ماکروفون خاک در جنگل‌های زاگرس در استان کرمانشاه گزارش کردند که فراوانی و تنوع ماکروفون و نیز برخی ویژگی های خاک در داخل جست‌گروه‌های بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) با خارج آن، اختلاف معنی‌داری دارند. همچنین، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین فراوانی و تنوع ماکروفون خاک با عمق لاش‌برگ و مساحت تاج گونه مذکور به‌دست آمد که دلیل آن، مواد آلی زیاد، تمرکز عناصر غذایی و دسترسی موجودات به منابع غذایی بیشتر در لاش‌برگ ذکر شد. از عوامل مؤثر دیگر بر فعالیت ماکروفون می‌توان به درجه‌حرارت زیاد اشاره کرد که به‌عنوان عامل بازدارنده عمل می‌کند. چنانچه براساس پژوهش‌های انجام‌شده در ساوانا، دما ی بیشتر از ۵۵ درجه سانتیگراد سبب کاهش درصد ماده آلی و تنوع نماتدها در خاک می‌شود (Bongers & Bongers, 1998). از سوی دیگر، تراکم پوشش گیاهی به‌عنوان یک عامل مثبت تأثیرگذار بر شاخص‌های بوم‌شناختی عمل می‌کند. Mathieu و همکاران (۲۰۰۹) با بررسی تنوع زیستی ماکروفون خاک در جنگل‌های آمازون گزارش کردند که کاهش تراکم پوشش گیاهی با کاهش تنوع ماکروفون خاک ارتباط دارد. براساس نتایج پژوهش Jeddi و Chaieb (۲۰۱۰)، تراکم پوشش گیاهی در بوم‌سازگان‌های استپی تونس، نقش مهمی در مقدار نیتروژن و ماکروفون خاک ایفا می‌کند. به‌طوری‌که در مناطق دارای تراکم زیاد ریشه و پوشش گیاهی، مقادیر بیشتری نیتروژن و ماکروفون مشاهده شد.

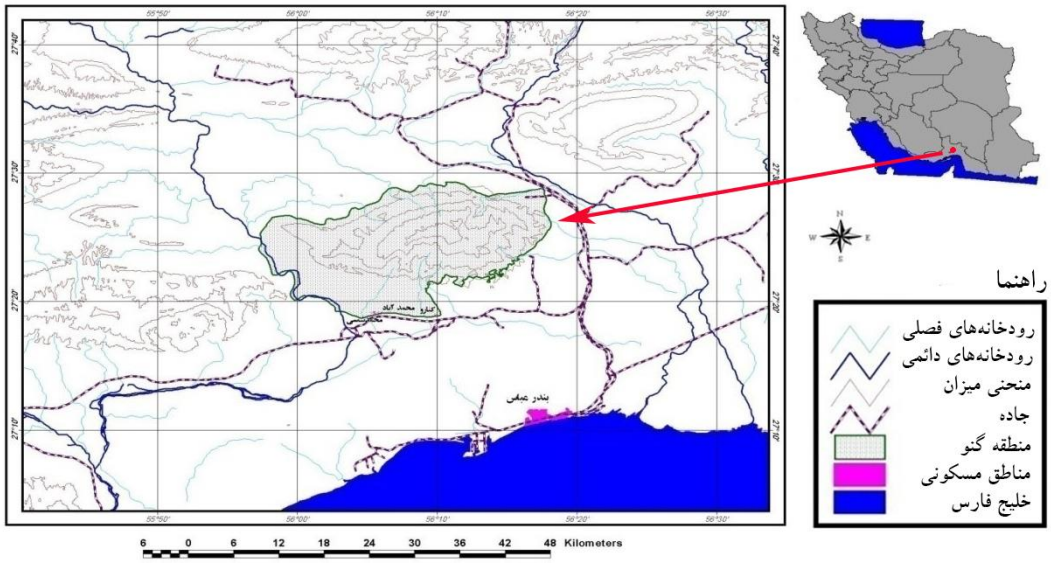
موجودات خاک‌زی، نقش مهمی در عملکرد بوم‌سازگان، روند تجزیه، چرخه عناصر غذایی، فرایند نفوذ و تبادل گازها و آب و درنتیجه، رشد گیاهان، تنوع و توزیع آن‌ها دارند، بنابراین در برنامه‌های حفاظتی، مدیریت و ارزیابی بوم‌سازگان ها، تعیین شاخص‌های تنوع، غنا و فراوانی خاک‌زیان ضروری است (Nahmani *et al*., 2005). به‌علت عدم وجود اطلاعات این موجودات در منطقه حفاظت‌شده گنو، در پژوهش پیش رو غنا، تنوع زیستی و یکنواختی ماکروفون خاک در فصل‌های رویش و استراحت در یک توده خالص بادامک (*Amygdalus scoparia* Spach) بررسی شد. ضمن شناسایی ماکروفون خاک در این منطقه، تغییرات ویژگی‌های آن‌ها در فصل‌های رویش و استراحت و همبستگی بین برخی صفات خاک و شاخص‌های زیستی ماکروفون ارزیابی شد. باتوجه‌به اینکه رویشگاه مذکور جزء مناطق حفاظت‌شده است، بنابراین از نتایج پژوهش پیش‌رو درمورد شاخص‌های زیستی ماکروفون خاک می‌توان به‌عنوان اطلاعات پایه در منطقه مورد مطالعه استفاده کرد. مقایسه این شاخص‌ها در سال های آینده، امکان پایش تغییرات وضعیت رویشگاه به‌منظور

مدیریت بهتر را فراهم می‌کند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

مرکز منطقه حفاظت‌شده گنو با عرض جغرافیایی ″۱۶ ′۲۹ °۲۷ شمالی و طول ″۱۸ ′۴ °۵۶ شرقی در شمال غربی بندرعباس قرار دارد (شکل ۱). این منطقه با میانگین درجه‌حرارت سالانه ۲۶/۸ درجه سانتیگراد در متوسط ارتفاع ۲۰۰۰ متر از سطح دریا واقع شده است. متوسط بارش سالانه آن از ۲۹۰/۳ تا ۳۴۸/۷۵ میلی‌متر متغیر است. خاک منطقه مورد مطالعه در طبقه خاک‌های شنی و لومی قرار دارد. ازنظر جغرافیای گیاهی، فلور کوه گنو متعلق به دو ناحیه رویشی صحارا- سندی و ایران- تورانی است. گونه‌های غالب ایران- تورانی در ارتفاعات گنو شامل بادام (*Amygdalus wendelboi* Freitag)، بنه (*Pistacia atlantica* Desf.)، ارس (*Juniperus polycarpos* K. Koch) و کیکم (*Acer monspessulanum* L.) هستند (Soltanipoor, 2005).



شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه

روش پژوهش

پس از جنگل‌گردشی در ذخیره‌گاه جنگلی گنو در ارتفاع ۲۲۰۰ متری از سطح دریا، ابتدا یک توده نیم‌هکتاری بادامک خالص مشخص شد. سپس، دو قطر عمودبرهم تاج برای همه درختان توده با استفاده از متر اندازه‌گیری شد. به‌منظور قرارگیری قاب نمونه، اندازه‌گیری ماکروفون و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، ۱۰ نقطه از زیر تاج درختان به‌صورت کاملاً تصادفی در توده مورد نظر انتخاب شد. در محل نمونه‌برداری، دمای خاک در اوایل صبح با استفاده از دماسنج دیجیتال و با قرارگیری الکترود دماسنج در عمق ۱۵ سانتی‌متری اندازه‌گیری شد. سپس، نمونه‌های خاک با استفاده از قاب نمونه‌برداری مستطیلی‌شکل (با ابعاد ۱۵×۱۰×۱۰ سانتی‌متر مکعب) از عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متری در دو فصل رویش (خرداد) و استراحت (بهمن) برداشت شدند. این نمونه‌ها از داخل قاب روی پلاستیک ریخته شد. بلافاصله در عرصه، ماکروفون با دقت و به‌صورت دستی از نمونه‌های خاک جدا و در الکل ۷۰ درصد قرار داده شد. شناسایی ماکروفون با استفاده از کلید شناسایی Borror (Borror *et al*., 1989) و با دوربین E.E.I. Digital Microscope انجام شد. سپس، ماکروفون در آون با دمای ۶۰ درجه سانتیگراد قرار داده شد و پس از ۷۲ ساعت، وزن خشک آن‌ها با دقت ۰/۰۰۰۱ اندازه‌گیری شد (Rahmani & Mayvan, 2004). پس از

جداسازی ماکروفون، مقادیری از خاک‌های نمونه به‌منظور آنالیز شیمیایی به آزمایشگاه انتقال یافت. درصد کربن آلی با روش والکی- بلاک، هدایت الکتریکی با استفاده از عصاره اشباع خاک (Black, 1965)، نیتروژن با استفاده از دستگاه کجلدال، اسیدیته با استفاده از دستگاه pH متر و فسفر با روش اولسون (Ribeiro *et al.*, 2002) اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

به‌منظور ارزیابی تنوع زیستی، غنا و یکنواختی ماکروفون‌های شناسایی‌شده از شاخص‌های غنای مارگالف، غنای منهینیک، تنوع سیمپسون، تنوع شانون- وینر، یکنواختی پیلو و یکنواختی هیل با استفاده از نرم‌افزار Past 3 استفاده شد (جدول ۱).

جدول ۱- فرمول شاخص‌های غنا، تنوع زیستی و یکنواختی

متغیر	شاخص	رابطه	مرجع
غنا	مارگالف	$R_{s1} = (S-1) / Ln(n)$	(۱۹۵۷) Margalef
	منهینیک	$R_{s2} = S / \sqrt{n}$	(۱۹۶۴) Menhinick
تنوع	سیمپسون	$\text{ɞ} = 1 - \sum_{i=1}^{s}(p_i)2 = 1 - \sum_{i=1}^{s}\frac{n_i(n_i-1)}{N(N-1)}$	(۱۹۴۹) Simpson
	شانون- وینر	$H = -\sum_{i=1}^{s}(p_i\ (Ln\ p_i))$	(۱۹۴۹) Weaver و Shannon
یکنواختی	پیلو	$E_1 = H/ Ln(S)$	(۱۹۷۵) Pielou
	هیل	$E_2 = 1 / \text{ɞ} / H$	(۱۹۷۳) Hill

n = تعداد افراد یک گونه؛ N = تعداد کل افراد؛ p = نسبت تعداد یک گونه به کل گونه‌ها؛ S = تعداد گونه

داده‌ها با کاربرد نرم‌افزار SPSS 26 آنالیز شد. نرمال بودن توزیع همه داده‌ها با آزمون کولموگروف- سمیرنوف تأیید شد. مقایسه شاخص‌های محاسبه‌شده و نیز ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بین دو فصل رویش و استراحت با استفاده از آزمون آماری t جفتی در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام گرفت. همچنین، به‌منظور بررسی ارتباط بین متغیرهای اندازه‌گیری‌شده از ضریب همبستگی پیرسون در سطح اطمینان ۹۹ درصد استفاده شد.

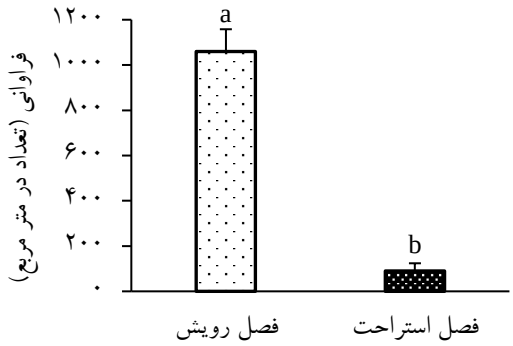
نتایج

مقایسه شاخص‌های زیستی بین دو فصل رویش و استراحت

درمجموع، برای ماه‌های خرداد و بهمن، ۲۵ خانواده ماکروفون (Anthocoridae، Carabidae، Clubionidae، Coccinellidae، Cydnidae، Embiidae، Formicidae، Gryllidae، Hydrometridae، Ixodidae، Lepismatidae، Linyphiidae، Lygaeidae، Miridae، Nymphalidae، Olpiidae، Pentatomidae، Pompilidae، Scolopocryptopidae، Scutelleridae، Staphylinidae، Syrphidae، Tenebrionidae، Thomisidae و Tingidae) شناسایی و ثبت شد (شکل ۲). بیشترین و کمترین فراوانی به‌ترتیب متعلق به خانواده‌های Thomisidae و Formicidae بودند. درصد تاج‌پوشش برای بادامک و بنه به‌ترتیب ۱۷/۵۴ و ۱/۱۶ درصد به‌دست آمد. تراکم درختان در توده مورد نظر ۱۴۸ اصله در هکتار بود.

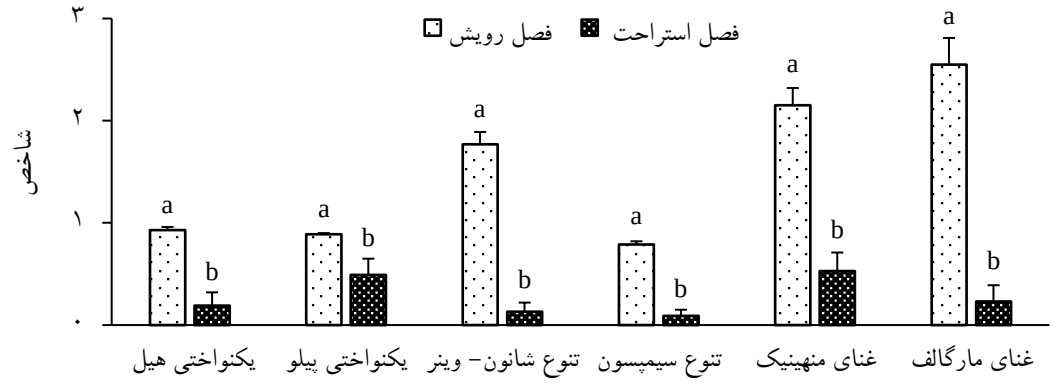
شکل ۲- نمونه‌هایی از ماکروفون‌های شناسایی‌شده متعلق به خانواده‌های Thomisidae (الف) و Lygaidae (ب)

براساس نتایج به‌دست‌آمده، تعداد ماکروفون در واحد سطح در فصل رویش (۱۰۶۰ عدد در متر مربع) به‌طور معنی داری بیشتر از فصل استراحت (۹۰ عدد در متر مربع) بود (شکل ۳).



شکل ۳- مقایسه میانگین تراکم ماکروفون خاک بین فصل‌های استراحت و رویش

(حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند.)



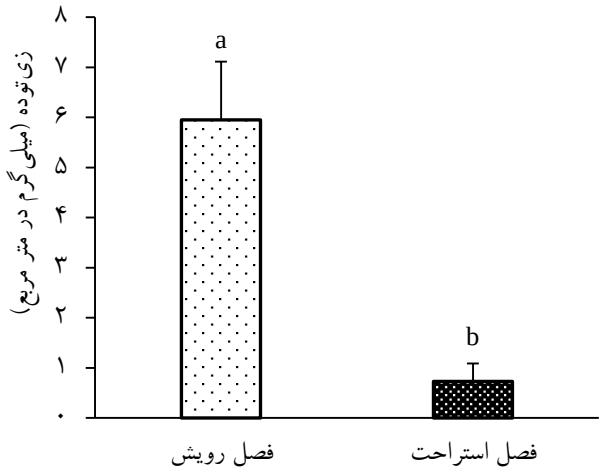
شکل ۴- مقایسه میانگین شاخص‌های تنوع زیستی، غنا و یکنواختی ماکروفون خاک بین فصل‌های استراحت و رویش

(حروف متفاوت در هر شاخص نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند.)

مقایسه میانگین شاخص‌های غنا (مارگالف و منهینیک)، تنوع زیستی (سیمپسون و شانون- وینر) و یکنواختی (پیلو و هیل) نشان داد که مقدار همه این شاخص‌ها در فصل رویش (به‌ترتیب ۲/۵۵، ۲/۱۵، ۰/۷۹، ۱/۷۷، ۰/۸۹ و ۰/۹۳) به‌طور معنی‌داری نسبت به فصل استراحت (به‌ترتیب ۰/۲۳، ۰/۵۳، ۰/۰۹، ۰/۱۳، ۰/۴۹ و ۰/۱۹) بیشتر بودند (شکل ۴).

مقایسه زی‌توده ماکروفون و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بین دو فصل رویش و استراحت

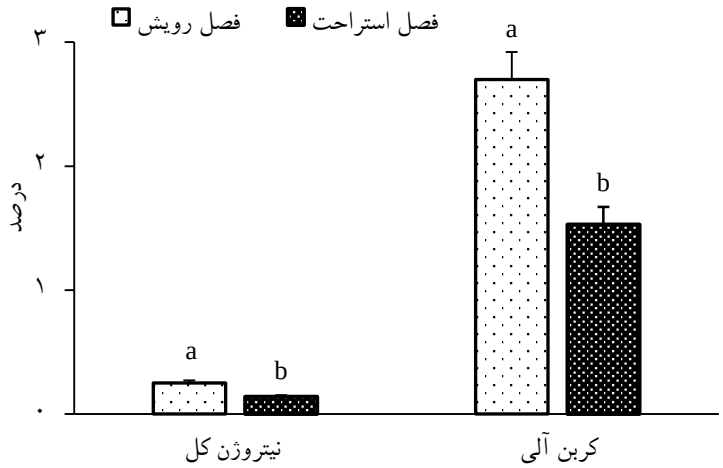
براساس نتایج به‌دست‌آمده، زی‌توده ماکروفون خاک در فصل رویش (۵/۹ میلی‌گرم در متر مربع) به‌طور معنی‌داری بیشتر از فصل استراحت (۰/۷ میلی‌گرم در متر مربع) بود (شکل ۵).



شکل ۵- مقایسه میانگین زی‌توده ماکروفون خاک بین فصل‌های رویش و استراحت

(حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند.)

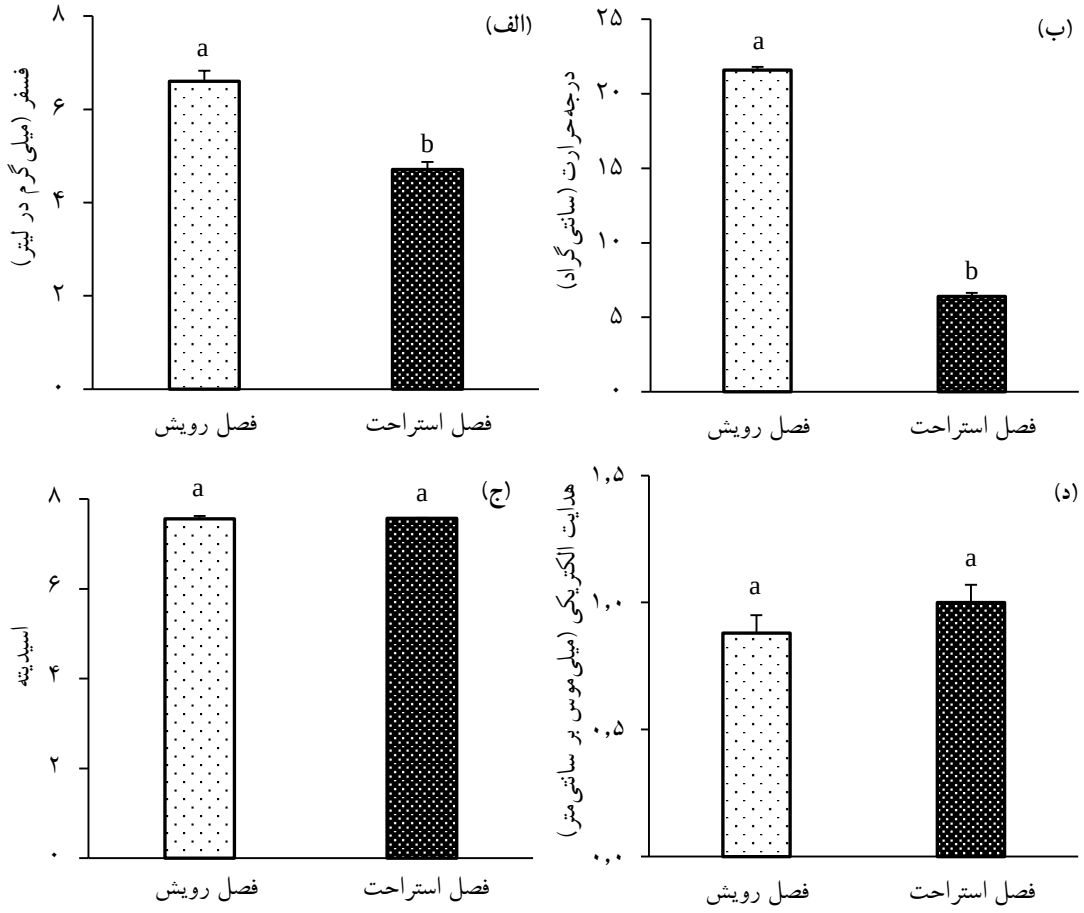
مقدار نیتروژن کل خاک در فصل رویش (۰/۲۵ درصد) به‌طور معنی‌داری بیشتر از فصل استراحت (۰/۱۴ درصد) به‌دست آمد. همچنین، خاک در فصل رویش، کربن آلی بیشتری (۲/۷ درصد) نسبت به فصل استراحت (۱/۵ درصد) داشت (شکل ۶).



شکل ۶- مقایسه میانگین کربن آلی و نیتروژن کل خاک بین فصل‌های رویش و استراحت

(حروف متفاوت برای هر ماده نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند.)

نتایج دیگر نشان داد که اختلاف مقدار فسفر کل خاک بین فصل‌های رویش و استراحت (به‌ترتیب ۶/۶ و ۴/۷ میلی‌گرم در لیتر) در سطح اطمینان ۹۵ درصد، معنی‌دار بود (شکل ۷- الف). درجه‌حرارت خاک نیز در فصل رویش (۲۱/۵ سانتیگراد) به‌طور معنی‌داری نسبت به فصل استراحت (۶/۴ سانتیگراد) بیشتر بود (شکل ۷- ب). مقدار اسیدیته خاک در فصل‌های رویش و استراحت ۷/۵ به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری باهم نداشتند (شکل ۷- ج). همچنین، بین فصل‌های رویش و استراحت ازنظر هدایت الکتریکی خاک (به‌ترتیب ۰/۸۸ و یک میلی‌موس بر سانتی‌متر) اختلاف معنی داری مشاهده نشد (شکل ۷- د)



شکل ۷- مقایسه میانگین فسفر کل (الف)، درجه‌حرارت (ب)، اسیدیته (ج) و هدایت الکتریکی خاک (د) بین فصل‌های رویش و استراحت

(حروف متفاوت در هر نمودار نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد هستند.)

همبستگی بین شاخص‌های زیستی ماکروفون با ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

در همبستگی بین متغیرهای اندازه‌گیری‌شده خاک با ماکروفون مشخص شد که شاخص‌های تنوع زیستی، غنا و یکنواختی پیلو و فراوانی ماکروفون، همبستگی مثبت و معنی‌داری با فسفر، نیتروژن، کربن آلی و درجه‌حرارت دارند (جدول ۲). بیشترین ضریب‌های همبستگی به‌ترتیب متعلق به درصد کربن آلی با درصد نیتروژن خاک (r=۰/۹۹)،

شاخص‌های تنوع شانون- وینر، فراوانی ماکروفون، غنای مارگالف و غنای منهینیک با درجه‌حرارت خاک (ضریب‌های همبستگی به‌ترتیب ۰/۹۳، ۰/۹۲، ۰/۸۷ و ۰/۸۳)، شاخص‌های تنوع سیمپسون، تنوع شانون- وینر و فراوانی ماکروفون با فسفر (ضریب‌های همبستگی به‌ترتیب ۰/۷۵، ۰/۷۲ و ۰/۷۲) و زی‌توده ماکروفون با درجه‌حرارت خاک (r=۰/۷۲) بودند (جدول ۲).

جدول ۲- ضریب همبستگی صفات اندازه‌گیری‌شده خاک با ماکروفون

متغیر	ضریب هدایت الکتریکی (میلی موس بر سانتی‌متر)	فسفر (میلی‌گرم در لیتر)	نیتروژن (درصد)	کربن آلی (درصد)	دما (سانتیگراد)
فراوانی (تعداد در متر مربع)	۰/۰۰ ns	۰/۷۲**	۰/۶۴**	۰/۶۲**	۰/۹۲**
شاخص غنای مارگالف	۰/۰۰ ns	۰/۶۵**	۰/۵۴*	۰/۵۱*	۰/۸۷**
شاخص غنای منهینیک	۰/۰۵ ns	۰/۵۴*	۰/۵۳*	۰/۵۲*	۰/۸۳**
شاخص تنوع سیمپسون	-۰/۷ ns	۰/۷۵**	۰/۶۵**	۰/۶۴**	۰/۶۳**
شاخص تنوع شانون- وینر	۰/۰۶۹ ns	۰/۷۲**	۰/۶۲**	۰/۶**	۰/۹۳**
شاخص یکنواختی پیلو	۰/۱۹ ns	۰/۴۷*	۰/۴۵*	۰/۴۵*	۰/۴۹*
شاخص یکنواختی هیل	۰/۴۵ ns	۰/۳۳ ns	۰/۳۳ ns	۰/۶۱*	۰/۱۱ ns
زی‌توده (میلی‌گرم در متر مربع)	-۰/۰۶ ns	۰/۳۵ ns	۰/۵۶**	۰/۵۶**	۰/۷۲**
کربن آلی (درصد)	۰/۲۵ ns	۰/۵۳*	۰/۹۹**	۱	۰/۷۲**

** معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد؛ * معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد؛ ns غیرمعنی‌دار

بحث

ماکروفون، یک عامل زیستی تأثیرگذار بر حاصلخیزی و تولید بوم‌سازگان‌های جنگلی است که به‌سبب فعالیت زیستی، حساسیت به تخریب خاک و افزایش تنوع زیستی، به‌عنوان یکی از شاخص‌های حاصلخیزی، سلامت بوم‌سازگان و شدت فعالیت زیستی خاک استفاده می‌شود (Blouin *et al*., 2013). در بسیاری از پژوهش‌ها، ارتباط بین پوشش گیاهی و موجودات زیستی خاک تأیید و تأکید شده است، اما اثرات زی‌توده گیاهی و ترکیب گونه‌ها بر ماکروفون خاک هنوز به‌درستی درک نشده است (Vazquez *et al*., 2020).

براساس نتایج به‌دست‌آمده در پژوهش پیش‌رو، همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد بین تراکم ماکروفون خاک و شاخص‌های غنا، تنوع زیستی و یکنواختی پیلو با مقدار فسفر و درصد نیتروژن خاک وجود داشت. نتایج پژوهش پیش‌رو نشان داد که کربن آلی خاک در فصل رویش (۲/۷ درصد) به‌طور معنی‌داری نسبت به فصل استراحت (۱/۵ درصد) بیشتر بود. Li و همکاران (۲۰۰۷)، نتایج مشابهی را گزارش کردند. همچنین، زی‌توده و فراوانی ماکروفون خاک در فصل رویش بیشتر از فصل استراحت به‌دست آمد که با نتایج Kheiri و همکاران (۲۰۱۲) و Bayranvand و Kooch (۲۰۱۶) مطابقت دارد. براساس نتایج دیگر پژوهش پیش‌رو، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین شاخص‌های زیستی و فراوانی ماکروفون با ماده آلی وجود داشت که در راستای نتایج Mehrafrooz Mayvan و Shayanmehr (۲۰۱۳) است. ماده آلی به‌عنوان منابع انرژی و کربن ریزاندامگان عمل می‌کند، به‌طوری‌که نه‌تنها سبب تحریک جمعیت میکروبی در ریشه‌گاه (Rhizosphere) می‌شود، بلکه زی‌توده ریشه گیاه (منبع کربن آلی) را نیز افزایش می‌دهد. بدین‌ترتیب، این دو با

اثر متقابل بر یکدیگر سبب افزایش فعالیت ماکروفون خاک می‌شوند. باتوجه‌به همبستگی بین ماده آلی و شاخص‌های زیستی ماکروفون خاک می‌توان چنین استدلال کرد که یکی از دلایل افزایش این شاخص‌ها و فراوانی ماکروفون در فصل رویش، افزایش فعالیت متابولیکی و رویشی گیاه در این دوره است. لایه‌های بالایی خاک با فراهم کردن مواد آلی بیشتر طی فصل رویش در شرایط کوهستانی ذخیره‌گاه گنو، محیط مساعدتری را برای فعالیت، تراکم و تنوع ماکروفون فراهم می کنند (Mehrafrooz Mayvan & Shayanmehr, 2013).

به‌طور کلی، مواد آلی خاک سبب ایجاد یک ساختمان مطلوب در خاک می‌شوند و به آن برای جذب و نگهداری آب و مواد مغذی کمک می‌کنند. ماده آلی با فراهم کردن انرژی (ازطریق ترکیبات حاوی کربن)، نیتروژن (برای تشکیل پروتئین) و فسفر، رشدونمو موجودات زنده خاک را تسهیل می‌کند و از این طریق سبب افزایش جمعیت ماکروفون می شود (Mehrafrooz Mayvan & Shayanmehr, 2013). نیتروژن، فسفر و گوگرد، عناصری هستند که توسط ماده آلی از خاک جذب شده و در زمان تجزیه آزاد می‌شوند (Asgari, 2013). براساس نتایج پژوهش پیش‌رو، فسفر در فصل رویش، افزایش قابل‌ملاحظه‌ای نسبت به فصل استراحت داشت که هم‌راستا با یافته‌های Le Bayon و Milleret (۲۰۰۹) است. نیتروژن کل خاک نیز در فصل رویش، افزایش ۷۸ درصدی نسبت به فصل استراحت نشان داد. Kooch و Zoghi (۲۰۱۴) و Rasouli-Sadaghiani و همکاران (۲۰۱۵)، نتایج مشابهی را گزارش کردند. بقایای گیاهی ازجمله برگ‌ها و شاخه‌ها روی خاک و ریشه‌های مرده در داخل خاک باقی می‌مانند. این بقایا به‌محض قرارگیری در خاک در اثر فعالیت زیستی تجزیه می‌شوند. سپس، عناصر غذایی موجود در آن‌ها آزاد می‌شوند و به خاک بازمی‌گردند که سبب افزایش عناصر غذایی موجود در خاک می‌شوند. نیتروژن، یکی از عوامل محرک و فعالیت ماکروفون خاک است. در پژوهش‌های پیشین گزارش شده است که هرچه نسبت کربن به نیتروژن کمتر باشد، فعالیت، زی‌توده و فراوانی ماکروفون بیشتر خواهد بود (Moghimian & Kooch, 2013)، بنابراین دلیل دیگر افزایش ماکروفون و شاخص‌های زیستی آن در فصل رویش نسبت به فصل استراحت می‌تواند افزایش نیتروژن و فسفر خاک در فصل رویش باشد. از سوی دیگر، رابطه بین فسفر و ماکروفون خاک، متقابل است. ماکروفون خاک نیز به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر پویایی فسفر (از نظر تحرک و دسترسی گیاهان به آن) تأثیر می‌گذارد. فسفر، یکی از عناصر غذایی مهمی است که پویایی آن طی فعالیت ماکروفون افزایش می‌یابد، بنابراین یکی از دلایل افزایش فسفر در دوره رویش را می‌توان به فعالیت بیشتر ماکروفون خاک طی این فصل نسبت داد (Le Bayon & Milleret, 2009).

به‌غیر از نقش ماده آلی و عناصر غذایی خاک، از دلایل دیگر افزایش تراکم و زی‌توده ماکروفون خاک در فصل رویش می‌توان به دما و رطوبت مناسب در این فصل اشاره کرد (Kooch & Bayranvand, 2016). درجه‌حرارت در فصل رویش (۲۱/۵ سانتیگراد) به‌طور معنی‌داری بیشتر از فصل استراحت (۶/۴ سانتیگراد) به‌دست آمد. افزایش درجه‌حرارت (درجه‌حرارت بهینه) همراه با رطوبت کافی و نیتروژن زیاد سبب افزایش فعالیت انواع موجودات خاک‌زی و تجزیه سریع لاش‌ریزه می‌شوند (USDA, 1994). براساس نتایج جدول ۲، درجه‌حرارت، رابطه مستقیم معنی‌داری با همه شاخص‌های زیستی (به‌جز شاخص یکنواختی هیل) نشان داد. در فصل رویش با مساعد شدن شرایط دمایی و رطوبتی خاک، ماکروفون ازنظر زیستی فعال می‌شود. درنتیجه، جمعیت آن‌ها افزایش می‌یابد و در سطح خاک تجمع می‌کنند (Kalu *et al*., 2015). این موضوع می‌تواند یکی دیگر از علت‌های مهم افزایش فعالیت و تراکم ماکروفون در فصل رویش باشد. از دلایل دیگر می‌توان به تاج‌پوشش درختان اشاره کرد. در شرایط کوهستانی ذخیره‌گاه گنو، تاج‌پوشش با ایجاد سایه، تنظیم رطوبت، دمای خاک و تولید لاش‌برگ، بستر مناسبی را برای افزایش تراکم و زی‌توده ماکروفون خاک فراهم می‌کند (Sayad *et al*., 2010).

شاخص‌های غنای منهینیک و مارگالف، تنوع زیستی شانون- وینر و سیمپسون و یکنواختی پیلو و هیل در فصل

رویش به‌طور معنی‌داری بیشتر از فصل استراحت بودند که با نتایج پژوهش Ghorbanzadeh و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت دارد. در یک زیست‌بوم، دو عامل ثبات (Stability) و تنوع، لازم و ملزوم یکدیگر هستند (Ghorbanzadeh *et al.*, 2018). افزایش تنوع سبب حفظ و تداوم ثبات (پایداری) می شود، بنابراین مقدار زیاد شاخص‌هایی مانند شانون- وینر در یک منطقه نشان‌دهنده ثبات آن منطقه است (Ghorbanzadeh *et al.*, 2018). گفتنی است که درجه تنوع زیستی سیمپسون اغلب برای تعیین مقدار غلبه جمعیت گونه‌ها به‌کار می‌رود. به‌طور معمول، هرچه تنوع زیستی سیمپسون برای یک گونه در اجتماع بیشتر باشد، مقدار این شاخص به‌سمت یک میل می‌کند. برعکس، هرچه توزیع فراوانی افراد بین گونه‌ها یکنواخت‌تر باشد، این شاخص به صفر نزدیک می شود (Ghorbanzadeh *et al.*, 2018). باتوجه‌به اینکه شاخص سیمپسون طی فصل رویش در منطقه مورد مطالعه به‌سمت یک میل می‌کند، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که فراوانی گونه‌های غالب ماکروفون در منطقه حفاظت‌شده گنو زیاد است.

براساس نتایج پژوهش پیش‌رو، تغییرات اقلیمی ناشی از تغییرات فصلی، خرداقلیم خاک (به‌خصوص درجه‌حرارت) و نیز ویژگی‌های شیمیایی آن، نقش تعیین‌کننده‌ای در فعالیت، تراکم و تنوع زیستی ماکروفون خاک جنگل دارند. ویژگی های خاص منطقه حفاظت‌شده گنو مانند درصد کم تاج‌پوشش، خاک سنگلاخی و کم‌عمق و حاصلخیزی کم آن نسبت به شرایط مشابه در نقاط دیگر کشور سبب شده است که شرایط این منطقه، بسیار حساس و شکننده باشد، بنابراین حضور ماکروفون در خاک، تنوع زیاد و فعالیت آن‌ها به‌عنوان یکی از عوامل کلیدی در بازگشت عناصر غذایی و حاصلخیزی خاک می‌تواند نقش سازنده‌ای در سلامت بوم‌سازگان و حفظ تعادل آن داشته باشند. باتوجه‌به شکنندگی بوم‌سازگان گنو و کندرشدی گونه‌های عرصه، کمترین دخالت در این منطقه به‌ویژه در فصل رویش حتی می‌تواند بخش زیرزمینی و نیز روزمینی خاک را به‌شدت تغییر دهد. با حذف گونه‌های مختلف ماکروفون یا کاهش شاخص‌های زیستی، بوم‌سازگان گنو از تعادل خارج شود و خسارت‌های جبران ناپذیری در عرصه ایجاد شود، بنابراین علاوه‌بر لزوم حفاظت از منطقه و حفظ تنوع خانواده‌های ماکروفون شناسایی‌شده در پژوهش پیش‌رو می‌توان گفت که شاخص‌های تنوع گونه‌ای، مفسر خوبی به‌منظور ارزیابی اقدام‌های مدیریتی در بوم‌سازگان‌های طبیعی محسوب می‌شوند. این شاخص‌ها باید به‌عنوان یکی از عوامل سنجش پایداری بوم‌سازگان‌ها و نوسان یا کاهش آن‌ها مورد توجه مدیران منابع طبیعی قرار گیرند و سالانه پایش شوند. با دسترسی به روند تغییرات و سلامت بوم‌سازگان و در صورت تغییر یا کاهش شاخص‌های زیستی می‌توان تصمیم‌های مدیریتی صحیح برای ترمیم و حفاظت آن اتخاذ کرد.

منابع مورد استفاده

- Asgari, H.R., 2013. The Importance of Soil Organic Matter: Key to Drought-Resistant Soil and Sustained Food Production (translation). Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, 238p (In Persian).
- Bayranvand, M. and Kooch, Y., 2016. The effect of broad-leaved tree species on abundance and diversity of earthworms in the flat forest ecosystem. Journal of Soil Biology, 4(1): 15-27 (In Persian).
- Black, C.A., 1965. Methods of Soil Analysis, Part I: Physical and Mineralogical Properties, Including Statistics of Measurement and Sampling, Vol. 9. American Society of Agronomy, Inc., Madison, Wisconsin, 770p.
- Blouin, M., Hodson, M.E., Delgado, E.A., Baker, G., Brussaard, L., Butt, K.R., … and Brun, J.J., 2013. A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. European Journal of Soil Science, 64(2): 161-182.
- Bongers, T. and Bongers, M., 1998. Functional diversity of nematodes. Applied Soil Ecology, 10(3): 239-251.
- Borror, D.J., Triplehorn, C.A. and Johnson, N.F., 1989. An Introduction to the Study of Insects, 6th Edition. Saunders College Publishing, Philadelphia, Pennsylvania, 875p.
- Ghorbanzadeh, N., Pourbabaei, H., Salehi, A., Soltani Tolarood, A.A. and Alavi, S.J., 2018. Investigation of microbial diversity and soil microorganisms in softwood and hardwood plantations in the west of Guilan province. Applied Soil Research, 6(3): 1-12

(In Persian).
- Hill, M.O., 1973. Diversity and evenness: A unifying notation and its consequences. Ecology, 54(2): 427-432.
- Jeddi, K. and Chaieb, M., 20102. Changes in soil properties and vegetation following livestock grazing exclusion in degraded arid environments of South Tunisia. Flora- Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants, 205(3): 184-189.
- Kalu, S., Koirala, M. and Khadaka, U.R., 2015. Earthworm population in relation to different land use and soil characteristics. Journal of Ecology and the Natural Environment, 7(5): 124-131.
- Kheiri, M., Habashi, H., Vaezmoosavi, S.M. and Moghimian, N., 2012. Effects of canopy gap on soil macrofauna in mixed beech stand (Case study in Shast- Kalate forest). Human and Environment, 10(1): 101-107 (In Persian).
- Kooch, Y. and Zoghi, Z., 2014. Comparison of soil fertility of *Acer insigne*, *Quercus castaneifolia*, and *Pinus brutia* stands in the Hyrcanian forests of Iran. Chinese Journal of Applied and Environmental Biology, 20(5): 899-905.
- Le Bayon, R.C. and Milleret, R., 2009. Effects of earthworms on phosphorus dynamics – A review. Dynamic Soil, Dynamic Plant, 3(2): 21-27.
- Li, Q., Liang, W., Jiang, Y., Shi, Y., Zhu, J. and Neher, D.A., 2007. Effect of elevated CO_2 and N fertilisation on soil nematode abundance and diversity in a wheat field. Applied Soil Ecology, 36(1): 63-69.
- Margalef, D.R., 1957. La teoría de la información en Ecología. Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona, 32(13): 373-449 (In Spanish).
- Mathieu, J., Grimaldi, M., Jouquet, P., Rouland, C., Lavelle, P., Desjardins, T. and Rossi, J.P., 2009. Spatial patterns of grasses influence soil macrofauna biodiversity in Amazonian pastures. Soil Biology and Biochemistry, 41(3): 586-593.
- Mehrafrooz Mayvan, M. and Shayanmehr, M., 2013. Investigation of diversity and changes in the populations of soil arthropod macrofauna (Chilopoda, Diplopoda, Isopoda and Aranae) during different seasons in Semeskandeh forest soil. Proceedings of Second National Conference on Environmental Conservation and Planning. Hamedan, Iran, 15 Aug. 2013: 9p (In Persian).
- Menhinick, E.F., 1964. A comparison of some species-individuals diversity indices applied to samples of field insects. Ecology, 45(4): 859-861.
- Moghimian, N. and Kooch, Y., 2013. The effect some of physiographic factors and soil physico-chemical features of hornbeam forest ecosystem on earthworms biomass. Journal of Wood and Forest Science and Technology, 20(2): 1-21 (In Persian).
- Mohammadi, R., Salehi, A. and Pourreza, M., 2018. The abundance and biodiversity of soil macrofauna in outside and inside of coppice shoots of Persian oak (*Quercus persica*) in Zagros coppice forests. Journal of Soil Biology, 6(1): 55-65 (In Persian).
- Nahmani, J., Capowiez, Y. and Lavelle, P., 2005. Effects of metal pollution on soil macroinvertebrate burrow systems. Biology and Fertility of Soils, 42(1): 31-39.
- Pielou, E.C., 1975. Ecological Diversity. John Wiley & Sons, New York, 165p.
- Rahmani, R. and Mayvan, H.Z., 2004. Diversity and assemblage structure of soil invertebrates in beech, hornbeam and oak-hornbeam forest type. Iranian Journal of Natural Resources, 56(4): 425-437 (In Persian).
- Rasouli-Sadaghiani, M.H., Ejlali, S. and Ashrafi Saeidlou, S., 2015. The effects of *Eisenia foetida* activity and different organic residues on some soil chemical properties and corn growth indicators. Journal of Water and Soil Science, 19(73): 113-123 (In Persian).
- Ribeiro, C., Madeira, M. and Araújo, M.C., 2002. Decomposition and nutrient release from leaf litter of *Eucalyptus globulus* grown under different water and nutrient regimes. Forest Ecology and Management, 171(1-2): 31-41.
- Sayad, E., Hosseini, S.M., Hosseini, V., Jalali, S.G. and Shooshtari, M.S., 2010. Effect of *Eucalyptus camaldulensis*, *Acacia salicina* and *Dalbergia sissoo* plantation on soil macrofauna. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 17(4): 560-567 (In
- Shannon, C.E. and Weaver, W., 1949. The Mathematical Theory of Communication. University of Illinois Press, Urbana, Illinois, 117p
- Simpson, E.H., 1949. Measurement of dversity. Nature, 163: 688-688.
- Soltanipoor, M.A., 2005. Medicinal plants of the Geno protected area. Pajouhesh and Sazandegi, 18(3): 27-37 (In Persian).
- USDA, 1994. Keys to Soil Taxonomy by Soil Survey Staff, Sixth Edition. United States Department of Agriculture Soil Conservation Service, Washington, D.C., 306p.
- Vazquez, E., Teutscherova, N., Lojka, B., Arango, J. and Pulleman, M., 2020. Pasture diversification affects soil macrofauna and soil biophysical properties in tropical (silvo)pastoral systems. Agriculture, Ecosystems and Environment, 302: 107083.

Comparison of richness, diversity, and evenness of soil macrofauna in growing and dormant seasons in *Amygdalus scoparia* Spach stand of the Geno protected area, Iran

M. Banifatemeh [1], H. Parvaresh [2*], M. Moslehi [3], S. Ghassemi [4] and A. Bagheri [5]

1- Ph.D. Candidate of Biodiversity, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Bandar Abbass Branch, Islamic Azad University, Bandar Abbass, Iran

2*- Corresponding author, Assistant Prof., Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Bandar Abbass Branch, Islamic Azad University, Bandar Abbass, Iran. E-mail: parvaresh163@gmail.com

3- Assistant Prof., Research Division of Natural Resources, Hormozgan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Bandar Abbas, Iran

4- Assistant Prof., Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Bandar Abbass Branch, Islamic Azad University, Bandar Abbass, Iran

5- Assistant Prof., Plant Protection Research Department, Hormozgan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Bandar Abbas, Iran

Received: 27.03.2021 Accepted: 02.08.2021

Abstract

The aim of this study was to compare the richness, diversity, and evenness of soil macrofauna and the factors affecting it during the growing and dormant seasons in *Amygdlus scoparia* Spach stand in the protected area of Geno located in Hormozgan province, Iran. After the selection of a half-hectare stand of *Amygdalus scoparia* in the Geno protected area, 10 soil samples were randomly collected in the depth of 15 cm, under the crown of trees in growing and dormant seasons in order to measure physiochemical characteristics and identify soil macrofauna and their relations. After macrofauna separation, samples were transferred to the laboratory for physiochemical analysis. All variables were compared across two seasons using T-Test analysis (p <0.05) and the correlation of variables was analyzed using Pearson correlation (p <0.01). The results showed that all soil properties (nitrogen, carbon, phosphorus, and temperature) except electrical conduction and soil acidity in the growing season were significantly higher than those in dormant season. The frequency and biomass of macrofauna in the growing season were 1060 in m^2 and 5.9 $mg.m^{-2}$, respectively, comapred to 90 in m^2 and 0.7 $mg.m^{-2}$ obtained for dormant seasons. Further, the indices of Margalef, Menhinick, Simpson, Shannon and Waever, and evenness Pielou and Hill in growing season (2.55, 2.15, 0.79, 1.77, 0.89, and 0.93) were significantly higher than those in dormant season (0.23, 0.53, 0.09, 0.13, 0.49, and 0.19, respectively). Soil macrofauna frequency along with biodiversity, richness, and Pielou evenness indices showed positive and significant correlations with organic carbon, phosphorus, nitrogen and soil temperature.

Keywords: Diversity, growth season, soil macrofauna.