



Investigation of Frequency and Biodiversity of Soil Macrofauna in Irrigated and Rainfed Wheat (*Triticum aestivum* L.) Fields, Ilam Province (Iran)

M. Mirab-balou^{1*}, and B. Miri²

Received: 12-12-2020

Revised: 19-02-2021

Accepted: 27-02-2021

Available Online: 14-09-2022

How to cite this article:

Mirab-balou, M., and Miri, B., 2022. Investigation of frequency and biodiversity of soil macrofauna in irrigated and rainfed wheat (*Triticum aestivum* L.) fields, Ilam province (Iran). Journal of Agroecology 14(2): 331-343.

DOI: [10.22067/agry.2021.67484.1003](https://doi.org/10.22067/agry.2021.67484.1003)

Introduction

Soil is the richest and most diverse living community in any ecosystem. Soil organisms are responsible for the change and transformation of organic matter and the deformation and transport of nutrients such as nitrogen and sulfur. Therefore, they are an integral part of soil quality. In agricultural systems, useful macrofauna includes species that are involved in increasing crop yield and the ecological stability of the system. The objective of this study was the effect of agricultural systems (irrigated and rainfed) on the abundance and diversity indices of soil macrofauna in wheat fields of Ilam province, west of Iran.

Materials and Methods

In this study, the abundance and biodiversity of the soil macrofauna arthropods in wheat fields of Eyvan (Ilam province) was investigated. Five samplings were performed during irrigated and rainfed wheat growth in the year 2019. For this purpose, five sampling units (replicates) were selected for ten fields. In each sampling unit, soil macrofauna was collected using pitfall traps and then counted. Diversity was calculated by Shannon-Wiener and Simpson indices, evenness by Pielou evenness index, and species richness with Margalef index. PAST software was used to calculate biodiversity indices.

Results and discussion

From 3753 macrofauna samples collected, 11 families belonging to different orders of insects and spiders were identified: (1) Diptera including Syrphidae and Muscidae, (2) Hymenoptera, i.e., Formicidae, (3) Coleoptera, i.e., Carabidae, Staphylinidae, Silphidae, Scarabaeidae and Cicindelidae, (4) Hemiptera i.e., Pyrrhocoridae, (5) insects larval from different families, and (6) spiders. The tiger beetles had the highest abundance in both irrigated wheat (25.48%) and rainfed (20.57%) fields. The T-test results showed that the agricultural environment change from irrigated to rainfed fields did not increase or decrease the number of families but increased the average total frequency (from 2100 in rainfed farms to 1653 in irrigated farms). Changing the agricultural environment from irrigated to rainfed caused an increase in the Shannon index, Simpson and Margalof; also, this change of agricultural environment from irrigated to rainfed has caused a decrease in the value of the Pielou index. The results showed that the Shannon-Wiener index and the Margalef richness in the rainfed wheat fields were significantly higher than in the irrigated fields ($P \leq 0.05$), however, the Simpson diversity in rainfed fields was higher than in irrigated wheat fields, but this difference was not significant ($P \geq 0.05$). Also, the Pielou evenness in the irrigated fields was higher than in rainfed, but this difference was insignificant ($P \geq 0.05$). The results also showed that the highest and lowest number of arthropods trapped in pitfall traps in rainfed fields were related to

1- Associate Professor, Department of Plant Protection, College of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.

2- Postdoctoral Researcher, Department of Plant Protection, College of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran.

(*Corresponding Author: m.mirabbalou@ilam.ac.ir)

tiger beetles (21.4 ± 4.87) and red bugs (1.68 ± 0.18), respectively, and in irrigated fields, it was related to tiger beetles (13.60 ± 2.82) and dung beetles (2.16 ± 0.16). In general, the results showed that the frequency and diversity of soil macrofauna in the rainfed wheat fields were higher than in irrigated wheat fields.

Conclusion

The diversity of soil macrofauna arthropods in rainfed wheat fields was better than in irrigated wheat. Less use of chemical pesticides and agricultural machinery in rainfed wheat fields improves soil physical properties as well as provides suitable habitat for soil macrofauna arthropods, which increases diversity. Useful soil macrofauna is very sensitive to environmental changes, so as the environment is destroyed, the diversity and number of these macrofauna decrease. In general, according to the obtained results, it is necessary to avoid the excessive use of chemicals in irrigated wheat fields and to provide conditions for improving the biodiversity of soil macrofauna. These conditions can be created by reducing the use of chemicals on farms, but if you cannot for any reason, avoid the use of chemicals on farms, use other methods such as fallow, crop rotation, and also the cultivation of legumes in the agricultural program of the region provided these conditions.

Keywords: Species diversity, beetles, pitfall trap, Pyrrhocoridae.

مقاله پژوهشی

مطالعه فراوانی و تنوع زیستی بندپایان ماکروفون خاک در مزارع گندم
(*Triticum aestivum* L.) آبی و دیم استان ایلام

مجید میراب بالو^{۱*} و بهزاد میری^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۲۲

تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۲/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۰۹

میراب بالو، م، و میری، ب، ۱۴۰۱. مطالعه فراوانی و تنوع زیستی بندپایان ماکروفون خاک در مزارع گندم (*Triticum aestivum* L.) آبی و دیم استان ایلام. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۲): ۳۳۱-۳۴۳.

چکیده

در این مطالعه، فراوانی و تنوع زیستی بندپایان ماکروفون خاک در مزارع گندم (*Triticum aestivum* L.) شهر ستان ایوان (استان ایلام) مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌برداری در طول رویش گندم سال ۱۳۹۸ انجام شد. بدین منظور، ۱۰ مزرعه گندم آبی و دیم انتخاب و برای هر مزرعه پنج واحد نمونه‌گیری (تکرار) انتخاب گردید که در هر واحد، ماکروفون خاک با استفاده از تله‌های گودالی جمع‌آوری و به تفکیک شمارش شدند. صفات و شاخص‌های تنوع گونه‌ای با استفاده از شاخص‌های شانون-وینر و سیمپسون، یکنواختی با شاخص یکنواختی پیلو و غنای گونه‌ای با شاخص مارگالف محاسبه شد. در مجموع، ۳۷۵۳ نمونه جمع‌آوری شد که سوسک‌های ببری (Cicindelidae) در هر دو مزارع گندم آبی (۲۵/۴۸ درصد) و دیم (۲۰/۵۷ درصد) بیش‌ترین فراوانی را به خود اختصاص دادند. همچنین نتایج تنوع گونه‌ای نشان داد که شاخص‌های تنوع شانون-وینر ($P \leq 0.05$) و غنای مارگالف ($P \leq 0.001$) مزارع گندم دیم به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از مزارع گندم آبی بود، اما شاخص تنوع سیمپسون ($P \geq 0.05$) در مزارع گندم دیم بیش‌تر از مزارع گندم آبی بود، اما این اختلاف معنی‌دار نبود. همچنین شاخص یکنواختی پیلو ($P \geq 0.05$) مزارع گندم آبی بیش‌تر از مزارع گندم دیم بود، اما این اختلاف معنی‌داری نبود. همچنین نتایج نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین تعداد بندپایان ماکروفون به دام افتاده در تله‌های گودالی در مزارع گندم دیم به‌ترتیب مربوط به سوسک‌های ببری (Cicindelidae) ($21/4 \pm 4/87$) و سن‌های قرمز (Pyrrhocoridae) ($1/68 \pm 0/18$) و در مزارع گندم آبی به‌ترتیب مربوط به سوسک‌های ببری (Cicindelidae) ($13/60 \pm 2/82$) و سوسک‌های سرگین‌خوار (Scarabaeidae) ($2/16 \pm 0/16$) بود. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که به‌دلیل مصرف زیاد کودها و علف‌کش‌ها و همچنین استفاده بیش‌تر از ماشین‌آلات کشاورزی در مزارع گندم آبی که باعث تخریب بافت خاک، محیط و کاهش تعداد ماکروفون‌ها می‌شود، در نتیجه فراوانی و تنوع بندپایان ماکروفون خاک در مزارع گندم دیم بیش‌تر از مزارع گندم آبی بود. همچنین می‌توان نتیجه گرفت، با توجه به این که ماکروفون‌های مفید خاک حساسیت زیادی به تغییرات محیط از خود نشان می‌دهند، به‌طوری که هرچه محیط تخریب شود، از تنوع و تعداد این ماکروفون‌ها کاسته می‌شود، در نتیجه می‌توان از این اطلاعات استفاده کرد تا توصیه‌های مدیریتی مناسبی را در مورد استفاده از کودها و سموم شیمیایی در مزارع گندم ارائه نمود.

واژه‌های کلیدی: تله گودالی، تنوع گونه‌ای، سن‌های قرمز، سوسک‌ها

۱- دانشیار گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران.

۲- محقق پسادکتری گروه گیاهپزشکی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

*- نویسنده مسئول: (Email: m.mirabbalou@ilam.ac.ir)

مقدمه

خاک غنی‌ترین و متنوع‌ترین جامعه‌ی زنده هر اکوسیستم را در خود جای داده است. جامعه زنده خاک طیف وسیعی از موجودات شامل ماکروفون، مزوفون، میکروفون و میکروفلور را در بر می‌گیرد که در ارتباطی مستمر با یکدیگر شبکه غذایی پیچیده خاک را تشکیل می‌دهند (Barrios, 2007). شاید خاک مهم‌ترین زیستگاه روی زمین باشد که تنوع زیستی غنی را دارا می‌باشد. موجودات زنده خاک مسئول تغییر و تبدیل مواد آلی و تغییر شکل و انتقال عناصر مغذی مانند نیتروژن و گوگرد هستند؛ بنابراین، بخشی جدایی‌ناپذیر از کیفیت خاک محسوب می‌شوند. امروزه نقش موجودات خاک در رشد گیاه و در نتیجه، بهره‌وری به‌خوبی شناخته شده است (Wardle et al., 2004). بیش از یک چهارم موجودات زنده زمین به‌طور قطع ساکن خاک یا بقایای سطح خاک هستند. ماکروفون به موجوداتی از خاک اطلاق می‌شوند که اندازه بدن آن‌ها بیش از دو میلی‌متر بوده و بخش مهمی از زندگی خود را در خاک یا بقایای سطح خاک سپری می‌کنند؛ و این موجودات با چشم غیر مسلح قابل رؤیت می‌باشند. ماکروفون خاک نقش کلیدی در توده زنده یا زیست توده میکروبی خاک دارند (Barrios, 2007; Smith et al., 2008). بهبود ساختمان خاک، تبادل گازها، تشکیل خاکدانه‌ها، نفوذپذیری و ماندگاری آب خاک، تجزیه اولیه و توزیع مجدد بقایای آلی در پروفیل خاک، چرخش عناصر غذایی، کنترل آفات و علف‌های هرز، تسهیل عمل گرده‌افشانی، بهبود رشد و عملکرد گیاه، تجزیه آلاینده‌ها، پراکنش بذور گیاهان توسط جامعه ماکروفون خاک باعث شده است تا در تنوع زیستی و اکولوژی خاک توجه زیادی را به خود معطوف نمایند (Lavelle et al., 2006).

در سیستم‌های کشاورزی، ماکروفون‌های مفید گونه‌هایی را شامل می‌شوند که در افزایش عملکرد محصول و ثبات اکولوژیکی سیستم نقش دارند. گروه شکارگران و ریزجانداران به‌لحاظ فراوانی، تنوع و کارکردهای بوم‌شناختی از مهم‌ترین ماکروفون‌های مفید خاک به‌شمار می‌روند. پویایی کم‌تر جمعیت شکارگران در قیاس با علف‌خواران سبب می‌شود تا این گونه‌ها که در رأس هرم غذایی جای دارند، متحمل بیش‌ترین آسیب ناشی از تخریب زیستگاه شوند (Woodcock & Pywell, 2010). مهم‌ترین گروه‌های ماکروفون شکارگر ساکن خاک عنکبوتیان، سوسک‌های زمینی، سوسک‌های

سرگردان و صدپایان می‌باشند. ریزه‌خواران دیگر گروه کارکردی مهم اکوسیستم به‌شمار می‌روند. این موجودات با تغذیه بر روی بقایای تجزیه نشده گیاهان و جانوران سبب خرد کردن و توزیع مجدد آن‌ها می‌شوند. این عمل منجر به افزایش دسترسی میکروفون و میکروفلور تجزیه‌کننده خاک به بقایای آلی می‌گردد (Barrios, 2007). کاربری اراضی، نوع محصول زراعی، نوع مدیریت زراعی، خصوصیات خرداقلیم، حواشی مزارع و نوع چشم‌انداز کشاورزی از عمده‌ترین عوامل مؤثر بر تنوع زیستی ماکروفون‌های خاک به‌شمار می‌آیند (Weibull, 2003). نمونه‌برداری از موجودات باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که علاوه‌بر مدیریت زمان از نظر هزینه و دقت مقرون به صرفه باشد. بنابراین، انتخاب یک روش نمونه‌برداری صحیح اولین قدم در مطالعات اکولوژی است. تله‌های گودالی یکی از انواع تله‌های مناسب برای به دام انداختن حشرات زنده بر روی زمین است (Pearce, 2005). تله‌های گودالی دارای انواع مختلفی می‌باشد که می‌توان به تله گودالی خشک و مرطوب اشاره کرد. یکی از مزایای تله گودالی مرطوب این است که مشکل از دست رفتن نمونه‌ها توسط دیگر جانوران را ندارد و تا زمان بازدید تله و جمع‌آوری نمونه‌ها، در تله محفوظ می‌مانند (Clark & Blom, 1992). از مزایای تله‌های گودالی می‌توان به سرعت بالا و هزینه بسیار پایین آن‌ها در جمع‌آوری بندپایان ماکروفون خاک اشاره کرد (Southwood & Henderson, 2000).

عموماً برای ارزیابی قابلیت یک زیستگاه از نظر خدمات اکوسیستمی که موجودات زنده درون آن عرضه می‌کنند، از شاخص‌های غنا و تنوع گونه‌ای استفاده می‌شود. با این حال، فهرست‌برداری در سطح گونه، به‌خصوص در مورد بی‌مهرگان نیازمند صرف زمان و هزینه زیاد و دسترسی به متخصصین رده‌بندی حرفه‌ای می‌باشد. یکی از راهکارهایی که برای رفع این محدودیت پیشنهاد شده است، مطالعه تاکسون‌های بالاتر از گونه (جنس، خانواده و راسته) می‌باشد. استفاده از تاکسون بالاتر (یعنی غنا و تنوع تاکسونومیک)، ضمن ارزیابی سریع تنوع زیستی می‌تواند در دستیابی به اطلاعات در خصوص تعداد زیادی از تاکسون‌ها مؤثر واقع شود و بدین ترتیب امکان حفظ اطلاعات زیستی فراوانی را برای درک الگوهای توزیع موجودات میسر سازد (Biaggini et al., 2007).

با توجه به اهمیت بندپایان ماکروفون خاک در اکوسیستم‌های

جهت نمونه برداری از تله گودالی با قطر ۱۴ سانتی متر و ارتفاع ۲۰ سانتی متر که به عنوان واحد نمونه برداری بودند، استفاده شد. برای نمونه برداری ۱۰ مزرعه گندم آبی و دیم انتخاب و در هر مزرعه تعداد پنج تله در طول دو قطر مزرعه و به فاصله ۱۵ متر از یکدیگر نصب شدند. جهت نصب تله‌ها در مزارع ابتدا با استفاده از بیلچه داخل خاک حفره‌ای به اندازه تله (عمق ۲۰ سانتی متر) ایجاد نموده و سپس تله را داخل حفره قرار داده و به گونه‌ای که سطح خاک بالاتر از تله باشد. دوسوم حجم تله‌ها با استفاده از محلول ۵۰ درصد اتیل گلیکول به عنوان نگه‌دارنده پر شده و در هر بار بازدید از تله‌ها، محلول مورد نظر تعویض می‌گردد. تله گذاری به مدت پنج دوره ۱۴ روزه در بازه زمانی دوم فروردین ماه تا ۱۲ خرداد ماه ۱۳۹۸ استفاده شد. در هر بار بازدید از تله‌ها، نمونه‌های به دام افتاده در تله‌ها جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شد. در آزمایشگاه بندپایان به دام افتاده جداسازی و شمارش گردید.

مختلف تحقیقات مختلفی صورت گرفته است (Mirab-balou & Mahmoudi, 2019; Sayad et al., 2010; Rana et al., 2010; Siddiqui et al., 2005; Zulfagar et al., 2003). ولی تاکنون مطالعاتی در رابطه با تنوع بندپایان ماکروفون خاک در مزارع گندم (*Triticum aestivum* L.) استان ایلام صورت نگرفته است. بنابراین، تحقیق حاضر با هدف بررسی تأثیر سیستم‌های کشاورزی (آبی و دیم) بر فراوانی و تنوع زیستی بندپایان ماکروفون خاک در مزارع گندم شهرستان ایوان (استان ایلام) انجام شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در طول رویش گندم در سال زراعی ۱۳۹۸ در مزارع گندم شهرستان ایوان واقع در شمال غربی استان ایلام انجام گرفت. بدین منظور مزارع گندم آبی و دیم واقع در روستاهای زرنه، کلان، خوران، سراب و شهر ایوان انتخاب گردید (جدول ۱). در این تحقیق

جدول ۱- مشخصات و میانگین نهاده‌ها در هر هکتار از مزارع گندم آبی و دیم استان ایلام (سال ۱۳۹۸)

Table 1- The characteristics and the average inputs in irrigated and rainfed wheat fields of Ilam province (2019)

محصول Crop	تغذیه Nutrition		آفات و بیماری‌ها Pests and diseases		علف‌های هرز Weeds	
	کود شیمیایی Fertilizer (NPK)	مقدار Amount (kg.ha ⁻¹)	آفت‌کش‌های شیمیایی Chemical pesticide	مقدار Amount (L.ha ⁻¹)	علف‌کش Herbicides	مقدار Amount (L.ha ⁻¹) (kg.ha ⁻¹)
گندم آبی Irrigated wheat	350		دلتامترین Deltamethrin تیلت Tilt	۰/۳ ۱	تاپیک Topik گرانستار Granstar	۱ لیتر ۲۵ گرم
گندم دیم Rainfed wheat	150		-	-	-	-

غالب ترکیب گونه‌ای تعیین‌شده. بدین منظور، گونه‌های که فراوانی آن‌ها بیش از ۳۰ درصد جامعه بود، به عنوان گونه‌های فوق‌غالب^۱، گونه‌هایی که فراوانی آن‌ها بین ۱۰-۳۰ درصد جامعه بود به عنوان گونه‌های غالب^۲، گونه‌هایی که فراوانی آن‌ها بین ۵-۱۰ درصد جامعه بود به عنوان گونه‌های نسبتاً غالب^۳، گونه‌هایی که فراوانی آن‌ها بین ۱-۵ درصد جامعه بود، به عنوان گونه‌های کمیاب^۴ و گونه‌هایی که فراوانی آن‌ها کمتر از یک درصد جامعه بود، به عنوان گونه‌های بسیار کمیاب^۵ شناخته شدند. همچنین با در نظر گرفتن تعداد بندپایان و

جهت شناسایی بندپایان جمع‌آوری شده از کلیدهای معتبر موجود در ایران و همچنین اطلس‌های حشره شناسی استفاده شد. در پایان نمونه برداری‌ها، در صد فراوانی جمعیت هر یک از بندپایان، با استفاده از معادله $F = \frac{n}{N} \times 100$ انجام شد که در این معادله، F: درصد فراوانی نسبی، n: تعداد افراد مورد نظر در منطقه، و N: تعداد کل افراد جمع‌آوری شده است (Kasprzak & Niedbala, 1981). سپس با استفاده از روش طبقه‌بندی ویگمن (Weigmann, 1973) ساختار

4- Rare
5- Subrare

1- Eudominant
2- Dominant
3- Subdominant

شمارش گردید که متعلق به ۱۱ خانواده از راسته‌های مختلف حشرات و عنکبوت‌ها بودند: (۱) راسته دوبالان (Diptera) شامل مگس‌های و Syrphidae و Muscidae؛ (۲) راسته بال‌غشاییان (Hymenoptera) شامل یک خانواده از مورچه‌ها به نام Formicidae؛ (۳) راسته سخت بالپوشان (Coleoptera) شامل سوسک‌های خانواده‌های Carabidae، Staphylinidae، Silphidae و Scarabaeidae؛ (۴) راسته ناجوربالان (Hemiptera) شامل سن‌های خانواده Pyrrhocoridae؛ (۵) لاروهای حشرات از راسته‌های بال‌پولکداران، بال‌غشاییان و سخت‌بالپوشان و (۶) عنکبوت‌ها (Spiders). در مزارع گندم آبی، سوسک‌های ببری با فراوانی ۲۵/۴۸ درصد و سن‌های قرمز با فراوانی ۲ درصد به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین درصد فراوانی را دارا بودند. همچنین در مزارع گندم دیم، سوسک‌های ببری با فراوانی ۲۰/۵۷ درصد و سوسک‌های سرگین‌خوار با فراوانی ۳/۲۷ درصد بیش‌ترین و کم‌ترین درصد فراوانی را به خود اختصاص دادند (جدول ۲).

انجام آزمون T-Test نشان داد که تعداد خانواده‌ها بین مزارع آبی و دیم تفاوت چندانی نداشت، اما فراوانی کل در مزارع دیم (۲۱۰۰ نمونه) نسبت به آبی (۱۶۵۳ نمونه) بالاتر بود. همچنین تغییر محیط کشاورزی از آبی به دیم سبب افزایش شاخص‌های شانون، سیمپسون و غنای مارگالف شده است، اما این تغییر محیط کشاورزی از آبی به دیم سبب کاهش مقدار شاخص یکنواختی پیلو شده است (جدول ۳). به‌طور کلی، مقدار عددی شاخص‌های شانون و مارگالف به‌طور معنی‌داری در مزارع گندم دیم بیش‌تر از مزارع آبی بود ($P \leq 0.05$). همچنین مقدار عددی شاخص سیمپسون نیز در مزارع دیم بیش‌تر از مزارع آبی بود، ولی این اختلاف از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. اما برخلاف سه شاخص دیگر مقدار عددی شاخص یکنواختی پیلو در مزارع آبی بیش‌تر از مزارع دیم بود (جدول ۳). از دلایل بیش‌تر بودن مقدار شاخص یکنواختی پیلو در مزارع گندم آبی نسبت به دیم بر خلاف سه شاخص دیگر می‌توان به این نکته اشاره کرد که در مراحل مختلف نمونه‌برداری تعداد بندپایان ماکروفون خاک در مزارع گندم آبی به نسبت یکسان‌تری نسبت به مزارع گندم دیم جمع‌آوری شدند و همین امر باعث می‌شود که مقدار شاخص یکنواختی پیلو در مزارع گندم آبی بیش‌تر از مزارع گندم دیم باشد.

فراوانی نسبی آن‌ها، شاخص‌های تنوع زیستی و شاخص غنای گونه‌ای به‌شرح زیر محاسبه شدند:

(الف) شاخص تنوع گونه‌ای شانون-وینر: این شاخص از معادله ۱ محاسبه می‌شود که در آن: H' : تابع شانون-وینر، S : تعداد گونه‌ها و P_i : نسبت یا وفور گونه نام که برحسب نسبتی از کل افراد می‌باشد (Shannon & Weaver, 1949).

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (۱)$$

(ب) شاخص تنوع گونه‌ای سیمپسون: این شاخص از معادله ۲ محاسبه می‌شود (Simpson, 1949) که در آن، $1-D$: شاخص تنوع سیمپسون و P_i : نسبت افراد گونه نام در جامعه است.

$$1 - D = 1 - \frac{1}{\sum_{i=1}^S (P_i)^2} \quad (۲)$$

(ج) شاخص غنای مارگالف: این شاخص بیان‌کننده حضور انواع گونه‌ها است که در آن S تعداد گونه‌ها و N فراوانی تمام گونه‌ها می‌باشد. شاخص غنای مارگالف از معادله ۳ محاسبه می‌شود (Margalef, 1958).

$$D_{Mg} = \frac{S-1}{\ln N} \quad (۳)$$

(د) شاخص یکنواختی پیلو: در این تحقیق برای بررسی شاخص یکنواختی از تابع یکنواختی پیلو (معادله ۴) استفاده شد (Magurran, 1988). که در آن، S : تعداد گونه و H : شاخص تنوع شانون-وینر می‌باشد.

$$J = \frac{H}{\ln S} \quad (۴)$$

همچنین برای محاسبه شاخص‌های تنوع زیستی (غنای گونه‌ای مارگالف، تنوع گونه‌ای سیمپسون و شانون-وینر و همچنین شاخص یکنواختی پیلو) نرم‌افزار PAST مورد استفاده قرار گرفت (Hammer et al., 2001). جهت مقایسه آماری بین تیمارها از آزمون T-Test گروه‌های مستقل و نرم‌افزار SPSS ver, 23 و جهت رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل استفاده شد. برای تعیین نرمال بودن داده‌ها از آزمون Kolmogorov - Smirnov و آزمون Shapiro - Wilk استفاده شد. همچنین به دلیل این‌که داده‌ها نرمال بودند، از تبدیل داده استفاده نشد.

نتایج و بحث

در این مطالعه مجموعاً تعداد ۳۷۵۳ نمونه ماکروفون جمع‌آوری و

جدول ۲- درصد فراوانی (\pm SE) بندپایان ماکروفون خاک جمع آوری شده در مزارع گندم آبی و دیم استان ایلام (سال ۱۳۹۸)
Table 2- The frequency (\pm SE) of soil macrofauna collected in irrigated and rainfed fields of Ilam province (2019)

بندپایان Arthropods	گندم آبی Irrigated wheat	درجه غالبیت Degree of dominance	گندم دیم Rainfed wheat	درجه غالبیت Degree of dominance
عنکبوت‌ها Araneae	5.90 \pm 0.18	S	6.59 \pm 0.21	S
مگس‌ها (پشه‌ها) Muscidae	11.19 \pm 0.09	D	7.56 \pm 0.12	S
مگس‌های سیرفیده Syrphidae	6.05 \pm 0.11	S	4.05 \pm 0.09	R
مورچه‌ها Formicidae	12.76 \pm 0.06	D	10.16 \pm 0.11	S
سن‌های قرمز Pyrrhocoridae	2 \pm 0.24	R	4.30 \pm 0.04	R
سوسک‌های استافیلینیده Staphylinidae	8.76 \pm 0.12	S	6.59 \pm 0.23	S
سوسک‌های زمینی Carabidae	6.67 \pm 0.03	S	17.73 \pm 0.15	D
سوسک‌های مرده خوار Silphidae	8.43 \pm 0.21	S	8.41 \pm 0.06	S
سوسک‌های سرگین خوار Scarabaeidae	6.10 \pm 0.14	S	3.27 \pm 0.10	R
سوسک‌های ببری Cicindelidae	25.48 \pm 0.28	D	20.57 \pm 0.26	D
لارو حشرات Insects larvae	6.67 \pm 0.17	S	10.77 \pm 0.13	D

غالب (D= dominant)، نسبتاً غالب (S= subdominant)، کمیاب (R= rare).

جدول ۳- شاخص‌های مختلف تنوع زیستی بندپایان ماکروفون خاک در مزارع گندم آبی و دیم استان ایلام (۱۳۹۸)
Table 3- Diversity indices of soil macrofauna in irrigated and rainfed wheat fields of Ilam province (2019)

شاخص Index	گندم آبی Irrigated wheat	گندم دیم Rainfed wheat	P
Shannon H' شانون - وینر	2.68 \pm 0.05	2.94 \pm 0.07	0.011*
Simpson سیمپسون	0.91 \pm 0.09	0.93 \pm 0.008	0.11 ns
Margalef غنای مارگالف	3.90 \pm 0.19	5.07 \pm 0.18	0.000**
Pielou evenness یکنواختی پیلو	0.98 \pm 0.01	0.91 \pm 0.02	0.43 ns

ns: غیرمعنی‌دار، * و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

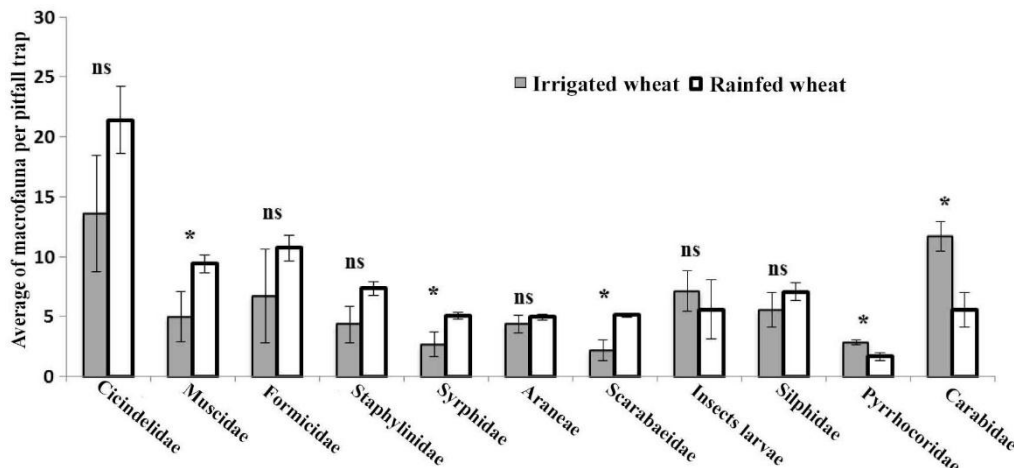
ns: non-significant, * and **: Significant at 5% and 1% levels of probability by t-test

بندپایان به دام افتاده مربوط به مزارع گندم دیم و به ترتیب مربوط به سوسک‌های ببری (۴/۸۷ \pm ۲۱/۴) و سن‌های قرمز (۰/۱۸ \pm ۱/۶۸) بود (شکل ۱). در مزارع گندم آبی به دلیل افزایش آفات و بیماری‌ها و در نتیجه، به علت ورود ماشین‌آلات کشاورزی به داخل مزارع برای عملیات سم‌پاشی، هم استفاده از سموم شیمیایی بیش‌تر شده و هم

تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که در بین بندپایان ماکروفون خاک پنج خانواده مگس‌ها، مگس‌های سیرفیده، سوسک‌های سرگین خوار، سن‌های قرمز و سوسک‌های زمینی تفاوت معنی‌داری را از تعداد بندپایان به دام افتاده در تله‌های گودالی بین مزارع گندم آبی و دیم، وجود داشت ($P \leq 0.05$). به طوری که بیش‌ترین و کم‌ترین تعداد

گندم آبی نسبت به دیم می‌توان به وجود علف‌های هرز در داخل و حاشیه مزارع گندم دیم اشاره کرد که باعث جلب بندپایان به طرف خود می‌شوند.

باعث فشردگی لایه‌های خاک می‌شود. همین امر باعث کاهش تعداد بندپایان ماکروفون خاک در این مزارع نسبت به مزارع گندم دیم می‌شود. از دلایل دیگر این اختلاف تعداد بندپایان ماکروفون در مزارع



شکل ۱- میانگین تعداد بندپایان ماکروفون خاک جمع‌آوری شده توسط تله‌های گودالی در مزارع گندم آبی و دیم استان ایلام، ۱۳۹۸
Fig. 1- Mean number of soil macrofauna collected by pitfall traps in irrigated and rainfed wheat fields of Ilam province, 2019

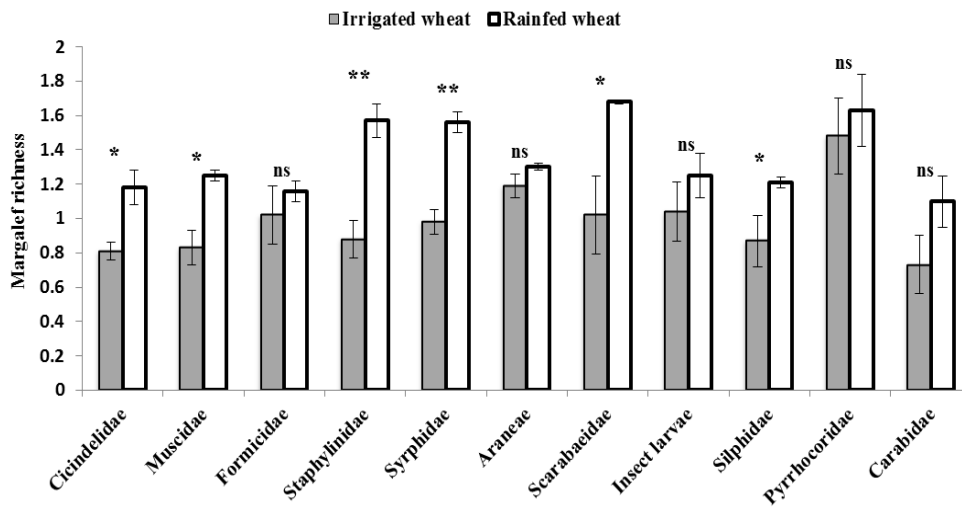
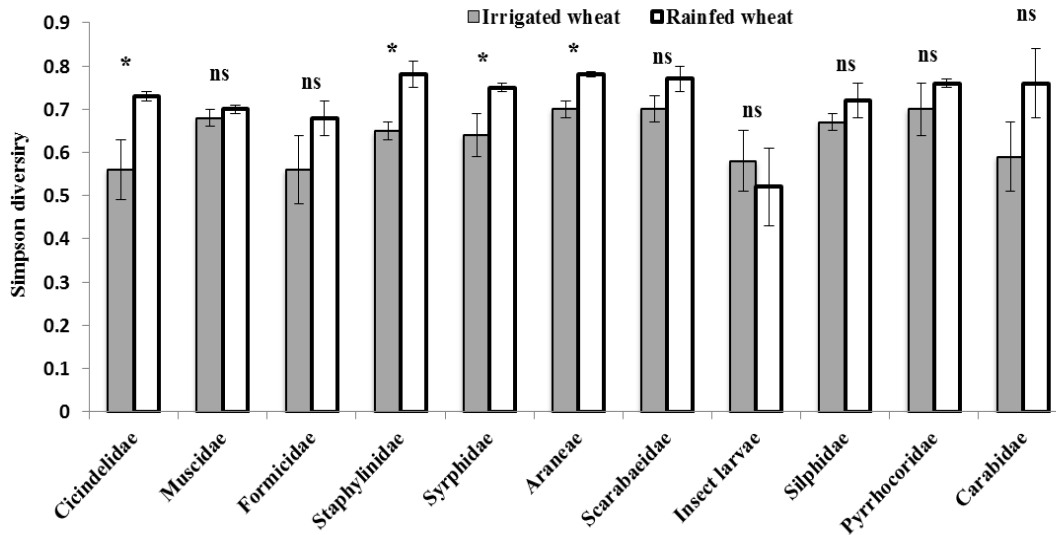
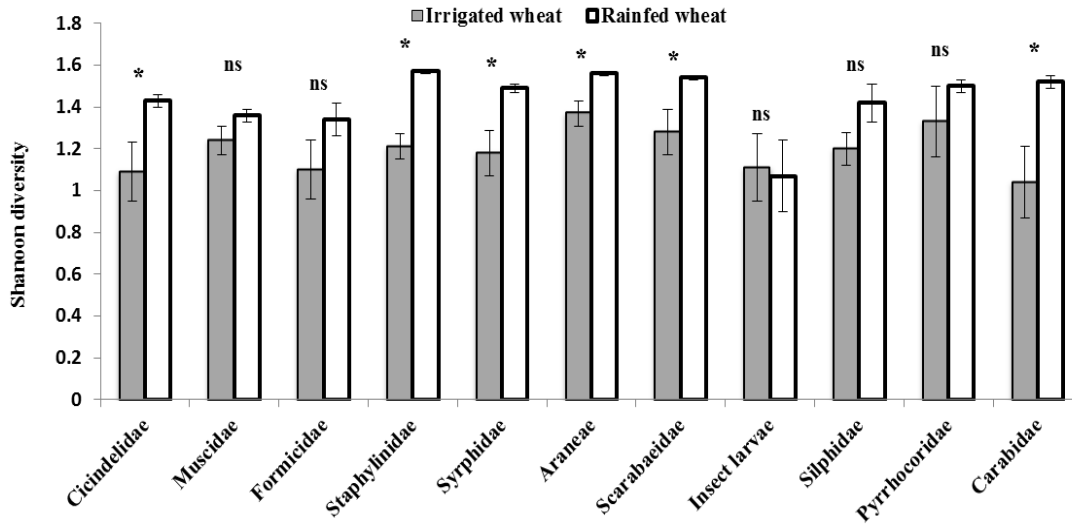
ns: غیرمعنی‌دار، * و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

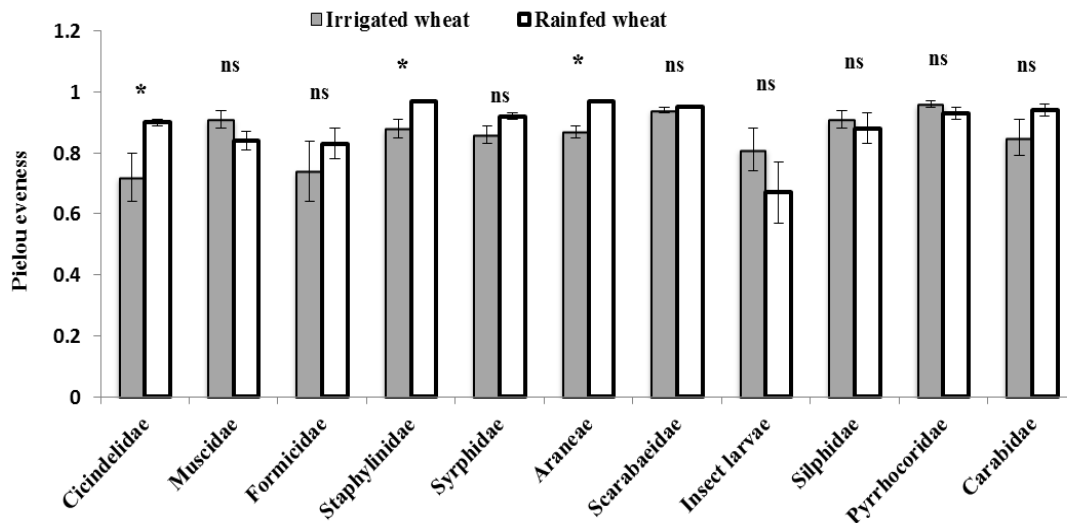
ns: non-significant, * and **: Significant at 5% and 1% levels of probability by t test

بود. همچنین نتایج مربوط به شاخص یکنواختی پیلو بندپایان ماکروفون خاک مزارع گندم آبی و دیم نشان داد که مقدار عددی این شاخص فقط برای سوک‌های ببری، سوک‌های استافیلینیده، عنکبوت‌ها و لارو حشرات بین دو مزارع تفاوت معنی‌داری داشتند ($P \leq 0.05$). بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار این شاخص به ترتیب مربوط به عنکبوت‌ها (0.03 ± 0.097) و لارو حشرات (0.1 ± 0.067) مزارع گندم دیم بود (شکل ۲).

در این مطالعه، تعداد نمونه‌های جمع‌آوری شده در مزارع گندم دیم (۲۱۰۰) بیش‌تر از مزارع گندم آبی (۱۶۳۵) بود. به طور کلی، تحقیقات نشان داده است که ساختار جمعیتی ماکروفون در خاک مزارع کم‌نهاد نسبت به مزارع پرنهاد بیش‌تر است (Bullock et al., 2001). مطالعات نشان داده است که فراوانی گونه‌ها در مزارع ارگانیک بیش‌تر از مزارع غیر ارگانیک و معمولی است (Hole et al., 2005). همچنین خاک‌ورزی مداوم و استفاده از سموم دفع آفات تأثیر منفی بر فراوانی و تنوع در بندپایان خاکی دارد.

نتایج مربوط به شاخص شانون - وینر بندپایان ماکروفون خاک مزارع گندم آبی و دیم نشان داد که مقدار این شاخص برای تمام حشرات و عنکبوت‌ها، به جز لارو حشرات در مزارع گندم دیم بیش‌تر از مزارع آبی بود. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار این شاخص به ترتیب مربوط به سوک‌های استافیلینیده مزارع گندم دیم (0.08 ± 0.157) و کم‌ترین مقدار مربوط به سوک‌های زمینی مزارع گندم آبی (0.17 ± 0.104) بود. نتایج مربوط به شاخص سیمپسون بندپایان ماکروفون خاک مزارع گندم آبی و دیم نشان داد که مقدار این شاخص مثل شاخص شانون برای تمام حشرات و عنکبوت‌ها، به جز لارو حشرات در مزارع گندم دیم بیش‌تر از مزارع آبی بود. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار این شاخص به ترتیب مربوط به عنکبوت‌ها مزارع گندم دیم (0.06 ± 0.078) و کم‌ترین مقدار مربوط به لارو حشرات مزارع گندم آبی (0.07 ± 0.052) بود (شکل ۲). مقدار شاخص غنای مارگالف برای تمام حشرات و عنکبوت‌ها، در مزارع گندم دیم بیش‌تر از مزارع آبی بود؛ به طوری که بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار این شاخص به ترتیب مربوط به سوک‌های سرگین‌خوار مزارع گندم دیم (0.1 ± 0.168) و کم‌ترین مقدار مربوط به سوک‌های زمینی مزارع گندم آبی (0.17 ± 0.073)





شکل ۲- مقدار عددی شاخص‌های مختلف تنوع زیستی بندپایان ماکروفون خاک مزارع گندم آبی و دیم استان ایلام، ۱۳۹۸
 Fig. 2- Numerical value of diversity indices for macrofauna of irrigated and rainfed wheat fields in Ilam province, 2019

ns: غیرمعنی‌دار، * و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns: non-significant, * and **: Significant at 5% and 1% levels of probability by t test

عددی این شاخص در شرایط نامساعد زیستی و یا استرس‌های محیطی کاهش می‌یابد و با افزایش تعداد گونه و تراکم هرگونه افزایش می‌یابد (Gamito, 2010). همچنین شاخص تنوع گونه‌ای سیمپسون به گونه‌های غالب در نمونه تأکید دارد و با توجه به این که در مزارع گندم آبی و دیم تعداد گونه‌های غالب یکسان بودند، در نتیجه مقدار شاخص تنوع گونه‌ای سیمپسون بین دو مزارع اختلاف معنی‌داری با هم نداشتند. شاخص یکنواختی می‌تواند عددی بین صفر تا یک باشد و حداکثر شاخص یکنواختی زمانی به دست می‌آید که توزیع گونه‌ها یکنواخت‌تر باشد. در این مطالعه، اگرچه مقدار شاخص یکنواختی پیلو در مزارع گندم آبی بیشتر از مزارع گندم دیم بود، اما این اختلاف از لحاظ آماری معنی‌دار نبود.

در بررسی تنوع بندپایان ماکروفون گندم در خاک‌های کم‌نهاده و پرنهاده در پاکستان مشخص شد که شاخص تنوع شانون در مزارع کم‌نهاده ۳/۸۴ و در مزارع پرنهاده ۳/۶۱ به دست آمد. در حالی که یکنواختی در مزارع کم‌نهاده ۰/۴۵ و مزارع پرنهاده ۰/۷۰ بود و نتیجه گرفتند که در زراعت‌های آرگانیک (کم‌نهاده) نسبت به مزارع پرنهاده، تخریب جمعیت ماکروفون خاک کم‌تر است (Rana et al., 2010). در مطالعه تنوع زیستی حشرات در مزارع گندم پرنهاده و کم‌نهاده نتیجه گرفتند که شاخص تنوع شانون و یکنواختی در دو سال متوالی در مزارع کم‌نهاده بیش‌تر از مزارع پرنهاده بود. شاخص تنوع شانون در دو سال

همچنین غنای خانواده در دو محیط گندم آبی و دیم مشابه بود. در مطالعات تنوع زیستی که ارزیابی غنا و تنوع به بالاتر از سطح گونه برای مثال در سطح خانواده یا راسته ارتقاء می‌یابد، به دلیل گسترده شدن سطح تاکسونومیک از شدت تغییرات غنا کاسته خواهد شد. بدین لحاظ، اختلاف در غنای تاکسونومیک (تعداد خانواده) زیستگاه‌هایی با کاربری مشابه مشهود نخواهد بود (Biaggini et al., 2007). شاخص تنوع شانون مزارع گندم دیم (۲/۹۴ ± ۰/۰۷) بیشتر از آبی (۲/۶۸ ± ۰/۰۵) به دست آمد که این افزایش به سبب یکنواختی بیشتر فراوانی نسبی بندپایان جمع‌آوری شده در مزارع گندم دیم نسبت به گندم آبی می‌باشد. محدوده تغییرات شاخص شانون - وینر از صفر تا پنج و به طور معمول بین ۱/۵ تا ۳/۵ قرار دارد. مقادیر کم‌تر از این محدوده بیانگر وجود تنش در محیط و عدم پایداری و مقادیر بیش‌تر از آن بیانگر فزونی تنوع زیست در منطقه است (Ajmal Khan., 2004). این مقادیر در مقایسه با دامنه تغییرات شاخص شانون - وینر که در منابع مقدار آن را معمولاً بین ۱/۵ تا ۳ ذکر کرده‌اند از مقدار خوبی برخوردار است. مقدار غنای مارگالف در مزارع گندم دیم (۰/۱۸ ± ۵/۰۷) بیشتر از مزارع گندم آبی (۳/۹۰ ± ۰/۱۹) بود. شاخص غنای گونه‌ای مارگالف نشان‌دهنده تعداد گونه‌های موجود در یک جامعه بوده و ساده‌ترین مفهوم زیستی را بیان می‌کند. این شاخص مناسب بودن زیستگاه را برای گونه‌های مختلف بیان می‌کند. مقدار

علف‌های هرز در مزارع می‌تواند تنوع عنکبوت‌ها را افزایش دهد، زیرا گیاهان میزبان به‌طور قابل توجهی میزان طعمه عنکبوت‌ها را افزایش می‌دهد (Batary et al., 2012). نتایج بررسی تأثیر نوع مدیریت گندم بر جمعیت بندپایان خاک نشان داد که با افزایش ورود نهاده‌های کشاورزی همچون کودهای شیمیایی و علف‌کش‌ها از فراوانی بندپایان کاسته می‌شود (Diekötter et al., 2010).

نتیجه‌گیری

تنوع بندپایان ماکروفون خاک در مزارع گندم دیم نسبت به گندم آبی در وضعیت بهتری قرار داشت. استفاده کم‌تر از سموم شیمیایی و ماشین‌آلات کشاورزی در مزارع گندم دیم سبب بهبود خصوصیات فیزیکی خاک و همچنین فراهم کردن زیستگاه مناسبی برای بندپایان ماکروفون خاک بوده که باعث افزایش تنوع می‌شود. ارتباط بین فعالیت‌های کشاورزی، تقویت و حفاظت از تنوع زیستی در چشم‌انداز کشاورزی می‌تواند الگوی بسیار ارزشمند و مثبتی را برای کل کشاورزی فراهم کند. ماکروفون‌های مفید خاک حساسیت زیادی به تغییرات محیط از خود نشان می‌دهند، به طوری که هر چه محیط تخریب شود از تنوع و تعداد این ماکروفون‌ها کاسته می‌شود. به‌طور کلی، با توجه به نتایج به‌دست آمده نیاز است تا از مصرف بی‌رویه مواد شیمیایی در مزارع گندم آبی خودداری شود و شرایطی را در جهت بهبود تنوع زیستی ماکروفون‌های خاک فراهم شود و این شرایط را می‌توان از طریق کاهش مصرف مواد شیمیایی در مزارع ایجاد نمود، البته اگر نتوان به هر دلیلی از مصرف مواد شیمیایی در مزارع اجتناب کرد، می‌توان با استفاده از روش‌های دیگری از جمله آیش، تناوب زراعی و همچنین کشت بقولات در برنامه زراعی منطقه این شرایط را مهیا کرد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه ایلام به خاطر فراهم نمودن امکانات لازم برای این تحقیق تشکر و قدردانی می‌گردد. این مقاله بخشی از طرح پژوهشی دانشگاه ایلام می‌باشد.

۲۰۰۲ و ۲۰۰۳ به‌ترتیب برای مزارع گندم کم‌نهاده (۱/۷۲-۱/۳۴) و پرنهاده (۰/۹۰-۰/۹۳) و مقدار شاخص یکنواختی به‌ترتیب برای مزارع گندم کم‌نهاده (۰/۷۸-۰/۸۱) و پرنهاده (۰/۵۸-۰/۵۵) بود (Zulfagar et al., 2003). همچنین در بررسی تنوع زیستی حشرات داخل مزارع گندم پرنهاده و کم‌نهاده نتیجه گرفتند که شاخص شانون در مزارع کم‌نهاده بیش‌تر از مزارع پرنهاده بود (Siddiqui et al., 2005). در مطالعه ارزیابی تنوع ماکروفون خاک در واکنش به تغییر محیط کشاورزی، نتایج به‌دست آمده نشان دادند که تغییر محیط کشاورزی از گندم (فشرده) به گندم (ارگانیک) سبب افزایش تعداد خانواده‌ها (از ۸ به ۱۲) و متوسط فراوانی کل (از ۲۲۱ به ۳۳۵ ماکروفون) و شاخص شانون (از ۱/۶۲ به ۱/۸۵) گردید، ولی یکنواختی تحت تأثیر نوع محیط قرار نگرفت (۰/۷۱ برای محیط فشرده و ۰/۷۳ برای محیط ارگانیک). همچنین فراوانی سوسک‌های زمینی در مزارع گندم دیم بیش‌تر از مورچه‌ها بود. مورچه‌ها و سوسک‌های زمینی از عمده‌ترین شکارگران بذر در آگرواکوسیستم‌ها محسوب می‌شوند. این نیاز غذایی مشترک می‌تواند سبب تشدید رقابت بین این دو گروه شود و جمعیت آن‌ها را تحت تأثیر قرار دهد. همچنین سوسک‌های زمینی از مورچه‌ها به‌عنوان طعمه استفاده می‌کنند (Honek et al., 2003). مورچه‌ها دارای فراوانی نسبتاً بالایی در مزارع آبی و دیم بودند. از ویژگی‌های بارز در رفتار مورچه‌ها زندگی اجتماعی آن‌ها می‌باشد. آن‌ها غالباً به شکل کلنی ظاهر می‌شوند و بنابراین، در بیش‌تر زیستگاه‌ها بخش قابل توجهی از ماکروفون‌های جمع‌آوری شده در تله‌های گودالی را تشکیل می‌دهند (Brevault et al., 2007). در مزارع گندم دیم، علاوه بر سوسک‌های ببری که بیش‌ترین فراوانی را در ماکروفون خاک به‌دست آوردند، فراوانی عنکبوت‌ها نیز نسبت به مزارع گندم آبی بیش‌تر بود که علت چنین ارتباطی را باید در استفاده کمتر از کود و سموم شیمیایی نسبت به مزارع گندم آبی دانست که باعث تراکم بیش‌تر علف‌های هرز در مزارع دیم و به سبب آن باعث افزایش پناهگاه بیش‌تر و تنوع طعمه برای سوسک‌های زمینی و عنکبوت‌ها خواهد شد. همچنین سوسک‌ها به‌دلیل شرایط مناسب نگهداری رطوبت در بدن خود، شرایط خشک را می‌توانند به‌خوبی تحمل کنند (Jeanneret et al., 2003; Harwood et al., 2001). وفور عنکبوت‌ها به‌طور کلی، با افزایش تنوع زیستگاه در داخل و اطراف محصولات مزرعه افزایش می‌یابد (Sunderland & Samu, 2000). عنکبوت‌ها بیش‌تر در مزارع ارگانیک یافت می‌شود، همچنین غنای گونه‌های زیاد

References

- Ajmal Khan, S., 2004. Methodology for Assessing Biodiversity, Annamalai University. Centre of Advanced Study in Marine Biology 12pp.
- Barrios, E., 2007. Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecological Economics* 64(2): 269–285.
- Batary, P., Holzchuh, A., Orci, K.M., Samu, F., and Tschardt, T., 2012. Responses of plant, insect and spider biodiversity to local and landscape scale management intensity in cereal crops and grasslands. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 146: 130–136.
- Biaggini, M., Consorti, R., Dapporto, L., Dellacasa, M., Paggetti, E., and Corti, C., 2007. The taxonomic level order as a possible tool for rapid assessment of Arthropod diversity in agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 122: 183–191.
- Brevault, T., Bikay, S., Maldes, J.M., and Naudin, K., 2007. Impact of a no-till with mulch soil management strategy on soil macrofauna communities in a cotton cropping system. *Soil and Tillage Research* 97: 140–149.
- Bullock, J.M., Pywell, R.F., Burke, M.J.W., and Walker, K.J., 2001. Restoration of biodiversity enhances agricultural production. *Ecology Letters* 4: 185–189.
- Clark, W.H., and Blom, P.E., 1992. An efficient and inexpensive pitfall trap system. *Entomological News* 103: 55–59.
- Diekotter, T., Wamser, S., Wolters, V., and Birkhofer, K., 2010. Landscape and management effects on structure and function of soil arthropod communities in winter wheat. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 137: 108–112.
- Gamito, S., 2010. Caution is needed when applying Margalef diversity index. *Ecological Indicators* 10: 550–551.
- Hammer, O., Harper, D.A.T., and Ryan, P.D., 2001. PAST – Palaeontological STatistics. Chapman & Hall 31 pp.
- Harwood, J.D., Sunderland, K.D., and Symondson, W.O.C., 2001. Living where the food is: Web location by linyphiid spiders in relation to prey availability in winter wheat. *Journal of Applied Ecology* 38: 88–99.
- Hole, D.G., Perkins, A.J., Wilson, J.D., Alexander, I.H., Grice, P.V., and Evans, A.D., 2005. Does organic farming benefit biodiversity? *Biological Conservation* 122: 113–130.
- Honek, A., Martinkova, Z., and Jarosik, V., 2003. Ground beetles (Carabidae) as seed predators. *European Journal of Entomology* 100: 531–544.
- Jeanneret, P., Schupbach, B., and Luka, H., 2003. Quantifying the impact of landscape and habitat features on biodiversity in cultivated landscapes. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 98: 311–320.
- Kasprzak, K., and Niedbala, W., 1981. Biocenotic indicators in quantitative research. In: Górný, M., and Grüm, L., (Eds.), *Methods Applied in Soil Zoology*. PWN, Warszawa pp. 397–416.
- Lavelle, P., Decaens, T., Aubert, M., Barota, S., Blouin, M., Bureau, F., Margerie, P., Mora, P., and Rossic, J.P., 2006. Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology* 42: 3–15.
- Magurran, A.E., 1988. *Ecological Diversity and Its Measurement*. Princeton University Press, Princeton, NJ, USA.
- Margalef, M., 1958. Information theory in ecology. *General Systematics* 3: 36–71.
- Mirab-balou, M., and Mahmoudi, M., 2019. Investigation of frequency and biodiversity of soil macrofauna under two different plant coverages (Case study: Choqasabz Forest Park, Ilam province). *Journal of Soil Biology* 6(2): 57–67. (In Persian with English Summary)
- Pearce, J.L., Schuurman, D., Barber, K.N., Larrivee, M., Venier, L.A., McKee, J., and McKenney, D., 2005. Pitfall trap designs to maximize invertebrate captures and minimize captures of nontarget vertebrates. *Canadian Entomologist* 137: 233–250.
- Rana, N., Rana, S.A., Khan, H.A., and Sohail, A., 2010. Assessment of possible threats to soil macro-invertebrate diversity in wheat fields from high input farming. *International Journal of Agriculture and Biology* 12: 801–808.
- Sayad, E., Hosseini, S.M., Hosseini, V., Jalali, S.G., and Shoostari, M.S., 2010. Effect of *Eucalyptus camaldulensis*, *Acacia salicina* and *Dalbergia sisoo* plantation on soil macrofauna. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 17(4): 560–567. (In Persian with English Summary)
- Shannon, C.E., and Weaver, A., 1949. *The mathematical theory of communication*. University of Illinois Press pp. 350.
- Siddiqui, M.J.I., Rana, S.A., Rana, N., and Sohail, A., 2005. Biodiversity of insects in high and low input wheat (*Triticum aestivum*) fields agroecosystems of Punjab. *Pakistan Entomologist* 27: 25–28.

- Simpson, E.H., 1949. Measurement of diversity. *Nature* 12: 1–20.
- Smith, J., Potts, S., and Eggleton, P., 2008. Evaluating the efficiency of sampling methods in assessing soil macrofauna communities in arable systems. *European Journal of Soil Biology* 44: 271–276.
- Southwood, T.R.E., and Henderson, P.A., 2000. *Ecological Methods*, 3rd ed. Blackwell Science, London-New York. 575 pages.
- Sunderland, K.D., and Samu, F., 2000. Effects of agricultural diversification on the abundance, distribution, and pest control potential of spiders: A review. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 95: 1–13.
- Wardle, D.A., Bardgett, R.D., Klironomos, J.N., Setälä, H., Van Der Putten, W.H., and Wall, D.H., 2004. Ecological linkages between above ground and below ground biota. *Science* 304: 1629–33.
- Weibull, A.C., Ostman, O., and Granqvist, A., 2003. Species richness in agroecosystems: the effect of landscape, habitat and farm management. *Biodiversity and Conservation* 12: 1335–1355.
- Weigmann, G., 1973. Zur ökologie der collembolen und oribatiden im grenzbereich land-meer (Collembola, Insecta - Oribatei, Acari). *Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie* 186: 295–391.
- Woodcock, B.A., and Pywell, R.F., 2010. Effects of vegetation structure and floristic diversity on detritivore, herbivore and predatory invertebrates within calcareous grasslands. *Biodiversity and Conservation* 19: 81–95.
- Zulfagar, Z., Auhail, A., Iqbal, J., Zahoor, M.K., and Abidin, Z.U., 2003. Insects biodiversity in organic (low input) and conventional (high input) wheat (*Triticum aestivum*) fields. *Pakistan Entomologist* 25: 49–58.