نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰، ص ۴۴۸-۴۲۳

Journal of Agroecology
Vol. 13, No.3, Fall 2021, p. 423-448

مقاله علمی- پژوهشی

اثر کاربرد ورمی‌کمپوست بر جذب عناصر غذایی و عملکرد دانه گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) در کشت مخلوط ردیفی با باقلا (*Vicia faba* L.)

حکیمه محمدی[۱] و اسماعیل رضائی چیانه[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۳۱

محمدی، ح.، و رضائی چیانه، ا.، ۱۴۰۰. اثر کاربرد ورمی‌کمپوست بر جذب عناصر غذایی و عملکرد دانه گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) در کشت مخلوط ردیفی با باقلا (*Vicia faba* L.). بوم‌شناسی کشاورزی ۱۳(۳): ۴۴۸-۴۲۳.

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر کاربرد کود ورمی‌کمپوست بر میزان جذب عناصر غذایی پرمصرف و کم مصرف و عملکرد دانه گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) در کشت مخلوط جایگزینی با باقلا (*Vicia faba* L.)، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل شش الگوی کاشت: کشت خالص رازیانه، کشت خالص باقلا، کشت مخلوط یک ردیف باقلا + یک ردیف رازیانه، دو ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه، سه ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه و چهار ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه به‌عنوان عامل اول، و دو سطح کود: شامل مصرف کود ورمی‌کمپوست (۱۰ تن در هکتار) و عدم مصرف کود به‌عنوان عامل دوم بودند. صفات مورد مطالعه شامل عملکرد دانه و غلظت عناصر غذایی پرمصرف و کم مصرف دو گونه بود. نتایج نشان داد که عملکرد دانه رازیانه و باقلا تحت تأثیر کود ورمی‌کمپوست افزایش یافت. همچنین، در رابطه با اثر الگوهای کشت نیز بیشترین عملکرد دانه هر دو گیاه رازیانه (۲۵۶۸/۳۳ کیلوگرم بر مترمربع) و باقلا (۲۸۵۱/۶۷ کیلوگرم بر مترمربع) از کشت خالص حاصل شد. بیشترین مقدار نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، روی، مس و منگنز از کشت مخلوط در شرایط کاربرد کود ورمی‌کمپوست به‌دست آمد. بالاترین نسبت برابری سطح زیر کشت و زمان (۱/۱۴) نیز در شرایط کاربرد کود آلی ورمی‌کمپوست در کشت مخلوط دو ردیف رازیانه + سه ردیف باقلا حاصل شد که نشان‌دهنده افزایش در بهره‌وری در جذب و مصرف منابع نسبت به کشت خالص هر دو گیاه بود. با توجه به نسبت برابری سطح زیر کشت و زمان محاسبه شده، به نظر می‌رسد که الگوی کشت دو ردیف رازیانه + سه ردیف باقلا در شرایط کاربرد کود ورمی‌کمپوست می‌تواند به‌عنوان تیمار برتر در بهره‌وری استفاده از زمین نسبت به کشت خالص دو گونه معرفی شود و این نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص است.

واژه‌های کلیدی: عناصر کم مصرف، کشاورزی پایدار، کود آلی، نسبت معادل سطح - زمان، نیتروژن

مقدمه

رازیانه با نام علمی (*Foeniculum vulgare* Mill.) یکی از مهم‌ترین و پرمصرف‌ترین گیاهان دارویی از تیره چتریان (Apiaceae) است که تمام پیکره رویشی و زایشی گیاه حاوی اسانس می‌باشد و مهم‌ترین ترکیب اسانس گیاه آنتول است. رازیانه گیاهی یک، دو یا چند ساله است که در ایران فقط یک گونه به‌نام *Foeniculum vulgare* هم به‌صورت زراعی و هم وحشی یافت می‌شود (Mozaffarian, 2013). این گیاه در آذربایجان و مناطق

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد زراعت، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ایران.
۲- دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email:e.rezaeichiyaneh@urmia.ac.ir)
DOI:10.22067/jag.v13i3.86789

سرد کشور بیشتر به‌صورت یک‌ساله کشت می‌شود، چون تحمل سرمای زمستان این مناطق را ندارد و در سال‌های سرد بوته‌های این گیاه دچار سرمازدگی می‌شوند (Majnoon Hosseini & Davazdahemami, 2007). رازیانه مقاومت خوبی به کمبود آب دارد و می‌توان جزو گیاهان جایگزین با محصولات پر آب‌بر در منطقه مورد تحقیق به‌دلیل کاهش تراز آب دریاچه ارومیه معرفی نمود. میوه این گیاه اشتهاآور، محرک هورمون‌های جنسی، مقوی معده، آرام‌بخش، ضددرد و التهاب، ملین، ضدنفخ، قاعده‌آور، خلط‌آور، شیرزا و ضدتهوع از سایر اثرهای مهم این گیاه به‌شمار می‌آید (Khalaj et al., 2018).

باقلا (*Vicia faba* L.) گیاهی یک‌ساله، از تیره بقولات (Fabaceae) می‌باشد. عملکرد محصول آن از دو تا شش تن در هکتار متغیر است. باقلا بخش عمده نیتروژن مورد نیاز خود را از طریق تثبیت زیستی نیتروژن تأمین می‌کند. علاوه‌براین، نیتروژن تثبیت شده توسط این گیاهان حاصل‌خیزی خاک را افزایش می‌دهد؛ به‌طوری که با کشت آن ۶۰ الی ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به خاک اضافه خواهد شد و باعث صرفه‌جویی در مصرف کودهای نیتروژن‌دار برای محصولات همراه و بعدی در تناوب می‌شود (Parsa & Parsa, 2008).

استفاده از کشت مخلوط می‌تواند سبب ایجاد تنوع زراعی و بوم-شناختی در مزرعه گردد. کشت مخلوط به‌دلیل استفاده حداکثر از منابع محیطی، تقلیل از خطرات احتمالی، موازنه در امر تغذیه و حاصل‌خیزی خاک، افزایش مقدار تولید در واحد سطح به‌دلیل استفاده بهتر از عوامل محیطی مانند نور، آب و مواد غذایی موجود در خاک و نیز برخی امتیازات دیگر بر تک‌کشتی برتری دارد (Mardani & Balouchi, 2015). کشت مخلوط گیاه می‌تواند به تعادل بیشتر عرضه و تقاضا برای عناصر غذایی منجر شود. محصولات زراعی مختلف از نظر نیازهای غذایی با یکدیگر اختلاف دارند، در صورتی که محصولات زراعی از نظر نیازهای غذایی مکمل یکدیگر باشند، رقابت زیادی با یکدیگر نخواهند داشت، بلکه می‌توانند به‌طور مؤثرتری از عناصر غذایی استفاده کرده و مقادیر بسیار کمی از عناصر غذایی قابل دسترس برای استفاده علف‌های هرز باقی خواهد ماند (Rezaei-Chiyaneh et al., 2021). برای مثال، بقولات قادر به تثبیت نیتروژن هستند که بخشی از این نیتروژن می‌تواند توسط غیر بقولات در کشت مخلوط مورد استفاده قرار گیرد.

کاربرد کودهای آلی از اهمیت ویژه‌ای در افزایش تولید محصول و حفظ حاصل‌خیزی پایدار خاک در کشاورزی پایدار برخوردار است. کودهای آلی به‌ویژه کود ورمی‌کمپوست در مقایسه با سایر کودهای آلی دارای مقادیر زیادی عناصر غذایی پرمغذی و ریزمغذی به‌شمار می‌روند که این عناصر را به‌مرور در اختیار گیاهان قرار می‌دهند (Timsina, 2018). افزودن ورمی‌کمپوست به خاک نه تنها فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه را افزایش می‌دهد، بلکه با بهبود شرایط فیزیکی و فرآیندهای حیاتی خاک، ضمن ایجاد یک بستر مناسب برای رشد ریشه، موجبات افزایش رشد اندام‌های هوایی و تولید ماده خشک و در نهایت، بهبود عملکرد کمّی و کیفی گیاهان را نیز فراهم آورد. نتایج تحقیق وفادار ینگجه و همکاران (Vafadar-Yengeje et al., 2018) نشان داد که استفاده از کودهای زیستی و ورمی‌کمپوست در کشت مخلوط باعث افزایش عملکرد هر دو گیاه بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.) و باقلا شد که علت آن را به فراهمی عناصر غذایی و رشد رویشی بهتر بوته‌ها در کشت‌های مخلوط به‌دلیل افزایش درصد نور دریافتی و فتوسنتز نسبت دادند و این عامل در نهایت، منجر به بهبود عمکرد کمّی و کیفی بادرشبی گردید. در تحقیقی مشخص شد که در کشت مخلوط بزرک (*Linum usitatissimum* L.) و نخود (*Cicer arietinum* L.) تحت تأثیر منابع کودی عملکرد هر دو گونه در کشت مخلوط در شرایط مصرف ورمی‌کمپوست بهبود پیدا کرد (Asadi et al., 2019). نتایج تحقیق امانی ماچیانی و همکاران (Amani Machiani et al., 2019) نشان دادند که کشت مخلوط رازیانه در کشت مخلوط با بادرشبو و لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) تحت تأثیر مصرف کود آلی به‌دلیل اثرات تسهیل و تکمیل‌کنندگی سه گونه باعث افزایش جذب عناصر پرمصرف هر سه گیاه شد. در بررسی کاربرد تلفیقی ریزو باکتری‌های محرک رشد و قارچ میکوریزا بر عملکرد دانه، جذب عناصر غذایی پرمصرف و برخی از شاخص‌های بیولوژی خاک در کشت مخلوط بزرک و باقلا مشخص شد که میزان جذب نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در کشت مخلوط در مقایسه کشت خالص هر دو گونه بالاتر بود و میزان جذب این عناصر در تیمار با کود زیستی نسبت به عدم مصرف کود (شاهد) افزایش معنی‌داری را نشان داد (Alizadeh et al., 2020). رجایی و همکاران (Rejaei et al., 2018) در ارزیابی تأثیر الگوی کشت و ورمی‌کمپوست بر تغییرات عناصر غذایی خاک در کشت مخلوط ذرت (*Zea mays* L.)، بادام

زمینی (*Arachis hypogaea* L.) و گاوزبان اروپایی *Borago officinalis* L.) گزارش کردند که کاربرد ورمی‌کمپوست در کشت مخلوط توانست مقدار فسفر خاک را افزایش دهد، ولی میزان سدیم کاهش یافت.

شناخت تأثیر ورمی‌کمپوست بر عملکرد دانه و غلظت عناصر غذایی این گیاهان در کشت مخلوط، نیازمند مطالعه و تحقیق می‌باشد. با توجه به اهمیت این موضوع، آزمایش حاضر با هدف بررسی اثر مصرف ورمی‌کمپوست بر عملکرد و جذب عناصر غذایی رازیانه در کشت مخلوط با باقلا در راستای اهداف کشاورزی پایدار در شرایط آب‌وهوایی ارومیه انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ارومیه با طول جغرافیایی ۴۵ درجه و دو دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی، ارتفاع ۱۳۳۲ از سطح دریا، و با میانگین دما و بارندگی سالیانه درطی یک دوره ۱۰ ساله به‌ترتیب برابر ۸/۹ درجه سانتی‌گراد و ۲۳۸/۲ میلی‌متر اجرا شد. قبل از کاشت، از محل اجرای آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری نمونه خاک تهیه و سپس تیمار کودی بر اساس نقشه طرح، در کرت‌های مورد نظر اعمال گردید.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی و ورمی‌کمپوست
Table 1- Physical and chemical properties of the soil and vermicompost

	بافت Texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی $EC \times 10^3$ ($dS.m^{-1}$)	ماده آلی O.C (%)	نیتروژن کل Total N (%)	فسفر قابل جذب $P_{available}$ (%)	پتاسیم قابل جذب $K_{available}$ (%)
خاک Soil	رس سیلتی Silty clay	7.88	0.82	0.99	0.18	1.34	2.62
		اسیدیته pH	**هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)**	**موادآلی O.C (%)**	**نیتروژن کل Total N (%)**	**فسفر قابل جذب $P_{available}$ (%)**	**پتاسیم قابل جذب $K_{available}$ (%)**
ورمی‌کمپوست Vermicompost	-	8.15	4.08	8.69	3.82	3.10	2.61

تیمارهای آزمایش شامل شش الگوی کاشت: کشت خالص رازیانه، کشت خالص باقلا، کشت مخلوط یک ردیف باقلا + یک ردیف رازیانه، دو ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه، سه ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه و چهار ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه به‌عنوان عامل اول، و دو سطح کود: شامل مصرف کود ورمی‌کمپوست (۱۰ تن در هکتار) و عدم مصرف کود به‌عنوان عامل دوم بودند. بذر استفاده شده باقلا رقم برکت و بذر رازیانه از توده بومی ارومیه بود که به‌ترتیب از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان و شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شدند. همچنین، ورمی‌کمپوست از گروه خاک‌شناسی دانشگاه ارومیه تهیه گردید. فاصله بین ردیف‌ها برای هر دو گونه ۴۰ سانتی‌متر و روی ردیف‌ها برای باقلا ۱۲/۵ سانتی‌متر و رازیانه ۲۵ سانتی‌متر به‌طول سه متر برای دو گونه بود. تراکم بهینه دو گیاه در کشت خالص برای باقلا ۲۰ بوته و رازیانه ۱۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد (Sori et al., 2020; Rezaei-Chiyaneh et al., 2020). رقم برکت دارای تیپ رشد نامحدود با دانه‌هایی درشت، طول غلاف بلند که میانگین وزن ۱۰۰ دانه آن ۱۴۸ گرم می‌باشد. بذور رازیانه از توده بومی ارومیه انتخاب شد که دارای تیپ رشد نامحدود به ارتفاع ۲۰۰ -۷۰ سانتی‌متر که میانگین وزن ۱۰۰ دانه آن پنج گرم می‌باشد. کاشت باقلا و رازیانه به‌طور هم‌زمان در ۲۵ اسفندماه انجام گرفت. بذرهای باقلا یک ساعت قبل از کاشت با باکتری *ریزوبیوم لگومینوزاروم* که به‌صورت مایع با تعداد 10^8 باکتری زنده و فعال در هر میلی‌لیتر که از سازمان تحقیقات آب و خاک کرج تهیه شده بود، تلقیح شدند. جهت عمل تلقیح بذرها، ابتدا بذور لوبیا درون ظرف پلاستیکی قرار داده شدند و سپس به آن محلول شکر ۲۰ درصد اضافه گردید. آن‌گاه محتویات کیسه پلاستیک پس از اضافه نمودن مایع باکتری به‌میزان یک لیتر در هکتار، بذر به‌خوبی تکان داده شد. سپس بذرها در سایه خشک شدند و بلافاصله پس از خشک شدن عملیات کاشت صورت گرفت.

عملیات وجین علف‌های هرز به‌طور مرتب به‌صورت دستی و در هنگام لزوم از مرحله سبز شدن تا بسته شدن کانوپی انجام شد. اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت، آبیاری‌های بعدی بر حسب شرایط اقلیمی و نیاز گیاه به‌طور متوسط هر ۱۰-۷ روز یک‌بار به‌صورت جوی و پشته انجام گرفت. به‌منظور بررسی آزمایش در شرایط کم‌نهاده و بیشتر نمود پیدا کردن تأثیر کود ورمی‌کمپوست در زمان آماده‌سازی زمین در طول دوره رشد از هیچ‌گونه کود شیمیایی استفاده نشد. برداشت باقلا و رازیانه به‌ترتیب در تاریخ چهار تیرماه و ۱۰ شهریورماه زمانی که رنگ نیام‌های باقلا و چترهای رازیانه به زردی گرایش پیدا کرده بودند، صورت گرفت. در پایان فصل رشد برای محاسبه عملکرد دانه با حذف اثر حاشیه از هر طرف کرت‌ها از مساحت ۴/۸ مترمربع صورت گرفت.

برای تعیین عناصر غذایی از بخش دانه استفاده شد. برای تهیه خاکستر، از نمونه‌های آسیاب شده، یک نمونه ۱۰ گرمی جدا و به‌مدت پنج ساعت در کوره با دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. خاکستر حاصل برای تعیین میزان جذب عناصر غذایی استفاده گردید. به‌طوری‌که نیتروژن به‌روش کجدال (مدل BUCHI-B 324، ساخت کشور سوئیس) (Nelson & Somerz, 1980) و فسفر به‌روش کالریمتری (رنگ زرد مولیبدات وانادات) اندازه‌گیری شد (Tandon et al., 1968). میزان پتاسیم با استفاده از دستگاه فلم‌فتومتر (مدل 620G فاطر الکترونیک ساخت ایران) تعیین شد. از دستگاه جذب اتمی مدل Shimadzu AA-6300 (ساخت کشور ژاپن) برای اندازه-گیری میزان منیزیم، کلسیم و عناصر ریزمغذی (آهن، روی، مس و منگنز) استفاده شد.

به‌منظور ارزیابی سودمندی کشت مخلوط نسبت به کشت خالص و با توجه به اینکه کشت مخلوط رازیانه و باقلا زمین را در مدت زمان بیشتری نسبت به کشت خالص باقلا اشغال نمود، از شاخص نسبت برابری سطح زیر کشت و زمان[1] (بر اساس عملکرد دانه) طبق معادله ۱ استفاده گردید (Mazaheri, 1998):

$$ATER = \frac{\frac{Ya}{Sa} \times Ta + \frac{Yb}{Sb} \times Tb}{T}$$

معادله (۱)

در این معادله، Ya: عملکرد گونه a در کشت مخلوط، Sa: عملکرد گونه a در کشت خالص، Yb: عملکرد گونه b در کشت مخلوط، Sb: عملکرد گونه b در کشت خالص، Ta: مدت زمان حضور گونه a در زمین، Tb: مدت زمان حضور گونه b در زمین و T: مجموع زمان نظام کشت مخلوط است. در صورتی که عدد حاصل از این نسبت این نسبت از یک بزرگ‌تر باشد، نشان‌دهنده بازده بالا در استفاده از زمان و سطح زمین می‌باشد (Ghosh et al., 2005).

جهت تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست آمده از نرم‌افزار SAS 9.4 و مقایسه میانگین‌ها آماری توسط آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

رازیانه

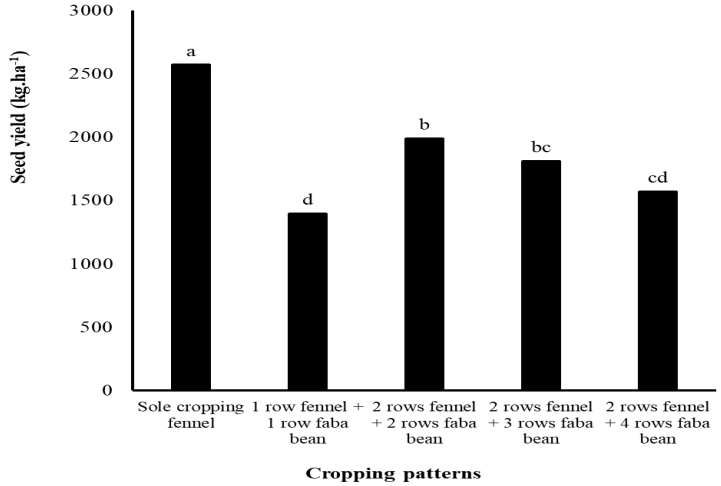
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر الگوی کشت بر عملکرد دانه و اثر مصرف ورمی‌کمپوست برای تمام صفات مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد، امّا اثر متقابل الگوهای مختلف کشت و کود ورمی‌کمپوست بر صفت عملکرد دانه معنی‌دار نگردید (جدول ۲).

بیشترین عملکرد دانه رازیانه (۲۵۶۸/۳۳ کیلوگرم در هکتار) از کشت خالص و کمترین عملکرد دانه آن (۱۳۷۵/۳۳ کیلوگرم در هکتار) از کشت مخلوط ۱:۱ به‌دست آمد که از نظر آماری با کشت مخلوط چهار ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه اختلاف معنی‌داری نشان نداد (شکل ۱).

به‌نظر می‌رسد که رازیانه در تیمار کشت مخلوط تک‌ردیفی به‌سبب فشار رقابتی بالایی که با باقلا داشته، نتوانسته است از نور و سایر منابع محیطی استفاده کند و در نتیجه، با تولید کمترین بخش رویشی، کمترین عملکرد دانه را نیز به همراه داشت، امّا رازیانه در کشت مخلوط با باقلا در الگوی کشت ۲:۲ به‌دلیل فضای تغذیه‌ای مطلوب‌تر و شرایط مناسب‌تر کانوپی از نظر نور، توانسته از شرایط ایجاد شده در جهت تولید بیش‌تر بهره ببرد. همچنین، یکی از دلایل بالا بودن عملکرد در کشت خالص به‌دلیل بالا بودن میزان تراکم در واحد سطح است. امّا در کشت مخلوط ردیفی به همان نسبتی که از ردیف‌های کاسته می‌گردد، از عملکرد در واحد سطح نیز کاسته می-شود. بی‌گناه و همکاران (Bigonah et al., 2014) اظهار داشتند که برتری عملکرد در کشت مخلوط ممکن است بر اثر تلفیقی از عوامل مختلف همچون استفاده بهتر از رطوبت خاک، نور و عناصر غذایی باشد، آن‌ها وجود اختلاف در ساختار ریشه، توزیع کانوپی و نیازهای

1- Area time equivalent ratio

غذایی گیاهان در کشت مخلوط را علت این کارآمدی گزارش کرده‌اند. در تحقیقی دیگر مشخص شد که وجود شرایط مناسب برای رشد بوته‌های بادرشبو از جمله افزایش دسترسی به عناصرغذایی ضروری برای رشد به‌ویژه نیتروژن تحت تأثیر نسبت‌های کشت مخلوط با باقلا از طریق بهبود رشد و فتوسنتز منجر به بهبود عملکرد بادرشبو شده است (Vafadar-Yengeje et al., 2019).



شکل ۱- مقایسه میانگین عملکرد دانه رازیانه در الگوهای مختلف کشت مخلوط با باقلا. در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Fig. 1- Mean comparisons for seed yield of fennel in different intercropping patterns with faba bean. Means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's multiple range test.

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد دانه رازیانه (۲۰۷۸/۳۳ کیلوگرم در هکتار) از مصرف ورمی‌کمپوست و کمترین عملکرد دانه (۱۶۵۲/۶۷ کیلوگرم در هکتار) از عدم مصرف کود به‌دست آمد (شکل ۲). به‌طوری‌که تیمار ورمی‌کمپوست نسبت به عدم مصرف عملکرد دانه رازیانه را ۲۰/۴۸ درصد افزایش داد. شاید افزایش عملکرد دانه در این آزمایش را می‌توان به نقش مثبت کود ورمی‌کمپوست در افزایش فعالیت ریزجانداران مفید و بهبود ساختمان خاک، افزایش فراهمی و جذب عناصر مورد نیاز، بهبود فعالیت‌های فیزیکی و بیولوژیکی و همین‌طور افزایش ظرفیت نگهداری آب نسبت داد. در کشت مخلوط بزرک و نخود تحت تأثیر کودهای زیستی، شیمیایی و ورمی‌کمپوست مشخص شد که مصرف منابع کودی به‌خصوص ورمی‌کمپوست باعث بهبود خصوصیات گیاهی مورد مطالعه در هر دو گیاه نسبت به شاهد شد که این مسئله می‌تواند به‌دلیل ایجاد شرایط محیطی مطلوب‌تر در سامانه کشت مخلوط و فراهمی عناصر غذایی به‌دلیل مصرف کودهای زیستی باشد (Asadi et al., 2019).

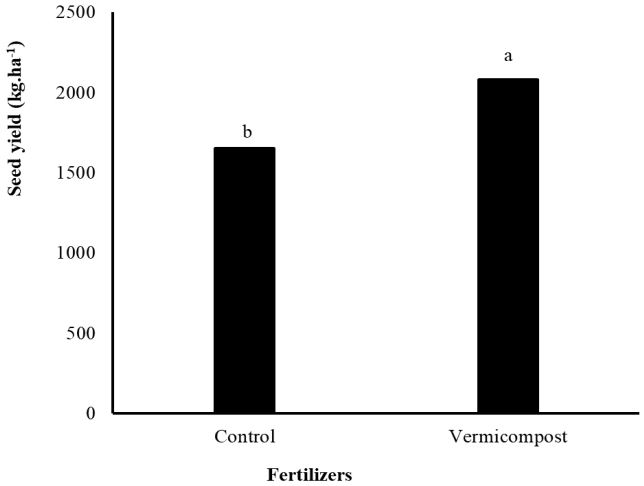
غلظت عناصر غذایی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر الگوی کشت و اثر نوع کود ورمی‌کمپوست در سطح احتمال یک درصد بر عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، روی، مس و منگنز و اثر متقابل الگوی کاشت × تیمار کودی در سطح احتمال یک درصد بر عناصر فسفر، پتاسیم و مس و در سطح احتمال پنج درصد بر عناصر نیتروژن و کلسیم رازیانه معنی‌دار بود (جدول ۲).

نیتروژن دانه: مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین درصد نیتروژن دانه رازیانه (۴/۱۲ درصد) در کشت مخلوط چهار ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه در شرایط کاربرد ورمی‌کمپوست و کمترین درصد نیتروژن دانه رازیانه (۲/۴۸ درصد) از کشت خالص رازیانه در شرایط عدم مصرف کود ورمی‌کمپوست حاصل شد (جدول ۳). به‌نظر می‌رسد که رازیانه در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص با بهره-

برداری مطلوب‌تر از شرایط موجود و منابع ایجاد شده از طرف باقلا به‌ویژه تثبیت نیتروژن بیولوژیکی، میزان بیش‌تری از نیتروژن خاک را دریافت می‌کند. همچنین، در کشت مخلوط، لگوم‌ها بیشتر نیتروژن مورد نیاز خود را از طریق تثبیت نیتروژن اتمسفری و غیرلگوم از نیتروژن معدنی خاک به‌دست می‌آورند؛ این امر باعث کاهش رقابت برای نیتروژن غیرآلی می‌شود. این عوامل باعث افزایش جذب نیتروژن در کشت مخلوط می‌شود (Fallaha et al., 2018). ورمی‌کمپوست نیز به‌دلیل افزایش فعالیت بیولوژیک در محیط ریزوسفر منجر به بهبود جذب عناصری چون نیتروژن می‌شود. محققان دیگری با مقایسه کشت مخلوط و کشت خالص اسفرزه (*Plantago ovata* Forsk) و عدس (*Lens culinaris* L.) بیشترین غلظت نیتروژن گیاه اسفرزه را در کشت مخلوط مشاهده نمودند (Asgharipuur & Rafici, 2010). در کشت مخلوط جایگزینی و افزایشی شاهدانه (*Cannabis sativa* L.) و کنجد (*Sesamum indicum* L.) بر کارایی جذب و مصرف نیتروژن مشخص شد که کارایی جذب نیتروژن در کشت مخلوط بیش‌تر از کشت خالص است (Koocheki et al., 2012). طبق نتایج سیدی و همکاران (Seyyedi et al., 2015) ورمی‌کمپوست نقش مؤثری در افزایش غلظت نیتروژن در گیاه سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) داشت.

فسفر دانه: بیشترین درصد فسفر دانه رازیانه (۰/۳۶ درصد) در کشت مخلوط چهار ردیف باقلا+ دو ردیف رازیانه در شرایط کاربرد ورمی‌کمپوست به‌دست آمد، امّا کمترین (۰/۱۹ درصد) درصد فسفر دانه رازیانه از کشت خالص رازیانه در شرایط عدم مصرف کود مشاهده شد (جدول ۳). چنین به نظر می‌رسد که در کشت مخلوط ترشحات ریشه‌ای دو گیاه بر فراهمی و جذب عناصر غذایی و در نتیجه، بر تغذیه و رشد آن، اثر مستقیم و غیرمستقیم دارند. ترکیب این ترشحات در گیاهان مختلف، متفاوت بوده و یکی از دلایل متفاوت بودن کارایی جذب عناصر در گیاهان نیز به‌شمار می‌آید. همچنین در کشت مخلوط به‌دلیل تفاوت در مورفولوژی ریشه، گونه‌های موجود در جذب عناصر غذایی به‌صورت مکملی عمل می‌کنند (Inal et al., 2007). گزارش شده است که ورمی‌کمپوست به‌عنوان اصلاح‌کننده آلی خاک، در بهبود جذب عناصر غذایی همچون فسفر مؤثر است (Raja Sekar & Karmegan, 2010).



شکل ۲- مقایسه میانگین عملکرد دانه رازیانه تحت تأثیر کاربرد ورمی‌کمپوست. در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند. مصرف کود ورمی‌کمپوست ۱۰ تن در هکتار است.

Fig. 2- Mean comparison of seed yield of fennel seed affected by vermicompost application. Means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's multiple range test. The application of vermicompost is 10 tons per hectare.

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد دانه و غلظت عناصر غذایی دانه رازیانه در کشت مخلوط با باقلا تحت تأثیر مصرف ورمی‌کمپوست

Table 2- Analysis of variance (squares means) of seed yield and concentration nutrients of fennel seed in intercropping with faba bean affected by use of vermicompost

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	عملکرد دانه Seed yield	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	کلسیم Ca	منیزیم Mg	آهن Fe	روی Zn	مس Cu	منگنز Mn
تکرار Replication	2	275663.100**	0.216**	0.001$^{n.s}$	0.045**	0.004$^{n.s}$	0.014**	110.800**	6.300$^{n.s}$	31.033**	12.320*
الگوهای کشت Cropping patterns	4	1231164.36**	0.990**	0.007**	0.185**	0.026**	0.013**	328.750**	331.583**	72.217**	48.828**
ورمی‌کمپوست Vermicompost	1	1361496.03**	1.019**	0.011**	0.215**	0.040**	0.078**	821.633**	662.700**	168.033**	49.165**
الگوی کشت × ورمی‌کمپوست Cropping patterns × Vermicompost	4	14388.86$^{n.s}$	0.048*	0.001*	0.009$^{n.s}$	0.001$^{n.s}$	0.001$^{n.s}$	4.383$^{n.s}$	43.617*	10.117**	0.303$^{n.s}$
خطا Error	18	41000.61	0.014	0.0009	0.007	0.002	0.001	9.87	12.078	1.996	2.440
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	10.85	5.47	4.02	5.36	5.52	3.80	4.12	10.07	7.65	4.67

ns, * and **: به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و وجود اختلاف معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد است.

ns, * and **: Non significant, significant at 5 and 1% probability levels, respectively

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل کود ورمی‌کمپوست و الگوی کشت بر غلظت عناصر غذایی در دانه رازیانه در کشت مخلوط با باقلا

Table 3- Means comparison of interaction fertilizer vermicompost and cropping pattern of concentration nutrients of fennel seed in intercropping with faba bean

الگوهای کشت Cropping patterns	کود Fertilizer	نیتروژن N (%)	فسفر P (%)	مس Cu ($mg.kg^{-1}$)	روی Zn ($mg.kg^{-1}$)
کشت خالص رازیانه Sole cropping fennel	عدم مصرف کود No fertilizer use	2.48 f*	0.19 g	31.67 d	13.05 f
	ورمی‌کمپوست Vermicompost	2.58 f	0.20 fg	40.00 c	14.00 ef
یک ردیف باقلا + یک ردیف رازیانه 1 row fennel+ 1 row faba bean	عدم مصرف کود No fertilizer use	2.85 e	0.22 ef	40.33 c	15.33 ef
	ورمی‌کمپوست Vermicompost	3.13 cd	0.24 de	51.00 b	18.33 c
دو ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه 2 rows fennel+ 2 rows faba bean	عدم مصرف کود No fertilizer use	2.89 e	0.24 de	43.67 c	17.33 cd
	ورمی‌کمپوست Vermicompost	3.32 bc	0.31 b	62.00 a	23.33 b
سه ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه 2 rows fennel+ 3 rows faba bean	عدم مصرف کود No fertilizer use	3.07 de	0.26 cd	51.10 b	18.67 c
	ورمی‌کمپوست Vermicompost	3.45 b	0.33 b	58.66 b	26.33 a
چهار ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه 2 rows fennel+ 4 rows faba bean	عدم مصرف کود No fertilizer use	3.40 b	0.28 c	39.33 c	16.33 ce
	ورمی‌کمپوست Vermicompost	4.12 a	0.36 a	50.10 b	22.10 b

* در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند. مصرف کود ورمی‌کمپوست ۱۰ تن در هکتار است.

* Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's multiple range Test. The application of vermicompost is 10 tons per hectare.

در کشت مخلوط سویا (*Glycine max* L.) و بادرشبو مشخص شد که بیشترین فسفر جذب شده بادرشبو از کشت مخلوط یک ردیف سویا+ دو ردیف بادرشبو به‌دلیل ترشحات ریشه‌ای دو گونه و اسیدی کردن محیط ریزوسفر در شرایط کاربرد کود ورمی‌کمپوست به‌دلیل فراهمی عناصر غذایی به‌دست آمد (Fallah et al., 2018).

پتاسیم دانه: بیشترین (۱/۷۴ درصد) مقدار جذب عنصر پتاسیم از الگوی کشت سه ردیف باقلا+ دو ردیف رازیانه به‌دست آمد، امّا با الگوی کشت دو ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه اختلاف معنی‌دار نشان نداد و کمترین (۱/۳۱ درصد) مقدار پتاسیم از الگوی کشت خالص رازیانه به‌دست آمد (جدول ۴). در بین الگوهای مختلف کشت مخلوط کمترین (۱/۵۰ درصد) درصد پتاسیم دانه رازیانه از چهار ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه مشاهده گردید. تغییرات غلظت پتاسیم در گیاه می‌تواند بیانگر رابطه مکملی و وضعیت متفاوت رقابت برای جذب این عنصر در کشت مخلوط باشد، در تأیید نتایج حاصل از این تحقیق، محققان در بررسی کشت مخلوط ارزن (*Pennisetum* sp.) و خلر (*Lathyrus sativus* L.) به افزایش جذب عناصر غذایی از جمله پتاسیم اشاره کردند (Pakgohar & Ghanbari, 2014). محققان دیگری اظهار داشتند که کشت مخلوط شنبلیله (*Trigonella foenum*-graecum) و سیاهدانه سبب افزایش غلظت نیتروژن، پتاسیم و فسفر در گیاه سیاهدانه شد (Rostaei & Fallah, 2015).

بیشترین درصد پتاسیم دانه رازیانه (۱/۶۵ درصد) نیز از شرایط کاربرد ورمی‌کمپوست به‌دست آمد، امّا کمترین (۱/۴۸ درصد) درصد پتاسیم دانه رازیانه از شرایط عدم مصرف کود ورمی‌کمپوست حاصل شد (جدول ۵). تیمار ورمی‌کمپوست نسبت به عدم مصرف درصد پتاسیم دانه رازیانه را ۱۰/۳۰ درصد افزایش داد، که علت آن را می‌توان به بهبود چرخه عناصر غذایی و بهبود خصوصیات فیزیکی و بیولوژیکی خاک نسبت داد. در تحقیق حاضر نیز به نظر می‌رسد که ورمی‌کمپوست از طریق افزایش جمعیت ریزجانداران مفید خاک و

فعالیت این موجودات با ترشح اسیدهای آلی و ایجاد محیط اسیدی باعث افزایش دسترسی مطلوب به عناصر غذایی و قابلیت جذب این عنصر شده است. درزی و همکاران (Darzi et al., 2009) بیان کردند که استفاده از ورمی‌کمپوست تأثیر مثبتی بر عملکرد دانه و نیز غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در دانه رازیانه داشت.

جدول ٤- مقایسه میانگین‌های غلظت عناصر دانه رازیانه در الگوهای مختلف کشت مخلوط با باقلا

Table 4- Mean comparisons of concentration nutrients of fennel seed in different intercropping patterns with faba bean

الگوی کشت Cropping pattern	پتاسیم K (%)	کلسیم Ca (%)	منیزیم Mg (%)	آهن Fe ($mg.kg^{-1}$)	منگنز Mn ($mg.kg^{-1}$)
کشت خالص رازیانه Sole cropping fennel	1.31 c*	0.71 c	0.55 c	69.83 d	29.27 c
یک ردیف باقلا + یک ردیف رازیانه 1 row fennel+ 1 row faba bean	1.55 b	0.82 b	0.62 b	76.83 c	32.11 b
دو ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه 2 rows fennel+ 2 rows faba bean	1.71 a	0.84 ab	0.64 ab	89.50 a	33.62 b
سه ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه 2 rows fennel+ 3 rows faba bean	1.74 a	0.89 a	0.66 ab	81.33 b	35.887 a
چهار ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه 2 rows fennel+ 4 rows faba bean	1.50 b	0.81 b	0.67 a	75.00 c	36.17 a

* در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند. مصرف کود ورمی‌کمپوست ۱۰ تن در هکتار است.

* Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's multiple range Test. The application of vermicompost is 10 tons per hectare.

کلسیم دانه: نتایج مقایسه‌های میانگین نشان داد که بیشترین درصد کلسیم (۰/۸۹ درصد) از الگوی کشت مخلوط سه ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با دو ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه نشان نداد و کمترین درصد کلسیم (۰/۷۱ درصد) از الگوی کشت خالص رازیانه حاصل شد (جدول ۴). نتایج تحقیقات نشان داده است که ظرفیت تبادل کاتیونی ریشه لگوم‌ها حدود دو برابر ریشه غلات می‌باشد. گیاهی که ظرفیت تبادلی آن بیشتر باشد، قادر است عناصر دو ظرفیتی را به‌مقدار بیشتری جذب کند به همین دلیل، قدرت رقابت بالا در جذب عناصر دو ظرفیتی کلسیم و منیزیم بالاتر است (Eskandari & Ghanbari, 2011). همچنین بیشترین درصد کلسیم دانه (۰/۸۵ درصد) از مصرف ورمی‌کمپوست و کمترین درصد کلسیم دانه رازیانه (۰/۷۸ درصد) نیز تحت تأثیر عدم مصرف کود می‌کمپوست به‌دست آمد (جدول ۵). به‌طوری‌که تیمار ورمی‌کمپوست نسبت به عدم مصرف درصد کلسیم دانه رازیانه را ۸/۲۳ درصد افزایش داد. با توجه به اینکه ورمی‌کمپوست منبعی غنی از عناصر پرمصرف و کم مصرف، ویتامین‌ها، آنزیم‌ها و هورمون‌های محرک رشد گیاه است، می‌تواند سبب رشد گیاه شود (Prabha et al., 2007)، امّا مسئله ماندگاری و اثرات کود در خاک می‌تواند بسیار مهم باشد. از آنجایی که ورمی‌کمپوست دارای تخلخل زیاد می‌باشد و از طرفی، بر ساختمان خاک اثر می‌گذارد، توانایی جذب و نگهداری عناصر غذایی و آب را افزایش داده و علاوه‌بر افزایش جمعیت و فعالیت ریزجانداران مفید خاک، عناصر غذایی مورد نیاز گیاه از قبیل نیتروژن، فسفر و پتاسیم و کلسیم و منیزیم را در اختیار گیاه قرار داده، در نتیجه رشد و عملکرد گیاه بهتر خواهد شد (Arancon et al., 2004). نتایج تحقیق عباس‌زاده و ذاکریان (Abbaszadeh & Zakerian, 2016) نشان داد که بیشترین درصد کلسیم بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) از تیمار پنج تن ورمی‌کمپوست به‌دست آمد. محققان در کشت مخلوط رازیانه و بادرشبو با لوبیا تحت تأثیر مصرف کود هیومیک نشان دادند که جذب عناصر غذایی نیتروژن، کلسیم، منیزیم، پتاسیم، فسفر در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص افزایش یافت و باعث افزایش جذب عناصر پرمصرف هر سه گیاه شد (Amani Machiani et al., 2019) که با نتیجه تحقیق حاضر مطابقت دارد.

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های غلظت عناصر دانه رازیانه تحت تأثیر مصرف و عدم مصرف کود ورمی‌کمپوست

Table 5- Mean comparisons of concentration nutrients of fennel seed affected by use and no fertilizer use vermicompost

تیمار کودی Fertilizer treatment	پتاسیم K (%)	کلسیم Ca (%)	منیزیم Mg (%)	آهن Fe (mg. kg^{-1})	منگنز Mn (mg. kg^{-1})
عدم مصرف کود No fertilizer use	1.48 b*	0.78 b	0.47 b	73.27 b	32.12 b
ورمی‌کمپوست Vermicompost	1.65 a	0.85 a	0.58 a	83.73 a	34.68 a

* در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند. مصرف کود ورمی‌کمپوست ۱۰ تن در هکتار است.

* Means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's multiple range Test. The application of vermicompost is 10 tons per hectare.

منیزیم دانه: بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین مقدار جذب منیزیم (۰/۶۷ درصد) در الگوی کشت مخلوط چهار ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با الگوی کشت سه ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه و الگوی کشت دو ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه نشان نداد و کمترین میزان جذب منیزیم (۰/۵۵ درصد) از الگوی کشت خالص رازیانه به‌دست آمد (جدول ۴)، بیشترین منیزیم جذب شده دانه رازیانه (۰/۵۸ درصد) از مصرف ورمی‌کمپوست و کمترین میزان آن (۰/۴۷ درصد) از عدم مصرف کود حاصل شد (جدول ۵). به‌طوری‌که تیمار ورمی‌کمپوست نسبت به عدم مصرف درصد منیزیم دانه رازیانه را ۱۸/۹۷ درصد افزایش داد. اشغال نیچ‌های موجود به‌صورت مطلوب، توزیع بهتر ریشه گیاهان در پروفیل خاک، افزایش توان جذب عناصر غذایی توسط گیاه، افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی و کاهش میزان تلفات عناصر غذایی موجب بهبود کارایی جذب عناصر غذایی می‌گردد، کشت مخلوط با ایجاد شرایط مذکور می‌تواند در افزایش کارایی جذب عناصر مؤثر باشد (Koocheki et al., 2016). در تحقیق عباس‌زاده و ذاکریان (Abbaszadeh & Zakerian, 2016) مشاهده شد که ورمی‌کمپوست با افزایش آهن، مقدار منیزیم را بالا می‌برد، چون بین منیزیم و آهن همبستگی مثبت وجود دارد، بنابراین در دسترس بودن منیزیم کافی به فتوسنتز آسان‌تر گیاه کمک خواهد کرد.

آهن دانه: نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین میزان جذب عنصر آهن دانه رازیانه (۸۹/۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) از الگوی کشت مخلوط دو ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه و کمترین میزان جذب آهن (۶۹/۸۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) از کشت خالص رازیانه به‌دست آمد (جدول ۴). بهبود تغذیه عناصر کم مصرف به‌ویژه آهن در کشت مخلوط بر اثر ترشح اسیدهای آلی، ترکیبات فنلی، فیتوسیدروفورها، ترکیبات احیاکننده آهن و ترکیبات کیلیت‌کننده به‌وسیله ریشه گیاهان موجود در کشت مخلوط به‌وسیله سایر پژوهش‌گران نیز گزارش شده است (Zhang et al., Inal et al., 2007; 2012). نتایج تحقیق نجفی و همکاران (Najafi et al., 2013) نشان داد که با تغییر نظام کشت از تک کشتی ذرت (*Zea mays* L.) به کشت مخلوط آن با گاودانه (*Vicia ervilia* L.) و لوبیا، غلظت آهن در ذرت به‌ترتیب ۶/۲ و ۴/۳ درصد افزایش یافت و از نظر غلظت آهن، کشت مخلوط ذرت با لوبیا با کشت مخلوط ذرت با گاودانه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت.

نتایج مقایسه میانگین‌های جذب عناصر رازیانه تحت تأثیر مصرف و عدم مصرف کود ورمی‌کمپوست نشان داد که بیشترین (۸۳/۷۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) مقدار آهن جذب شده توسط دانه رازیانه از مصرف ورمی‌کمپوست و کمترین مقدار آن (۷۳/۲۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) تحت شرایط عدم مصرف کود ورمی‌کمپوست به‌دست آمد (جدول ۵). به‌طوری‌که تیمار ورمی‌کمپوست نسبت به عدم مصرف مقدار آهن جذب شده دانه رازیانه را ۱۲/۴۹ درصد افزایش داد. با توجه به اینکه ورمی‌کمپوست دارای خاصیت افزایش قابلیت نگهداری عناصر غذایی و آب می‌باشد، بنابراین به‌دلیل اسیدهای آلی موجود در آن قادر است عناصر غذایی موجود در خاک به‌خصوص عناصر میکرو نظیر آهن را از طریق کمپلکس نمودن به‌صورت محلول درآورده و در اختیار گیاه قرار دهد (Abbaszadeh & Zakerian, 2016). طبق نتایج احمدآبادی و همکاران (Ahmad Abadi et al., 2012) کاربرد ورمی‌کمپوست بر میزان غلظت عناصر کم مصرف (مس، منگنز، آهن و روی) در گیاه گاوزبان (*Borago officinalis* L.) اثرمعنی‌دار داشت. اسلامی خلیلی و همکاران (Eslami Khalili et al., 2014) گزارش کردند که مصرف کود دامی توانست میزان آهن موجود در

گیاه همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) را افزایش دهد. طبق نتایج تحقیق نجفی و همکاران (Najafi et al., 2013) بیشترین غلظت آهن در ذرت در تیمارهای دارای ۶۰ تن کود دامی در هکتار و کشت مخلوط ذرت با لوبیا و گاودانه حاصل شد.

روی دانه: بیشترین مقدار غلظت عنصر روی (۲۶/۳۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) از الگوی کشت مخلوط سه ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه در شرایط مصرف کود ورمی‌کمپوست به‌دست آمد و کمترین مقدار غلظت روی (۱۳/۰۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) در دانه رازیانه از کشت خالص رازیانه در شرایط عدم مصرف کود ورمی‌کمپوست حاصل شد، امّا با الگوی کشت یک ردیف باقلا + یک ردیف رازیانه در شرایط عدم مصرف کود اختلاف معنی‌دار نشان نداد (جدول ۳). طبق نتایج تحقیق سلیمان‌پور و همکاران (Soleimanpoor et al., 2017) بیش‌ترین محتوای آهن، روی، مس و منگنز در لگوم‌ها نیز به‌ترتیب در تیمارهای کشت مخلوط گندم + باقلا، کشت مخلوط جو + نخود، کشت مخلوط تریتیکاله + باقلا به‌دست آمد. نتایج تحقیق عباس‌زاده و ذاکریان (Abbaszadeh & Zakerian, 2016) در بادرنجبویه تحت تأثیر دو گونه قارچ آربسکولار، قارچ شبه میکوریزا و ورمی‌کمپوست نشان داد که بیشترین مقدار عنصر روی از تیمار ۱۰ تن ورمی‌کمپوست به‌دست آمد.

مس دانه: نتایج نشان داد که بیشترین میزان جذب عنصر مس (۶۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) از کشت مخلوط دو ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه در شرایط کاربرد ورمی‌کمپوست و کمترین میزان جذب مس در دانه رازیانه (۳۱/۶۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) از کشت خالص رازیانه در شرایط عدم مصرف کود ورمی‌کمپوست حاصل شد (جدول ۳). افزایش جذب و غلظت عناصر غذایی با مصرف کودهای آلی را می‌توان به بهبود ظرفیت نگهداری آب و عناصر غذایی در خاک و افزایش فراهمی آب و عناصر غذایی برای گیاه و بهبود تغذیه گیاه نسبت داد، زیرا کودهای آلی نسبت به خاک عناصر غذایی بیشتری دارند و بر اثر تجزیه آن در طول دوره رشد گیاه این عناصر غذایی به خاک آزاد شده و توسط گیاه جذب می‌شود. در تحقیق نجفی و همکاران (Najafi et al., 2013) مشخص شد که غلظت مس در تیمارهای دارای ۶۰ تن کود دامی در هکتار و کشت مخلوط ذرت با لوبیا و گاودانه بیشتر از سایر تیمارها بود. براساس نتایج حاصل از تحقیق اسلامی خلیلی و همکاران (Eslami Khalili et al., 2014) بیشترین میزان مس در گیاه همیشه بهار مربوط به تیمار کودی کمپوست به همراه کود دامی و کود شیمیایی بود.

منگنز دانه: بیشترین، مقدار عنصر منگنز (۳۶/۱۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) جذب شده توسط دانه رازیانه در الگوی کشت مخلوط چهار ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه حاصل شد که با الگوی کشت سه ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه اختلاف معنی‌داری نشان نداد و کمترین مقدار عنصر منگنز (۲۹/۲۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) جذب شده توسط دانه رازیانه در الگوی کشت خالص رازیانه مشاهده شد (جدول ۴). افزایش غلظت برخی عناصر غذایی در کشت مخلوط را می‌توان به اثر ترکیب ترشحات ریشه دو گیاه و بهبود ریزوسفر نسبت داد. ریشه هر گیاهی ترشحات ویژه‌ای مثل اسیدهای آلی، اسیدهای آمینه، سیدروفورها، و غیره دارد. وقتی ترشحات ریشه دو گیاه در کشت مخلوط با هم مخلوط می‌شود، ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک ریزوسفر، و در نتیجه، فراهمی عناصر غذایی بهبود می‌یابد (Najafi et al., 2014).

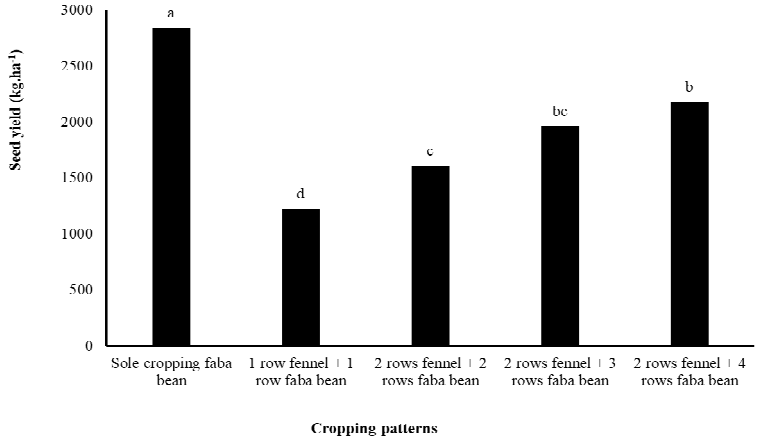
جدول مقایسه میانگین‌های جذب عناصر رازیانه تحت تأثیر مصرف و عدم مصرف کود ورمی‌کمپوست نشان داد که بیشترین مقدار عنصر منگنز (۳۴/۶۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) جذب شده توسط دانه رازیانه تحت تأثیر شرایط مصرف ورمی‌کمپوست به‌دست آمد و کمترین مقدار عنصر منگنز (۳۲/۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) جذب شده به تیمار عدم مصرف ورمی‌کمپوست تعلق داشت (جدول ۵). به‌طوری‌که تیمار ورمی‌کمپوست نسبت به عدم مصرف مقدار منگنز جذب شده رازیانه را ۷/۳۸ درصد افزایش داد. گزارش شده است که کاربرد کودهای آلی در کشت مخلوط سبب افزایش دسترسی ریشه گیاهان به این عنصرها و از سوی دیگر، به‌علت بهبود شرایط رشدی گیاه، باعث افزایش توان ذخیره‌سازی مواد از جمله عنصرهای غذایی ماکرو و میکرو می‌شود (Rostaei & Fallah, 2015). در واقع، به‌علت محتوی بالای مواد آلی و نیتروژن موجود در کودهای آلی، فعالیت‌های میکروبی در خاک بهبود یافته و عنصرهای ریزمغذی مورد نیاز گیاه بهتر فراهم می‌شود و سبب کاهش هدر رفت عنصرهای خاک می‌شود، در نتیجه میزان عنصرها در خاک در تیمارهای دارای منابع آلی در مقایسه با تیمارهای شیمیایی افزایش می‌یابد (Hosseinpour & Ghajar Sepanloy, 2012).

عملکرد دانه و غلظت عناصر غذایی دانه باقلا

طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر الگوی کشت و

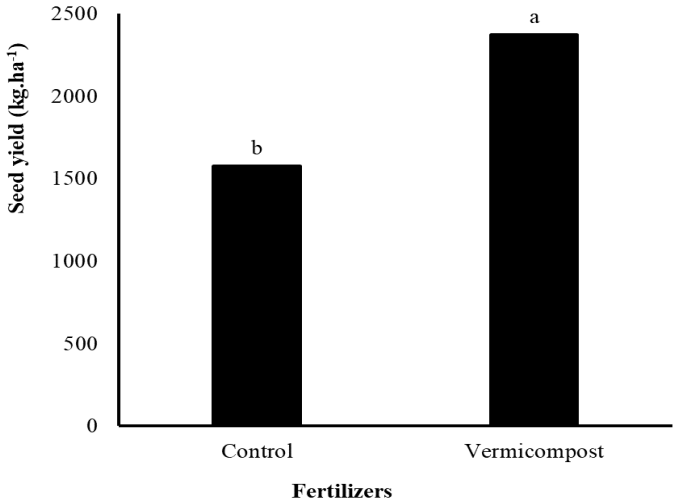
ورمی‌کمپوست بر صفت عملکرد دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، امّا اثر متقابل الگوهای مختلف کشت و ورمی‌کمپوست معنی‌دار نگردید (جدول ۶).

عملکرد دانه باقلا: بیشترین عملکرد دانه باقلا (۲۸۵۱/۶۷ کیلوگرم در مترمربع) از کشت خالص و کمترین عملکرد دانه (۱۲۳۶/۶۷ کیلوگرم در مترمربع) از کشت مخلوط ۱:۱ به‌دست آمد (شکل ۳). در بین الگوهای کشت مخلوط بیشترین عملکردانه از کشت مخلوط چهار ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه حاصل شد. از دلایل اصلی کاهش عملکرد دانه در کشت مخلوط به‌خصوص در الگوی ۱:۱ شاید بتوان به بالا بودن رقابت بر سر منابع محیطی و قدرت سایه‌اندازی رازیانه بر کانوپی باقلا اشاره کرد که منجر به کاهش عملکرد نهایی این گیاه شده است. از دلایل دیگر کاهش عملکرد دانه باقلا در کشت مخلوط نسبت به خالص می‌توان به کاهش تعداد بوته در واحد سطح و افزایش رقابت برون گونه‌ای بین باقلا و رازیانه اشاره کرد. رنجبر و همکاران (Ranjbar et al., 2016) نشان دادند که بیشترین عملکرد دانه لوبیا از کشت خالص و کمترین آن از کشت مخلوط لوبیا با کنجد (*Sesamum indicum* L.) و رازیانه به‌دست آمد، به‌طوری که لوبیا در تمامی تیمارهای مخلوط گیاهی مغلوب بوده و نتوانست به نحو مطلوب از عوامل محیطی به‌ویژه نور بهره ببرد، در نتیجه میزان تولید پایینی داشت. محققین مختلف، علت کاهش عملکرد را به‌خاطر رقابت نوری بین اجزای عملکرد در کشت مخلوط گزارش کردند. طبق تحقیق وفادار ینگجه و همکاران (Vafadar-Yengeje et al., 2018) در کشت مخلوط باقلا با بادرشبو بیشترین میانگین عملکرد دانه باقلا در واحد سطح (۲۵۹/۲ گرم در مترمربع) در تیمار کشت خالص باقلا به‌دست آمد. طبق تحقیق امانی ماچیانی و همکاران (Amani Machiani et al., 2018) در کشت مخلوط باقلا با نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.)، بیشترین عملکرد دانه در واحد سطح مخلوط به کشت خالص باقلا و بعد از آن به تیمار ۱:۳ مربوط بود. بر اساس تحقیق سخاوی و همکاران (Sakhavi et al., 2016) در الگوهای مختلف کشت مخلوط باقلا و زیره سبز (*Cuminum cyminum*) نیز مشاهده شد که بیشترین عملکرد دانه مربوط به کشت خالص باقلا و کمترین آن مربوط به کشت مخلوط ۴:۴ بود و بین کشت مخلوط ۱:۱ و ۲:۲ نیز از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.



شکل ۳- مقایسه میانگین عملکرد دانه باقلا در الگوهای مختلف کشت مخلوط با رازیانه. در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Fig. 3- Mean comparison of seed yield of faba bean in different intercropping patterns with fennel. Means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's multiple range test.



شکل ٤- مقایسه میانگین عملکرد دانه باقلا تحت تأثیر کاربرد ورمی‌کمپوست. در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند. مصرف کود ورمی‌کمپوست ۱۰ تن در هکتار است.

Fig. 4- Mean comparison of seed yield of faba bean affected by vermicompost application. Means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's multiple range test. The application of vermicompost is 10 tons per hectare.

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد دانه از مصرف ورمی‌کمپوست (۲۳۷۲/۲۰ کیلوگرم در هکتار)، و کمترین مقدار عملکرد دانه از عدم مصرف ورمی‌کمپوست (۱۵۷۷/۸۰ کیلوگرم در هکتار)، به‌دست آمد (شکل ۴). به‌طوری‌که تیمار ورمی‌کمپوست نسبت به عدم مصرف عملکرد دانه باقلا را ۳۳/۴۸ درصد افزایش داد. خاک‌های حاوی ورمی‌کمپوست دارای عناصر غذایی زیادی به‌ویژه نیتروژن، فسفر، کلسیم، پتاسیم و عناصر ریز مغذی از جمله آهن، روی، منگنز و مس می‌باشند و با آزادسازی تدریجی آن‌ها، باعث افزایش عملکرد می‌شوند. مفاخری و همکاران (Mafakheri et al., 2010) بیان کردند افزایش مقادیر ورمی‌کمپوست از طریق تأثیر بر قدرت جذب، نگهداری و تدارک بالای رطوبت و عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر و پتاس بر روی افزایش تعداد دانه نخود اثر گذاشته و موجب بهبود عملکرد دانه آن گردید. در کشت مخلوط بادرشبو و باقلا تحت تأثیر منابع کودی مشخص شد که کاربرد کود ورمی‌کمپوست منجر به بهبود عملکرد هر دو گونه گردید (Vafadar-Yengeje et al., 2018).

غلظت عناصر غذایی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که الگوی کشت و کود ورمی‌کمپوست در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری بر عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، روی، مس و منگنز داشت و اثر متقابل الگوی کاشت × کود ورمی‌کمپوست در سطح احتمال یک درصد بر عناصر فسفر، پتاسیم و مس و در سطح احتمال پنج درصد بر عناصر نیتروژن و کلسیم باقلا معنی‌دار بود (جدول ۶).

نیتروژن دانه: مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین میزان درصد نیتروژن دانه باقلا (۴/۱۲ درصد) در کشت مخلوط چهار ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه در شرایط کاربرد ورمی‌کمپوست و کمترین درصد نیتروژن (۲/۴۸ درصد) از کشت خالص باقلا در شرایط عدم مصرف کود ورمی‌کمپوست حاصل شد (جدول ۷). عناصر غذایی موجود در ورمی‌کمپوست از جمله نیتروژن و سایر عناصر غذایی کم - مصرف در آن بیش از خاک معمولی و سایر کودهای آلی می‌باشد که به‌تدریج آن‌ها را در اختیار گیاه قرار می‌دهد (Saydi et al., 2017). ورمی‌کمپوست به‌دلیل ظرفیت تبادل بیشتر و پتانسیل اکسیداسیون بالا در برگیرنده عناصری است که به‌راحتی در دسترس گیاه قرار می‌گیرند. از جمله این عناصر نیتروژن به فرم نیترات است (Atiyeh et al., 2001).

جدول ٦- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد دانه و غلظت عناصر دانه باقلا در کشت مخلوط با رازیانه تحت تأثیر مصرف ورمی‌کمپوست

Table 6- Analysis of variance (squares means) of seed yield and concentration nutrients of faba bean seed in intercropping with fennel affected by use vermicompost

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	عملکرد دانه Seed yield	نیتروژن N	فسفر P	پتاسیم K	کلسیم Ca	منیزیم Mg	آهن Fe	روی Zn	مس Cu	منگنز Mn
تکرار Replication	2	184258.30$^{n.s}$	0.24**	0.002 $^{n.s}$	0.021 $^{n.s}$	0.009*	0.004$^{n.s}$	2911.43**	11.10 $^{n.s}$	31.03**	12.32*
الگوی کشت Cropping patterns	4	2229846.46**	1.19**	0.015**	0.444**	0.050**	0.021**	3689.80**	337.61**	72.21**	48.82**
ورمی‌کمپوست Vermicompost	1	4742572.80**	1.09**	0.020**	0.397**	0.114**	0.061**	3477.63**	929.63**	168.03**	49.16**
الگوی کشت × ورمی‌کمپوست Cropping patterns × Vermicompost	4	94454.46$^{n.s}$	0.075*	0.048**	0.027**	0.005*	0.001$^{n.s}$	14.96$^{n.s}$	27.88$^{n.s}$	10.11**	0.30 $^{n.s}$
خطا Error	18	97595.89	0.018	0.00002621	0.005	0.002	0.001	67.32	7.47	1.99	2.44
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	14.82	4.28	1.96	3.33	4.70	3.76	5.57	5.85	7.65	4.67

ns, *, **: به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و وجود اختلاف معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد است.

ns, * and **: Non significant, significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول ۷- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل کود ورمی‌کمپوست و الگوهای مختلف کشت مخلوط بر غلظت عناصر غذایی دانه باقلا در کشت مخلوط با رازیانه

Table 7- Mean comparisons of interaction fertilizer vermicompost and intercropping pattern of concentration nutrients of faba bean seed in intercropping with fennel

الگوی کشت Cropping pattern	کود fertilizer	نیتروژن N (%)	فسفر P (%)	پتاسیم K (%)	کلسیم Ca (%)	مس Cu ($mg.kg^{-1}$)
کشت خالص باقلا Sole cropping faba bean	عدم مصرف کود No fertilizer use	2.48 f*	0.19 g	1.70 f	0.78 f	12.78 f
	ورمی‌کمپوست Vermicompost	2.58 f	0.20 gf	1.81 ef	0.84 ef	14 ef
یک ردیف باقلا + یک ردیف رازیانه 1 row fennel+ 1 row faba bean	عدم مصرف کود No fertilizer use	2.85 e	0.22 ef	1.87 f	0.89 ed	15.66 ef
	ورمی‌کمپوست Vermicompost	3.13 cd	0.24 de	2.06 d	0.97 bc	18.33 c
دو ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه 2 rows fennel+ 2 rows faba bean	عدم مصرف کود No fertilizer use	2.89 e	0.25 de	2.09 d	0.92 cd	17.33 cd
	ورمی‌کمپوست Vermicompost	3.32 bc	0.31 b	2.26 c	1.01 b	23.66 b
سه ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه 2 rows fennel+ 3 rows faba bean	عدم مصرف کود No fertilizer use	3.07 de	0.26 cd	2.17 cd	0.93 cd	18.67 c
	ورمی‌کمپوست Vermicompost	3.45 b	0.33 b	2.40 b	1.10 a	26.33 a
چهار ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه 2 rows fennel+ 4 rows faba bean	عدم مصرف کود No fertilizer use	3.40 b	0.31 c	2.23 c	0.95 bd	18.89 c
	ورمی‌کمپوست Vermicompost	4.12 a	0.36 a	2.67 a	1.15 a	22 b

* در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند. مصرف کود ورمی‌کمپوست ۱۰ تن در هکتار است.

* Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's multiple range Test. The application of vermicompost is 10 tons per hectare.

قنبری بنجار (Ghanbari-Bonjar, 2000) از کشت مخلوط باقلا و گندم نتیجه گرفت که باقلا و گندم در کشت مخلوط در استفاده از نیتروژن مکمل هم هستند، چرا که گندم نیتروژن را از خاک به‌دست می‌آورد، در حالی که باقلا بیش‌تر نیتروژن مورد نیاز خود را از راه تثبیت نیتروژن اتمسفری کسب می‌کند. در نتیجه، باعث کاهش رقابت برای نیتروژن غیرآلی می‌شود. این عوامل باعث افزایش جذب نیتروژن در کشت مخلوط می‌شود. سزومیگالسکی و وان آکر (Szumigalski & Van Acker, 2006) بیان داشتند که کشت مخلوط گندم با کلزا (*Brassica napus* L.) و نخود در مقایسه با کشت خالص کارایی مصرف عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن را به‌میزان زیادی افزایش داد. این افزایش نشان می‌دهد که در کشت مخلوط لگوم با غیرلگوم برای جذب عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن رقابت کاهش می‌یابد. سازوکارهای احتمالی انتقال نیتروژن از لگوم به غیرلگوم در کشت مخلوط عبارت از تراوش مستقیم، پوسته‌اندازی گره‌ها و پوسیدگی ریشه‌ها، شستشوی برگی و تجزیه برگ‌های ریخته شده می‌باشد (Marschner, 1995; Ofari & Stern, 1987; Allen & Ebura, 1983)

فسفر دانه: بیشترین درصد فسفر دانه باقلا (۰/۳۶ درصد) در کشت مخلوط چهار ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه در شرایط کاربرد ورمی‌کمپوست به‌دست آمد، امّا کمترین درصد فسفر دانه باقلا (۰/۱۹ درصد) از کشت خالص باقلا در شرایط عدم مصرف کود ورمی‌کمپوست مشاهده شد (جدول ۷). به نظر می‌رسد که ورمی‌کمپوست به‌دلیل داشتن عناصر غذایی کافی و تحریک و افزایش فعالیت ریزموجودات خاکزی امکان دسترسی گیاه به منابع غیر قابل

استفاده از جمله فسفر را فراهم کرده و در جذب و انتقال آن به گیاه نقش چشم‌گیری ایفا می‌کند. از طرفی، تولید اسیدهای آلی توسط باکتری‌های حل‌کننده فسفات موجب اسیدی شدن محیط ریزوسفر شده و در نتیجه، فسفر غیر قابل حل می‌تواند بر اثر جایگزینی یون H^+ با یون‌های کلسیم، در محیط آزاد شود (Hanč et al., 2008). فسفر یک عنصر غذایی غیرمتحرک در خاک است و تنها زمانی جذب می‌شود که ریشه‌های در حال رشد، با مواد آلی و یا غیرآلی که حاوی شکل قابل جذب این عنصر هستند، تماس برقرار کند. گزارش شده است که باقلا از طریق تثبیت نیتروژن می‌تواند H^+ به محیط تراوش کند. اسیدی شدن ریزوسفر حل‌پذیری فسفر را در خاکی با pH بالا افزایش می‌دهد و در نتیجه، جذب فسفر افزایش می‌یابد (Li et al., 2005). ژانگ و لی (Zhang & Li, 2003) نتیجه گرفتند که اثر متقابل ریشه‌های دو گیاه ذرت و لوبیا در کشت مخلوط نقش مهمی در افزایش جذب فسفر دارد. آنان افزایش جذب فسفر به‌وسیله ریشه‌های ذرت در کشت مخلوط آن با لوبیا را به افزایش فراهمی فسفر به‌وسیله ترشحات ریشه‌ای لوبیا نسبت دادند. همچنین ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2012) در کشت مخلوط ذرت با باقلا و گندم (تحت سطوح پایین و بالای کود فسفر) گزارش کردند که میزان فسفر باقلا و گندم نسبت به تک‌کشتی افزایش نشان دادند. فلاح و همکاران (Fallah et al., 2018) در کشت مخلوط سویا و بارشبو نیز نشان دادند که کاربرد کودهای آلی در کشت مخلوط قابلیت جذب نیتروژن و فسفر را افزایش می‌دهند.

پتاسیم دانه: نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین درصد پتاسیم دانه باقلا (۲/۶۷ درصد) از کشت مخلوط چهار ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه در شرایط کاربرد ورمی‌کمپوست و کمترین درصد پتاسیم دانه باقلا (۱/۰۷ درصد) از کشت خالص باقلا در شرایط عدم مصرف کود ورمی‌کمپوست حاصل شد که با کشت خالص باقلا در شرایط مصرف کود ورمی‌کمپوست و کشت مخلوط یک ردیف باقلا + یک ردیف رازیانه در شرایط عدم مصرف کود ورمی‌کمپوست اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۷). اضافه کردن ورمی‌کمپوست در خاک‌ها باعث غنی شدن ریزوسفر با عناصر غذایی ماکرو و میکرو شده و درنتیجه، باعث جبران کمبود مواد غذایی می‌شود. رابطه مثبتی بین جذب عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم وجود دارد. از این رو، می‌توان اظهار داشت که مدیریت صحیح مصرف ورمی‌کمپوست می‌تواند در افزایش جذب عناصر غذایی در واحد سطح نقش مؤثری داشته باشد. حسین‌زاده و همکاران (Hosseinzadeh et al., 2017) بیان کردند که کاربرد ورمی‌کمپوست به‌صورت معنی‌داری غلظت پتاسیم و کلسیم در برگ و ریشه را در گیاه نخود افزایش داد. ژالر (Zaller, 2007) افزایش فعالیت‌های میکروبی، وجود تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی و افزایش جذب عناصر غذایی نظیر پتاسیم در تیمار حاوی ورمی‌کمپوست را به‌عنوان دلایل عمده افزایش غلظت این عنصر در گیاه سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*) در مقایسه با تیمار شاهد بیان کرد.

کلسیم دانه: بیشترین درصد کلسیم دانه باقلا (۱/۱۵ درصد) در کشت مخلوط چهار ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه با کاربرد مصرف ورمی‌کمپوست و کمترین آن (۰/۷۸ درصد) از کشت خالص باقلا در شرایط عدم مصرف کود ورمی‌کمپوست به‌دست آمد و با کشت خالص باقلا در شرایط مصرف ورمی‌کمپوست اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۷). ریشه حبوبات دارای ظرفیت تبادل کاتیونی بالایی می‌باشد. درنتیجه، قدرت رقابت بیشتری در کشت مخلوط برای جذب عناصر دو ظرفیتی کلسیم و منیزیم را دارا می‌باشد. نتایج تحقیق اسکندری و قنبری (Eskandari & Ghanbari, 2011) نشان داد که جذب عناصر غذایی در کشت مخلوط ذرت و لوبیا چشم بلبلی (*Vigna sinensis*) بیشتر از کشت خالص بود. لوبیا چشم بلبلی به‌دلیل ظرفیت تبادل کاتیونی بالای ریشه آن قدرت رقابت بیشتری نسبت به ذرت برای جذب عناصر دو ظرفیتی مثل کلسیم دارد. در حالی که ذرت برای جذب پتاسیم و فسفر قدرت رقابت بیش‌تری داشت که به سیستم گسترده ریشه‌ای آن مرتبط است.

منیزیم دانه: طبق نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین درصد منیزیم (۰/۷۹ درصد) دانه باقلا در کشت مخلوط چهار ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با الگوی کشت سه ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه و الگوی کشت یک ردیف باقلا + یک ردیف رازیانه نشان نداد و کمترین درصد منیزیم دانه (۰/۶۴ درصد) از الگوی کشت خالص باقلا به‌دست آمد (جدول ۸). جذب و استفاده از عناصر غذایی توسط گیاهان زراعی باید تا حد امکان با کارآیی بالا صورت بگیرد. این امر در سیستم‌های کشت مخلوط می‌تواند با اثرات مکملی اجزای کشت مخلوط در جستجوی عناصر غذایی در طول پروفیل خاک به‌دلیل تفاوت در عمق توسعه ریشه، جذب عناصری که در کشت‌های خالص در دسترس نمی‌باشند و یا به‌دلیل تفاوت در طول دوره رشد اجزای کشت مخلوط تحقق

یابد. اسکندری و قنبری (Eskandari & Ghanbari, 2011) بیان کردند جذب منیزیم در کشت مخلوط ذرت و لوبیا چشم بلبلی به‌طور معنی‌داری بیشتر از کشت خالص آنها بود. بیشترین درصد منیزیم (۰/۷۸ درصد) دانه باقلا از مصرف ورمی‌کمپوست و کمترین آن (۰/۶۹ درصد) از عدم مصرف کود حاصل شد (جدول ۹). به‌طوری‌که تیمار ورمی‌کمپوست نسبت به عدم مصرف درصد منیزیم دانه باقلا را ۱۱/۵۳ درصد افزایش داد. ورمی‌کمپوست حاوی مقادیر قابل توجهی از شکل قابل جذب عناصر غذایی مانند فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم می‌باشد (Atiyeh et al., 2001). ورمی‌کمپوست به‌دلیل ساختار متخلخل، ظرفیت نگه‌داری آب بالا، دارا بودن موادی شبیه به هورمون‌ها و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی و همچنین وجود مقادیر بالای عناصر غذایی ماکرو و میکرو باعث افزایش جذب عناصر (کلسیم، منیزیم، آهن، روی، مس، منگنز) می‌شود (Beyk Khurmizi et al., 2012). در کشت مخلوط رازیانه و بادرشبو با لوبیا تحت تأثیر مصرف کود هیومیک اسید مشخص شد که جذب عناصر غذایی نیتروزن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم به‌دلیل اثرات تکمیل و تسهیل‌کنندگی دو گونه افزایش نشان داد (Amani Machiani et al., 2019) که با نتیجه تحقیق حاضر مطابقت داشت.

جدول ۸- مقایسه میانگین‌های غلظت عناصر غذایی دانه باقلا در الگوهای مختلف کشت مخلوط با رازیانه

Table 8- Mean comparisons of concentration nutrients of faba bean seed in different intercropping patterns with fennel

الگوهای کشت Cropping pattern	منیزیم Mg (%)	آهن Fe ($mg.kg^{-1}$)	روی Zn ($mg.kg^{-1}$)	منگنز Mn ($mg.kg^{-1}$)
کشت خالص باقلا Sole cropping faba bean	0.64 c*	106.50 d	35.83 c	29.27 c
یک ردیف باقلا + یک ردیف رازیانه 1 row fennel+ 1 row faba bean	0.75 ab	142 c	45.67 b	32.11 b
دو ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه 2 rows fennel+ 2 rows faba bean	0.73 b	164.33 ab	52.83 a	32.62 b
سه ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه 2 rows fennel+ 3 rows faba bean	0.78 a	167.66 a	54.67 a	35.87 a
چهار ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه 2 rows fennel+ 4 rows faba bean	0.79 a	156 b	44.50 b	36.17 a

* در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند. مصرف کود ورمی‌کمپوست ۱۰ تن در هکتار است.

* Means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's multiple range test. The application of vermicompost is 10 tons per hectare.

جدول ۹- مقایسه میانگین‌های غلظت عناصر دانه باقلا تحت تأثیر مصرف و عدم مصرف کود ورمی‌کمپوست

Table 9- Mean comparisons of concentration nutrients of faba bean seed affected by use and No fertilizer use vermicompost

تیمار کودی Fertilizer treatment	منیزیم Mg (%)	آهن Fe ($mg.kg^{-1}$)	روی Zn ($mg.kg^{-1}$)	منگنز Mn ($mg.kg^{-1}$)
عدم مصرف کود No fertilizer use	0.69 b	136.47 b	41.12 b	32.15 b
ورمی‌کمپوست Vermicompost	0.78 a	158 a	52.27 a	34.66 a

* در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند. مصرف کود ورمی‌کمپوست ۱۰ تن در هکتار است.

* Means in each column followed by similar letter (s) are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's multiple range test. The application of vermicompost is 10 tons per hectare.

مس: نتایج نشان داد که بیشترین میزان جذب عنصر مس (۲۶/۳۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) در دانه باقلا در کشت مخلوط سه ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه در شرایط کاربرد ورمی‌کمپوست و کمترین میزان جذب مس (۱۲/۷۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) از کشت خالص باقلا در شرایط عدم مصرف کود ورمی‌کمپوست حاصل شد (جدول ۷).

الگوی ریشه‌دهی متفاوت گیاهان در کشت مخلوط در جذب عناصر غذایی از خاک با وجود توزیع متفاوت یون‌ها در پروفیل خاک تأثیرگذار است. این موضوع نشان‌دهنده تأثیر باقلا بر میزان جذب مس در کشت مخلوط و در عین حال، تأثیر چشم‌گیر مصرف کود ورمی‌کمپوست در الگوهای مختلف کشت مخلوط بود. ورمی‌کمپوست با تسهیل فعل و انفعالات ریشه در تغذیه خاک‌های فقیر و اگرواکوسیستم‌های کم‌نهاده نقش مهمی در افزایش جذب عناصر غذایی گیاه ایفا می‌کند. محققان در تحقیقی دیگر، بیش‌ترین محتوای مس را از تیمارهای کشت مخلوط گندم + باقلا و کشت مخلوط جو (*Hordeum vulgare*) + نخود به‌دست آوردند (Soleimanpoor et al., 2017).

آهن دانه: نتایج مقایسه‌های میانگین نشان داد که بیشترین میزان جذب آهن (۱۶۷/۶۶ میلی‌گرم در کیلوگرم) از الگوی کشت مخلوط سه ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه به‌دست آمد که اختلاف معنی داری با دو ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه نشان نداد و کمترین میزان جذب آهن (۱۶۰/۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) از الگوی کشت خالص باقلا حاصل شد (جدول ۸). تثبیت نیتروژن توسط ریشه‌های باقلا منجر به آزاد شدن H^+ به محیط ریزوسفر می‌شود. اسیدی شدن محیط ریشه، جذب آهن در خاک‌های قلیایی را بالا می‌برد و متعاقباً جذب آهن افزایش می‌یابد. بیش‌ترین محتوای آهن شاخساره علف-های هرز در تیمار کشت مخلوط جو + نخود به‌دست آمد (Soleimanpoor et al., 2017).

نتایج مقایسه میانگین‌های جذب عناصر باقلا تحت تأثیر مصرف و عدم مصرف کود ورمی‌کمپوست نشان داد که بیشترین (۱۵۸ میلی-گرم در کیلوگرم) مقدار آهن جذب شده توسط دانه باقلا از مصرف ورمی‌کمپوست و کمترین (۱۳۶/۴۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) مقدار آن تحت شرایط عدم مصرف کود ورمی‌کمپوست به‌دست آمد (جدول ۹). به‌طوری‌که تیمار ورمی‌کمپوست نسبت به عدم مصرف میزان جذب آهن دانه باقلا را ۱۱/۵۳ درصد افزایش داد. با مصرف کودهای آلی غلظت ترکیبات کیلیت‌کننده، اسیدهای آلی و ترکیبات فنلی افزایش یافته و pH خاک کاهش می‌یابد که سبب افزایش فراهمی آهن در خاک می‌شود. همچنین، معدنی شدن مواد آلی و آزادسازی آهن موجود در آن‌ها سبب افزایش آهن قابل استفاده گیاه در خاک می‌شود (Havlin et al., 1999). نتایج تحقیق داوران حق و همکاران (Davaran Hagh et al., 2016) نشان داد که مصرف ورمی‌کمپوست موجب افزایش ۱۲ درصدی میزان آهن ذرت نسبت به شاهد شد. بر اساس نتایج تحقیق نجفی و مصطفیی (Najafi & Mostafae, 2015) بیشترین غلظت آهن در ذرت در تیمارهای دارای ۶۰ تن کود دامی در هکتار در کشت مخلوط ذرت با لوبیا و گاودانه بود. یولثو و همکاران (Yolcu et al., 2010) نتیجه گرفتند که مصرف کود گاوی در کشت مخلوط جو و ماشک (*Vicia villosa*) سبب افزایش غلظت آهن در هر دو گیاه شد.

روی دانه: بیشترین مقدار جذب عنصر روی (۵۴/۶۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) از الگوی کشت مخلوط سه ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه به‌دست آمد و با الگوی کشت دو ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه اختلاف معنی‌داری نشان نداد و کمترین (۳۵/۸۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) مقدار روی جذب شده توسط دانه باقلا از کشت خالص باقلا حاصل شد (جدول ۸). طول دوره‌ی رشد، سرعت رشد گیاه زراعی، تراکم کاشت، تفاوت در عمق، توسعه و تراکم ریشه از جمله عواملی هستند که بر میزان رقابت بین اجزای کشت مخلوط در مصرف عناصر غذایی تأثیر می‌گذارند و به‌دلیل وجود تنوع در نوع گیاهان و تفاوت در نیازهای غذایی رقابت کاهش یافته و دسترسی به عناصر غذایی افزایش می‌یابد. طبق نتایج به‌دست آمده از تحقیق سلیمان‌پور و همکاران (Soleimanpoor et al., 2017) بیش‌ترین محتوای روی در تیمار کشت مخلوط گندم + باقلا در دانه باقلا بود.

بیشترین مقدار جذب عنصر روی (۵۲/۲۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) از مصرف ورمی‌کمپوست و کمترین (۴۱/۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) مقدار روی جذب شده نیز تحت تأثیر عدم مصرف کود ورمی‌کمپوست به-دست آمد (جدول ۹). به‌طوری‌که تیمار ورمی‌کمپوست نسبت به عدم مصرف میزان جذب روی را ۱۳/۶۲ درصد افزایش داد. ورمی‌کمپوست با دارا بودن سطوح زیاد برای جذب آب و عناصر غذایی، در جهت فراهم کردن عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، بهبود رشد و عملکرد گیاهان مؤثر می‌باشد و با اضافه کردن این کود به خاک فرم قابل جذب عناصر غذایی و همچنین تشکیل کمپلکس‌های آلی قابل جذب و قابلیت جذب آن‌ها توسط گیاه را افزایش می‌دهد (Ahmad Abadi et al., 2012). محققان دیگری نشان دادند که الگوی کشت مخلوط شنبلیله، سیاهدانه (۲:۱) با تغذیه تلفیقی در شرایط کاربرد کود آلی به‌ترتیب دارای بالاترین میزان جذب عنصر آهن و روی بود (Rostaei & Fallah, 2015). بنابراین، می‌توان بیان داشت کاربرد کشت مخلوط همراه با تیمار تغذیه آلی راهکار مناسبی برای افزایش کارایی

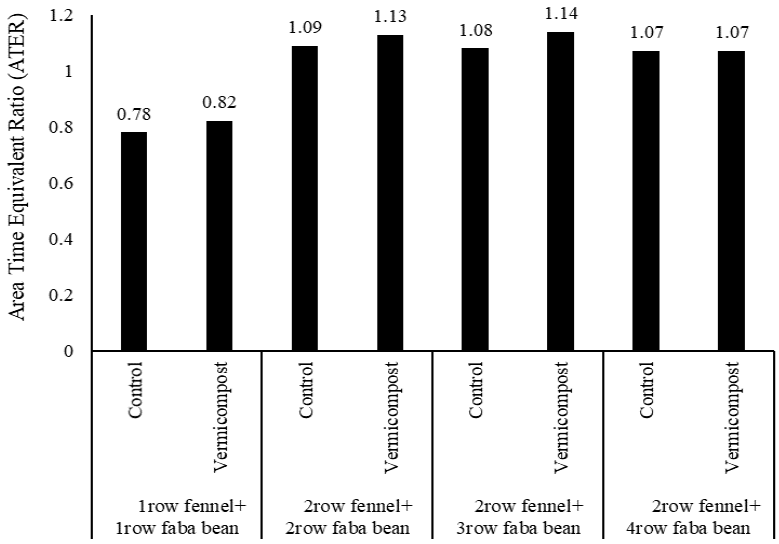
جذب برخی عنصرهای ریزمغذی در خاک‌ها است.

منگنز دانه: براساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین (۳۶/۱۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) مقدار عنصر منگنز جذب شده توسط دانه باقلا در الگوی کشت مخلوط چهار ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه حاصل شد که با الگوی کشت سه ردیف باقلا + دو ردیف رازیانه اختلاف معنی‌داری نشان نداد و کمترین (۲۹/۲۷ میلی‌گرم در کیلوگرم) مقدار عنصر منگنز جذب شده توسط دانه باقلا از الگوی کشت خالص باقلا مشاهده شد (جدول ۸). ویسانی و همکاران (Weisanny et al., 2016) در کشت مخلوط شوید (*Anethun graveolens* L.) و لوبیا گزارش کردند که به‌دلیل تفاوت در حجم توسعه ریشه، گیاهان برای جذب عناصر غذایی در کشت مخلوط به‌صورت مکمل عمل می‌کنند و لذا، امکان جذب بیش‌تر عناصر غذایی میکرو از جمله منگنز را فراهم می‌آورند. بر اساس نتایج تحقیق سلیمان‌پور و همکاران (Soleimanpoor et al., 2017) بیش‌ترین محتوای آهن، روی، مس و منگنز شاخساره لگوم‌ها به‌ترتیب در تیمارهای کشت مخلوط گندم + باقلا (۶۷۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم عنصر منگنز، ۸۴ درصد افزایش نسبت به کشت خالص باقلا با علف هرز)، کشت مخلوط جو + نخود (۲۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم عنصر منگنز، ۱۴ درصد افزایش نسبت به کشت خالص نخود با علف‌هرز)، کشت مخلوط ترتیکاله + باقلا (۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم عنصر منگنز، ۱۴ درصد افزایش نسبت به کشت خالص باقلا با علف هرز) و کشت خالص باقلا بدون علف هرز (۳۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم عنصر منگنز، ۷۳ درصد افزایش نسبت به کشت خالص باقلا با علف هرز) به‌دست آمد.

نتایج مقایسه میانگین‌های جذب عناصر باقلا تحت تأثیر مصرف و عدم مصرف کود ورمی‌کمپوست نشان داد که بیشترین (۳۴/۶۶ میلی‌گرم در کیلوگرم) مقدار عنصر منگنز جذب شده توسط دانه باقلا در شرایط مصرف ورمی‌کمپوست به‌دست آمد و کمترین (۳۲/۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم) مقدار عنصر منگنز جذب شده به تیمار عدم مصرف ورمی‌کمپوست تعلق گرفت (جدول ۹). به‌طوری‌که تیمار ورمی‌کمپوست نسبت به عدم مصرف میزان جذب منگنز را ۲۱/۳۳ درصد افزایش داد. کاربرد کودهای آلی به‌دلیل انحلال رسوبات منگنز (کربنات‌ها، فسفات و هیدروکسیدها) توسط فعالیت میکروبی و به‌دنبال آن تعدیل pH، منگنز قابل دسترس و سایر عناصر ریزمغذی افزایش می‌یابد. رسولی و مفتون (Rasouli & Maftoun, 2010) نتیجه گرفتند که غلظت فسفر، پتاسیم، آهن و منگنز گندم در خاک تیمار شده با هر یک از مواد آلی (کمپوست و کود دامی) بیشتر از شاهد است، و دلیل آن را افزایش کربن آلی، نیتروژن کل، فسفر، آهن، روی، مس و منگنز قابل استفاده در خاک تیمار شده با دو ماده آلی ذکر کردند.

نسبت برابری سطح زیر کشت و زمان: در صورتی که زمان تصرف زمین به‌وسیله گونه‌های شرکت‌کننده در کشت مخلوط متفاوت باشد، نسبت برابری سطح زیر کشت و زمان ارزیابی بهتری از بهره‌وری زمین و زمان را در کشت مخلوط نشان می‌دهد. نسبت برابری سطح زیر کشت و زمان محاسبه شده نشان داد که در بین الگوهای مختلف کشت بیشترین و کمترین نسبت برابری سطح زیر کشت و زمان به‌ترتیب از کشت مخلوط دو ردیف رازیانه + سه ردیف باقلا (۱/۱۴) در شرایط کاربرد کود ورمی‌کمپوست و کشت مخلوط یک ردیف باقلا + یک ردیف رازیانه (۰/۷۸) در شرایط عدم کاربرد کود ورمی‌کمپوست حاصل شد (شکل ۷). با توجه به اینکه نسبت برابری سطح زیر کشت و زمان، در تمامی تیمارهای کشت مخلوط به جز الگوی کشت ۱:۱ بالاتر از یک به‌دست آمد که نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی در این الگوهای کشت می‌باشد. بالا بودن نسبت برابری سطح زیر کشت و زمان از یک در کشت مخلوط را می‌توان به سودمندی ناشی از عناصر غذایی موجود در کود ورمی‌کمپوست نسبت داد. همچنین، ATER بیشتر از یک می‌تواند ناشی از آرایش صحیح و استفاده مکمل از مواد مغذی و منابع آب و نور به‌وسیله اجزای کشت مخلوط و نیاز به ورودی‌های خارجی کمتر بیان نمود که این شرایط منجر به افزایش رشد و نمو دو گیاه رازیانه و باقلا شده است. سرعت رشد گیاه زراعی، تراکم کاشت، تفاوت در عمق توسعه و تراکم ریشه از عواملی هستند که بر میزان رقابت بین اجزای کشت مخلوط در مصرف عناصر غذایی تأثیر می‌گذارند. افزایش در بهره‌وری از عناصر غذایی در کشت مخلوط بزرک و باقلا (*Vicia faba* L.) نسبت به کشت خالص تحت تأثیر کاربرد تلفیقی ریزو باکتری‌های محرک رشد و قارچ میکوریزا توسط علیزاده و همکاران (Alizadeh et al., 2020) نیز گزارش شده است. همچنین، ایجاد حالت تکمیل و تسهیل‌کنندگی در تسخیر منابع از طریق ساختار ریشه و فنولوژی، کارآیی مصرف منابع برای دستیابی به ATER بالاتر توسط رحمتی و همکاران (Rahmatiet al., 2020) در کشت مخلوط سیاهدانه و

شنبلیله، باقری شیروان و همکاران (Bagheri Shirvan et al., 2014) در کشت مخلوط سویا (*Glycine max* L.) با دو گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) و گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) و حسن‌زاده اول و همکاران (Hassanzadeh-Avalet et al., 2014) درکشت مخلوط مرزه تابستانه (*Satureja hortensis* L.) و شبدر ایرانی (*Trifolium resupinatum* L.) نیز گزارش شده است.



شکل ۵- نسبت برابری سطح زیر کشت و زمان برای عملکرد دانه در الگوهای مختلف کشت مخلوط رازیانه و باقلا تحت تأثیر کاربرد ورمی‌کمپوست

Fig. 5– Area time equivalent ratio (ATER) for seed yields of fennel and faba bean in different intercropping patterns affected by vermicompost application

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش حاضر نشان داد که عملکرد دانه هر دو گیاه رازیانه و باقلا تحت تأثیر الگوهای مختلف کشت و ورمی‌کمپوست قرار گرفت. به‌طور کلی، مشخص گردید که استفاده از کود ورمی‌کمپوست در کشت مخلوط، سبب افزایش جذب عناصر غذایی در رازیانه و باقلا شد. اثر متقابل الگوی کشت و کود ورمی‌کمپوست بر مقدار عناصر غذایی ماکرو و میکرو هر دو گیاه معنی‌دار بود و تیمارهای کشت مخلوط همراه با مصرف کود ورمی‌کمپوست، منجر به افزایش عناصر غذایی قابل دسترس نسبت به شاهد گردید. بالاترین نسبت برابری سطح زیر کشت و زمان (۱/۱۴) نیز در شرایط کاربرد کود آلی ورمی‌کمپوست در کشت مخلوط دو ردیف رازیانه + سه ردیف باقلا حاصل شد که نشان‌دهنده افزایش در بهره‌وری در جذب و مصرف منابع نسبت به کشت خالص هر دو گیاه بود. با توجه به نسبت برابری سطح زیر کشت و زمان محاسبه شده به نظر می‌رسد که الگوی کشت دو ردیف رازیانه + سه ردیف باقلا در شرایط کاربرد کود ورمی‌کمپوست می‌تواند به‌عنوان تیمار برتر در بهره‌وری استفاده از زمین نسبت به کشت خالص دو گونه در راستای اهداف کشاورزی پایدار معرفی شود.

References

Abbaszadeh, B., and Zakerian, F., 2016. Elements uptake in balm under the effect of mycorrhiza and piriformospora indica and vermicompost. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 1(32): 47-56. (In Persian with English Summary)

Ahmad Abadi, Z., Ghajar Sepanlou, M., and Rahimi Alashti, S., 2012. Effect of vermicompost on physical and chemical properties of soil. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources 15(58): 125-137. (In Persian with English Summary)

Alizadeh, K., Rezaei-Chiyaneh, E., Amirnia, R., and Barin, M., 2020. Combined application of PGPR and mycorrhizal fungi on seed yield, macronutrients uptake and soil biological index in intercropping linseed with faba bean. Journal of Agricultural Science and Sustainable 1(30): 19-40. (In Persian with English Summary)

Allen, J.R., and Ebura, P.K., 1983. Yield of corn, cowpea, and soybean under different intercropping systems. Agronomy Journal 75: 1005-1009.

Amani Machiani, M., Javanmard, A., Morshedloo, M.R., and Maggi, F., 2018. Evaluation of yield, essential oil content, and compositions of peppermint intercropped with faba bean. Journal of Cleaner Production 171: 529–537.

Amani Machiani, M., Rezaei-Chiyaneh, E., Javanmard, A., Maggi, F., and Morshedloo, M.R., 2019. Evaluation of common bean seed yield and quali-quantitative production of the essential oils from fennel and dragonhead in intercropping system under humic acid application. Journal of Cleaner Production 235: 112-122.

Arancon, N., Edwards, C., Bierman, P., Welch, C., and Metzger, J.D., 2004. Influences of vermicomposts on field strawberries: 1. Effects on growth and yields. Bioresource Technology 93(2): 145-153.

Asadi, S., Rezaei-Chiyaneh, E., and Amirnia, R., 2019. Effect of planting pattern and fertilizer source on agronomic characteristics of linseed and chickpea in intercroppng under rainfed conditions**.** Iranian Journal of Crop Sciences 21(1): 16-30. (In Persian with English Summary)

Asgharipur, M., and Rafiei, M., 2010. Intercropping of isabgol and lentil as influenced by drought stress. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences 9(3): 62-69.

Atiyeh, R., Edwards, M., Subler, C., and Metzger, J.D., 2001. Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium effects on physicochemical properties and plant growth. Bioresource Technology 78: 11-20.

Bagheri Shirvan, M., Zaefarian, F., Bicharanlou, B., and Asadi, G.A., 4014. Evaluation of replacement intercropping of soybean (*Glycine max* L.) with sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) and borage (*Borago officinalis* L.) under weed infestation. Journal of Agroecology 6(1): 70-83. (In Persian with English Summary)

Beyk Khurmizi, A., Ganjeali, A., Abrishamchi, P., and Parsa, M., 2012. Effect of vermicompost on photosynthesis and transpiration rate and water use efficiency of bean under salinity stress. Journal of Agroecology 4(3): 223-234. (In Persian with English Summary)

Bigonah, R., Rezvani Moghaddam, P., and Jahan, M., 2014. Effects of intercropping on biological yield, percentage of nitrogen and morphological characteristics of coriander and fenugreek. Iranian Journal of Field Crops Research 3 (12): 369-377. (In Persian with English Summary)

Darzi, M.T., Ghalavand, A., and Rejali, F., 2009. The effects of biofertilizers application on N, P, K assimilation and seed yield in fennel**.** Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 1(25): 1-19. (In Persian with English Summary)

Davaran Hagh, E., Mirshekari, B., Ardakani, M., Farahvash, F., and Rejali, F., 2016. Evaluating maize yield and the quality of response to vermicompost, in thiobacillus and foliar application of Fe and Zn. Journal of Agroecology 8(3): 359-372. (In Persian with English Summary)

Eskandari, H., and Ghanbari, A., 2011. Evaluation of competition and complementarity of corn and cowpea intercropping for nutrient consumption. Agricultural Scienc and Sustainable Production 2(21): 67-75. (In Persian with English Summary)

Eslami Khalili, F., Pirdashti, H., Bahmanyar, M.A., and Taghavi Ghsemkheili, F., 2014. Effect of organic and chemical fertilizer on soil properties and nutrient concentration in pot marigold. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 3(30): 476-485. (In Persian with English Summary)

Fallah, S., Rostaei, M., Lorigooini, Z., and Abbasi Surki, A., 2018., Chemical compositions of essential oil and antioxidant activity of dragonhead in sole crop and dragonhead- soybean intercropping system under organic manure and chemical fertilizers. Industrial Crops and Products 115: 158–165.

Ghanbari-Bonjar, H., 2000. Intercropped wheat and bean as a low-input forage. Ph.D. Dissertation. Wye College. University of London.

Ghosh, P.K., Mohanty, M., Bandyopadhyay, K.K., Painuli, D.K., and Misra A.K., 2005. Growth, competition yield advantage and economics in soyebean/pigeonpea intercropping system in semi-arid tropics of India I. Effect of Subsoiling. Crop Science 96: 80-89.

Hanč, A., Tlustoš, P., Száková, J., and Balík, J., 2008. The influence of organic fertilizers application on phosphorus and potassium bioavailability. Plant Soil and Environment 54(6): 247–254.

Hassanzadeh-Aval, F., Mirhashemi, S. M., Kazemi, M., and Banayan-Aval, M., 2014. Evaluation of advantage, competition and radiation interception and use efficiency of summer savory (*Satureja hortensis* L.) and Persian

clover (*Trifolium resupinatum* L.) intercropping in Mashhad region in Iran. Iranian Journal of Crop Sciences 16(3):191-208. (In Persian with English Summary)

Havlin, J.L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L., and Nelson, W.L., 1999. Soil fertility and fertilizers: An Introduction to Nutrient Management. Sixth Ed. Prentice Hall, New Jersey, USA.

Hosseinpour, R., and Ghajar Sepanloy, M., 2012. Evaluating the intergrated effects of municipal waste compost and chemical fertilizers on micronutrient availability in soil and lettuce. Journal of Water and Soil Conservation 19(3): 123-140. (In Persian with English Summary)

Hosseinzadeh, S.R., Amiri, H., and Ismaili, A., 2017. Effect of vermicompost levels on morphologic traits and nutrient concentration of chickpea under water stress. Environmental Stresses in Crop Sciences 4(10): 531-545. (In Persian with English Summary)

Inal, A., Gunes, A., Zhang, F., and Cakmak, I., 2007. Peanut/ maize intercropping induced changes in rhizosphere and nutrient concentrations in shoots. Plant Physiology and Biochemistry 20: 1-7.

Khalaj, H., Labbafi, H.A. MR., Hasan Abadi, T., Shaghaghi, J., and Hajiaghaee, R., 2018. A review on the botanical, ecological, agronomical, and pharmacological properties of the fennel. Journal Medicinal Plants 1(69): 1-15. (In Persian with English Summary)

Khorramdel, S., Siahmargue, A., and Mahmoodi, G., 2016. Effect of replacement and additive intercropping series of ajowan with bean on yield and yield components. Electronic Journal of Crop Production 1(9): 1-24. (In Persian with English Summary)

Koocheki, A., Shabahang, J., Khorramdel, S., and Ghafouri, A., 2012. Row intercropping of borage with bean on possible evaluating of the best strip width and assessing of its ecological characteristics. Journal of Agroecology 4: 1-11. (In Persian with English Summary)

Koocheki, A., Zarghani, H., and Norooziyan, A., 2016. Comparison of yield and yield components of sunflower, sesame, and red bean under different intercropping arrangements. Iranian Journal of Field Crops Research 2(14): 226-243. (In Persian with English Summary)

Li, W., Li, L., Sun, J., Guo, T., Zhang, F., Bao, X., Peng, A., and Tang, C., 2005. Effects of intercropping and nitrogen application on nitrate present in the profile of an orthicanthrosol in northwest china. Agriculture Ecosystem and Environment 105: 483-491.

Mafakheri, A., Siosemardeh, A.B., Bahramnejad, P.C., Struik, E., and Sohrabi, B., 2010. Effect of drought stress on yield, proline, and chlorophyll content in three chickpea cultivars. Australian Journal of Crop Science 4(8): 580–585.

Majnoon Hosseini, N., and Davazdahemami, S., 2007. Cultivation and Production of Certain Herbs and Spices. University of Tehran Press, Iran. 300 pp. (In Persian)

Mardani, F., and Balouchi, H., 2015. Effect of intercropping on the yield and some quantitative and qualitative traits of fenugreek and anise. Agricultural Scienc and Sustainable Production 2(25): 1-16. (In Persian with English Summary)

Marschner, H., 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Second Ed. Academic Press, USA. pp. 248.

Mozaffarian, V., 2013. Identification of Medicinal and Aromatic Plants of Iran. Farhang Moaser Press. 1350 pp. (In Persian)

Najafi, N., and Mostafae, M., 2015. Improvement of corn plant nutrition by farmyard manure application and intercropping with bean and bitter vetch in a calcareous soil. Journal of Soil Management and Sustainable Production 5(1): 1-22. (In Persian with English Summary)

Najafi, N., Mostafaei, M., Dabbagh Mohammadi Nasab, A., and Oustan, S., 2013**.** Effect of intercropping and farmyard manure on the quantity and quality of corn, bean, and bitter vetch in a calcareous soil. Journal of Sustainable Agriculture and Production Science 23(1): 99-116. (In Persian with English Summary)

Najafi, N., Mostafaei, M., Dabbagh Mohammadi Nasab, A., and Oustan, S., 2014. Effect of farmyard manure and intercropping of corn with bitter vetch on the bitter vetch seed yield and nutrients contents and concentrations. 1st International and 13th Iranian crop Science Congress 3rd Iranian Seed science and Technology Conference, pp. 1-4. (In Persian with English Summary)

Nelson, D.W., Sommers, L.E., 1980. Total nitrogen analysis for soil and plant tissues. Journal - Association of Official Analytical Chemists 63: 770-778.

Ofari, F., and Stern, W.R., 1987. Cereal-legume intercropping system. Advances in Agronomy 41: 41-90.

Pakgohar, N., and Ghanbari, A., 2014. Evaluation of competition and nutrient consumption of nutrifid millet and green pea in intercropping. Journal of Crops Improvement 4(15): 137-150. (In Persian with English Summary)

Parsa, M., and Bagheri, A., 2008. Pulses. Mashhad Jadah Daneshghahi Press, Iran. 522 p. (In Persian)

Prabha, M.L., Jayraaj, I.A., Jayraaj, R., and Rao, D.S., 2007. Effective of vermicompost on growth parameters of selected vegetable and medicinal plants. Asian Journal of Microbiology, Biotechnology, and Environmental

Sciences 9: 321-326.
Rahmati, E., Khalesro, S. and Heidari, G., 2020. Improving quantitative and qualitative yield of black cumin (*Nigella sativa* L.) in intercropping with fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). Journal of Agroecology 11(4): 1261-1273. (In Persian with English Summary)
Raja Sekar, K., and Karmegan, N., 2010. Earthworm casts as an alternate carrier material for biofertilizers assessment of endurance and viability of *Azotobacter chroococcum*, *Bacillus megaterium* and *Rhizobium ieguminosarum*. Scientia Horticulturae 124: 286-289.
Ranjbar, F., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M., 2016. Effect of intercropping patterns of fennel, sesame, and bean on growth, qualitative and quantitative characters, and yield components. Iranian Journal of Horticultural Science 3(30): 406-416. (In Persian with English Summary)
Rasouli, F., and Maftoun, M., 2010. Residual effects of two organic matters with or without nitrogen on growth and chemical composition of wheat and some soil chemical properties. Journal of Water and Soil 2(24): 262-273. (In Persian with English Summary)
Rejaei, M., Dahmardeh, M., Khammari, I., and Keshtegar, B., 2018. The effect of planting pattern and vermicompost on the changes in soil nutrients and use of environmental resources in intercropping of corn, peanut and borage. Journal of Agroecology 2(10): 547-564. (In Persian with English Summary)
Rezaei–Chiyaneh, E., Amirnia, R., Amani Machiani, M., Javanmard, A., Maggi, F., and Morshedloo, M.R., 2020. Intercropping fennel with common bean as affected by PGPR inoculation: A strategy for improving yield, essential oil, and fatty acid composition. Scientia Horticulturae 261: 108951.
Rezaei-Chiyaneh, E., Amirnia, R., Satar Fotohi Chiyaneh, S., Maggi, F., Barin, M., Razavi, S.B., 2021. Improvement of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) yield quality through a coupled intercropping system and vermicompost application along with maintenance of soil microbial activity. Land degradation & developmen 32(9): 2679–2874.
Rezaei-Chiyaneh, E., and Dabbagh Mohammadi Nasab, A., 2014. Evaluation of integrated application of biofertilizers on quantitative and qualitative yield of ajowan in strip intercropping with of fenugreek. Journal of Agroecology 3(6): 582-594. (In Persian with English Summary)
Sakhavi, S., Amini, R., Shakiba, M.R., and Dabbagh Mohammadi Nasab, A., 2016. Advantage of faba bean and cumin intercropping under organic, biological, and chemical fertilizer treatments. Agricultural Scienc and Sustainable Production 4(26): 17-32. (In Persian with English Summary)
Saydi, Z., Fateh, E., and Aynehband, A., 2017. Effect of different sources of nitrogen and organic fertilizers on yield and yield components of ajowan. Journal of Agroecology 9(1): 115-128. (In Persian with English Summary)
Seyyedi, S.M., Khajeh-Hosseini, M., Rezvani Moghaddam, P., and Shahandeh, H., 2015. Relation between the increasing soluble phosphorus and nitrogen uptake and its effects on phosphorus harvest index of black seed. Iranian Journal of Field Crop Science 1(46): 25-36. (In Persian with English Summary)
Soleimanpoor, L., Naderi, R., and Najafi Ghiri, M., 2017. Evaluation of metal micronutrients uptake in cereal-legume intercropping. Journal of Crops Improvement 4(18): 1017-1031. (In Persian with English Summary)
Sori, S., Amirnia, R., Rezaei-Chiyaneh, E., and Sheikh, F., 2020. Evaluation of yield and yield components of different faba bean (*Vicia faba* L.) varieties in intercropping with triticale (*Tritico secale*). Journal of Agroecology 12(1): 143-159. (In Persian with English Summary)
Szumigalski, A.R., and Van Acker, R.C., 2006. Nitrogen yield and land use efficiency in annual sole crops and intercrops. Agronomy Journal 98: 1030-1040.
Tandon, H.L.S., Cescas, M.P., Tyner, E.H., 1968. An acid-free vanadateemolybdate reagent for the determination of total phosphorus in soils. Soil Science Society of America Journal 32: 48-51.
Timsina, J., 2018. Can organic sources of nutrients increase crop yields to meet global food demand? Agronomy 8(10): 1-20.
Vafadar-Yengeje, L., Amini, R., and Dabbagh Mohammadi Nasab, A., 2019. Chemical compositions and yield of essential oil of Moldavian balm in intercropping with faba bean under different fertilizers application. Journal of Cleaner Production 239: 118033.
Vafadar-Yengeje, L., Amini, R., and Dabbagh mohammdi Nasab, A., 2018. Yield and yield components of faba bean in intercropping with moldavian balm under organic and chemical fertilizers. Agricultural Scienc and Sustainable Production 4(27): 121-129. (In Persian with English Summary)
Weisanny, W., Raei, Y., Zehtab-Salmasi, S., and Sohrabi, Y., 2016. Effect of arbuscular mycorrhiza fungi on yield and yield components of common bean and dill in mono and intercropping system. Agricultural Scienc and Sustainable Production 3(26): 1-19. (In Persian with English Summary)
Yolcu, H., Gunes, A., Dasci, M., Turan, M., and Serin, Y., 2010. The effects of solid, liquid, and combined cattle manure applications on the yield, quality and mineral contents of common vetch and barley intercropping mixture.

Journal Ekoloji 19: 71-81.
Zaller, J.G., 2007. Vermicompost as a substitute for peat in potting media effects on germination, biomass allocation, yields and fruit quality of three tomato varieties. Scientia Horticulturae 112: 191-199.
Zhang, F.S., and Li, L., 2003. Using competitive and facilitative interaction in intercropping systems enhances crop productivity and nutrient- use efficiency. Plant and Soil 248: 305-312.
Zhang, Y., Chen, F., Li, L., Chen, Y., Liu, B., Zhou, Y., Yuan, L., Zhang, F., and MI, G., 2012. The role of maize root size in phosphorus uptake and productivity of maize/faba bean and maize/wheat intercropping systems. China Life Science 11: 993-1001.

Journal of Agroecology
Vol. 13, No.3, Fall 2021, p. 423-448

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۳، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰، ص ۴۴۸-۴۲۳

Effect of Vermicompost Application on Nutrient Uptake and Seed Yield of Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) in Intercropping Patterns with Faba Bean (*Vicia faba* L.)

H. Mohammadi[1] and E. Rezaei-Chiyaneh[2*]
Submitted: 08-05-2020
Accepted: 20-06-2020

Mohammadii, H., and Rezaei-Chiyaneh, E., 2021. Effect of vermicompost application on nutrient uptake and seed yield of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) in intercropping patterns with faba bean (*Vicia faba* L.). Journal of Agroecology 13(3):423-448.

Introduction

Application of organic fertilizer is a major approach to managing soil fertility and plant nutrition which can alleviate chemical contaminations, preserve soil biodiversity and the quantitative and qualitative yield of crops expected to be increased in sustainable agricultural systems. Consequently, demand for organic products has increased due to health and sustainable environment consideration, particularly for medicinal products. Intercropping is the cropping system of growing two or more crops simultaneously in the same field and is a sustainable method for increasing crop production compared with sole crop. The main objective of the study was to determine the effect of vermicompost and intercropping patterns on seed yield and macro and micronutrients uptake of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) and faba bean (*Vicia faba* L.).

Materials and Methods

In order to compare the different intercropping patterns of fennel and faba bean under the application of vermicompost fertilizer, a field experiment was conducted as factorial based on a randomized complete block design with three replications at the Research Farm of the Faculty of Agriculture, University of Urmia, Iran, during the growing season of 2018. The first factor consisted of six cropping patterns including sole cropping of fennel and faba bean, one row of fennel+ one row of faba bean, two rows of fennel+ two rows of faba bean, three rows of faba bean+ two rows of fennel, four rows of faba bean+ two rows of fennel) and the second factor included the non-application and application of vermicompost (10 t ha^{-1}).

Plant samples were digested according to Jones and Case (1990) procedure. Seeds of faba bean and fennel were analyzed for macro- and micronutrients. In addition, Area Time Equivalent Ratio (ATER) was calculated to determine the advantages of intercropping. The analysis of variance was performed using SAS 9.4 software. Means were compared using Duncan's test at the 5% probability level.

Results and Discussion

The results showed that the effect of cropping pattern on all measured traits was significant. The results revealed that the seed yield of fennel and faba bean increased following the application of vermicompost fertilizer. Moreover, concerning the effect of cropping patterns, the highest seed yield of fennel (2568.33 $kg.ha^{-1}$) and faba bean (2851.67 $kg.ha^{-1}$) were obtained in the sole cropping of these two plants. The higher production in fennel and faba bean sole cropping may be due to the less disturbance in the habitat in homogeneous environment under sole cropping systems. The highest amounts of N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, and Mn were

1-Graduate Student of Agronomy, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia.
2- Associate professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia
(*- Corresponding Author Email: e.rezaeichiyaneh@urmia.ac.ir)
DOI:10.22067/jag.v13i3.86789

obtained in the treatments of intercropping and vermicompost application. The higher concentrations of nutrients in intercropping pattern could be explained by increasing root exudation and also better use of available resources that increased the accessibility of nutrients for component plants. The highest ATER (1.14) was obtained in the three rows of faba bean+ two rows of fennel intercropping system fertilized with vermicompost. According to the ATER, it seems that three rows of faba bean+ two rows of fennel under the application of vermicompost was suitable for increasing productivity and making the best usage of environmental resources in order to achieve an optimal production, decrease costs and dependence on external inputs, and reducing pollution and environmental pressures on sustainable agricultural systems.

Conclusions

In general, the results of this experiment showed that the faba bean and fennel yield were influenced by different intercropping patterns and vermicompost. The highest seed yield for both plants (faba bean and fennel) were obtained in sole cropping. In the present study, the application of vermicompost could improve the yield of faba bean and fennel and nutrient uptake. It seems that the use of vermicompost in intercropping is one of the suitable strategies for achieving optimal yield with minimum inputs, which in the long term can reduce the need of chemical inputs for cropping systems.

Keywords: Area time equivalent ratio, Microelements, Nitrogen, Organic fertilizers, Sustainable agricultures