Investigating the Effect of Chicken Manure and Potassium Sulfate on Yield and Biochemical Traits of Fenugreek Medicinal Plant

Mohammad Hossein Aminifard[1*], Sajjad Nadafan[2], Hassan Bayat[3], Mehdi Jahani[4]

Introduction

The annual herb *Trigonella foenum-graecum* L. (Fabaceae) is cultivated worldwide as a semi-arid crop. It is commonly known as Fenugreek and used as both a spice and medicinal plant. Fenugreek is used to treat many ailments due to the presence of various bioactive compounds, like apigenin, luteolin, orientin, quercetin, vitexin, isovitexin, saponins, amino acids, phenols, alkaloids, etc.

The integrated use of chemical fertilizers along with organic fertilizers is a sustainable approach for the efficient use of nutrients, which increases the efficiency of chemical fertilizers, improves the physical properties of the soil, and reduces the loss of nutrients. Chicken manure is one of the types of animal manure and a source of organic matter to strengthen all types of soil. In addition to having nutrients, it is one of the cheap fertilizers compared to common fertilizers in the production of crops, and it is richer in nitrogen than other animal fertilizers. Potassium also plays a major role in the growth and development of plants. Also, this element has a physiological role in plant health and resistance to biotic and abiotic stresses.

Materials and Methods

To investigate the effect of chicken manure and potassium sulfate on yield and biochemical traits of the fenugreek medicinal plant, factorial research was conducted in the form of randomized complete block design in three replications in the crop year 2021-2022. Experimental treatments included chicken manure at three levels (0, 1000, and 2000 kg/ha) and potassium sulfate at four levels (0, 1.5, 3, and 5 per thousand). To determine the seed yield after full ripening, the seeds were collected from one plant in each plot, weighed, and recorded. Arnon's method was used to measure the pigments in the leaves at the full flowering stage of the plant. To measure the amount of total phenolic compounds in the leaf using the Folin Cicalto method, antioxidant using 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) method, total sugar using anthrone method, total

flavonoid using aluminum chloride reagent method was used in the full flowering stage of the plant.

Results and Discussion

In the yield and biochemical traits of this experiment, it was observed that chicken manure caused a significant increase in yield and biochemical traits in all traits except the amount of sugar and antioxidant. The amount of antioxidant activity decreased with increasing levels of chicken manure and soluble sugar was not affected by this manure. Treatment of 2000 $kg.h^{-1}$ chicken manure has the highest phenol with 10.793 mg/g dry weight, flavonoid with 4.475 mg/g dry weight, Chlorophyll a with 2.591 mg/g of fresh weight, Chlorophyll b with 3.055 mg/g of fresh weight, and seed yield with 1185.8 kg/ha. In the effect of Soluptas on biochemical traits, it was observed that all the traits, except phenol and antioxidant, had the highest levels at the level of three per thousand, which were not significantly different from the level of five per thousand. Treatment of 5 per thousand Soluptas also increased 28% seed yield, 13% soluble sugar, 20% phenol, 31% flavonoid, and 97% chlorophyll b. In the interaction effect in the treatment, it was observed that the highest amount of the two fertilizers had the highest amount of yield and biochemical traits, except for the antioxidant, whose activity level decreased with the increase of fertilizer levels. The results showed that the highest amount of soluble sugar in fenugreek leaves was related to the level of no chicken fertilization with Soluptas 5 per thousand at the rate of 21.53 mg/g dry weight. The highest levels of both treatments (2000 kg/ha of chicken manure and Soluptas 5 per thousand) caused an increase in grain yield (1396 $kg.h^{-1}$), phenol (12.86 mg/g DW), and chlorophyll b (3.62 mg/g FW) compared to no fertilization (control level). The highest amount of chlorophyll a was related to the interaction of 2000 kg/ha of chicken manure and Soluptas 3 per thousand at the rate of 3.11 mg/g of fresh weight.

Conclusions

In general, it can be concluded that among the simple effects, the highest amount of traits was related to chicken manure, and among the investigated levels in two treatments, the level of 2000 chicken manure and 5 per thousand Soluptas is recommended to achieve a better product for the fenugreek plant.

Keywords: Soluptas, yield, phenol, chlorophyll, organic fertilizer

بررسی تأثیر سطوح مختلف کود مرغی و سولفات پتاسیم بر صفات کیفی و پارامترهای بیوشیمیایی گیاه شنبلیله

محمدحسین امینی‌فرد[۱]، سجاد ندافان*[۲]، حسن بیات[۳]، مهدی جهانی[۴]

۱- دانشیار، گروه علوم باغبانی و مرکز پژوهشی گیاهان ویژه منطقه، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گرایش فیزیولوژی گیاهان دارویی، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

۳- دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.

۴- دانشیار، گروه گیاهپزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، ایران.

نویسنده مسئول*Email: s mh.aminifard@birjand.ac.ir

نسخه پیش انتشار

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر کود مرغی و سولفات پتاسیم بر میزان صفات بیوشیمیایی و عملکرد گیاه شنبلیه، پژوهشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ انجام گردید. تیمارهای آزمایش شامل کود پلیت مرغی در سه سطح (۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) بصورت کاربرد خاکی و سولفات پتاسیم (سولوپتاس) در چهار سطح (۰، ۱/۵، ۳ و ۵ در هزار) بصورت محلول پاشی بودند. نتایج نشان داد که کود مرغی در همه صفات بجز میزان قند محلول و فعالیت آنتی اکسیدانی، سبب افزایش معنی‌دار صفات بیوشیمیایی و عملکرد دانه شنبلیله شد، بطوریکه تیمار ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی، بالاترین میزان فنول (۱۰/۷۹۳ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)، میزان فلاونوئید (۴/۴۷۵ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)، کلروفیل a (۲/۵۹۱ میلی گرم بر گرم وزن تر) و کلروفیل b (۳/۰۵۵ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و عملکرد دانه (۱۱۸۵/۸ کیلوگرم در هکتار) را به خود اختصاص داد. در تأثیر سولفات پتاسیم (سولوپتاس) بر صفات

بیوشیمیایی شنبلیله مشاهده شد که همه صفات به جز میزان فنل و فعالیت آنتی اکسیدانی، همگی در سطح سه در هزار، دارای بالاترین میزان بودند که با سطح پنج در هزار اختلاف معنی‌داری نداشتند. نتایج اثر متقابل تیمارها نشان داد که در تمام صفات بجز صفت فعالیت آنتی اکسیدانی، بالاترین میزان مصرف هر دو کود، بیشترین میزان صفات بیوشیمیایی و عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند، بطوریکه، بیشترین سطوح هر دو تیمار (۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی و سولوپتاس ۵ در هزار) سبب افزایش عملکرد دانه، میزان فنول و کلروفیل b نسبت به سطح شاهد شد. بیشترین میزان کلروفیل a نیز مربوط به برهمکنش ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی و سولوپتاس ۳ در هزار به میزان ۳/۱۱ میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر بود. در مجموع در بین سطوح مورد بررسی در دو تیمار، سطح ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی و ۳ در هزار سولوپتاس برای دستیابی به افزایش عملکرد دانه و بهبود صفات بیوشیمیایی، برای گیاه شنبلیله پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: سولوپتاس، عملکرد، فنول، کلروفیل، کود آلی

مقدمه

شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) گیاهی یک ساله از خانواده Fabaceae به عنوان یک محصول نیمه خشک در سراسر جهان کشت می‌شود. به عنوان ادویه و هم به عنوان گیاه دارویی استفاده می‌شود. شنبلیله به دلیل وجود ترکیبات فعال زیستی مختلف مانند آپیژنین، لوتئولین، اورینتین، کورستین، ویتکسین، ایزوویتکسین، ساپونین‌ها، اسیدهای آمینه، فنل‌ها، آلکالوئیدها و غیره برای درمان بسیاری از بیماری‌ها استفاده می‌شود (Wani and Kumar, 2018).

از ارکان اصلی و مهم کشاورزی پایدار، استفاده از کودهای آلی در اکوسیستم‌های زراعی با هدف کاهش کاربرد کودهای شیمیایی است، زیرا کودهای آلی سبب تأمین سلامت انسان و محیط زندگی می‌شود و از طرفی اهمیت کاربرد آن‌ها در مورد گیاهان که به طور مستقیم با سلامت انسان در ارتباط هستند، محرز می‌باشد (Khalesro and Malekian, 2017). کاربرد کودهای دامی از جمله کود مرغی در بهبود شرایط خاک و رشد گیاه و عملکرد دانه مؤثر بوده و در صورت دسترسی به مقادیر زیاد آن می‌تواند مکمل مناسبی برای کودهای شیمیایی باشد، که در این میان کود مرغی علاوه بر عناصر غذایی، دارای خواصی مانند آزادسازی تدریجی نیتروژن (کاهش آبشویی نیترات)، آزادسازی تدریجی ترکیبات پتاسیم و کلسیم (تنظیم pH خاک) و ماده آلی (افزایش ظرفیت نگهداری آب و موادغذایی) می‌باشد (Neisani et al., 2011). کود مرغی یکی از انواع کودهای دامی و منبع ماده آلی برای تقویت انواع خاکهاست. علاوه بر داشتن مواد مغذی، یکی از کودهای

ارزان قیمت در مقایسه با کودهای متداول در تولید گیاهان زراعی است و از نظر داشتن نیتروژن نسبت به سایر کودهای دامی غنی‌تر است (Lawrence et al., 2008).

کودهای شیمیایی یکی از مهمترین نهاده‌های کشاورزی پیشرفته است و اعمال آن در جهت افزایش عملکرد محصولات کشاورزی به‌عنوان سریعترین رویکرد رفع نیازهای تغذیه‌ای گیاه در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه بسیار متداول و موفقیت‌آمیز بوده است (Al-Taai, 2021). مصرف بهینه کودها آسانترین، سریعترین و کارآمدترین روش دستیابی به افزایش عملکرد در واحد سطح و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی است (Scharf et al., 2005) و بدون اطمینان از تأمین تغذیه مناسب و متعادل گیاهان امکان دستیابی به عملکرد زیاد وجود ندارد.

پتاسیم یکی از عناصر اصلی و پرمصرف شیمیایی نقش اصلی در فعالیت رشد و نمو گیاهان دارد. همچنین، این عنصر دارای نقش فیزیولوژیکی در رابطه با سلامت گیاه و مقاومت به تنش‌های زیستی و غیر زیستی است. کمبود پتاسیم به صورت ضعف در رشد و کاهش عملکرد کمی و کیفی نمود پیدا می‌کند. نقش فیزیولوژیک پتاسیم شامل فعال کردن آنزیم‌ها، متعادل کردن سنتز ترکیبات آلی، روابط آبی گیاه و کنترل روزنه‌ها، فتوسنتز، انتقال مواد زیستی، پاسخ گیاه به تنش‌های خشکی، شوری، سرما و تنش‌های زیستی (Oosterhuis et al., 2013) جلوگیری از پیری گیاه، حفظ ظرفیت مقصد در گیاه (Lv et al., 2017) و تسریع در بهبود اثرات تنش خشکی در گیاهان می‌باشد (Zahoor et al., 2017).

استفاده تلفیقی از کودهای شیمیایی به‌همراه کودهای آلی رویکرد پایدار برای استفاده کارآمد از عناصر غذایی است که باعث افزایش کارآیی کودهای شیمیایی، بهبود خواص فیزیکی خاک و کاهش تلفات مواد مغذی می‌گردد (Mahmood et al., 2017). بر اساس نتایج به‌دست آمده از تحقیق تعدادی از محققان مصرف ترکیبی کودهای شیمیایی و آلی منجر به بهبود صفات کمی و کیفی گردید (Birjely and Al-Atrushy, 2017; Fereidooni et al., 2018). لذا با توجه به موارد اشاره شده و کمبود اطلاعات علمی در زمینه تلفیق کودها، در این پژوهش سعی در دستیابی به یافتن ترکیب کودی مناسب متشکل از کود مرغی (بعنوان کود آلی) و سولفات پتاسیم (بعنوان کود شیمیایی) برای افزایش صفات بیوشیمایی و عملکرد گیاه شنبلیله شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در اوایل سال ۱۴۰۰ در شهرستان قوچان در شمال استان خراسان رضوی انجام گردید. قبل از محل کاشت، پنج نمونه خاک از مکان‌های مختلف انتخاب شد. سپس، آن‌ها را ترکیب کرده و یک نمونه مرکب از آن‌ها تهیه شد و پس از آن برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

جدول ۱- خصوصیات خاک آزمایش قبل از کاشت

Table 1- Characteristics of the experiment soil before planting

بافت خاک Soil texture	آهک (درصد) Lime (%)	ازت کل (درصد) Total nitrogen (%)	پتاسیم قابل جذب (پی پی‌ام) Absorbable potassium (ppm)	فسفر قابل جذب (پی‌پی‌ام) Absorbable phosphorus (ppm)	مواد آلی (درصد) Organic matter (%)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC (dS/m)	اسیدیته pH
لومی Loam	37	0.055	90	1.5	0.57	1.1	8

به‌منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف کود پلیت مرغی و محلول‌پاشی سولفات پتاسیم (به‌صورت کود تجاری سولوپتاس) بر خصوصیات فیزیولوژیکی شنبلیله، آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتور اول، شامل کود پلیت مرغی در سه سطح صفر، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار و فاکتور دوم شامل کود سولوپتاس در چهار سطح صفر، ۱/۵، ۳ و ۵ در هزار بود. مشخصات تجزیه کود پلیت مرغی ۷۰٪ کود مرغی و سولفات پتاسیم مورد استفاده در آزمایش در جدول‌های ۲ و ۳ ارائه شده است.

جدول ۲- مشخصات تجزیه کود پلیت مرغی ۷۰٪ کود مرغی مورد استفاده در آزمایش

Table 2- Characteristics of chicken manure decomposition of 70% chicken manure used in the experiment

رطوبت حداکثر (درصد) Maximum humidity (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC (ds/m)	کربن آلی (درصد) OC (%)	گوگرد کل (درصد) Total sulfur (%)	پتاسیم محلول در آب (درصد) K_2O (%)	فسفر قابل استفاده (درصد) P_2O_5 (%)	نیتروژن کل (درصد) Total nitrogen (%)
10	8.42	4.28	20	7	2	1	2

جدول ۳- مشخصات تجزیه کودی سولفات پتاسیم مورد استفاده در آزمایش

Table 3- Characteristics of decomposition of potassium sulfate fertilizer used in the experiment

حداقل حلالیت (گرم بر لیتر) Minimum solubility ($g.L^{-1}$)	حداکثر رطوبت (درصد) Maximum humidity (%)	منگنز کلاته با EDTA (درصد) Manganese chelate with EDTA (%)	مس کلاته با EDTA (درصد) Copper chelated with EDTA (%)	روی کلاته با EDTA (درصد) Zinc chelate with EDTA (%)	آهن کلاته با EDTA (درصد) Iron chelate with EDTA (%)	گوگرد محلول در آب (درصد) Sulfur soluble in water (%)	پتاسیم محلول در آب (درصد) K_2O (%)
110	1.5	0.05	0.05	0.05	0.1	18	50

برای آماده سازی بستر کشت، ابتدا پس از شخم، دیسک و مسطح کردن خاک اقدام به کرت‌بندی زمین شد. ابعاد کرت آزمایش به میزان ۱/۵ در یک و فاصله بین کرت‌ها نیم متر در نظر گرفته شد. همچنین فاصله بین بلوک تا بلوک دیگر یک متر و فاصله کاشت بین ردیف‌ها ۲۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف‌ها ۱۰ سانتی‌متر بود. عمق کاشت بذور شنبلیله نیز ۱/۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کود پلیت مرغی را بر حسب سطح مورد بررسی قبل از کاشت به زمین داده شد. به‌منظور

جلوگیری از سله بستن روی بذرها را با ماسه‌های ریز مخلوط با کود دامی پوشانده شد. سپس در مرحله ۴-۶ برگی برای رسیدن به تراکم مناسب تنک انجام شد. اولین آبیاری پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی به فاصله هر شش روز یکبار تا آخر فصل رشد انجام شد. همچنین کود سولوپتاس بصورت محلول‌پاشی بعد از کاشت از مرحله شش برگی تا مرحله گلدهی طی سه نوبت به فاصله ۱۴ روز اعمال گردید. از زمان کاشت تا نمونه‌برداری وجین و مبارزه با علف‌های هرز نیز انجام شد. بعد از اعمال تیمارها در مرحله گلدهی کامل و قبل از مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی گیاه، از هر کرت ۱۰ بوته به طور تصادفی انتخاب شده و سپس نمونه‌هایی از برگ‌های توسعه یافته از ۱۰ بوته تهیه و صفات بیوشیمیایی شنبلیله اندازه‌گیری شدند. جهت تعیین عملکرد دانه پس از رسیدگی کامل، دانه‌ها از یک بوته در هر کرت جمع‌آوری شده، توزین و ثبت شدند.

روش تهیه عصاره گیاهی: ابتدا یک گرم از بافت تازهٔ برگی به همراه ۱۰ میلی لیتر متانول ۸۰ ٪ در داخل هاون چینی کوبیده و له شد. قسمت بالای محلول حاصله، جدا گشته و سپس محلول به دست آمده، در دستگاه سانتریفیوژ به مدت ۱۰ دقیقه با دور۶۰۰۰ قرار گرفت و بعد، فاز مایع رویی برداشته شده و به عنوان عصاره گیاهی استفاده گردید. عصارهٔ به دست آمده تا زمان اندازه گیری صفات بیوشیمیایی در داخل یخچال نگهداری شد.

اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی برگ شنبلیله: جهت تعیین فعالیت آنتی‌اکسیدانی یا همان میزان مهار رادیکال آزاد برگ شنبلیله از روش اندازه‌گیری کاهش ظرفیت رادیکالی و با کمک ۲،۲-دی‌فنیل ۱- پیکریل هیدرازیل (DPPH) استفاده گردید (Turkmen et al., 2005). لذا برای این منظور ۲ میلی‌لیتر از محلول اتانولی ۰/۱۵ میلی‌مولار DPPH به لوله آزمایش حاوی ۱ میلی‌لیتر عصاره برگ شنبلیله اضافه شد. سپس محلول حاصل به مدت ۳۰ ثانیه با دستگاه ورتکس مخلوط شد. بعد محلول به مدت ۲۰ دقیقه در تاریکی و در دمای اتاق تثبیت گردید. جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر با دستگاه اسپکتوفتومتر مدل (UNICO,2000,Germany) خوانده شد. سپس درصد فعالیت آنتی اکسیدانی برگ گیاه از رابطه شماره ۱ محاسبه گردید

رابطه شماره ۱: فعالیت آنتی‌اکسیدانی =(جذب شاهد- جذب نمونه) / جذب شاهد *۱۰۰

اندازه‌گیری میزان فنل کل برگ شنبلیله: برای اندازه‌گیری میزان فنل کل برگ شنبلیله از روش گالیک اسید و معرف فولین سیوکالچو استفاده شد (Chuah et al., 2008). بدین منظور، ۰/۵ میلی‌لیتر از معرف فولین سیوکالچو به ۰/۵ میلی لیتر عصاره برگ شنبلیله و استانداردهای گالیگ اسید اضافه و سپس به محلول حاصل ۴ میلی‌لیتر سدیم کربنات یک مولار

اضافه شد. پس از ۱۵ دقیقه نگهداری در دمای محیط، جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۶۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتوفتومتر خوانده شد. سپس مقدار کل ترکیبات فنلی نمونه‌ها با استفاده از منحنی استاندارد گالیک اسید محاسبه گردید و در پایان غلظت بر حسب میلی گرم گالیک اسید بر گرم عصاره برگ گزارش شد.

اندازه‌گیری میزان فلاونوئید کل برگ شنبلیله: میزان فلاونوئید کل برگ با استفاده از معرف آلومینیوم کلرید انجام گرفت (Serra Bonvehí et al., 2001). به این‌ترتیب که به ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره متانولی برگ، ۰/۱ میلی‌لیتر از کلرید آلومینیوم ۱۰ درصد افزوده سپس ۰/۱ میلی‌لیتر استات پتاسیم ۱ میلی‌مولار افزوده و در پایان ۲/۸ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد. بعد از گذشت مدت زمان ۳۰ دقیقه دردمای آزمایشگاه، جذب آنها در ۴۱۵ نانومتر اندازه‌گیری شد. میزان فلاونوئید از روی منحنی استاندارد کوئرستین تعیین بر حسب میلی‌گرم در گرم عصاره بیان شد.

اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی: اندازه‌گیری رنگیزه‌های موجود در برگ در مرحله گلدهی کامل بوته اندازه‌گیری شد (Lichtenthaler, 1987) استخراج کلروفیل از برگ توسط استون ۸۰ درصد صورت گرفت. مقدار ۰/۱ گرم از بافت تر بر هر کدام از تیمارها وزن شد. ساییدن برگ با استون تدریجی و تا حصول یک محلول سبز رنگ ادامه یافت. سپس حجم محلول با استون به ۱۰ میلی‌لیتر رسید. محلول حاضر به مدت ۱۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰ دور سانتریفیوژ گردید. پس از آن جذب محلول رویی به وسیله دستگاه اسپکترفتومتر در طول موج‌های ۶۴۵ برای کلروفیل b و ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a و ۴۷۰ نانومتر برای کاروتنوئید ثبت شد.

Chlorophyll a = (12.21 A663 2.81 A645) ×V/1000 W
Chlorophyll b = (20.13 A645 – 5.03 A663) × V/1000W
Total Chorophyll (CHLt) = CHLa + CHLb
Carotenoides= (1000A470-3.27chla-104chlb)/229

اندازه‌گیری میزان کربوهیدرات (قند کل): جهت اندازه‌گیری قند کل برگ شنبلیله از روش معرف آنترون استفاده شد و میزان جذب نور هر یک از نمونه‌ها در طول موج ۶۲۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Mocreadye et al., 1950).

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS 9.4 انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها نیز با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفت. برای رسم شکل‌ها از نرم افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

میزان فنول کل گیاه

نتایج تجزیه واریانس داده‌های بدست آمده نشان داد که اثر ساده کود مرغی و سولوپتاس و همچنین برهمکنش این دو کود، همگی در سطح یک درصد بر صفت فنول برگ شنبلیله معنی‌دار بودند (جدول ۴). مقایسه میانگین داده‌های بدست آمده نشان داد که کود مرغی تا سطح ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار اختلاف معنی‌داری با سطح عدم کوددهی نداشت ولی سطح ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی موجب افزایش معنی‌دار فنول شد، بنحوی که این سطح موجب افزایش ۱۷/۰۵ درصدی این صفت نسبت به عدم کوددهی شد (جدول ۵). مقایسه میانگین اثر ساده سولوپتاس بر فنول شنبلیله نشان داد که این تیمار تا سطح سه در هزار تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد نداشت، ولی سطح پنج در هزار سولوپتاس سبب افزایش ۱۶/۹۱ درصدی نسبت به شاهد شد (جدول ۵). اثر متقابل دو تیمار مورد بررسی بر میزان فنول نشان داد که بیشترین فنول در گیاه شنبلیله در برهمکنش کود مرغی ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار و سولوپتاس ۵ در هزار مشاهده شد. بیشترین سطح تیمارها سبب افزایش ۵۸/۳۷ درصدی فنول نسبت به شاهد شد (جدول ۷).

یزدانی بیوکی و همکاران (Yazdani Biuki et al., 2010) نیز به بررسی صفات کمی و کیفی گیاه ماریتیغال در پاسخ به کودهای آلی، زیستی و شیمیایی پرداختند و تأثیر معنی‌دار مصرف انواع مختلف کودهای آلی و شیمیایی را در افزایش درصد روغن و مواد فنولی و فلاونوئیدی موجود در دانه (سیلی‌مارین و سیلین) گزارش نمودند.

با توجه به نقش ترکیبات فنولی در تأمین سلامت انسان‌ها امروزه تمایل شدیدی بین محققین صنایع غذایی در پرورش سبزی‌هایی که حاوی مقادیر بالایی از ترکیبات فنولی باشد وجود دارد لذا نخستین گام در راستای تحقق این امر مدیریت صحیح در مرحله پرورش سبزی‌ها مخصوصاً مدیریت تغذیه گیاه می‌باشد تا با تولید محصولات سالم از ابتلا به بیماری‌های مختلف مخصوصاً سرطان کاست (Vojodi Mehrabani, 2020).

بر اساس نتایج تحقیق صانعی و رضوی (Sanei and Razavi, 2018) تغییر محتوی فنول کل تحت تأثیر محلول‌پاشی نیترات پتاسیم قرار گرفت که مشابه نتایج این تحقیق است. این نتایج با اثر پتاسیم بر افزایش ترکیبات فنولی در برنج مطابقت دارد (Prasad et al., 2010). تهرانی‌فر و تبار (Tehranifar and Tabar, 2009) بیان کردند که کاربرد برگی پتاسیم منجر به افزایش معنی‌دار رنگدانه‌های آنتوسیانین، ترکیب‌های فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در آب میوه انار در

مقایسه با شاهد شد. در مورد علّت افزایش ترکیبات فنولی در اثر پتاسیم می‌توان گفت که پتاسیم رشد گیاه را افزایش داده و در نتیجه باعث افزایش تولید مواد فتوسنتزی می‌شود و به علّت تخصیص کربن اضافی به مسیر شیکمیک اسید موجب افزایش ترکیبات فنولی می‌شود (Nguyen et al., 2010). از طرف دیگر ثابت شده است که پتاسیم با افزایش فعالیت آنزیم فنیل آالنین آمونیالیاز که آنزیم کلیدی در مسیر فنیل پروپانوئید است میزان ترکیبات فنلی را افزایش می‌دهد (Soares et al., 2005).

میزان فلاونوئید کل گیاه

داده‌های بدست آمده از این آزمایش نشان داد که اثر ساده کود مرغی و سولوپتاس در سطح یک درصد بر میزان فلاونوئید کل گیاه معنی‌دار بودند ولی اثر متقابل این دو فاکتور بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر ساده کود مرغی نشان داد که با استفاده از این کود، میزان فلاونوئید نیز افزایش می‌یابد، امّا تا سطح ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار فلاونوئید افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد نداشت؛ بیشترین میزان فلاونوئید شنبلیله در سطح ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی به میزان ۴/۴۷ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک و کمترین این صفت مربوط به عدم کوددهی به میزان ۳/۵۳ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک بود. در اثر ساده سولوپتاس مشاهده شد که با افزایش میزان این صفت تا سطح ۱/۵ در هزار سولوپتاس افزایش معنی‌داری در میزان فلاونوئید مشاهده نشد ولی سطح ۳ و ۵ در هزار سولوپتاس سبب افزایش معنی‌دار این صفت شد و این دو سطح اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۵).

علّت افزایش ترکیبات فلاونوئیدی در اثر محلول‌پاشی سولفات پتاسیم نیز احتمالاً می‌تواند به دلیل تأثیر محلول‌پاشی پتاسیم بر فتوسنتز گیاه و متابولیسم ترکیبات کربنی باشد که خود اساس تشکیل متابولیت‌های ثانویه می‌باشند و از این طریق سنتز فلاونوئید را افزایش می‌دهد (Nojavan et al., 2016). در بررسی انجام شده در گیاه رازیانه مشخص شد که کاربرد کودهای آلی در ترکیب با کودهای شیمیایی موجب افزایش محتوای فنل، فلاونوئید و اسید اسکوربیک گیاه شد که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. افزایش عملکرد فنولی به تبعیت از افزایش عملکرد خشک منطقی به‌نظر می‌رسد. پژوهشگران دیگری نیز نقش مثبت کودهای آلی را در افزایش سنتز فلاونوئیدها در گیاهان گزارش کرده‌اند (Kheiry et al., 2016). افزایش میزان فنول‌ها در کلم بروکلی پس از کاربرد کودهای آلی، نقش بارز این کودها را در بیوسنتز ترکیباتی که القاکننده مسیر شیکمیک اسید و در نهایت بیشتر فلاونوئید و سایر ترکیبات فنولی است را تقویت می‌کند (Naguib, El-Baz et al.,

2012). ترکیبات فنلی موجود در سبزی‌ها نقش مهمی در از بین بردن رادیکال‌های آزاد اکسیژن دارند. رادیکال‌های آزاد موجب افزایش بیماری‌های قلبی، عروقی و سرطان در موجودات زنده به دلیل آسیب به DNA و اسیدهای چرب غیراشباع می‌شود (Naguib et al., 2012).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه

داده‌های بدست آمده از این آزمایش نشان داد که اثر ساده کود مرغی و سولوپتاس در سطح یک درصد و همچنین اثر متقابل این دو فاکتور نیز در سطح پنج درصد بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاه معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر ساده کود مرغی نشان داد که با افزایش در هر سطح این کود، میزان فعالیت آنتی‌اکسیدان نیز کاهش می‌یابد؛ بنحوی که بیشترین فعالیت این صفت شنبلیله در سطح عدم کوددهی مرغی به میزان ۴۵/۳۱ درصد و کمترین این صفت مربوط به سطح کوددهی ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار به میزان ۳۷/۳۷ درصد بود. در مقایسه میانگین اثر ساده سولوپتاس بر فعالیت آنتی اکسیدان نشان داد که سولوپتاس سبب کاهش معنی‌دار صفت مذکور شد ولی بین سطح ۰ و ۱/۵ در هزار سولوپتاس اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. سولوپتاس در سطح پنج در هزار سبب کاهش ۱۲/۹ درصدی فعالیت آنتی اکسیدانی شنبلیله نسبت به عدم کوددهی شد (جدول ۵). در اثر متقابل دو تیمار مورد بررسی، بیشترین میزان فعالیت آنتی اکسیدان مربوط به سطح عدم کود مرغی به همراه سولوپتاس ۰، ۱/۵ و ۳ در هزار بود و کمترین میزان این صفت مربوط به سطح کود مرغی ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌همراه پنج در هزار سولوپتاس به میزان ۲۶/۹۴ درصد بود (جدول ۷).

برخی از مطالعات افزایش سطح آنتی‌اکسیدان‌ها را با افزایش پتاسیم نشان دادند (Constán-Aguilar et al., 2015; Tavallali et al., 2018)، در حالی که برخی دیگر هیچ تأثیری یا حتی کاهش سطح آنتی اکسیدان را نشان دادند (Fanasca et al., 2006; Taber et al., 2008). این نتایج متنوع ممکن است به دلیل محیط‌های کشت متفاوت باشد برای مثال، گلخانه (Constán-Aguilar et al., 2015) یا زمین باز (Taber et al., 2008) همراه با عوامل غیرزیست متناوب یا حتی به دلیل ارقام مختلف. با این وجود، پتاسیم، کاتیون اصلی در سیتوپلاسم سلولی است و به عنوان یک کوآنزیم در چندین فرآیند متابولیک عمل می‌کند (Zhao et al., 2018). در نتیجه، آنتی‌اکسیدان‌های گیاه حاصل از مسیرهای مختلف متابولیسم ثانویه به دلیل افزایش سطح عرضه پتاسیم اثر خود را نشان می‌دهند. همچنین گزارش شده

است که کود آلی برخلاف کود معدنی باعث افزایش سطح متابولیت‌های ثانویه مانند فنولیک، فلاونوئید و فعالیت آنتی اکسیدانی در گیاه می‌شود (Salama et al., 2015).

میزان قند محلول گیاه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده کود مرغی بر میزان قند محلول گیاه شنبلیله معنی‌دار نبود ولی اثر ساده سولوپتاس و اثر متقابل این دو تیمار در سطح پنج درصد بر این صفت معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر ساده سولوپتاس بر میزان قند محلول گیاه شنبلیله نشان داد که این تیمار تا سطح سه در هزار تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد نداشت ولی سطح پنج در هزار سولوپتاس سبب افزایش ۱۲/۱۱ درصدی نسبت به شاهد شد (جدول ۵). اثر متقابل داده‌های بدست آمده نشان داد که سولوپتاس سه در هزار در برهمکنش با هر سطح از کود مرغی سبب تولید بالاترین سطوح میزان قند محلول شد. همچنین مشاهده شد که در سطح ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی در برهمکنش با تمامی سطوح سولوپتاس بجز سطح پنج کیلوگرم در هکتار ، میزان قند محلول گیاه در بالاترین سطح بودند. در این بین نیز بیشترین قند محلول برگ شنبلیله مربوط به سطح عدم کوددهی مرغی به‌همراه سولوپتاس پنج در هزار به میزان ۲۱/۵۳ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک بود که نسبت به سطح شاهد (عدم کوددهی) ۲۲/۷ درصد افزایش داشت (جدول ۷).

با افزایش میزان پتاسیم، میزان تثبیت دی‌اکسیدکربن به دلیل کارکرد مطلوب روزنه‌ها افزایش می‌یابد و در نتیجه میزان فتوسنتز افزایش یافته و بدین ترتیب تولید کربوهیدرات در برگ‌ها افزایش می‌یابد و این امر باعث افزایش ویژگی‌های رشدی می‌شود (Khaldbrin and Islamzadeh, 2014). پتاسیم آنزیم مسئول ساخت نشاسته را فعال می‌کند بنابراین در شرایط کمبود پتاسیم میزان نشاسته کاهش یافته امّا ترکیبات نیتروژنی و کربوهیدرات‌های محلول انباشته می‌شوند. میزان فعالیت فتوسنتزی بر سرعت ساخت قند جهت تولید نشاسته مؤثر است. هنگامی که میزان پتاسیم زیاد است نشاسته از مکان‌های سنتز به اندام‌های ذخیره کننده انتقال می‌یابد (Zörb et al., 2014).

کاربرد کودهای آلی باعث افزایش میزان قند گردیده است. که این امر را می‌توان به افزایش رشد گیاه، افزایش جذب مواد غذایی و افزایش تولید مواد ثانویه در گیاه مرتبط نمود. ساکاروز در تنظیم اسمزی و حفاظت گیاه در برابر سرما نیز نقش دارد. تولیدات متابولیکی نشاسته و ساکاروز به عنوان واسطه گلیکولیز برای تولید اسکلت کربنی و ATP برای ساخت اسیدهای چرب و نوکلئوتیک‌ها به کار می‌روند (Kafi et al., 2009). تجمع قندهای محلول در گونه‌هایی مانند بادام زمینی، سیب

زمینی و گیاهان دیگری چون گوجه فرنگی، آفتابگردان، سویا و جو نیز مشاهده شده است. اسیدهای آلی می‌توانند باعث رشد بهتر گیاه شوند (Samavat et al., 2017) و متعاقباً این رشد بیشتر، سبب افزایش میزان ویتامین‌ها و کربوهیدرات‌ها در گیاه می‌شود.

میزان کلروفیل برگ گیاه

نتایج داده‌های بدست آمده نشان داد که اثر ساده کود مرغی و سولوپتاس و همچنین برهمکنش این دو کود، همگی در سطح پنج درصد بر میزان کلروفیل a برگ شنبلیله معنی‌دار بودند (جدول ۴). مقایسه میانگین داده‌های بدست آمده نشان داد که کود مرغی تا سطح ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار اختلاف معنی‌داری با سطح عدم کوددهی روی کلروفیل a نداشت ولی سطح ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی موجب افزایش معنی‌دار این صفت شد به‌نحوی که سطح ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی سبب افزایش ۱۳/۵ درصدی نسبت به عدم کوددهی داشت (جدول ۶). همچنین در اثر ساده سولوپتاس بر صفت کلروفیل a نشان داد که بیشترین میزان کلروفیل a مربوط به سطح سه در هزار سولوپتاس به میزان ۲/۶۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بود (جدول ۵). در اثر متقابل دو تیمار مورد بررسی مشاهده شد که بیشترین میزان کلروفیل a مربوط به برهمکنش ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی و سولوپتاس سه در هزار به میزان ۳/۱۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بود؛ هر چند که از نظر آماری این برهمکنش تفاوت معنی‌داری با سطح ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی و عدم مصرف سولوپتاس نداشت (جدول ۸).

داده‌های بدست آمده از این تحقیق مشخص کرد که اثر ساده کود مرغی، سولوپتاس و اثر متقابل این دو تیمار در سطح یک درصد بر میزان کلروفیل b برگ شنبلیله معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین داده‌های بدست آمده نشان داد که همانند کلروفیل a، کود مرغی تا سطح ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار اختلاف معنی‌داری با سطح عدم کوددهی روی کلروفیل b نداشت ولی سطح ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی موجب افزایش معنی‌دار این صفت شد بنحوی که سطح ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی سبب افزایش ۲۸/۱۹ درصدی نسبت به عدم کوددهی داشت (جدول ۶). در اثر ساده سولوپتاس مشاهده شد که تا سطح ۱/۵ کیلوگرم در هکتار، سولوپتاس تأثیر معنی‌داری بر افزایش صفت کلروفیل b نداشت و بیشترین میزان این صفت مربوط به سطح پنج در هزار سولوپتاس بود که با سطح سه در هزار تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۶). بیشترین

میزان هر دو تیمار (۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی و سولوپتاس پنج در هزار) بالاترین میزان کلروفیل b (۳/۶۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) را به خود اختصاص دادند (جدول ۸).

مطابق گزارش‌ها یکی از مهمترین نقش‌های پتاسیم، نقش کلیدی آن در فتوسنتز می‌باشد که به دلیل افزایش جذب دی اکسیدکربن و افزایش مستقیم رشد و شاخص سطح برگ نقش حیاتی در فتوسنتز دارد (Heakal et al., 1990). همچنین بیان کردند که کودهای پتاسیم در ساخت مواد هیدروکربنی در گیاه و در نتیجه بهبود فتوسنتز و رنگیزه‌های فتوسونتزی نقش دارند (Tabatabaei, 2018). در آزمایشی با عنوان اثر نانو کلات پتاسیم و کلسیم بر روی ویژگی‌های کمی و کیفی ریحان اعلام کردند که غلظت دو در هزار نانو کلسیم و شش در هزار نانوپتاسیم در مقایسه با نمونه شاهد بیشترین تأثیر مثبت را بر ارتفاع بوته، وزن خشک، سطح برگ، شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیک، درصد پتاسیم و ترکیبات کلروفیلی موجود در ریحان داشته‌اند (Ghahremani et al., 2014).

کودهای آلی دارای مواد آلی می‌باشند که به راحتی تجزیه شده و حاوی مقادیر زیادی نیتروژن می‌باشند (Ashnavar et al., 2014). می‌توان اثر مثبت استفاده از کنسانتره کود مرغ روی رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ را این گونه استنباط کرد که با توجه به اینکه عمده‌ی ترکیبات رنگدانه‌های فتوسنتزی دارای ساختار نیتروژنی هستند، از این‌رو کاربرد کودهای با نیتروژن بالا می‌تواند تا حد زیادی منجر به افزایش مقدار آنها در گیاه گردد (Zgallai et al., 2006). همچنین، نیتروژن ساختار اصلی تمامی آمینواسیدها در پروتئین‌ها و چربی‌ها می‌باشد که به عنوان ترکیبات ساختاری کلروپلاست فعالیت می‌کنند (Arisha and Bradisi, 1999; Badr and Fekry, 1998).

عملکرد دانه شنبلیله

نتایج داده‌های بدست آمده نشان داد که اثر ساده کود مرغی و سولوپتاس و همچنین برهمکنش این دو کود در سطح یک درصد بر صفت عملکرد دانه شنبلیله معنی‌دار بودند (جدول ۴). مقایسه میانگین داده‌های بدست آمده نشان داد که کود مرغی تا سطح ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار اختلاف معنی‌داری با سطح عدم کوددهی نداشت، ولی سطح ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار کود مرغی موجب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه شد بنحوی که این سطح موجب افزایش ۱۹/۹ درصدی عملکرد دانه شنبلیله نسبت به عدم کوددهی شد (جدول ۶). جدول مقایسه میانگین اثر ساده سولوپتاس نشان داد که مصرف این کود سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه شنبلیله نسبت به سطح شاهد شد ولی اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف سولوپتاس وجود

نداشت. عملکرد دانه در سطح پنج در هزار سولوپتاس به میزان ۱۱۴۵ کیلوگرم در هکتار و در سطح عدم کوددهی ۸۹۲ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۶). در جدول اثر متقابل داده‌های بدست آمده مشاهده شد که بیشترین سطوح هر دو تیمار سبب افزایش ۴۵/۵ درصدی عملکرد دانه نسبت به عدم کوددهی (سطح شاهد) شد (جدول ۸).

در تأیید نتایج به‌دست آمده از این تحقیق، صالحی و همکاران (Salehi et al., 2017) با بررسی تغذیه گیاه دارویی شنبلیله با کودهای آلی و شیمیایی به این نتیجه رسیدند که کود تلفیقی در شنبلیله عملکرد دانه را نسبت به کودهای شیمیایی افزایش داد. همچنین روستایی و فلاح (Rostaei and Fallah, 2016) بیشترین عملکرد دانه هر دو گیاه را از تیمار یک ردیف سیاهدانه+ دو ردیف شنبلیله تغذیه شده از منبع کود تلفیقی (۵۰٪ کود مرغی+۵۰٪ کود شیمیایی) گزارش کردند. در آزمایشی که بر روی اثر نوع و مقدار کود دامی بر عملکرد پنبه صورت گرفت، نتایج نشان داد که کود مرغی به میزان ۲۰ تن در هکتار بیشترین عملکرد پنبه را تولید کرد (Houshyarifard and Qaranchik, 2009). در نتایجی مشابه روی گیاه شنبلیله، گزارش شده است که محلول‌پاشی پتاسیم در بالاترین سطح (۴۰۰ میلی‌گرم در ۱۰۰ لیتر) سبب افزایش معنی‌دار عملکرد کل نسبت به تیمار شاهد شد (Naser, 2017). همچنین در پژوهشی دیگر، عملکرد دانه شنبلیله در تیمار تغذیه شیمیایی (۱۰۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب اوره، سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم) بیشترین افزایش را داشت (Esmaeilian and Jalali, 2022).

جدول ٤- تجزیه واریانس اثر کود مرغی و سولوپتاس و اثر متقابل آنها روی صفات بیوشیمیایی و عملکردی شنبلیله

Table 4- Variance analysis of the effect of chicken manure and Soluptas and their interaction on the biochemical and yield traits of fenugreek

عملکرد دانه Seed yield	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل a Chlorophyll a	قند محلول soluble sugar	آنتی اکسیدان Antioxidants	فلاونوئید Flavonoid	فنول Phenol	درجه آزادی df	منابع تغییرات S.O.V.
219.44^{ns}	0.007^{ns}	0.532^{*}	15.73^{*}	3.131^{ns}	0.455^{ns}	0.344^{ns}	2	بلوک Block
168369^{**}	2.669^{**}	0.384^{*}	4.510^{ns}	189.29^{**}	3.136^{**}	10.306^{**}	2	کود مرغی Chicken manure
125437^{**}	1.431^{**}	0.375^{*}	9.554^{*}	282.190^{**}	2.129^{**}	5.657^{**}	3	سولوپتاس Soluptas
115351^{**}	0.632^{**}	0.418^{*}	8.182^{*}	37.275^{*}	0.119^{ns}	8.169^{**}	6	کود مرغی × سولوپتاس Chicken manure × Soluptas
21395	0.06	0.111	2.80	10.052	0.233	0.867	22	خطا Error
13.74	9.77	13.97	8.70	7.69	12.41	9.49	-	ضریب تغییرات CV

*، ** و ns به‌ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد و بدون اختلاف معنی‌دار

*, ** and ns are significant at 5% and 1% probability levels, respectively, without significant difference.

جدول ٥- اثر ساده کود مرغی و کود سولوپتاس بر صفات بیوشیمیایی شنبلیله

Table 5- The simple effect of chicken manure and Soluptas fertilizer on the biochemical traits of fenugreek

قند محلول (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) soluble sugar	آنتی اکسیدان (درصد) Antioxidants (%)	فلاونوئید (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) Flavonoid	فنول (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) Phenol	تیمارها Treatments

(mg/ g DW)		(mg/ g DW)	(mg/ g DW)	
		کود مرغی (کیلوگرم در هکتار) Chicken manure (Kg/ha)		
18.59[a]	45.31[a]	3.532[b]	8.952[b]	0
19.32[a]	40.98[b]	3.662[b]	9.685[b]	1000
19.81[a]	37.37[c]	4.475[a]	10.793[a]	2000
		سولوپتاس (در ۱۰۰۰) Soluptas (in 1000)		
17.85[b]	46.59[a]	3.376[b]	9.092[b]	0
19.25[b]	44.04[a]	3.603[b]	9.579[ab]	1.5
19.55[ab]	40.58[b]	4.143[a]	9.627[b]	3
20.31[a]	33.68[c]	4.437[a]	10.943[a]	5

اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نیستند.

Numbers with the same letters in each column are not significant at the five percent probability level based on the LSD test.

جدول ٦- اثر ساده کود مرغی و کود سولوپتاس بر کلروفیل برگ و عملکرد شنبلیله

Table 6- The simple effect of chicken manure and Soluptas fertilizer on the leaf chlorophyll and yield of fenugreek

عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield (kg.h^{-1})	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) Chlorophyll b (mg/ g FW)	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) Chlorophyll a (mg/ g FW)	تیمارها Treatments
	کود مرغی (کیلوگرم در هکتار) Chicken manure (Kg/ha)		
949.17[b]	2.198[b]	2.248[b]	0
1058.3[b]	2.285[b]	2.332[ab]	1000
1185.8[a]	3.055[a]	2.591[a]	2000
	سولوپتاس (در ۱۰۰۰) Soluptas (in 1000)		
892.22[b]	1.959[b]	2.47[ab]	0
1083.3[a]	2.525[b]	2.25[b]	1.5
1136.6[a]	2.671[a]	2.63[a]	3
1145.5[a]	2.894[a]	2.19[b]	5

اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نیستند.

Numbers with the same letters in each column are not significant at the five percent probability level based on the LSD test.

جدول ۷- اثر متقابل کود مرغی و کود سولوپتاس بر صفات بیوشیمیایی شنبلیله

Table 7- The mutual effect of chicken manure and Soluptas fertilizer on the biochemical traits of fenugreek

قند محلول (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) Soluble sugar (mg/g DW)	آنتی اکسیدان (درصد) Antioxidants (%)	فنول (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) Phenol (mg/g DW)	تیمارها Treatments	
			سولوپتاس (در ۱۰۰۰) Soluptas (in 1000)	کود مرغی (کیلوگرم در هکتار) Chicken manure (Kg/ha)
16.64[e]	49.28[a]	8.91[cde]	0	0
17.16[cde]	46.23[abc]	8.14[e]	1.5	
19.05[abcd]	44.83[abc]	10.13[bcd]	3	
21.53[a]	40.89[c]	8.61[de]	5	
17.05[de]	43.05[bc]	10.22[bc]	0	1000
19.91[abc]	44.58[abc]	8.35[e]	1.5	
19.32[abcde]	43.10[bc]	8.80[cde]	3	
20.98[ab]	33.20[d]	11.35[ab]	5	
19.85[abcd]	47.43[ab]	8.12[e]	0	2000
20.70[ab]	41.32[c]	12.23[a]	1.5	
20.29[ab]	33.81[d]	9.94[bcd]	3	
18.42[bcde]	26.94[e]	12.86[a]	5	

اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نیستند.

Numbers with the same letters in each column are not significant at the five percent probability level based on the LSD test.

جدول ۸- اثر متقابل کود مرغی و کود سولوپتاس بر کلروفیل برگ و عملکرد شنبلیله

Table 8- The mutual effect of chicken manure and Soluptas fertilizer on the leaf chlorophyll and yield of fenugreek

کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) Chlorophyll b (mg/ g FW)	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم وزن تر) Chlorophyll a (mg/ g FW)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) Seed yield (kg.h^{-1})	تیمارها Treatments	
			سولوپتاس (در ۱۰۰۰) Soluptas (in 1000)	کود مرغی (کیلوگرم در هکتار) Chicken manure (Kg/ha)

2.29[d]	2.16[cde]	769[e]	0	0
2.10[d]	2.37[bcde]	730[e]	1.5	
2.11[d]	2.46[bcde]	1156[abc]	3	
2.26[d]	2.00[de]	1150[abc]	5	
1.41[e]	2.43[bcde]	946[cde]	0	1000
2.05[d]	1.91[e]	1260[ab]	1.5	
2.87[c]	2.32[bcde]	1136[bcd]	3	
2.79[c]	2.64[abc]	890[de]	5	
2.16[d]	2.83[a]	970[cde]	0	2000
3.41[ab]	2.49[bcd]	1260[ab]	1.5	
3.01[bc]	3.11[a]	1116[bcd]	3	
3.62[a]	1.92[e]	1396[a]	5	

اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نیستند.

Numbers with the same letters in each column are not significant at the five percent probability level based on the LSD test.

نتیجه‌گیری

در تولید گیاهان دارویی علاوه بر شرایط آب و هوایی، فاکتورهای خاکی نیز از اهمیت خاصی برخوردار هستند. عناصر غذایی نه تنها در افزایش میزان محصول گیاهان دارویی همانند بقیه گیاهان مؤثر هستند بلکه کیفیت محصول تولیدی را نیز تغییر می‌دهند. استفاده از کود مرغی به خصوص در مناطق خشک و نیم خشک که عمدتاً از سطح ماده آلی پایین برخوردارند، علاوه بر افزایش ماده آلی خاک و فراهمی عناصر غذایی می‌تواند خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی این خاک‌ها را بهبود بخشد.

در صفات عملکرد و بیوشیمیایی این آزمایش مشاهده شد که کود مرغی در همه صفات بجز میزان قند محلول و فعالیت آنتی اکسیدانی، سبب افزایش معنی‌دار صفات عملکرد و بیوشیمیایی شد. میزان فعالیت آنتی‌اکسیدان با افزایش سطح کود مرغی کاهش یافت و قند محلول تحت تأثیر این کود قرار نگرفت. در تأثیر سولوپتاس بر صفت بیوشیمیایی مشاهده شد که همه صفات به جز میزان فنل و فعالیت آنتی اکسیدانی، همگی در سطح سه در هزار دارای بالاترین میزان بودند که با سطح پنج در هزار اختلاف معنی‌داری نداشتند. در اثر متقابل در تیمار مشاهده شد که بالاترین میزان از دو کود، بالاترین میزان صفات عملکرد و بیوشیمیایی را دارا بود به جز فعالیت آنتی اکسیدانی که با افزایش سطوح کودی، میزان فعالیت کاهش یافت. در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که در بین سطوح مورد بررسی در دو تیمار، سطح ۲۰۰۰ کود مرغی و ۳ در هزار سولوپتاس برای دستیابی به افزایش عملکرد دانه و صفات بیوشیمیایی، برای گیاه شنبلیله پیشنهاد می‌گردد.

منابع

Al-Taai, S. H. H. (2021). The Effect of Fertilizer Uses on Environmental Pollution: A Review. *Review of International Geographical Education Online*, *11*(5), 3620-3529 .

Arisha, H., & Bradisi, A. (1999). Effect of mineral fertilizers and organic fertilizers on growth, yield and quality of potato under sandy soil conditions. *Zagazig Journal Agriculture Research, 26,* 391-405.

Ashnavar, M., Bahmanyar, M. a., & Akbarpour, V. (2014). Investigation on the effect of different sources of fertilizers on growth indices and yield of coneflower (*Echinacea purpurea* L.) as a medicinal plant. *Journal of Agroecology*, *6*(2), 266-274. (In Persian with English abstract). http://doi.org/10.22067/JAG.V6I2.39510

Badr, L., & Fekry, W. (1998). Effect of intercropping and doses of fertilization on growth and productivity of taro and cucumber plants. 1-vegetative growth and chemical constituents of foliage. *Zagazig Journal of Agriculture Research, 25,* 1087-1101 .

Birjely, H. M. S., & Al-Atrushy, S. M. M. (2017). Effect of some organic and non-Organic fertilizers on some parameters of growth and berries quality of grape cv. Kamali. *Kufa Journal For Agricultural Sciences*, *9*(3), 262-274.

Chuah, A. M., Lee, Y.-C., Yamaguchi, T., Takamura, H., Yin, L.-J., & Matoba, T. (2008). Effect of cooking on the antioxidant properties of coloured peppers. *Food Chemistry*, *111*(1), 20-28 . https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.03.022

Constán-Aguilar, C., Leyva, R., Romero, L., Soriano, T., Blasco, B., & Ruiz, J. M. (2015). The effect of potassium biofortification over yield and nutritional quality of cherry tomato fruits. *American Journal of Advanced Food Science Technology, 3*(2), 67-93. https://doi.org/10.7726/ajafst.2015.1006

Esmaeilian, Y., & Jalali, A. (2022). Evaluation of quantitative, qualitative, and economic aspects of garlic (*Allium sativum* L.) and fenugreek (*Trigonella foenum-graceum* L.) intercropping under organic and chemical nutrition systems. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 38*(1), 133-149. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2022.354814.3003

Fanasca, S., Colla, G., Maiani, G., Venneria, E., Rouphael, Y., Azzini, E., & Saccardo, F. (2006). Changes in antioxidant content of tomato fruits in response to cultivar and nutrient solution composition. *Journal of Agricultural Food Chemistry, 54*(12), 4319-4325. https://doi.org/10.1021/jf0602572

Fereidooni, M. J., Maghsoudi, E., Mojabghasroldashti, A., & Behzadi, Y. (2018). Investigation the effect of different fertilizing levels from various sources on yield, and grain quality of

sweet corn. *Journal of Plant Ecophysiology*, *10*(33), 79-89. (In Persian with English Summary). http://doi.org/20.1001.1.20085958.1397.10.33.8.5

Ghahremani, A., Akbari, K., Yousefpour, M., & Ardalani, H. (2014). Effects of nano-potassium and nano-calcium chelated fertilizers on qualitative and quantitative characteristics of *Ocimum basilicum*. *International Journal for Pharmaceutical Research Scholars*, *3*(12), 325-241 .

Heakal, M., Modaihsh, A., Mashhady, A., & Metwally, A. (1990). Combined effects of leaching fraction, salinity, and potassium content of waters on growth and water-use efficiency of wheat and barley. *Plant Soil*, *125*(2), 177-184. https://doi.org/10.1007/bf00010655

Houshyarifard, M., & Qaranchik, A. (2009). Effect of source and rate of manures on incidence and severity of important diseases, yield and yield components in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Iranian Society of Crops and Plant Breeding Sciences*, *11*(3), 237-248. (In Persian with English Summary). http://doi.org/20.1001.1.15625540.1388.11.3.4.8

Kafi, M. G., Zamani, S., & Ghoraishi, G. (2009). Relative them together. *New Phytologist*, *14*(1), 63-79 .

Khaldbrin, b., & Islamzadeh, T. (2014). *Mineral nutrition of higher plants.* Shiraz University. https://doi.org/10.1016/b978-0-12-473542-2.x5000-7

Khalesro, S., & Malekian, H. (2017). Effects of vermicompost and humic acid on morphological traits, yield, essential oil content and component in organic farming of Ajwan (*Trachyspermum ammi* L.). *Iranian Journal of Medicinal Aromatic Plants Research. 32*(6), 968-980. (In Persian with English Summary). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2017.109314

Kheiry, A., Arghavani, M., & Khastoo, M. (2016). Effects of organic fertilizers application on morphophysiological characteristics of calendula (*Calendula officinalis* L.). *Iranian Journal of Medicinal Aromatic Plants Research, 31*(6), 1047-1057. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2016.105893

Lawrence, J. R., Ketterings, Q., & Cherney ,J. (2008). Effect of nitrogen application on yield and quality of silage corn after forage legume-grass. *Agronomy Journal*, *100*(1), 73-79. https://doi.org/10.2134/agronj2007.0071

Lichtenthaler, H. K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In *Methods in Enzymology*, *148*, 350-382. https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1

Lv, X., Li, T., Wen, X., Liao, Y., & Liu, Y. (2017). Effect of potassium foliage application post-anthesis on grain filling of wheat under drought stress. *Field Crops Research*, *206*, 95-105. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.02.015

Mahmood, F., Khan ,I., Ashraf, U., Shahzad, T., Hussain, S., Shahid, M., Abid, M., Ullah, S. (2017). Effects of organic and inorganic manures on maize and their residual impact on soil physico-chemical properties. *Journal of soil science plant nutrition*, *17*(1), 22-32. https://doi.org/10.4067/s0718-95162017005000002

Mocready, R., Guggolz, J., Silviera, V., & Owens, H. (1950). Determination of starch and amylose in vegetables. Application to peas. *Analytical Chemistry*, *22*, 1156-1158. https://doi.org/10.1021/ac60045a016

Naguib, A. E.-M. M., El-Baz, F. K., Salama, Z. A., Hanaa, H. A. E. B., Ali, H. F., & Gaafar, A. A. (2012). Enhancement of phenolics, flavonoids and glucosinolates of Broccoli (*Brassica olaracea*, var. Italica) as antioxidants in response to organic and bio-organic fertilizers. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, *11*(2), 135-142. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2012.03.001

Naser, A. A. (2017). Study of response *Trigonella foenum-graecum* to spraying with high potassium (Miller) and high phosphor (Agroleaf). *Tikrit Journal of Pure Science*, *22*(9), 6-10. https://doi.org/10.25130/tjps.v22i9.866

Neisani, S., Fallah, S., & Raiesi, F. (2011). The effect of poultry manure and urea on agronomic characters of forage Maize under drought stress conditions. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *21*(4), 63-74. (In Persian with English abstract)

Nguyen, P. M., Kwee, E. M., & Niemeyer, E. D. (2010). Potassium rate alters the antioxidant capacity and phenolic concentration of basil (*Ocimum basilicum* L.) leaves. *Food Chemistry*, *123*(4), 1235-1241. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.05.092

Nojavan, S., Naseri, L., & Hasanpour, H. (2016). The effect of foliar spraying of potassium sulfate and zinc sulfate on some physical and chemical characteristics of red quince variety grapes. *Bi-quarterly Journal of Plant Production Technology*, *8*(2), 195-213(In Persian with English abstract). http://doi.org/10.22084/PPT.2016.1865

Oosterhuis, D. M., Loka, D. A., & Raper, T. B. (2013). Potassium and stress alleviation: Physiological functions and management of cotton. *Journal of Plant Nutrition Soil Science*, *176*(3), 331-343. https://doi.org/10.1002/jpln.201200414

Prasad, D., Singh, R., & Singh, A. (2010). Management of sheath blight of rice with integrated nutrients. *Indian Phytopathology, 63*(1), 11 .

Rostaei, M., & Fallah, s. (2016). Assessment of canopy characteristics and essential oil yeild of fenugreek and black cumin in intercropping under application of organic and chemical ferilizer. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 25*(4), 1-23. (In Persian with English abstract)

Salama, Z. A., El Baz, F. K., Gaafar, A. A., & Zaki, M. F. (2015). Antioxidant activities of phenolics, flavonoids and vitamin C in two cultivars of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill (.in responses to organic and bio-organic fertilizers. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 14*(1), 91-99. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2013.10.004

Salehi, A., Fallah, S., Abasi Sourki, A., & Tadayon, M. R. (2017). Evaluation of yield and yield components of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) and buckwheat (Fagopyrum esculentum Moench) under organic and chemical fertilizers *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 33*(2), 338-352. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2017.106802.1804

Samavat, S., Pazki, A. R., Laden Moghadam, A. R., & Samawat, S. (2017). *Applied principles of organic materials in agriculture*. Publications of Islamic Azad University, Garmsar branch. (In Persian).

Sanei, S. J., & Razavi, S. I. (2018). Effects of potassium nitrate on growth and photosynthetic pigments of basil under *Colletotrichum gloeosporioides* infection. *Horticultural Plants Nutrition, 1*(1), 49-58. (In Persian with English abstract). http://doi.org/10.22070/HPN.2018.454

Scharf, P. C., Kitchen, N. R., Sudduth, K. A., Davis, J. G., Hubbard, V. C., & Lory, J. A. (2005). Field-scale variability in optimal nitrogen fertilizer rate for corn. *Agronomy Journal, 97*(2), 452-461. https://doi.org/10.2134/agronj2005.0452

Serra Bonvehí, J., Soliva Torrentó, M., & Centelles Lorente, E. (2001). Evaluation of polyphenolic and flavonoid compounds in honeybee-collected pollen produced in Spain. *Journal of agricultural food chemistry, 49*(4), 1848-1853. https://doi.org/10.1021/jf0012300

Soares, A. G., Trugo, L. C., Botrel, N., & da Silva Souza, L. F. (2005). Reduction of internal browning of pineapple fruit (*Ananas comusus* L.) by preharvest soil application of potassium. *Postharvest Biology Technology, 35*(2), 201-207. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2004.07.005

Tabatabaei, S. J. (2018). *Principles of plant mineral nutrition*. First edition, author's publications. Tabriz.

Taber, H., Perkins-Veazie, P., Li, S., White, W., Rodermel, S., & Xu, Y. (2008). Enhancement of tomato fruit lycopene by potassium is cultivar dependent. *HortScience, 43*(1), 159-165. https://doi.org/10.21273/hortsci.43.1.159

Tavallali, V., Esmaili, S., & Karimi, S. (2018). Nitrogen and potassium requirements of tomato plants for the optimization of fruit quality and antioxidative capacity during storage. *Journal of Food Measurement Characterization, 12*(2), 755-762. https://doi.org/10.1007/s11694-017-9689-9

Tehranifar, A., & Tabar, S. M. (2009). Foliar application of potassium and boron during pomegranate (*Punica granatum*) fruit development can improve fruit quality. *Horticulture Environment Biotechnology, 50*(3), 191-196 .

Turkmen, N., Sari, F., & Velioglu, Y. S. (2005). The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. *Food Chemistry, 93*(4), 713-718. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.12.038

Vojodi Mehrabani, l. (2020). The effects of organic and chemical fertilizers on some morphological and physiological traits of Petroselinum crispum *Journal of Plant Ecophysiology, 12*(2), 86-96. (In Persian with English abstract). http://doi.org/20.1001.1.20085958.1399.12.41.8.5

Wani, S. A., & Kumar, P. (2018). Fenugreek: A review on its nutraceutical properties and utilization in various food products. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 17*, 97–106. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.01.007

Yazdani Biuki, R., Rezvani Moghaddam2, P., Khazaie, H. R., & Astaraei, A. (2010). Qualitative and qualitative characteristics of milk thistle (*Silybum marianum* L.) in response to organic, biological and chemical fertilizers *Journal of Agroecology*, *2*(4), 548-555. (In Persian with English abstract). http://doi.org/0.22067/JAG.V2I4.8783

Zahoor, R., Zhao, W., Dong, H., Snider, J. L., Abid, M., Iqbal, B., & Zhou, Z. (2017). Potassium improves photosynthetic tolerance to and recovery from episodic drought stress in functional leaves of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Plant Physiology Biochemistry*, *119*, 21-32. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.08.011

Zgallaï, H., Steppe, K., & Lemeur, R. J. J. o. I. P. B. (2006). Effects of different levels of water stress on leaf water potential, stomatal resistance, protein and chlorophyll content and certain

anti-oxidative enzymes in tomato plants. *Journal of Integrative Plant Biology, 48*(6), 679-685. https://doi.org/10.1111/j.1744-7909.2006.00272.x

Zhao, X., Liu, Y., Liu, X., & Jiang, J. (2018). Comparative transcriptome profiling of two tomato genotypes in response to potassium-deficiency stress. *International Journal of Molecular Sciences, 19*(8), 2402. https://doi.org/10.3390/ijms19082402

Zörb, C., Senbayram, M., & Peiter, E. (2014). Potassium in agriculture–status and perspectives. *Journal of plant physiology, 171*(9), 656-669. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.08.008

نسخه پیش انتشار