



شماره ۲

جلد ۲۰

سال ۱۴۰۱

(شماره پیاپی: ۶۶)

نشریه علمی

پژوهشهای زراعی ایران

شاپا: ۱۴۷۲-۲۰۰۸

عنوان مقالات

مقالات پژوهشی

- بررسی ضرایب همبستگی، تجزیه علیت صفات عملکرد دانه و برخی صفات فنولوژیک و مورفولوژیک
توده‌های بومی شنبلیله (*Trigonella foenum-graceum*) در شرایط تنش خشکی ۱۲۳
حمیدرضا اخیایی، محمد کافی، احمد نظامی، محمدحسین فتوکیان، مرتضی گلدانی
- تأثیر مقدار و تقسیم کود نیتروژن بر عملکرد و مقدار نیترات غده سیب‌زمینی رقم مارفونا ۱۳۹
امیر هوشنگ جلالی
- بهبود جذب عناصر غذایی، عملکرد و اجزای عملکرد گندم با ترکیبات محرک رشد تحت آبیاری
نرمال و تنش خشکی ۱۴۹
مجید رجایی
- بهبود جذب عناصر غذایی، صفات فیزیولوژیک و عملکرد دانه گیاه سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.)
با کاربرد کود ورمی کمپوست در تاریخ‌های مختلف کاشت ۱۶۵
عبدالعظیم بهرامی فرد، محمد رضا بازاریار
- اثر مدیریت نظام زراعی بر عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص تنوع علف‌های هرز در تولید سیب‌زمینی
(*Solanum tuberosum* L.) ۱۸۱
حمیدرضا بهره ور، محسن جهان، پرویز رضوانی مقدم
- پاسخ ریحان (*Ocimum bacilicum* L.) به منابع مختلف تغذیه‌ای در رقابت با علف‌های هرز ۱۹۹
اسماعیل معافی، فائزه زعفریان، وحید اکبرپور، ایران‌دخت منصوری
- اثر دور آبیاری و کودهای نیتروژن و پتاسیم بر عملکرد، اجزای عملکرد و صفات برنج رقم گیلانه ۲۱۹
زهرا ربیعی، ناصر محمدیان روشن، سید مصطفی صادقی، ابراهیم امیری، حمیدرضا درودیان
- اثرات سیلیس و روی بر کمیت و کیفیت دانه و روغن کلزا در تاریخ‌های متفاوت کاشت ۲۳۱
مهرعلی شاه مردان، الیاس رحیمی پطرودی، علیرضا دانشمند، حمیدرضا مبصر

نشریه پژوهشهای زراعی ایران

«نشریه علمی قطب علمی گیاهان زراعی ویژه»

با شماره ثبت 124/7857 از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی و

82/5/27

درجه علمی - پژوهشی شماره 3/11/74509 از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

89/10/21

"بر اساس مصوبه وزارت عتف از سال 1398، کلیه نشریات دارای درجه "علمی-پژوهشی" به نشریه "علمی" تغییر نام یافتند."

سال 1401

شماره 2

جلد 20

صاحب امتیاز:

دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر مسئول:

پرویز رضوانی مقدم

سرمدیر:

حمیدرضا خزاعی

استاد - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه فردوسی مشهد)

استاد - اکرواکولوژی (دانشگاه فردوسی مشهد)

اعضای هیئت تحریریه:

مجید آقاعلیخانی

استاد - اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی و علف های هرز (دانشگاه تربیت مدرس، تهران)

پرویز احسان زاده

استاد - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه صنعتی اصفهان)

یحیی امام

استاد - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه شیراز)

عبدالرضا باقری

استاد - ژنتیک و اصلاح نباتات (دانشگاه فردوسی مشهد)

محمدعلی بهدانی

استاد - اکولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه بیرجند)

محمد بنایان اول

استاد - مدل سازی سیستم های کشاورزی (دانشگاه فردوسی مشهد)

مجید جامی الاحمدی

دانشیار - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه بیرجند)

یعقوب راعی

استاد - اکولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه تبریز)

حمیدرضا خزاعی

استاد - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه فردوسی مشهد)

حمید رحیمیان مشهدی

استاد - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه تهران)

غلامرضا زمانی

دانشیار - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه بیرجند)

احمد زارع فیض آبادی

استاد - اکولوژی گیاهان زراعی (مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی)

فرج اله شهریاری احمدی

استاد - ژنتیک و اصلاح نباتات (دانشگاه فردوسی مشهد)

محمد کافی

استاد - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه فردوسی مشهد)

احمد نظامی

استاد - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه فردوسی مشهد)

احسان عیشی رضایی

مدلسازی گیاهی (مرکز مطالعات کشاورزی بنیاد لابنیتز (زالف)، آلمان)

اعظم لشکری

فیزیولوژی گیاهی محیطی (مرکز تحقیقات سیمیت، دانشگاه کشاورزی هنان، چین)

ناشر: انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد

نشانی: مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، دبیرخانه نشریات علمی، نشریه پژوهشهای زراعی ایران صندوق پستی 91775-1163

پست الکترونیک: cesc@um.ac.ir

مقالات این شماره در سایت <https://jcsc.um.ac.ir> به صورت مقاله کامل نمایه شده است.

این نشریه در پایگاه های زیر نمایه می شود:

پایگاه استنادی جهان اسلام (ISC) پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID) بانک اطلاعات نشریات کشور (MAGIRAN)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مندرجات

مقالات پژوهشی

- 123 بررسی ضرایب همبستگی، تجزیه علیت صفات عملکرد دانه و برخی صفات فنولوژیک و مورفولوژیک توده‌های بومی سنبليله (*Trigonella foenum-graceum*) در شرایط تنش خشکی
حمیدرضا اخیایی، محمد کافی، احمد نظامی، محمدحسین فتوکیان، مرتضی گللدانی
- 139 تأثیر مقدار و تقسیم کود نیتروژن بر عملکرد و مقدار نیترات غده سیب‌زمینی رقم مارفونا
امیر هوشنگ جلالی
- 149 بهبود جذب عناصر غذایی، عملکرد و اجزای عملکرد گندم با ترکیبات محرک رشد تحت آبیاری نرمال و تنش خشکی
مجید رجایی
- 165 بهبود جذب عناصر غذایی، صفات فیزیولوژیک و عملکرد دانه گیاه سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) با کاربرد کود ورمی کمپوست در تاریخ‌های مختلف کاشت
عبدالعظیم بهرامی فرد، محمد رضا بازاریار
- 181 اثر مدیریت نظام زراعی بر عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص تنوع علف‌های هرز در تولید سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.)
حمیدرضا بهره ور، محسن جهان، پرویز رضوانی مقدم
- 199 پاسخ ریحان (*Ocimum bacilicum* L.) به منابع مختلف تغذیه‌ای در رقابت با علف‌های هرز
اسماعیل معافی، فائزه زعفریان، وحید اکبرپور، ایران‌دخت منصوری
- 219 اثر دور آبیاری و کودهای نیتروژن و پتاسیم بر عملکرد، اجزای عملکرد و صفات برنج رقم گیلانه
زهرا ربیعی، ناصر محمدیان روشن، سید مصطفی صادقی، ابراهیم امیری، حمیدرضا درودیان
- 231 اثرات سیلیس و روی بر کمیت و کیفیت دانه و روغن کلزا در تاریخ‌های متفاوت کاشت
مهرعلی شاه مردان، الیاس رحیمی پطرودی، علیرضا دانشمند، حمیدرضا مبصر



Evaluation of Correlation Coefficient and Factor Analysis for Seed Yield, Some Phenological and Morphological Traits of Fenugreek (*Trigonella foenum-graceum*) Landraces in Drought Conditions

H. R. Ehyae¹, M. Kafi^{2*}, A. Nezami³, M. H. Fotokian³, M. Goldani⁴

Received: 17-12-2018

Revised: 05-01-2019

Accepted: 09-01-2019

How to cite this article:

Ehyae, H. R., Kafi, M., Nezami, A., Fotokian, M. H., and Goldani, M. 2022. Evaluation of Correlation Coefficient and Factor Analysis for Seed Yield, Some Phenological and Morphological Traits of Fenugreek (*Trigonella foenum-graceum*) Landraces in Drought Conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 20 (1): 121-136. (in Persian with English abstract). DOI: [10.22067/jcesc.2020.38275](https://doi.org/10.22067/jcesc.2020.38275).

Introduction

Fenugreek (*Trigonella foenum-graceum*) is an annual plant belong to Fabaceae and is one of the traditional medicinal plants worldwide. It can provide seed and protein suitable for human's nutrition as well as animals. Water scarcity is a key threat in twenty-first century. On average, 40% of the world land surface are drylands, while this surface area is 90% in Iran. Supplying water requirement of Fenugreek through irrigation is an important factor affecting its growth and yield.

Material and Methods

The experiment was conducted as split plots based on randomized complete block design with three replications at the Research Farm, Faculty of Agriculture of Shahed University, Iran, in 2014 and 2016. The main-plot was three levels of drought stress, included severe drought stress (20% field capacity), moderate drought stress (40% field capacity), mild drought stress (60% field capacity) and non-drought stress (80% field capacity) as control. Sub plots were nine Fenugreek ecotypes including Neyshabur, Shirvan, Mashhad, Tabriz, Roudsar, Isfahan, Hamadan, Ardestan and Shiraz. At maturity, and the plants were harvested from the soil surface and the plant height and number of lateral branches, number of pod per plant, number of seed per pod, 1000 seed weight, seed yield and aboveground biological yield were measured in the lab. Statistical analysis carried out using SPSS version 16 software. Significant difference was set at $p \leq 0.05$ by using Duncan's multiple range test.

Results and Discussion

Results of stepwise regression showed that the traits including biomass, harvest index, branch length and number of pods per plant explained 96.7% of grain yield variation, respectively. Factor analysis for morphologic, yield and component yield traits showed the first three independent factors explained 93.48% of total variance in all genotypes. Days to maturity with 36.47% of total variance had the highest amount in the first factor, while, number of seeds per plant and seed yield with 29.74% and 27.07% of total variance were ranked as second and third factors, respectively. Cluster analysis by Ward's minimum variance, clustered ecotypes into three groups including 1- Isfahan, Ardestan, Hamedan and Shiraz 2- Mashhad and Tabriz 3- Shirvan, Rudsar and Neyshabur. The results showed that, the plant height, Internode length, number of pod and seed per plant, 1000 seed weight, biological and seed yield and harvest index significantly affected by drought stress and ecotypes. The highest plant height, number of pods, 1000 seed weight, biomass, seed yield

1- PhD Student, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2- Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

3- Associate Professor, Department of Agronomy, College of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran

4- Associate Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

(Corresponding Author Email: m.kafi@um.ac.ir)

DOI: [10.22067/jcesc.2020.38275](https://doi.org/10.22067/jcesc.2020.38275)

and harvest index was recorded in Shirvan ecotype while, the longest day to maturity and height of first pod were observed in Neyshabur ecotype at 80% FC. The highest plant height, the first formed pod, 1000 seed weight, seed yield and harvest index in Shirvan ecotype were observed in the 40% FC.

Conclusion

Drought stress reduced all studied traits in all Fenugreek ecotypes in this experiment. For seed yield, the performance of shirvan ecotype was the best compare to other ectypes in control and mild and moderate stress condition. The highest distance of the first pod from the soil surface in the control condition was observed in the Neyshabur ecotype but in the moderate stress condition in Shirvan ecotype, this trait is important for the mechanized cultivation. Based on the results, there is a reliable variation amongst different Iranian Fenugreek ecotypes and they could use for breeding programs against drought stress. It also seems that Shirvan ecotype of Fenugreek can be considered for stable seed and biomass production under moderate drought stress and normal conditions.

Keywords: Cluster analysis, Medicinal plant, Stepwise regression, Water stress

بررسی ضرایب همبستگی، تجزیه علیت صفات عملکرد دانه و برخی صفات فنولوژیک و مورفولوژیک توده‌های بومی سنبليله (*Trigonella foenum-graceum*) در شرایط تنش خشکی

حمیدرضا احیایی^۱، محمد کافی^{۲*}، احمد نظامی^۳، محمدحسین فتوکیان^۳، مرتضی گلدانی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۱۹

چکیده

تنش خشکی مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است و کشت گیاهان دارویی متحمل یکی از راهکارهای کاهش اثرات نامطلوب خشکی در این مناطق محسوب می‌گردد. به‌منظور تعیین همبستگی میان برخی از صفات مورفولوژیک و اجزای عملکرد در توده‌های بومی سنبليله و روابط بین آن‌ها در شرایط تنش خشکی، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد واقع در تهران در دو سال زراعی ۱۳۹۴ و ۱۳۹۶، به‌صورت اسپیلیت پلات در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد و ۹ توده بومی سنبليله (نیشابور، شیروان، مشهد، تبریز، رودسر، اصفهان، همدان، اردستان و شیراز) تحت تأثیر تیمار شاهد (FC %۸۰)، خشکی ملایم (FC %۶۰)، خشکی متوسط (FC %۴۰) و تنش خشکی شدید (FC %۲۰) ظرفیت زراعی خاک قرار گرفتند. نتایج تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام نشان داد که صفات زیست‌توده، شاخص برداشت، طول شاخه جانبی و تعداد غلاف فرعی ۹۶/۷٪ تغییرات عملکرد دانه را توجیه می‌کنند. نتایج حاصل از تجزیه عامل‌ها بر خصوصیات مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد نشان داد که سه عامل اصلی و مستقل ۹۳/۴۸٪ از تغییرات کل داده‌ها را توجیه نمودند. عامل روز تا رسیدگی ۳۶/۶۷٪ از واریانس کل را به خود اختصاص داد و به‌عنوان بالاترین پارامتر (عامل اول) معرفی شد. عامل‌های تعداد دانه در بوته و عملکرد دانه با دارا بودن ۲۹/۷۴٪ و ۲۷/۰۷٪ از واریانس کل به‌ترتیب در عوامل دوم و سوم بیشترین مقدار را داشتند. تجزیه خوشه‌ای به روش وارد نیز توده‌های بومی مورد بررسی را در سه گروه متفاوت طبقه‌بندی نمود. در تیمار شاهد بیشترین ارتفاع بوته، تعداد غلاف، عملکرد و شاخص برداشت در توده بومی شیروان و بالاترین ارتفاع غلاف از سطح زمین در توده بومی نیشابور مشاهده شد. نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند برای انتخاب هدفمند والدین مناسب از گروه‌های مختلف برای تولید ارقام جدید در برنامه‌های اصلاحی سنبليله مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: تجزیه خوشه‌ای، گیاه دارویی، رگرسیون گام‌به‌گام، تنش رطوبتی

مقدمه

تنش خشکی مهم‌ترین عامل محدودکننده کشت و کار گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است (Rohbaks, 2013)

از این رو برای تولید محصولات زراعی در این مناطق به گیاهان سازگار با خشکی و همچنین گونه‌های مقاوم به تنش خشکی با کارایی بالای استفاده از آب احتیاج است (Baghalian et al., 2011; Razmjoo et al., 2008). توده‌های بومی در مقایسه با ارقام تجاری اصلاح‌شده، سازگاری بیشتری نسبت به شرایط نامطلوب محیطی دارند بنابراین انتخاب آن‌ها برای تولید پایدار محصولات کشاورزی در مناطق تحت تنش مطلوب‌تر است (Bahreininejad et al., 2013).

سنبليله (*Trigonella foenum-graceum*) گیاهی دارویی، یک‌ساله و متعلق به تیره بقولات است (Zandi et al., 2013)، از برگ و بذر این گیاه برای درمان بیماری دیابت، دستگاه گوارش، دستگاه کبدی و کاهش چربی خون استفاده می‌شود (Kumar et al., 2015). سنبليله گیاهی متحمل به خشکی است که مانند سایر گیاهان خانواده بقولات، با باکتری‌های جنس ریزوبیوم همزیستی دارد و بر

۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه آگروتکنولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- استاد گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۳- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

۴- دانشیار گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

(Email: m.kafi@um.ac.ir)

(*)- نویسنده مسئول:

تحقیقی، بر روی سی ژنوتیپ شنبلیله انجام شد، شش عامل عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، وزن خشک در هنگام گلدهی، محتوی کلروفیل کل، تعداد شاخه جانبی و وزن هزار دانه در تجزیه عاملی به عنوان مهم ترین عامل ها برای بهبود عملکرد این گیاه شناخته شدند (Gurjar et al., 2016). در بررسی توده های بومی شنبلیله نتایج تجزیه عاملی نشان داد، عامل های وزن دانه در گیاه (۸۳٪) و وزن هزار دانه (۴۸٪) بیشترین اثر بر روی عملکرد دانه داشتند (Fikreselassie et al., 2012).

تحقیقات گسترده ای اثر تنش خشکی بر روی محصولات زراعی را روشن نموده است، اما به نظر می رسد تاکنون واکنش گیاهان دارویی به تنش خشکی به خوبی مطالعه نشده است. از آنجاکه کشت گیاهان دارویی بومی از جمله شنبلیله در ایران اخیراً مورد توجه زیادی قرار گرفته است انجام تحقیقات بیشتر در زمینه ی تأثیر تنش خشکی بر روی شاخص های مختلف رشدی و همچنین بهبود بهره وری مصرف آب در زراعت آن ها مورد نیاز است. با توجه به این که در مناطق خشک و نیمه خشک در بین منابع تولید، بهره برداری بهینه از آب در تولید شنبلیله از اهمیت زیادی برخوردار است (Gorgini Shabankareh et al., 2015) و از طرفی شاخص های مهم عملکرد و مورفولوژیک این گیاه در شرایط تنش هنوز به خوبی شناسایی نشده است لذا این پژوهش با هدف مطالعه عملکرد و اجزای عملکرد توده های بومی های شنبلیله در پاسخ به سطوح مختلف تنش خشکی و تعیین مهم ترین صفات مؤثر در عملکرد شنبلیله صورت گرفت.

مواد و روش ها

این آزمایش در دو سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ و ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه ی تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد تهران با طول جغرافیایی ۵۱°۸' شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵°۳۴' شمالی و ارتفاع ۱۱۹۰ متری از سطح دریا اجرا شد (به دلیل عدم استقرار مناسب گیاهان در مزرعه در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴، آزمایش سال دوم در سال زراعی بعدی انجام شد). منطقه دارای اقلیم خشک (بر پایه طبقه بندی سیلیانیف) و متوسط بارندگی و درجه حرارت سالانه به ترتیب ۲۳۸/۹ میلی متر و ۱۷/۷ درجه سانتی گراد بود. داده های میانگین بارندگی، دما و میانگین حداکثر و حداقل دما مربوط به ماه های رویش شنبلیله در مزرعه در جدول ۱ نشان داده شده است. آزمایش ها به صورت کرت های خرد شده (اسپلیت پلات) در قالب طرح پایه ی بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. کرت اصلی شامل چهار سطح آبیاری (۲۰٪ ظرفیت زراعی (تنش شدید)، ۴۰٪ ظرفیت زراعی (تنش متوسط)، ۶۰٪ ظرفیت زراعی (تنش ملایم) و ۸۰٪ ظرفیت زراعی (بدون تنش؛ شاهد) و کرت های فرعی ۹ توده بومی شنبلیله (نیشابور، شیروان، مشهد، تبریز، رودسر، اصفهان، همدان، اردستان و شیراز) بودند.

این اساس به عنوان یک لگوم خشکی پسند می تواند در تناوب های مختلف با گیاهان زراعی به منظور تولید علوفه و افزایش باروری خاک قرار گیرد (Sadeghzadeh Ahari et al., 2009; Acharya et al., 2008). در توده های بومی شنبلیله در ایران تنوع بالایی وجود دارد که می تواند در پژوهش های مربوط به سازگاری این گیاه به شرایط خشک و نیمه خشک مورد مطالعه قرار گیرد (Sadeghzadeh Ahari et al., 2014; Bazzazi et al., 2013).

زراعت گیاهان دارویی متحمل به خشکی را می توان یکی از راهکارهای مطلوب برای توسعه کشت و کار در مناطق خشک و کم آب دانست (Ennajeh et al., 2010). گیاهان در مواجهه با تنش خشکی رشد رویشی خود را کوتاه کرده و زودتر به مرحله گلدهی می روند (Aliabadi et al., 2009) تنش خشکی با محدود کردن میزان آب در دسترس گیاه موجب زودرسی گیاه شده و کاهش زیست توده گیاه می شود. تنش خشکی موجب کاهش دوره گل دهی و تسریع در رسیدگی فیزیولوژیک بذر سه گونه بابونه (*Matricaria spp.*) شد (Houshmand et al., 2012). در مطالعه ای که بر روی توده بومی شنبلیله انجام شد تنش خشکی موجب کاهش دوره رشد رویشی و تسریع فرآیند گل دهی و رسیدگی گیاهان تحت تنش گردید (Sadeghzadeh Ahari et al., 2014). در مطالعاتی دیگر تنش خشکی منجر به کاهش دوره رویشی و در نتیجه کاهش زیست توده و کاهش ارتفاع گیاه همیشه بهار (*Calendula officinalis*)، و بادرنجبویه (*Rahmani et al., 2008*) و بادرنجبویه (*Aliabadi et al., 2009*) شد. علوی سامانی و همکاران (Alavi samani et al., 2013) در بررسی اثر تنش خشکی بر روی دو گونه آویشن معمولی (*Thymus vulgaris* L.) و آویشن دنایی (*T. daenensis*) دریافتند تنش خشکی موجب کاهش ارتفاع گیاهان مورد مطالعه شد.

برای اصلاح گیاهان، صفات زراعی زیادی توسط محققان اندازه گیری می گردد که ممکن است دارای اهمیت زیادی نباشند (Raychaudhuri et al., 2000). از این رو می توان از طریق تجزیه علیت صفات مهم تر را جهت اصلاح گیاهان زراعی استفاده کرد (Fikreselassie et al., 2012). برای مطالعه تنوع و ارتباط بین خصوصیات مهم زراعی در ارقام گیاهی، استفاده از خصوصیات مورفولوژیکی جهت بررسی ژرم پلاست و طبقه بندی آن در گیاهان انجام می گردد (Smith and Smith, 1992)، متخصصان اصلاح نبات از تجزیه خوشه ای برای تعیین خویشاوندی یا عدم خویشاوندی ژنوتیپ های مورد بررسی، در جمعیت های گیاهی استفاده می کنند (Mohammadi et al., 2003). در بررسی محققان بر روی بیست و یک اکوتیپ یونجه، شش عامل توانست ۸۰/۵٪ از تغییرات را توجیه نماید، اکوتیپ های مورد بررسی با استفاده از تجزیه خوشه ای به چهار گروه مجزا تقسیم بندی شدند (Basafa and Taherian, 2009). در

جدول ۱- داده‌های دما و بارش ایستگاه سینوپتیک فرودگاه امام خمینی (نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به مزرعه آزمایشی) در طول دوره آزمایش طی سال‌های آزمایش

Table 1- Temperature and precipitation data of synoptic meteorological station of Immam Khomeini Airport (The nearest meteorological station to experimental farm) during years of the experiment

سال Year	ماه Month	میانگین حداقل دما Average minimum temperature (°C)	میانگین حداکثر دما Average maximum temperature (°C)	میانگین ماهانه دما Average temperature (°C)	مجموع بارندگی Total rainfall (mm)
2014 2015	فروردین April	11.2	20.5	15.9	31.0
	اردیبهشت May	17.2	28.2	22.7	2.0
	خرداد June	23.3	35.0	27.2	2.0
	تیر July	25.7	37.7	31.5	9.1
	مرداد August	24.9	36.6	30.7	0.0
2016 2017	فروردین April	10.1	19	14.5	29.2
	اردیبهشت May	16.6	27.8	22.3	25.6
	خرداد June	22.2	34.5	28.4	0.0
	تیر July	24.0	36.2	30.1	6.1
	مرداد August	24.6	36.2	30.3	0.0

عملیات آماده‌سازی زمین برای کاشت بذور در اسفند ماه سال قبل از هر آزمایش با استفاده از گاوآهن برگردان‌دار و دو بار دیسک عمود بر هم و همچنین استفاده از لولر انجام شد. سپس، با استفاده از فاروئر ردیف‌هایی با فاصله ۵۰ سانتی‌متر ایجاد و کرت‌هایی با مساحت شش مترمربع تهیه شد. بذور از مراکز جهاد کشاورزی شهرستان‌های نیشابور، شیروان، مشهد، تبریز، رودسر، اصفهان، همدان، اردستان و شیراز و یا از کشاورزان معتبر هر منطقه تهیه شد. عملیات کاشت بسته به شرایط آب و هوایی در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در سوم فروردین و در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ در هجدهم فروردین انجام شد. فاصله کاشت بذرها روی ردیف چهار سانتی‌متر بود. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت و دومین آبیاری به‌منظور تسهیل خروج گیاهچه‌ها از خاک سه روز پس از کاشت تا حد ظرفیت مزرعه‌ای انجام شد و آبیاری‌های بعدی تا پایان فصل رشد با در نظر گرفتن تیمارهای آزمایش به روش نشتی و بر اساس روش رطوبت وزنی خاک انجام شد. پس از استقرار گیاه تنک کردن گیاهان در مرحله چهار برگی برای رسیدن به تراکم مناسب انجام گرفت و علف‌های هرز نیز در

طول دوره رشد به‌صورت دستی کنترل شدند.

برای تعیین ظرفیت زراعی به‌منظور اعمال تیمارهای آبیاری، اندازه‌گیری رطوبت خاک به روش وزنی انجام شد (Alizadeh, 2006)، بدین منظور پس از آبیاری هر ۲۴ ساعت یک‌بار اقدام به برداشت نمونه خاک از عمق توسعه ریشه (۰ تا ۳۰ سانتی‌متری) شد. نمونه‌های برداشت‌شده بلافاصله توزین شده و پس از قرار دادن آن‌ها در آون با دمای ۱۰۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲ ساعت، مجدداً وزن شدند و پس از محاسبه درصد رطوبت نمونه، این شاخص به‌عنوان ظرفیت زراعی منظور شد. پس‌از آن، در صورت نیاز تا رساندن رطوبت خاک به درصد رطوبت موردنظر برای هر تیمار، حجم آب معین با استفاده از کنتور حجمی به هر کرت اضافه شد.

در طول دوره رشد، برای تمامی تیمارها زمان گل‌دهی و رسیدگی و ارتفاع اولین غلاف از سطح خاک گیاهان ثبت شد. (توده‌های بومی دارای ارتفاع بلندتر اولین غلاف از سطح زمین برای برداشت مکانیزه گیاهان مطلوب‌تر است). در انتهای فصل رشد، به‌منظور تعیین خصوصیات مورفولوژیکی و اجزای عملکرد، هفت بوته از هر کرت

به صورت تصادفی برداشت شد و پس از انتقال به آزمایشگاه ارتفاع بوته و طول ساقه اصلی و تعداد و طول شاخه‌های فرعی و ارتفاع اولین غلاف نسبت به طوقه گیاه (نسبت به سطح زمین) و نیز تعداد غلاف در بوته تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه اندازه‌گیری شد. همچنین، پس از حذف دو ردیف کناری و نیز نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت به عنوان اثر حاشیه، مابقی سطح کرت برداشت و دانه‌ها از غلاف جدا شد پس از توزین گیاهان و دانه‌های جداشده، داده‌های مذکور برای محاسبه عملکردهای دانه و زیست‌توده استفاده شد. شاخص برداشت نیز از تقسیم عملکرد دانه بر کل وزن زیست‌توده تولیدی (دانه+کاه) به دست آمد.

تجزیه عاملی (به منظور کاهش تعداد داده‌ها و همچنین تعیین متغیر دارای اهمیت بالاتر)، بررسی همبستگی مناسب بین متغیرها و همچنین کفایت اندازه نمونه به ترتیب با استفاده از آزمون کیزر مایر^۱ و آزمون کرویت بارتلت^۲ انجام شد. با توجه به نتایج آزمون کیزر مایر، همبستگی بین متغیرها برای تجزیه عاملی مناسب بود و معنی‌دار شدن آزمون کرویت بارتلت نشان داد، اندازه نمونه برای تجزیه عاملی مناسب بود بنابراین بزرگ‌ترین ضریب عاملی در هر عامل برای نام‌گذاری عامل‌ها مورد استفاده قرار گرفت. همچنین، از میانگین حاصل از ارزیابی توده‌های بومی در طی دو سال زراعی برای انجام تجزیه خوشه‌ای به روش دورترین همسایه‌ها با برآورد فاصله اقلیدسی بین افراد برای شناسایی و تعیین گروه‌های خویشاوند بر اساس داده‌های استاندارد شده استفاده گردید. رگرسیون چندگانه به روش گام به گام انجام شد و در آن فرضیات انجام رگرسیون شامل مستقل بودن خطای آزمایشی (آزمون دوربین-واتسون)، نرمال بودن خطای آزمایشی، وجود یا عدم وجود هم‌راستایی و بررسی داده‌های پرت مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از آزمون بارتلت داده‌های هر دو سال آزمایش جهت آزمون یکنواخت بودن واریانس بررسی شد و با توجه به معنی‌دار نبودن این آزمون، از تجزیه مرکب داده‌های دو سال استفاده گردید، تجزیه و تحلیل داده‌ها و ترسیم شکل با استفاده از نرم‌افزار SPSS Ver.16 و مقایسه‌ی میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

روز تا رسیدگی: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر تمامی عامل‌های سال، تنش (خشکی) و توده بومی و اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه آن‌ها بر تعداد روز تا رسیدگی معنی‌دار بود (جدول ۲). تنش خشکی موجب کاهش روز تا رسیدگی در بیشتر توده‌های بومی شنبلیله گردید. در تیمار شاهد بیشترین روز تا رسیدگی در توده

بومی نیشابور و کمترین روز تا رسیدگی در توده بومی اردستان مشاهده شد (جدول ۴). در اثر متقابل تنش خشکی و توده‌های بومی بیشترین و کمترین درصد کاهش روز تا رسیدگی در تنش شدید خشکی در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب در توده‌های بومی نیشابور (۲۰/۷٪) و اردستان (۹/۶۷٪) مشاهده شد (جدول ۴). دلیل این امر را می‌توان تیپ رویشی خزنده و خصوصیات ژنتیکی این توده بومی دانست. توده بومی اردستان به علت داشتن رسیدگی فیزیولوژیک سریع‌تر نسبت به سایر توده‌های مورد بررسی می‌تواند از تنش خشکی فرار کند. در سال دوم آزمایش برخورد زمان غلاف‌دهی و دانه‌بندی توده‌های بومی‌های مورد مطالعه با دماهای بالاتر، تاریخ رسیدگی فیزیولوژیک نسبت به سال اول تسریع گردید (جدول ۳). به نظر می‌رسد گل‌دهی زود هنگام برخی از توده‌های بومی موجب عدم برخورد مراحل غلاف‌دهی و دانه‌بندی بین آن‌ها با تنش دمایی آخر فصل و تخفیف اثر تنش خشکی بر روی رسیدگی فیزیولوژیکی آن‌ها شده است (Sadeghzadeh Ahari et al., 2014). در مطالعه‌ای که به بررسی روی توده‌های بومی شنبلیله در هندوستان انجام شد، بین توده‌های بومی تنوع کمی در روز تا گل‌دهی و روز تا رسیدگی مشاهده شد، از این رو این توده‌ها سازگاری کمی را در مواجهه با تغییرات دمایی آخر فصل داشتند (Chandra et al., 2000). در مطالعه‌ای که محققان بر روی توده‌های بومی شنبلیله انجام دادند، بیشترین تعداد روز تا گل‌دهی و رسیدگی در تیمار شاهد (بدون تنش) مشاهده شد (Sadeghzadeh Ahari et al., 2009; Sadeghzadeh Ahari et al., 2014; Bazzazi et al., 2013). در بررسی اثر خشکی بر روی گیاه دارویی بابونه نیز تنش خشکی موجب کاهش زمان رسیدگی و دوره گل‌دهی شد در گیاهان تحت تنش نسبت به تیمار شاهد گردید (Houshmand et al., 2012).

صفات مورفولوژیک: تجزیه واریانس مرکب داده‌های مربوط به صفات مورفولوژیک نشان داد، بین تیمارها در دو سال زراعی آزمایش، از نظر طول میانگره، طول شاخه جانبی و ارتفاع اولین غلاف تشکیل شده اختلاف معنی‌داری وجود داشت، اما از ارتفاع بوته از این عامل اثر معنی‌داری نپذیرفت. همچنین اثر سایر عامل‌ها و اثرات متقابل آن‌ها شامل عامل‌های تنش (خشکی)، توده بومی و اثرات متقابل سال-تنش، توده بومی-تنش، توده بومی-سال و اثر متقابل سه‌گانه سال-توده بومی-تنش بر ارتفاع بوته، طول میانگره، طول شاخه جانبی و ارتفاع اولین غلاف تشکیل شده معنی‌دار بود (جدول ۲).

ارتفاع بوته و طول میانگره: در تیمار تنش شدید خشکی، ارتفاع بوته در توده بومی نیشابور نسبت به تیمار شاهد ۳۸/۷۳٪ کاهش یافت، بیشترین میزان کاهش این شاخص در بین توده‌های شنبلیله بود. کمترین کاهش این شاخص نیز در توده بومی همدان (حدود ۲۹/۴۶٪) بود. توده بومی شیروان بیشترین ارتفاع بوته را در تیمار شاهد و تنش ملایم داشت (جدول ۴).

1- Kaiser Meyer Olkin KMO
2- Bartlett test of sphericity

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مختلف مورفولوژیک و عملکرد شنبليله تحت تأثیر توده‌های بومی و تنش خشکی طی دو سال زراعی ۱۳۹۳-۹۴ و ۱۳۹۵-۹۶

Table 2- ANOVA of different morphological and yield traits of Fenugreek landraces in two growth seasons of 2013-14 and 2015-16

میانگین مربعات Mean squares												
منبع تغییرات SOV	درجه آزادی d.f	روز تا رسیدگی Day to maturity	ارتفاع بوته Plant height	طول میانگره Internode length	طول شاخه جانبی Length branches	ارتفاع اولین غلاف Height of first pod	تعداد غلاف در بوته Total Pods in plant	تعداد دانه در غلاف Seeds in pod	وزن ۱۰۰۰ دانه 1000-seed weight	عملکرد زیست‌توده Biological yield	عملکرد دانه Seed yield	شاخص برداشت Harvest index
سال (Y)	1	14.25**	3.84 ^{ns}	0.02 ^{ns}	6830**	3.70 ^{ns}	1.70**	1.01 ^{ns}	0.24 ^{ns}	248 ^{ns}	24.5 ^{ns}	32**
بلوک (B)	4	3038**	1.50 ^{ns}	0.49**	13.6 ^{ns}	29.33**	65.60**	480**	4.30**	49508**	2443.0**	3108**
تنش (S)	3	1685**	3471**	17.20**	20203**	896**	849**	168**	167**	370078**	40651.0**	1627**
Y×S	3	82.88**	141**	0.04**	134**	21.20**	26.60**	10.30**	14.50**	14393**	1913.0**	1257**
خطای اصلی Main Error	12	2.81 ^{ns}	6.67	0.02	25.6**	3.90	1.14	1.72	0.07	144	26.7	11.5
توده بومی Landrace (L)	8	2138**	161**	2.56**	2396**	69.30**	65**	15.30**	53.90**	12974**	1740.0**	434**
L×S	24	63.63	43.50**	0.16**	648**	11.40**	27.10**	20**	5.49**	8612**	1245.0**	94.60**
L×Y	8	395.50	15.60**	0.13**	248**	13.10**	14.10**	9.13**	3.70**	3054**	506.0**	85.20**
L×Y×S	24	58.71	17.70**	0.167**	187**	2.72*	13.40**	9.08**	2.69**	3071**	521.0**	64.20**
خطای فرعی- Sub-error	128	2	2.60	0.03	5.04	1.66	0.32	2.40	0.23	113	11.7	8.17
CV (%)		2.1	6.9	7.0	11.5	7.8	10.4	10.4	5.3	11.0	10.5	9.2

ns, ** و * به ترتیب به معنای غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد
ns, ** and * means not significant and significant at probability level of 1 and 5 percent, respectively.

در این صفت تحت شرایط خشکی تفاوت نشان دادند (Siddiqui *et al.*, 2015). در مطالعه دیگری که بر روی ژنوتیپ‌های لوبیای قرمز (*Phaseolus coccineus*) انجام شد، همبستگی بالایی بین ارتفاع بوته و طول میانگره مشاهده شد (Naseh Ghafoori *et al.*, 2012). طول میانگره در سال دوم آزمایش در مقایسه با سال اول بیشتر بود، می‌توان دلیل آن را به رشد رویشی بیشتر در سال دوم به دلیل بارندگی بیشتر در ماه‌های اولیه رشد گیاهان تحت تنش نسبت داد (Faraji, 2014). در تحقیقی که محققان که بر روی اثر تنش خشکی بر روی لاین‌های شنبليله در سه سال زراعی انجام دادند، در سال کم باران تنش متوسط و شدید خشکی به ترتیب موجب کاهش ارتفاع بوته در لاین Amber (۱۵ و ۳۲٪) و Tristar (۸ و ۳۱٪) مورد بررسی در مقایسه با تیمار شاهد گردیدند، در سال پر باران در تیمارهای تنش و عدم تنش تفاوتی در ارتفاع گیاه نشان ندادند (Pavlista and Santra, 2016). در بررسی تنش خشکی بر روی گیاه شنبليله تیمار

تنش خشکی با کاهش رشد سلول‌های گیاهی می‌تواند سبب کاهش ارتفاع گیاهان تحت تنش شود (Aryafar *et al.*, 2013). بیشترین و کمترین کاهش طول میانگره در دو توده بومی نیشابور و شیروان به ترتیب با ۵۷/۷۳٪ و ۳۵/۰۶٪ در تنش شدید خشکی در مقایسه با تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۴). دلیل کوتاه‌تر بودن میانگره‌ها در توده بومی نیشابور در تنش خشکی را احتمالاً می‌توان به دلیل خصوصیات ژنتیکی و تیپ رویشی (خواهیده) این گیاه دانست. به‌طور کلی تنش خشکی با تسریع گل‌دهی و کاهش ارتفاع گیاه موجب کاهش طول میانگره در گیاهان تحت تنش می‌گردد. در بررسی ژنوتیپ‌های نخود (*Cicer arietinum*) تحت سطوح مختلف تنش، تنش خشکی موجب کاهش ارتفاع ساقه در تمامی ژنوتیپ‌های مورد بررسی در مقایسه با تیمار شاهد گردید (Mafakheri *et al.*, 2010). در مطالعه‌ای که بر روی ده ژنوتیپ باقلا (*Vicia faba*) انجام شد، بیشترین ارتفاع گیاه در تیمار شاهد مشاهده شد و ژنوتیپ‌ها

کم آبیاری در مقایسه با تیمار شاهد موجب کاهش ۱۵ درصدی ارتفاع گیاه گردید (Ahmed et al., 2018).

طول شاخه جانبی: در اثر متقابل تنش خشکی و اکوتیپ بیشترین و کمترین درصد کاهش طول شاخه جانبی در تنش ۴۰ درصد ظرفیت زراعی در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب در اکوتیپ همدان (۱۰۰٪) و نیشابور (۵۱/۰۹) مشاهده شد، در بین اکوتیپها نیز در تنش ۲۰ درصد ظرفیت زراعی تنها اکوتیپ اصفهان شاخه جانبی تولید کرد (جدول ۴). یکی از اثرات فیزیولوژی تنش خشکی بر روی گیاهان کاهش رشد رویشی به خصوص رشد شاخسارهها است. با توجه به بارندگی بیشتر ماههای ابتدای رشد در سال دوم آزمایش طول شاخه جانبی بالاتر در این سال نسبت به سال اول آزمایش مشاهده شد (جدول ۱). در تیمار عدم تنش بیشترین تعداد شاخه جانبی در بوته مربوط به اکوتیپ نیشابور بود. اکوتیپ نیشابور دارای فرم رشدی خوابیده بود و به جای افزایش ارتفاع، تعداد شاخه جانبی خود را در شرایط عدم تنش افزایش داد. با توجه به تعداد کمتر شاخه جانبی در تیمار شاهد و تنش متوسط در اکوتیپ همدان می توان با تراکم بالاتر این گیاه را کشت نمود. تنش خشکی در ژنوتیپهای نخود موجب کاهش طول شاخههای جانبی به علت رشد نامحدود بودن این گیاه شد و در بین ژنوتیپهای مورد مطالعه تفاوت مشاهده شد (Shaban et al., 2013).

ارتفاع اولین غلاف تشکیل شده: در تنش شدید خشکی ارتفاع اولین غلاف از سطح زمین در توده بومی نیشابور ۵۵/۹۵٪ نسبت به

تیمار شاهد کاهش داشت، در توده بومی اردستان کاهش این شاخص به میزان ۳۶/۰۲٪ ثبت شد. بیشترین ارتفاع اولین غلاف از سطح زمین در تیمار شاهد در توده نیشابور، در تنش ملایم در توده مشهد و نیشابور و در تنش شدید در توده همدان مشاهده شد (جدول ۴). به نظر می رسد پایین تر بودن میانگین دمای ماهانه و بارندگی بالاتر در ماههای ابتدای کشت در سال دوم در مقایسه با سال اول آزمایش، به دلیل افزایش رشد رویشی (افزایش ارتفاع گیاه) قبل از وارد شدن گیاهان به فاز زایشی موجب افزایش ارتفاع اولین غلاف تشکیل شده از سطح زمین در مقایسه با سال اول شده است. از دلایل افزایش ارتفاع تشکیل اولین غلاف در توده بومی نیشابور را می توان گلهی دیر هنگام این توده نسبت به سایر تودههای بومی دانست (Rezvani and Sadeghi, 2007). از سوی دیگر، کاهش ارتفاع غلاف تولیدی در اثر تنش خشکی را می توان به گل دهی سریع تر و تشکیل زودتر اندام زایشی در گیاهان تحت تنش مربوط دانست. همبستگی بالایی بین ارتفاع بوته و طول میانگرمه با ارتفاع اولین غلاف تشکیل شده از سطح زمین وجود داشت (جدول ۵). تنش خشکی موجب کاهش ارتفاع بوته و به تبع آن کاهش ارتفاع اولین اندام زایشی در بوتههای تحت تنش گردید. در مطالعه ای که محققان بر روی ژنوتیپهای گلرنگ (*Carthamus tinctorius*) (Farokhinia et al., 2011) و نخود (Shaban et al., 2012) انجام دادند، کمترین ارتفاع طبق و غلاف تشکیل شده نسبت به سطح زمین در تیمار تنش خشکی مشاهده شد.

جدول ۳- اثر اصلی سال زراعی بر صفات فنولوژیک، مورفولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد تودههای بومی شنبلله

Table 3- Main effect of growth season phenologic, morphologic and yield and yield components of Fenugreek

شاخص برداشت Harvest index (%)	عملکرد دانه Seed yield (g/m ²)	عملکرد زیست توده Biological yield (g/m ²)	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)	تعداد دانه در غلاف Number of Seeds per pod	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	ارتفاع اولین غلاف تشکیل شده The first formed pod (cm)	طول شاخه جانبی length branches (cm)	طول میانگرمه Internode length (cm)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد روز تا رسیدگی Number of days to maturity	سال زراعی Growth sesason
35.05a	28.04b	82.25b	9.04b	10.50a	4.91b	16.38b	13.33a	2.21b	23.52a	78.63a	۹۴-۱۳۹۳ 2014-15
27.54b	35.05a	113.35a	9.35a	7.55b	6.04a	17.16a	24.57b	2.31a	23.43a	71.13b	۹۶-۱۳۹۵ 2016-17

در هر ستون حروف مشترک نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار در تفاوت میانگینها بر اساس آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد می باشد
Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's multiple rang test.

عملکرد و اجزای عملکرد: تمامی اجزای عملکرد شامل تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف، وزن هزار دانه و همچنین

عملکردهای زیست توده و دانه و شاخص برداشت از تیمارهای آزمایش تأثیر معنی داری پذیرفتند (جدول ۲).

تعداد غلاف در بوته: در تنش شدید، تعداد غلاف خشکی توده بومی شیروان ۹۱/۸۳٪ نسبت به تیمار شاهد کاهش پیدا کرد و در توده بومی اصفهان این میزان کاهش برابر با ۷۲/۲۱٪ بود. بیشترین تعداد غلاف در بوته در تیمارهای شاهد توده بومی شیروان، تنش ملایم توده بومی رودسر، تنش متوسط و شدید توده نیشابور مشاهده شد (جدول ۴). با توجه به برخورد زمان گل‌دهی و اوایل غلاف‌دهی گیاهان در سال اول به دمای بالا، شاخص تعداد غلاف در بوته کمتر از سال دوم بود (جدول ۳). در پژوهشی که به مطالعه توده‌های بومی شنبلله پرداخته شده بود، بین توده‌های بومی تنوع زیادی در تعداد غلاف مشاهده شد (Sadeghzadeh Ahari et al., 2014). در تحقیقی دیگر که بر روی توده‌های بومی شنبلله (Sadeghzadeh Ahari et al., 2009; Bazzazi et al., 2013) تحت تنش خشکی انجام شد، بیشترین تعداد اجزای عملکرد در تیمار عدم تنش خشکی مشاهده شد و از سوی دیگر، بین ژنوتیپ‌ها و توده‌های بومی مورد بررسی تفاوت معنی‌داری در شرایط تنش و عدم تنش وجود داشت. در تحقیقی که چائوهان و همکاران (Chauhan et al., 2017) بر روی تعداد غلاف در بوته ژنوتیپ‌های شنبلله تحت تنش خشکی انجام دادند، بیشترین و کمترین درصد کاهش تعداد غلاف در بوته در ژنوتیپ‌های مورد بررسی به ترتیب با ۲۸ و ۳ درصد را در ژنوتیپ‌های Rmt-303 و Rmt-305 نسبت به تیمار عدم تنش مشاهده کردند، در تمامی ژنوتیپ‌های مورد بررسی تنش موجب کاهش تعداد غلاف در بوته گردید.

تعداد دانه در غلاف: در تنش شدید خشکی تعداد دانه در غلاف در توده بومی تبریز ۷۴/۴۹٪ نسبت به تیمار شاهد کاهش پیدا کرد، درحالی‌که این کاهش در توده بومی اردستان تنها حدود ۱۴/۷۸٪ بود (جدول ۴). بیشترین تعداد دانه در غلاف در تیمار بدون تنش (شاهد) توده بومی تبریز، تنش ملایم توده بومی شیراز، تنش متوسط و تنش شدید توده بومی اردستان مشاهده شد (جدول ۴). در سال دوم تعداد دانه در غلاف کمتری نسبت به سال اول مشاهده شد، دلیل آن را می‌توان رشد رویشی بیشتر در سال دوم آزمایش دانست که با تولید غلاف بیشتر، احتمالاً به دلیل محدودیت منبع فیزیولوژیک، تعداد دانه تشکیل شده در هر غلاف کاهش یافت (Bazzazi et al., 2013). اگرچه در این پژوهش اختلاف معنی‌داری بین توده‌های بومی در زمینه‌ی تعداد دانه در غلاف وجود داشت اما در پژوهشی دیگر، مطالعه توده‌های بومی شنبلله نشان داد که بین توده‌های بومی تنوع کمی در تعداد دانه در غلاف وجود دارد (Chandra et al., 2000). یافته‌های پژوهش حاضر با نتایج تحقیق (Sadeghzadeh Ahari et al., 2014) که توده‌های بومی گیاه شنبلله را مطالعه کرده بودند مطابقت

دارد. این محققان گزارش کردند که بیشترین تعداد دانه در غلاف در تیمار شاهد خشکی مشاهده شد و در بین توده‌های بومی مورد بررسی در شرایط تنش و عدم تنش خشکی تفاوت معنی‌داری وجود داشت. در مطالعه دیگری که مهر آفرین و همکاران (Mehrafarin et al., 2010) بر روی توده‌های بومی شنبلله انجام دادند تفاوت معنی‌داری در بین تعداد دانه در غلاف در توده‌های بومی مختلف وجود داشت. در بررسی صادق زاده اهری و همکاران (Sadeghzadeh Ahari et al., 2016) بر روی توده‌های بومی شنبلله تنش خشکی موجب کاهش تعداد دانه در غلاف در تمامی توده‌های مورد مطالعه شد.

وزن هزار دانه: در تنش متوسط، وزن هزار دانه در توده بومی شیروان ۴۳/۸۷٪ نسبت به تیمار شاهد کاهش داشت، در صورتی‌که در توده بومی رودسر وزن هزار دانه ۴/۲۵٪ کاهش یافت. بیشترین وزن هزار دانه در تیمار بدون تنش (شاهد) رقم بومی شیروان، تنش ملایم رقم بومی تبریز و تنش متوسط و شدید رقم بومی همدان مشاهده شد (جدول ۴). وزن هزار دانه دارای همبستگی مثبت و بالایی با ارتفاع گیاه و طول میانگرمه و همبستگی منفی با روز تا رسیدگی بود (جدول ۵).

با توجه به تولید زیست‌توده بالاتر در سال دوم آزمایش در مقایسه با سال اول به نظر می‌رسد ایجاد منبع بالاتری از تولید مواد فتوسنتزی بالاترین وزن هزار دانه در این سال در مقایسه با سال اول مشاهده شد (جدول ۳). دلیل افزایش وزن هزار دانه در تیمار شاهد را می‌توان به دلیل افزایش طول دوره رشدی و همچنین زمان بیشتر برای پر شدن دانه‌ها دانست. بروز تنش شدید خشکی در گیاهان رشد نامحدود به دلیل کاهش طول دوره پر شدن دانه و نیز کاهش انتقال کربوهیدرات‌ها به دانه به دلیل کاهش سطح برگ و به تبع آن فتوسنتز کمتر موجب کاهش وزن دانه می‌شود (Sreevalli, et al., 2001). می‌توان علت افزایش وزن هزار دانه در تیمار تنش ملایم خشکی را کاهش بیشتر تعداد دانه تولیدی نسبت سطح فتوسنتزکننده گیاه در تیمار عدم تنش دانست که منجر به افزایش وزن تک‌دانه در بوته شده است. در مطالعه دیگری که بر روی توده‌های بومی شنبلله انجام گرفت، کمترین وزن هزار دانه در تیمارهای تنش خشکی و حداکثر آن در تیمار بدون تنش (شاهد) مشاهده شد و بین توده‌های بومی در خصوص وزن هزار دانه در شرایط تنش و عدم تنش تفاوت معنی‌داری وجود داشت (Bazzazi et al., 2013). در مطالعه‌ای که بر روی ژنوتیپ‌های شنبلله، تنش خشکی به ترتیب موجب کاهش ۱۴ و ۹ درصدی وزن هزار دانه در ارقام Rmt-1 و Rmt-365 در مقایسه با تیمار عدم تنش گردید (Chauhan et al., 2017).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل سطوح تنش خشکی و توده‌های بومی شنبليله بر خصوصیات رشد، عملکرد و اجزای عملکرد در دو سال ۱۳۹۴ و ۱۳۹۶

Table 4- Mean comparison of mean interactions of drought stress and ecotype on growth characteristics, yield components and yield of fenugreek during 2014 and 2016

تنش Stress	توده بومی Lanrace	روز تا رسیدگی Day to maturity	ارتفاع Plant height (cm)	طول میان گره Internode length (cm)	ارتفاع اولین غلاف تشکیل شده Height of first pod (cm)	طول شاخه‌های جانبی Branches length (cm)	تعداد غلاف Pods per plant	تعداد دانه در غلاف Seeds per pod	وزن ۱۰۰۰ دانه 1000 seeds weight (g)	زیست توده Biological yield (g.m ⁻²)	عملکرد دانه Seed yield (g.m ⁻²)	شاخص برداشت Harvest (%)index
%80 FC	نیشابور (N)	100a	35.7b	2.65fg	25.20a	75.26a	13.70b	9.53ck	7.74kn	234.86b	51.54de	21.55hj
	شیروان (Shi)	79.3d	40.5a	2.88cf	21.90bc	66.6a	17.40a	11.80ag	12.90ab	336a	127.84a	37.95ad
	مشهد (M)	77.2de	35.1b	3.07cd	24.20a	49.53b	9.72de	14.30ab	10.60df	274.51b	94.77b	34.47af
	تبریز (T)	77de	39.6a	3.15bc	24.80a	29.6eg	7.37eh	14.90a	12.80ab	260.78b	79.45c	31.08dh
	رودسر (R)	93.7bc	24.2fj	2.12jm	17.20fj	67.8a	16.50a	10.70bi	6.81mo	257.43b	78.41c	29.65di
	اصفهان (I)	75.2dg	29.5c	2.92cf	19.60de	27eh	6.55fi	8.77fk	8.53il	99.89eg	30.61fj	30.90dh
	همدان (H)	76.2df	33.7b	3.62a	23.40ab	20.7gi	5.48hj	12.90ad	12cb	134.05de	46.31df	34.55af
	اردستان (A)	70.3dh	29.0cd	3.40ab	18.60eg	33.7df	12.40bc	11.50ag	9.91eh	153.24cd	55.87d	37.35ae
%60 FC	شیراز (Shr)	77de	29.5c	2.90cf	21cd	36.4ce	8.25df	12.80ae	9.12gj	175.36c	55.86d	32.18bg
	نیشابور (N)	101.3ab	22.0ij	1.73np	19.50de	47.1bc	8.03dg	7.95gk	7.90jm	116.14de	29.42gj	25.32fj
	شیروان (Shi)	72.7dh	28.3ce	2.48gh	19.20df	11.1ik	4.87hk	10.10cj	11.90cb	84.86fg	36.67eh	43.35a
	مشهد (M)	71.7dh	27.0cg	2.20hk	19.70de	10.ik	4.67ik	12.57af	13 ab	79.72fg	30.31fj	38.37ad
	تبریز (T)	70.7dh	27.7cf	2.67df	15.50hl	9.83ik	4.57il	9.53ck	13.60a	94.35eh	35.95fh	37.33ae
	رودسر (R)	90.7c	26.3ch	1.77np	15.30hl	42.7bd	10.25cd	12.70ae	8.08jm	120.43de	39.28eg	32.28bg
	اصفهان (I)	71dh	22.4ij	2.43gi	15.90hl	11.8ik	4.38im	9.68ck	10.4dg	73.79fg	24.54gj	33.67af
	همدان (H)	70.3dh	28.0ce	2.95ce	18.90df	13.4ik	4.93hk	8.23gk	11.40cd	74.33fg	27.80gj	37.53ae
%40 FC	اردستان (A)	67.3fh	25.7dh	2.80df	17fj	16.4hg	5.75gj	9.78ck	11.10ce	91.39eh	34.94fi	38.25ad
	شیراز (Shr)	72.5dh	24.2fj	2.42gi	17.60eh	21.7fi	4.54il	13.02ac	9.81eh	98.20eg	32.72fj	33.33af
	نیشابور (N)	94.5bc	17.3lm	1.55pq	14.20kn	36.2ce	5.80gj	7.83hk	6.91mo	89.99eh	16.92jl	20.78hj
	شیروان (Shi)	71.0dh	23.6gj	2.08jm	17.60ei	6.83jk	3.23jo	9.08dk	10.80ce	75.52fg	26.02gj	34.92af
	مشهد (M)	70.2dh	22.0ij	2jm	17.10fj	8.38ik	3.35jo	7.98gk	10.10dh	54.58gi	16.83jl	29.97di
	تبریز (T)	69.3eh	21.0jk	2.20hk	15.20il	5.98jk	3.22jo	8.92ek	8.80hk	55.53gi	16.09jl	29.25dj
	رودسر (R)	88.2c	16.4ln	1.83mp	12.90mp	8.61ik	4.23in	9.13ck	7.88jm	52.92gi	20.58hl	39.83a
	اصفهان (I)	67.8eh	20.9jk	2.08jm	14.30kn	8.59ik	3.37jo	8.47gk	9.54fi	52.60gi	21.60hk	42.83a
%20 FC	همدان (H)	68eh	24.9di	2.30hj	17.50ei	0k	2.75ko	8.50gk	10.60df	49.79hi	17.47jl	35.10af
	اردستان (A)	65.5h	22.0ij	2.20hk	15.20il	5.41jk	3.17jo	11.58ah	9.94eh	48.31hi	18.28il	39.75ab
	شیراز (Shr)	70dh	22.7hj	2.15il	16.30gk	10.5ik	3.68jo	10.47ci	7.50ln	60.68gi	20.03hl	34.05af
	نیشابور (N)	79.3d	9.5q	1.12r	11.10pr	0k	2.02lo	6.05kl	4.66p	21.17hi	3.85l	19.07j
	شیروان (Shi)	66.7fh	15.6lo	1.87lo	13.70lo	0k	1.42o	6.42jl	7.24o	25.62hi	4.64l	19.40ij
	مشهد (M)	67.3fh	15.0lo	1.72np	12.80mp	0k	1.03o	7.37il	7.75kn	22.28hi	4.35l	21.07hj
	تبریز (T)	65.3h	15.2ol	1.58op	12.60nq	0k	1.65no	3.80kl	7.52ln	27.21hi	4.19l	21.77gj
	رودسر (R)	72.3dh	11.2pq	1.28qr	9.18r	0k	1.80mo	6.47jl	6.52no	23.57hi	6.30kl	27.42dj
%20 FC	اصفهان (I)	64.8h	14.2mp	1.70np	11.50oq	1.22k	1.82mo	7.45il	6.48no	25.04hi	7.09kl	26.82ej
	همدان (H)	66.0gh	18.1kl	2jm	14.90jm	0k	1.30o	6.85il	7.56ln	26.32hi	4.99kl	18.92j
	اردستان (A)	63.5h	13.2np	1.90km	11.90oq	0k	1.77mo	9.80ck	6.89mo	17.45hi	5.46kl	30.67dh
	شیراز (Shr)	65.8gh	12.8oq	1.53pq	10.40qr	0k	1.38o	6kl	6.08o	18.14hi	3.54l	24.33fj

حروف مشترک در هر ستون نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد. هم‌چنین حروف مختلف N, Shi, M, T, R, I, H, A, Shr به ترتیب نشان‌دهنده توده‌های بومی نیشابور، شیروان، مشهد، تبریز، رودسر، اصفهان، همدان، اردستان و شیراز می‌باشند.

Means followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% probability level, using Duncan's Multiple Rang Test. Letters N, Shi, M, T, R, I, H, A, Shr refer to Neyshabur, Shirvan, Mashhad, Tabriz, Roudsar, Isfahan, Hamadan, Ardestan and Shiraz landraces, respectively.

عملکرد بیولوژیک در تیمار بدون تنش (شاهد) توده بومی شیروان، تنش ملایم توده بومی رودسر و تنش متوسط توده نیشابور مشاهده شد و همچنین در تنش شدید تفاوت معنی‌داری بین توده‌های بومی

عملکرد بیولوژیک: در تنش شدید خشکی عملکرد توده بومی شیروان نسبت به تیمار شاهد ۹۲/۳۷٪ کاهش داشت، در صورتی که در توده بومی اصفهان مقدار این کاهش ۷۴/۹٪ بود (جدول ۴)، بیشترین

(0.361×BY)

مطالعات دیگری همبستگی بالای بین ارتفاع بوته با عملکرد (Shaban et al., 2012; Fikreselassie et al., 2012) را نشان داده است. پژوهش صادق زاده اهری و همکاران (Sadehghzadeh Ahari et al., 2016) نیز که بر روی توده‌های بومی شنبليله انجام دادند، همبستگی بالایی بین تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته با عملکرد دانه را گزارش کردند. تنش خشکی با کاهش سطح برگ، کارایی مصرف نور و شاخص برداشت موجب کاهش عملکرد ده گیاه می‌گردد (Aliabadi et al., 2009). کاهش عملکرد در تنش خشکی در هنگام گل‌دهی می‌تواند بر اثر کاهش تعداد دانه در بوته، وزن دانه و یا هر دو این موارد باشد (Barnabas et al., 2007). یکی از دلایل کاهش عملکرد را در شرایط افزایش تنش می‌توان تخصیص بخش بیشتری از مواد فتوسنتزی به اندام زیرزمینی در مقایسه به اندام هوایی دانست (Sreevalli et al., 2001). مینا و همکاران (Meena et al., 2016) در بررسی خود بر روی ارقام شنبليله بیشترین و کمترین درصد کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش نسبت به تیمار شاهد را به ترتیب با ۲۶٪ و ۱۳٪ در ارقام UM-100 و UM-102 مشاهده کردند. در تحقیق چائوهان و همکاران (Chauhan et al., 2017) بیشترین و کمترین عملکرد دانه به ترتیب در ارقام Rmt-303 (۸/۰۲ گرم) و رقم Rmt-354 (۵/۰۸ گرم) در شرایط عدم تنش و تنش مشاهده شد، در شرایط عدم تنش تفاوت معنی‌داری بین ارقام مورد بررسی وجود نداشت.

شاخص برداشت: تنش شدید خشکی شاخص برداشت توده بومی شیروان را ۴۸/۸٪ و شاخص برداشت شاخص برداشت توده بومی رودسر را ۷/۵۲٪ نسبت به شاهد کاهش داد. بیشترین شاخص برداشت در تیمار بدون تنش (شاهد) و تنش ملایم توده بومی شیروان، تنش متوسط توده بومی اصفهان و تنش شدید توده بومی اردستان ثبت شد (جدول ۴). شاخص برداشت سال اول آزمایش نسبت به سال دوم بیشتر بود که دلیل آن را می‌توان پایین‌تر بودن نسبت وزن زیست‌توده به وزن دانه تولیدی سال اول نسبت به سال دوم دانست (جدول ۱). شاخص برداشت همبستگی بالا و مثبتی با تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه داشت (جدول ۵).

تنش ملایم خشکی در گیاهان رشد نامحدود به علت کاهش رشد روشی موجب افزایش شاخص برداشت می‌شود و تنش شدید خشکی به علت کاهش شدید زیست‌توده بوته‌های تحت تنش و کاهش انتقال مواد پرورده به دانه موجب کاهش شدید وزن دانه‌های گیاه و در نتیجه شاخص برداشت می‌شود (Aliabadi et al., 2009). در مطالعه‌ای که بر روی اثر تنش خشکی بر روی بیست توده بومی شنبليله انجام شد، نیز تنش خشکی موجب کاهش شاخص برداشت در این گیاهان شد، در شرایط تنش و عدم تنش تفاوت معنی‌داری در شاخص برداشت توده‌های بومی مورد مطالعه وجود داشت (Sadehghzadeh Ahari et al., 2016).

مورد بررسی مشاهده نشد (جدول ۴). در سال دوم آزمایش عملکرد بیولوژیک بالاتری در مقایسه با سال اول مشاهده شد که دلیل این امر را می‌توان به بارندگی بیشتر در ماه‌های ابتدایی اعمال تنش و میانگین پایین‌تر دمای ماهیانه در دو ماه اول پس از کشت در سال دوم دانست که موجب عملکرد بیولوژیک بالاتر در تنش خشکی شدید در سال دوم در مقایسه با سال اول گردید (جدول ۱). کاهش شدید زیست‌توده با کاهش سطوح آبیاری را می‌توان به دلیل کاهش آب قابل‌دسترس گیاه و همچنین کمبود جذب عناصر غذایی توسط ریشه گیاهان تحت تنش دانست. در بررسی تنش خشکی بر روی توده‌های بومی بیشترین و کمترین درصد کاهش عملکرد بیولوژیک در تیمار تنش نسبت به تیمار شاهد به ترتیب در توده ری (۵۳/۶۲) و کرمان (۳۴/۸۷) مشاهده شد (Sadehghzadeh Ahari et al., 2009). در مطالعه‌ای که بر روی اثر تنش خشکی بر روی شش توده شنبليله انجام گردید، تنش خشکی موجب کاهش وزن اندام هوایی در این گیاهان گشت، بیشترین و کمترین درصد کاهش وزن اندام هوایی در تنش شدید در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب در توده اردستان (۵۲/۹) و شیراز (۳۳/۹) مشاهده شد (Bazzazi et al., 2013). در تحقیقی بر روی ژنوتیپ‌های شنبليله، بیشترین عملکرد بیولوژیک در شرایط عدم تنش و تنش به ترتیب در ارقام Rmt-303 و Rmt-143 مشاهده شد، بیشترین عملکرد بیولوژیک در تمامی ژنوتیپ‌های مورد بررسی در تیمار عدم تنش مشاهده شد (Chauhan et al., 2017).

عملکرد دانه: توده بومی اصفهان در تنش شدید خشکی عملکرد دانه نسبت به تنش ملایم کمترین درصد کاهش را در بین توده‌های بومی داشت، بیشترین عملکرد دانه در تیمار بدون تنش (شاهد) توده بومی شیروان، تنش ملایم توده بومی رودسر و شیروان و در تنش متوسط توده بومی شیروان مشاهده شد و در تنش شدید تفاوت معنی‌داری بین توده‌های بومی مشاهده نشد (جدول ۴). توده بومی شیروان و رودسر با تولید زیست‌توده بیشتر تولید دانه بیشتری نیز نسبت به سایر توده‌های بومی تولید کردند. در سال دوم آزمایش عملکرد بالاتری نسبت به سال اول مشاهده شد که دلیل این امر را می‌توان بارندگی بیشتر در ماه‌های اول اعمال تنش در سال دوم نسبت به سال اول و رشد سبزینه بالاتر گیاهان در این سال برای تأمین مواد فتوسنتزی دانه دانست (جدول ۳).

با استفاده از رگرسیون گام‌به‌گام شاخص‌های دارای تأثیر ناچیز بر عملکرد دانه حذف شدند؛ بنابراین تابع عملکرد دانه (SY) با شاخص‌هایی که دارای تأثیر عمده بر عملکرد دانه بودند (شامل تعداد غلاف در بوته (PP)، طول شاخه جانبی (SBL)، عملکرد زیست‌توده (BY) و شاخص برداشت (HI)) با استفاده از رگرسیون چندگانه به‌دست آمد که با ضریب تبیین این صفات ۰/۹۶۷ بود؛ که می‌توان بیان کرد ۹۶/۷٪ از تغییرات عملکرد دانه تحت تأثیر این صفات است. $SY = (1.37 \times PP) + (-0.354 \times SBL) + (0.535 \times HI) +$

محققان بر روی ژنوتیپهای لوبیای قرمز (*Phaseolus vulgaris* L.) انجام دادند، همبستگی بالایی را بین شاخص برداشت و عملکرد و تعداد دانه در غلاف مشاهده کردند (Naseh Ghafoori et al., 2012).

در بررسی که محققان بر روی شنبليله انجام دادند تنش خشکی موجب افزایش ۱۲٪ شاخص برداشت در مقایسه با تیمار عدم تنش گردید (Ahmed et al., 2018).

تعداد دانه در غلاف و وزن هزار دانه در مقایسه با سایر صفات همبستگی بالاتری با شاخص برداشت داشتند. در مطالعه‌ای که

جدول ۵- ضرایب همبستگی صفات مورد بررسی در توده‌های بومی شنبليله تحت تأثیر تنش خشکی

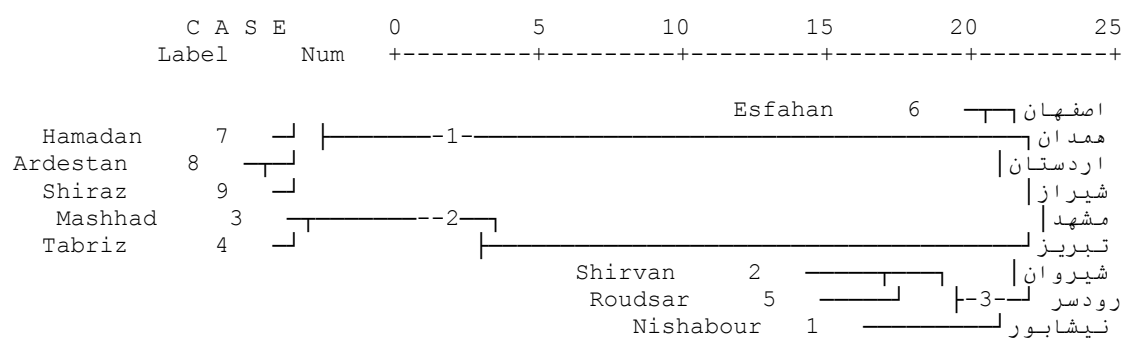
Table 5- Correlation coefficients of the studied traits of Fenugreek ecotypes under drought stress

تعداد روز تا رسیدگی Days to ripening	ارتفاع بوته Plant height	طول میانگره length of Internode	طول شاخه جانبی Lateral branch length	اولین غلاف تشکیل شده Height of first pod	تعداد غلاف در بوته Number of pods per plant	تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	
(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)	(G)	(H)	(I)	(J)	(K)	
A	1										
B	0.249**	1									
C	-0.049 ^{ns}	0.770**	1								
D	0.585**	0.563**	0.369**	1							
E	0.255**	0.867**	0.772**	0.584**	1						
F	0.491**	0.603**	0.457**	0.910**	0.562**	1					
G	0.234**	0.423**	0.379**	0.162*	0.406**	0.152**	1				
H	-0.138*	0.672**	0.653**	0.116 ^{ns}	0.608**	0.221**	0.322**	1			
I	0.384**	0.715**	0.554**	0.880**	0.721**	0.869**	0.345**	0.356**	1		
J	0.270**	0.731**	0.589**	0.792**	0.698**	0.848**	0.411**	0.458**	0.957**	1	
K	0.022 ^{ns}	0.321**	0.327**	0.008 ^{ns}	0.241**	0.169*	0.507**	0.513**	0.114 ^{ns}	0.307**	1

ns، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح یک و پنج درصد

*, **: Significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively; ns: means non-significant

Rescaled Distance Cluster Combine



شکل ۱- دندوگرام حاصل از گروه‌بندی نه توده بومی شنبليله بر اساس عملکرد در شرایط نرمال و تنش خشکی با روش Ward

Figure 1- Dendrograms derived from grouping of nine Fenugreek ecotypes based on yield under normal conditions and drought stress using Ward method

کردند که عامل اول (روز تا رسیدگی) ۶۷/۳۶٪، عامل دوم (عملکرد دانه) ۴۱/۶۶٪ و عامل سوم (تعداد دانه در بوته) ۴۸/۹۳٪ از تغییرات را

تجزیه خوشه‌ای و تجزیه عاملی

در تجزیه عاملی صفات مورد بررسی به سه عامل کاهش پیدا

با توجه به نتایج رگرسیون گام به گام و ارتباط بالای صفاتی مانند زیست توده، شاخص برداشت، طول شاخه جانبی و تعداد غلاف با عملکرد دانه، به نظر می‌رسد که برای حصول به حداکثر عملکرد در توده‌های بومی مورد بررسی، باید در روش‌های مختلف به‌زراعی و به‌نژادی سعی در افزایش این صفات نمود. با توجه به این‌که عامل سوم بیشترین میزان تغییرات را توجیه می‌کند، از صفاتی که در این عامل بزرگ‌ترین ضرایب عاملی را دارند، می‌توان برای انتخاب بهترین توده بومی‌ها استفاده کرد. بالاترین زیست توده تولیدی در تیمار شاهد و تنش به‌ترتیب در توده بومی شیروان و نیشابور مشاهده شد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان استراتژی گیاه شنبليله در برابر تنش خشکی را فرار این گیاه با کوتاه کردن دوره رشد خود تحت تنش دانست. با توجه به بارندگی ناچیز در دوره رشد گیاه (که قابل صرف‌نظر کردن است) می‌توان اظهار داشت که تفاوت‌های مشاهده‌شده در عملکرد دانه و زیست توده در توده‌های بومی شنبليله ناشی خصوصیات ژنتیکی توده‌های بومی مورد بررسی است، در شرایط تنش متوسط و تنش شدید خشکی کشت تجاری و اقتصادی شنبليله توجیه‌پذیر نیست. با توجه به دندوگرام رسم شده، توده‌های نیشابور، شیروان و رودسر در بیشتر صفات مورد بررسی نسبت به سایر توده‌های بومی مورد بررسی برتر بودند و می‌توان کشت این سه توده را برای تولید پایدار شنبليله در مناطق خشک توصیه کرد. همچنین، نتایج حاصل از این مطالعه را می‌توان برای انتخاب هدفمند والدین مناسب از گروه‌های مختلف برای تولید ارقام جدید در برنامه‌های اصلاحی شنبليله مورد استفاده قرار داد.

توجیه می‌نمودند (جدول ۶). سه صفت تعداد روز تا رسیدگی، عملکرد دانه و تعداد دانه در بوته به‌ترتیب بالاترین تأثیر مثبت را در عامل اول، دوم و سوم دارا بودند (جدول ۷). اشکانی و همکاران (Ashkani et al., 2007) نیز در بررسی که بر روی ژنوتیپ‌های گیاه گلرنگ انجام دادند، با استفاده از تجزیه به عامل‌ها تعداد شش عامل را شناسایی کردند که در مجموع ۸۰٪ از واریانس کل داده‌ها را توجیه می‌کرد. شارما و ساستری (Sharma and Sastry, 2008) گزارش کردند، در تجزیه عاملی بیشترین عامل مؤثر بر عملکرد دانه ژنوتیپ‌های شنبليله به‌ترتیب زیست توده، تعداد شاخه جانبی و تعداد غلاف در هر بوته بودند.

گروه‌بندی توده‌های بومی مورد مطالعه بر اساس صفات در شرایط مطلوب و تنش با استفاده از شاخص‌های مورد بررسی با استفاده از روش وارد (Ward) انجام شد. نتایج تجزیه خوشه‌ای نشان داد که توده‌های بومی اصفهان، اردستان، همدان و شیراز در گروه اول و توده‌های بومی مشهد و تبریز در گروه دوم و توده‌های بومی و شیروان، رودسر و نیشابور در گروه سوم قرار گرفتند (شکل ۱). توده‌های بومی گروه سوم از لحاظ عملکرد و متحمل بودن به تنش در سطح بالاتری نسبت به سایر توده‌های بومی مورد بررسی قرار دارند، توده بومی نیشابور در مقایسه با دو توده بومی دیگر عملکرد دانه بیشتری را دارا بود. به‌طور کلی نتایج این مطالعه نشان داد که عملکرد دانه همبستگی مثبت و بالایی با زیست توده، تعداد غلاف در بوته، تعداد و طول شاخه جانبی و ارتفاع بوته داشت (جدول ۵). محققان مختلفی در تحقیقات خود بر روی گیاهان شنبليله (Sadeghzadeh Ahari et al., 2014) و نخود (Cicer arietinum L.) (Mafakheri et al., 2010) از روش تجزیه خوشه‌ای برای گروه‌بندی و تعیین قرابت و دوری ژنوتیپ‌ها و اکوتیپ‌های مورد بررسی استفاده نمودند و توانستند با این روش به خوبی قرابت ژنوتیپ‌ها و اکوتیپ‌های مورد بررسی را تعیین نمایند.

جدول ۶- مقادیر بردارهای ویژه و سهم تجمعی شاخص‌های مورفولوژی و عملکرد در شرایط نرمال و تنش خشکی در ۹ توده بومی شنبليله
Table 6- Amounts of initial eigenvalue and cumulative contributions of morphological and yield indices under normal and drought stress conditions in 9 Fenugreek ecotypes

عامل‌ها Factors	پس از چرخش وریماکس After rotation varimax			قبل از چرخش عاملی Befor rotation factor		
	مقدار بردار ویژه اولیه Initial eigenvalue	درصد واریانس Variance%	درصد واریانس تجمعی Cumulative variance percentage	مقدار بردار ویژه اولیه Initial eigenvalue	درصد واریانس Variance%	درصد واریانس تجمعی Cumulative variance percentage
1	36.67	36.67	5.87	58.85	58.85	9.42
2	66.41	29.74	4.76	79.99	21.14	3.38
3	93.48	27.07	4.33	93.48	13.49	2.16

جدول ۷- مقادیر ماتریس عامل‌های صفات مورد بررسی بر روی توده‌های بومی شنبلله در شرایط نرمال و تنش خشکی
Table 7- Factor matrix of the studied traits on Fenugreek ecotypes under normal and drought stress conditions

صفات	عامل اول First factor	عامل دوم Second factor	عامل سوم Third factor
ارتفاع گیاه Plant height	0.954	0.087	-0.246
طول میانگره The length of Internode	0.573	-0.442	-0.607
طول شاخه جانبی Lateral branch length	-0.441	0.494	0.735
روز تا رسیدگی Days to maturity	0.981	-0.044	0.057
ارتفاع اولین غلاف تشکیل شده Height of first pod	-0.139	0.832	0.471
تعداد غلاف اصلی Number of mean pods	-0.606	0.678	0.269
تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	0.128	-0.164	-0.775
تعداد دانه در بوته Number of seeds per plant	-0.386	0.019	0.890
وزن هزار دانه 1000 seeds weight	0.827	0.051	-0.542
عملکرد بیولوژیک Biological yield	0.185	0.889	0.370
عملکرد دانه Seed yield	0.294	0.917	-0.250
شاخص برداشت Harvest index	-0.085	0.043	-0.971

اعداد پررنگ شده نشان‌دهنده مهم‌ترین صفات در هر عامل می‌باشد
Bold numbers represent the most important factor in each agent

References

- Acharya, S. N., Thomas, J. E., and Basu, S. K. 2008. Fenugreek, an alternative crop for semiarid regions of North America. *Crop Science* 48: 841-853. <https://doi.org/10.2135/cropsci2007.09.0519>.
- Acharya, S., Srichamroen, A., Basu, S., Ooraiikul, B., and Basu, T. 2006. Improvement in the nutraceutical properties of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Songklanakarin Journal of Science and Technology*. 28 (1): 1-9.
- Ahmed, M. A., Magda, A. F. Shalaby, El-Housini Ebtesam, A., and Khater M. A. 2018. Alleviation of drought stress on fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) plants by foliar application of polyamines compounds. *Middle East Journal of Applied Science* 8 (2): 883-894.
- Alavi samani, S. M., Pirbalouti, A. G., Kachouei, M. A., and Hamedi, B. 2013. The influence of reduced irrigation on herbage, essential oil yield and quality of *Thymus vulgaris* and *Thymus daenensis*. *Journal of Herbal Drugs* 4: 109-113.
- Aliabadi, F. H., Valadabadi, S. A. R., Daneshian, J., and Khalvati, M. A. 2009. Evaluation changing of essential oil of balm (*Melissa of ficinalis* L.) under water deficit stress conditions. *Journal Medicinal Plant Research* 3: 329-333. <https://doi.org/10.5897/JMPR.9000606>.
- Alizadeh, A. 2006. Soil, Water, Plant Relationships. Imam Reza University Press, Mashhad, Iran. (in Persian).
- Aryafar, S., Sirousmeher, A. R., and Najafi, S. 2013. Effects of municipal compost on yield and some quantitative and qualitative characteristics of *Nigella sativa* under drought stress. *Science and Engineering Investigations* 23: 76-84.
- Ashkani, J., Pakniyat, H., Emam, Y., Asad, M. T., and Bahrani, M. J. 2007. The evaluation and relationships of some physiological traits in spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under stress and non-stress water regimes. *Journal of Agricultural Science and Technology* 9: 15-30.
- Baghalian, K., Abdoshah, S., Khalighi-Sigaroodi, F., and Paknejad, F. 2011. Physiological and phytochemical response to drought stress of German chamomile (*Matricaria recutita* L.). *Plant Physiological Biochemistry* 49: 201-207. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.11.010>.
- Bahreininejad, B., Razmjoo, J., and Mirza, M. 2013. Influence of water stress on morpho-physiological flowering and some yield traits of coriander and phytochemical traits in *Thymus daenensis*. *International Journal of Plant Production* 7: 151-165.
- Barnabas, B., Jager, K., and Feher, A. 2007. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant Cell Environment* 31: 11-38. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2007.01727.x>.
- Basafa, M., and Taherian, M. 2009. A study of agronomic and morphological variations in certain alfalfa (*Medicago sativa* L.) ecotypes of the cold region of Iran. *Asian Journal Plant Science* 8: 293-300.
- Bazzazi, N., Khodambashi, M., and Mohammadi, S. 2013. The Effect of drought stress on morphological characteristics and yield components of medicinal plant Fenugreek. *Journal of Crop Production and Processing* 3

- (8): 11-23. (in Persian with English abstract).
14. Chandra, K., Sastry, E. V. D., and Singh, D. 2000. Genetic variation and character association of seed yield and its component in fenugreek. *Agricultural Science Digest* 20: 93-95.
15. Chauhan, J., Singhal, R. K., Kakralya, B. L., Kumar, S., and Sodani, R. 2017. Evaluation of yield and yield attributes of fenugreek (*Trigonella foenum graecum*) genotypes under drought conditions. *International Journal Pure Applied Bioscience* 5 (3): 477-484. <http://dx.doi.org/10.18782/2320-7051.4019>.
16. Ennajeh, M., Vadel, A. M., Cochard, H., and Khemira, H. 2010. Comparative impacts of water stress on the leaf anatomy of a drought resistant and a drought-sensitive Olive cultivar. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 85: 289-294. <https://doi.org/10.1080/14620316.2010.11512670>.
17. Faraji, A. 2014. Evaluation the response of soybean (*Glycin Max* L.) genotypes to drought stress. *Journal of Plant Breeding* 24 (14): 40-27. (in Persian with English abstract).
18. Farokhinia, M., Roshdi, M., Pasban Eslam, B., and Sasandoost, R. 2011. Study of some physiological traits and yield in spring safflower under water deficit stress, *Iranian Journal of Field Crop Science* 42 (3): 545-553. (in Persian).
19. Fikreselassie, M., Zeleke, H., and Alemayehu, N. 2012. Correlation and path analysis in Ethiopian Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) landraces. *Crown Research in Education* 3: 132-42.
20. Gorgini Shabankareh, H., Fakheri, B., and Mohammadpuor Vashvahi, R. 2015. Effects of different levels of salinity and drought stress on growth parameters and essential oil of lemon balm (*Melissa officinalis* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science* 46 (4): 673-686. (in Persian).
21. Gurjar, M.; Naruka, I. S., and Shaktawat, R. P. S. 2016. Variability and correlation analysis in fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Legume Research* 39 (3): 459-465.
22. Houshmand, S., Abasalipour, H., Tadayyona, A., and Zinali, H. 2012. Evaluation of four chamomile species under late season drought stress. *International Journal of Plant Production* 5 (1): 1735-8043.
23. Kumar, K., Kumar, S., Datta, A., and Bandyopadhyay, A. 2015. Effect of fenugreek seeds on glycemia and dyslipidemia in patients with type 2 diabetes mellitusg. *International Journal of Medical Science and Public Health* 4 (7): 997-1000.
24. Mafakheri, A., Siosemardeh, A., Bahramnejad, B., Struik, P.C., and Sohrabi, E. 2010. Effect of drought stress on yield, proline and chlorophyll contents in three chickpea cultivars. *Australian Joutrnal of Crop Sciences* 4: 580-585.
25. Meena, S., Mittal, G. K., Shivran, A. C., Singh, D., Niyariya, R., Gupta, N. K., Singh B., and Saxena, S. N. 2016. Water stress induced biochemical changes in fenugreek (*Trigonella foenum graecum* L.) genotypes. *International Journal of Seed Spices* 6 (2): 61-70.
26. Mehrafarin, A., Qaderi A., Rezazadeh Sh., Naghdi Badi, H., Noormohammadi, Gh., and Zand, E. 2010. Bioengineering of important secondary metabolites and metabolic pathways in Fenugreek (*Trigonella foenumgraecum* L.). *Journal of Medicinal Plants* 35: 1-18.
27. Mohammadi, S. A., and B. M. Prasanna. 2003. Analysis of genetic diversity in crop plants- Salient statistical tools and considerations. *Crop Science* 43: 1235-1248. <https://doi.org/10.2135/cropsci2003.1235>.
28. Naseh Ghafoori, A., Unparalleled, M., Zali, A., Afzali Mohammad Abadi, M., and Dari, H. 2012. Effect of drought stress on yield and yield components and determination of the best drought stress index in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Plant Production Research* 17 (4): 71-89. (in Persian).
29. Pavlista, A. D., and Santra, D. K. 2016. Planting and harvest dates, and irrigation on fenugreek in the semi-arid high plains of the USA. *Industrial Crops Production* 94: 65-71. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.07.052>.
30. Rahmani, N., Aliabadi Farahani, H., and Valadabadi, S. A. R. 2008. Effects of nitrogen on oil yield and its component of Calendula (*Calendula officinalis* L.) in drought stress conditions. *Abstracts Book of the world congress on medicinal and aromatic plants, South Africa* 364.
31. Raychaudhuri, S., Stuart, J. M., and Altman, R. B. 2000. Principal components analysis to summarize microarray experiments: Application to sporulation time series. *Proceeding of Pacific Symposium on Biocomputing* 455-466, January 4-9, Hawaii, USA. https://doi.org/10.1142/9789814447331_0043.
32. Razmjoo, K., Heydarizadeh, P., and Sabzalian, M. R. 2008. Effect of salinity and drought stresses on growth parameters and essential oil content of *Matricaria chamomile*. *International Journal of Agriculture and Biology* 10 (4): 451-454.
33. Rezvani, M. P., and Sadeghi, S. R. 2007. Effect of sowing dates and different irrigation regimes on morphological characteristics and grain yield of chickpea (*cicer arietinum* L.) (Cultivar ILC3279). *Journal of Agricultural Research of Iran* 6: 314-325. (in Persian).
34. Rohbakhsh, H. 2013. Alleviating adverse effects of water stress on growth and yield of forage sorghum by potassium application. *Advances in Environmental Biology* 7: 40-46.
35. Sadeghzadeh Ahari, D., Hassandokht, D. M. R., Kashi, A. K., and Amri, A. 2014. Genetic diversity and broad-sense heritability of some morphological characteristics of fenugreek under limited irrigation, *Seed and Plant Improvment Journal* 30 (2): 383-397. (in Persian).

36. Sadeghzadeh Ahari, D., Kashi A. K., Hassandokht, M. R., Amri, A., and Alizadeh, Kh. 2009. Assessment of drought tolerance in Iranian fenugreek landraces. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 7: 414-419.
37. Sadeghzadeh Ahari, Hassandokht, D. M. R., Kashi, A. K., and Amri, A. 2016. Effect of drought stress on some agronomical and physiological traits of Iranian fenugreek landraces. *Arid Biome Scientific and Research Journal* 6 (1): 84-67. (in Persian).
38. Shaban, M., Mansourifar, S., Ghobadi, M., and Sabaghpour, H. 2013. Investigation of phenological and morphological characteristics and correlation them with yield in chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under drought stress and N fertilizer in Kermanshah province. *Iranian Journal of Pulses Research* 1 (1): 68-59. (in Persian with English abstract).
39. Sharma, K. C., and Sastry, E. V. D. 2008. Path analysis for seed yield and its component characters in Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Journal of Spices and Aromatic Crops* 17: 69-74.
40. Siddiqui, M. H., AlKhaishany, M. Y., AlQutami, M. A., AlWahabi, M. H., Grover A., Ali, H. M., Al-Wahibi, M. S., and Bukhari, N. A. 2015. Response of different genotypes of faba bean plant to drought stress. *International Journal of Molecular Sciences* 16: 10214-10227. <https://doi.org/10.3390/ijms160510214>.
41. Smith, J. S. C., and Smith, O. S. 1992. Fingerprinting crop varieties. *Advances in Agronomy* 47: 85-140. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60489-7](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60489-7).
42. Sreevalli, Y., Baskaran, K., Chandrashekara, R., and Kuikkarni, R. 2001. Preliminary observations on the effect of irrigation frequency and genotypes on yield and alkaloid concentration in petriwinkle. *Journal of Medicinal and Aromatic Plant Science* 22: 356-358.
43. Zandi, P., Shirani Rad, A. H., Daneshian, J. and Bazrkar Khatibani, L. 2013. Evaluation of nitrogen fertilizer and plant density effects on yield and yield components of Fenugreek in double cropping. *Journal of Plant Production* 35 (4): 81-91.



The Effect of Nitrogen Fertilizer and Nitrogen Splitting on Yield and Nitrate Content of Potato Tubers

A. H. Jalali^{1*}

Received: 10-07-2021
Revised: 14-01-2022
Accepted: 31-01-2022

How to cite this article:

Jalali, A. H. 2022. The Effect of Nitrogen Fertilizer and Nitrogen Splitting on Yield and Nitrate Content of Potato Tubers. Iranian Journal of Field Crops Research 20 (2): 137-146. (in Persian with English abstract). DOI: [10.22067/jcsc.2022.71392.1065](https://doi.org/10.22067/jcsc.2022.71392.1065).

Introduction

Potato (*Solanum tuberosum* L.) is an annual and autotetraploid plant of the Solanaceae family that uses its underground tuber. In 2019, among West Asian countries, Turkey and Azerbaijan had a higher level of potato cultivation than Iran. Nitrogen consumption management in potato cultivation is one of the factors affecting the quantitative and qualitative characteristics of the tuber yield produced. Some researchers consider potato yield it consists of three components the number of stems per square meter, the number of tubers per stem, and the weight of tubers per plant. One of the problems with the overuse of nitrogen fertilizers is the accumulation of nitrate in the tubers. The amount of nitrate allowed depends on the diet of the person. Some studies show that from 93 mg per day of nitrate consumed per day for an adult, 33% to potatoes, 21% to green leafy vegetables, 15% to other vegetables, 8.5% to beverages, 4.2% to Meat products account for 2.1% to various grains, 1.6% to bread and 5.1% to other items.

Materials and Methods

The present study conducted in 2018-2019 in Kabootarabad Agricultural Research Station of Isfahan. The effect of N application and nitrogen splitting on the tuber yield and nitrate accumulation of potato tubers in this study investigated. For this purpose, the split plots tested in a randomized complete block design with three replications in which three nitrogen levels (90, 180 and 270 kg ha⁻¹) of the main plots and two nitrogen splitting methods (three and four stages) formed the sub-plots. At harvest time, two meters of the middle rows of each plot used to estimate the yield. Tubers with less than 35 mm in diameter considered non-marketable yield. To measure tuber nitrate, the prepared samples placed in paper bags and sent to the laboratory of Soil and Water Research Department of Isfahan Agricultural Research Center. After washing, the samples grated and after drying in an oven (temperature 65 °C) and grinding in a shaker (shaker), the amount of nitrate determined by spectrophotometry. All soil and plant tests performed in the laboratory. SAS software used to analyze the data and Duncan's multiple range test (at 5% probability level) used to compare the means.

Results and Discussion

The effect of nitrogen interaction and its splitting on total yield and efficiency of nitrogen utilization at the level of one per cent and on the characteristics of marketable yield, non-marketable yield, tuber nitrate, number and weight of tubers at the level of five per cent was significant. With the consumption of 180 and 270 kg N ha⁻¹ by the four-step splitting method, the non-marketable yield was equal to 11.2 and 14.43% of the total tuber yield, respectively. With the consumption of 270 kg N ha⁻¹ and three stages of nitrogen splitting, the amount of nitrate in the tuber reached 197 mg kg⁻¹ of fresh weight of the tuber. In both three- and four-stage nitrogen splitting methods, nitrogen application efficiency reduced to one third by consuming 270 kg N ha⁻¹ compared to 90 kg N ha⁻¹ treatment. Therefore, the use of nitrogen fertilizers in excess of the recommended amounts can, in addition to economic losses, be associated with a decrease in fertilizer use efficiency and an increase in tuber nitrate beyond the allowable limit.

1- Assistant Professor, Horticulture Crops Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran

(*- Corresponding Author Email: jalali51@yahoo.com)

DOI: [10.22067/jcsc.2022.71392.1065](https://doi.org/10.22067/jcsc.2022.71392.1065)

Conclusion

The results showed that nitrogen splitting is a correct management approach when it recommended based on the amount of nitrogen consumption (in this study 180 kg ha^{-1}). The use of excess nitrogen, even in splitting, not only did not increase economic yield but in some treatments (three-stage splitting of 270 kg N ha^{-1}) was associated with an increase in tuber nitrate beyond the allowable limit (170 mg kg^{-1} tuber fresh weight). In the amount of nitrogen application more than the recommended fertilizer, in both methods of nitrogen splitting, the efficiency of fertilizer application decreased. So that in the treatment of 270 kg N ha^{-1} compared to the treatment of 90 kg N ha^{-1} , the efficiency of fertilizer application reached one third.

Keywords: Marketable yield, Nitrogen use efficiency, Tuber number, Tuber weight

تأثیر مقدار و تقسیط کود نیتروژن بر عملکرد و مقدار نترات غده سیب‌زمینی رقم مارفونا

امیر هوشنگ جلالی*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۱

چکیده

پژوهش حاضر در سال ۹۸-۱۳۹۷ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی کبوتر آباد اصفهان به منظور بررسی تأثیر مقدار و نحوه تقسیط کود نیتروژن بر عملکرد و تجمع نترات غده سیب‌زمینی رقم مارفونا انجام شد. به این منظور از آزمایش کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار استفاده شد که در آن سه سطح نیتروژن (۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار) کرت‌های اصلی و دو نحوه تقسیط نیتروژن (سه و چهار مرحله‌ای) کرت‌های فرعی را تشکیل دادند. نتایج نشان داد تأثیر برهمکنش مقدار نیتروژن و تقسیط آن بر صفات عملکرد کل و کارایی استفاده از نیتروژن در سطح یک درصد و بر صفات عملکرد قابل فروش، عملکرد غیرقابل فروش، نترات غده، تعداد و وزن غده‌ها در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. در روش تقسیط سه مرحله‌ای تعداد غده در هر بوته با استفاده از ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به ترتیب برابر ۳/۹۱، ۵/۲۸ و ۶/۵۸ عدد بود. با مصرف ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و سه مرحله تقسیط نیتروژن، مقدار نترات غده به ۱۹۷ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تر غده رسید. در هر دو روش تقسیط سه و چهار مرحله‌ای نیتروژن، کارایی مصرف نیتروژن با مصرف ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار نسبت به تیمار ۹۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به یک سوم کاهش یافت؛ بنابراین مصرف کودهای نیتروژن دار بیش از ۱۸۰ کیلوگرم (حد توصیه‌شده) حتی به صورت تقسیط شده می‌تواند با کاهش کارایی مصرف کود و افزایش نترات غده‌ها به مقادیر فراتر از حد مجاز همراه باشد.

واژه‌های کلیدی: تعداد غده، کارایی مصرف نیتروژن، عملکرد قابل فروش، وزن غده

مقدمه

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) گیاهی یک‌ساله و اتوتتراپلوئید از خانواده سولاناسه است که از غده زیرزمینی آن استفاده می‌شود (Bélanger et al., 2001). در سال ۱۳۹۸ سطح زیر کشت سیب‌زمینی در ایران معادل ۱۰۴ هزار هکتار با متوسط عملکرد ۳۳/۴۳ تن در هکتار گزارش شده است (FAO, 2019). این مقدار سطح زیر کشت نسبت به سال ۱۳۹۷، ۳۶/۷ درصد کاهش نشان می‌دهد که دلیل عمده آن ریشه در وقوع خشکسالی‌های اخیر در ایران دارد (Jalali and Mousapour Gorji, 2021).

مدیریت مصرف نیتروژن در زراعت سیب‌زمینی از جمله عوامل تأثیرگذار بر ویژگی‌های کمی و کیفی محصول تولید شده است. برخی از محققین عملکرد سیب‌زمینی را شامل سه جزء می‌دانند که عبارتند

از: تعداد ساقه در مترمربع، تعداد غده در ساقه و وزن غده‌ها در هر گیاه (Naumann et al., 2020). نیتروژن بیشترین تأثیر خود را بر جزء وزن غده‌ها دارد (De la Morena et al., 1994). به‌طورمعمول در ۴-۵ هفته اول رشد سیب‌زمینی نیاز به نیتروژن خیلی زیاد نیست. پس از این مرحله گیاه وارد مرحله توسعه رشد اندام‌های هوایی می‌شود و حدود ۸۳-۶۱ درصد نیتروژن موردنیاز گیاه در این مرحله جذب می‌شود (Souza et al., 2020). در اواخر دوره رشد (غده‌دهی) نیز نیتروژن اضافی می‌تواند رشد اندام‌های رویشی را تحریک کند و علاوه بر آن بر درصد ماده خشک غده نیز تأثیر منفی داشته باشد (Jalali et al., 2020). در پژوهشی مصرف ۱۱۰ کیلوگرم نیتروژن و تقسیط نیتروژن در طی دوره رشد تیمار بهینه برای بالاترین مقدار عملکرد سیب‌زمینی معادل ۴۶ تن در هکتار گزارش شده است (Kuisma, 2002). در برخی از بررسی‌ها نشان داده شده است که استفاده از کود اوره برای زراعت سیب‌زمینی به صورت ۳۰ درصد در زمان کشت، ۳۵ درصد در زمان غده‌زایی و ۳۵ درصد در مرحله حجیم شدن غده‌ها بهترین میزان عملکرد و کمترین مقدار تجمع نترات را در بر خواهد داشت (Jamshidi et al., 2015). از مشکلات مصرف اضافی کودهای نیتروژنه، تجمع نترات در

۱- استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی - باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

(Email: jalali51@yahoo.com)

(*) - نویسنده مسئول

غده ها است. حد مجاز نیترات بستگی به رژیم غذایی مصرفی فرد دارد. برخی از پژوهش های انجام شده نشان می دهد از ۹۳ میلی گرم در روز نیترات مصرفی برای یک فرد بالغ، ۳۳ درصد به سیب زمینی، ۲۱ درصد به سبزیجات برگی سبزرنگ، ۱۵ درصد به سایر سبزیجات، ۸/۵ درصد به نوشیدنی ها، ۴/۲ درصد به محصولات گوشتی، ۲/۱ درصد به غلات متفرقه، ۱/۶ درصد به نان و ۵/۱ درصد به سایر موارد اختصاص دارد (Ysart et al., 1999). گروه غذایی اتحادیه اروپا مقدار قابل قبول جذب نیترات بر اساس وزن هر فرد را ۳/۶۵ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن اعلام نموده است (SCF, 1997). با توجه به مصرف سرانه سیب زمینی در کشور عدد ۲۰۰ میلی گرم نیترات در هر کیلوگرم وزن تر غده سیب زمینی به عنوان حد مجاز نیترات در برخی منابع مورد اشاره قرار گرفته ولی در استاندارد ملی ایران مقدار بیشینه مجاز برای محصول سیب زمینی ۱۷۰ میلی گرم نیترات در هر کیلوگرم وزن تر غده سیب زمینی عنوان شده است (National Standard of Iran, 2013). البته باید توجه داشت که دامنه تغییرات نیترات با توجه به شرایط محیطی می تواند از ۳۴ میلی گرم در کیلوگرم وزن تر غده تا ۸۴۳ میلی گرم در کیلوگرم وزن تر غده تغییر نماید (Naumann et al., 2020). با توجه به اهمیت مصرف کود نیتروژن در زراعت سیب زمینی، پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر مقدار و دفعات تقسیط کود نیتروژن بر عملکرد و تجمع نیترات غده سیب زمینی در شرایط آب و هوایی استان اصفهان انجام شد.

مواد و روش ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی کبوتر آباد اصفهان واقع در ۲۵ کیلومتری شرق اصفهان با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۵۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۱۵۴۵ متر اجرا گردید. بر اساس آمار ۲۰ ساله هواشناسی، متوسط بارندگی و دمای سالیانه این ایستگاه به ترتیب برابر ۱۱۰ میلی متر و ۲۵ درجه سانتی گراد است. ویژگی های خاک محل آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Soil physical and chemical properties of experimental field

نیتروژن Nitrogen (%)	پتاسیم Potassium (mg kg ⁻¹)	فسفر Phosphor (mg kg ⁻¹)	مواد آلی Organic matter (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (dS m ⁻¹)	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)
0.06	320	13	0.32	7.8	3.8	48.0	40.0	11.0

برای انجام پژوهش حاضر از آزمایش کرت های خرد شده در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار استفاده شد. عامل اصلی شامل سه سطح نیتروژن (مقدار مصرف بر اساس توصیه آزمون خاک معادل ۹۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار، مقدار مصرف دو برابر حد توصیه شده معادل ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار و مقدار مصرف سه برابر حد توصیه شده معادل ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) و عامل فرعی شامل دو سطح تقسیط نیتروژن (تقسیم سه مرحله ای شامل مراحل پس از سبز شدن (خاک دهی پای بوته)، مرحله غده دهی و مرحله حجیم شدن غده ها و تقسیط چهار مرحله ای مشابه تقسیط سه مرحله ای با این تفاوت که در مرحله حجیم شدن غده ها دو نوبت کود با فاصله ۱۴ روز اضافه شد) بودند. مقادیر مصرف برای هر یک از مراحل مساوی و از منبع اوره انتخاب شد. تیمارهای نیتروژن در نظر گرفته شده با توجه به مقادیر مصرف کشاورزان لحاظ گردید. رقم کشت شده رقم مارفونا با تراکم ۵۴ هزار بوته در هکتار (فواصل بین و روی ردیف به ترتیب ۷۵ و ۲۵ سانتی متر) بود. رقم مارفونا رقمی زودرس محسوب می شود و برای کشت در مناطقی با طول دوره رشد محدود مناسب است (Hassanpanah et al., 2018). کود فسفات (به صورت سوپر فسفات تریپل) و پتاسیم (به صورت اکسید پتاسیم) به ترتیب به مقدار ۲۰۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بر اساس آزمون خاک قبل از کشت استفاده گردید. هر کرت آزمایشی شامل چهار ردیف به طول چهار متر با مساحت ۱۲ متر مربع بود. پس از آماده سازی زمین و فراهم شدن شرایط محیطی در تاریخ ۲ اسفندماه اقدام به کاشت غده های کامل (۶۰ و ۷۰ گرمی) سیب زمینی از پیش جوانه زده و ضد عفونی شده با قارچ کش بنومیل گردید. کاشت به صورت دستی و در عمق ۱۵ سانتی متری انجام شد. آبیاری زمین پس از سبز شدن محصول بر اساس تخلیه ۵۰ درصد از رطوبت ظرفیت مزرعه در عمق نفوذ ریشه انجام شد. آبیاری به وسیله لوله های پولیکای خمیده و از طریق یک جوی اصلی صورت پذیرفت به گونه ای که هر کرت آزمایشی به صورت جداگانه آب دریافت کرده و از راه یابی آب هر کرت به کرت های مجاور جلوگیری به عمل آید.

انجام گردید. در زمان برداشت (۲۵ خرداد)، دو متر از ردیف های وسط هر کرت جهت برآورد عملکرد، تعداد غده و وزن غده ها برداشت شد.

ده روز قبل از تاریخ برداشت، عملیات سرزنی اندام های هوایی جهت ضخیم شدن پوست غده و جلوگیری از صدمات هنگام برداشت

غده‌های با قطر کمتر از ۳۵ میلی‌متر به عنوان غده‌های غیرقابل فروش در نظر گرفته شد. برای محاسبه شاخص برداشت و کارایی مصرف نیتروژن (بر اساس عملکرد قابل فروش) از فرمول زیر استفاده شد (Jalali and Bahrani, 2014). البته این شاخص برخی اوقات عامل بهره‌وری جزئی^۱ نامیده می‌شود (Bero et al., 2014)

نیتروژن مصرفی (کیلوگرم)/عملکرد غده (کیلوگرم) = کارایی مصرف نیتروژن

برای اندازه‌گیری نیترات غده‌ها نمونه‌های تهیه شده در پاکت‌های کاغذی قرار گرفت و به آزمایشگاه بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان انتقال داده شد. نمونه‌ها پس از شستشو، رنده شده و در آون (دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت) خشک شدند. نمونه‌ها پس از خروج از آون آسیاب شده و در دستگاه شیکر قرار گرفتند. مقدار نیترات نمونه‌ها از طریق روش اسپکتروفتومتری (طیف‌سنجی) تعیین شد (Green et al., 1982). این روش بر اساس تابش نور با طول موج مناسب به درون محلول مورد نظر و سنجش طیف‌های نوری عمل می‌کند. برای تجزیه داده‌ها از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) (SAS Institute, 2016) و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در جدول ۲ نشان داده شده است. تأثیر عامل مقدار نیتروژن بر عملکرد کل، عملکرد قابل فروش، عملکرد غیرقابل فروش، تعداد غده در بوته و کارایی استفاده از نیتروژن در سطح احتمال یک درصد و بر وزن غده و تجمع نیترات در غده‌ها در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. تأثیر تقسیط نیتروژن نیز بر عملکرد غیرقابل فروش و کارایی استفاده از نیتروژن در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. تأثیر برهمکنش عوامل مقدار نیتروژن و تقسیط نیتروژن بر صفات عملکرد کل و کارایی استفاده از نیتروژن در سطح یک درصد و بر صفات عملکرد قابل فروش، عملکرد غیرقابل فروش، نیترات غده، تعداد و وزن غده‌ها در سطح پنج درصد معنی‌دار بود.

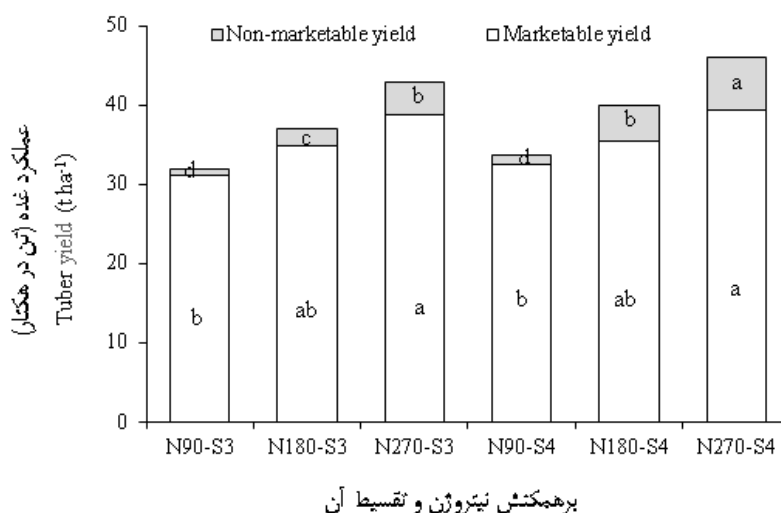
تأثیر برهمکنش تیمارهای نیتروژن و تقسیط آن در شکل ۱ ارائه شده است. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود عملکردهای قابل فروش در تیمار مصرف ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در هر دو حالت تقسیط سه و چهار مرحله‌ای به‌طور معنی‌دار بیش از تیمار مصرف ۹۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود ولی با تیمار مصرف ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن (در هر دو حالت تقسیط سه و چهار مرحله‌ای) تفاوت

معنی‌داری نداشت. عملکرد قابل فروش در تیمار ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در تیمارهای تقسیط سه و چهار مرحله‌ای به‌ترتیب برابر ۳۹/۴۲ و ۳۸/۷۸ تن در هکتار بود. نکته قابل توجه این‌که در هر دو روش تقسیط با افزایش مصرف نیتروژن از ۹۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد غیرقابل فروش نیز افزایش معنی‌دار داشت (شکل ۱). به عبارت ساده با وجود این‌که عملکرد کل (جمع عملکرد قابل فروش و غیرقابل فروش) در تیمار سه و چهار مرحله‌ای تقسیط نیتروژن در تیمار ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن به‌ترتیب برابر ۳۷ و ۴۰ تن در هکتار بود، به‌ترتیب ۶/۲۱ و ۱۱/۱۲ درصد از این عملکرد غده‌های کوچک غیرقابل فروش هستند. در تیمار مصرف ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در حالت‌های تقسیط سه و چهار مرحله‌ای عملکرد غیرقابل فروش به‌ترتیب برابر ۹/۵۲ و ۱۴/۴۳ درصد از عملکرد بود. علاوه بر این تقسیط سه و چهار مرحله‌ای نیتروژن تفاوت معنی‌داری در عملکرد قابل فروش هیچ‌یک از مقادیر مصرف نیتروژن ایجاد نکرد. مقدار و نحوه مصرف کودهای نیتروژن‌دار و همچنین رقم زراعی استفاده‌شده تأثیر زیادی بر عملکرد قابل فروش دارد (Venkatasalam et al., 2019). در مورد سیب‌زمینی مصرف نیتروژن کافی برای دستیابی به عملکرد بهینه در پژوهش‌های مختلف مورد تأکید قرار گرفته است (Kuisma, 2002)، با این‌وجود برای اکثر ارقام، بیشینه نیاز نیتروژن در فاصله زمانی ۴۸ تا ۶۶ روز پس از کشت اتفاق افتاده و در این زمان ۸۳-۶۱ درصد از کل نیاز گیاه به نیتروژن جذب می‌شود (Souza et al., 2020). در برخی از پژوهش‌ها دامنه‌ی بهینه مصرف نیتروژن برای گیاه سیب‌زمینی ۱۳۵-۹۰ کیلوگرم در هکتار در نظر گرفته‌شده و مقادیر بیش از آن موجب افت عملکرد و کاهش مقاومت به بیماری‌ها شده است (Jin et al., 2014). اگرچه تقسیط نیتروژن به‌عنوان یک رویکرد برای مدیریت بهینه نیتروژن مطرح است ولی تقسیط اضافی به‌ویژه در نیمه دوم دوره رشد سودی برای بهینه‌سازی عملکرد ندارد. چنین حالتی در پژوهش حاضر در تیمار تقسیط چهار مرحله‌ای قابل مشاهده است. تعداد و وزن غده‌ها در بوته از جمله اجزای عملکرد هستند که تحت تأثیر مقدار و چگونگی تقسیط نیتروژن قرار گرفتند (شکل ۲). با افزایش نیتروژن از مقدار ۹۰ کیلوگرم در هکتار، در هر دو روش تقسیط، به‌طور معنی‌دار تعداد غده‌ها افزایش و از وزن غده‌ها کاسته شد (شکل ۲). در روش تقسیط سه مرحله‌ای تعداد غده در هر بوته با استفاده از ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌ترتیب برابر ۳/۹۱، ۵/۲۸ و ۶/۵۸ عدد بود. این اعداد برای روش تقسیط چهار مرحله‌ای به‌ترتیب برابر ۴/۲۲، ۵/۶ و ۶/۸۵ عدد بود.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثرات مقدار نیتروژن و تقسیم آن بر عملکرد، اجزای عملکرد، تجمع نیترات غده، شاخص برداشت و کارایی استفاده از نیتروژن سیب زمینی
Table 2- Analysis of variance of nitrogen levels and nitrogen split effects on yield, yield components, tuber nitrogen concentration, and nitrogen use efficiency of potato

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean squares						
		عملکرد کل Total yield	عملکرد قابل فروش Marketable yield	عملکرد غیر قابل فروش Non-marketable yield	تعداد غده در بوته Tuber number plant ⁻¹	وزن غده Tuber weight	تجمع نیتروژن غده Tuber nitrogen concentration	کارایی استفاده از نیتروژن N use efficiency
بلوک Block	2	0.610 ^{n.s}	0.150 ^{n.s}	0.178 ^{n.s}	1.58 ^{n.s}	1.090 ^{n.s}	0.068 ^{n.s}	0.120 ^{n.s}
مقدار نیتروژن Nitrogen rate (N)	2	10.230 **	15.011 **	6.430 **	5.790 **	4.675 *	0.980 *	3.980 **
خطا a Error a	4	1.940	2.411	0.341	2.321	2.321	0.072	1.070
تقسیم نیتروژن Nitrogen Split (NS)	1	1.540 ^{n.s}	24.031 ^{n.s}	5.122 *	2.900 ^{n.s}	3.567 ^{n.s}	1.071 *	2.802 *
مقدار نیتروژن × تقسیم نیتروژن (N × NS)	2	17.350 **	45.870 *	7.641 *	6.641 *	7.560 *	0.882 *	5.028 **
خطا b Error b	6	1.980	25.380	4.052	4.670	4.670	0.321	1.002
ضریب تغییرات CV (%)		13.2	12.0	11.3	12.1	12.1	11.5	8.0

ns، * و **: به ترتیب عدم اختلاف معنی دار و اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.
ns, * and **: No difference, and significant difference at the 5 and 1% probability levels, respectively.



شکل ۱- مقایسه میانگین صفات عملکرد قابل فروش و عملکرد غیرقابل فروش در سطوح مختلف نیتروژن و تقسیط آن

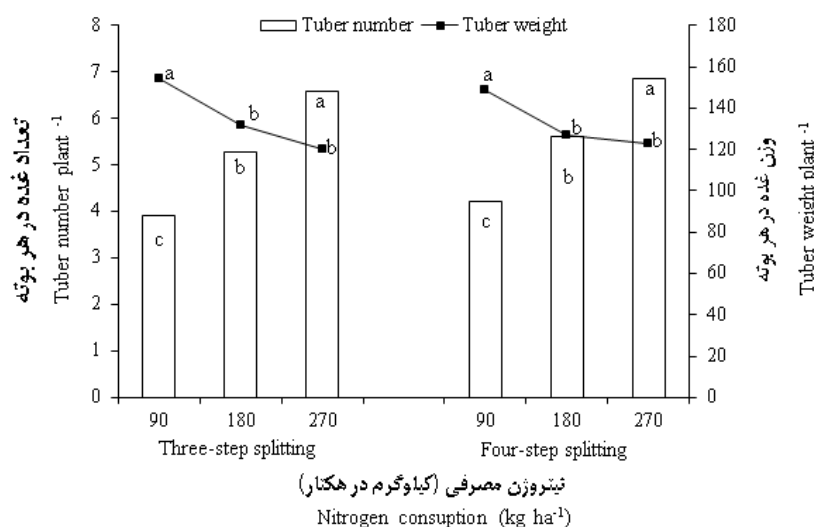
N90، N180 و N270 به ترتیب مصرف ۸۰، ۱۹۰ و ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار. S3 و S4 به ترتیب تقسیط سه و چهار مرحله‌ای.

ستون‌های هم‌رنگ با حروف مشابه تفاوت آماری ندارند (دانکن پنج درصد)

Figure 1- Mean comparison marketable yield and non-marketable yield at different levels of nitrogen and N split
N90, N180 and N270, respectively, 80, 190 and 270 kg N ha⁻¹. S3 and S4 are three and four step N split, respectively.
Columns of the same color with similar letters are not statistically different (Duncan 5%)

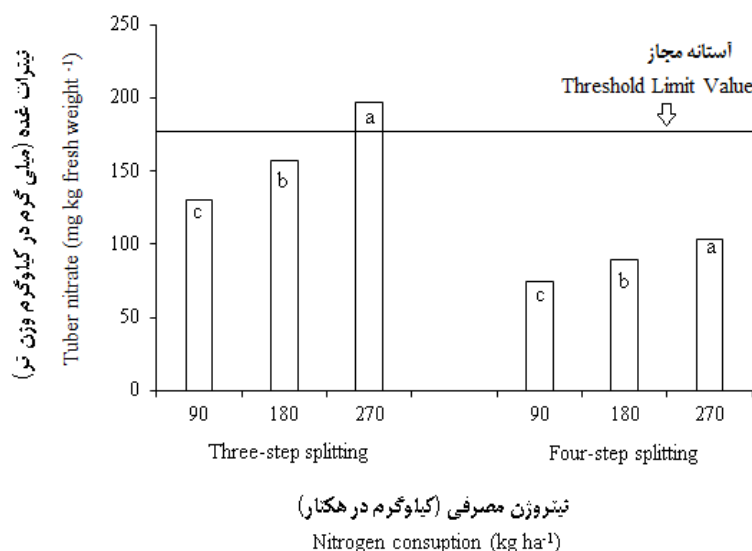
هوایی (عمدتاً برگ‌ها) با هزینه کرد مواد فتوسنتزی است که می‌بایست صرف رشد غده‌ها گردد (Yadav et al., 2017). افزایش نیترات غده‌های سیب‌زمینی یکی از مسائلی است که از جهت سلامت مصرف‌کننده حائز اهمیت است. در دو روش تقسیط نیتروژن، روش چهار مرحله‌ای با وجود تفاوت معنی‌دار بین مقادیر مختلف مصرف نیتروژن، مقدار نیترات غده‌ها کمتر از آستانه مجاز (۱۷۰ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن تر غده) بود (National Standard of Iran, 2013) (شکل ۳). در روش تقسیط سه مرحله‌ای با افزایش مقدار نیتروژن کاربردی از ۹۰ به ۱۸۰ و ۲۷۰ کیلوگرم مقدار نیترات غده به ترتیب از ۱۳۰ به ۱۵۷ و ۱۹۷ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تر غده رسید که در تیمار اخیر حدود ۱۶ درصد بیش از آستانه مجاز بود. دامنه تغییرات نیترات با توجه به شرایط محیطی می‌تواند از ۳۴ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تر غده تا ۸۴۳ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تر غده تغییر نماید (Naumann et al., 2020). به همین دلیل در برخی پژوهش‌ها برای دستیابی به بیشینه عملکرد و کاهش مقدار تجمع نیترات غده، علاوه بر تعیین مقدار نیتروژن مصرفی، استفاده از کود اوره به صورت ۳۰ درصد در زمان کشت، ۳۵ درصد در زمان غده‌زایی و ۳۵ درصد در مرحله حجیم شدن غده‌ها توصیه شده است (Jamshidi et al., 2015).

بیشترین وزن غده‌ها در روش تقسیط سه مرحله‌ای مربوط به تیمار مصرف ۹۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود و در تیمارهای ۱۸۰ و ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به ترتیب ۱۴/۳ و ۲۲ درصد از وزن غده‌ها کاسته شد (البته بین دو تیمار ۱۸۰ و ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار تفاوت معنی‌داری از این نظر مشاهده نشد). روند مشابهی از نظر تعداد و وزن غده‌ها در تیمار تقسیط چهار مرحله‌ای مشاهده شد. اگرچه برخی از محققین معتقدند تأثیر اصلی نیتروژن بر عملکرد از طریق تأثیر آن بر وزن غده‌ها، درصد ماده خشک و مقدار قندهای موجود در سیب‌زمینی به وقوع می‌پیوندد اما برخی پژوهش‌ها نیز تأثیر نیتروژن بر عملکرد از طریق تأثیر نیتروژن بر تعداد غده در هر بوته را گزارش کرده‌اند (Muleta and Aga, 2019). به این نکته باید توجه داشت که سطح بهینه مصرف نیتروژن و تأثیر آن بر تعداد و وزن غده‌ها بسته به شرایط محیطی و وضعیت خاک متفاوت است. به عنوان مثال در پژوهشی در هند سطح بهینه مصرف نیتروژن ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار تعیین شد و با افزایش نیتروژن از صفر تا ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار تعداد غده به طور معنی‌دار از ۳/۷ تا ۶/۸ عدد و وزن غده‌ها از ۱۹۱ تا ۳۷۰ گرم تغییر نمود و در مقادیر بیش از ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار وزن غده‌ها کاهش و تعداد غده‌ها ثابت باقی ماند (Ayyub et al., 2019). ثبات یا کاهش وزن غده‌ها در تیمارهای نیتروژن بیش‌ازحد بهینه به دلیل افزایش رشد اندام‌های



شکل ۲- تأثیر مقادیر مختلف نیتروژن و تقسیم نیتروژن بر تعداد و وزن غده سیبزمینی در هر روش تقسیم حروف مشابه تفاوت آماری ندارند (دانکن پنج درصد)

Figure 2- The effect of different levels of nitrogen and N split on the number and weight of potato tubers In each N split method, the same letters are not statistically different (Duncan 5%)



شکل ۳- تأثیر مقادیر مختلف نیتروژن و تقسیم نیتروژن بر مقدار نیترات غده سیبزمینی در هر روش تقسیم حروف مشابه تفاوت آماری ندارند (دانکن پنج درصد)

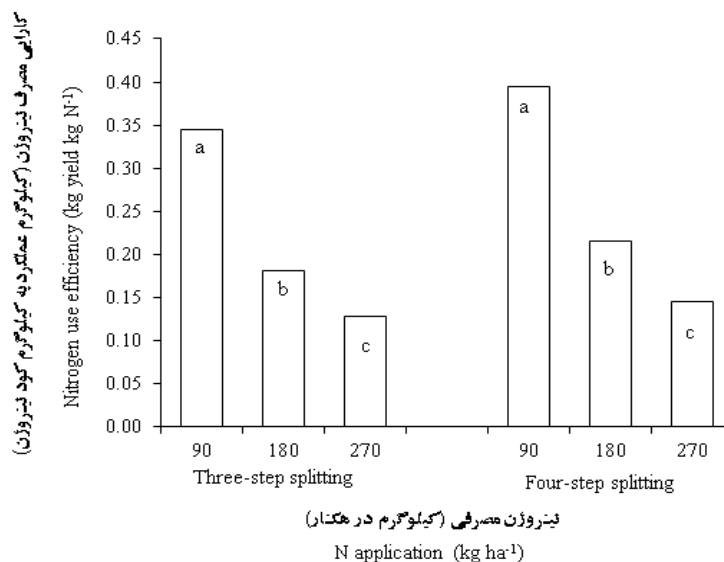
Figure 3- The effect of different levels of nitrogen and N split on potato tubes nitrate In each N split method, the same letters are not statistically different (Duncan 5%)

نیتروژن بود (شکل ۴). در هر دو روش تقسیم سه و چهار مرحله‌ای نیتروژن، کارایی مصرف نیتروژن در تیمار مصرف ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار نسبت به تیمار ۹۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به یک سوم کاهش یافت. مصرف نیتروژن اضافی نه تنها موجب هدر رفت سرمایه کشاورزان می‌شود بلکه به دلیل کشت این گیاه در خاک‌های نسبتاً سبک احتمال ایجاد آلودگی آب‌های زیرزمینی نیز افزایش

کارایی مصرف نیتروژن شاخصی است که از دید اقتصادی حائز اهمیت است. به عبارت ساده این شاخص به ما کمک می‌کند تا متوجه شویم عملکرد غده با چه هزینه‌ای از نظر مصرف نیتروژن به دست آمده است. کارایی مصرف نیتروژن در تیمار مصرف توصیه شده نیتروژن (۹۰ کیلوگرم در هکتار) در روش تقسیم سه و چهار مرحله‌ای به ترتیب برابر ۰/۳۵ و ۰/۳۹ کیلوگرم غده به ازای هر واحد مصرف

به صورت تقسیط شده و متناسب با مرحله رشدی گیاه کارایی استفاده از آن‌ها را به صورت چشم‌گیر افزایش می‌دهد (Bachmann-Pfabe and Dehmer, 2020).

می‌یابد (Souza et al., 2020). برخی محققین معتقدند گیاه سیب‌زمینی به واسطه داشتن ریشه‌های سطحی قادر نیست نیتروژن و مواد معدنی را از عمق خاک جذب کند و بنابراین تأمین این مواد



شکل ۴- تأثیر مقادیر مختلف نیتروژن و تقسیط نیتروژن بر کارایی مصرف نیتروژن سیب‌زمینی

در هر روش تقسیط حروف مشابه تفاوت آماری ندارند (دانکن پنج درصد)

Figure 4- The effect of different levels of nitrogen and N split on N use efficiency
In each N split method, the same letters are not statistically different (Duncan 5%)

نیتروژن، کارایی استفاده از کود کاهش یافت. به گونه‌ای که در تیمار مصرف ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار نسبت به تیمار ۹۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار کارایی مصرف کود به یک‌سوم رسید.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان به جهت همکاری و تأمین اعتبار لازم جهت این پژوهش سپاسگزاری نمایند.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد تقسیط نیتروژن زمانی یک رویکرد مدیریتی صحیح محسوب می‌شود که بر پایه مصرف مقدار نیتروژن توصیه‌شده باشد (در این پژوهش ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار). استفاده نیتروژن اضافی حتی به صورت تقسیط شده نه تنها موجب افزایش عملکرد اقتصادی نشد بلکه در برخی از تیمارها (تقسیم سه مرحله‌ای ۲۷۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) با افزایش نیترات غده فراتر از حد مجاز همراه بود (۱۷۰ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن تر غده). در مقادیر مصرف نیتروژن بیش از توصیه کودی، در هر دو روش تقسیط

References

1. Ayyub, C. M., Wasim Haidar, M., Zulfiqar, F., Abideen, Z., and Wright, S. R. 2019. Potato tuber yield and quality in response to different nitrogen fertilizer application rates under two split doses in an irrigated sandy loam soil. *Journal of Plant Nutrition* 42: 1850-1860. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1648669>.
2. Bachmann-Pfabe, S., and Dehmer, K. J. 2020. Evaluation of wild potato germplasm for tuber starch content and nitrogen utilization efficiency. *Plants* 9 (7): 833. <https://doi.org/10.3390/plants9070833>.
3. Bélanger, G., Walsh, J. R., Richards, J. E., Milburn, P. H., and Ziadi, N. 2001. Tuber growth and biomass partitioning of two potato cultivars grown under different N fertilization rates with and without irrigation. *American Journal of Potato Research* 78: 109-117. <https://doi.org/10.1007/BF02874766>.
4. Bero, N. J., Ruark, M. D., and Lowery, B. 2014. Controlled-release fertilizer effect on potato and groundwater nitrogen in sandy soil. *Agronomy Journal* 106: 359-368. <https://doi.org/10.2134/agronj2013.0331>.

5. De la Morena, I., Guillen, A., and Del Moral, L. F. G. 1994. Yield development in potatoes as influenced by cultivar and the timing and level of nitrogen fertilization. *American Potato Journal* 71: 165-173. <https://doi.org/10.1007/BF02849051>.
6. FAO (Food and Agriculture Organization). 2019. FAOSTAT, Retrieved January 15, 2018. Available at: <http://faostat.fao.org/site/291/default.aspx>. Accessed 19 Aug. 2019.
7. Green, L. C. Wagner, D. A., Glogowski, J., Skipper, P. L., Wishnok, J. S., and Tannenbaum, S. R. 1982. Analysis of nitrate, nitrite, and [15N] nitrate in biological fluids. *Analytical Biochemistry* 126: 131-138. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(82\)90118-X](https://doi.org/10.1016/0003-2697(82)90118-X).
8. Jalali, A. H., and Mousapour Gorji, A. 2021. The use of "stress memory" to improve drought stress tolerance in potato. *Iranian Journal of Field Crops Research* 19: 61-71. (in Persian).
9. Jalali, A. H., and Bahrani, M. J. 2014. Effect of crop residue and nitrogen fertilizer on nitrogen use efficiency in corn (*Zea mays* L.) production. *Applied Field Crop Research* 102:197-204. (in Persian).
10. Jalali, A. H., Hassanpanah, D., and Mousapour Gorji, A. 2020. Environmental stresses and their management in potato production. *Agricultural Research, Education and Extension Organization Seed and Plant Improvement Institute*, 214pp. (in Persian).
11. Jamshidi, A. M., Ahmadi, A., and Darvishi, B. 2015. Yield and quality of potato seed and edible tubers in response to different phosphorus levels and nitrogen application times. *Iranian Journal of Field Crop Science* 45: 489-498. (in Persian).
12. Jin, X., Hao, N., Jiao, F., Yang, Y., Wang, D., Xu, C., and Zhai, R. 2014. The effect of nitrogen supply on potato yield, tuber size and pathogen resistance in *Solanum tuberosum* exposed to *Phytophthora infestans*. *African Journal of Agricultural Research* 9: 2657-2663. <https://doi.org/10.5897/AJAR2013.7550>.
13. Hassanpanah, D., Kazemi, N., Mousapour Gorji, A., and Jalali, A. H. 2018. Comprehensive guide to modern potato farming. Seed and Plant Breeding Research Institute, Knowledge Network Office and Promotional Media. 322 pp.
14. Kuisma, P. 2002. Efficiency of split nitrogen fertilization with adjusted irrigation on potato. *Agricultural and Food Science* 11: 59-74. <https://doi.org/10.23986/afsci.5713>.
15. Muleta, H. D., and Aga, M. C. 2019. Role of nitrogen on potato production: a review. *Journal of Plant Sciences* 7: 36-42.
16. National Standard of Iran. 2013. Maximum levels for nitrate in agricultural product. Standard No. 16596. First edition 11 Pp.
17. Naumann, M., Koch, M., Thiel, H., Gransee, A., and Pawelzik, E. 2020. The importance of nutrient management for potato production part II: Plant nutrition and tuber quality. *Potato Research* 63: 97-119. <https://doi.org/10.1007/s11540-019-09431-2>.
18. SAS Institute. 2016. SAS user's guide. SAS Inst., Cary, NC.
19. SCF (Scientific Committee on Food). 1997. Assessment of dietary intake of nitrates by the population in the European Union, as a consequence of the consumption of vegetables, in Reports on tasks for scientific cooperation: report of experts participating in Task 3.2.3, ed by European Commission, Brussels, p 34.
20. Souza, E. F., Soratto, R. P., Sandaña, P., Venterea, R. T., and Rosen, C. J. 2020. Split application of stabilized ammonium nitrate improved potato yield and nitrogen-use efficiency with reduced application rate in tropical sandy soils. *Field Crops Research* 254: 107847. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107847>.
21. Venkatasalam, E. P., Bairwa, A., KL, D., Sudha, R., Mhatre, P. H., Govindakrishnan, P. M., and Singh, R. K. 2019. Effect of nitrogen sources on yield and yield components of potato (*Solanum tuberosum*) cultivars. *Indian Journal of Agricultural Sciences* 89: 35-40.
22. Yadav, S. K., Singh, G. K., Jain, V. K., and Tiwari, A. 2017. Response of potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars to different levels of nitrogen. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 6: 2734-9.
23. Ysart, G., Miller, P., Barrett, G., Farrington, D., Lawrance, P., and Harrison, N. 1999. Dietary exposures to nitrate in the UK. *Food Additives and Contaminants* 16: 521-532. <https://doi.org/10.1080/026520399283669>.



Improving Yield, Yield Components and the Absorption of Nutrients of Wheat by Growth Stimulants under Normal Irrigation and Drought Stress

M. Rajaie^{1*}

Received: 01-09-2021
Revised: 03-02-2022
Accepted: 09-02-2022

How to cite this article:

Rajaie, M. 2022. Improving Yield, Yield Components and the Absorption of Nutrients of Wheat by Growth Stimulants under Normal Irrigation and Drought Stress. Iranian Journal of Field Crops Research 20 (2): 147-162. (in Persian with English abstract). DOI: [10.22067/jcsc.2022.72226.1083](https://doi.org/10.22067/jcsc.2022.72226.1083).

Introduction

Drought stress is one of the most important factors in reducing crop production in many arid and semi-arid regions of the world. In recent years, the use of growth stimulants to prevent the excessive use of chemical fertilizers and induce tolerance to environmental stresses has increased in order to achieve the goals of sustainable agriculture. Unlike chemical fertilizers, these compounds with the least adverse environmental effects are involved in increasing crop yields and conserving natural resources. The use of growth stimulants is one of the promising ways to overcome drought stress. Based on reports expressing the positive effects of growth stimulants drought tolerance, the present study was designed to investigate the moderating effect of growth stimulants at different irrigation intervals on improving yield, yield components and nutrient concentration in wheat.

Materials and Methods

The experiment was performed as a split plot based on randomized complete block design with three replications. This research was conducted during the growing seasons of 2017-2018 and 2018-2019 in Fars Agricultural and Natural Resources Research Center (Darab Agricultural Research station). The main factor includes different irrigation intervals at two levels (irrigation after 70 and 140 mm of cumulative evaporation from Class A evaporation pan) and the secondary factor includes the use of growth stimulants at seven levels (control, soil application of humic acid, foliar spray of amino acids, fulvic acids and seaweed extract, seed inoculation of Azotobacter and the combination of growth stimulants). The amount of irrigation water required in irrigation treatments was determined based on soil moisture supply at the depth of root development to reach the field capacity. Soil moisture was measured by weight method and through soil sampling in the middle of each plot to determine the evacuated moisture after reaching the desired cumulative evaporation. Foliar application of amino acids, fulvic acids and seaweed extract was performed at the concentration of 5 kg m⁻³ of water in two stages of tillering and complete emergence of spike. Humic acid fertilizer at a rate of 5 kg.ha⁻¹ was applied in the early stages of growth with the second irrigation. Seed Azotobacter inoculum was used at a rate of 1.5%. Finally, the concentration of nutrients in straw and grain, straw and grain dry weight, biological yield, harvest index and yield components were measured. Analysis of data variances was performed using SAS software version 9.1. Bartlett test was performed on all studied traits.

Results and Discussion

The results showed that the highest concentration of macro and micro nutrients in grain and straw were obtained in the combined treatment of growth stimulants. After this treatment, a significant increase in the concentration of nutrients was observed in the individual consumption of growth stimulants. Combination treatment of growth stimulants increased wheat biological yield by 18% compared to the control. Also, at a lower level, individual application of growth stimulants improved the biological yield compared to the control. The combination of growth stimulants and subsequently the individual application of these compounds improved

1- Soil and Water Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shiraz, Iran

(*- Corresponding Author Email: rajaie.majid@yahoo.com)

DOI: [10.22067/jcsc.2022.72226.1083](https://doi.org/10.22067/jcsc.2022.72226.1083)

the yield components of wheat. In the first and second year, irrigation after 140 mm of cumulative evaporation reduced the biological yield by 14 and 25% compared to 70 mm of cumulative evaporation, respectively. Also, irrigation after 140 mm of cumulative evaporation reduced the dry weight of straw, grain yield and harvest index compared to 70 mm of cumulative evaporation. In general, the results showed that the uptake of some nutrients was affected by the 140 mm cumulative evaporation treatment from the evaporation pan. However, in the second year of planting, due to the presence of frequent rains before flowering, the treatment of 140 mm of cumulative evaporation from the evaporation pan had less effect on nutrient uptake.

Conclusion

Overall, the use of a combination of growth stimulants was effective in increasing grain yield, biological yield and yield components of wheat. The results of this study showed that the growth stimulants to some extent caused drought tolerance by improving nutrients uptake. Therefore, the combination of growth stimulants in both normal irrigation and drought stress conditions can be used to improve nutrient uptake and wheat grain yield.

Keywords: Azotobacter, Grain yield, Humic acid, Seaweed extract

بهبود جذب عناصر غذایی، عملکرد و اجزای عملکرد گندم با ترکیبات محرک رشد تحت آبیاری نرمال و تنش خشکی

مجید رجایی*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۲۰

چکیده

طی سال‌های اخیر جهت رسیدن به اهداف کشاورزی پایدار استفاده از محرک‌های زیستی به‌منظور جلوگیری از کاربرد بیش از حد کودهای شیمیایی و القای تحمل به تنش‌های محیطی افزایش یافته است. بهبود غلظت عناصر غذایی و عملکرد گندم با استفاده از ترکیبات محرک رشد تحت شرایط آبیاری نرمال و تنش خشکی فرضیه در این پژوهش بود. آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی دو سال زراعی ۹۸-۱۳۹۶ انجام شد. عامل اصلی شامل فواصل مختلف آبیاری در دو سطح (آبیاری بعد از ۷۰ و ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A) و عامل فرعی استفاده از محرک‌های زیستی در هفت سطح (شاهد بدون محرک رشد، مصرف خاکی اسید هیومیک، محلول‌پاشی اسید آمینه، اسید فولویک و عصاره جلبک دریایی، مصرف مایع تلقیح ازتو باکتر و تلقیح ترکیبات محرک رشد) بودند. نتایج نشان داد که بیشترین میزان غلظت عناصر پرمصرف و کم مصرف کاه و دانه از تلقیح ترکیبات محرک رشد به‌دست آمد. پس از این افزایش معنی‌دار غلظت عناصر در مصرف منفرد ترکیبات محرک رشد مشاهده شد. آبیاری پس از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر سبب کاهش وزن خشک کاه و کلش، عملکرد دانه و بیولوژیک و شاخص برداشت نسبت به ۷۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر شد. تلقیح ترکیبات محرک رشد و پس از آن ترکیبات منفرد اجزای عملکرد گندم را بهبود دادند. بنابراین ترکیبات محرک رشد از طریق بهبود جذب عناصر غذایی سبب تحمل به تنش خشکی شدند. همچنین تلقیح ترکیبات محرک رشد در افزایش عملکرد دانه گندم نقش به‌سزایی داشت.

واژه‌های کلیدی: ازتوباکتر، اسید هیومیک، عصاره جلبک دریایی، عملکرد دانه

مقدمه

عملکرد برای تأمین غذا، ضرورتی انکارناپذیر است (Trethowan and Mujeeb-Kazi, 2008). برخی از عوامل غیر زیستی از جمله تنش خشکی بر رشد و عملکرد گندم اثر می‌گذارند، به‌طوری‌که باروری زیستی حداقل در خاک‌های متأثر از خشکی به‌عنوان یک مشکل اساسی محسوب می‌گردد (Arif et al., 2017). در بخش‌های عمده‌ای از ایران، تنش خشکی باعث کاهش شاخص‌های رشد و عملکرد گندم می‌شود (Saeidi et al., 2017).

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل موثر در کاهش تولید عملکرد گیاهان زراعی از جمله گندم در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است (Khatiwada et al., 2020). تنش خشکی با تغییر در ویژگی‌های فیزیولوژیکی و کاهش جذب عناصر غذایی سبب کاهش عملکرد گیاهان می‌شود (Sabagh et al., 2019). همچنین تنش خشکی می‌تواند سبب اختلال در فرایند فیزیولوژیکی گیاه از جمله فتوسنتز و افزایش تنش اکسیداتیو در گیاهان شود (Razi and Muneer, 2021). البته هنوز به‌طور کامل مشخص نشده که

پیش‌بینی‌هایی مبنی بر محدودیت تولید مواد غذایی برای جمعیت رو به رشد جهان (حدود ۹ میلیارد در سال ۲۰۵۰) وجود دارد. بنابراین شناخت عوامل حیاتی تأثیرگذار بر رشد و عملکرد از مهم‌ترین جنبه‌های موفقیت در تولید محصولات زراعی از جمله گندم به‌شمار می‌آیند (Raimondo et al., 2021). گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان راهبردی است که مصارف زیادی به‌ویژه در تغذیه انسان داشته و اهمیت آن بر کسی پوشیده نیست. امروزه لزوم پرداختن به مدیریت تولید این گیاه زراعی در شرایط تنش‌های محیطی به‌منظور دستیابی به حداکثر پتانسیل رشد و

۱- بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
(Email: rajaie.majid@yahoo.com)
* - نویسنده مسئول

ترکیبات محرک رشد با کاهش مصرف کودهای شیمیایی، افزایش بازده جذب عناصر غذایی و بهبود عملکرد محصولات کشاورزی نقش قابل ملاحظه در حفظ محیط زیست و توسعه کشاورزی پایدار دارند. بر اساس گزارش‌های بیان‌کننده اثرات مثبت ترکیبات محرک رشد در تحمل به تنش خشکی، پژوهش حاضر طراحی شد تا تأثیر تعدیل‌کنندگی ترکیبات محرک رشد را در فواصل مختلف آبیاری بر بهبود غلظت عناصر غذایی و عملکرد و اجزای عملکرد در گندم بررسی شود.

مواد و روش‌ها

طراحی آزمایش و تیمارها

این پژوهش طی دو سال زراعی ۹۸-۱۳۹۶ در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس- شهرستان داراب، با طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۳۴ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۶۱ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۰۷۴ متر از سطح دریا انجام شد. آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار انجام شد. عامل اصلی شامل فواصل مختلف آبیاری در دو سطح (آبیاری بعد از ۷۰ و ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A) و عامل فرعی شامل استفاده از محرک‌های زیستی در هفت سطح (شاهد (بدون مصرف محرک رشد)، مصرف خاکی اسید هیومیک، محلول‌پاشی اسید آمینه، اسید فولویک و عصاره جلبک دریایی، مصرف مایع تلقیح از تو باکتر به‌صورت بذرمال و تلفیق ترکیبات محرک رشد) بودند. محلول‌پاشی اسید آمینه، اسید فولویک و جلبک دریایی با غلظت پنج در هزار در دو مرحله پنجه‌زنی و ظهور کامل سنبله انجام شد. کاربرد کود اسید هیومیک به میزان پنج کیلوگرم در هکتار در مراحل اولیه رشد با آبیاری دوم صورت گرفت. مصرف مایع تلقیح از تو باکتر به میزان ۱/۵ در صد به‌زای بذر مصرفی به‌صورت بذرمال استفاده شد. در تیمار تلفیق ترکیبات محرک رشد تمامی محرک‌های رشد به‌جز اسید فولویک در زمان‌های گفته شده استفاده شد. ترکیبات محرک رشد، همگی از منبع تجاری مورد تایید موسسه تحقیقات خاک و آب ایران تهیه شدند. رقم گندم استفاده شده در این پژوهش چمران ۲ بود که از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی داراب تهیه شد. قبل از اجرای آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری شد و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک به شرح **جدول ۱** تعیین شدند. همچنین تعداد آبیاری، حجم آب آبیاری، حجم بارندگی و حجم کل آب مصرفی در طول اجرای پژوهش به شرح **جدول ۲** بود. همچنین میزان بارندگی در طول اجرای آزمایش در ایستگاه هواشناسی سینوپتیک داراب به شرح **شکل ۱** بود.

کدام عوامل تحت شرایط تنش خشکی، نقش مهم‌تری در بازدارندگی رشد و کاهش عملکرد گیاهان را دارا می‌باشند. براساس گزارش محققان عوامل متعددی سبب افزایش تحمل گیاهان به تنش خشکی و تغییر در مکانیسم‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی می‌شود (Attarzadeh et al., 2020). گزارش شده که افزایش جذب عناصر غذایی در شرایط تنش خشکی سبب بهبود شاخص‌های فتوسنتزی می‌شود که نقش به‌سزایی در افزایش تحمل گیاه به تنش خشکی دارد (Attarzadeh et al., 2019).

مصرف ترکیبات محرک رشد یکی از روش‌های بسیار امیدوارکننده برای غلبه بر تنش خشکی است. در واقع تعریف ترکیبات محرک رشد شامل بر هر ماده‌ای است که برای گیاه مفید می‌باشد و به‌صورت طبیعی جهت افزایش رشد، توسعه ویژگی‌های کیفی و افزایش تحمل به تنش‌های محیطی استفاده می‌شود (Halpern et al., 2015). ترکیبات محرک رشد می‌توانند مواد طبیعی موجود در خاک باشند که ناشی از تجزیه بقایای گیاهان و حیوانات هستند و از فعالیت متابولیکی میکروارگانیسم‌های خاک به‌دست می‌آیند (Rose et al., 2014). طی سال‌های اخیر دامنه استفاده از محرک‌های زیستی در کشاورزی به دلیل پتانسیل آن‌ها در کشاورزی پایدار افزایش یافته است. محرک‌های زیستی اصولاً به‌منظور جلوگیری از کاربرد بیش از حد (بی‌رویه) کودهای شیمیایی و افزایش تحمل به تنش‌های محیطی استفاده می‌گردند (Bulgari et al., 2019). برخلاف کودهای شیمیایی، این ترکیبات با کمترین اثرات سوء زیست‌محیطی در افزایش بازده عملکرد محصولات کشاورزی و حفظ منابع طبیعی نقش دارند (Aamir et al., 2020). اسیدهای آمینه، عصاره جلبک دریایی، اسیدهای هیومیک و فولیک مثال‌های بسیار مناسبی برای این ترکیبات هستند (Battacharyya et al., 2015; Canellas et al., 2015). نتایج تحقیقات پژوهشگران نشان می‌دهد که انواع مختلف اسیدهای آمینه، تحمل گیاهان را نسبت به تنش‌های محیطی افزایش می‌دهند. از نقش‌های اسیدهای آمینه می‌توان به تنظیم انتقال یون‌ها، تنظیم باز و بسته شدن روزنه‌ها و عمل به‌عنوان اسمولیت اشاره کرد (Anjum et al., 2014). همچنین مصرف اسید هیومیک با افزایش جذب عناصر غذایی و بهبود فتوسنتزی سبب افزایش عملکرد می‌گردد (Khan et al., 2012). افزایش رشد حاصل از اسید هیومیک و اسید فولیک به دلیل تأثیر تسریع‌کننده آن‌ها بر فعالیت آنزیم $ATP_{ase}-H^+$ می‌باشد که انتقال انرژی و نسبت جذب نیتрат را در گیاه افزایش می‌دهند (Canellas et al., 2015). عصاره جلبک دریایی حاوی ویتامین‌ها، اسیدهای آمینه و هورمون‌های رشد سیتوکینین و اکسین می‌باشد که تأثیرات مفیدی بر رشد گیاه دارند (Battacharyya et al., 2015).

استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی سبب ایجاد مشکلات و نگرانی‌هایی در اکوسیستم‌های کشاورزی شده است. در مقابل

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

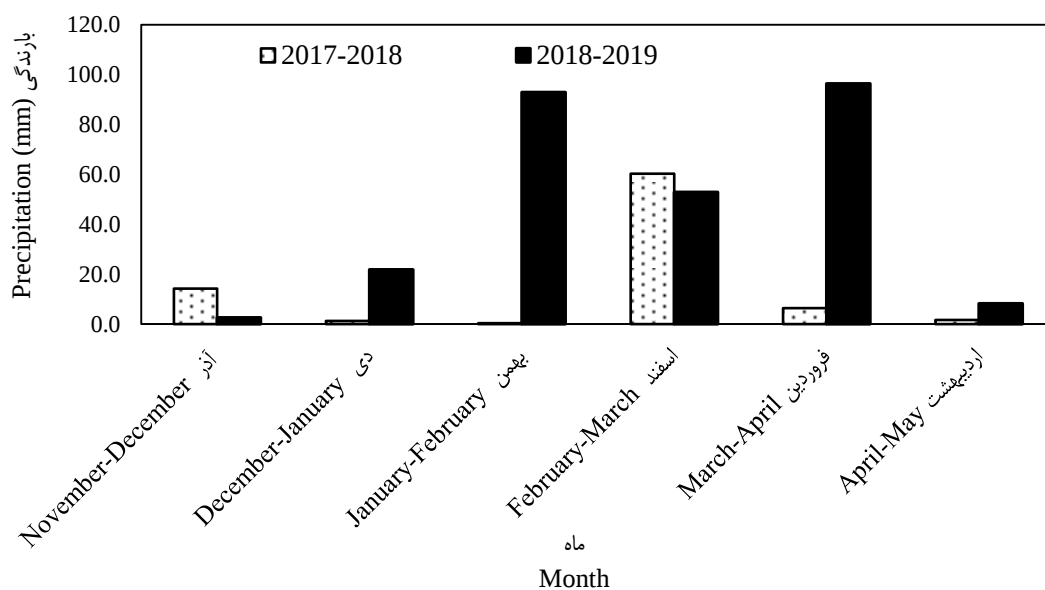
Table 1- The soil physical and chemical analysis

سال Year	عمق Depth (cm)	بافت Texture	هدایت الکتریکی EC (dS m ⁻¹)	اسیدیته pH	کربن آلی O.C	آهک TNV (%)	N	P	K	Mn	Fe	Cu	Zn
(mg kg ⁻¹)													
1 (2017-2018)	0-30	Loam	1.05	8.3	0.55	32	0.09	12	165	9.8	8.6	0.87	0.97
2 (2018-2019)	0-30	Loam	0.9	8.1	0.61	30	0.06	10.2	182	7.6	4.7	1.0	1.2

جدول ۲- مقدار آبیاری و بارندگی در دو سال انجام آزمایش

Table 2- The amount of irrigation water and precipitation in two years of the experiment.

سال Year	فواصل آبیاری (تبخیر تجمعی) Irrigation regimes (Cumulative evaporation)	تعداد آبیاری Number of irrigation	حجم آب آبیاری Irrigation water amount (m ³ ha ⁻¹)	حجم بارندگی Precipitation amount (m ³ ha ⁻¹)	حجم کل آب مصرفی Total amount of consumed water (m ³ ha ⁻¹)
1 (2017-2018)	70	8	6559	844	7403
	140	5	5241	844	6085
2 (2018-2019)	70	5	4379	2750	7129
	140	3	2983	2750	5733



شکل ۱- میزان بارندگی برای فصل‌های مختلف از آذر تا اردیبهشت ماه ۱۳۹۶-۹۸

Figure 1- Rainfall conditions for seasonal patterns from November to May 2017-2018 and 2018-2019

توسط مرزیند احداث گردید. با توجه به نتایج آزمون خاک، اقلیم و پتانسیل تولیدی منطقه نسبت به توصیه کودی تلفیقی اقدام گردید. در هر دو سال مقادیر ۱۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل، ۱۰۰ کیلوگرم

قبل از هر کشت و زمانی که رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی بود، با شخم و دیسک بستر بذر آماده شد. با توجه به طرح آماری تعداد ۴۲ واحد آزمایشی (کرت) به ابعاد ۶×۲ متر با حاشیه دو متر

وزن خشک کاه و کلش و دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و وزن هزار دانه

در هر دو سال به منظور حذف اثر حاشیه‌ای، برداشت در هر کرت از ردیف‌های وسط و در مساحتی معادل یک متر مربع صورت گرفت. پس از جداسازی دانه‌ها، نمونه‌ها در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد آون به مدت ۷۲ ساعت خشک شدند و تعیین وزن خشک کاه و کلش، وزن خشک دانه و عملکرد بیولوژیک (وزن خشک کل) توسط ترازوی دقیق انجام گرفت. شاخص برداشت از نسبت وزن خشک دانه به عملکرد بیولوژیک به‌دست آمد (رابطه ۱).

$$(۱) \text{ شاخص برداشت} = \text{وزن خشک دانه} / \text{وزن خشک بیولوژیکی} \times ۱۰۰$$

اجزای عملکرد

قبل از برداشت، اجزای عملکرد گندم شامل تعداد سنبله و تعداد دانه در سنبله اندازه‌گیری شد.

آنالیز آماری

تجزیه واریانس داده‌ها برای ویژگی‌های مختلف با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ انجام گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها نیز با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. در صورت معنی‌دار بودن برهم‌کنش، برش‌دهی انجام و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از رویه L.S.Means انجام گردید.

نتایج و بحث

محتوای نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه و کاه کلش

نتایج نشان داد که اثر فواصل آبیاری و ترکیبات محرک رشد بر میزان نیتروژن دانه و کاه و کلش گندم معنی‌دار بود، همچنین نیتروژن دانه و کاه و کلش تحت تأثیر برهم‌کنش فواصل آبیاری و سال قرار گرفت. از سوی دیگر برهم‌کنش ترکیبات محرک رشد و سال، محتوای نیتروژن دانه را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد (جدول ۳). بیشترین میزان غلظت نیتروژن کاه و کلش با میزان ۱/۶۳ درصد در تیمار تلفیق ترکیبات محرک رشد به‌دست آمد (جدول ۴). پس از این تیمار افزایش معنی‌دار غلظت نیتروژن کاه و کلش نسبت به شاهد در تیمار محلول‌پاشی اسید آمینه مشاهده شد. برهم‌کنش فواصل آبیاری و سال نشان داد که در سال اول، کمترین نیتروژن کاه و کلش با مقدار ۰/۹۱ درصد مربوط به آبیاری ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از

سولفات پتاسیم و ۱۰۰ کیلوگرم اوره به‌صورت پیش‌کاشت با خاک مخلوط شدند. مقادیر تکمیلی شامل ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره در مرحله پنجه‌زنی و ۱۰۰ کیلوگرم در مرحله ساقه‌دهی و ۱۰۰ کیلوگرم قبل از گلدهی استفاده گردید (Moshiri et al., 2016). بذر رقم چمران ۲ پس از ضدعفونی با قارچ‌کش کاپتان به میزان ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار صورت ردیفی در آذر ماه ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ کشت شد. مبارزه با علف‌های هرز با دست انجام شد. عملیات برداشت در اوائل خرداد ماه ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ انجام شد.

اعمال تیمار رطوبتی

پس از کاشت تمام کرت‌ها در آبیاری اول و آبیاری دوم به‌صورت یکنواخت آبیاری شدند. تنش آبیاری بعد از استقرار گیاه و بعد از آبیاری دوم اعمال شد. میزان آب آبیاری مورد نیاز در تیمارهای آبیاری بر اساس تامین رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه برای رسیدن به حد ظرفیت زراعی (FC) تعیین گردید. اندازه‌گیری رطوبت خاک به روش وزنی و از طریق نمونه‌گیری‌های خاک در وسط هر کرت انجام شد تا رطوبت تخلیه شده پس از رسیدن به تبخیر تجمعی مورد نظر مشخص گردد. مقدار آب مصرفی برای هر کرت با در نظر گرفتن رطوبت ظرفیت زراعی خاک، مساحت هر کرت و عمق توسعه ریشه محاسبه شد. میزان آب مصرفی به‌وسیله پارشال فلوم نصب شده در مزرعه اندازه‌گیری شد و آبیاری هر تیمار تا رسیدن به رطوبت ظرفیت زراعی ادامه یافت. برای تعیین مقدار رطوبت خاک در شرایط ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم از دستگاه صفحه فشاری استفاده شد.

اندازه‌گیری ویژگی‌های پژوهش

غلظت عناصر دانه و کاه و کلش

برای اندازه‌گیری غلظت عناصر دانه و کاه کلش نمونه‌برداری پس از برداشت انجام گرفت. نمونه‌های دانه و کاه و کلش پس از چند بار شستشو با آب مقطر در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد آون خشک شدند. برای تعیین نیتروژن، نمونه‌ها هضم شدند و براساس تیتراسیون بعد از تقطیر توسط دستگاه کج‌لدال مدل V40 اندازه‌گیری انجام شد (Lang, 1958). اندازه‌گیری فسفر، پتاسیم، آهن، روی، مس و منگنز دانه و کاه کلش در عصاره حاصل از خاکستر گیاهی حل شده در اسید کلریدریک دو نرمال انجام گرفت. در عصاره به‌دست آمده، غلظت فسفر به روش رنگ‌سنجی، با استفاده از معرف مولیبدات-واندات و توسط دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Vis 2100 در طول موج ۴۲۰ نانومتر و پتاسیم به روش نشر شعله‌ای و توسط دستگاه فلیم فتومتر مدل 620G اندازه‌گیری شد. همچنین عناصر آهن، روی، مس و منگنز دانه و کاه کلش گندم با استفاده از دستگاه جذب اتمی مدل Shimadzu-AA 6400 اندازه‌گیری شد (Madison, 1971).

تشتک تبخیر بود که نسبت به ۷۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر (۱/۶۱ درصد) اختلاف معنی‌داری نشان داد در سال دوم، اختلاف معنی‌داری بین فواصل مختلف آبیاری وجود نداشت. تیمار آبیاری ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر در سال اول و دوم سبب کاهش معنی‌دار نیتروژن دانه گندم شد (جدول ۵). از سوی دیگر در سال اول، نیتروژن دانه در تلفیق ترکیبات محرک رشد و مصرف منفرد این ترکیبات افزایش معنی‌داری را نسبت به شاهد نشان داد (جدول ۶). همچنین در سال دوم تلفیق ترکیبات محرک رشد و در سطح پایین‌تر کاربرد اسید آمینه توانست غلظت نیتروژن دانه را بهبود دهد.

اثر ترکیبات محرک رشد بر میزان فسفر کاه و کلش گندم معنی‌دار بود، همچنین برهم‌کنش ترکیبات محرک رشد و سال، محتوای فسفر کاه و کلش را به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر قرار داد (جدول ۳). از سوی دیگر محتوای فسفر دانه تحت تأثیر عوامل آزمایشی قرار نگرفت. در سال اول، فسفر کاه و کلش در ترکیبات محرک رشد نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۶). همچنین در سال دوم تلفیق ترکیبات محرک رشد توانست غلظت فسفر کاه و کلش را بهبود دهد.

اثر فواصل آبیاری بر میزان پتاسیم کاه و کلش و دانه گندم معنی‌دار بود، همچنین پتاسیم کاه و کلش و دانه تحت تأثیر برهم‌کنش فواصل آبیاری و سال قرار گرفت (جدول ۳). برهم‌کنش فواصل آبیاری و سال نشان داد که در سال اول، آبیاری ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر سبب کاهش معنی‌دار پتاسیم کاه و کلش و دانه نسبت به ۷۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر شد (جدول ۵). از سوی دیگر در سال دوم، اختلاف معنی‌داری بین فواصل مختلف آبیاری وجود نداشت (جدول ۵).

در سال اول آزمایش، جذب عناصر غذایی تحت تاثیر فواصل مختلف آبیاری قرار گرفت و تیمار آبیاری ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر سبب کاهش جذب عناصر پرمصرف شد. در سال دوم به دلیل میزان بارندگی بیشتر تا قبل از دوره گلدهی، میزان جذب عناصر غذایی در فواصل مختلف آبیاری تقریباً یکسان بود (جدول ۵). تنش خشکی از طریق کاهش انتقال عناصر از خاک به درون ریشه و آوندهای گیاه، محتوای عناصر غذایی را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Dotaniya and Meena, 2015). همچنین کاهش میزان تعرق به دلیل تنش خشکی، سبب کاهش جذب عناصر غذایی و کارایی استفاده از آن‌ها می‌گردد (Farooq et al., 2009). ترکیبات محرک رشد به کار رفته در این پژوهش، تاثیر بارزتری بر غلظت عناصر غذایی پرمصرف گندم داشتند. گزارش شده است که عناصر غذایی موجود در محرک‌های رشد به راحتی توسط برگ‌ها از طریق روزنه و یا

کوتیکول جذب می‌شوند (Battacharyya et al., 2015). همچنین مصرف خاکی اسید هیومیک می‌تواند شکل‌های نامحلول معدنی و آلی فسفر را به شکل‌های قابل جذب تبدیل کند و جذب فسفر توسط ریشه را افزایش دهد (Du Jardin, 2015). با توجه به دانش فعلی، ترکیبات محرک‌های رشد با بیان ژن‌های کلیدی برای آنزیم‌های درگیر در جذب و متابولیسم عناصر غذایی سبب جذب کارآمد عناصر غذایی می‌گردند (Pylak et al., 2019; Klokić et al., 2020). محققان (Moshiri et al., 2016) حد بهینه نیتروژن، فسفر و پتاسیم را در برگ گندم به ترتیب بین ۲/۵ تا ۳/۰، ۰/۲ تا ۰/۴ و ۱/۸ تا ۳ درصد بیان می‌کنند. نتایج ارائه شده در جدول ۴ و ۶ نشان می‌دهد که غلظت نیتروژن و فسفر تا حدودی زیر حد بهینه بوده است. به عبارتی می‌توان گفت که احتمالاً به دلیل فقر عناصر غذایی در خاک‌های منطقه جنوب کشور و تنش خشکی حاصله شده، مقدار نیتروژن کمی جذب شده است. در هر صورت استفاده از ترکیبات محرک‌های رشد تا حدودی سبب افزایش غلظت نیتروژن و فسفر در اندام هوایی گیاه شده است.

محتوای عناصر آهن، منگنز، روی و مس کاه و کلش و دانه

اثر ترکیبات محرک رشد بر میزان عنصر آهن کاه و کلش و دانه گندم معنی‌دار بود، همچنین برهم‌کنش ترکیبات محرک رشد و سال، محتوای آهن کاه و کلش و دانه را به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر قرار داد (جدول ۳). در سال اول، تلفیق ترکیبات محرک رشد و مصرف اسید فولیک توانست سبب افزایش ۲۶ درصدی آهن برگ نسبت به شاهد شود. پس از آن، تیمارهای مصرف آمینواسید و اسید هیومیک نسبت به دیگر تیمارها غلظت آهن کاه و کلش بیشتری داشتند. همچنین در سال دوم، تیمار تلفیق ترکیبات محرک رشد توانایی نسبتاً بالایی در افزایش آهن کاه و کلش نشان داد از سوی دیگر تیمارهای تلفیق ترکیبات محرک رشد مشابه با مصرف منفرد اسید فولیک و جلبک دریایی توانایی نسبتاً بالایی در افزایش آهن دانه در سال اول و دوم نشان دادند (جدول ۶).

اثر ترکیبات محرک رشد بر میزان عنصر منگنز کاه و کلش و دانه گندم معنی‌دار بود، اما برهم‌کنش عوامل آزمایشی نتوانست محتوای منگنز کاه و کلش و دانه را تحت تاثیر قرار دهد (جدول ۳). تلفیق ترکیبات محرک رشد و مصرف اسید هیومیک با قرار گرفتن در یک گروه آماری مشابه غلظت منگنز کاه و کلش و دانه را به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش دادند (جدول ۴).

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای فواصل آبیاری و محرک رشد بر غلظت عناصر کاه و کلش و دانه گندم
Table 3- Analysis of variance for the effects of irrigation intervals and growth stimulants on the straw and grain elements of Wheat

منابع تغییر	درجه آزادی	نیترژن کلش و کاه و نیترژن دانه	فسفر کلش و کاه و فسفر دانه	پتاسیم کلش و کاه و پتاسیم دانه	آهن کلش و کاه و آهن دانه	منگنز کلش و کاه و منگنز دانه	روی کلش و کاه و روی دانه	مس کلش و کاه و مس دانه							
Source of variation	d.f	Straw N	Grain N	Straw P	Grain P	Straw K	Grain K	Straw Fe	Grain Fe	Straw Mn	Grain Mn	Straw Zn	Grain Zn	Straw Cu	Grain Cu
سال	1	ns	*	**	ns	*	ns	**	ns	ns	ns	ns	**	**	ns
تکرار	2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns
فواصل آبیاری	1	**	**	ns	ns	*	**	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns
Irrigation intervals (Ii)															
تکرار آبیاری	2	0.04	0.01	0.001	0.001	0.02	0.0009	99.2	5.7	6.6	112.7	2.5	13.0	0.21	1.3
Block × Ii (E _a)															
محرک رشد	6	**	**	*	ns	ns	ns	**	**	**	**	**	**	*	**
Growth stimulants (Gs)															
فواصل آبیاری×محرک رشد	6	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Ii × Gs															
تکرار×محرک رشد	24	0.030	0.04	0.0002	0.0004	0.04	0.003	226.7	19.8	10.9	30.6	3.6	10.7	0.234	0.792
Block × Gs (E _b)															
فواصل آبیاری×سال	1	*	*	ns	ns	*	*	ns	ns	ns	ns	*	*	ns	ns
Ii × Year															
تکرار×فواصل آبیاری×سال	4	0.175	0.176	0.0005	0.0004	0.098	0.002	38.9	0.69	9.3	10.3	1.4	11.8	0.148	0.796
Block × Ii × Year (E _c)															
محرک رشد×سال	6	ns	**	*	ns	ns	ns	**	**	ns	ns	ns	ns	*	**
Gs × Year															
فواصل آبیاری×محرک رشد×سال	6	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Ii × Gs × Year															
Error	24	0.030	0.033	0.0002	0.0006	0.041	0.001	62.73	0.53	9.67	21.98	4.13	8.32	0.156	0.575
C.V. (%)	-	12.8	8.6	23.6	11.2	8.0	8.4	5.6	4.2	11.5	10.2	12.9	7.9	14.5	13.2
** ,* and ns is significant at the 5 and 1 percent probability level, respectively and non-significant															
* ,** ,*** and ns indicate significant difference between treatments at the 5, 1, 0.1 and 0.01 percent probability level, respectively															

ns و **، * and ns is significant at the 5 and 1 percent probability level, respectively and non-significant

جدول ۴- اثر محرک رشد روی نیتروژن کاه و کلش، منگنز کاه و کلش، منگنز دانه، کلش و کلش و روی دانه در گندم
Table 4- Effect of growth stimulants on straw N, straw Mn, grain Mn, straw Zn and grain Zn in Wheat.

محرک‌های رشد Growth stimulants	نیتروژن کاه و کلش Straw N %	منگنز کاه و کلش Straw Mn mg kg ⁻¹	منگنز دانه Grain Mn mg kg ⁻¹	روی کاه و کلش Straw Zn mg kg ⁻¹	روی دانه Grain Zn mg kg ⁻¹
شاهد Control	1.20 c	24 c	42 c	13.6 d	30.9 d
اسید آمینه Amino Acid	1.48 b	26 c	45 bc	14.5 d	34.8 c
اسید هیومیک Humic Acid	1.21 c	28 ab	48 ab	15.5 bc	36.3 bc
اسید فولیک Fulvic Acid	1.35 bc	25 c	44 bc	16.2 bc	35.8 c
عصاره جلبک دریایی Seaweed Extract	1.28 c	27 abc	45 bc	16.4 b	39.0 ab
ازتو باکتر Azotobacter	1.33 bc	25 c	43 bc	15.1 bcd	35.3 c
تلفیق محرک‌های رشد Combination of growth Stimulants	1.63 a	29 a	51 a	18.4 a	40.9 a

میانگین‌هایی دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means followed by the same letters in each column are not significantly different by Duncan test at 5% probability level.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر سال و فواصل آبیاری روی نیتروژن کاه و کلش، نیتروژن دانه، پتاسیم کاه و کلش، پتاسیم دانه، روی کاه و کلش و روی دانه در گندم
Table 5- Mean comparison of year and irrigation intervals on straw N, grain N, straw K, grain K, straw Zn and grain Zn in Wheat

سال Year	فواصل آبیاری (تبخیر تجمعی) Irrigation intervals (Cumulative evaporation)	نیتروژن کاه و کلش Straw N %	نیتروژن دانه Grain N %	پتاسیم کاه و کلش Straw K %	پتاسیم دانه Grain K %	روی کاه و کلش Straw Zn mg kg ⁻¹	روی دانه Grain Zn mg kg ⁻¹
1 (2017-2018)	70	1.61 a	2.28 a	2.81 a	0.544 a	15.8 a	39.7 a
	140	0.91 b	1.82 b	2.50 b	0.431 b	15.3 a	37.8 a
2 (2018-2019)	70	1.52 a	2.29 a	2.47 a	0.511 a	17.0 a	35.6 a
	140	1.37 a	2.00 b	2.36 a	0.477 a	14.8 b	31.4 b

میانگین‌هایی دارای حروف مشترک در هر ستون و هر فواصل آبیاری اختلاف معنی‌داری با رویه L.S. Means در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means slicing by irrigation intervals in each year followed by the same letters have no significant difference on the basis of L.S. Means by Duncan test procedure.

هر حال ترکیبات محرک رشد توانایی نسبتاً بالایی در افزایش روی دانه نشان دادند. برهم‌کنش فواصل آبیاری و سال نشان داد که در سال دوم، آبیاری ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشنگ تبخیر سبب کاهش معنی‌دار عنصر روی کاه و کلش و دانه نسبت به ۷۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشنگ تبخیر شد. از سوی دیگر در سال اول، اختلاف معنی‌داری بین فواصل مختلف آبیاری وجود نداشت (جدول ۵).

اثر ترکیبات محرک رشد بر میزان مس کاه و کلش و دانه گندم معنی‌دار بود، همچنین برهم‌کنش ترکیبات محرک رشد و سال، مس

اثر فواصل آبیاری بر میزان عنصر روی کاه و کلش گندم معنی‌دار بود، همچنین ترکیبات محرک رشد غلظت روی کاه و کلش و دانه گندم را تحت تاثیر قرار دادند (جدول ۳). از سوی دیگر برهم‌کنش فواصل آبیاری و سال، محتوای عنصر روی کاه و کلش و دانه را به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر قرار داد (جدول ۳). تلفیق ترکیبات محرک رشد سبب افزایش غلظت عنصر روی کاه و کلش و دانه به‌ترتیب به میزان ۳۵ و ۳۲ درصد نسبت به شاهد گردید (جدول ۴). در سطح پایین‌تر مصرف اسید هیومیک، اسید فولیک و عصاره جلبک دریایی سبب افزایش معنی‌دار عنصر روی کاه و کلش گندم شد. در

تلفیق ترکیبات محرک رشد و مصرف منفرد این ترکیبات توانایی نسبتاً بالایی در افزایش مس دانه در سال اول داشتند. از سوی دیگر در سال دوم اختلاف معنی‌داری بین ترکیبات محرک رشد نسبت به شاهد مشاهده نشد (جدول ۶).

کاه و کلش و دانه گندم را تحت تاثیر قرار داد (جدول ۳). در سال اول، تلفیق ترکیبات محرک رشد و مصرف ازتوباکتر توانست سبب افزایش ۴۰ درصدی مس کاه و کلش نسبت به شاهد شود همچنین در سال دوم، تلفیق ترکیبات محرک رشد نسبت به دیگر تیمارها غلظت مس کاه و کلش بیشتری داشت. نتایج دیگر نشان داد که تیمار

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر سال و محرک رشد روی نیتروژن دانه، فسفر کاه و کلش، آهن کاه و کلش، مس کاه و کلش و مس دانه در گندم

Table 6- Comparison of mean for the interaction of year and growth stimulants on grain N, straw P, straw Fe, grain Fe, straw Cu and grain Cu in Wheat

سال Year	محرک‌های رشد Growth stimulants	نیتروژن دانه Grain N	فسفر کاه و کلش Straw P	آهن کاه و کلش Straw Fe	آهن بذر Grain Fe	مس کاه و کلش Straw Cu	مس دانه Grain Cu
		%				mg kg ⁻¹	
1 (2017-2018)	شاهد Control	1.52 b	0.025 a	132 c	55 c	2.0 b	4.3 d
	اسید آمینه Amino Acid	2.18 a	0.025 a	145 b	55 c	2.3 ab	5.1 c
	اسید هیومیک Humic Acid	2.06 a	0.025 a	149 b	56 bc	2.5 ab	5.3 c
	اسید فولیک Fulvic Acid	2.23 a	0.021 a	166 a	64 a	2.5 ab	6.5 b
	عصاره جلبک دریایی Seaweed Extract	2.10 a	0.025 a	142 bc	59 b	2.5 ab	5.3 c
	ازتو باکتر Azotobacter	2.03 a	0.025 a	141 bc	56 bc	2.8 a	5.8 c
	تلفیق محرک‌های رشد Combination of growth Stimulants	2.25 a	0.023 a	166 a	65 a	2.8 a	7.3 a
2 (2018-2019)	شاهد Control	1.90 c	0.093 b	122 b	54 c	2.7 b	5.7 a
	اسید آمینه Amino Acid	2.18 b	0.093 b	122 b	55 c	2.9 ab	5.6 a
	اسید هیومیک Humic Acid	2.08 bc	0.121 ab	129 b	56 bc	3.0 ab	5.9 a
	اسید فولیک Fulvic Acid	2.00 bc	0.098 b	130 b	66 a	3.0 ab	5.6 a
	عصاره جلبک دریایی Seaweed Extract	2.14 bc	0.101 b	134 b	59 b	3.0 ab	6.0 a
	ازتو باکتر Azotobacter	2.13 bc	0.095 b	123 b	57 bc	2.5 b	5.3 a
	تلفیق محرک‌های رشد Combination of growth Stimulants	2.57 a	0.130 a	151 a	67 a	3.3 a	6.2 a

میانگین‌هایی دارای حروف مشترک در هر ستون و هر فواصل آبیاری اختلاف معنی‌داری با رویه L.S. Means در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means slicing by irrigation intervals in each year followed by the same letters have no significant difference on the basis of L.S. Means by Duncan test procedure.

میکروبیولوژیکی و آنزیمی خاک را افزایش دهند. این ترکیبات می‌توانند بر ساختار ریشه تاثیر گذاشته و حلالیت و انتقال عناصر ریز

ترکیبات محرک رشد توانایی خوبی برای افزایش غلظت عناصر کم مصرف برگ کلزا نشان دادند. محرک‌های رشد می‌توانند فعالیت

مغذی را تغییر دهند (Rouphael and Colla, 2020). گزارش شده است که اسید هیومیک رشد ریشه را تحریک می‌کند و سبب افزایش تماس بین خاک و ریشه و دسترسی بیشتر به عناصر غذایی می‌شود (Canellas et al., 2015). از سوی دیگر ترکیبات هومیک قادر به افزایش ظرفیت تبادل کاتیون خاک و کاهش اسیدیته خاک هستند که سبب افزایش حلالیت عناصر کم مصرف در خاک می‌گردد (Garcia-Mina et al., 2004). برخی تحقیقات حاکی از افزایش رشد ریشه‌های گیاه با افزودن عصاره جلبک دریایی به دلیل تاثیر آن بر هورمون‌های گیاهی است (Battacharyya et al., 2015). در هر حال سودمندی محرک‌های رشد نه تنها به دلیل بهبود جذب عناصر غذایی بلکه می‌تواند به سبب افزایش رشد ریشه باشد (Kumar et al., 2020). گزارش شده است که ترکیبات محرک رشد موجب تحریک بیان ژن‌های مسئول در آنزیم‌های مهم متابولیسمی شده و جذب عناصر غذایی را افزایش می‌دهند (Pylak et al., 2019). کاربرد اسید فولیک به دلیل جذب کمتر فسفر در مقایسه با تیمارهای دیگر محرک رشد با نشان دادن اثر آنتاگونیسمی سبب افزایش غلظت آهن و مس در کاه و کلش و دانه گردید (جدول ۶). بررسی منابع نشان می‌دهد که افزایش غلظت فسفر در خاک باعث کاهش حلالیت عناصر کم مصرف در خاک شده و غلظت عناصر کم مصرف را در سیب‌زمینی و گندم کاهش می‌دهد (Mishra and Abidi, 2010; Hopkins and Ellsworth, 2003). فسفر در خاک با برخی عناصر کم مصرف می‌تواند تشکیل ترکیبات کم محلول و مقاومی بدهد که سبب کاهش انتقال عناصر کم مصرف از ریشه به سایر قسمت‌های گیاه گردد (Ova et al., 2015). محققان (Moshiri et al., 2016) حد بهینه آهن و منگنز را در برگ گندم به ترتیب بین ۳۰ تا ۲۰۰ و ۲۵ تا ۱۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم و حد بهینه روی و مس به ترتیب ۱۸ تا ۷۰ و ۵ تا ۲۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بیان می‌کنند. بنابراین اگرچه در پاره‌ای از موارد میزان عناصر کم مصرف کمتر از حد بهینه بود، اما مصرف تلفیقی ترکیبات محرک رشد میزان این عناصر را تا حد بهینه رساند.

وزن خشک کاه و کلش، دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت

اثر فواصل آبیاری بر وزن خشک کاه و کلش گندم معنی‌دار بود. از سوی دیگر برهم‌کنش فواصل آبیاری و سال، وزن خشک کاه و کلش گندم را به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر قرار داد (جدول ۷). در سال اول، آبیاری ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشک تبخیر سبب کاهش ۹ درصدی وزن خشک کاه و کلش نسبت به ۷۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشک تبخیر شد (جدول ۸). همچنین در سال دوم آبیاری ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشک تبخیر سبب کاهش ۲۰

درصدی وزن خشک کاه و کلش شد. اثر فواصل آبیاری و ترکیبات محرک رشد بر وزن خشک دانه گندم معنی‌دار بود از سوی دیگر برهم‌کنش فواصل آبیاری و سال، وزن خشک دانه گندم را به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر قرار داد (جدول ۷). تیمار تلفیق ترکیبات محرک رشد سبب افزایش ۱۹ درصدی وزن خشک دانه گندم نسبت به شاهد شد که نسبت مصرف منفرد ترکیبات محرک رشد تفاوت معنی‌داری نشان نداد (جدول ۹). در سال اول، آبیاری ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشک تبخیر سبب کاهش ۲۱ درصدی وزن خشک دانه نسبت به ۷۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشک تبخیر شد (جدول ۸). همچنین در سال دوم آبیاری ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشک تبخیر سبب کاهش ۳۴ درصدی وزن خشک دانه شد.

اثر فواصل آبیاری و ترکیبات محرک رشد بر عملکرد بیولوژیک گندم معنی‌دار بود. از سوی دیگر برهم‌کنش فواصل آبیاری و سال، عملکرد بیولوژیک گندم را به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر قرار داد (جدول ۷). تیمار تلفیق ترکیبات محرک رشد سبب افزایش ۱۸ درصدی عملکرد بیولوژیک گندم نسبت به شاهد شد (جدول ۹). همچنین در سطح پایین‌تر ترکیبات منفرد محرک رشد عملکرد بیولوژیک را نسبت به شاهد بهبود دادند. نتایج دیگر نشان داد که در سال اول و دوم، آبیاری ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشک تبخیر سبب کاهش به ترتیب ۱۴ و ۲۵ درصدی عملکرد بیولوژیک نسبت به ۷۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشک تبخیر شد (جدول ۸).

اثر فواصل آبیاری بر شاخص برداشت گندم معنی‌دار بود از سوی دیگر برهم‌کنش فواصل آبیاری و سال، شاخص برداشت گندم را به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر قرار داد (جدول ۷). در سال اول، آبیاری ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشک تبخیر سبب کاهش ۸ درصدی شاخص برداشت نسبت به ۷۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشک تبخیر شد (جدول ۸). همچنین در سال دوم آبیاری ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشک تبخیر سبب کاهش ۱۱ درصدی شاخص برداشت شد.

کاهش وزن خشک دانه و عملکرد بیولوژیک در تیمار آبیاری ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشک تبخیر ناشی از تاثیر تنش خشکی بر انتقال اسیمیلات‌ها می‌باشد. گزارش شده است که کمبود شدید آب به دلیل اختلال در توزیع مواد فتوسنتزی عملکرد دانه را کاهش می‌دهد. از آنجایی که در انتهای مرحله رویشی، گیاه با سرعت تقریباً زیادی تولیدات فتوسنتزی را به اندام‌های زایشی منتقل می‌کند، بنابراین بروز تنش خشکی در این مرحله باعث آسیب زیادی به عملکرد دانه می‌شود. از دلایل احتمالی این رویداد می‌توان به کاهش دوره پر شدن دانه و در نتیجه کاهش وزن دانه اشاره نمود (Dehkhoda et al., 2013). رافائل و کولا (Rouphael and Colla, 2020) عنوان کردند که محرک‌های رشد با بهبود خصوصیات

فیزیولوژیکی سبب جذب عناصر غذایی و افزایش عملکرد گیاه می‌شوند. محققین دیگری هم نتایج مشابهی برای ذرت با استفاده از ترکیبات محرک رشد گزارش کرده‌اند (Tejada et al., 2018). ترکیبات محرک رشد مثل جلبک دریایی با بهبود وضعیت جذب عناصر غذایی و توانایی بیشتر در افزایش تولید مواد فتوسنتزی سبب بهبود عملکرد دانه می‌شود (Layek et al., 2018). می‌توان استنباط کرد که مواد محرک رشد از طریق افزایش جذب عناصر غذایی، موجب بهبود شاخص‌های فیزیولوژیکی از جمله رنگیزه‌های فتوسنتزی در گندم شده است (Supraja et al., 2020). بنابراین با توجه به گزارش‌های محققان، افزایش جذب عناصر غذایی در گندم می‌تواند عملکرد دانه را به میزان قابل‌توجهی افزایش دهد (Liu et al., 2017). همچنین در شرایط کمبود جذب عناصر غذایی، افزایش تجمع

ماده خشک محدود می‌شود و عملکرد بیولوژیکی گیاه کاهش خواهد یافت (Rajaie and Charkhandeh, 2019). بر اساس میزان و توزیع ماهانه بارندگی در طول دوره رشد گیاه (شکل ۱)، با وجود میزان بارندگی بیشتر در سال دوم آزمایش، میزان کل آب مصرفی در دو سال تقریباً یکسان بود. در این رابطه همانطور که جدول ۲ نشان می‌دهد کمبود بارندگی در سال اول با آبیاری بیشتر جبران شده است. به‌طوری که در سال اول، ۳ آبیاری در شرایط نرمال و ۲ آبیاری در شرایط تنش بیشتر از سال دوم بوده است. در هر حال عملکرد دانه و شاخص برداشت در شرایط آبیاری ۷۰ و ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی در سال اول نسبت به سال دوم بیشتر بود. شاید بتوان گفت که کاهش بعضی از صفات در سال دوم به دلیل تفاوت در سایر شاخص‌های محیطی و اقلیمی سال مذکور باشد.

جدول ۷- تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای فواصل آبیاری و محرک رشد بر صفات عملکردی در گندم

Table 7- Analysis of variance for the effects of irrigation intervals and growth stimulants on yield characteristics of Wheat

وزن هزار دانه	تعداد دانه در سنبله	تعداد سنبله	شاخص برداشت	عملکرد بیولوژیکی	عملکرد دانه	وزن کاه و کلش	درجه آزادی	منابع تغییر
Thousand seed weight	Number of grain per spike	Spikes number	Harvest index	Biological yield	Grain yield	Straw weight	d.f	Source of Variation
ns	**	ns	ns	**	ns	ns	2	تکرار Block
**	ns	**	*	**	**	**	1	فواصل آبیاری Irrigation intervals (Ii)
4.5	0.103	103.6	13.2	134190	310282	734995	2	تکرار×آبیاری Block × Ii (E _a)
**	*	**	ns	**	*	ns	6	محرک رشد Growth stimulants (Gs)
ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	6	فواصل آبیاری×محرک رشد Ii × Gs
13.2	19.8	756.3	33.7	2064510	835848	3139102	24	تکرار×محرک رشد Block × Gs (E _b)
ns	ns	**	**	ns	**	**	1	سال Year
**	ns	**	*	**	**	**	1	فواصل آبیاری×سال Ii × Year
4.7	55.7	442.2	6.2	816204	108672	782165	4	تکرار×فواصل آبیاری×سال Block × Ii × Year (E _c)
ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	6	محرک رشد×سال Gs × Year
ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	6	فواصل آبیاری×محرک رشد×سال Ii × Gs × Year
8.16	10.9	1077	28.38	2563780	551192	3257124	24	خطا Error
7.4	7.4	6.7	14.3	8.2	10.2	14.8	-	ضریب تغییرات C.V. (%)

*, **, و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌دار.

ns, *, and ** is significant at the 5 and 1 percent probability level, respectively and non-significant

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر سال و فواصل آبیاری روی وزن کاه و کلش، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی، شاخص برداشت، تعداد سنبله و وزن هزار دانه در گندم

Table 8- Mean comparison of year and irrigation intervals on straw weight, grain yield, biological yield, harvest index, spikes number and thousand seed weight in Wheat

سال Year	فواصل آبیاری (تبخیر تجمعی) Irrigation intervals (Cumulative evaporation)	وزن کاه و کلش Straw weight	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیکی Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	تعداد سنبله Spikes number	وزن هزار دانه Thousand seed weight
		kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	%	number per m ²	g
1 (2017-2018)	70	12250 a	8854 a	21104 a	42.1 a	505 a	40.6 a
	140	11195 b	7010 b	18206 b	38.8 b	495 a	36.3 b
2 (2018-2019)	70	14082 a	7883 a	21966 a	35.9 a	527 a	42.8 a
	140	11191 b	5223 b	16414 b	31.9 a	426 b	34.0 b

میانگین‌هایی دارای حروف مشترک در هر ستون و هر فواصل آبیاری اختلاف معنی‌داری با رویه L.S. Means در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means slicing by irrigation intervals in each year followed by the same letters have no significant difference on the basis of L.S. Means by Duncan test procedure.

جدول ۹- اثر محرک رشد روی عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی، تعداد سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه در گندم

Table 9- Effect of growth stimulants on seed weight, biological yield, spikes number, number of seed per spike and thousand seed weight in Wheat

محرک‌های رشد Growth stimulants	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد بیولوژیکی Biological yield	تعداد سنبله Spikes number	تعداد دانه در سنبله Number of grain per spike	وزن هزار دانه Thousand seed weight
	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	number per m ²	-	g
شاهد Control	6520 b	17700 c	454 c	41.6 b	36.0 b
اسید آمینه Amino Acid	7329 ab	19727 ab	493 ab	44.0 ab	38.2 ab
اسید هیومیک Humic Acid	7215 ab	19302 b	490 ab	44.8 ab	38.5 ab
اسید فولیک Fulvic Acid	7299 ab	19122 b	489 ab	44.9 ab	38.8 ab
عصاره جلبک دریایی Seaweed Extract	7248 ab	19232 b	495 ab	44.5 ab	38.5 ab
ازتو باکتر Azotobacter	7312 ab	19994 ab	486 b	44.9 ab	37.5 b
تلفیق محرک‌های رشد Combination of growth Stimulants	7773 a	20879 a	512 a	47.3 a	41.4 a

میانگین‌هایی دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means followed by the same letters in each column are not significantly different by Duncan test at 5% probability level.

تعداد سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه

اثر فواصل آبیاری و ترکیبات محرک رشد بر تعداد سنبله گندم معنی‌دار بود از سوی دیگر برهم‌کنش فواصل آبیاری و سال، تعداد سنبله گندم را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد (جدول ۷). تیمار تلفیق ترکیبات محرک رشد سبب افزایش ۱۳ درصدی تعداد سنبله گندم نسبت به شاهد شد (جدول ۹). همچنین پس از آن ترکیبات

منفرد محرک رشد تعداد سنبله گندم را بهبود دادند. نتایج دیگر نشان داد که در سال دوم، آبیاری ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشنگ تبخیر سبب کاهش ۱۹ درصدی تعداد سنبله نسبت به ۷۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشنگ تبخیر شد (جدول ۸). اما در سال اول اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف آبیاری وجود نداشت. اثر ترکیبات محرک رشد بر تعداد دانه در سنبله گندم معنی‌دار بود

افزایش عملکرد و اجزای عملکرد در اثر استفاده از ترکیبات محرک رشد مثل جلبک دریایی وجود دارد (Layek et al., 2018).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج نشان داد که جذب برخی عناصر غذایی تحت تاثیر تیمار ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشک تبخیر قرار گرفته است. البته در سال دوم کاشت به دلیل وجود بارندگی‌های مکرر تا قبل از گلدهی، تیمار ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشک تبخیر تاثیری کمتری بر جذب عنصر غذایی داشت. گرچه در سال دوم میزان بارش به‌طور قابل ملاحظه‌ای بالا بود، اما به دلیل عدم وجود بارندگی در مرحله گلدهی و مرحله انتهایی دوره رشد عملکرد گیاه کاهش محسوسی را نشان داد. می‌توان چنین استنباط کرد که تنش خشکی سبب محدود کردن انتقال اسمیلات‌ها شده و در نتیجه عملکرد دانه گندم را کاهش داده است. این امر نشان‌دهنده حساسیت بیشتر مراحل گل‌دهی، گرده‌افشانی و پر شدن دانه به تنش خشکی نسبت به مراحل رویشی می‌باشد. همچنین ترکیبات محرک رشد سبب افزایش معنی‌دار عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر و پتاسیم و عناصر کم مصرف آهن، روی، منگنز و مس در کاه و کلش و دانه گندم شد. در بین ترکیبات محرک رشد به‌کار رفته در این پژوهش، تلفیق این ترکیبات تاثیر بارزتری را بر غلظت عناصر غذایی داشت. همچنین استفاده از تلفیق ترکیبات محرک رشد در افزایش وزن خشک دانه و عملکرد بیولوژیکی گندم موثر بود و سبب افزایش اجزای عملکرد گندم گردید. از این‌رو تلفیق ترکیبات محرک رشد می‌تواند برای بهبود جذب عناصر غذایی و عملکرد دانه گندم استفاده گردند.

سپاسگزاری

بدین وسیله از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس که صمیمانه ما را در انجام این تحقیق یاری نمودند، تشکر می‌نماییم.

(جدول ۷). تلفیق ترکیبات محرک رشد سبب افزایش تعداد دانه در سنبله نسبت به شاهد شد (جدول ۹). از سوی دیگر مصرف منفرد ترکیبات محرک رشد نسبت به شاهد تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند.

اثر فواصل آبیاری و ترکیبات محرک رشد بر وزن هزار دانه گندم معنی‌دار بود. از سوی دیگر برهم‌کنش فواصل آبیاری و سال، وزن هزار دانه گندم را به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر قرار داد (جدول ۷). بیشترین میزان وزن هزار دانه گندم در تیمار تلفیق ترکیبات محرک رشد مشاهده شد (جدول ۹). نتایج دیگر نشان داد که در سال اول و دوم، آبیاری ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشک تبخیر سبب کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه نسبت به آبیاری ۷۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشک تبخیر گردید (جدول ۸).

کاهش تعداد سنبله و وزن هزار دانه در تیمار آبیاری ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشک تبخیر رطوبتی ناشی از تاثیر منفی تنش خشکی بر این صفات می‌باشد. گزارش شده است که کمبود شدید آب به دلیل اختلال در توزیع مواد فتوسنتزی اجزای عملکرد را کاهش می‌دهد (Attarzadeh et al., 2019). تنش خشکی از طریق تاثیر بر مرحله دانه‌بندی و طول دوره پر شدن دانه سبب کاهش اجزای عملکردی می‌شود (Bellaloui et al., 2011). از سوی دیگر افزایش جذب عناصر غذایی منجر به افزایش عملکرد زایشی شده است که به دنبال آن تعداد سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه افزایش یافته است. در سامانه‌های تغذیه تلفیقی به دلیل بهبود سیستم ریشه و افزایش جذب آب و عناصر غذایی، سطح برگ گیاه افزایش می‌یابد. افزایش سطح برگ منجر به افزایش جذب نور و در نتیجه افزایش فرایندهای فتوسنتزی و تولید اسمیلات بیشتر می‌شود (Romero-Munar et al., 2017). بنابراین در اثر کمبود عناصر غذایی فتوسنتز کاهش می‌یابد، اما افزایش جذب عناصر غذایی موجب تولید ماده خشک بیشتری شده و در نتیجه سبب افزایش اجزای عملکرد در گندم می‌گردد (Shaikh and Saraf, 2017). گزارش‌های مشابهی از

References

1. Aamir, M., Rai, K. K., Zehra, A., Dubey, M. K., Kumar, S., Shukla, V., and Upadhyay, R. S. 2020. Microbial bioformulation-based plant biostimulants: a plausible approach toward next generation of sustainable agriculture. *Microbial Endophytes*. pp. 195-225. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819654-0.00008-9>.
2. Anjum, N. A., Gill, S. S., and Gill, R. 2014. Plant adaptation to environmental change: significance of amino acids and their derivatives (CABI).
3. Arif, M., Ilyas, M., Riaz, M., Ali, K., Shah, K., Haq, I. U., and Fahad, S. 2017. Biochar improves phosphorus use efficiency of organic-inorganic fertilizers, maize-wheat productivity and soil quality in a low fertility alkaline soil. *Field Crops Research* 214: 25-37. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.08.018>.
4. Attarzadeh, M., Balouchi, H., Rajaie, M., Dehnavi, M. M., and Salehi, A. 2020. Improving growth and phenolic compounds of *Echinacea purpurea* root by integrating biological and chemical resources of phosphorus under water deficit stress. *Industrial Crops and Products* 154: 112763. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112763>.
5. Attarzadeh, M., Balouchi, H., Rajaie, M., Dehnavi, M. M., and Salehi, A. 2019. Improvement of *Echinacea purpurea* performance by integration of phosphorus with soil microorganisms under different irrigation regimes.

- Agricultural Water Management 221: 238-247. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.04.022>.
6. Battacharyya, D., Babgohari, M. Z., Rathor, P., and Prithiviraj, B. 2015. Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae* 196: 39-48. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.012>.
7. Bellaloui, N., Ebelhar, M. W., Gillen, A. M., Fisher, D. K., Abbas, H. K., Mengistu, A., Reddy, K. N., and Paris, R. L. 2011. Soybean seed protein, and fatty acids are altered by S and S+N fertilizers under irrigated and nonirrigated environments. *Agricultural Sciences* 2 (4): 465-476. <http://dx.doi.org/10.4236/as.2011.24060>.
8. Bulgari, R., Franzoni, G., and Ferrante, A. 2019. Biostimulants application in horticultural crops under abiotic stress conditions. *Agronomy* 9 (6): 1-30. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060306>.
9. Canellas, L. P., Olivares, F. L., Aguiar, N. O., Jones, D. L., Nebbioso, A., Mazzei, P., and Piccolo, A. 2015. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae* 196: 15-27. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.013>.
10. Dehkhoda, A., Naderidarbaghshahi, N., Rezaei, A., and Majdnasiri, B. 2013. Effect of water efficiency stress on yield and yield component of sunflower cultivars in Isfahan. *International Journal of Farming and Allied Sciences* 2 (2): 1319-1324.
11. Dotaniya, M. L., and Meena, V. D. 2015. Rhizosphere effect on nutrient availability in soil and its uptake by plants: a review. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences* 85: 1-12. <https://doi.org/10.1007/s40011-013-0297-0>.
12. Du Jardin, P. 2015. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae* 196: 3-14. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>.
13. Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., and Basra, S. M. A. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development* 29: 185-212. https://doi.org/10.1007/978-90-481-2666-8_12.
14. Flakelar, C. L., Luckett, D. J., Howitt, J. A., Dorana, G., and Prenzler, P. D. 2015. Canola (*Brassica napus*) oil from Australian cultivars shows promising levels of tocopherols and carotenoids, along with good oxidative stability. *Journal of Food Composition and Analysis* 42: 179-186. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2015.03.010>.
15. Garcia-Mina, J., Antolin, M., and Sanchez-Diaz, M. 2004. Metal-humic complexes and plant micronutrient uptake: A study based on different plant species cultivated in diverse soil types. *Plant and Soil* 258: 57-68. <https://doi.org/10.1023/B:PLSO.0000016509.56780.40>.
16. Halpern, M., Bar-Tal, A., Ofek, M., Minz, D., Muller, T., and Yermiyahu, U. 2015. The use of biostimulants for enhancing nutrient uptake. In: Sparks, D.L. (Ed.), *Advances in Agronomy* 129: 141-174. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2014.10.001>.
17. Hopkins, B., and Ellsworth, J. 2003. Phosphorus nutrition in potato production. Idaho Potato Conference, Idaho University.
18. Khan, A., Guramni, A. R., Khan, M. Z., Hussain, F., Akhtar, M. E., and Khan. S. 2012. Effect of humic acid on growth, yield, nutrient composition, photosynthetic pigment and total sugar contents of peas (*Pisum sativum* L.). *Journal of Chemical Society of Pakistan* 6: 56-63.
19. Khatiwada, A., Neupane, I., Sharma, B., Bhetwal, N., and Pandey, B. 2020. Effects of drought stress on yield and yield attributing characters of wheat: A Review. *Agriways* 8 (2): 115-121.
20. Klokic, I., Koleska, I., Hasanagic, D., Murtic, S., Bosancic, B., and Todorovic, V. 2020. Biostimulants' influence on tomato fruit characteristics at conventional and low-input NPK regime. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil and Plant Science* 70: 233-240. <https://doi.org/10.1080/09064710.2019.1711156>.
21. Kumar, R., Trivedi, K., Anand, K. V., and Ghosh, A. 2020. Science behind biostimulant action of seaweed extract on growth and crop yield: insights into transcriptional changes in roots of maize treated with *Kappaphycus alvarezii* seaweed extract under soil moisture stressed conditions. *Journal of Applied Phycology* 32: 599-613. <https://doi.org/10.1007/s10811-019-01938-y>.
22. Lang, C. A. 1958. Simple microdetermination of Kjeldahl nitrogen in biological materials. *Analytical Chemistr.* 30: 1692-1694. <https://doi.org/10.1021/ac60142a038>.
23. Layek, J., Das, A., Idapuganti, R. G., Sarkar, D., Ghosh, A., Zodape, S. T., Lal, R., Yadav, G. S., Panwar, A. S., and Ngachan, S. 2018. Seaweed extract as organic bio-stimulant improves productivity and quality of rice in eastern Himalayas. *Journal of Applied Phycology* 30: 547-558. <https://doi.org/10.1007/s10811-017-1225-0>.
24. Liu, D. Y., Zhang, W., Pang, L. L., Zhang, Y. Q., Wang, X. Z., Liu, Y. M., Chen, X. P., Zhang, F. S., and Zou, C. Q. 2017. Effects of zinc application rate and zinc distribution relative to root distribution on grain yield and grain Zn concentration in wheat. *Plant and Soil* 411 (1-2): 167-178. <https://doi.org/10.1007/s11104-016-2953-7>.
25. Madison, W. 1971. Instrumental method for analysis of soil and plant tissue. *Soil Science Society USA*, pp. 182-247.
26. Mishra, L. K., and Abidi, A. B. 2010. Phosphorous-Zinc interaction: effect on yield components and biochemical composition and bread making qualities of wheat. *World Applied Sciences Journal* 10 (5): 568-573.
27. Moshiri, F., Tehrani, M. M., Shahabi, A. A., Keshavarz, P., khoogar, Z., Faizi Asl, W., Asadi Rahmani, H., Samavat, S., Sadri, M. H., Rashidi, N., and Khademi, Z. 2016. A manual for intrgrated management of soil

- fertility and weath nutrition. Soil and Water Research Institute, Tehran, Iran.
28. Ova, E. A., Kutman, U. B., Ozturk, L., and Cakmak, I. 2015. High phosphorus supply reduced zinc concentration of wheat in native soil but not in autoclaved soil or nutrient solution. *Plant and Soil* 393: 147-162. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2483-8>.
 29. Pylak, M., Oszust, K., and Frac, M. 2019. Review report on the role of bioproducts, biopreparations, biostimulants and microbial inoculants in organic production of fruit. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 1-20. <https://doi.org/10.1007/s11157-019-09500-5>.
 30. Raimondo, M., Nazzaro, C., Marotta, G., and Caracciolo, F. 2021. Land degradation and climate change: Global impact on wheat yields. *Land Degradation and Development* 32: 387-398. <https://doi.org/10.1002/ldr.3699>.
 31. Rajaie, M., and Charkhandeh M. 2019. Improvement of the yield and grain protein in barley (*Hordeum vulgare* L.) by iron, manganese and zinc foliar spray. 16 (1): 1-14.
 32. Razi, K., and Muneer, S. 2021. Drought stress-induced physiological mechanisms, signaling pathways and molecular response of chloroplasts in common vegetable crops. *Critical Reviews in Biotechnology* 41 (5): 1-40. <https://doi.org/10.1080/07388551.2021.1874280>.
 33. Romero-Munar, A., Del-Saz, N. F., Ribas-Carbó, M., Flexas, J., Baraza, E., Florez-Sarasa, I., Fernie, A. R., and Gulías, J. 2017. Arbuscular mycorrhizal symbiosis with arundo donax decreases root respiration and increases both photosynthesis and plant biomass accumulation. *Plant, Cell Environment* 40: 1115-1126. <https://doi.org/10.1111/pce.12902>.
 34. Rose, M. T., Patti, A. F., Little, K. R., Brown, A. L., Jackson, W. R., and Cavagnaro, T. R. 2014. A meta-analysis and review of plant-growth response to humic substances: practical implications for agriculture. In: Sparks, D.S. (Ed.), *Advances in Agronomy* 124: 37-89. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800138-7.00002-4>.
 35. Roupael, Y., and Colla, G. 2020. Biostimulants in agriculture. *Frontiers in Plant Science* 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>.
 36. Sabagh, A. E., Hossain, A., Barutçular, C., Islam, M. S., Ratnasekera, D., Kumar, N., Meena, R. S., Gharib, H. S., Saneoka, H., and da Silva, J. A. T. 2019. Drought and salinity stress management for higher and sustainable canola (*Brassica napus* L.) production: A critical review. *Australian Journal of Crop Science* 13: 88.
 37. Saeidi, M., Moradi, F., and Abdoli, M. 2017. Impact of drought stress on yield, photosynthesis rate, and sugar alcohols contents in wheat after anthesis in semiarid region of Iran. *Arid Land Research and Management* 31: 204-218. <https://doi.org/10.1080/15324982.2016.1260073>.
 38. Shaikh, S., and M. Saraf. 2017. Biofortification of *Triticum aestivum* through the inoculation of zinc solubilizing plant growth promoting rhizobacteria in field experiment. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 9: 120-126. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2016.12.008>.
 39. Supraja, K., Behera, B., and Balasubramanian, P. 2020. Efficacy of microalgal extracts as biostimulants through seed treatment and foliar spray for tomato cultivation. *Industrial Crops and Products* 151: 112453. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112453>.
 40. Tejada, M., Rodríguez-Morgado, B., Paneque, P., and Parrado, J. 2018. Effects of foliar fertilization of a biostimulant obtained from chicken feathers on maize yield. *European Journal of Agronomy* 96: 54-59. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.03.003>.
 41. Trethowan, R. M., and Mujeeb-Kazi, A. 2008. Novel germplasm resources for improving environmental stress tolerance of hexaploid wheat. *Crop Science* 48: 1255-1265. <https://doi.org/10.2135/cropsci2007.08.0477>.



Improving the Nutrient Content, Physiological Indices and Grain Yield of Black seed (*Nigella sativa* L.) with the Application of Vermicomposting at Different planting Dates

A. Bahramifar¹, M. R. Baziar^{2*}

Received: 15-09-2021
Revised: 29-11-2021
Accepted: 09-02-2022

How to cite this article:

Bahramifar, A., and Baziar, M. R. 2022. Improving the Nutrient Content, Physiological Indices and Grain Yield of Black seed (*Nigella sativa* L.) with the Application of Vermicomposting at Different planting Dates. Iranian Journal of Field Crops Research 20 (2): 163-177. (in Persian with English abstract). DOI: [10.22067/jcsc.2022.72537.1088](https://doi.org/10.22067/jcsc.2022.72537.1088).

Introduction

One vital area of research about medicinal plants is to study the different environmental conditions affecting the quality of these plants. Also in the research of medicinal plants, it is necessary to investigate and find the optimal conditions to produce the plants with the highest possible yield. Knowing the proper planting date of medicinal plants for each region can be effective in increasing the yield. Cultivation date is one of the main factors in determining the yield of black seed. Accordingly, in different regions, different times have been suggested for the cultivation of this plant. On the other hand, due to the environmental problems caused by the use of chemical fertilizers, the use of organic fertilizers can be used as a solution to increase the yield of medicinal plants. Therefore, vermicomposting can increase yield by improving the condition of the soil bed.

Materials and Methods

The factorial experiment was conducted in the form of a randomized complete block design with three replications in the field of Fasa in 2021. The first factor includes six planting dates (3 February, 19 February, 5 March, 21 March, 4 April and 21 April) and the second factor includes vermicomposting at three levels (control, no fertilizer and vermicomposting 5 and 10 tons Per hectare). The Vertebrate application of vermicomposting was used. At the end of the growth period, nutrient concentrations, physiological traits and grain yield and yield components were measured.

Results and Discussion

The results showed that acceleration or delay in planting reduced the uptake of nitrogen and phosphorus in black seed. Delay in planting may have reduced nitrogen and phosphorus uptake by reducing root growth and nutrient uptake. Also, the highest nitrogen and phosphorus uptake of leaves was observed in the use of 5 and 10 tons of vermicompost fertilizer. At different planting dates, the use of vermicompost reduced ion leakage and increased the relative leaf water content and chlorophyll content. Consumption of vermicompost due to improved absorption of nutrients such as nitrogen has led to more synthesis of photosynthetic pigments. Therefore, considering the key role of elements such as nitrogen in the structure of chlorophyll, it seems that the supply of this element is the main reason for the increase in leaf chlorophyll in this study. Also, 10 tons of vermicompost increased the grain yield on planting dates of 19 February and 5 March by 13.2% and 17.8%, respectively, compared to the control. Production of higher yield at the vermicompost level compared to the control is due to the absorption of more nutrients as well as the improvement of photosynthetic pigments and the relative content of leaf water. Early sowing on 3 February and delay in sowing on 4 April and 21 April caused a significant decrease in harvest index and 1000-seed weight.

1- M.Sc. graduated of Medicinal Plant, Fasa Branch, Islamic Azad University, Fasa, Iran

2- Assistant Professor of Agronomy, Fasa Branch, Islamic Azad University, Fasa, Iran

(*- Corresponding Author Email: Baziar.m@gmail.com)

DOI: [10.22067/jcsc.2022.72537.1088](https://doi.org/10.22067/jcsc.2022.72537.1088)

Conclusion

Late planting shortens the vegetative growth period, the plant enters the reproductive stage earlier and the plant is faced with a lack of photosynthetic resources. Also, the grain filling period is faced with drought stress and heat at the end of the season, and this end stress on grain weight causes a severe reduction in yield. On the other hand, vermicompost has been able to provide the plant with nutrients in an acceptable amount and has the right conditions for growth and increase yield. Therefore, vermicompost has increased the growth of black seed by providing a suitable growth environment. In total, the planting date is 19 February to 21 March and the use of vermicompost fertilizer 10 tons per hectare for planting black seed is recommended. Therefore, the use of vermicompost to increase the production of seed yield in *Nigella sativa* can be an interesting perspective in the production of this plant for industrial and pharmaceutical applications.

Keywords: Chlorophyll, Grain yield, Harvest index, Ion leakage, Phosphorous

بهبود جذب عناصر غذایی، صفات فیزیولوژیک و عملکرد دانه گیاه سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) با کاربرد کود ورمی کمپوست در تاریخ‌های مختلف کاشت

عبدالعظیم بهرامی فرد^۱، محمد رضا بازاریار^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۲۰

چکیده

شناخت تاریخ مناسب کاشت گیاهان دارویی برای هر منطقه می‌تواند در افزایش محصول موثر باشد. از سوی دیگر ورمی کمپوست با بهبود وضعیت بستر خاک می‌تواند سبب افزایش عملکرد گردد. در این پژوهش جذب عناصر غذایی، صفات فیزیولوژیک و عملکرد دانه گیاه سیاه‌دانه با کاربرد کود ورمی کمپوست در تاریخ‌های مختلف کاشت در سال ۱۳۹۹-۱۴۰۰ در شهرستان فسا بررسی شد. این پژوهش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور اول تاریخ‌های مختلف کاشت در شش سطح (۱۵ بهمن، ۱ اسفند، ۱۵ اسفند، ۱ فروردین، ۱۵ فروردین و ۱ اردیبهشت) و فاکتور دوم ورمی کمپوست در سه سطح (شاهد و ورمی کمپوست ۵ و ۱۰ تن در هکتار) بود. نتایج نشان داد که بیشترین جذب نیتروژن و فسفر در ۱ اسفند و ۱۵ اسفند مشاهده شد. همچنین بالاترین جذب نیتروژن و فسفر برگ در استفاده از کود ورمی کمپوست ۵ و ۱۰ تن در هکتار مشاهده شد. در تاریخ‌های مختلف کاشت، کود ورمی کمپوست ۱۰ تن در هکتار سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ، شاخص برداشت و وزن هزار دانه شد. در تاریخ کاشت ۱ اسفند، ۱۰ تن در هکتار کود ورمی کمپوست سبب افزایش وزن خشک اندام هوایی به میزان ۵/۸ درصد نسبت به شاهد شد. همچنین ۱۰ تن در هکتار کود ورمی کمپوست سبب افزایش عملکرد دانه در تاریخ کاشت ۱ اسفند و ۱۵ اسفند به ترتیب به میزان ۱۳/۲ و ۱۷/۸ درصد نسبت به شاهد شد. در مجموع تاریخ کاشت ۱ اسفند تا ۱ فروردین و استفاده از کود ورمی کمپوست ۱۰ تن در هکتار برای کاشت گیاه سیاه‌دانه قابل توصیه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: شاخص برداشت، عملکرد دانه، فسفر، کلروفیل، نشت یونی

مقدمه

(Hosseini et al., 2018). دانه این گیاه منبع غنی از اسیدهای چرب ضروری و غیر اشباع مانند لینولئیک اسید و اولئیک اسید و نیز ترکیبات دیگر مثل روغن، فسفولیپیدها، کاروتن، کلسیم، آهن و پتاسیم می‌باشد (Cheikh-Rouhou et al., 2007). عصاره روغنی سیاه‌دانه در کاهش کلسترول و جلوگیری از حملات قلبی به کار می‌رود. همچنین استفاده از اسانس و ترکیبات اصلی آن برای خواص ضد التهابی و فعالیت ضد میکروبی کمک شایانی می‌کند (Kazemi, 2014; Majeed et al., 2020).

تاریخ کشت از اصلی‌ترین فاکتورها در تعیین عملکرد سیاه‌دانه عنوان شده است. بر این اساس در مناطق مختلف، زمان‌های متفاوتی برای کشت این گیاه پیشنهاد گردیده است (Safaei et al., 2017). محققان گزارش کردند که بهترین تاریخ کاشت برای کاشت اکثر گیاهان دارویی، هوای با دمای ۱۵ تا ۳۵ درجه سلسیوس می‌باشد. علاوه بر شرایط ذکر شده، گیاهان دارویی در روزهای کمتر از ۱۳ ساعت به گل رفته و گل‌دهی زود هنگام سبب کاهش چشمگیر در

سیاه‌دانه با نام علمی *Nigella sativa* L. از خانواده آلاله^۳ گیاهی یک‌ساله، علفی با ساقه افراشته و منشعب است. میوه این گیاه فولیکول می‌باشد که داخل آن بذرهای سیاه و معطر سیاه‌دانه وجود دارد (Ijaz et al., 2017). گیاه سیاه‌دانه در برخی نقاط ایران به صورت خودرو و در برخی نقاط دیگر به صورت زراعی کاشته می‌شود و مصارف گسترده‌ای در صنعت غذایی و دارویی کشور دارد

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گیاهان دارویی، واحد فسا، دانشگاه آزاد اسلامی، فسا، ایران

۲- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد فسا، دانشگاه آزاد اسلامی، فسا، ایران

(Email: Baziar.m@gmail.com)

DOI: [10.22067/jcesc.2022.72537.1088](https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.72537.1088)

3- Ranunculaceae

(*)- نویسنده مسئول:

کودهای شیمیایی برای حصول شرایط مطلوب برای بهبود عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی سیاه دانه استفاده کرد (Seyyedi et al., 2020). ورمی کمپوست به عنوان یک حاصلخیزکننده خاک سبب بهبود خصوصیات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و افزایش رشد و عملکرد در گیاه دارویی نعنا (*Mentha arvensis* L.) و سیاه دانه شد (Fallahi et al., 2018). با توجه به موارد بالا، شناخت تاریخ دقیق کاشت گیاهان دارویی و بستر مناسب کاشت جهت بهبود حداکثر رشد و عملکرد آنها از اهمیت به سزایی برخوردار است. با وجود انجام مطالعات فراوان در مورد آثار مثبت کاربرد ورمی کمپوست در رشد گیاهان مختلف، تاکنون مطالعات کمی در مورد کاربرد ورمی کمپوست در گیاه سیاه دانه در تاریخهای مختلف کاشت انجام شده است. بنابراین هدف از انجام این تحقیق، بررسی اثر سطوح مختلف کود ورمی کمپوست بر رشد و عملکرد دانه گیاه سیاه دانه در تاریخهای مختلف کاشت در شهرستان فسا بود.

مواد و روشها

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی با سه تکرار، در سال ۱۳۹۹-۱۴۰۰ در شهرستان فسا با طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۶۵ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۹۵ دقیقه و ارتفاع ۱۴۳۰ متر از سطح دریا انجام گردید. عامل اول شامل شش تاریخ کاشت (۱۵ بهمن، ۱ اسفند، ۱۵ اسفند، ۱ فروردین، ۱۵ فروردین و ۱ اردیبهشت) و عامل دوم شامل ورمی کمپوست در سه سطح (شاهد، بدون کود و ورمی کمپوست مقدار ۵ و ۱۰ تن در هکتار) بود. قبل از اجرای آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری خاک نمونه برداری و سپس خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن تعیین شد (جدول ۱). همچنین شرایط آب و هوایی فصل کاشت تا برداشت سیاه دانه در فسا در طول دوره رشد گیاه در جدول ۲ گزارش شده است (ایستگاه هواشناسی سینوپتیک شهرستان فسا).

کاشت در کرت هایی به ابعاد $3 \times 1/6$ متر انجام و در هر کرت ۴ ردیف با تراکم زیاد کشت شد. فاصله بین ردیف ها ۴۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. همچنین به دلیل کوچک بودن بذرها کشت در عمق نیم تا یک سانتی متری انجام شد (Javadi Hedayat Abad et al., 2014).

میزان محصول و کم شدن عملکرد کمی و کیفی خواهد شد (Vatandoost and Madandoust, 2021). از سوی دیگر با بهبود وضعیت بستر خاک از طریق استفاده از کود ورمی کمپوست می تواند سبب افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاهان دارویی در شرایط مختلف نوری گردد (Yosefi Shiadeh et al., 2015). شناخت تاریخ مناسب کاشت جهت بهبود حداکثر عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی سیاه دانه از اهمیت به سزایی برخوردار است (Sultana et al., 2017). سیاه دانه گیاهی روز بلند است و زمان کاشت آن به طور معمول اسفند ماه می باشد. زمان گلدهی آن در مناطق جنوبی و گرم تر از دهه سوم فروردین و تا دهه اول خرداد طول می کشد. در مناطق سردتر و معتدل تر معمولاً آخر اردیبهشت گلدهی آغاز و تا دهه اول تیرماه ادامه می یابد. به طور کلی می توان یک دوره تقریباً سه ماهه رشد و نمو را برای این گیاه در مناطق معتدل در نظر گرفت که از زمان کاشت تا هنگام برداشت به طول می انجامد (Rezvani Moghaddam and Ahmadvadeh Motlagh, 2007; Javadi, 2008).

با توجه به مشکلات زیست محیطی ناشی از کاربرد کودهای شیمیایی، استفاده از کودهای آلی می تواند به عنوان راهکاری در افزایش عملکرد گیاهان دارویی باشد (Attarzadeh et al., 2019). کودهای با منشأ آلی جایگاه قابل توجهی در کشاورزی پایدار به منظور جایگزین نمودن نهاده های شیمیایی دارا می باشد (Lim et al., 2015). ورمی کمپوست که در نتیجه فرایندهای هضم و تبدیل ضایعات آلی مثل کودهای دامی و بقایای گیاهی ضمن عبور از دستگاه گوارش کرم های خاکی به وجود می آید، از جمله منابع اساسی تغذیه گیاهان در نظام های زراعی پایدار می باشد (Ali et al., 2015). ورمی کمپوست به دلیل اثرات ترکیبات هورمونی و مواد محرک رشد باعث بهبود و افزایش عملکرد گیاه می شود. همچنین کاربرد ورمی کمپوست از طریق تأثیر بر شاخص های فیزیولوژیکی و افزایش بیان ژن های مسئول سبب ایجاد تحمل در برابر تنش های محیطی می شود (Ievinsh, 2020). ورمی کمپوست عملکرد کیفی گیاهان دارویی را نیز تحت تأثیر قرار می دهد. اگرچه سازوکار دقیق آن کاملاً روشن نیست، ولی احتمالاً از طریق تحریک ترشح اسیدهای آلی و بیان سنتز تنظیم کننده های رشد توانسته چنین نقشی را ایفا کند (Chaturvedi and Pandey, 2020). گزارش شده است که می توان از کودهای آلی مانند ورمی کمپوست به عنوان جایگزینی مناسب برای

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی و فیزیکی خاک محل انجام آزمایش

Table 1- Analysis of soil physical and chemical testing

بافت Texture	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	اسیدیته pH	Cu	Fe	Zn	Mn	K	P	N	کربن آلی O.C (%)
						(mg.kg ⁻¹)			(%)	
Silty loam	1.05	7.49	0.58	8.1	1.9	3.7	198	10	0.1	0.68

جدول ۲- شرایط آب و هوایی در طول مراحل رشد سیاه‌دانه

 Table 2- The climate conditions for during the growth stages of *Nigella sativa* L.

سال Year	ماه Month	حداقل دما Temperature Minimum (Celsius)	حداکثر دما Temperature Maximum (Celsius)	بارندگی Precipitation (mm)	ساعات آفتابی Sunny hours	تبخیر Evaporation (mm)
۱۳۹۹ 2021	بهمن February-January	1.8	20.5	12.3	277.1	118.3
	اسفند March-February	6.4	22.9	10.7	240.1	161.6
۱۴۰۰ 2021	فروردین April-March	10.2	32.9	1.6	306	278.2
	اردیبهشت May-April	14.8	32.9	۰	303.6	325.8
	خرداد May- June	20.0	39.8	۰	364.8	463
	تیر July -June	21.9	39.5	20.2	327	413.4
	مرداد Agust-July	22.3	38.9	20.6	310.9	395.4

کنترل علف‌های هرز ۴ مرتبه و جین دستی انجام گرفت. پس از آماده‌سازی زمین برای کاشت، کاربرد ورمی کمپوست بر پایه تیمارهای مورد استفاده انجام شد. خصوصیات کود ورمی کمپوست مورد استفاده در این پژوهش در [جدول ۳](#) گزارش شده است.

فاصله کرت‌ها از یکدیگر یک متر و فاصله بین بلوک‌ها دو متر در نظر گرفته شد. در مرحله ۳ تا ۶ برگی برای رسیدن به تراکم مطلوب (۲۵۰ بوته در مترمربع) عملیات تنک انجام شد (Javadi Hedayat, 2014). در مدت زمان کاشت تا برداشت گیاه جهت

جدول ۳- نتایج تجزیه کود ورمی کمپوست

Table 3- Analysis of vermicompost Fertilizer

هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	کربن آلی O.C (%)	اسیدیته pH	نیتروژن N	فسفر N (%)	پتاسیم K
2.4	14.27	7.25	1.78	0.79	1.45

اندازه‌گیری غلظت عناصر غذایی و صفات فیزیولوژیکی انجام شد.

اندازه‌گیری صفات

غلظت عناصر غذایی برگ

تعیین غلظت عناصر غذایی برگ در مرحله ۵۰ درصد گلدهی از چهار یا پنج بوته انجام گرفت. اندازه‌گیری نیتروژن برگ پس از هضم نمونه گیاهی بر اساس تیتراسیون بعد از تقطیر توسط دستگاه کج‌دال مدل V40 اندازه‌گیری شد (Lang, 1958). برای اندازه‌گیری فسفر و پتاسیم برگ، نمونه‌های برداشت شده با آب مقطر کاملاً شسته شدند و به مدت دو روز در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون خشک گردید. سپس یک گرم از نمونه خشک شده توزین شد و در کوره با دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۵ ساعت خاکستر گردید. غلظت فسفر

بعد از کاشت بذرها در تاریخ‌های مربوطه، کرت‌های آزمایشی آبیاری شد. آبیاری برای تمامی تیمارها به‌صورت ۲۵ درصد تخلیه رطوبتی انجام شد. آبیاری براساس اندازه‌گیری رطوبت خاک از طریق نمونه‌گیری مکرر و روزانه خاک از عمق توسعه ریشه در وسط هر کرت به روش وزنی انجام شد. مقدار آبیاری تا رسیدن به نقطه رطوبت ظرفیت زراعی انجام شد. برای تعیین مقدار رطوبت خاک در شرایط ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم از دستگاه صفحه فشاری استفاده شد (Attarzadeh et al., 2019). طول دوره رشد گیاه سیاه‌دانه در تاریخ ۱۵ بهمن حدود ۱۰۲ روز، ۱ اسفند حدود ۹۱ روز، تاریخ ۱۵ اسفند حدود ۸۵ روز، تاریخ ۱ فروردین حدود ۷۸ روز، تاریخ ۱۵ فروردین حدود ۶۵ روز و در نهایت تاریخ ۱ اردیبهشت ۵۴ روز بود. در پایان دوره رشد در مرحله ۵۰ درصد گلدهی نمونه‌برداری جهت

جهت حذف اثر حاشیه‌ای با مساحتی معادل یک متر مربع صورت گرفت و در نهایت وزن خشک اندام هوایی برحسب کیلوگرم در هکتار گزارش گردید. وزن خشک اندام هوایی به‌طور جداگانه به‌وسیله آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت خشک و سپس به‌وسیله ترازوی دقیق (دقت ۰/۰۰۱ گرم) توزین شد.

عملکرد و اجزای عملکرد دانه و شاخص برداشت

در پایان پس از برداشت عملکرد و اجزای عملکرد (شامل تعداد فولیکول در بوته، تعداد دانه در فولیکول و وزن هزار دانه) اندازه‌گیری شد. جهت تعیین تعداد فولیکول در بوته و تعداد دانه در فولیکول، بوته در خط وسط هر کرت به‌طور تصادفی انتخاب و تعداد فولیکول در بوته و تعداد دانه در فولیکول شمارش گردید و سپس میانگین آن‌ها گزارش شد. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه، برداشت در هر کرت از ردیف‌های وسط و در مساحتی معادل یک متر مربع صورت گرفت و در نهایت عملکرد دانه برحسب کیلوگرم در هکتار گزارش گردید. شاخص برداشت محصول با تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد زیست‌توده (وزن خشک اندام هوایی + عملکرد دانه) بر حسب درصد به‌دست آمد.

آنالیز آماری

تجزیه واریانس داده‌ها برای صفات مختلف با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه ۹/۱ انجام گرفت. مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

محتوای عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ

تاریخ کاشت و کود ورمی کمپوست، محتوای نیتروژن و فسفر برگ را تحت تاثیر قرار داد. همچنین محتوای عناصر نیتروژن و فسفر برگ تحت تاثیر برهمکنش تاریخ کاشت و کود ورمی کمپوست در سطح احتمال ۱ درصد قرار گرفت، اما اثر تیمارهای آزمایشی بر محتوای پتاسیم برگ معنی‌دار نبود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تیمارها نشان داد که در تاریخ کاشت ۱۵ بهمن، بیشترین محتوای نیتروژن برگ در شرایط ۱۰ تن کود ورمی کمپوست با میانگین ۲/۱۰ درصد و کمترین مقدار این صفت در شاهد با میانگین ۱/۲۹ درصد به‌دست آمد (جدول ۵). همچنین در تاریخ کاشت‌های دیگر، محتوای نیتروژن برگ در تیمار ۱۰ تن کود ورمی کمپوست در هکتار نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول ۵). نتایج دیگر نشان می‌دهد که استفاده از کود ورمی کمپوست ۵ و ۱۰ تن در

با استفاده از رنگ‌سنجی با معرف مولیبدات-واندات توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل Vis 2100 در طول موج ۴۲۰ نانومتر و پتاسیم به روش نشر شعله‌ای و توسط دستگاه فلیم فتومتر مدل 620G اندازه‌گیری شد (Jones et al., 1991).

صفات فیزیولوژیکی

برای اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیکی از بوته‌های داخل مزرعه از چهار یا پنج بوته در مرحله ۵۰ درصد گلدهی نمونه‌برداری شد. برای سنجش میزان نشت یونی از روش سایرام و همکاران (Sairam et al., 2009) استفاده شد. جهت اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ‌ها، اول صبح و قبل از طلوع آفتاب از هر تیمار سه برگ کامل، جوان و شاداب انتخاب و توسط قیچی قطعانی به یک اندازه در حدود یک سانتی‌متر از برگ جدا و وزن تر آن‌ها با ترازو (دقت ۰/۰۰۰۱ گرم) اندازه‌گیری شد. برای تعیین وزن آماس یافته‌ی برگ، برگ‌ها در ظروف پتری سربسته و حاوی آب مقطر در محلی تاریک با دمای ثابت ۲۵ درجه سلسیوس به مدت ۱۲ ساعت قرار گرفتند. سپس رطوبت سطحی برگ‌ها با کاغذ واتمن شماره یک گرفته می‌شود و وزن آماس محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری وزن خشک، برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار داده و سپس وزن شدند. محتوای آب نسبی برگ‌ها با استفاده از رابطه (۱) محاسبه گردید (Weatherly, 1950).

$$100 \times ((FW - DW) / (TW - DW)) = \text{محتوای آب نسبی برگ} \quad (1)$$

که در آن FW وزن تازه‌ی بافت برگ، DW وزن خشک بافت برگ، TW وزن آماس یافته بافت برگ است.

میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل با استفاده از روش آرنون (Arnon, 1949) با نمونه‌گیری تصادفی از برگ‌های بالغ و عصاره‌گیری با استون اندازه‌گیری شد. جذب نور با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل Vis 2100 ساخت کشور آمریکا در طول موج‌های ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر قرائت شد. در نهایت میزان آن‌ها با استفاده از روابط (۲) تا (۴) محاسبه شد (Arnon, 1949).

$$\text{Chlorophyll } a = (\text{mg g}^{-1}) = (12.7 \times \text{OD}.663) - (2.69 \times \text{OD}.645) \times V / 1000 \times W \quad (2)$$

$$\text{Chlorophyll } b = (\text{mg g}^{-1}) = (22.9 \times \text{OD}.645) - (4.68 \times \text{OD}.663) \times V / 1000 \times W \quad (3)$$

$$\text{Total chlorophyll} = (\text{mg g}^{-1}) = (8.02 \times \text{OD}.663) + (20.2 \times \text{OD}.645) \times V / 1000 \times W \quad (4)$$

که در آن V حجم نمونه، OD میزان جذب، W وزن تر نمونه است.

در پایان دوره رشد (انتهای گلدهی و شروع رسیدگی) ارتفاع، تعداد شاخه جانبی و وزن خشک اندام هوایی اندازه‌گیری شد. برای محاسبه وزن خشک اندام هوایی در هر کرت برداشت از ردیف‌های وسط

نشت یونی و محتوای نسبی آب برگ

تاریخ کاشت و کود ورمی کمپوست، نشت یونی و محتوای نسبی آب برگ سیاه‌دانه را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد، همچنین محتوای نسبی آب برگ تحت تأثیر برهمکنش تاریخ کاشت و کود ورمی کمپوست قرار گرفت (جدول ۴). میزان نشت یونی در تاریخ کاشت‌های ۱۵ بهمن و ۱ اردیبهشت به‌طور معنی‌داری بیشتر از سایر تاریخ‌های کاشت مورد مطالعه بود (جدول ۶). همچنین نشت یونی برگ با افزایش استفاده از کود ورمی کمپوست روند کاهشی نشان داد، به‌طوری که کمترین میزان نشت یونی در تیمار ۱۰ تن ورمی کمپوست مشاهده شد، که از این نظر با تیمار ۵ تن در هکتار ورمی کمپوست اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۷).

در تاریخ‌های مختلف کاشت، استفاده از کود ورمی کمپوست سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ شد، به‌طوری که بیشترین محتوای نسبی آب برگ در تیمار ۱۰ تن در هکتار ورمی کمپوست و پس از آن در ورمی کمپوست ۵ تن در هکتار مشاهده شد (جدول ۵). در هر حال بالاترین محتوای نسبی آب برگ در استفاده از کود ورمی کمپوست ۵ و ۱۰ تن در تاریخ کاشت‌های ۱ اسفند، ۱۵ اسفند، ۱ فروردین و ۱۵ فروردین نسبت به تاریخ کاشت‌های ۱۵ بهمن و ۱ اردیبهشت به‌دست آمد (جدول ۵).

افزایش نشت یونی در تاریخ کاشت زود هنگام، احتمالاً با تأثیر تنش سرما روی گیاهچه‌ها مرتبط بوده است. همچنین در تأخیر در کاشت احتمالاً به دلیل همزمان شدن مراحل انتهایی رشد با تنش دمایی آخر فصل و یا کوتاه شدن طول دوره رشد نیز مؤید این امر می‌باشد. از سوی دیگر تاریخ کاشت در زمان مناسب (۱ اسفند و ۱۵ اسفند) به دلیل این‌که طول دوره رشد در شرایط مساعد محیطی بوده به اندازه کافی گیاه رطوبت را از خاک جذب کرده و محتوای نسبی آب برگ بالاتری برخوردار می‌باشد. محققان گزارش کردند که اثرات زیان‌بار زمان نامناسب کاشت از طریق تأثیر بر شاخص‌های فیزیولوژیکی مثل کارایی جذب آب و تشعشع بوده است (Mubvuma et al., 2021). تأخیر در زمان کاشت به دلیل افزایش تنش گرما و خشکی سبب کاهش رشد ریشه شده و در نتیجه سبب جذب کم آب از خاک در گندم می‌شود (Kamaei et al., 2019). محققان افزایش جذب آب توسط ریشه و انتقال به برگ‌ها را در اثر مصرف ورمی کمپوست در گندم گزارش کردند (Erdal and Ekinci, 2020). ورمی کمپوست علاوه بر کمک به گسترش ریشه، قابلیت نگهداری آب در خاک را افزایش داده که منجر به بهبود جذب آب توسط ریشه می‌شود. در نتیجه کمتر بودن محتوای نسبی آب برگ در تیمار شاهد، احتمالاً به دلیل کاهش ظرفیت جذب آب در خاک است (Demir, 2019). محققان گزارش کردند که تأخیر در کاشت سبب کاهش محتوای نسبی آب برگ گیاه دارویی بادرشبو شد، از سوی دیگر ورمی کمپوست نقش شایانی در بهبود محتوای نسبی آب برگ این گیاه داشت (Vatandoost and Madandoust, 2021).

هکتار سبب افزایش معنی‌دار نیتروژن در تاریخ کاشت‌های ۱ اسفند، ۱۵ اسفند و ۱ فروردین نسبت به تاریخ کاشت‌های ۱۵ بهمن، ۱۵ فروردین و ۱ اردیبهشت شده است. به عبارت دیگر تسریع و یا تأخیر در زمان کاشت سبب کاهش جذب نیتروژن در برگ سیاه‌دانه شده است، به‌طوری که کمترین محتوای نیتروژن برگ در تاریخ کاشت ۱ اردیبهشت (۱/۱۴ درصد) و ۱۵ بهمن (۱/۲۹ درصد) در شرایط بدون استفاده از کود ورمی کمپوست (شاهد) به‌دست آمد.

در تاریخ‌های مختلف کاشت، استفاده از کود ورمی کمپوست سبب افزایش محتوای فسفر برگ شد. به‌طوری که در هر تاریخ کاشت بیشترین محتوای فسفر برگ سیاه‌دانه در تیمار ۱۰ تن در هکتار ورمی کمپوست به‌دست آمد، که البته از این نظر تفاوت معنی‌داری بین سطوح ۵ و ۱۰ تن در هکتار ورمی کمپوست وجود نداشت (جدول ۵). از سوی دیگر مشابه با صفت نیتروژن، بالاترین جذب فسفر برگ در استفاده از کود ورمی کمپوست ۵ و ۱۰ تن در تاریخ کاشت‌های ۱ اسفند، ۱۵ اسفند، ۱ فروردین و ۱۵ فروردین نسبت به تاریخ کاشت‌های ۱۵ بهمن و ۱ اردیبهشت به‌دست آمد (جدول ۵).

تأخیر در زمان کاشت احتمالاً با کاهش رشد ریشه و کاهش جذب عناصر غذایی سبب کمتر شدن جذب نیتروژن و فسفر شده است. کاهش محتوای عناصر برگ در تاریخ کاشت ۱ اردیبهشت احتمالاً به دلیل کمتر شدن طول دوره رشد رخ داده است. تاریخ کاشت مناسب، رشد گیاه را به دلیل بهبود جذب عناصر غذایی، افزایش و کاشت دیر هنگام به دلیل کاهش طول دوره رشد، سبب کاهش دسترسی به منابع می‌شود (Bagheri and Balouchi, 2013). یکی از دلایل حصول عملکرد کمتر در شرایط کاشت در زمان نامناسب کاهش جذب و انتقال عناصر غذایی از خاک به ریشه گزارش شده است (Subedi et al., 2007). از سوی دیگر کود ورمی کمپوست ۱۰ تن در هکتار به نظر می‌رسد از طریق بهبود ساختمان خاک سبب افزایش جذب عناصر غذایی شده است. کودهای آلی از طریق افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی سبب افزایش جذب عناصر توسط گیاه و بالا بردن میزان نیتروژن و فسفر در گیاه می‌شود (Erdal and Ekinci, 2020). ورمی کمپوست حاوی عناصر غذایی مناسب بوده و این عناصر را به‌تدریج در طول فصل رشد در اختیار گیاه قرار می‌دهد (Demir, 2019). ورمی کمپوست فراهمی بیشتر عناصر غذایی از جمله نیتروژن را باعث شده و از هدرروی عناصر خاک جلوگیری می‌کند (Nigussie et al., 2016). محققان گزارش کردند که تأخیر در کاشت سبب کاهش جذب نیتروژن و فسفر در گیاه دارویی بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.) شد، از سوی دیگر ورمی کمپوست تا حدودی سبب بهبود جذب این عناصر شد (Vatandoost and Madandoust, 2021).

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مریعات) برای صفات عناصر غذایی و فیزیولوژیکی سیاه‌دانه تحت تأثیر تاریخ‌های مختلف کاشت و سطوح مختلف ورمی‌کمپوست
Table 4- Analysis of variance (mean square) for studied traits elements and physiological of *Nigella sativa* L. influenced by different planting dates and different levels of vermicompost

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	نیترژن برگ Leaf Nitrogen	فسفر برگ Leaf Phosphorous	پتاسیم برگ Leaf Potassium	نشت یونی Ion leakage	محتوای نسبی آب برگ RWC	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll
تکرار Replication	2	0.02 ^{ns}	0.0004 ^{ns}	0.160 ^{**}	48.70 ^{ns}	1.04 ^{**}	0.013 ^{ns}	0.017 ^{ns}	0.053 ^{ns}
تاریخ کاشت Planting date	3	0.51 ^{**}	0.001 ^{**}	0.014 ^{ns}	350.90 ^{**}	43.26 [*]	0.402 ^{**}	0.023 ^{**}	0.591 ^{**}
ورمی‌کمپوست Vermicompost	2	4.10 ^{**}	0.009 ^{**}	0.003 ^{ns}	58.87 [*]	256.99 ^{**}	1.120 ^{**}	0.456 ^{**}	3.01 ^{**}
تاریخ کاشت × ورمی‌کمپوست Planting date × Vermicompost	6	1.31 ^{**}	0.003 ^{**}	0.002 ^{ns}	7.26 ^{ns}	5.67 [*]	0.026 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.039 ^{ns}
خطا Error	22	0.32	0.0001	0.010	14.56	2.55	0.057	0.002	0.011
ضریب تغییرات C.V (%)	—	9.6	11.6	8.4	9.8	12.4	10.3	14.7	12.5

ns و **، #، ## پدیده‌های معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌دار.

*, ** and ns is significant at the 5 and 1 percent probability level and non-significant, respectively.

جدول ۵- مقایسه میانگین برهمکنش تاریخ کاشت و کود ورمی کمپوست بر نیتروژن و فسفر برگ و محتوای نسبی آب برگ سیاه دانه

Table 5- Mean comparison of interactions of planting dates and vermicompost for leaf nitrogen, leaf phosphorus and relative water content of *Nigella sativa* L.

تاریخ کاشت Planting date	ورمی کمپوست Vermicompost (ton.ha ⁻¹)	نیتروژن برگ Leaf nitrogen (%)	فسفر برگ Leaf phosphorous (%)	محتوای نسبی آب برگ RWC (%)
۱۵ بهمن 3 February	0	1.29 ef	0.182 gh	59.53 ij
	5	1.63 cd	0.209 ef	63.63 fgh
	10	2.10 b	0.221 de	63.66 fgh
۱ اسفند 19 February	0	1.53 de	0.199 gf	62.30 ghi
	5	2.14 b	0.238 bcd	67.80 a-d
	10	2.58 a	0.246 ab	70.13 ab
۱۵ اسفند 5 March	0	1.46 def	0.205 ef	64.66 efg
	5	2.13 b	0.240 abc	66.86 cde
	10	2.58 a	0.258 a	70.73 a
۱ فروردین 21 March	0	1.31 def	0.205 ef	61.33 hij
	5	2.10 b	0.233 bcd	66.46 def
	10	2.51 a	0.245 ab	70.56 a
۱۵ فروردین 4 April	0	1.37 def	0.199 gf	59.70 ij
	5	1.88 bc	0.223 cde	67.46 a-d
	10	2.19 b	0.240 abc	69.73 abc
۱ اردیبهشت 21 April	0	1.14 f	0.173 h	58.96 j
	5	1.45 def	0.205 ef	62.00 ghi
	10	1.85 bc	0.220 de	66.60 de

میانگین‌هایی دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری با یکدیگر بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means followed by the same letters in each column are not significantly different by Duncan test at 5% probability level.

جدول ۶- مقایسه میانگین تاریخ کاشت بر صفات مورد بررسی سیاه دانه

Table 6. Mean comparison of planting dates for studied traits of *Nigella sativa* L.

تاریخ کاشت Planting date	نشت یونی Ion leakage (%)	کلروفیل a Chlorophyll a (mg g ⁻¹ FW)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg g ⁻¹ FW)	کلروفیل کل Total chlorophyll (mg g ⁻¹ FW)	شاخه جانبی Lateral branch	فولیکول در بوته Follicle per plant	تعداد دانه در فولیکول Seed per Follicle
۱۵ بهمن 3 February	45.60 a	2.20 b	1.26 bc	3.46 b	11.77 b	10.44 b	42.44 c
۱ اسفند 19 February	37.02 b	2.31 ab	1.35 a	3.66 ab	13.0 ab	12.11 a	47.22 ab
۱۵ اسفند 5 March	34.80 b	2.53 a	1.33 a	3.86 a	13.55 a	12.44 a	49.22 a
۱ فروردین 21 March	34.16 b	2.41 ab	1.32 a	3.73 a	12.88 ab	12.11 a	49.11 a
۱۵ فروردین 4 April	33.88 b	2.45 a	1.30 ab	3.75 a	12.33 ab	11.77 a	45.0 bc
۱ اردیبهشت 21 April	47.96 a	1.94 c	1.21 c	3.15 c	9.00 c	10.44 b	36.55 d

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری با یکدیگر بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means followed by the same letters in each column are not significantly different by Duncan test at 5% probability level.

جدول ۷- مقایسه میانگین ورمی کمپوست بر صفات مورد بررسی سیاه دانه

Table 7- Mean comparison of vermicompost for studied traits of *Nigella sativa* L.

ورمی کمپوست Vermicompost (t.ha ⁻¹)	نشت یونی Ion leakage (%)	کلروفیل a Chlorophyll a (mg g ⁻¹ FW)	کلروفیل b Chlorophyll b (mg g ⁻¹ FW)	کلروفیل کل Total Chlorophyll (mg g ⁻¹ FW)	شاخه جانبی Lateral branch	فولیکول در بوته Follicle per plant	تعداد دانه در فولیکول Seed per Follicle
0	40.73 a	2.06 c	1.13 c	3.19 c	9.16 c	9.94 b	37.83 c
5	38.87 ab	2.31 b	1.30 b	3.62 b	12.88 b	12.00 a	46.11 b
10	37.11 b	2.55 a	1.45 a	4.01 a	14.22 a	12.72 a	50.83 a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری با یکدیگر بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means followed by the same letters in each column are not significantly different by Duncan test at 5% probability level.

مقدار رنگدانه‌های فتوسنتزی

تاریخ کاشت و کود ورمی کمپوست، بر کلروفیل a، b و کل برگ معنی‌دار بود، اما این صفات تحت تأثیر برهمکنش تاریخ کاشت و کود ورمی کمپوست قرار نگرفت (جدول ۴). در تاریخ کاشت ۱ اسفند، محتوای کلروفیل a، b و کل برگ با تاریخ ۱۵ اسفند، ۱ فروردین و ۱۵ فروردین اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۶). از سوی دیگر تاریخ کاشت ۱۵ بهمن و ۱ اردیبهشت سبب کاهش معنی‌دار کلروفیل a، b و کل برگ سیاه‌دانه گردید. محتوای کلروفیل a، b و کل برگ با افزایش استفاده از کود ورمی کمپوست روند افزایشی نشان داد، به‌طوری‌که بیشترین میزان محتوای کلروفیل a، b و کل برگ در تیمار ۱۰ تن ورمی کمپوست مشاهده شد، ضمن این‌که ورمی کمپوست ۵ تن در هکتار نیز محتوای کلروفیل را نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۷). همچنین کمترین محتوای کلروفیل a، b و کل در تیمار شاهد به‌دست آمد (جدول ۷).

به نظر می‌رسد گیاه سیاه‌دانه در تاریخ کاشت ۱۵ بهمن به علت مصادف شدن بخشی از دوره رشد با تنش سرمای ابتدای فصل و تاریخ کاشت ۱ اردیبهشت احتمالاً به دلیل همزمان شدن مراحل انتهایی رشد با تنش دمایی آخر فصل و یا کوتاه شدن طول دوره رشد سبب کاهش میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی شده است. تغییر در تاریخ کاشت به علت تغییر طول روز، دما و رطوبت نسبی تأثیر به‌سزایی در رشد و نمو طی فصل رشد دارد (Khichar and Niwas, 2006). اثر تاریخ کاشت روی میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی به واکنش گیاه به فتوپریود و دما وابسته است (Atif et al., 2020). از سوی دیگر مصرف کود ورمی کمپوست احتمالاً به دلیل بهبود جذب عناصر غذایی از جمله نیتروژن سبب سنتز بیشتر رنگدانه‌های فتوسنتزی شده است (Hosseinzadeh et al., 2018). بنابراین با توجه به نقش کلیدی عناصری مانند نیتروژن در ساختمان کلروفیل، به نظر می‌رسد تأمین این عنصر دلیل اصلی افزایش کلروفیل برگ در این پژوهش باشد. به‌طور کلی میزان تجمع کلروفیل در بافت‌های سبز گیاهی از مهم‌ترین صفات فیزیولوژیکی است که رابطه مستقیمی با میزان

فتوسنتز و ماده خشک گیاهی دارد و میزان آن در شرایط تنش به‌شدت کاهش می‌یابد (Baghbani- Arani et al., 2017).

ارتفاع بوته و تعداد شاخه جانبی

ارتفاع بوته و تعداد شاخه جانبی سیاه‌دانه تحت تأثیر تاریخ کاشت و کود ورمی کمپوست در سطح احتمال ۱ درصد قرار گرفت، همچنین ارتفاع بوته تحت تأثیر برهمکنش تاریخ کاشت و کود ورمی کمپوست قرار گرفت (جدول ۸). در تاریخ کاشت ۱ اسفند، بیشترین ارتفاع بوته در شرایط ۱۰ تن کود ورمی کمپوست با میانگین ۳۵/۶ سانتی‌متر و کمترین مقدار این صفت در شاهد با میانگین ۲۴/۳ سانتی‌متر به‌دست آمد (جدول ۹). در تاریخ کاشت ۱ فروردین، ۱۵ فروردین و ۱ اردیبهشت ارتفاع بوته در کود ورمی کمپوست ۵ تن در هکتار نسبت به شاهد اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۹). در هر حال تاخیر در کاشت در تاریخ ۱ اردیبهشت سبب کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته نسبت به سایر تاریخ‌های کاشت شد.

بیشترین تعداد شاخه جانبی در تاریخ کاشت ۱۵ اسفند مشاهده شد، که البته از این نظر تفاوت معنی‌داری بین تاریخ کاشت ۱۵ اسفند و تاریخ‌های کاشت ۱ اسفند، ۱ فروردین و ۱۵ فروردین وجود نداشت. از سوی دیگر تاریخ کاشت ۱ اردیبهشت سبب کاهش معنی‌دار تعداد شاخه جانبی نسبت به تاریخ‌های مختلف کاشت شد (جدول ۶). از سوی دیگر بیش‌ترین تعداد شاخه جانبی سیاه‌دانه به‌ترتیب به میزان ۱۲ و ۱۴ عدد در تیمار ۵ و ۱۰ تن در هکتار کود ورمی کمپوست به‌دست آمد (جدول ۷).

کاشت گیاه در زمان مناسب سبب می‌شود که مجموعه عوامل محیطی مناسب برای سبز شدن، استقرار و بقای گیاه فراهم شود و گیاه در دوره رشد خود با شرایط مطلوب محیطی روبه‌رو گردد (Ghorbani et al., 2010). بنابراین دوره رشد طولانی‌تر در شرایط مساعد محیطی و یا اختلاف در صفات فیزیولوژیکی مثل نشت یونی و محتوای نسبی آب برگ و مقدار رنگدانه‌های فتوسنتزی، از دلایل احتمالی برای میزان بالاتر شاخص‌های رشدی بود.

جدول ۸- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برای صفات رویشی و عملکردی سیاه‌دانه تحت تأثیر تاریخ‌های مختلف کاشت و سطوح مختلف ورمی کمپوست
 Table 8- Analysis of variance (mean square) for studied traits vegetative and yield traits of *Nigella sativa* L. influenced by different planting dates and different levels of vermicompost

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	ارتفاع بوته Plant height	شاخه جانبی Lateral branch	وزن خشک اندام هوائی Shoot dry weight	عملکرد دانه Seed yield	شاخص برداشت Harvest index	فولیکول در بوته Follicle per plant	تعداد دانه در فولیکول Seed number per Follicle	وزن هزار دانه Seed thousand weight
تکرار Replications	2	4.7 ^{ns}	0.35 ^{ns}	449 ^{ns}	351 ^{ns}	1.77 ^{ns}	0.22 ^{ns}	12.9 ^{ns}	0.027 ^{**}
تاریخ کاشت Planting dates	3	191.1 ^{**}	23.97 ^{**}	25032 ^{**}	16211 ^{**}	50.5 ^{**}	7.06 ^{**}	211.4 ^{**}	0.096 ^{**}
ورمی کمپوست Vermicompost	2	347.3 ^{**}	123.57 ^{**}	33732 ^{**}	22979 ^{**}	46.5 ^{**}	37.3 ^{**}	779.4 ^{**}	0.291 ^{**}
تاریخ کاشت × ورمی کمپوست Planting dates × Vermicompost	6	71.6 [*]	0.95 ^{ns}	14199 [*]	1293 [*]	10.23 [*]	0.25 ^{ns}	4.8 ^{ns}	0.034 ^{**}
خطا Error	22	4.7	1.44	1219	411	1.71	0.47	9.7	0.003
ضریب تغییرات C.V (%)	—	7.5	9.9	12.4	14.0	9.4	5.9	13.3	11.1

*, **, *** و ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی دار.
 *, **, *** and ns is significant at the 5 and 1 percent probability level and non-significant, respectively.

جدول ۹- مقایسه میانگین برهمکنش تاریخ کاشت و کود ورمی کمپوست بر ارتفاع بوته، وزن خشک اندام هوایی، عملکرد دانه، شاخص برداشت و وزن هزار دانه سیاهدانه

Table 9- Mean comparison interactions of planting dates and vermicompost for plant height, shoot dry weight, seed yield, harvest index and seed thousand weight of *Nigella sativa* L.

تاریخ کاشت Planting date	ورمی کمپوست Vermicompost (ton.ha ⁻¹)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight (kg.ha ⁻¹)	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha ⁻¹)	شاخص برداشت Harvest index	وزن هزار دانه Seed thousand weight (g)
۱۵ بهمن 3 February	0	24.3 gh	1403 c-f	380 gh	27.13 g	1.70 h
	5	27.6 fgh	1465 abc	416 d-g	28.38 efg	1.86 efg
	10	35.6 abc	1489 a	423 def	28.43 efg	1.86 efg
۱ اسفند 19 February	0	26.3 fgh	1410 b-f	446 cd	31.63 bcd	1.80 gh
	5	32.6 cde	1472 ab	495 ab	33.61 abc	2.0 bcd
	10	36.6 ab	1492 a	505 ab	33.85 ab	2.06 abc
۱۵ اسفند 5 March	0	28.6 f	1439 a-d	436 cde	30.35 de	1.86 efg
	5	33.0 bcd	1460 abc	504 ab	34.52 a	1.96 cde
	10	37.6 a	1485 a	514 a	34.63 a	2.13 a
۱ فروردین 21 March	0	26.0 fgh	1371 efg	429 def	31.34 cd	1.83 fg
	5	30.0 def	1427 a-e	495 ab	34.69 a	2.0 bcd
	10	37.0 a	1480 a	511 a	34.54 a	2.10 ab
۱۵ فروردین 4 April	0	24.0 gh	1354 fg	406 efg	30.01 def	1.70 h
	5	28.0 fg	1405 c-f	468 bc	33.33 abc	1.83 fg
	10	29.0 ef	1427 a-e	482 ab	33.81 ab	1.93 def
۱ اردیبهشت 21 April	0	17.6 i	1261 h	348 h	27.60 fg	1.56 i
	5	20.0 i	1335 g	396 fg	29.65 def	1.80 gh
	10	23.6 h	1378 d-g	414 d-g	30.07 de	1.86 efg

میانگین‌هایی دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی‌داری با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means followed by the same letters in each column are not significantly different by Duncan test at 5% probability level.

(۹).

کاشت زود هنگام در تاریخ کاشت ۱۵ بهمن و تاخیر در کاشت به‌ویژه در تاریخ ۱۵ فروردین و ۱ اردیبهشت سبب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه شد (جدول ۹). از سوی دیگر در تاریخ کاشت ۱۵ بهمن، عملکرد دانه در شرایط ۱۰ تن در هکتار کود ورمی کمپوست نسبت به شاهد افزایش ۱۱/۳ درصدی نشان داد (جدول ۹). همچنین کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی کمپوست سبب افزایش عملکرد دانه در تاریخ کاشت ۱ اسفند و ۱۵ اسفند به ترتیب به میزان ۱۳/۲ و ۱۷/۸ درصد نسبت به شاهد شد. بین ۵ و ۱۰ تن در هکتار ورمی کمپوست از نظر عملکرد دانه در تاریخ‌های مختلف کاشت تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۹).

نتایج مشابهی برای شاخص برداشت گیاه سیاهدانه حاصل شد، به‌طوری که کاشت زود هنگام در تاریخ کاشت ۱۵ بهمن و تاخیر در کاشت در تاریخ ۱۵ فروردین و ۱ اردیبهشت سبب کاهش معنی‌دار این صفت شد (جدول ۹). بنابراین بیشترین شاخص برداشت در تاریخ کاشت ۱ اسفند، ۱۵ اسفند، ۱ فروردین و ۱۵ فروردین حاصل شد. شاخص برداشت در شرایط کاربرد ۱۰ تن در هکتار ورمی کمپوست تفاوت معنی‌داری نسبت به کاربرد ۵ تن در هکتار از این کود نداشت (جدول ۹).

تأخیر در زمان کاشت باعث کوتاه شدن طول دوره رشد گیاه گندم

در آزمایشی علت کاهش رشد گیاه با تأخیر در کاشت را کاهش دوره رشد رویشی دانسته‌اند (Seghatoleslami and Ahmadi, 2010). از سوی دیگر کود ورمی کمپوست حاوی عناصر غذایی قابل استفاده فراوانی بوده که به تدریج آزاد شده و در اختیار گیاه قرار گرفته، بنابراین سبب افزایش رشد و تعداد شاخه جانبی می‌گردد (Rathore and Kumar, 2021). در هر حال ورمی کمپوست به دلیل خواص اصلاح‌کنندگی خاک، رشد گیاه را تحریک می‌کند (Gohari et al., 2019).

وزن خشک اندام هوایی، عملکرد دانه و شاخص برداشت

اثر تاریخ کاشت و کود ورمی کمپوست بر وزن خشک اندام هوایی، عملکرد دانه و شاخص برداشت سیاهدانه معنی‌دار بود، همچنین این صفات تحت تأثیر برهمکنش تاریخ کاشت و کود ورمی کمپوست در سطح احتمال ۵ درصد قرار گرفت (جدول ۸). تأخیر در زمان کاشت سبب کاهش وزن خشک اندام هوایی شد. در تاریخ کاشت‌های مختلف، بیشترین وزن خشک اندام هوایی در شرایط مصرف ۱۰ تن در هکتار کود ورمی کمپوست و کمترین مقدار این صفت در شاهد به‌دست آمد (جدول ۹). از سوی دیگر در تاریخ کاشت‌های مختلف، وزن خشک اندام هوایی در ورمی کمپوست ۱۰ تن در هکتار نسبت به ورمی کمپوست ۵ تن در هکتار اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۹).

البته نسبت به تیمار ۵ تن در هکتار ورمی‌کمپوست اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۹).

کاشت دیر هنگام باعث می‌شود که طول دوره مراحل نمو کوتاه‌تر شود و قبل از این که اندام‌های رویشی برای ایجاد منبع فیزیولوژیک به‌طور کامل توسعه یابند، بوته‌ها زودتر وارد مرحله زایشی شده و در ادامه با کمبود منابع فتوسنتزی مواجه شوند (Kamali et al., 2020). بنابراین زمان کاشت نامناسب سبب کاهش اجزا عملکرد شده است. گزارش شده است که دمای زیاد محیط در مرحله تورم غلاف برگ پرچم تا ظهور سنبله باعث اختلال در تقسیم سلول‌های مادر دانه کرده و زنده ماندن آن‌ها شده و می‌تواند تعداد دانه را کاهش دهد (Dhillon and Fischer, 1994). همچنین عوامل محیطی پس از گرده‌افشانی به‌طور عمده بر وزن هزار دانه تاثیر می‌گذارد. بنابراین مواجه شدن بوته‌ها در این دوره با تنش‌های محیطی مانند گرما در انتهای فصل وزن هزار دانه کاهش می‌یابد (Hussain et al., 2012; Jahan et al., 2018). با توجه به این که ورمی‌کمپوست سبب بهبود جذب عناصر غذایی شده، بنابراین افزایش اجزای عملکرد گیاه سیاه‌دانه در تیمار ورمی‌کمپوست ۱۰ تن در هکتار تاییدی بر این ادعا می‌باشد.

نتیجه‌گیری

اثر تاریخ کاشت به دلیل تاثیر آن در مراحل مختلف رشد و نمو گیاهان به‌ویژه مراحل اولیه رشد و دوره گلدهی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. کاشت زود هنگام موجب می‌شود که گیاه احتمالاً با خطر سرمازدگی در ابتدای رشد مواجه گردد و سبب افزایش نشت یونی در برگ‌ها شود. از سوی دیگر تأخیر در زمان کاشت با کوتاه شدن طول دوره رشد سبب تاثیر منفی بر محتوای نسبی آب برگ و رنگیزه‌های فتوسنتزی شده است. کاشت دیر هنگام باعث کوتاه شدن دوره رشد رویشی می‌شود و گیاه زودتر از آن وارد مرحله زایشی شده است. بنابراین احتمالاً به دلیل همزمان شدن مراحل انتهایی رشد با تنش دمایی آخر فصل سبب کاهش شدید عملکرد می‌شود. از سوی دیگر تیمار کودی ورمی‌کمپوست استفاده شده بر رشد سیاه‌دانه اثر معنی‌داری داشت. ورمی‌کمپوست توانست احتمالاً عناصر غذایی را به میزان قابل قبول در اختیار گیاه قرار دهد و شرایط مناسب رشد و افزایش عملکرد را در پی داشته باشد. بنابراین ورمی‌کمپوست با فراهم آوردن محیط رشد مناسب باعث افزایش رشد در سیاه‌دانه شده است. در مجموع تاریخ کاشت ۱ اسفند تا ۱ فروردین و استفاده از کود ورمی‌کمپوست ۱۰ تن در هکتار برای کاشت گیاه سیاه‌دانه قابل توصیه می‌باشد.

می‌شود و در نتیجه گیاه ماده خشک کمتری تولید می‌کند. محققان گزارش کردند که اثرات زیان‌بار تأخیر در کاشت به دلیل تنش گرمایی انتهایی دوره رشد از طریق تأثیر بر شاخص‌های فیزیولوژیکی بوده است (Kamaei et al., 2019). بنابراین کاهش در میزان شاخص‌های رشد از جمله وزن خشک اندام هوایی سیاه‌دانه در تیمار ۱ اردیبهشت احتمالاً در نتیجه کاهش محتوای کلروفیل و اختلال در فعالیت‌های فتوسنتزی حاصل شده است. همچنین کاشت زود هنگام به دلیل تاثیر منفی بر صفات فیزیولوژیکی از جمله نشت یونی و شاخص‌های فتوسنتزی تا حدودی سبب کاهش عملکرد دانه و شاخص برداشت شده است. از سوی دیگر تولید عملکرد بیشتر در سطح ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست در مقایسه با شاهد احتمالاً به دلیل جذب عناصر غذایی بیشتر و همچنین بهبود رنگدانه‌های فتوسنتزی و محتوای نسبی آب برگ می‌باشد. احتمالاً مقادیر بالای ورمی‌کمپوست سبب افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک شده و به تبع آن جذب عناصر غذایی مورد استفاده در گیاه افزایش می‌یابد (Rathore and Kumar, 2021). محققان گزارش کردند که ورمی‌کمپوست با بهبود رنگدانه‌های فتوسنتزی تأثیر مثبتی روی رشد و عملکرد دانه گیاه دارویی سیاه‌دانه دارد (Ariafar and Sirousmehr, 2017). محققان گزارش کردند که با توجه به این که ورمی‌کمپوست سبب بهبود جذب عناصر غذایی و صفات فیزیولوژیکی بادرسو شد، در نتیجه این امر سبب افزایش رشد و عملکرد به دنبال داشت (Vatandoost and Madandoust, 2021).

اجزای عملکرد دانه

تاریخ کاشت و کود ورمی‌کمپوست، تعداد فولیکول در بوته، تعداد دانه در فولیکول و وزن هزار دانه را در سطح احتمال ۱ درصد تحت تاثیر قرار داد، همچنین وزن هزار دانه تحت تأثیر برهمکنش تاریخ کاشت و کود ورمی‌کمپوست قرار گرفت (جدول ۸). تاریخ کاشت ۱۵ بهمن و ۱ اسفند سبب کاهش تعداد فولیکول در بوته و تعداد دانه در فولیکول گردید، اما این صفات در بقیه تاریخ‌های کاشت از میزان بالاتری برخوردار بود (جدول ۶). از سوی دیگر بیشترین تعداد فولیکول در بوته و تعداد دانه در فولیکول در تیمار ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست مشاهده شد. همچنین تعداد فولیکول در بوته در ورمی‌کمپوست ۵ تن در هکتار با ۱۰ تن در هکتار اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۷).

کاشت زود هنگام و تأخیر در کاشت سبب کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه سیاه‌دانه شد (جدول ۹). در نتیجه بیشترین وزن هزار دانه در تاریخ کاشت ۱ اسفند، ۱۵ اسفند و ۱ فروردین حاصل شد. نتایج دیگر نشان داد که در تاریخ‌های مختلف کاشت، بیشترین شاخص برداشت در شرایط کاربرد ۱۰ تن در هکتار کود ورمی‌کمپوست به‌دست آمد که

References

1. Ali, U., Sajid, N., Khalid, A., Riaz, L., Rabbani, M. M., Syed, J. H., and Malik, R.N. 2015. A review on vermicomposting of organic wastes. *Environmental Progress and Sustainable Energy* 34: 1050-1062. <https://doi.org/10.1002/ep.12100>.
2. Ariaifar, S., and Sirousmehr, A. R. 2017. Effect of municipal solid waste compost on yield and quantity and quality characteristics of black cumin under water stress conditions. *Journal of Crops Improvement* 19: 31-42. (in Persian with English abstract).
3. Arnon, D. E. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts polyphenol oxidase (*Beta vulgaris*). *Plant Physiology* 24: 1-15. DOI: 10.1104/pp.24.1.1.
4. Atif, M. J., Amin, B., Ghani, M. I., Ali, M., and Cheng, Z. 2020. Variation in morphological and quality parameters in garlic (*Allium sativum* L.) bulb influenced by different photoperiod, temperature, sowing and harvesting time. *Plants* 9: 155. <https://doi.org/10.3390/plants9020155>.
5. Attarzadeh, M., Balouchi, H. R., Rajaie, M., Movahhedi Dehnavi, M., and Salehi, A. 2019. Improvement of *Echinacea purpurea* performance by integration of phosphorus with soil microorganisms under different irrigation regimes. *Agricultural Water Management* 221: 238-47. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.04.022>.
6. Baghbani-Arani, A., Modarres-Sanavy, S. A. M., Mashhadi-Akbar-Boojar, M., and Mokhtassi-Bidgoli, A. 2017. Towards improving the agronomic performance, chlorophyll fluorescence parameters and pigments in fenugreek using zeolite and vermicompost under deficit water stress. *Industrial Crops and Products* 109: 346-357. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.08.049>.
7. Bagheri, F., and Balouchi, H. R. 2013. The effect of planting date on some quantitative and qualitative traits of nine grain Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) cultivars in Yasouj region. *Journal of Crop Production and Processing* 3 (9): 29-43. (in Persian with English abstract).
8. Chaturvedi, S., and Pandey, R. 2020. Bioinoculant with vermicompost augments essential oil constituents and antioxidants in *Mentha arvensis* L. *Journal of Plant Growth Regulation* 1-14. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10189-y>.
9. Cheikh-Rouhou, S., Besbes, S., Hentati, B., Blecker, C., Deroanne, C., and Attia, H. 2007. *Nigella sativa* L.: Chemical composition and physicochemical characteristics of lipid fraction. *Food chemistry* 101: 673-681. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.02.022>.
10. Demir, Z. 2019. Effects of vermicompost on soil physicochemical properties and lettuce (*Lactuca sativa* Var. Crispa) yield in greenhouse under different soil water regimes. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 50: 2151-2168. <https://doi.org/10.1080/00103624.2019.1654508>.
11. Ortiz-Monasterio, J. I., Dhillon, S. S., and Fischer, R. A. 1994. Date of sowing effects on grain yield and yield components of irrigated spring wheat cultivars and relationships with radiation and temperature in Ludhiana, India. *Field Crops Research* 37: 169-184. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(94\)90096-5](https://doi.org/10.1016/0378-4290(94)90096-5).
12. Erdal, İ., and Ekinici, K. 2020. Effects of composts and vermicomposts obtained from forced aerated and mechanically turned composting method on growth, mineral nutrition, and nutrient uptake of wheat. *Journal of Plant Nutrition* 43: 1343-1355. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1727506>.
13. Fallahi, H. R., Taherpour Kalantari, R., Asadian, A. H., Aghavani-shajari, M., and Ramazani, H. R. 2018. Effect of different soil fertilizing agents on growth and yield of isabgol and black seed as two medicinal plants. *Iranian Journal of Field Crop Science* 49 (3): 1-11. (in Persian with English abstract).
14. Ghorbani, R., Koocheki, A., Jahani, M., Hosseini, A., Mohammad-Abadi, A. A., and Sabet Teimouri, M. 2010. Effect of planting date, weed control time, and method on yield and yield components of cumin. *Iranian Journal of Field Crops Research* 7 (1): 143-151. (in Persian with English abstract).
15. Gohari, G., Mohammadi, A., and Duathi Kazemnia, H. 2019. Effect of vermicompost on some growth and biochemical characteristic of *Dracocephalum moldavica* L. under water salinity stress. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 29: 151-168. (in Persian with English abstract).
16. Hosseini, S. S., Nadjafi, F., Asareh, M. H., and Rezadoost, H. 2018. Morphological and yield related traits, essential oil and oil production of different landraces of black cumin (*Nigella sativa*) in Iran. *Scientia Horticulturae* 233: 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.01.038>.
17. Hosseinzadeh, S. R., Amiri, H., and Ismaili, A. 2018. Evaluation of photosynthesis, physiological, and biochemical responses of chickpea (*Cicer arietinum* L. cv. Pirouz) under water deficit stress and use of vermicompost fertilizer. *Journal of Integrative Agriculture* 17: 2426-2437.
18. Hussain, M., Farooq, M., Shabir, G., Khan, M. B., Zia, A. B., and Lee, D. J. 2012. Delay in Planting Decreases Wheat Productivity. *International Journal of Agriculture and Biology* 14.
19. Ievinsh, G. 2020. Review on physiological effects of vermicomposts on plants. *Biology of Composts* 58: 63-86. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39173-7_4.
20. Ijaz, H., Tulain, U. R., Qureshi, J., Danish, Z., Musayab, S., Akhtar, M. F., Saleem, A., Khan, K. A. U. R., Zaman, M., and Waheed, I. 2017. *Nigella sativa* (Prophetic Medicine): A Review. *Pakistan Journal of Pharmaceutical*

- Sciences 30.
21. Jahan, M., Sen, R., Ishtiaque, S., Choudhury, A. K., Akhter, S., Ahmed, F., Biswas, J. C., Maniruzzaman, M., Miah, M. M., and Rahman, M. 2018. Optimizing sowing window for wheat cultivation in Bangladesh using CERES-wheat crop simulation model. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 258: 23-29. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.02.008>.
22. Javadi Hedayat Abad, F., Nezami, A., Kafi, M., and Shabahang, J. 2014. Effects of Sowing Time on Yield of Black Seed (*Nigella sativa* L.) Ecotypes under Mashhad Conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research* 12: 632-640. (in Persian with English abstract).
23. Javadi, H. 2008. Effect of planting dates and nitrogen rates on yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research* 6: 59-66. (in Persian with English abstract).
24. Jones, J. R., Wolf, J. B., and Mkks, H. A. 1991. Plant analysis: A paractical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide. Micro and Macro publishing Inc. Athens, Georgia.
25. Kamaei, H., Eisvand, H. R., Daneshvar, M., and Nazarian, F. 2019. The study effects of planting date, phosphate Bio-fertilizer and foliar application of zinc and boron on leaf area index, leaf area duration, leaf relative water content, cell membrane stability, quantum efficiency of PSII, leaf proline content and grain yield of bread wheat. *Plant Process and Function* 8 (29): 59-74. (in Persian with English abstract).
26. Kamali, N., Pour, M. K., and Soleymani, A. 2020. Light absorption and light extinction in barley (*Hordeum vulgare* L.) as affected by planting dates and plant genotypes. *Theoretical and Applied Climatology* 142: 589-597. <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03342-w>.
27. Kazemi, M. 2014. Phytochemical composition, antioxidant, anti-inflammatory and antimicrobial activity of *Nigella sativa* L. essential oil. *Journal of Essential Oil Bearing Plants* 17: 1002-1011. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2014.914857>.
28. Khichar, M. L., and Niwas, I. 2006. Microclimatic profiles under different sowing environment in wheat. *Journal of Agrometeorology* 8: 201-209.
29. Lang, C. A. 1958. Simple micro determination of kjeldahl nitrogen in biological materials. *Analytical Chemistry* 30: 1692-1694. <https://doi.org/10.1021/ac60142a038>.
30. Lim, S. L., Wu, T. Y., Lim, P. N., and Shak, K. P. Y. 2015. The use of vermicompost in organic farming: overview, effects on soil and economics. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 95: 1143-1156. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6849>.
31. Majeed, A., Muhammad, Z., Ahmad, H., Hayat, S. S. S., Inayat, N., and Siyyar, S. 2020. *Nigella sativa* L.: Uses in traditional and contemporary medicines-An overview. *Acta Ecologica Sinica* 41 (4): 253-258. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2020.02.001>.
32. Mubvuma, M. T., Ogola, J. B., and Mhizha, T. 2021. Effect of planting date and genotype on intercepted radiation and radiation use efficiency in chickpea crop (*Cicer arietinum* L.). *Cogent Food & Agriculture* 7: 1899422. <https://doi.org/10.1080/23311932.2021.1899422>.
33. Nigussie, A., Kuyper, T. W., Bruun, S., and de Neergaard, A. 2016. Vermicomposting as a technology for reducing nitrogen losses and greenhouse gas emissions from small-scale composting. *Journal of Cleaner Production* 139: 429-439. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.058>.
34. Rathore, S., and Kumar, R. 2021. Vermicompost fertilization and pinching improves the growth, yield, and quality of super food (*Chenopodium quinoa* Willd.) in the western Himalaya. *Acta Physiologiae Plantarum* 43: 1-16. <https://doi.org/10.1007/s11738-020-03184-z>.
35. Rezvani Moghaddam, P., and Ahmadzadeh Motlagh, M. 2007. Effect of sowing date and plant density on yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa*) in Islamabad-Ghayein. *Pajouhesh and Sazandegi* 76: 62-68.
36. Safaei, Z., Azizi, M., Davarynejad, G., and Aroiee, H. 2017. The effect of planting seasons on quantitative and qualitative characteristics of black cumin (*Nigella sativa* L.). *Journal of Medicinal Plants and By-product* 6: 27-33. DOI: 10.22092/JMPB.2017.113147.
37. Sairam, R. K., Dharmar, K., Chinnusamy, V., and Meena, R. C. 2009. Water logging-induced increase in sugar mobilization, fermentation, and related gene expression in the roots of mug bean (*Vigna radiata*). *Journal of Plant Physiology* 6: 602-616. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2008.09.005>.
38. Seghatoleslami, M. J., and Ahmadi Bonakdar, Kh. 2010. The effect of sowing date and plant density on yield and yield components of fenugreek (*Trigonella foenum gracum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 26 (2): 265-274. (in Persian with English abstract).
39. Seyyedi, S. M., Rezvani Moghaddam, P., Khajeh Hossieni, M., and Shahandeh, H. 2020. Effect of calcareous soil amendments on quantitative and qualitative yields of black seed (*Nigella sativa* L.). *Journal of Agroecology* 11 (4): 1437-1448. (in Persian with English abstract).
40. Subedi, K., Ma, B., and Xue, A. 2007. Planting date and nitrogen effects on grain yield and protein content of spring wheat. *Crop Science* 47: 36-44. <https://doi.org/10.2135/cropsci2006.02.0099>.
41. Sultana, S., Das, B., Rudra, B. C., Das, G., and Alam, B. 2017. Effect of date of sowing on productivity of black cumin. *Annals of Horticulture* 10: 172-175. DOI:10.5958/0976-4623.2017.00029.9.

42. Vatandoost, M., and Madandoust, M. 2021. Improving the quantitative and qualitative yield of *dracocephalum moldavica* L. with vermicompost in different planting dates. Iranian Journal of Field Crops Research 19 (3): 249-260. (in Persian with English abstract).
43. Weatherely, P. E. 1950. Studies in water relation on cotton plants, the field measurement of water deficit in leaves. New Phytologist 49: 81-87.
44. Yosefi Shiadeh, S. Y., Chalavi, V., and Zangi, S. 2015. The effect of different levels of vermicompost and photoperiod on greenhouse production of medicinal plant stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni). Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture 6 (1): 31-39. (in Persian with English abstract).



Effect of Cropping System Management on Yield, Yield Components and Weed Diversity in Potato (*Solanum tuberosum* L.)

H. R. Bahrevar¹, M. Jahan^{2*}, P. Rezvani-Moghaddam²

Received: 19-09-2021
Revised: 19-12-2021
Accepted: 29-12-2021

How to cite this article:

Bahrevar, H. R., Jahan, M., and Rezvani-Moghaddam, M. 2022. Effect of Cropping System Management on Yield, Yield Components and Weed Diversity in Potato (*Solanum tuberosum* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 20 (2): 179-196. (in Persian with English abstract). DOI: [10.22067/jcsc.2021.72397.1086](https://doi.org/10.22067/jcsc.2021.72397.1086).

Introduction

Potato is one of the most valuable food products. Indeed, no product has the capacity to produce energy per unit area compared with it. Potato has been an important part of the diet in most countries, especially in developing countries. Conventional cropping systems emphasize short-term goals such as high profitability and yield, and their maintenance costs are maximized due to the use of external inputs such as fertilizers and chemical pesticides, so with no use of external inputs, yield is greatly reduced. On the other hand, sustainable farming systems are systems that rely on low-energy inputs and small amounts of chemicals for long-term production stability and environmental adaptation. The purpose of this study was to investigate the effect of different cropping system management on yield, yield components and weed diversity in potato cultivation.

Materials and Methods

This experiment was conducted during the two years of 2015-2016 and 2016-2017 in the farm of Ran-Firoozkooh Cooperation Ltd., located at 10 km east of city of Firoozkooh city. The experiment was conducted as split plot arrangement based on a randomized complete block design with four replications. In this research, various agricultural management assigned to the main plots and weeding and no-weeding operations were allocated to the sub plots. Cropping systems include the high input, medium input, low input and ecological. At the early June, the potato seed tubers were planted in plots of 15 × 6 m (with a distance of 70 cm between the rows, 22 cm on the rows) in all cropping systems. At the end of the growing season (Oct, 1) potato tubers were harvested. Data were analyzed using SAS 9.1 and figures were prepared using MS-EXCEL software.

Results and Discussion

Mean comparisons showed that the highest single tuber weight (87.6 g) obtained from high input system, which was 26% higher than the low input system. The results also indicated that the weight of single tuber was increased with increasing weed control, so that the highest rate of this trait was obtained from weeding treatments. In the ecological system, the yield of the tuber in the weed control treatment was significantly different than the weedy treatment. The highest amount of tuber yield was resulted in the high input system and in weeding treatment which was significantly higher than the ecological system and the weedy treatment. In the high input system, more access to nutrients (NPK) resulting in improved yield and growth component. The phosphorus used in the high input system has different roles such as cell division, fertilization and development of reproductive organs. This can improve root and tuber development and increase water absorption and nutritional elements. Another reason for the increased yield in medium and high-input cropping systems could be assigned to the reduction of weed density in these systems. Means comparison showed that the nitrogen content of tuber in the high input system was 1.34%, which was higher than the low input system by 13%. The highest level of this trait was obtained in weeding. Plants grown in the high-input system stored more of nitrogen in their tissues due to the higher input of nitrogen fertilizer. Dzida and Jarosz (2006) reported that in a greenhouse experiment, the application of nitrogen fertilizer had a positive effect on nitrogen accumulation in the shoots of

1- Ph.D. Student of Agroecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2- Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

(*- Corresponding Author Email: jahan@ferdowsi.um.ac.ir)

DOI: [10.22067/jcsc.2021.72397.1086](https://doi.org/10.22067/jcsc.2021.72397.1086)

savory (*Satureja hortensis*). On the other hand, Derakhshan *et al.* (2018) stated that increasing nitrogen fertilizer is not only not beneficial to the crop, but also complicates the weed problem, in which case weeds absorb nutrients faster and more than the crop. There was a negative correlation between increasing the use of inputs and Shannon-Wiener index, so that ecological system (1.32), which was without the use of inputs, had the highest rate of this index and the lowest one was observed in the high input system (0.87). The main reason for the loss of biodiversity in conventional farms compared with low and ecological systems seems to be the intensification of agricultural operations, which is associated with excessive consumption of inputs, including herbicides.

Conclusion

In general, the results of this study showed that with increasing input, yield and yield components of potatoes increased. The results also showed that the highest amount of nitrogen was observed in tubers, potato shoots and also in weed tissues in the high input system and therefore it can be suggested that more use of chemical fertilizers has resulted in more nitrogen storage in different plant tissues. On the other hand, with the decrease in the input in ecological and low-input systems, the amount of Shannon-Wiener diversity index increased so that the highest amount of this index was observed in ecological and low-input systems. Considering the reduction of environmental pollution in ecological systems, it seems that such systems are environmentally friendly and if such services can be valued, the ecological system will be more superior compared with the conventional ones.

Keywords: Ecological, High input, Medium input, Shannon-Wiener, Weeding

اثر مدیریت نظام زراعی بر عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص تنوع علف‌های هرز در تولید سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.)

حمیدرضا بهره‌ور^۱، محسن جهان^{۲*}، پرویز رضوانی مقدم^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۰۸

چکیده

به منظور بررسی تاثیر روش‌های مدیریت مختلف زراعی بر عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص تنوع علف‌های هرز در مزرعه سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum*)، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در دو سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵ در اراضی شرکت ران- فیروزکوه واقع در شهرستان فیروزکوه اجرا شد. عامل کرت اصلی چهار نظام زراعی شامل ۱- پرنهاده، ۲- متوسط نهاده، ۳- کم نهاده و ۴- اکولوژیک (عدم استفاده از کود شیمیایی) (تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه از طریق کاربرد کمپوست به میزان ۶۰ تن در هکتار، آماده‌سازی زمین با استفاده از کارگر و بیل دستی انجام شد). مدیریت علف‌های هرز در دو سطح وجین و عدم وجین به عنوان عامل کرت فرعی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که بیشترین میزان وزن تک غده و محتوای نیتروژن غده به ترتیب با ۸۷/۶ گرم و ۱/۳۴ درصد، همچنین بیشترین تعداد غده (۶/۶)، وزن غده در تک بوته (۶۵۳ گرم)، وزن غده در متر مربع (۴/۵۷ کیلوگرم)، عملکرد (۴۵۷۱۰ کیلوگرم) و محتوای نیتروژن ساقه و برگ سیب‌زمینی (۱/۴۱ درصد) در تیمار نظام پرنهاده و وجین علف‌های هرز گزارش شد. از طرف دیگر، بیشترین میزان شاخص تنوع شانون-وینر (۱/۳۲) و درصد نیتروژن علف‌های هرز (۲/۳۶ درصد) به ترتیب از نظام‌های اکولوژیک و پرنهاده به دست آمد. به طور کلی، با در نظر گرفتن خصوصیات عملکرد و اجزای عملکرد، نظام کشت پرنهاده و وجین علف‌های هرز به عنوان تیمار برتر توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: اکولوژیک، پرنهاده، شانون-وینر، متوسط نهاده، وجین علف هرز

مقدمه

از طرف دیگر، نظام‌های زراعی رایج بر اهداف کوتاه مدتی چون سود و عملکرد بالا تأکید دارند و هزینه نگهداری آن‌ها به دلیل استفاده از نهاده‌های خارجی مانند کودها و آفت‌کش‌های شیمیایی حداکثر بوده و در صورت عدم مصرف نهاده‌های خارجی، عملکرد به میزان زیادی کاهش می‌یابد (Vakilpoor and Babania, 2016r). در نظام‌های زراعی رایج، کاهش حاصلخیزی خاک، استفاده گیاهان از ذخایر خاک بدون جایگزینی مناسب و کافی، باعث کاهش توان تولیدی محصول می‌گردد. در این گونه نظام‌های زراعی، استفاده گسترده از کودهای شیمیایی به عنوان سریع‌ترین راه جبران کمبود عناصر غذایی و حاصلخیزی خاک معرفی می‌گردد. به دلیل کاربرد زیاد کودهای شیمیایی در خاک، عملکرد در واحد سطح افزایش می‌یابد، ولی چرخه‌های طبیعی عناصر غذایی و تثبیت بیولوژیکی نیتروژن و دیگر عناصر کاهش می‌یابد، بنابراین مواد آلی موجود در خاک نیز در حداقل میزان خود قرار می‌گیرند (Shah and Wu, 2019). نظام‌های زراعی رایج که عمدتاً به مصرف نهاده‌های شیمیایی متکی هستند منجر به بروز مشکلات عمده زیست‌محیطی، آلودگی هوا و آب و خاک به وسیله

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) محصولی است که بعد از گندم (*Triticum aestivum* L.) و ذرت (*Zea mays* L.) بیشترین گسترش را در جهان دارد که در بیش از ۱۴۰ کشور جهان تولید می‌گردد. سیب‌زمینی یکی از با ارزش‌ترین محصولات غذایی محسوب می‌گردد و در حقیقت هیچ محصولی در مقایسه با آن ظرفیت تولید انرژی در واحد سطح را ندارد و به دلیل عملکرد بالا، اهمیت خاصی در بین محصولات کشاورزی دارد. در اکثر کشورها و به خصوص کشورهای در حال توسعه، سیب‌زمینی سهم مهمی از جیره غذایی را تشکیل می‌دهد (Coulibali et al., 2020).

۱- دانشجوی دوره دکتری اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

(*)- نویسنده مسئول: Email: jahan@ferdowsi.um.ac.ir

DOI: 10.22067/jcesc.2021.72397.1086

زراعی داشته باشد. آزمایش‌های انجام شده نشان داده است که عملیات زراعی توانایی رقابتی گیاهان زراعی و علف‌های هرز را در اکوسیستم‌های کشاورزی تغییر می‌دهد که در نتیجه آن تأثیر علف‌های هرز بر روی گیاهان تغییر می‌کند (Lehoczy et al., 2009).

علف‌های هرز دارای فلور بسیار پویا و تغییرات دائمی بوده و این تغییرات از قوانین حاکم بر توالی اکولوژیک تبعیت می‌کنند (Aynehband, 2019) اگرچه این گیاهان جزء لاینفک نظام‌های زراعی می‌باشند، ولی به دلیل تأثیرات آن‌ها بر رشد گیاه زراعی و به‌ویژه کاهش عملکرد، با استفاده از روش‌های مختلف مدیریتی کنترل می‌شوند (Aynehband, 2019).

با توجه به افزایش مصرف نهاده‌ها، به‌ویژه نهاده‌های تجدیدنپذیر در تولید محصولات زراعی و همچنین آلودگی زیست‌محیطی ناشی از کاربرد بیش از حد کودهای شیمیایی، طراحی نظام‌های منطبق با اصول اکولوژیکی و به‌کارگیری عناصر اکولوژیک و تجدیدنپذیر و یا افزایش کارایی نهاده‌های مصرفی از اهداف نیل به سمت کشاورزی پایدار می‌باشد. لذا هدف از این تحقیق بررسی تأثیر مدیریت نظام زراعی بر عملکرد، اجزای عملکرد و همچنین شاخص تنوع علف‌های هرز در سیب‌زمینی بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در طی دو سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵ در اراضی شرکت ران-فیروزکوه واقع در ۱۰ کیلومتری شرق شهرستان فیروزکوه با مختصات طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی، با ارتفاع ۲۰۵۰ متر اجرا شد. این منطقه به سبب دارا بودن زمستان‌های سرد و طولانی و همچنین بهار خنک و تابستان معتدل، دارای اقلیم سرد و کوهستانی می‌باشد. داده‌های هواشناسی طی دوره اجرای پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است.

آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام شد. در این طرح، مدیریت‌های مختلف نظام زراعی در کرت اصلی و وجین و عدم وجین علف‌های هرز در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. نظام‌های زراعی شامل: نظام پرنهاده، متوسط نهاده، کم‌نهاده و اکولوژیک بودند. ۱- نظام پرنهاده شامل دوبار شخم عمیق (یک شخم در پاییز سال قبل و یک شخم در بهار)، دو بار دیسک عمود بر هم، یکبار لولر و کاربرد کودهای شیمیایی (۲۵۰ کیلوگرم اوره-۲۲ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل-۹۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم) بر اساس آزمون خاک بود.

آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی، تکه تکه شدن زیستگاه‌ها و نابودی حیات وحش، کاهش تنوع زیستی کشاورزی، افزایش سیل، خشکسالی و طوفان، فرسایش خاک و تخریب منابع آب و خاک و افزایش مقاومت آفات و بیماری‌ها به انواع سموم شیمیایی و افزایش گازهای گلخانه‌ای گردیده است؛ که این‌ها تنها بخشی از مشکلات زیست‌محیطی ناشی از کشاورزی رایج مبتنی بر مصرف نهاده‌های شیمیایی می‌باشند. درحالی که نظام‌های کشاورزی پایدار، سیستم‌هایی هستند که برای ثبات تولید در درازمدت و سازگاری محیطی، بر نهاده‌های کم انرژی و مقادیر کمی مواد شیمیایی متکی هستند (Therond et al., 2017).

در سال‌های اخیر استفاده از سیستم‌های زراعی کم نهاده به منظور ابداع شیوه‌های نوین در مدیریت و بهره‌برداری از منابع و دستیابی به اهداف کشاورزی پایدار، جایگاه قابل توجهی پیدا کرده است. نظام‌های زراعی کم نهاده، در مقایسه با نظام‌های زراعی رایج از کارایی بالاتری برخوردارند و پژوهش‌های متعدد انجام گرفته در سطح جهان، تأییدکننده این مطلب می‌باشد (Kulak et al., 2013, Giuliano et al., 2016; Jahan et al., 2021; Amiri et al., 2022). در بسیاری از آزمایش‌هایی که در زمینه‌ی کشاورزی پایدار انجام گرفته معمولاً توجه کمتری به کیفیت تولید شده است. برای کاهش این مخاطرات باید از منابع و نهاده‌هایی استفاده کرد که علاوه بر تأمین نیازهای فعلی گیاه، پایداری نظام‌های کشاورزی در درازمدت را نیز به دنبال داشته باشد (Trabelsi et al., 2016; Deytieu et al., 2016). لذا تنها انتخابی که باقی مانده است حفظ دراز مدت بازدهی زمین‌های کشاورزی توأم با تغییر در الگوی مصرف نهاده‌ها است (Rega et al., 2019). حفظ بازدهی بلند مدت زمین‌های کشاورزی مستلزم تولید پایدار مواد غذایی می‌باشد. این پایداری از طریق به‌کارگیری اصول کشاورزی پایدار شامل تقویت و حفظ فرآیندهای اکولوژیک در نظام‌های زراعی، قابل حصول می‌باشد (Trigo et al., 2021; Jahan et al., 2021).

رقابت یکی از مهم‌ترین عواملی است که روی ویژگی‌های گیاهان اثر می‌گذارد و ممکن است تأثیر آن به حدی باشد که شکل و اندازه گیاهان را به‌طور قابل توجهی تغییر داده و عملکرد آن‌ها را تحت تأثیر قرار دهد (Rodrigues et al., 2016). گیاهان از نظر مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی در پاسخ به محیط اطراف خود بسیار انعطاف‌پذیرند و این مسئله منجر به بروز پاسخ‌های متفاوتی از سوی گیاهان می‌شود (Kapczyńska and Stodolak, 2019). رقابت علف‌های هرز با گیاه زراعی در اکوسیستم‌های کشاورزی یکی از تنش‌های بیولوژیکی مهم است که ممکن است به شکل‌های مختلفی صورت گیرد و موجب کاهش شدید کارایی مصرف نیتروژن شود و بنابراین کنترل آن‌ها می‌تواند تأثیر زیادی در افزایش تولید گیاهان

جدول ۱- آمار هواشناسی (ماهانه) ایستگاه سینوپتیک فیروزکوه طی دوره آزمایش در سال‌های ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵
Table 1- Meteorological statistics (monthly) of Firoozkooh synoptic station during the experimental period in 2015-2016 and 2016-2017

ماه Month	رطوبت نسبی Relative humidity (%)		بارش Rainfall (mm)		دمای میانگین Average temperature		دمای حداکثر Max temperature		دمای حداقل Min temperature	
	-16 2015	-17 2016	-16 2015	-17 2016	-16 2015	-17 2016	-16 2015	-17 2016	-16 2015	-17 2016
اردیبهشت (April)	40	47	2.2	5.9	14.3	15.2	26.7	29.2	-1.3	-2
خرداد (May)	40	42	11.3	11.5	20.5	17.9	34.7	31.7	3.2	3.4
تیر (June)	42	47	29.7	5.6	22.5	21.4	36.2	35.8	9.6	9.6
مرداد (July)	41	44	4.9	5.1	20.9	20.6	35.4	35.9	8.3	7.8
شهریور (August)	58	45	55	2.8	16.9	18.8	31.1	32	2.4	5.1
مهر (September)	57	47	35.1	0	13.5	12.4	26.1	29.2	0.3	-1.1

هر دو سال با گرم شدن تدریجی هوا در کرت‌هایی به ابعاد ۶×۱۵ متر با فاصله بین ردیف ۷۰ و روی ردیف ۲۲ سانتی‌متر و در ۸ ردیف در تمامی نظام‌ها انجام شد. عمق کاشت غده در تمامی کرت‌ها ۱۴ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در هر کرت اصلی نظام، دو کرت فرعی دارای ۴ ردیف (با مساحت ۴۵ متر مربع) مربوط به تیمار علف‌هرز و ۴ ردیف مربوط به تیمار عدم علف‌هرز بود. کنترل علف‌های هرز در کرت‌های بدون علف‌هرز، همه نظام‌ها توسط وجین دستی انجام شد و هیچ‌گونه سم علف‌کش به کار نرفت. علف‌های هرز مشاهده شده در مزرعه طی دو سال زراعی و در نظام‌های زراعی در [جدول ۲](#) نشان داده شده است. عملیات وجین دستی در دو نوبت (۱۸ تیرماه و ۱۳ مرداد) صورت پذیرفت.

آبیاری حداکثر یک هفته پس از کاشت بوده و به فاصله هر هفته یکبار به صورت نشتی انجام شد. به منظور اجتناب از مخلوط شدن آب کرت‌ها با یکدیگر، برای هر تکرار جوی آبیاری جداگانه در نظر گرفته شد. رقم سیب‌زمینی مورد استفاده، رقم آگریا کلاس SE و از منشأ مینی تیوبر بوده و از غده‌های کلاس مادری استفاده شد. مینی تیوبر (کلاس S) نیز سال قبل با تهیه گیاهچه‌های مورد نیاز از مرکز تحقیقات اصفهان، توسط شرکت ران تولید گردید. آگریا رقمی نیمه دیررس بوده و دوره خواب طولانی دارد (Hassanpanah and Hassanabadi, 2011).

قبل از انجام آزمایش، به منظور تعیین خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و همچنین تعیین مقدار کودهای شیمیایی در نظام‌های پر، متوسط و کم‌نهاد، از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک محل آزمایش نمونه‌برداری و به آزمایشگاه خاک‌شناسی ارسال شد. همچنین یک نمونه از کمپوست به منظور تعیین مقدار عناصر موجود برای برآورد مقدار اعمال آن در نظام اکولوژیک نیز به آزمایشگاه ارسال که اطلاعات آن‌ها به ترتیب در [جدول ۳](#) و [۴](#) ارائه شده است.

۲- نظام متوسط نهاده شامل یک بار شخم در بهار، دو بار دیسک عمود بر هم یکبار لولر و اعمال ۵۰٪ کودهای شیمیایی (۱۲۵ کیلوگرم اوره-۱۱۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل-۴۵ کیلوگرم سولفات پتاسیم) توصیه شده بر اساس آزمون خاک، ۳- نظام کم‌نهاد شامل یکبار شخم در بهار، یکبار دیسک و یک سوم مصرف کودهای شیمیایی (۸۳ کیلوگرم اوره-۷۳ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل-۳۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم) توصیه شده بر اساس آزمون خاک بود. ۴- نظام اکولوژیک که در آن هیچ‌گونه کود شیمیایی به کار نرفت و تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه از طریق کاربرد کمپوست (طبق توصیه آزمایشگاه خاک‌شناسی، در نظام اکولوژیک مقدار مصرف کود کمپوست ۲۰ تن در هکتار بود و از آن‌جایی که در سال اول استفاده از کودهای آلی، تنها ۲۴ درصد از نیتروژن موجود در آن‌ها آزاد می‌شود، که این امر حاکی از آثار تجمعی کاربرد کود آلی می‌باشد (Mirlohi et al., 2009) برای تأمین مقدار نیتروژن مورد نیاز در سال اول بایستی سه برابر مقدار توصیه شده اعمال شود که مقدار ۶۰ تن در هکتار اعمال شد) صورت گرفت. در این شیوه مدیریت نظام هیچ‌گونه عملیات خاک‌ورزی با ماشین‌آلات صورت نگرفته و آماده‌سازی زمین با استفاده از کارگر و توسط بیل دستی انجام شد. تمامی کودهای فسفره، پتاسه و یک سوم کود اوره طبق توصیه آزمون خاک در نظام‌های پر، متوسط و کم‌نهاد قبل از کاشت اعمال شده و به‌وسیله دیسک به زیر خاک برده شد. دو سوم باقی‌مانده کود اوره در حین عملیات داشت و همزمان با عملیات خاک‌دهی سیب‌زمینی اعمال شد. در نظام اکولوژیک همزمان با سایر نظام‌ها عمل خاک‌دهی صورت گرفته ولی هیچ‌گونه کود نیتروژن به صورت سرک مصرف نشد.

کاشت سیب‌زمینی در سه نظام پر، متوسط و کم‌نهاد با استفاده از دستگاه سیب‌زمینی کار چهار ردیفه خطی کار اتوماتیک (ساخت شرکت سبز دشت، اصفهان) انجام شد ولی در نظام اکولوژیک این کار به صورت دستی انجام شد. عملیات کاشت سیب‌زمینی از اوایل خرداد

جدول ۲- میانگین تعداد انواع علف هرز طی پنج دوره نمونه برداری در نظام های مختلف زراعی در سال های زراعی ۱۳۹۵-۹۶ و ۱۳۹۴-۹۵
Table 2- Average number of weed species during five sampling periods in different cropping systems in 2015-16 and 2016-17 cropping years

Cropping systems	تاج خروس Amaranth		سلمه Chenopodium album		پیچک Convolvulus		کنگر Cirsium vulgare		علف شور Salsola	
	16- 2015	17- 2016	16-2015	17- 2016	16- 2015	17- 2016	16- 2015	17- 2016	16- 2015	17- 2016
اکولوژیک Ecological	26	24.2	6.2	6.8	20.5	7.7	5.6	4.6	0.6	2.2
پرنهاده High input	16.2	17	14.4	9.2	2.2	6.1	2.2	3.4	1.7	1.2
متوسط نهاده Medium input	30.6	19.6	8.2	8	6.6	4.3	3	4.4	5.4	2.6
کم نهاده Low input	26.8	18.2	7.8	5.4	9.8	4.5	4	2.6	2.2	1

جدول ۳- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش
Table 3- Soil chemical and physical characteristics of the experimental site

Soil texture	Available nitrogen (%)	P (ppm)	K (ppm)	pH	EC (dS m ⁻¹)	OC (%)
لوم سیلتی (Silt loam)	0.07	8.8	270	7.54	1.13	0.87

جدول ۴- نتایج تجزیه شیمیایی کود کمپوست
Table 4- Chemical decomposition of compost fertilizer

Sample specifications	pH	EC (dS m ⁻¹)	O.C (%)	O.M (%)	N (%)	P (%)	K (%)
Compost	7.39	4.33	18.8	32.3	1.72	0.45	1

اندازه گیری (Horwitz and Latimer, 2005) (968.06 [4.2.04] شد.

آزمون نرمال بودن داده ها با رویه تک متغیره (univariate) نرم افزار SAS انجام شد و نتایج حاصل به روش شاپیرو-ویلک (shapiro-wilk) نشان داد تمامی صفات دارای توزیع نرمال بوده است (جدول ۵). با توجه به اثبات همگن بودن واریانس خطاهای آزمایشی، داده ها مورد تجزیه مرکب قرار گرفتند. برای تجزیه مرکب عامل بلوک به عنوان اثر تصادفی و عوامل نظام زراعی و مدیریت علف هرز به عنوان اثر ثابت در نظر گرفته شدند. همچنین، از آنجایی که مزرعه تحقیقاتی فوق از لحاظ بانک بذر غنی می باشد نتایج نشان داد فراوانی علف هرز در تمامی تیمارها از توزیع یکنواختی برخوردار بود و ضریب تغییرات آن زیر ۲۰ درصد بود (جدول ۶). تجزیه و تحلیل داده ها و رسم شکل ها با استفاده از نرم افزارهای SAS 9.1 و MS-Excel انجام گرفت. مقایسه میانگین ها با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن و در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

در پایان فصل رشد و رسیدگی کامل غده های سیب زمینی به منظور تعیین عملکرد و اجزای آن، محصول و اندام هوایی واقع در یک متر مربع از هر کرت با رعایت اثر حاشیه توسط دست به طور کامل و بدون آسیب دیدگی در تاریخ ۱۰ مهرماه برداشت شد. غده ها داخل پاکت ریخته شده و به آزمایشگاه منتقل شدند و بعد از پاک کردن از مواد زائد و خاک، اقدام به شمارش و توزین غده ها شد. برای تعیین تنوع علف های هرز از شاخص شانون-وینر (رابطه (۱)) استفاده شد (Shannon and Weiner, 1949).

$$H' = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n_i}{N} \times \log \frac{n_i}{N} \quad (1)$$

در این رابطه n_i : تعداد افراد گونه نام و N : تعداد کل افراد می باشد. همچنین برای اندازه گیری مقدار نیتروژن بافت های مختلف سیب زمینی و همچنین علف های هرز مزرعه، در پایان فصل رشد، قبل از برداشت، مقدار نیتروژن موجود در اندام های هوایی و غده های سیب زمینی و اندام های هوایی علف های هرز به روش کج لال و با استفاده از دستگاه میکرو کج لال (AOAC official method)

جدول ۵- نتیجه آزمون بررسی نرمالیتی ویژگی‌های مورد مطالعه سیب‌زمینی بر اساس آزمون شاپیرو-ویلک
Table 5- The result of normality test for potato characteristics based on the Shapiro-Wilk Test

تست	نیترژن ساقه و برگ Stem and leaf nitrogen content	نیترژن غده Tubers nitrogen content	عملکرد Yield	وزن غده‌ها در متر مربع The weight of tubers in square meters	وزن غده‌ها در تک بوته The weight of tubers in a single plant	وزن تک غده Single tuber weight	تعداد غده (در بوته) Number of tubers (in plant)	نیترژن علف‌های هرز Weed nitrogen	شاخص تنوع شانون-ویینر Shannon-Wiener diversity index
شاپیرو-ویلک Shapiro-Wilk	0.987 ^{ns}	0.980 ^{ns}	0.985 ^{ns}	0.990 ^{ns}	0.986 ^{ns}	0.991 ^{ns}	0.984 ^{ns}	0.976 ^{ns}	0.973 ^{ns}

ns, *, ** به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد (ns, *, **: represent non-significant, significant at $p \leq 0.05$ and $p \leq 0.01$, respectively)

جدول ۶- درصد فراوانی انواع علف هرز در نظام‌های مختلف زراعی در سال‌های زراعی ۱۳۹۴-۹۵ و ۱۳۹۵-۹۶
Table 6- Percentage of frequency of weed types in different cropping systems in 2015-16 and 2016-17 cropping years

Cropping systems	تاج خروس Amaranth		سلمه Chenopodium album		پیچک Convolvulus		کنگر Cirsium vulgare		علف شور Salsola	
	16-2015	17-2016	16-2015	17-2016	16-2015	17-2016	16-2015	17-2016	16-2015	17-2016
اکولوژیک Ecological	45.98	50.55	11.05	15.23	32.80	21.43	8.79	9.37	1.36	4.40
پرنهاده High input	44.37	46.52	39.23	23.94	5.84	18.38	5.77	8.39	4.77	2.76
متوسط نهاده Medium input	54.57	48.91	17.05	22.46	11.63	12.77	5.57	7.24	5.42	2.83
کم نهاده Low input	50.28	52.15	15.62	15.55	18.87	22.22	9.80	10.85	11.15	4.99
ضریب تغییرات (%) C.V (%)	14.1	11.6	17.7	14.3	16.7	18.1	10.9	18.4	15.9	18.2

نتایج و بحث

اجزای عملکرد

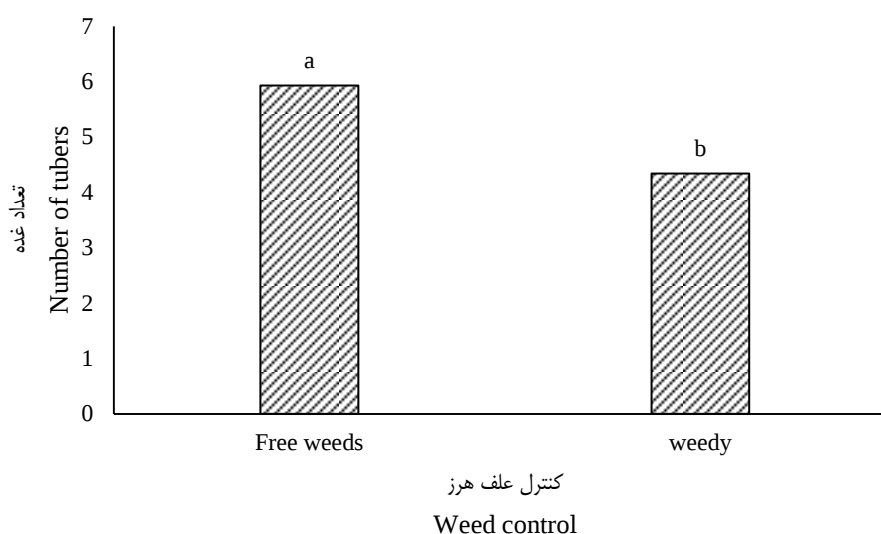
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی نظام و مدیریت علف هرز ($p \leq 0.01$)، تاثیر معنی‌داری بر وزن تک غده داشتند (جدول ۷). وزن تک غده در شرایط کشت پرنهاده ۸۷/۶ گرم گزارش شد که نسبت به کشت در شرایط کم‌نهاده به میزان ۲۶ درصد بیشتر بود (شکل ۲). همچنین نتایج حاکی از آن است که با کنترل علف‌های هرز بر میزان وزن تک غده افزوده شد، به طوری که بیشترین میزان این صفت در شرایط وجین علف هرز (۸۷/۶ گرم) به‌دست آمد و کمترین مقدار این صفت در شرایط عدم وجین (۶۷/۵ گرم) حاصل شد که تفاوت بیشترین و کمترین مقدار آن‌ها برابر با ۳۰ درصد می‌باشد (شکل ۳).

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی علف هرز ($p \leq 0.01$) و اثر متقابل نظام و علف هرز ($p \leq 0.05$) بر تعداد غده معنی‌دار بودند. (جدول ۷). بیشترین میزان این صفت در شرایط وجین علف هرز (۵/۹۳ عدد) حاصل شد که نسبت به شرایط عدم وجین ۳۷ درصد بیشتر بود (شکل ۱). همچنین، در بین تیمارهای آزمایش بیشترین تعداد غده (۶/۶۲ عدد) در تیمار نظام پرنهاده که در آن کنترل علف‌های هرز صورت گرفت به‌دست آمد که به میزان ۶۵/۵ درصد نسبت به نظام پرنهاده که در آن علف هرز کنترل نشد تعداد غده بیشتر بود (جدول ۸).

جدول ۷- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی ویژگی های رشدی سیب زمینی تحت چهار روش مدیریت نظام و کنترل و عدم کنترل علف های هرز
Table 7- Analysis of variance (mean of squares) for some growth characteristics of potatoes under four methods of system management and weed control and non-control

میانگین مربعات (Mean of squares)								
منابع تغییر (Source of variation)	درجه آزادی (d.f)	تعداد غده (در بوته) Number of tubers (in plant)	وزن تک غده Single tuber weight	وزن غده‌ها در تک بوته The weight of tubers in a single plant	وزن غده‌ها در متر مربع The weight of tubers in square meters	عملکرد Yield	نیتروژن غده Tubers nitrogen content	نیتروژن ساقه و برگ Stem and leaf nitrogen content
سال Year (Y)	1	0.01 ^{ns}	35.4 ^{ns}	1198.8 ^{ns}	0.05 ^{ns}	5874568 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.0009 ^{ns}
خطای سال Year error	6	0.59	80.07	1466.5	0.07	7186029	0.01	0.005
مدیریت نظام زراعی cropping systems management (A)	3	0.30 ^{ns}	994.2 ^{**}	43583.09 ^{**}	2.13 ^{**}	213562085 ^{**}	0.08 ^{**}	0.11 ^{**}
Y×A	3	0.05 ^{ns}	16.43 ^{ns}	90.3 ^{ns}	0.004 ^{ns}	442914 ^{ns}	0.0004 ^{ns}	0.00006 ^{ns}
خطای الف Error A	18	0.52	105.4	1270.7	0.06	6226581	0.01	0.01
کنترل علف هرز Weed control (B)	1	40.6 ^{**}	6482.2 ^{**}	831972.01 ^{**}	40.7 ^{**}	4076662877 ^{**}	0.26 ^{**}	0.32 ^{**}
A×B	1	2.01 [*]	60.4 ^{ns}	29109.01 ^{**}	1.42 ^{**}	142634177 ^{**}	0.008 ^{ns}	0.04 ^{**}
Y×B	3	0.14 ^{ns}	12.42 ^{ns}	489.51 ^{ns}	0.02 ^{ns}	2398627 ^{ns}	0.000001 ^{ns}	0.0004 ^{ns}
Y×A×B	3	0.01 ^{ns}	23.83 ^{ns}	569.6 ^{ns}	0.02 ^{ns}	2791443 ^{ns}	0.0003 ^{ns}	0.0008 ^{ns}
خطای ب Error B	24	0.44	78.4	1391.3	0.06	6816079	0.008	0.008
ضریب تغییرات (%) C.V (%)		12.9	11.4	9.2	9.2	9.2	7.1	6.5

ns, *, **: به ترتیب عدم معنی داری، معنی داری در سطح احتمال پنج درصد و معنی داری در سطح احتمال یک درصد
(ns, *, **: non-significant, significant at $p \leq 0.05$ and $p \leq 0.01$, respectively)



شکل ۱- اثر تیمار علف هرز بر تعداد غده سیب‌زمینی

میانگین‌های دارای حروف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد، با یکدیگر تفاوت آماری معنی‌دار ندارند.

Figure 1- The effect of weed treatment on the number of potato tubers

Means followed by the same letter(s) are not significantly different ($p \leq 0.05$).

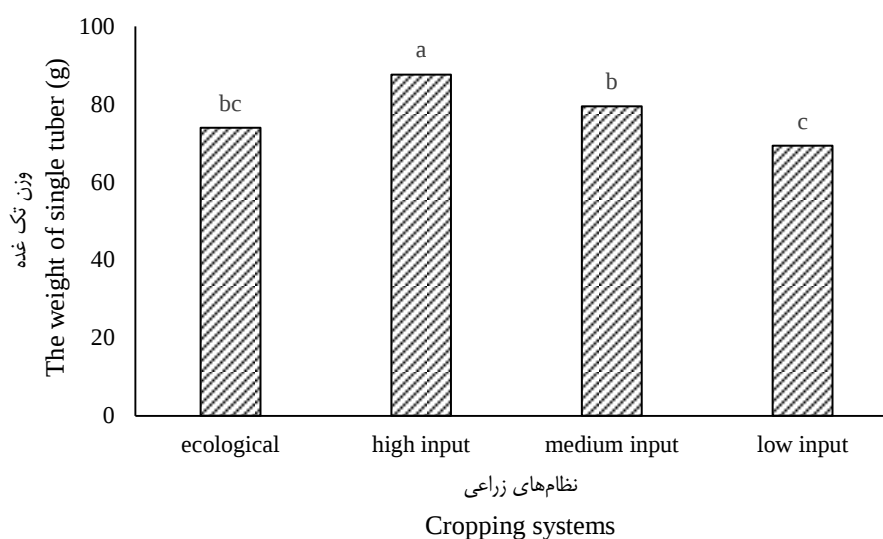
جدول ۸- مقایسه میانگین اثرات متقابل نظام × علف هرز صفات مختلف تحت تاثیر تیمارهای مختلف

Table 8 -Mean comparison of interactions of cropping systems × weed on different traits influenced by different treatments

اثرات متقابل Interactions	نظام زراعی Cropping system	علف هرز Weed	تعداد غده Number of tubers	وزن غده ها در تک بوته The weight of tubers in a single plant (g)	وزن غده ها در متر مربع The weight of tubers in square meters (kg)	عملکرد Yield (kg.ha ⁻¹)	نیترژن ساقه و برگ Stem and leaf nitrogen (%)
Cropping systems * Weed	اکولوژیک Ecological	بدون علف هرز Free weeds	5.75b	468.2c	3.27c	32778c	1.38ab
		با علف هرز weedy	4.25c	273.2d	1.91d	19218d	1.29bc
	پرنهاده High input	بدون علف هرز Free weeds	6.62a	653a	4.75a	45710a	1.41a
		با علف هرز weedy	4c	302d	2.11d	21140d	1.28cd
	متوسط نهاده Medium input	بدون علف هرز Free weeds	5.62b	511.6b	3.58b	35814b	1.30bc
		با علف هرز weedy	4.5c	300.5d	2.1d	21035d	1.19de
	کم‌نهاده Low input	بدون علف هرز Free weeds	5.75b	440.7c	3.08c	30853c	1.29bc
		با علف هرز weedy	4.62c	285.7d	2.0003d	20003d	1.1e

* میانگین‌های دارای حروف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد، با یکدیگر تفاوت آماری معنی‌دار ندارند.

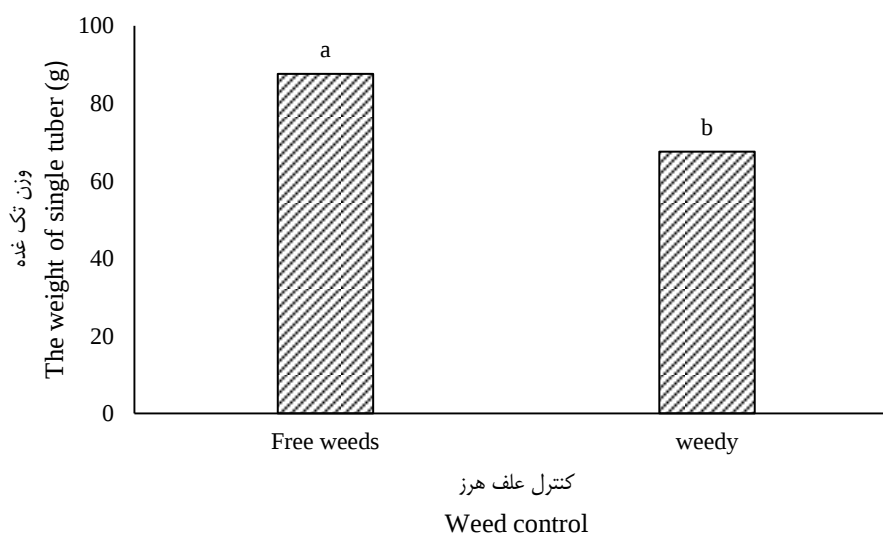
Means followed by the same letter(s) are not significantly different ($p \leq 0.05$).



شکل ۲- اثر مدیریت های مختلف نظام بر وزن تک غده سیبزمینی

میانگین های دارای حروف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد، با یکدیگر تفاوت آماری معنی دار ندارند.

Figure 2- The effect of different systems management on the weight of a single potato tuber
Means followed by the same letter(s) are not significantly different ($p \leq 0.05$).



شکل ۳- اثر سطوح کنترل علف هرز بر وزن تک غده سیبزمینی

میانگین های دارای حروف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد، با یکدیگر تفاوت آماری معنی دار ندارند.

Figure 3- Effect of weed control levels on the weight of a single potato tuber
Means followed by the same letter(s) are not significantly different ($p \leq 0.05$).

نسبت به کمترین مقدار این صفت که در تیمار مدیریت نظام اکولوژیک و عدم کنترل علف هرز به دست آمد، به میزان ۱۳۹ درصد بیشتر می باشد (جدول ۸).

وزن غده در متر مربع نیز تحت تاثیر اثرات ساده نظام و علف هرز ($p \leq 0.01$) و اثر متقابل مدیریت نظام و سطوح کنترل علف هرز

وزن غده ها در تک بوته نیز تحت تاثیر اثرات ساده نظام، علف های هرز ($p \leq 0.01$) و همچنین اثرات متقابل مدیریت نظام و کنترل علف های هرز ($p \leq 0.01$) قرار گرفت (جدول ۷). با توجه به نتایج، بیشترین میزان وزن غده در تک بوته در نتیجه اثر متقابل مدیریت نظام پرنهاده و بدون علف هرز (۶۵۳ گرم) حاصل شد که

جوانه‌زنی و استقرار گیاه اشاره کرد (Naseri Rad et al., 2019). همچنین محققین دیگری گزارش کردند که خاک‌ورزی در نظام زراعی پر نهاده به دلیل افزایش نفوذپذیری، کاهش جرم مخصوص ظاهری و تأمین بیشتر عناصر غذایی، رشد گیاه افزایش یافته و در نتیجه اجزای عملکرد بهبود می‌یابد (Dawelbeit and Babiker, 1997). در مطالعه علیزاده و علامه (Alizadeh and Alameh, 2015) مشخص شد که با افزایش شدت خاک‌ورزی و در نتیجه توسعه ریشه و جذب عناصر غذایی، اجزای عملکرد کلزا (*Brassica napus* L.) افزایش یافت.

برادی (Brady, 1990) و آگبد (Agbede, 2006) دریافتند که تراکم توده خاک (وزن مخصوص ظاهری) به‌طور کلی در لایه‌های پایین‌تر بیشتر است. این به دلیل میزان کمتر مواد آلی، نفوذ کمتر ریشه و تراکم ناشی از وزن لایه‌های بالایی است. یافته‌ها نشان داد که pH خاک، کربن آلی، کل فسفر و نیتروژن موجود، کلسیم، پتاسیم و منیزیم قابل تبادل در لایه سطحی خاک (۰ تا ۱۵ سانتی‌متر عمق) بیشتر از لایه‌های زیرین (عمق ۱۵ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۴۵ سانتی‌متر) می‌باشد، که دلیل آن غلظت بیشتر مواد آلی در لایه‌های سطحی خاک نسبت به لایه‌های زیر خاک می‌باشد، زیرا مواد آلی تعیین‌کننده نهایی باروری خاک در اغلب خاک‌های مناطق گرمسیری است (Kadiri et al., 2021). عملکرد غده در نظام‌های کشت اکولوژیک و کم‌نهاده نسبت به نظام کشت پرنهاده کمتر بود، که می‌تواند به دلیل تفاوت در شدت خاک‌ورزی در نظام‌های مختلف باشد، به طوری که نظام‌هایی که بدون خاک‌ورزی و یا خاک‌ورزی حداقل بودند دارای عملکرد غده کمتری بودند که این کاهش را می‌توان به تراکم زیاد و تداخل کمتر خاک نسبت داد. نتایج این تحقیق با مشاهدات آنیکوه و اوبوچی (Anikwe and Ubochi, 2007) همخوانی دارد که گزارش کردند تراکم زیاد خاک و تداخل‌پذیری کمتر آن عملکرد غده سیب‌زمینی شیرین را کاهش می‌دهد. کاهش عملکرد غده سیب‌زمینی با افزایش تراکم خاک نشان‌دهنده شرایط نامطلوب برای توسعه غده سیب‌زمینی به دلیل تداخل کم است. در آزمایشی که بر روی سیب‌زمینی شیرین (*Ipomoea batatas*) صورت گرفت گزارش شد که با وجود این که سیستم بدون خاک‌ورزی، باعث می‌شود محتوای رطوبتی و عناصر غذایی در لایه بالایی خاک افزایش یابد، ولی محتوای عناصر غذایی غده و عملکرد در این شرایط به دلیل افزایش جرم مخصوص ظاهری کاهش پیدا کرد (Agbede, 2010). از دیگر دلایل افزایش عملکرد گیاهان در نظام‌های زراعی متوسط و پرنهاده می‌توان به کاهش تراکم علف‌های هرز در این نظام‌ها اشاره کرد. خرم‌دل و همکاران (Khorramdel et al., 2009) گزارش کردند که اگرچه مدیریت سیستم پرنهاده به دلیل عملیات خاک‌ورزی وسیع‌تر و مصرف کود شیمیایی سبب تحریک و شکستن خواب بذر علف‌های هرز و در نتیجه جوانه‌زنی یکنواخت گیاهان هرز در طول فصل رشد

($p \leq 0.01$) قرار گرفت (جدول ۷). با توجه به نتایج، وزن غده در متر مربع، در تمام تیمارهای کنترل علف هرز نسبت به عدم کنترل آن‌ها برتری محسوسی داشت. بیشترین میزان این صفت به میزان ۴/۵۷ کیلوگرم در تیمار پرنهاده و در شرایط بدون علف هرز به‌دست آمد که نسبت به کمترین میزان این صفت که در نظام اکولوژیک وجود علف‌های هرز به‌دست آمد به میزان ۱۴۹ درصد بیشتر است (جدول ۸).

اجزای عملکرد سیب‌زمینی تحت تاثیر اعمال مدیریت، ژنوتیپ و محیط واقع می‌شوند و اغلب در توجیه علت کاهش یا افزایش عملکرد مورد استفاده قرار می‌گیرند. محیط بر توانایی یک گیاه از نظر ظاهر ساختن توان بالقوه ژنتیکی اثر می‌گذارد. همچنین مدیریت زراعی نادرست، آب، عناصر غذایی، دما، نور و سایر عوامل محیطی نیز به میزان نامناسب می‌توانند یک یا چند جزء از اجزای عملکرد را کاهش دهند (Moeini et al., 2020; Amiri et al., 2022).

عملکرد

عملکرد غده تحت تاثیر اثرات اصلی مدیریت نظام و علف‌های هرز ($p \leq 0.01$) و همچنین اثرات متقابل نظام و سطوح کنترل علف هرز ($p \leq 0.01$) معنی‌دار بود (جدول ۷). نتایج نشان داد، در نظام اکولوژیک، عملکرد غده در سطح کنترل علف هرز نسبت به عدم کنترل علف هرز، به‌طور چشمگیری تفاوت داشت. بیشترین مقدار عملکرد غده در نظام پرنهاده و در شرایط عدم وجود علف‌های هرز (۴۵۷۱۰ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد که به میزان ۱۳۸ درصد نسبت به نظام اکولوژیک و وجود علف هرز عملکرد غده بیشتری را دارا بود (جدول ۸).

در سیستم با ورودی بالا، دسترسی بیشتر به عناصر غذایی (NPK) منجر به بهبود عملکرد و مولفه رشد شد (Jalilian et al., 2017). فسفر مورد استفاده در سیستم پرنهاده دارای نقش‌های متفاوتی از جمله در تقسیم سلولی، لقاح و توسعه اندام‌های تولید مثل است. این می‌تواند توسعه ریشه و غده را بهبود بخشد و جذب آب و عناصر غذایی را افزایش دهد (Marschner, 2002). همچنین، مشخص شده است که سنبله برنج (Delmotte et al., 2011) و اجزای عملکرد گندم (Hildermann et al., 2009) در سیستم زراعی پرنهاده افزایش یافته است. نتایج تحقیقات ناصری‌راد و همکاران (Naseri Rad et al., 2019) روی گیاه کلزای زمستانه نشان داد که بیشترین مقدار اجزای عملکرد در مدیریت پرنهاده و متوسط نهاده نظام‌های زراعی به‌دست آمد که در مقایسه با نظام زراعی کم‌نهاده دارای اختلاف معنی‌داری بود. این محققان بیان داشتند که از جمله دلایل پایین بودن اجزای عملکرد در شرایط کم‌نهاده می‌توان به آماده‌سازی نامناسب بستر کاشت و در نتیجه عدم یکنواختی در

توجه به نتایج، استفاده بیشتر از نهاده‌ها باعث افزایش درصد نیتروژن در علف‌های هرز مزرعه سیب‌زمینی شد به طوری که بیشترین میزان این صفت در تیمار نظام پرنهاده به میزان ۲/۳۶ درصد گزارش شد و کمترین میزان این صفت در نظام اکولوژیک ۱/۷ درصد نیتروژن حاصل شد که تفاوت بیشترین و کمترین درصد نیتروژن برابر با ۳۹ درصد می‌باشد (شکل ۶).

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که مصرف کود نیتروژنه اثر معنی‌داری بر میزان نیتروژن اندام هوایی، غده و همچنین نیتروژن موجود در بافت علف‌های هرز داشت که می‌توان چنین نتیجه گرفت که گیاهان رشد یافته در نظام پرنهاده به دلیل ورودی بیشتر کود نیتروژنه، میزان بیشتری از آن را در بافت‌های خود ذخیره کردند. وجود رابطه مستقیم بین محتوای نیتروژن بافت‌های گیاهی و کود نیتروژن مصرفی در مطالعات متعدد گزارش شده است. دزیدا و جاروس (Dzida and Jarosz, 2006) در یک آزمایش گلخانه‌ای تاثیر مقادیر مختلف کود نیتروژن و انواع مختلف کودهای پتاسیم‌دار را بر عناصر معدنی مرزه تابستانه بررسی کردند. نتایج این محققین نشان داد که مصرف کود نیتروژنه تاثیر مثبتی بر تجمع نیتروژن در اندام هوایی گیاه مرزه داشت. اشرف و علی (Ashraf and Ali, 2005) در سیاه‌دانه و مومیوند و همکاران (Mumivand et al., 2013) در گیاه دارویی مرزه تابستانه نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. همچنین، درخشان و همکاران (Derakhshan et al., 2018) اعلام کردند که افزایش کود نیتروژن نه تنها به سود گیاه زراعی نیست، بلکه مشکل علف‌های هرز را پیچیده‌تر می‌سازد، در چنین شرایطی علف‌های هرز عناصر غذایی را سریع‌تر و به مقدار بیشتر نسبت به گیاه زراعی جذب می‌کنند.

شاخص تنوع شانون-وینر

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تاثیر نظام اکولوژیک بر شاخص تنوع شانون-وینر ($p \leq 0.01$) معنی‌دار شد (جدول ۹). نتایج نشان داد که افزایش استفاده از نهاده‌ها با شاخص شانون-وینر رابطه عکس دارد به طوری که کشت اکولوژیک که بدون استفاده از نهاده‌ها بود بیشترین میزان این شاخص را دارا بود. بیشترین میزان این شاخص در نظام کشت اکولوژیک (۱/۳۲) بود که نسبت به کمترین میزان این شاخص که در نظام پرنهاده (۰/۸۷) بود به میزان ۵۲ درصد بیشتر بود. همچنین نظام کم‌نهاده با میزان شاخص ۱/۱۱ بعد از نظام اکولوژیک بیشترین میزان شاخص را دارا بود (شکل ۷).

مقدار شاخص تنوع شانون-وینر برای علف‌های هرز موجود در نظام زراعی اکولوژیک بیشتر از سایر نظام‌ها بود (شکل ۶). علت اصلی از بین رفتن تنوع زیستی در مزارع رایج نسبت به کم‌نهاده و اکولوژیک، تشدید تولیدات کشاورزی است که با مصرف زیاد نهاده‌های حفاظت‌کننده گیاهان از جمله علف‌کش‌ها مرتبط است

خواهد شد، ولی مصرف علف‌کش به‌عنوان یکی از نهاده‌های بسیار موثر در تغییرات جمعیت علف‌های هرز باعث کاهش چشم‌گیر تراکم این گیاهان شد.

نتایج آزمایشی که برا و همکاران (Bera et al., 2015) بر روی کنترل علف‌های هرز مزرعه سیب‌زمینی انجام دادند نشان داد که کنترل علف‌های هرز در مقایسه با عدم کنترل آن‌ها عملکرد غده را به میزان قابل‌توجهی افزایش داد. این محققان بیان داشتند که عدم کنترل علف‌های هرز عملکرد غده را به میزان ۵۲ درصد کاهش داد و از طرف دیگر، با اتخاذ شیوه‌های مدیریت علف‌های هرز، میزان عملکرد غده‌های سیب‌زمینی به میزان ۴۱ تا ۷۶ درصد افزایش یافت (Bera et al., 2015). روند کاهش عملکرد غده سیب‌زمینی می‌تواند مربوط به سایه‌اندازی علف‌های هرز بر روی بوته سیب‌زمینی و در نهایت کاهش اجزای عملکرد سیب‌زمینی باشند. مندنی و همکاران (Mondani et al., 2011) گزارش کردند که با افزایش طول دوره تداخل علف‌های هرز، عملکرد نهایی غده سیب‌زمینی کاهش می‌یابد. همچنین به نظر می‌رسد که وجود علف‌های هرز در مزارع سیب‌زمینی باعث افزایش رقابت بین گونه‌ای شده و فشار زیست‌توده علف‌های هرز منجر به کاهش عملکرد سیب‌زمینی شده است.

نیتروژن ساقه و برگ، غده و علف هرز

تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی روش مدیریت نظام و سطح کنترل علف هرز ($p \leq 0.01$)، اثر معنی‌دار بر نیتروژن غده داشتند (جدول ۷). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که نیتروژن غده در مدیریت پرنهاده ۱/۳۴ درصد بود که نسبت به مدیریت کم‌نهاده به میزان ۱۳ درصد بیشتر بود (شکل ۴). همچنین نتایج حاکی از آن است که با کنترل علف‌های هرز بر میزان نیتروژن غده افزوده شد، به طوری که بیشترین میزان این صفت در شرایط وجین علف هرز (۱/۳۴ درصد) به‌دست آمد و کمترین مقدار این صفت در شرایط عدم وجین (۱/۲۱ درصد) حاصل شد که تفاوت بیشترین و کمترین مقدار آن‌ها برابر با ۱۱ درصد می‌باشد (شکل ۵).

نیتروژن ساقه و برگ نیز تحت تاثیر اثرات ساده مدیریت نظام و سطوح کنترل علف‌های هرز ($p \leq 0.01$) و همچنین اثرات متقابل نظام و علف‌های هرز ($p \leq 0.01$) قرار گرفت (جدول ۷). با توجه به نتایج، بیشترین میزان نیتروژن ساقه و برگ در اثر متقابل نظام پرنهاده و بدون وجود علف هرز (۱/۴۱ درصد) حاصل شد که نسبت به کمترین مقدار این صفت که در تیمار نظام کم‌نهاده و عدم کنترل علف هرز به‌دست آمد، به میزان ۲۸ درصد بیشتر می‌باشد (جدول ۸). درصد نیتروژن موجود در علف‌های هرز فقط تحت تاثیر روش‌های مدیریت نظام زراعی ($p \leq 0.01$) قرار گرفت (جدول ۸). با

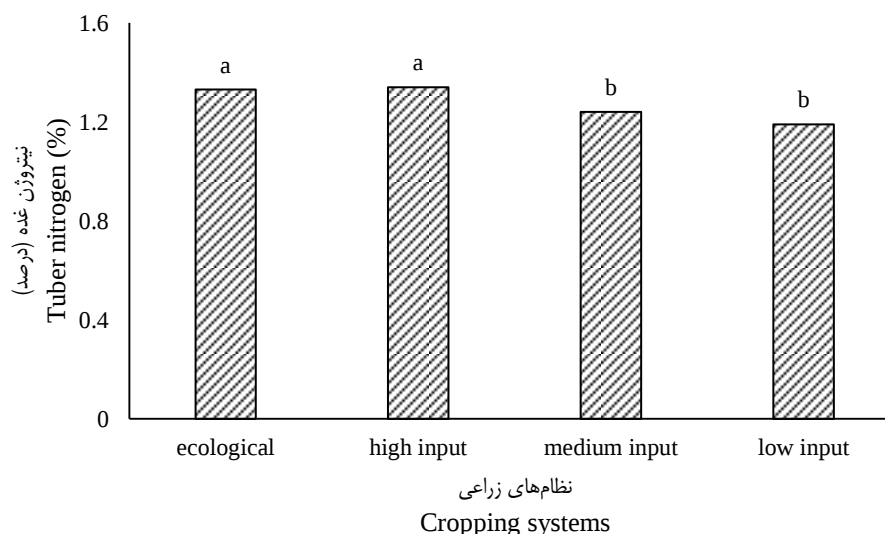
(Berbec, 2016). محققان دریافتند که در مزارع معمولی، شاخص تنوع شانون-وینر با مجموع کودهای معدنی NPK مصرف شده رابطه منفی داشت (Haliniarz et al., 2014). از دست دادن تنوع زیستی در مزارع با کاربرد NPK بیشتر ممکن است ناشی از شدت بیشتر کاربرد نهاده‌های دخیل در تولید (به‌عنوان مثال، استفاده از علف‌کش‌ها) باشد.

جدول ۹- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) شاخص تنوع شانون-وینر و میزان نیتروژن علف‌های هرز تحت روش‌های مدیریت زراعی و سطوح کنترل علف‌های هرز

Table 9- Analysis of variance (mean squares) of Shannon-Wiener diversity index and weed nitrogen content under field management methods and weed control levels

منابع تغییر (Source of variation)	درجه آزادی (d.f)	(Average of squares) میانگین مربعات	
		شاخص تنوع شانون-وینر Shannon-Wiener diversity index	نیتروژن علف‌های هرز Nitrogen content of weed
سال Year (Y)	1	0.007 ^{ns}	0.006 ^{ns}
خطای سال Year error	6	0.05	0.01
مدیریت نظام زراعی Cropping systems management (A)	3	0.34 ^{**}	0.59 ^{**}
Y×A	3	0.008 ^{ns}	0.02 ^{ns}
خطای کل Total error	18	0.04	0.02
ضریب تغییرات (%) C.V (%)		19.8	7.0

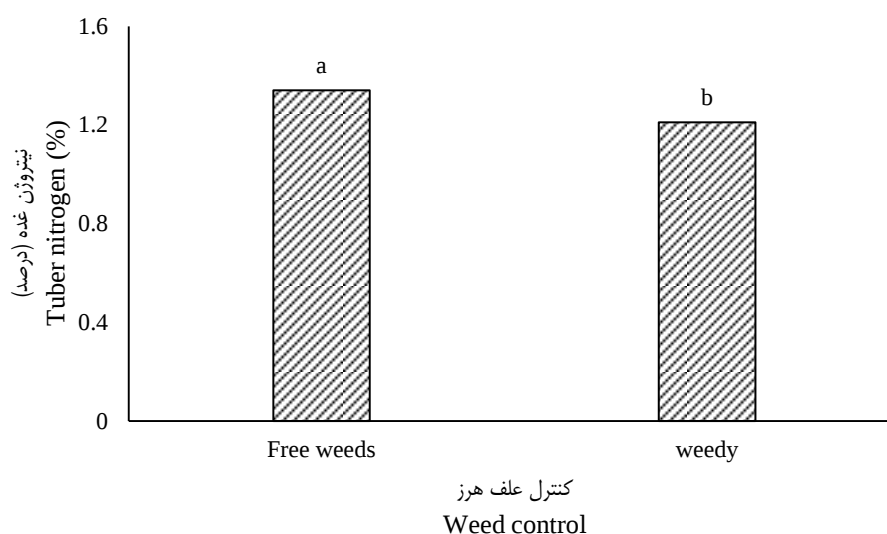
ns, *, **: به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد (ns, *, **: represent non-significant, significant at $p = 0.05$ and $p = 0.01$, respectively)



شکل ۴- اثر مدیریت نظام زراعی بر نیتروژن غده سیب‌زمینی

میانگین‌های دارای حروف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد، با یکدیگر تفاوت آماری معنی‌دار ندارند.

Figure 4- Effect of cropping systems management on potato tuber nitrogen
Means followed by the same letter(s) are not significantly different ($p \leq 0.05$).

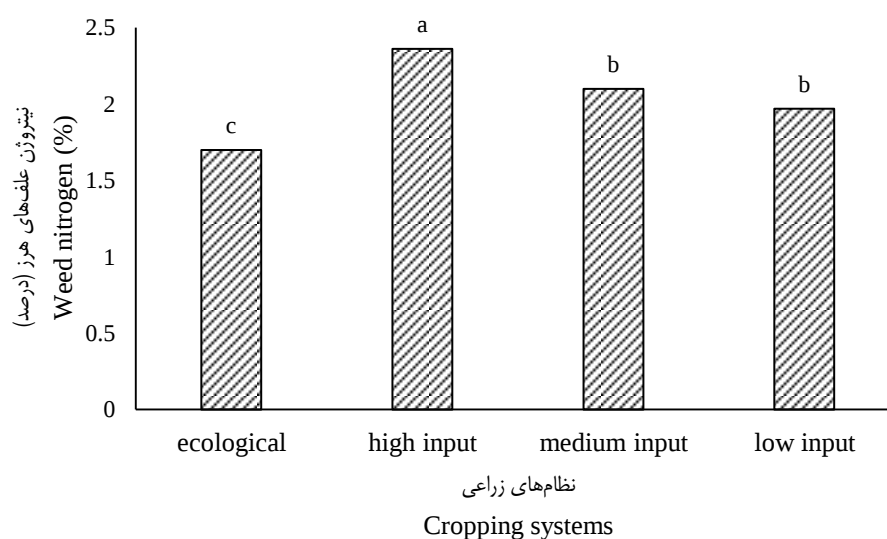


شکل ۵- اثر سطوح کنترل علف هرز بر نیتروژن غده سیبزمینی

میانگین‌های دارای حروف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد، با یکدیگر تفاوت آماری معنی‌دار ندارند.

Figure 5- Effect of weed control levels on potato tuber nitrogen

Means followed by the same letter(s) are not significantly different ($p \leq 0.05$).



شکل ۶- اثر نظام‌های مختلف کاشت بر درصد نیتروژن علف‌های هرز

میانگین‌های دارای حروف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد، با یکدیگر تفاوت آماری معنی‌دار ندارند.

Figure 6- Effect of different cropping systems on weed nitrogen percentage

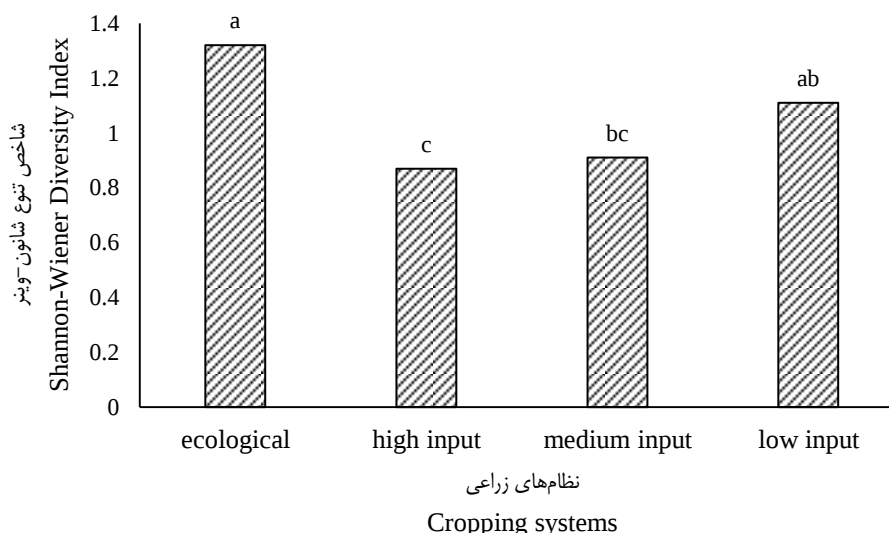
Means followed by the same letter(s) are not significantly different ($p \leq 0.05$).

خصوص تغییرات تنوع علف‌های هرز جامعه اطلاعات کمتر است. بیالایس و همکاران (Bilalis *et al.*, 2001) از هر دو شاخص سیمپسون و شانون-وینر برای بررسی تاثیر سه روش خاک‌ورزی مختلف بر تغییرات فلور علف‌های هرز در تیمار سه ساله تناوب زراعی استفاده کردند. در همه محصولات، به غیر از پنبه، تفاوت‌های

همچنین مصرف کودهای معدنی بیشتر NPK می‌تواند باعث کاهش pH خاک شود، که شرایط زیستگاه را طوری تغییر می‌دهد که تنوع گونه‌ای کاهش می‌یابد (Berbec *et al.*, 2020). به علاوه، در حالی که دانش فعلی نشان می‌دهد که ترکیب جامعه علف‌های هرز در پاسخ به سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی تغییر خواهد کرد، در

(*al.*, 2011) پیشنهاد کردند که خاک‌ورزی تاثیر قابل توجهی بر تنوع گونه‌ای علف‌های هرز در محصولات گندم نداشت، با این حال، خاک‌ورزی رایج سبب کاهش شاخص یکنواختی، غالبیت بالای علف‌های هرز زمستانه و کاهش تنوع علف‌های هرز در مزرعه آفتابگردان شد. برعکس، شاخص‌های یکنواختی و تنوع شانون در شرایط خاک‌ورزی حفاظتی بیشتر از سیستم خاک‌ورزی رایج بود (Dorado and Lopez-Fando, 2006).

قابل توجهی بین سیستم‌های خاک‌ورزی یافت شد. سه گونه یک ساله در سیستم‌های معمولی و حداقل خاک‌ورزی (*Sinapis arvensis*, *Solanum nigrum* and *Tribulus terrestris*) غالب بودند، در حالی که یک گونه چند ساله (*Malva* sp.) در سیستم بدون خاک‌ورزی غالب بود. همچنین محققان دیگری گزارش کردند که بالاترین مقادیر شاخص تنوع شانون-وینر در شرایط عدم شخم مشاهده شد (Travlos *et al.*, 2018). سانس و همکاران (Sans *et*



شکل ۷- اثر نظام‌های مختلف کاشت بر شاخص تنوع شانون-وینر

میانگین‌های دارای حروف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد، با یکدیگر تفاوت آماری معنی‌دار ندارند.
Figure 7- Effect of different planting systems on Shannon-Wiener diversity index
 Means followed by the same letter(s) are not significantly different ($p \leq 0.05$).

می‌شود، ولی با بازاریابی مناسب می‌توان این کاهش عملکرد را جبران کرد. از سوی دیگر با در نظر گرفتن کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی در نظام‌های اکولوژیک، می‌توان بیان کرد که این گونه نظام‌ها، بوم‌سازگار بوده و در صورتی که بتوان چنین خدماتی را نیز ارزش‌گذاری کرد، برتری نظام اکولوژیک نسبت به رایج بیشتر نمود پیدا می‌کند.

سپاسگزاری

بخشی از هزینه‌های انجام این پژوهش، توسط معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد در قالب طرح شماره ۳/۳۹۹۲۲ مصوب ۱۳۹۴/۱۱/۱۷ تأمین شده است، که بدین‌وسیله قدردانی می‌شود.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که با افزایش ورودی نهاده‌ها، عملکرد و اجزای عملکرد سیب‌زمینی افزایش یافت. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین میزان نیتروژن در غده، اندام هوایی سیب‌زمینی و همچنین در بافت‌های علف‌های هرز در نظام زراعی پرنهاده مشاهده شد و بنابراین می‌توان گفت که استفاده بیشتر از کودهای شیمیایی باعث ذخیره بیشتر نیتروژن در بافت‌های مختلف گیاهی شده است. از طرف دیگر، با کاهش میزان ورودی نهاده‌ها در نظام‌های اکولوژیک و کم‌نهاده، میزان شاخص تنوع شانون-وینر افزایش یافت به طوری که بیشترین میزان این شاخص در نظام کشت اکولوژیک و کم‌نهاده مشاهده شد. هرچند عملکرد پایین‌تر سیب‌زمینی در نظام اکولوژیک باعث کاهش ارزش بازاری محصول سیب‌زمینی

References

1. Agbede, T. M. 2006. Effect of tillage on soil properties and yam yield on an Alfisol in southwestern Nigeria. *Soil Tillage Research* 86: 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.01.012>.
2. Agbede, T. M. 2010. Tillage and fertilizer effects on some soil properties, leaf nutrient concentrations, growth and sweet potato yield on an Alfisol in southwestern Nigeria. *Soil and Tillage Research Journal* 110: 25-32. <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.06.003>.
3. Alizadeh, M. R., and Allameh, A. 2015. Canola yield and yield components as affected by different tillage practices in paddy fields. *International Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources* 2 (3): 46-51. (in Persian with English abstract).
4. Amiri, M. B., Jahan, M., and Rezvani-Moghaddam, P. 2022. An exploratory method to determine the plant characteristics affecting the final yield of *Echium amoenum* Fisch. & C.A. Mey. under fertilizers application and plant densities. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05724-8>.
5. Anikwe, M. A. N., and Ubochi, J. N. 2007. Short-term changes in soil properties under tillage systems and their effect on sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) growth and yield in an Ultisol in southeastern Nigeria. *Australian Journal of Soil Research* 45 (5): 351-358. <https://doi.org/10.1071/SR07035>.
6. Ashraf, M., and Ali, Q. 2005. The effect of applied nitrogen on the growth and nutrient concentration of Kalonji (*Nigella sativa*). *Australian Journal of Experimental Agriculture* 45: 459-463. <https://doi.org/10.1071/EA03261>.
7. Ayneband, A., Shohani, M., and Fateh, E. 2019. Evaluation of Agro-chemical characters of wheat agro ecosystem as affected double cropping systems and bio- chemical fertilizer management. *Journal of Plant Production Research* 26 (2): 71-84. DOI:10.22069/JOPP.2019.14557.2307.
8. Bera, S., Poddar, R., and Ghosh, R. K. 2015. Effect of weed management on the performance of potato and microflora population in rhizosphere. *American Journal of Potato Research* 42 (1): 29-35.
9. Berbec, A., Staniak, M., Feledyn-Szewczyk, B., Kocira, A., and Stalenga, J. 2020. Organic but Also Low-Input Conventional Farming Systems Support High Biodiversity of Weed Species in Winter Cereals. *Agriculture* 10: 413. <https://doi.org/10.3390/agriculture10090413>.
10. Berbec, A. K. 2016. Weed diversity in spring cereals and weed seed bank in conventional and organic farms in the Province of Lublin. Ph. D. Thesis, Institute of Soil Science and Plant Cultivation State Research Institute, Pulawy, Poland.
11. Bilalis, D., Efthimiadis, P., and Sidiras, N. 2001. Effect of three tillage Systems on weed flora in a 3-year rotation with four crops. *Journal of Agronomy and Crop Science* 186: 135-141. <https://doi.org/10.1046/j.1439-037X.2001.00458.x>.
12. Brady, N. C. 1990. The nature and properties of soils. Cornell University and United States Agency of International Development. (USAID).
13. Coulibali, Z., Cambouris, A. N., and Parent, S. E. 2020. Cultivar-specific nutritional status of potato (*Solanum tuberosum* L.) crops. *PLOS ONE* 15 (3): e0230458. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230458>.
14. Dawelbeit, M. I. and Babiker, E. A. 1997. Effect of tillage and method of sowing on wheat yield in irrigated Vertisols of Rahad, Sudan. *Soil and Tillage Research Journal* 42: 127-132. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(96\)01088-4](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(96)01088-4).
15. Delmotte, S., Tittone, P., Mouret, J. C., Hammonda, R., and Lopez-Ridauraa, S. 2011. On farm assessment of rice yield variability and productivity gaps between organic and conventional cropping systems under Mediterranean climate. *European Journal of Agronomy* 35: 223-236. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.06.006>.
16. Derakhshan, A., Siadat, S., and Bakhshandeh, A. 2018. Modeling the interaction of herbicide doses and nitrogen fertilizer on crop and weed biomass production in multiple weed species-wheat interference. *Journal of Crop Production* 11 (2): 169-184. DOI: 10.22069/EJCP.2018.14405.2091.
17. Deytieux, V., Munier-Jolain, N., and Caneill, J. 2016. Assessing the sustainability of cropping systems in single- and multi-site studies. A review of methods. *European Journal of Agronomy* 72: 107-126. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.10.005>.
18. Dorado, J., and Lopez-Fando, C. 2006. The effect of tillage system and use of a paraplow on weed flora in a semiarid soil from central Spain. *Weed Research* 46: 424-431. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2006.00532.x>.
19. Dzida, K. and Jarosz, Z. 2006. Influence of nitrogen-potassium fertilization on the yield and on the nutrients content in *Satureja hortensis* L. *Acta Agrophysica* 7: 879-884.
20. Giuliano, S., Ryan, M. R., Véricel, G., Rametti, G., Perdrieux, F., Justes, E., and Alletto, L. 2016. Low-input cropping systems to reduce input dependency and environmental impacts in maize production: A multi-criteria assessment. *European Journal of Agronomy* 76: 160-175. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.12.016>.
21. Haliniarz, M., Gaw, eE.da, D., Kwiatkowski, C., Frant, M., and Rozanska-Boczula, M. 2014. Weed biodiversity in field Pea under reduced tillage and different mineral fertilization conditions. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* 20: 1340-1348.
22. Hassanpanah, D., and Hassanabadi. H. 2011. Evaluation of Quantitative Traits of Potato Cultivars in the Spring

- Cultivation and after Barley Harvest Plantings in Ardabil Region. *Journal of Crop and Weed Ecophysiology* 5 (1): 27-40.
23. Hildermann, I., Thommen, A., Dubois, D., Boller, T., Wiemken, A., and Mader, P. 2009. Yield and baking quality of winter wheat cultivars in different farming systems of the DOK long-term trial. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 89: 2477-2491.
24. Horwitz, W., and Latimer, G. W. 2005. *Official Methods of Analysis*. Association of Official Analytical Chemists (AOAC), 18th Edition. Maryland, USA.
25. Jahan, M., Javadi, M., Hesami, E., and Amiri, M. B. 2021. Nutritional management improved sesame performance and soil properties: a function-based study on sesame as affected by deficit irrigation, water superabsorbent, and salicylic acid. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00557-2>.
26. Jalilian, J., Najafabadi, A., and Zardashti, M. R. 2017. Intercropping patterns and different farming systems affect the yield and yield components of safflower and bitter vetch. *Journal of Plant Interactions* 12(1): 92-99. <https://doi.org/10.1080/17429145.2017.1294712>.
27. Kadiri, W. O. J., Fasina, A. S., and Babalola, T. S. 2021. Soil organic carbon concentration and stock of arable land use of two agro-ecological zones of Nigeria. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 20 (3): 180-189. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.01.004>.
28. Kapczyńska, A., and Stodolak, B. 2019. The morphological and physiological response of *Lachenalia* to supplemental irradiation. *Horticulture, Environment, and Biotechnology* 60: 455-465. <https://doi.org/10.1007/s13580-019-00142-8>.
29. Khorramdel, S., Koochaki, A. R., and Nasiri, M. M. 2009. Effect of farming systems with different inputs on the variation, composition and density of weeds in corn. *Agroecology* 1 (2): 1-10. (in Persian with English abstract).
30. Kulak, M., Nemecek, T., Frossard, E. and Gaillard, G. 2013. How eco-efficient are low-input cropping systems in western europe, and what can be done to improve their eco-efficiency? *Sustainability* 5: 3722-3743. <https://doi.org/10.3390/su5093722>.
31. Lehoczy, E., Kismanyoky, A., and Nemeth, T. 2009. Weediness and nutrient uptake by weeds in relation to the soil tillage. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 40: 871-878. <https://doi.org/10.1080/00103620802694431>.
32. Marschner, H. 2002. Relationships between mineral nutrition and plant diseases and pests. In: Marschner H, editor. *Mineral nutrition of higher plants*. New York (NY): Elsevier Science p. 436-460.
33. Mirlohi, A. F., Mohammadi, R., Razavi, S. J., Majidi, M. M., and Nourbakhsh, F. 2009. Effect of organic fertilizers and split application of nitrogen on yield and yield components of rice. *Journal of Plant Production* 16 (1): 29-43. (in Persian with English abstract).
34. Moeini, N., Dadashi, M. R., Dastan, S., and Faraji, A. 2020. Evaluating some qualitative and quantitative indices of local rice cultivars in paddy field planting systems in north of Iran. *Journal of Plant Environmental Physiology* 15 (57): 65-83.
35. Mondani, F., Golzardi, F., Ahmadvand, G., Ghorbani, R., and Moradi, R. 2011. Influence of weed competition on potato growth, production and radiation use efficiency. *Notulae Scientia Biologicae* 3 (3): 42-52. <https://doi.org/10.15835/nsb336125>.
36. Mumivand, H., Nooshkam, A., Moseni, A., and Babalar, M. 2013. Influence of Nitrogen and Calcium Carbonate Application Rates on Nitrate Accumulation and Yield of Summer Savory (*Satureja hortensis* L.). *Journal of Crop Production* 6 (2): 109-124.
37. Naseri rad, H., Rezvani Moghadam, P., Koochaki, A., and Jafari, A. 2019. The Effect of Farming Systems and Wheat Residues Managements on yield and yield components in Brassica Napus in Roumeshagen and chardavol locations in southwest of Iran. *Applied Field Crops Research* 32 (03): 89-116. [DOI:10.22092/AJ.2019.121803.1294](https://doi.org/10.22092/AJ.2019.121803.1294).
38. Rega, C., Helming, J., and Paracchini, M. L. 2019. Environmentalism and localism in agricultural and land-use policies can maintain food production while supporting biodiversity. Findings from simulations of contrasting scenarios in the EU. *Land Use Policy* 87: 103986. [DOI:10.1016/j.landusepol.2019.05.005](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.05.005).
39. Rodrigues, P. M. S., Schaefer, C. E. G. R., Silva, J. D. O., Junior, W. G. F., Santos, R. M. D., and Viana Neri, A. 2016. The influence of soil on vegetation structure and plant diversity in different tropical savannic and forest habitats. *Journal of Plant Ecology* 11 (2): 226-236. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtw135>.
40. Sans, F. X., Berner, A., Armengot, L., and Mader, P. 2011. Tillage effects on weed communities in an organic winter wheat–sunflower–spelt cropping sequence. *Weed Research* 51: 413-421. [DOI: 10.1111/j.1365-3180.2011.00859.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2011.00859.x).
41. Shah, F., and Wu, W. 2019. Soil and Crop Management Strategies to Ensure Higher Crop Productivity within Sustainable Environments. *Sustainability* 11: 1485. <https://doi.org/10.3390/su11051485>.
42. Shannon, C.E., and Weaver, W. 1949. *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Urbana, Illinois. 144pp.
43. Therond, O., Duru, M., Estrade, R., and Richard, G. 2017. A new analytical framework of farming system and

- agriculture model diversities. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 37: 2. DOI: 10.1007/s13593-017-0429-7. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0429-7>.
44. Trabelsi, M., Mandart, E., Le Grusse, P., and Bord, J. P. 2016. How to measure the agroecological performance of farming in order to assist with the transition process. *Environmental Science and Pollution Research International* 23: 139-156. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-5680-3>.
45. Travlos, I. S., Cheimona, N., Roussis, I., and Bilalis, D. J. 2018. Weed-Species Abundance and Diversity Indices in Relation to Tillage Systems and Fertilization. *Frontiers in Environmental Science* 6: 11. DOI: [10.3389/fenvs.2018.00011](https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00011).
46. Trigo, A., Marta-Costa, A., and Fragoso, R. 2021. Principles of Sustainable Agriculture: Defining Standardized Reference Points. *Sustainability* 13: 4086. DOI: [10.3390/su13084086](https://doi.org/10.3390/su13084086).
47. Vakilpoor, M. H., and Babania, S. 2016. Environmental effects of chemical inputs price dumping on agricultural products. *Journal of the Popularization of Science* 7 (2): 75-83.



Response of Sweet Basil (*Ocimum bacilicum* L.) to Different Nutritional Sources in Competition with Weeds

E. Moafi¹, F. Zaefarian^{2*}, V. Akbarpour³, I. Mansouri⁴Received: 26-09-2021
Revised: 01-02-2022
Accepted: 12-02-2022**How to cite this article:**Moafi, E. Zaefarian, F., Akbarpour, V., and Mansouri, I. 2022. Response of Sweet Basil (*Ocimum bacilicum* L.) to Different Nutritional Sources in Competition with Weeds. Iranian Journal of Field Crops Research 20 (2): 197-215. (in Persian with English abstract). DOI: [10.22067/jcesc.2022.72703.1091](https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.72703.1091).

Introduction

It is well accepted that application of chemical fertilizers contaminates the water and soil resources and reduces the quality of agricultural and medicinal products, which subsequently creates serious environmental issues. Currently, to improve soil fertility and have sustainable production, bio-fertilizers as an alternative to the chemical fertilizers have been widely applied. Product quality and production sustainability are very important parameters for medicinal products. In agricultural system, weeds are an inevitable part of the process which can negatively affect the production of the medicinal plant. Weeds can compete with medicinal plant for water, nutrient, light, space, and carbon dioxide access, which subsequently reduces quantitative and qualitative yields of the plant and increases crop yield losses. Therefore, this experiment was conducted to evaluate the effect of different fertilizer sources on biochemical traits of basil plant in control and non-control conditions with weeds.

Materials and Methods

This experiment was split plot based on randomized complete block design with three replicates and was conducted at Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Iran. The treatments consisted of competition between plants and weeds (weedy and weed free) as the main factor and sub factors were fertilizer sources as: 1- control (no fertilizer), 2- NPK fertilizer (urea fertilizer (100 kg ha⁻¹) + triple super triphosphate (100 kg ha⁻¹) + potassium sulfate (80 kg ha⁻¹)), 3- humic acid (15 l ha⁻¹), 4- animal manure (20 ton ha⁻¹), 5- NPK fertilizer (urea fertilizer (50 kg ha⁻¹) + triple super triphosphate (50 kg ha⁻¹) + potassium sulfate (40 kg ha⁻¹)) + humic acid (7.5 l ha⁻¹), 6- NPK fertilizer (urea fertilizer (50 kg ha⁻¹) + triple super triphosphate (50 kg ha⁻¹) + potassium sulfate (40 kg ha⁻¹)) + animal manure (10 ton ha⁻¹), 7- animal manure (10 ton ha⁻¹) + humic acid (7.5 l ha⁻¹) and 8- spraying macro and micro elements. The predominant weeds identified in the field included velvetleaf (*Abutilon theophrasti*), sorghum (*Sorghum halepense*), euphorbia (*Euphorbia maculate*) and wild melon (*Cucumis melo*. Var. *Agrestis*).

Results and Discussion

The results showed that the biochemical traits such as total phenol, total flavonoid and antioxidant activities had significant increment in weed infestation compared to weed free condition. Based on the results, the highest total fresh weight in the first harvest (11527 kg ha⁻¹) and second harvest (15077 kg ha⁻¹) belonged to chemical fertilizer + humic acid treatment. Animal manure + humic acid treatment had the highest ($P < 0.05$) total dry weight in the first harvest (1822.3 kg ha⁻¹) and second harvest (2426.01 kg ha⁻¹) compared to other treatments.

1- MSc student of Agronomy, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

2- Associate Professor of Agronomy, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

3- Assistant Professor of Horticulture, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

4- Assistant Professor of Agronomy, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

(*- Corresponding Author Email: fa_zaefarian@yahoo.com)

DOI: [10.22067/jcesc.2022.72703.1091](https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.72703.1091)

According to the results, weed interference reduced ($P < 0.05$) the total fresh and dry weight of plant compared to weed control, where the total fresh and dry weight in the first harvest was decreased up to 50.31% and 42.29%, respectively and in the second harvest, up to 48.69% and 49.58%, respectively. Weeds density and biomass were affected by treatments, the highest weed density and biomass was observed by chemical treatments at the first and second stages of sampling, (49.33 and 36 plant.m⁻², and 188.25 and 155.25 g.m⁻², respectively).

Conclusion

Based on the results of current study, the integrated application of organic fertilizers had a positive effect on the production and biochemical traits in basil. Overall, the application of organic fertilizers reduces production costs and environmental pollution that can cause by the use of chemical fertilizers. Organic fertilizer also reduces weed dry weight which consequently decreases the damage caused by herbicides. Therefore, it can be suggested that organic fertilizers can be applied to produce healthy and sustainable products.

Keywords: Antioxidant activities, Competitive stress, Humic acid, Medicinal plant, Phenol

مقاله پژوهشی

جلد ۲۰، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱، ص ۱۹۷-۲۱۵

پاسخ ریحان (*Ocimum bacilicum* L.) به منابع مختلف تغذیه‌ای در رقابت با علف‌های هرزاسماعیل معافی^۱، فائزه زعفریان^{۲*}، وحید اکبرپور^۳، ایران‌دخت منصوری^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۲۳

چکیده

مطالعه جنبه‌های مختلف به‌زراعی گیاهان دارویی از جمله تغییرات کمی و کیفی این گیاهان در پاسخ به منابع تغذیه‌ای مختلف، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. لذا پژوهش حاضر به‌منظور بررسی تغییرات کمی و کیفی گیاه ریحان به منابع مختلف تغذیه‌ای در مزرعه آموزشی و پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام در سال ۱۳۹۶ انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل عامل اصلی، رقابت گیاه زراعی و علف‌های هرز (در دو سطح وجین علف هرز و عدم وجین علف هرز) و عامل فرعی منابع کودی مختلف شامل: ۱- شاهد (بدون کود)، ۲- کود شیمیایی (اوره + سوپر فسفات تریپل + سولفات پتاسیم)، ۳- اسید هیومیک، ۴- کود حیوانی (از منبع گاوی) پوسیده، ۵- کود شیمیایی + اسید هیومیک، ۶- کود شیمیایی + کود حیوانی، ۷- کود حیوانی + اسید هیومیک و ۸- محلول‌پاشی NPK micro (Fe, Zn, Mn, B) + (20-20-20) بود. نتایج نشان داد که صفات فیتوشیمیایی از جمله فنل، فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در شرایط وجود علف‌های هرز افزایش معنی‌داری را در هر دو چین نسبت به تیمار شاهد (عاری از علف هرز) نشان داد. بیشترین میزان وزن تر کل در چین اول (۱۵۲۷) کیلوگرم در هکتار) و چین دوم (۱۵۰۷۷) کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار کود شیمیایی + اسید هیومیک بود؛ همچنین تیمار کود حیوانی + اسید هیومیک بیشترین وزن خشک کل در چین اول (۱۸۲۲/۳) کیلوگرم در هکتار) و چین دوم (۲۴۲۶/۰۱) کیلوگرم در هکتار) را به خود اختصاص داد. لازم به ذکر است که حضور علف‌های هرز موجب کاهش وزن تر و خشک کل نسبت به شرایط کنترل علف‌های هرز گردید؛ به گونه‌ای که عملکرد تر و خشک کل در چین اول به‌ترتیب به میزان ۵۰/۳۱ و ۴۲/۲۹ درصد و در چین دوم به‌ترتیب به میزان ۴۸/۶۹ و ۴۹/۵۸ درصد کاهش یافت. تیمارهای تغذیه‌ای روی تراکم و زیست‌توده‌ی علف‌های هرز تأثیر داشت؛ به‌طوری‌که در مرحله اول و دوم نمونه‌برداری، تیمار شیمیایی دارای بیشترین تراکم (به‌ترتیب ۴۹/۳۳ و ۳۶ بوته در متر مربع) و زیست توده علف‌های هرز (به‌ترتیب ۱۸۸/۲۵ و ۱۵۵/۲۵ گرم در متر مربع) بود. کاربرد تلفیقی کودهای آلی دارای تأثیر مثبت بر صفات مورد بررسی بود. در مجموع استفاده از کودهای آلی ضمن کاهش هزینه‌های تولید ناشی از مصرف کودهای شیمیایی، موجب کاهش وزن خشک علف‌های هرز و در پی آن کاهش خسارات ناشی از رقابت می‌شوند، به همین دلیل روش مناسبی برای تولید سالم و پایدار این‌گونه محصولات می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اسید هیومیک، تنش رقابتی، فنل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، گیاهان دارویی

مقدمه

در عصر حاضر علی‌رغم افزایش چشمگیر کاربرد داروهای

شیمیایی، گیاهان دارویی و داروهای حاصل از آن‌ها در مقیاس وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرند، به‌طوری‌که در برخی کشورها از اجزای جدایی‌ناپذیر درمان محسوب می‌شوند (Emad, 2008). هزینه‌های سرسام‌آور داروهای شیمیایی، داروسازها را به سمت استفاده از داروهای گیاهی سوق داده است (Najafpour Navaei and Shariat, 2017). ریحان با نام علمی *Ocimum bacilicum* L. یکی از مهم‌ترین گونه‌های اقتصادی تیره نعناع^۵ می‌باشد. این گیاه علاوه‌بر کاربرد در صنایع غذایی، داروسازی، دندانپزشکی و عطرسازی، در طب سنتی و مدرن نیز موارد استفاده بسیاری دارد؛ به‌طوری‌که مواد مؤثره پیکر رویشی این گیاه محتوای اشتهاآوری است که برای درمان نفخ،

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
- ۲- دانشیار و عضو هیئت علمی گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
- ۳- استادیار و عضو هیئت علمی گروه باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
- ۴- استادیار و عضو هیئت علمی گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: fa_zaefarian@yahoo.com)

DOI: 10.22067/jcesc.2022.72703.1091

محققین گزارش نمودند با افزایش مصرف کود دامی تا ۳۰ تن در هکتار رشد و عملکرد زیره سیاه (*Bunium persicum* Boiss) افزایش یافت (Khorramdel et al., 1979). در پژوهشی دیگر نتایج نشان داد که مصرف انواع نهاده‌های آلی (کود ورمی کمپوست و کمپوست زباله شهری) موجب بهبود عملکرد زیست‌توده، محتوی اسانس و عملکرد اسانس گیاه دارویی نعنای فلفلی (*Mentha piperita*) در مقایسه با کود شیمیایی و شاهد شد (Ayyobi et al., 2014). در ارزیابی اثر سطوح کود دامی بر رشد و عملکرد بادرشو (*Dracocephalum moldavica*) گزارش شد که با افزایش مصرف کود دامی از صفر به ۴۰ تن در هکتار به دلیل فراهمی عناصر غذایی کم‌مصرف و پرمصرف رشد و عملکرد تازه و خشک برگ به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (Rahbarian, 2014). در مطالعه دیگری مشاهده شد که کاربرد کودهای آلی و زیستی نظیر ورمی کمپوست و سودوموناس به‌همراه بایوپچار باعث افزایش کمیت و کیفیت گیاه ریحان شد (Charbandi et al., 2021).

علف‌های هرز از یک سو به‌عنوان یکی از اجزای مکمل بوم‌نظام‌های کشاورزی و بخش جدایی‌ناپذیر در سامانه‌های کشاورزی محسوب شده و از سوی دیگر از جمله عوامل مهم محدودکننده افزایش تولیدات کشاورزی در کشورهای در حال توسعه می‌باشند، که با گیاه دارویی در دسترسی به آب، مواد غذایی، نور، فضا و دی‌اکسیدکربن رقابت کرده و سبب کاهش کمی و کیفی و افزایش تلفات عملکرد محصول می‌گردند (Kavurmaci et al., 2010). در یک پژوهش، عملکرد دانه ذرت تحت شرایط رقابت با علف‌های هرز کاهش یافت (Dehghanian and Nasrollahzadeh, 2014; Hussain et al., 2014). در بررسی تأثیر منابع کودی مختلف بر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) در رقابت با علف‌های هرز گزارش شد که علف‌های هرز در رقابت برای عناصر غذایی نظیر نیتروژن سبب کاهش دسترسی رزماری به مقدار کافی نیتروژن شده و از آنجایی که نیتروژن نقش اساسی در ساختمان کلروفیل‌ها دارد، رقابت با علف‌های هرز سبب کاهش میزان کلروفیل برگ‌ها شده است (Sadegh et al., 2019).

با توجه به اهمیت و نقش گیاهان دارویی، نکته حائز اهمیت در تولید و پرورش این گیاهان دارویی ارزشمند، افزایش تولید زیست‌توده آن‌ها با کمترین میزان مصرف نهاده‌های شیمیایی اعم از کود یا سموم دفع آفات و علف‌های هرز می‌باشد. در نتیجه با توجه به موارد فوق هدف از این تحقیق بررسی اثر منابع کودی مختلف، بر صفات بیوشیمیایی و عملکرد گیاه ریحان در شرایط رقابت با علف‌های هرز می‌باشد.

تقویت دستگاه گوارش و تسکین حس خستگی استفاده می‌شود (Omidbaigi, 2000; Chalchat and Ozcan, 2008).

مطالعه جنبه‌های مختلف به‌زراعی گیاهان دارویی از جمله تغییرات کمی و کیفی این گیاهان در پاسخ به منابع تغذیه‌ای مختلف، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تغذیه صحیح گیاهان دارویی همراه با رعایت اصول تولید ارگانیک، ضمن حفظ محیط‌زیست و استانداردهای بهداشتی مواد خام گیاهان دارویی سبب افزایش عملکرد کمی و کیفی مواد موثره در این گیاهان می‌شود (Sahoo, 2001). کودهای شیمیایی به‌عنوان یکی از عوامل تأثیرگذار بر عملکرد گیاهان دارویی مطرح می‌باشند، ولی استفاده زیاد از آن‌ها به‌ویژه هنگامی که با عملیات مدیریتی نامناسب مثل سوزاندن بقایای گیاهی همراه باشد، ماده آلی خاک را به شدت کاهش می‌دهد (Pirasteh Anosheh et al., 2010). بنابراین، نیاز فوری به تثبیت و افزایش بهره‌وری از طریق استفاده صحیح کودهای آلی می‌تواند به غنی‌سازی خاک منطقه ریشه کمک کند. کودهای آلی به علت اثرات مفیدی که بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک دارند؛ یکی از ارکان مهم باروری خاک محسوب می‌شوند.

امروزه کاربرد کودهای آلی همچون اسید هیومیک برای بهبود و افزایش کمی و کیفی محصولات زراعی (El-Sherbeny et al., 2012) و همچنین کاهش اثرات تنش‌های غیرزیستی (Turan et al., 2011) در حال توسعه است. اسید هیومیک یک ترکیب پلیمری آلی و طبیعی است که در نتیجه پوسیدگی مواد آلی خاک، پیت، لیگنین و غیره به‌وجود می‌آید و می‌تواند جهت افزایش محصول و کیفیت آن به‌کار رود (Gad El-Hak et al., 2012). نتایج تحقیقات حاکی از آن است که این ماده‌ی طبیعی با افزایش جذب و فراهمی عناصر غذایی نظیر نیتروژن، پتاسیم، فسفر، کلسیم، منگنز، روی و آهن (Yuan et al., 2017)، موجب افزایش جذب آب، محتوای کلروفیل و انتقال مواد فتوسنتزی (Dolatabadi et al., 2011) و در نتیجه باعث بهبود رشد و افزایش عملکرد گیاهان می‌شود. در همین ارتباط محققان نقش مثبت اسید هیومیک در افزایش وزن تر و خشک کاسبرک چای خشک (*Hibiscus sabdariffa* L.) (Ahmad et al., 2011)، و وزن تر و خشک ذرت (*Zea mays* L.) (Daur and Bakhshwain, 2013) گزارش کرده‌اند.

یکی دیگر از منابع کود آلی، کود دامی است. اثرات مثبت کود دامی بر باروری خاک، افزایش ماده آلی و غنی‌سازی خاک و در نهایت بهبود رشد و نمو گیاه، توسط محققین مختلف مورد تأیید قرار گرفته است (Jalilian and Heidarzadeh, 2020). همچنین گزارش شده است که خاک‌هایی که کود حیوانی دریافت کردند، علاوه بر جمعیت میکروبی فعال تر و غنی‌تر، مقادیر فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و نترات قابل دسترس بیشتری نسبت به خاک‌هایی که با کودهای غیرآلی تغذیه شده‌اند، داشتند (Azeez et al., 2010).

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر منابع کودی مختلف بر صفات بیوشیمیایی و عملکرد گیاه ریحان (*Ocimum bacilicum* L.) در شرایط رقابت با علف‌های هرز، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال ۱۳۹۶ اجرا گردید. فاکتورهای آزمایشی شامل عامل اصلی، رقابت گیاه زراعی و علف‌های هرز (در دو سطح وجود و عدم وجود علف هرز) و عامل فرعی منابع کودی شامل: ۱- شاهد (بدون کود)، ۲- کود شیمیایی (اوره ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) + سوپر فسفات تریپل (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) + سولفات پتاسیم (۸۰ کیلوگرم در هکتار)، ۳- اسید هیومیک (۱۵ لیتر در هکتار)، ۴- کود حیوانی پوسیده (۲۰ تن در هکتار)، ۵- کود شیمیایی (اوره ۵۰ کیلوگرم در هکتار + سوپر فسفات تریپل ۵۰ کیلوگرم در هکتار + سولفات پتاسیم ۴۰ کیلوگرم در هکتار) + اسید هیومیک (۷/۵ لیتر در هکتار)، ۶- کود شیمیایی (اوره ۵۰ کیلوگرم در هکتار + سوپر

جدول ۱- برخی از خصوصیات شیمیایی خاک مزرعه و کود دامی مورد استفاده در آزمایش
Table 1- Some of the chemical properties of field soil and used manure in experiment

نمونه Sample	هدایت الکتریکی EC (dS m ⁻¹)	اسیدیته pH	کربن آلی O.C (%)	نیتروژن N (%)	فسفر P (mg kg ⁻¹)	پتاسیم K (mg kg ⁻¹)	بافت Texture
خاک Soil	1.74	7.31	1.26	0.13	13.45	252.6	رسی-سیلی Clay-silty
کود دامی Manure	3.1	7.54	14.34	1.27	0.49(%)	1.47(%)	-

شامل گاوپنبه (*Abutilon theophrasti*)، قیاق (*Sorghum halepense*)، فرفیون (*Euphorbia maculate*) و خربزه وحشی (*Cucumis melo var. agrestis*) بودند. عملیات وجین علف‌های هرز در کرت‌های مورد نظر به‌صورت دستی و هر هفته به محض رویت شدن علف هرز انجام گردید. در ابتدای دوره رشد جهت استقرار مناسب بوته‌ها، هر دو روز یک‌بار آبیاری سبک انجام شد و پس از آن آبیاری به روش غرقابی و به‌صورت هفتگی انجام گردید. برداشت به‌صورت دو چین به مساحت ۱ متر مربع و با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای صورت پذیرفت. چین اول در اوایل تیرماه و چین دوم در اواخر شهریورماه انجام شد. برای محاسبه عملکرد نهایی در هر چین (برداشت)، نمونه‌های مورد نظر از ارتفاع ده سانتی‌متری زمین کف‌بر شده و نمونه‌ها به تفکیک برگ و ساقه توسط ترازوی دقیق دیجیتالی وزن شدند و بدین ترتیب مقدار وزن تر آن‌ها تعیین گردید. سپس برای تعیین وزن خشک، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت به آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند و در نهایت توسط ترازوی دیجیتالی توزین گردیدند.

مقدار فنل کل با استفاده از روش فولین-سیکالتیو (Oracz et al., 2007) محاسبه و برای تعیین مقدار فلاونوئید از روش رنگ‌سنجی

کرت‌های فرعی این آزمایش به‌صورت ۲×۲ متر مربع با چهار خط کاشت که فاصله ردیف‌های کاشت از هم، ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌های روی هر ردیف، ۵ سانتی‌متر بود و کرت‌های اصلی به ابعاد ۱۹/۵×۲ متر مربع بود، آماده‌سازی شدند. قبل از کاشت، کود دامی بسته به تیمار مورد نظر در کرت‌های مربوطه، اضافه شد. کود شیمیایی فسفر، پتاسیم و ۲/۳ نیتروژن همزمان با کاشت بذر در کرت‌های مربوطه، به خاک اضافه شدند و مابقی کود شیمیایی نیتروژن به‌صورت سرک در زمان ۱۰-۸ برگی گیاه اعمال گردید. محلول‌پاشی عناصر ماکرو و میکرو، طی دو مرحله انجام شد. مرحله اول سه هفته بعد از کاشت (۴-۶ برگی) و مرحله دوم در زمان ۱۰-۸ برگی بود. تیمار اسید هیومیک نیز پس از ظهور گیاه (مرحله ۳-۲ برگی) به‌صورت محلول‌پاشی به کرت‌های مربوطه اضافه گردید. برای کاشت ریحان ریحان از بذور محلی منطقه مورد نظر استفاده گردید که به‌صورت مستقیم و در عمق یک سانتی‌متری زمین در تاریخ ۱۵ اردیبهشت ماه کاشته شد.

به‌منظور حصول تراکم مناسب (۴۰ بوته در متر مربع)، پس از استقرار کامل گیاه (زمانی که ارتفاع بوته‌ها ۱۰ سانتی‌متر شد) بوته‌های اضافی تنک گردید. علف‌های هرز غالب شناسایی شده در مزرعه

نتایج و بحث

فنل کل

تجزیه واریانس داده‌های مورد بررسی نشان داد که اثر ساده و متقابل منابع کودی و علف‌های هرز بر میزان فنل کل در هر دو چین تاثیر معنی‌داری داشت (جدول ۲). به‌طوری‌که در چین اول تیمار کود حیوانی + اسید هیومیک بدون وجین (۴۲/۵۵ میلی‌گرم در گرم برگ خشک) حاوی بیشترین میزان فنل کل بود؛ در حالی که کمترین میزان فنل کل در تیمار شاهد (۹/۸۲ میلی‌گرم در گرم برگ خشک) و در شرایط کنترل علف هرز مشاهده شد (جدول ۳). بیشینه و کمینه میزان فنل در چین دوم نیز به‌ترتیب در تیمار کود حیوانی + اسید هیومیک بدون وجین (۳۷/۲۱ میلی‌گرم در گرم برگ خشک) و شاهد باوجین (۷/۴۸ میلی‌گرم در گرم برگ خشک) به‌دست آمد (جدول ۳). البته در هر دو چین بین سه تیمار کود حیوانی + اسید هیومیک بی‌وجین، کود حیوانی + اسید هیومیک باوجین و نیز کود شیمیایی بی‌وجین تفاوتی از لحاظ آماری مشاهده نگردید (جدول ۳). کاربرد کودهای آلی به‌دلیل افزایش دسترسی گیاه به مواد غذایی مخصوصا کربن و نیتروژن موجب افزایش تولید ترکیبات فنلی می‌گردد (Ghorbanali et al., 2011). با استناد به نتایج به‌دست آمده، چین اول میزان فنل بیشتری نسبت به چین دوم تولید کرد (جدول ۳).

استفاده گردید (Chang et al., 2002). همچنین فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها با استفاده از روش اندازه‌گیری کاهش ظرفیت رادیکالی ۲-۲ دی‌فنیل-۱-پیکریل هیدرازیل (DPPH) مورد ارزیابی قرار گرفت (Burits and Bucar, 2000) که همگی این صفات در مرحله گلدهی نمونه‌برداری و اندازه‌گیری شدند. همچنین، به‌منظور اندازه‌گیری اسانس، در مرحله گلدهی مقدار ۲۰ گرم از سرشاخه‌های گلدار تولید شده در هر بوته انتخاب و اسانس آن توسط دستگاه کلونجر با استفاده از روش تقطیر با آب اندازه‌گیری شد. به‌منظور بررسی میزان تغییرات تراکم و ماده خشک علف‌های هرز، دو مرحله نمونه‌برداری همزمان با نمونه‌برداری از ریحان انجام شد. بدین منظور از کوادرات ۵۰×۵۰ سانتی‌متر مربع در هر کرت به‌صورت تصادفی استفاده شد و بوته‌های علف‌های هرز در هر کوادرات، در حد گونه شناسایی و سپس نمونه‌های مربوط به هر کرت در داخل پاکت‌هایی قرار داده شده و به‌مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در آون نگهداری و خشک شد و سپس توزین گردید.

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (Ver. 9.4) انجام شده و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel (2010) استفاده گردید. مقایسه میانگین‌ها نیز از طریق آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایش بر صفات بیوشیمیایی ریحان طی دو چین

Table 2- Analysis of variance of the effects of experimental treatments on biochemical traits of basil in two harvests

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	فنل کل Total phenol		فلاونوئید کل Total flavonoids		فعالیت آنتی‌اکسیدانی Antioxidant activity	
		چین ۱ Harvest 1	چین ۲ Harvest 2	چین ۱ Harvest 1	چین ۲ Harvest 2	چین ۱ Harvest 1	چین ۲ Harvest 2
بلوک Block	2	7.67	7.35	8.83	10.34	6.77	10.91
علف‌های هرز (A) Weeds (A)	1	814.002**	889.81**	308.18*	341.33**	284.47*	314.43*
خطای (a) Error (a)	2	5.30	4.27	3.70	3.17	4.81	6.77
منابع کودی (B) Fertilizer sources (B)	7	393.38**	419.74**	99.84**	113.84**	662.61**	632.90**
A×B	7	27.36**	33.60**	8.14**	5.27*	14.37**	19.52**
خطا آزمایش Error	28	6.76	6.69	2.26	2.20	5.11	5.10
ضریب تغییرات (C.V.)	-	11.3	9.2	10.9	7.9	4.2	3.4

* و **: به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

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

فلاونوئید

برهمکنش منابع کودی مختلف و علف‌های هرز بر میزان فلاونوئید در هر دو چین معنی‌دار گردید (جدول ۲).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها، نشان داد که اثر ساده و

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایش بر صفات بیوشیمیایی ریحان طی دو چین

Table 3- Mean comparison of the effects of experimental treatments on biochemical traits of basil in two harvest

		فنل کل Total phenol (mg g ⁻¹ dw)		فلاونوئید کل Total flavonoids (mg g ⁻¹ dw)		فعالیت آنتی اکسیدانی Antioxidant activity (%)	
تیمار Treatment							
علف های هرز Weeds	منابع کودی Fertilizer sources	چین ۱ Harvest 1	چین ۲ Harvest 2	چین ۱ Harvest 1	چین ۲ Harvest 2	چین ۱ Harvest 1	چین ۲ Harvest 2
با وجین Weed free	شاهد Control	9.82 ^j	7.48 ^j	9.08 ^f	6.08 ^f	43 ^g	31.53 ^g
	کود شیمیایی NPK NPK	35.83 ^{bc}	30.49 ^{bc}	19.83 ^c	14.70 ^c	74.66 ^b	63.19 ^b
	اسید هیومیک Humic acid	17.98 ^{hi}	10.31 ^{ij}	15.55 ^d	8.95 ^{de}	57.66 ^{ef}	46.19 ^e
	کود حیوانی Animal manure	15.65 ⁱ	20.54 ^{ef}	14.58 ^{de}	9.45 ^{de}	61.53 ^{de}	50.06 ^d
	NPK + اسید هیومیک NPK + Humic acid	24.90 ^f	19.56 ^f	16.66 ^d	11.54 ^d	70.46 ^c	58.99 ^c
	NPK + کود حیوانی NPK + Animal manure	25.87 ^{ef}	12.65 ^{hi}	14.08 ^{de}	10.43 ^d	63 ^d	51.53 ^d
	محلول پاشی عناصر ماکرو و میکرو Macro and micro elements	20.04 ^{gh}	15.06 ^{gh}	14.91 ^{de}	9.79 ^{de}	56 ^f	44.53 ^{ed}
	کود حیوانی + اسید هیومیک Animal manure + Humic acid	40.02 ^{ab}	34.69 ^{ab}	24.25 ^b	19.12 ^b	80.33 ^a	68.86 ^a
بدون وجین Weedy	شاهد Control	24.60 ^{fg}	19.26 ^{fg}	12.19 ^e	7.06 ^{ef}	55 ^f	41.53 ^f
	کود شیمیایی NPK NPK	41.19 ^a	35.85 ^a	24.8 ^{ab}	19.68 ^{ab}	76 ^b	64.53 ^b
	اسید هیومیک Humic acid	29.57 ^{de}	24.62 ^{de}	19.50 ^c	14.37 ^c	65 ^d	53.53 ^d
	کود حیوانی Animal manure	29.96 ^{de}	30.51 ^{bc}	21.38 ^c	16.26 ^c	63.59 ^d	52.12 ^d
	NPK + اسید هیومیک NPK + Humic acid	31.60 ^{cd}	26.26 ^{cd}	24.22 ^b	19.09 ^b	73.68 ^{bc}	62.21 ^{bc}
	NPK + کود حیوانی NPK + Animal manure	35.85 ^{bc}	24.23 ^{de}	21.11 ^c	15.98 ^c	70 ^c	58.53 ^c
	محلول پاشی عناصر ماکرو و میکرو Macro and micro elements	24.07 ^{fg}	18.73 ^{fg}	21.36 ^c	16.23 ^c	61.66 ^d	50.19 ^d
	کود حیوانی + اسید هیومیک Animal manure + Humic acid	42.55 ^a	37.21 ^a	27.05 ^a	21.93 ^a	82.66 ^a	71.19 ^a

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، از نظر آماری با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means which follow the same letter are not statistically different at 5% probability level based on LSD test.

شیمیایی بدون وجین تفاوتی از لحاظ آماری مشاهده نگردید (جدول ۳). همچنین دو تیمار شاهد با وجین و شاهد بی وجین نیز تفاوت چندانی را از لحاظ آماری نشان ندادند (جدول ۳). شایان ذکر است که میزان فلاونوئید کل در چین اول بیشتر از چین دوم بود (جدول ۳). میزان فنل کل و فلاونوئید کل در هر دو چین متاثر از منابع کودی و شرایط رقابتی و برهمکنش این دو عامل قرار گرفت؛ اما در نهایت تیمار کود حیوانی + اسید هیومیک در شرایط حضور علف‌های هرز بالاترین میزان فنل کل و فلاونوئید کل را داشت. به نظر می‌رسد استفاده از کودهای آلی از طریق افزایش کربن آلی و نیتروژن خاک باعث افزایش دسترسی گیاه به مواد غذایی می‌شوند که این امر موجب افزایش فتوسنتز و تخصیص پیش‌نیازهای لازم برای بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه، و در نتیجه افزایش تولید ترکیبات فنلی می‌شود.

در چین اول تمام تیمارهای کودی باعث افزایش میزان فلاونوئید کل نسبت به تیمار شاهد شدند. در این چین بیشینه فلاونوئید کل مربوط به تیمار کود حیوانی + اسید هیومیک بدون وجین (۲۷/۰۵ میلی گرم در گرم برگ خشک) بود که با تیمار شیمیایی در شرایط تداخل علف هرز تفاوت آماری چندانی نشان نداد (جدول ۳). تیمار شاهد با وجین (۹/۰۸ میلی گرم در گرم برگ خشک) کمینه فلاونوئید کل را به خود اختصاص داد (جدول ۳)، در چین دوم نیز بیشترین افزایش مربوط به تیمار کود حیوانی + اسید هیومیک بدون وجین (۲۱/۹۳ میلی گرم در گرم برگ خشک) بود؛ درحالی که کمترین میزان فلاونوئید کل مربوط به تیمار شاهد با وجین (۶/۰۸ میلی گرم در گرم برگ خشک) بود (جدول ۳). لازم به ذکر است که در این چین نیز بین دو تیمار کود حیوانی + اسید هیومیک بدون وجین و کود

به نظر می‌رسد که تلفیق کود حیوانی به همراه اسید هیومیک احتمالاً با افزایش تاثیر مثبت بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و افزایش ماده آلی خاک و همچنین قابلیت دسترسی گیاه به عناصر غذایی بیشتر (Nourihoseini et al., 2016)، باعث افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدان در گیاه ریحان شده است. در تایید این نتایج سایر پژوهشگران نیز گزارش کردند در گیاه دارویی آویشن دنایی (*Thymus deanensis* Celak.) بیشترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدان از تیمار کود دامی به‌دست‌آمد (Emami Bistgani et al., 2015). در آزمایشی که در رابطه با تاثیر اسید هیومیک بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی و کیفیت میوه‌ی فلفل (*Capsicum frutescens*) انجام شد، میزان فنل کل تحت تاثیر اسید هیومیک قرار نگرقت، ولی فلاونوئید و فعالیت آنتی‌اکسیدانی تحت تاثیر این تیمار افزایش یافت (Aminifard et al., 2012).

بر اساس نتایج حاصل شده از پژوهش، در شرایط رقابت با علف‌های هرز میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی ریحان افزایش یافت. لذا، به نظر می‌رسد یک رابطه جایگزینی بین رشد گیاه و تولید متابولیت‌های ثانویه وجود دارد و در شرایط نامساعد محیطی میزان رشد کاهش ولی میزان متابولیت‌های ثانویه افزایش می‌یابد (Herms and Mattson, 1992). از سوی دیگر، یکی از دلایل کاهش رشد گیاهان در حضور ترکیبات دگرآسیب علف‌های هرز، تولید انواع رادیکال‌های آزاد اکسیژن در گیاهان هدف تحت تاثیر سمیت گیاهان دگرآسیب است که ترکیبات آنتی‌اکسیدان قادرند محیط سلول و غشای سلولی را از آسیب‌های رادیکال‌های آزاد مصون دارند. محققین بیان داشتند که حضور ترکیبات آللوپاتییک سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در گیاهچه‌های هدف می‌شود، زیرا این آنزیم‌ها با حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن محیط سلول را از اثرات زیان‌بار این رادیکال‌ها حفظ می‌کنند (Faramarzi and Ahmadi, 2015). اما آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نیز مانند سایر ترکیبات پروتئینی تحت تاثیر غلظت بالای ترکیبات آللوپاتییک قرار گرفته و فعالیت آن‌ها کاهش می‌یابد (Lorenzo et al., 2011).

وزن تر و خشک برگ و ساقه

همانطور که در جدول تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داده شده، اثر ساده کودهای مختلف و همچنین علف هرز بر وزن تر و خشک برگ ریحان طی هر دو مرحله برداشت در سطح احتمال ۵٪ معنی‌دار بود. با توجه به نتایج جدول ۵ کلیه تیمارهای کودی مورد بررسی در چین اول و دوم (به‌جز تیمار اسید هیومیک در چین اول که تفاوت معنی‌داری با شاهد از نظر وزن تر و خشک برگ نداشته است) باعث افزایش وزن تر برگ نسبت به شاهد شدند که در بین تیمارهای کودی بیشترین وزن تر برگ در چین اول مربوط به تیمار کود

(Ghorbanali et al., 2011). تهیه منابع مورد نیاز برای متابولیسم اولیه گیاهان ارتباط تنگاتنگی با بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه در مسیرهای بیوشیمیایی داشته و افزایش رشد و نمو گیاهان همراه با بهبود کارایی فتوسنتز، عرضه متابولیت‌ها و سوبستراهای لازم برای مسیرهای متابولیسمی ثانویه را افزایش داده و منجر به تولید بهینه ترکیبات مذکور می‌گردد (Vojodi Mehrabani et al., 2017). بر اساس دو فرضیه تعادل کربن به مواد معدنی و فرضیه تمایز رشد، رابطه دوطرفه بین متابولیسم اولیه و ثانویه اثبات شده است (Mckey, 1979)، لذا افزایش عناصر غذایی در خاک تیمار شده با کودهای آلی نظیر کود حیوانی احتمالاً منجر به افزایش میزان فتوسنتز خالص در گیاه و در نتیجه افزایش فعالیت آنزیم‌های درگیر با بیوسنتز نشاسته و پروتئین در سنتز ترکیبات ثانویه می‌گردد (Mullera et al., 2013). محققین گزارش کردند که کاربرد کود آلی با افزایش ماده آلی خاک و همچنین قابلیت دسترسی گیاه به عناصر غذایی بیشتر، باعث افزایش فنل در گیاه ریحان شد (Nguyen et al., 2010).

همچنین با توجه به نتایج به‌دست آمده مشخص شد که میزان ترکیبات فنلی با حضور علف‌های هرز افزایش یافت. گیاهان برای مقابله با تداخل شدید علف‌های مهاجم و اکسیژن‌های فعالی که در شرایط تنش به‌وجود می‌آیند؛ سازوکارهای دفاعی خاصی را از قبیل افزایش غلظت فنل کل به‌کار می‌گیرند تا به گیاه کمتر آسیب وارد شود (Fathi et al., 2016) که با نتایج سایر پژوهشگران مطابقت دارد (Peterson et al., 2001; Valifard et al., 2014). گزارش شد که در شرایط تداخل علف هرز کمبود آب و مواد غذایی باعث افزایش مقدار ترکیبات فنلی می‌شود، اما در شرایط عدم تداخل پاسخ ارقام متفاوت بود (Fathi et al., 2016). افزایش میزان فلاونوئید در شرایط رقابتی می‌تواند به‌دلیل فعال شدن مکانسیم دفاعی در برابر تنش ایجاد شده باشد.

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

همانطور که در جدول ۲ آمده است، اثرات متقابل منابع کودی و علف هرز در هر دو چین، بر میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی تاثیر معنی‌داری داشت. تیمار تلفیق کود حیوانی + اسید هیومیک بی وچین در چین اول (۸۲/۶۶٪) و چین دوم (۷۱/۱۹٪) بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی را دارا بود و کمترین درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی در چین اول (۴۳٪) و چین دوم (۳۱/۵۳٪) مربوط به تیمار شاهد با وچین بوده است (جدول ۳). شایان ذکر است که تیمار کود حیوانی + اسید هیومیک و همچنین تیمار شیمیایی در هر دو شرایط حضور و عدم حضور علف‌های هرز تفاوت معنی‌داری از لحاظ آماری نشان ندادند (جدول ۳).

کیلوگرم در هکتار) و شاهد (۴۳۸/۲۷ کیلوگرم در هکتار) بود که از لحاظ آماری بین تیمارهای کود حیوانی + اسید هیومیک، کود حیوانی، کود شیمیایی + کود حیوانی، کود شیمیایی + اسید هیومیک و تیمار کود شیمیایی تفاوت چندانی مشاهده نگردید (جدول ۵). در چین دوم تیمار کود حیوانی بیشترین میزان وزن خشک برگ (۱۰۰۷/۹ کیلوگرم در هکتار) را به خود اختصاص داد هرچند که با تیمارهای کود حیوانی + اسید هیومیک، کود شیمیایی + کود حیوانی و تیمار کود شیمیایی + اسید هیومیک در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول ۵). وجین علف‌های هرز در چین اول (۱۰۲۲/۹۰ کیلوگرم در هکتار) و دوم (۱۱۲۵/۹۸ کیلوگرم در هکتار) میزان وزن خشک گیاه را به‌طور معنی‌داری نسبت به شرایط عدم کنترل علف‌های هرز افزایش داد (جدول ۵).

شیمیایی + اسید هیومیک (۶۹۵۳/۶۲ کیلوگرم در هکتار) بود که از لحاظ آماری با تیمارهای تلفیق کود حیوانی + اسید هیومیک، تلفیق کود شیمیایی + کود حیوانی و تیمار کود حیوانی تفاوت چندانی نداشت (جدول ۵). در چین دوم نیز تیمار کود شیمیایی + اسید هیومیک (۷۳۶۶/۷۴ کیلوگرم در هکتار) دارای بیشترین میزان وزن تر برگ بود که با تیمارهای تلفیق کود حیوانی + اسید هیومیک، تلفیق کود شیمیایی + کود حیوانی و همین‌طور تیمار کود حیوانی تفاوت چندانی را از لحاظ آماری نشان نداد (جدول ۵). عدم تداخل علف هرز موجب افزایش چشمگیر وزن تر برگ طی هر دو مرحله برداشت نسبت به شرایط حضور علف هرز گردید (جدول ۵). بیشینه و کمینه میزان وزن خشک برگ ریحان در چین اول به‌ترتیب مربوط به تیمار تلفیق کود حیوانی + اسید هیومیک (۹۸۶/۰۳

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایش بر وزن تر و خشک برگ ریحان طی دو چین

Table 4- Analysis of variance of the effects of experimental treatments on leaf fresh and dry weight of basil in two harvests

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	وزن تر برگ Leaf fresh weight		وزن خشک برگ Leaf dry weight	
		چین ۱ Harvest 1	چین ۲ Harvest 2	چین ۱ Harvest 1	چین ۲ Harvest 2
Block بلوک	2	45317.1	261700.0	1016.70	14604.73
علف‌های هرز (A) Weeds (A)	1	153560537.3**	165391875.0**	2036837.36*	2955665.02**
خطای (a) Error (a)	2	991914.6	714700.0	50863.05	9263.45
منابع کودی (B) Fertilizer sources (B)	7	16227471.9**	12522103.6**	203456.73**	63120.93**
A×B	7	3714381.8 ^{ns}	2996636.9 ^{ns}	29965.72 ^{ns}	28839.04 ^{ns}
خطا آزمایش Error	28	1787500.2	1819752.4	15892.39	13391.99
ضریب تغییرات (C.V.)	-	26.3	24.0	15.4	13.2

ns, * و **: به‌ترتیب نشان‌دهنده غیرمعنی‌داری و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد می‌باشد.

ns, * and **: are non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

وزن تر ساقه را دارا بود؛ که با تیمارهای کود حیوانی + اسید هیومیک، کود حیوانی، کود شیمیایی + کود حیوانی، محلول‌پاشی عناصر ماکرو و میکرو و همچنین تیمار کود شیمیایی تفاوت چندانی را از لحاظ آماری نشان نداد (جدول ۷). عدم کنترل علف هرز در چین اول و دوم به‌ترتیب موجب کاهش ۴۷/۸۳ و ۴۷/۷۴ درصدی وزن تر ساقه نسبت به حالت وجین علف هرز گردید (جدول ۷).

بیشترین وزن خشک ساقه در چین اول مربوط به تیمار تلفیقی کود حیوانی به همراه اسید هیومیک به میزان ۸۳۶/۲۳ کیلوگرم در هکتار و پس از آن در تیمارهای کود شیمیایی + اسید هیومیک و کود شیمیایی + کود حیوانی ملاحظه شد (جدول ۸). شایان ذکر است که کمترین میزان در تیمار شاهد به میزان ۱۹۰/۵۳ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (جدول ۸). در چین دوم، بیشترین وزن خشک ساقه در

نتایج تجزیه واریانس مبین این مطلب بود که وزن تر و خشک ساقه ریحان در هر دو چین تحت تاثیر اثر ساده بین تیمارها قرار گرفت؛ اما اثر متقابل دو عامل فوق اثر معنی‌داری بر این صفت نداشت (جدول ۶). بر اساس نتایج، حداکثر وزن تر ساقه ریحان در چین اول مربوط به تیمارهای کود حیوانی + اسید هیومیک (۵۱۴۰ کیلوگرم در هکتار) بود (جدول ۷)؛ که با تیمارهای کود حیوانی، کود شیمیایی + کود حیوانی، کود شیمیایی + اسید هیومیک و همچنین محلول‌پاشی عناصر ماکرو و میکرو تفاوت معنی‌داری از لحاظ آماری نشان نداد (جدول ۷). همچنین زمانی که کودی مصرف نشده بود (۱۲۵۰ کیلوگرم در هکتار) وزن تر ساقه نسبت به اعمال کود (سایر تیمارهای کودی) کمتر بود (جدول ۷). در چین دوم تیمار تلفیقی کود شیمیایی + اسید هیومیک (۷۷۱۰ کیلوگرم در هکتار) بیشترین میزان

علف‌های هرز باعث کاهش ۴۴/۹۸ (چین اول) و ۵۳/۲۳ درصدی (چین دوم) وزن خشک ساقه نسبت به حالت وجین شده گردید.

تیمار تلفیقی کود حیوانی + اسید هیومیک (۱۴۷۱/۸۰) کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد. در این مرحله بین تمامی تیمارها به جز اسید هیومیک و شاهد تفاوت معنی‌داری ملاحظه نشد (جدول ۸). حضور

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایش بر وزن تر و خشک برگ ریحان طی دو چین

Table 5- Mean comparison of the effects of experimental treatments on leaf fresh and dry weight of basil in two harvests

تیمار Treatment	وزن تر برگ Leaf fresh weight (kg ha ⁻¹)		وزن خشک برگ Leaf dry weight (kg ha ⁻¹)	
	چین ۱ Harvest 1	چین ۲ Harvest 2	چین ۱ Harvest 1	چین ۲ Harvest 2
شاهد Control	2067.12 ^c	3313.03 ^c	438.27 ^d	708.90 ^d
کود شیمیایی NPK Chemical NPK	5177.10 ^b	5640.11 ^b	848.67 ^{ab}	848.23 ^{bc}
اسید هیومیک Humic acid	3284.51 ^c	3686.72 ^c	662.17 ^c	764.83 ^{cd}
کود حیوانی Animal manure	5946.92 ^{ab}	6410.13 ^{ab}	982.20 ^a	1007.90 ^a
منابع کودی Fertilizer sources				
NPK + Humic acid اسید هیومیک + NPK	6953.62 ^a	7366.74 ^a	893.83 ^{ab}	934.57 ^{ab}
NPK + Animal manure کود حیوانی + NPK	5880.23 ^{ab}	6293.35 ^{ab}	901.60 ^{ab}	948.50 ^{ab}
محلول پاشی عناصر ماکرو و میکرو Macro and micro elements	4913.81 ^b	5406.74 ^b	822.47 ^b	855.57 ^{bc}
کود حیوانی + اسید هیومیک Animal manure + Humic acid	6380.54 ^{ab}	6793.32 ^{ab}	986.03 ^a	954.20 ^{ab}
علف‌های هرز Weeds				
Weed free با وجین	6864.12 ^a	7470.16 ^a	1022.90 ^a	1125.98 ^a
Weedy بدون وجین	3286.82 ^b	3757.55 ^b	610.91 ^b	629.69 ^b

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر تیمار، از نظر آماری با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند. Means which follow the same letter are not statistically different at 5% probability level based on LSD test.

محققان نقش مثبت اسید هیومیک را در افزایش وزن تر و خشک کاسبرک چای ترش (*Ahmad et al., (Hibiscus sabdariffa L.)* (2011)، وزن تر برگ خیار (*El-Nemr et (Cucumis sativus L.)* (2012)، و وزن تر و خشک ذرت (*Daur and Bakhshwain, al.,* (2013) گزارش کرده‌اند. عملکرد تر و خشک ریحان در شرایط رقابت با علف‌های هرز کاهش قابل ملاحظه داشت.

علت کاهش شدید عملکرد در شرایط حضور علف‌های هرز را می‌توان به قدرت رقابتی بالای علف‌های هرز بر سر منابع غذایی با گیاه زراعی نسبت داد. در بعضی از گیاهان، حضور علف‌های هرز در ابتدای فصل رشد باعث کاهش عملکرد گردید؛ در این زمینه در پژوهشی روی پنبه (*Gossypium herbaceum*) مشاهده شد که به دلیل کند بودن رشد اندام‌های هوایی پنبه در ابتدای فصل رشد، قابلیت رقابت پنبه با علف‌های هرز در این دوره کم بوده، لذا حضور علف‌های هرز در اوایل فصل رشد موجب کاهش بیشتر عملکرد پنبه شد (*Salimi et al., 2006*).

طبق نتایج به دست آمده اثر ساده منابع کودی و علف هرز بر وزن تر و خشک برگ و ساقه و همچنین عملکرد تر و خشک کل ریحان تاثیر معنی‌داری داشت. هرچند مصرف اسید هیومیک به تنهایی تاثیر چندانی روی وزن تر و خشک ساقه نداشت اما تلفیق این کود با کود حیوانی بسیار تاثیرگذار بود. یافته‌های پژوهشگران حاکی از آن است که کاربرد سیستم تغذیه تلفیقی در گیاهان با تاثیر بر جذب عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، افزایش فتوسنتز و رشد گیاه و همچنین بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جهت جذب بهتر و بیشتر آب و عناصر مورد نیاز گیاهان، موجب افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاه می‌گردد (*Yang et al., 2005*). تاثیر مثبت اسید هیومیک بر ویژگی‌های رشدی ممکن است توسط چندین فرضیه، از جمله تشکیل چندین کمپلکس بین اسید هیومیک و یون‌های معدنی، تجزیه اسید هیومیک به آنزیم‌های رشدی، نقش اسید هیومیک بر تنفس و فتوسنتز (*Ahmad et al., 2011*) و تحریک فعالیت هورمون‌ها (*El-Sherbeny et al., 2012*) قابل توجیه باشد. این اسید به صورت مستقیم و غیرمستقیم بر رشد گیاهان اثر می‌گذارد و مزایای فراوانی برای محصول دارد (*Rajpar et al., 2011*). در همین ارتباط

جدول ۶- تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایش بر وزن تر و خشک ساقه ریحان طی دو چین

Table 6- Analysis of variance of the effects of experimental treatments on Shoot fresh and dry weight of basil in two harvest

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	وزن تر ساقه Shoot fresh weight		وزن خشک ساقه Shoot dry weight	
		چین ۱	چین ۲	چین ۱	چین ۲
		Harvest 1	Harvest 2	Harvest 1	Harvest 2
Block بلوک	2	871758.33	6688214.6	49144.17	323744.50
علف‌های هرز (A) Weeds (A)	1	67925208.33**	173812408.3*	1425472.40**	9809123.36**
خطای (a) Error (a)	2	48358.33	6792289.6	2787.42	41962.22
منابع کودی (B) Fertilizer sources (B)	7	10572551.19**	18922208.3**	299795.08**	291253.94**
A×B	7	1832675.0 ^{ns}	3744027.4 ^{ns}	54725.70 ^{ns}	79000.12 ^{ns}
خطا آزمایش Error	28	1113906.0	1926418.8	25770.94	84153.99
ضرب تغییرات (C.V.)	-	27.9	22.9	27.1	23.3

ns, * و **: به ترتیب نشان دهنده غیرمعنی‌داری و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد می‌باشد.
ns, * and **: are non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایش بر وزن تر و خشک ساقه ریحان طی دو چین

Table 7- Mean comparison of the effects of experimental treatments on shoot fresh and dry weight of basil in two harvest

تیمار Treatment	وزن تر ساقه Shoot fresh weight (kg ha ⁻¹)		وزن خشک ساقه Shoot dry weight (kg ha ⁻¹)	
	چین ۱	چین ۲	چین ۱	چین ۲
	Harvest 1	Harvest 2	Harvest 1	Harvest 2
شاهد Control	1250.10 ^d	2173.33 ^c	190.53 ^e	921.32 ^b
کود شیمیایی NPK NPK	3640.13 ^{bc}	6230.11 ^{ab}	636.90 ^{bc}	1338.14 ^a
اسید هیومیک Humic acid	2423.32 ^{cd}	5103.35 ^b	382.37 ^d	908.96 ^b
کود حیوانی Animal manure	4710.22 ^{ab}	6890.13 ^a	646.27 ^{bc}	1318.40 ^a
منابع کودی Fertilizer sources				
NPK + اسید هیومیک	4573.35 ^{ab}	7710.11 ^a	799.80 ^{ab}	1427.81 ^a
NPK + Humic acid				
NPK + کود حیوانی	4623.31 ^{ab}	6453.34 ^{ab}	759.93 ^{ab}	1388.83 ^a
NPK + Animal manure				
محلول پاشی عناصر ماکرو و میکرو Macro and micro elements	3916.76 ^{ab}	6390.10 ^{ab}	498.87 ^{cd}	1194.84 ^{ab}
کود حیوانی + اسید هیومیک Animal manure + Humic acid	5140.20 ^a	7593.35 ^a	836.23 ^a	1471.80 ^a
علف‌های هرز Weeds				
بدون وجین Weed free	4974.17 ^a	7970.80 ^a	766.19 ^a	1698.29 ^a
وجین Weedy	2595.10 ^b	4165.10 ^b	421.53 ^b	794.18 ^b

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، از نظر آماری با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند.
Means which follow the same letter are not statistically different at 5% probability level based on LSD test.

وزن تر و خشک کل ریحان

با توجه به نتایج به‌دست آمده، عملکرد تر و خشک کل در هر دو مرحله برداشت تحت تاثیر اثر ساده تیمار علف‌های هرز و تیمارهای کودی قرار گرفت؛ ولی برهمکنش دو تیمار تاثیر معنی‌داری بر این صفت نداشت (جدول ۸).

نتایج به‌دست آمده نشان داد که بیشترین وزن تر کل در چین اول (۱۱۵۲۷ کیلوگرم در هکتار) و دوم (۱۵۰۷۷ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار کود شیمیایی + اسید هیومیک بود. همچنین کمترین میزان وزن تر کل طی هر دو مرحله برداشت در تیمار عدم مصرف کود ملاحظه گردید (جدول ۹).

جدول ۸- تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایش بر وزن تر و خشک کل ریحان طی دو چین

Table 8- Analysis of variance of the effects of experimental treatments on total fresh and dry weight of basil in two harvest

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	وزن تر کل Total fresh weight		وزن خشک کل Total dry weight	
		چین ۱ Harvest 1	چین ۲ Harvest 2	چین ۱ Harvest 1	چین ۲ Harvest 2
Block بلوک	2	1305869.0	7326689.6	61740.85	404794.92
علف‌های هرز (A) Weeds (A)	1	42574667.9**	678304033.3*	6870215.53**	23533722.0**
خطای (a) Error (a)	2	1076628.8	10896414.6	55034.88	86072.52
منابع کودی (B) Fertilizer sources (B)	7	52100537.9**	59472628.6**	958979.89**	591653.51**
A×B	7	94709240.0 ^{ns}	11863500.0 ^{ns}	130554.43 ^{ns}	106081.48 ^{ns}
خطا آزمایش Error	28	3897692.7	3597733	56902.03	113603.77
ضریب تغییرات (C.V.)	-	22.3	16.2	16.9	15.9

^{ns}، * و **: به ترتیب نشان دهنده غیرمعنی‌داری و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد می‌باشد.
ns, * and **: are non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

نظیر نیتروژن، کلسیم، فسفر، پتاسیم، منگنز، آهن، روی و مس است. همچنین پلیمرهای اسید هیومیک توانایی به هم چسباندن ذرات معدنی خاک را داشته و ضمن ایجاد گرانول‌های درشت‌تر، فضای مناسب برای موجودات میکروسکوپی و ماکروسکوپی، نفوذ بیشتر هوا، آب و ریشه فراهم می‌کند. در نتیجه این پلیمرها یک عامل کلیدی در اصلاح ساختار خاک هستند (Sebastiano et al., 2005). به نظر می‌رسد اسید هیومیک با تولید بیشتر اسیدهای نوکلئیک و اسیدهای آمینه، تکثیر سلولی را در کل گیاه و به‌ویژه در ریشه‌ها افزایش می‌دهند (Bronick and Lai, 2005). محققین کاربرد اسید هیومیک بر گونه‌ای از ارزن (*Panicum amarum*) مورد بررسی قرار داده و نشان دادند اسید هیومیک می‌تواند بر رشد رویشی گیاه تأثیر مثبتی داشته باشد (Willis and Hester, 2008). همچنین نتایج بررسی اثر اسید هیومیک روی فلفل نشان داد که وزن تر و خشک بوته با کاربرد اسید هیومیک افزایش می‌یابد (Gulser et al., 2010). در همین راستا محققین گزارش کردند که بیشترین وزن تر و خشک برگ زعفران (*Crocus sativus* L.) به ترتیب در سطوح ۵ و ۱۰ لیتر در هکتار اسید هیومیک حاصل شد که نسبت به شاهد به ترتیب ۳۴/۸۸ و ۵۲/۶۳ درصد افزایش داشت (Ahmadi and Aminifard, 2017). در پژوهشی دیگر محققین اظهار داشتند که تداخل علف‌های هرز موجب کاهش چشمگیر وزن تر و خشک اندام هوایی رزماری گردید و اعمال منابع کودی مختلف تأثیر چندانی در کاهش اثر سوء تنش رقابتی نداشت. آن‌ها علت کاهش شدید عملکرد در شرایط حضور علف‌های هرز را به قدرت رقابتی بالای علف‌های هرز بر سر منابع غذایی با گیاه زراعی نسبت دادند (Sadeigh et al., 2019). در پژوهشی دیگر محققین اظهار داشتند که کنترل علف‌های

در چین اول از لحاظ آماری بین چهار تیمار کود شیمیایی + اسید هیومیک، کود حیوانی + اسید هیومیک، کود حیوانی و تیمار کود شیمیایی + کود حیوانی و در چین دوم بین سه تیمار کود شیمیایی + اسید هیومیک، کود حیوانی + اسید هیومیک و کود حیوانی اختلاف چندانی مشاهده نشد (جدول ۹). حضور علف‌های هرز وزن تر کل گیاه ریحان را در چین اول به میزان ۵۰/۳۱ درصد و در چین دوم به میزان ۴۸/۶۹ درصد کاهش داد (جدول ۹). بیشترین وزن خشک کل در چین اول (۱۸۲۲/۳۰ کیلوگرم در هکتار) و دوم (۲۴۲۶/۰۱ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار کود حیوانی + هیومیک بود (جدول ۹). همچنین کمترین وزن خشک کل در هر دو مرحله برداشت در تیمار شاهد ملاحظه شد (جدول ۹). عدم اعمال وجین نیز موجب کاهش چشمگیر وزن خشک کل ریحان در هر دو چین گردید؛ به گونه‌ای که این کاهش در چین اول به میزان ۴۲/۲۹ درصد و در چین دوم به میزان ۴۹/۵۸ درصد بود (جدول ۹).

در هر دو چین بیشترین میزان وزن تر کل در تلفیق کود شیمیایی اسید هیومیک به‌دست آمد (جدول ۹). تأثیر مثبت کاربرد کود شیمیایی بر وزن تر و خشک ریشه و ساقه در بسیاری از پژوهش‌ها گزارش شده است (Khan et al., 2016; Santos et al., 2016). استفاده از کود شیمیایی به دلیل افزایش جذب عناصر غذایی، به‌ویژه فسفر و نیتروژن و تأثیر آن بر بهبود فتوسنتز باعث افزایش تعداد برگ و افزایش تعداد شاخه جانبی می‌شود و در نتیجه احتمال شانس دریافت نور خورشید و به دنبال آن فتوسنتز بیشتر را در گیاهان مورد تیمار افزایش می‌دهد (Arvin, 2019) و در نهایت سبب شکل‌گیری و تولید زیست‌توده، وزن تر و خشک کل بیشتر می‌شود. اسید هیومیک موجب رشد اندام هوایی می‌شود که دلیل آن افزایش جذب عناصری

هرز سبب شد تا فضای بیشتری برای رشد و گسترش نعنای فلفلی فراهم شود، در نتیجه گیاه توانست به وزن تر بالاتری برسد؛ زیرا وجود علف‌های هرز، سبب رقابت بر سر منابع شده و به تبع آن سبب کاهش رشد گیاه نعنای فلفلی می‌گردد (Gity and Raoofy, 2017). لذا کاهش عملکرد ریحان با افزایش طول دوره تداخل علف‌های هرز را می‌توان به حضور علف‌های هرز مرتبط دانست.

جدول ۹- مقایسه میانگین اثر تیمارهای آزمایش بر وزن تر کل، وزن خشک کل و عملکرد اسانس ریحان طی دو چین

Table 9- Mean comparison of the effects of experimental treatments on total fresh weight, total dry weight and oil yield of basil in two harvest

تیمار Treatment	وزن تر کل Total fresh weight (kg ha ⁻¹)		وزن خشک کل Total dry weight (kg ha ⁻¹)		عملکرد اسانس Oil yield (kg ha ⁻¹)	
	چین ۱ Harvest 1	چین ۲ Harvest 2	چین ۱ Harvest 1	چین ۲ Harvest 2	چین ۱ Harvest 1	چین ۲ Harvest 2
	۱	۲	۱	۲	۱	۲
شاهد Control	3317 ^d	5487 ^e	628.81 ^e	1630.21 ^c	628.81 ^e	1630.21 ^c
کود شیمیایی NPK	8817 ^b	11870 ^b	1485.62 ^{bc}	2186.33 ^a	1485.62 ^{bc}	2186.33 ^a
Chemical NPK						
اسید هیومیک Humic acid	5708 ^c	8790 ^d	1044.50 ^d	1673.70 ^{bc}	1044.50 ^d	1673.70 ^{bc}
کود حیوانی Animal manure	10657 ^{ab}	13300 ^{abc}	1628.51 ^{ab}	2326.31 ^a	1628.51 ^{ab}	2326.31 ^a
NPK + اسید هیومیک + Humic acid	11527 ^a	15077 ^a	1693.61 ^{ab}	2362.32 ^a	1693.61 ^{ab}	2362.32 ^a
منابع کودی Fertilizer sources						
NPK + کود حیوانی	10504 ^{ab}	12747 ^{bc}	1661.53 ^{ab}	2337.35 ^a	1661.53 ^{ab}	2337.35 ^a
NPK + Animal manure						
محلول پاشی عناصر ماکرو و میکرو Macro and micro elements	8830 ^b	11797 ^c	1321.32 ^{cd}	2050.41 ^{ab}	1321.32 ^{cd}	2050.41 ^{ab}
کود حیوانی + اسید هیومیک Animal manure + Humic acid	11521 ^a	14387 ^{ab}	1822.30 ^a	2426.01 ^a	1822.30 ^a	2426.01 ^a
علف‌های هرز Weeds	11838.30 ^a	15440.80 ^a	1789.09 ^a	2824.28 ^a	1789.09 ^a	2824.28 ^a
بدون وجین Weed free	5881.82 ^b	7922.51 ^b	1032.44 ^b	1423.87 ^b	1032.44 ^b	1423.87 ^b

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، از نظر آماری با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means which follow the same letter are not statistically different at 5% probability level based on LSD test.

درصد و عملکرد اسانس

با توجه به نتایج به‌دست آمده، درصد اسانس در هر دو برداشت تحت تاثیر تیمار رقابت با علف‌های هرز و منابع کودی و همچنین برهمکنش دو عامل فوق‌تر قرار گرفت، درحالی‌که تنها اثر ساده منابع کودی و علف‌های هرز بر عملکرد اسانس تاثیر معنی‌داری را از خود نشان داد (جدول ۱۰). نتایج نشان داد که در برداشت اول، بیشترین درصد اسانس مربوط به تیمار تلفیقی کود حیوانی و اسید هیومیک بدون وجین (۰/۸۹ درصد) بود، همچنین کمترین درصد اسانس در تیمار کود شیمیایی + اسید هیومیک با وجین (۰/۴۲ درصد) ملاحظه گردید که از لحاظ آماری با تیمارهای اسید هیومیک و محلول پاشی عناصر ماکرو و میکرو در شرایط عدم حضور علف‌های هرز تفاوت چندانی نشان نداد (شکل ۱). در چین دوم کمترین میزان اسانس مربوط به تیمار کود شیمیایی + اسید هیومیک با وجین (۰/۳۳ درصد)

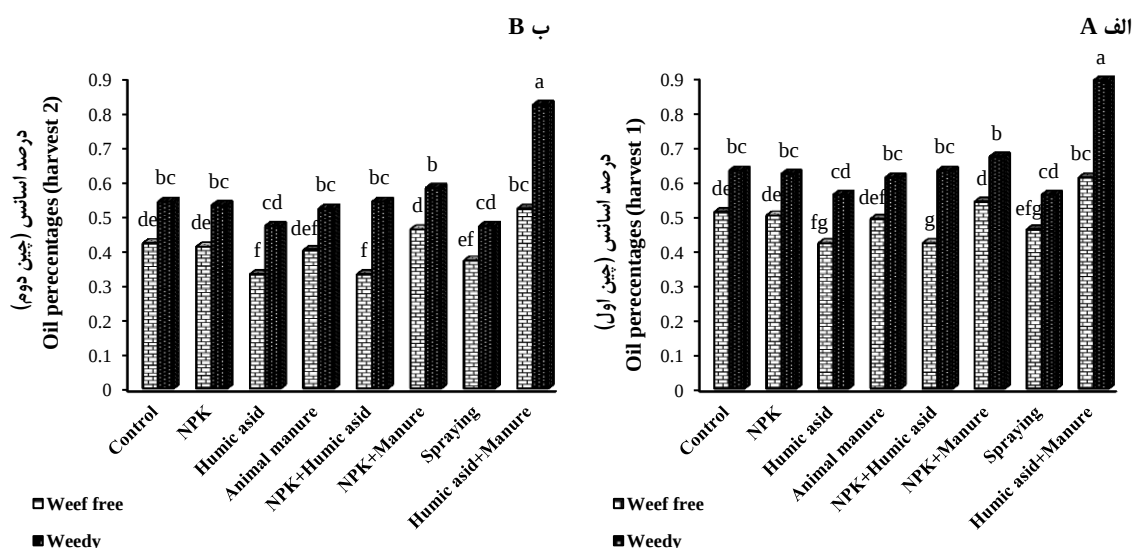
بود؛ در حالی‌که تیمار تلفیقی کود حیوانی و اسید هیومیک در شرایط تداخل علف هرز (۰/۸۲ درصد) دارای بیشترین اسانس بود (شکل ۱). بر اساس نتایج جدول مقایسه میانگین در چین اول، بیشترین عملکرد اسانس در تیمار تلفیقی کود حیوانی و اسید هیومیک (۱۱/۷۹ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد. همچنین کمترین عملکرد اسانس در تیمار شاهد (۳/۵۳ کیلوگرم در هکتار) رویت گردید که با تیمار اسید هیومیک در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول ۹). تداخل علف‌های هرز موجب کاهش عملکرد اسانس (۶/۶۹ کیلوگرم در هکتار) نسبت به شرایط کنترل علف‌های هرز (۸/۹۹ کیلوگرم در هکتار) شد (جدول ۹). همچنین در چین دوم نیز تیمار تلفیقی کود حیوانی و اسید هیومیک با عملکرد اسانس ۱۴/۹۵ کیلوگرم در هکتار، بالاترین و تیمار شاهد با عملکرد اسانس ۵/۹۹ کیلوگرم در هکتار) دارای پایین‌ترین میزان عملکرد اسانس بود که به لحاظ آماری با تیمار اسید هیومیک تفاوت چندانی نداشت (جدول ۹).

جدول ۱۰- تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایش بر درصد و عملکرد اسانس ریحان طی دو چین

Table 10- Analysis of variance of the effects of experimental treatments on oil percentage and yield of basil in two harvest

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	درصد اسانس Oil percentages		عملکرد اسانس Oil yield	
		چین ۱ Harvest 1	چین ۲ Harvest 2	چین ۱ Harvest 1	چین ۲ Harvest 2
Block بلوک	2	0.005	0.006	0.84	19.03
علف‌های هرز (A) Weeds (A)	1	0.27**	0.28**	63.36*	127.55**
خطای (a) Error (a)	2	0.0010	0.0015	3.10	4.40
منابع کودی (B) Fertilizer sources (B)	7	0.040**	0.042**	44.88**	45.94**
A×B	7	0.005*	0.006**	1.73 ^{ns}	4.01 ^{ns}
خطا آزمایش Error	28	0.0017	0.0017	1.60	3.33
ضریب تغییرات (C.V.)	-	7.3	8.6	18.6	18.6

ns, * و **: به ترتیب نشان‌دهنده غیرمعنی‌داری و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد می‌باشد.
ns, * and **: are non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.



شکل ۱- تاثیر تیمارهای آزمایش بر درصد اسانس ریحان در چین ۱ (الف) و چین ۲ (ب)

Figure 1- Influence experimental treatments on oil percentages of basil in harvest 1 (A) and harvest 2 (B)

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد دارای تفاوت معنی‌داری نمی‌باشد.

Means which follow the same letter are not statistically different at 5% probability level based on LSD test.

(ایزوپرنوئیدها) نیاز مبرم به ATP و NADPH دارند و حضور عناصری نظیر نیتروژن و فسفر برای تشکیل ترکیب‌های اخیر ضروری می‌باشد، از این رو مشارکت این دو کود می‌تواند منجر به بهبود بیشتر میزان اسانس نیز شود (Shirzadi et al., 2014). معمولاً تنش‌های محیطی درصد روغن‌های اسانسی را در بیشتر گیاهان دارویی افزایش می‌دهد، چون در موارد استرس متابولیت‌های بیشتری تولید شده و این مواد باعث جلوگیری از عمل اکسیداسیون در

به نظر می‌رسد یک اثر هم‌افزایی و تشدیدکننده در کاربرد توأم اسید هیومیک و کود دامی بر صفت مذکور در ریحان وجود داشته باشد. حضور اسید هیومیک در بستر کشت حاوی کود دامی، می‌تواند سبب بهبود فعالیت میکروارگانیسم‌ها شود و شرایط لازم را برای حالیت فسفر از منبع کود دامی فراهم آورد و متعاقب آن دسترسی گیاه ریحان به فسفر را افزایش دهد و از آن‌جا که اسانس‌ها جزء ترکیب‌های ترپنوئیدی بوده و بیوسنتز واحدهای سازنده آن‌ها

به ترتیب مربوط به تیمار شیمیایی (۴۹/۳۳ بوته در متر مربع) و شاهد (۱۸/۶۶ بوته در متر مربع) بوده است (شکل ۲-الف). بین دو تیمار کود شیمیایی و کود حیوانی تفاوتی از لحاظ آماری مشاهده نگردید (شکل ۲-الف). در مرحله دوم نمونه‌برداری تیمار کود شیمیایی (۳۶ بوته در متر مربع) بیشترین و تیمار محلول‌پاشی عناصر ماکرو و میکرو (۸ بوته در متر مربع) کمترین تراکم کل علف‌های هرز را به خود اختصاص داده است (شکل ۲-الف). همچنین در مرحله دوم از نمونه‌برداری بین تیمارهای محلول‌پاشی عناصر ماکرو و میکرو، شاهد و تیمار تلفیق کود حیوانی + اسید هیومیک از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۲-الف).

سلول می‌شوند. تا زمانی که آب و در نتیجه عناصر غذایی در دسترس گیاه است؛ گیاه ترجیحاً کربن را برای رشد اختصاص می‌دهد ولی با حضور علف‌های هرز میزان دسترسی به عناصر غذایی کمتر شده و رشد گیاه بیش از فتوسنتز محدود می‌شود و در نتیجه بخش بیشتری از مواد فتوسنتزی به تولید متابولیت‌های ثانویه و اسانس‌ها اختصاص می‌یابد (Farahani et al., 2008).

تراکم کل علف‌های هرز

تراکم کل علف‌های هرز مزرعه در هر دو مرحله نمونه‌برداری تحت تاثیر معنی‌دار منابع کودی قرار گرفت (جدول ۱۱). در مرحله اول نمونه‌برداری، بیشترین و کمترین تراکم کل علف‌های هرز

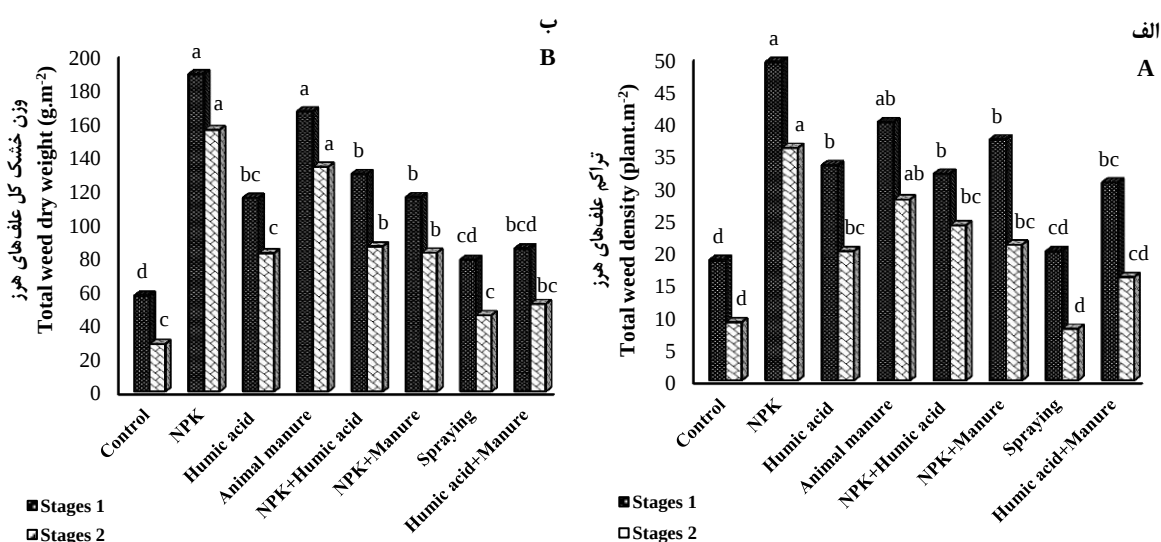
جدول ۱۱- نتایج تجزیه واریانس اثر منابع کودی مختلف بر تراکم کل و وزن خشک کل علف‌های هرز در دو مرحله

Table 11- Analysis of variance of the effects of different fertilizer sources on total density and total dry weight of weeds in two stages

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	تراکم کل علف‌های هرز Total weed density		وزن خشک کل علف‌های هرز Total weed dry weight	
		مرحله ۱ Stages 1	مرحله ۲ Stages 1	مرحله ۱ Stages 1	مرحله ۲ Stages 1
تکرار Rep	2	40.66	284.66	1834.39	1614.50
منابع کودی Fertilizer sources	7	261.71**	306.28**	5643.50**	5854.47**
خطا آزمایش Error	14	25.42	38.57	426.25	444.05
ضریب تغییرات (C.V.)	-	24.8	19.0	24.9	18.2

** : نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد می‌باشد.

** : is significant at 1% probability levels.



شکل ۲- تاثیر منابع کودی مختلف بر تراکم کل (الف) و وزن خشک کل (ب) علف‌های هرز طی دو مرحله

Figure 2- Influence of different fertilizer sources on total density (A) and total dry weight (B) of weeds in two stages

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد دارای تفاوت معنی‌داری نمی‌باشد.

Means which follow the same letter are not statistically different at 5% probability level based on LSD test.

وزن خشک کل علف‌های هرز

تیمار کودی تاثیر معنی‌داری بر وزن خشک کل علف‌های هرز در دو مرحله نمونه‌برداری داشته است (جدول ۱۱). بیشترین وزن خشک در مرحله اول نمونه‌برداری (۱۸۸/۲۵ گرم در متر مربع) و همچنین در مرحله دوم نمونه‌برداری (۱۵۵/۲۵ گرم در متر مربع) مربوط به تیمار شیمیایی بوده است که در هر دو مرحله از نمونه‌برداری با تیمار کود حیوانی تفاوت آماری چندانی نداشته است (شکل ۲-ب). تیمار شاهد در هر دو مرحله نمونه‌برداری کمترین وزن خشک را به خود اختصاص داد که با تیمارهای محلول‌پاشی عناصر ماکرو و میکرو و تیمار تلفیق کود حیوانی + اسید هیومیک تفاوت چندانی را از لحاظ آماری نشان نداد (شکل ۲-ب).

بررسی‌ها روی فراوانی کل علف‌های هرز نشان داد که در دو مرحله نمونه‌برداری، تمامی تیمارها اختلاف معنی‌داری را نشان دادند. نتایج به‌دست آمده بیانگر این مطلب بود که در هر دو مرحله از نمونه‌برداری، تیمار کود شیمیایی دارای بیشترین تراکم علف هرز بود. تغییر نوع منبع تغذیه‌ای علاوه بر این که رشد گیاهان را تحت تاثیر قرار می‌دهد؛ تراکم و فلور علف‌های هرز را نیز می‌تواند تحت تاثیر قرار دهد (Heshmatnia and Armin, 2016). در پژوهشی دیگر محققین گزارش کردند که مصرف کود دامی سبب افزایش تراکم و وزن خشک علف‌های هرز در مزارع ذرت شیرین (*Zea mays ssp. saccharata*) می‌گردد. این محققان معتقدند مصرف کود دامی سبب تسریع در سرعت جوانه‌زنی علف‌های هرز می‌شود (Efthimiadou et al., 2012). طبق بررسی‌های صورت گرفته محققین گزارش کردند که افزایش فراهمی نیتروژن چه از نوع آلی و یا شیمیایی سبب افزایش تراکم علف‌های هرز، جذب مواد غذایی توسط علف‌های هرز و وزن خشک علف‌های هرز می‌شود که این افزایش در صورت مصرف کود شیمیایی در مقایسه با کود آلی بیشتر است (Ali et al., 2015). کاهش وزن خشک و تراکم علف‌های هرز در صورت استفاده از کودهای آلی به جای شیمیایی توسط سایر محققین نیز گزارش شد (Abbasi et al., 2015).

بررسی تجزیه واریانس وزن خشک کل علف‌های هرز در هر دو مرحله نمونه‌برداری، تحت تاثیر تیمارهای آزمایشی معنی‌دار بود. شایان ذکر است که تیمار کود شیمیایی در هر دو مرحله از نمونه‌برداری رکورددار بیشترین وزن خشک علف هرز بود. افزایش وزن خشک علف‌های هرز در نظام کشت با مصرف کود شیمیایی به بیشتر بودن تعداد علف‌های هرز در این نظام مربوط است. علاوه بر این به نظر می‌رسد علف‌های هرز از نیتروژن موجود در خاک استفاده

بیشتری نسبت به ریحان کرده باشند که این امر سبب افزایش وزن خشک علف‌های هرز شده است. نتایج آزمایشی نشان داد که تغییر شیوه مدیریت کود نیتروژن علاوه بر این که بر خصوصیات علف‌های هرز (مانند تراکم کل، وزن خشک کل و نوع گونه‌های علف هرز) اثر می‌گذارد؛ کارایی استفاده از نیتروژن را نیز در گندم (*Triticum aestivum* L.) تغییر خواهد داد (Ghalambaz et al., 2013). استفاده از کودهای شیمیایی به دلیل فراهمی سریع عناصر غذایی و کارایی بالاتر علف‌های هرز در مقایسه با گیاهان زراعی در جذب کود شیمیایی نیتروژن، به نفع علف‌های هرز می‌باشد (Huggins and Pan, 2003). در نتیجه با جذب بیشتر نیتروژن معدنی توسط بوته‌های علف هرز، رشد رویشی (وزن خشک) بهتری خواهند داشت (Delfih et al., 2015). اما در شرایطی که فقط از کودهای آلی استفاده شود؛ آزادسازی تدریجی عناصر غذایی در محیط بیشتر به نفع گیاه زراعی می‌باشد (Davis and Liebman, 2001) که نتیجه این حالت، افزایش توان رقابتی ریحان با علف هرز بوده است. در یک پژوهش، افزایش فراهمی نیتروژن، تراکم علف هرز خردل وحشی (*Sinapis arvensis*) را در محیط افزایش داد که نتیجه آن کاهش عملکرد دانه گندم بود. در حقیقت رقابت خردل وحشی باعث کاهش میزان تاثیرگذاری کود نیتروژن بر افزایش عملکرد دانه گندم شد، اما در مقابل رشد بخش‌های هوایی و ریشه‌ی علف هرز خردل وحشی با فراهمی نیتروژن افزایش یافت (Behdarvand et al., 2012).

نتیجه‌گیری

در مجموع استفاده از کودهای آلی به‌صورت تلفیق با سایر کودها ضمن بهبود خصوصیات بیوشیمیایی و همچنین عملکرد گیاه ریحان، موجب کاهش مصرف کودهای شیمیایی و در پی آن کاهش هزینه‌های تولید ناشی از مصرف کودهای شیمیایی می‌گردد، لذا یکی از راهبردهای مهم برای نیل به کشاورزی پایدار محسوب می‌شود. باتوجه به نتایج این پژوهش مبنی بر کاهش تراکم و وزن خشک علف‌های هرز در تیمار کودهای آلی، می‌توان این‌گونه بیان داشت که مصرف کودهای آلی ضمن تاثیر مثبت بر خصوصیات کمی و کیفی گیاهان دارویی، می‌تواند خسارت علف‌های هرز را تا حدودی کمتر گردانده در نتیجه نیاز به مصرف علف‌کش‌ها نیز کاهش می‌یابد؛ که در این تحقیق تلفیق کود حیوانی و اسید هیومیک به خوبی توانسته جایگزین استفاده از کودهای شیمیایی در تولید گیاه دارویی ریحان گردند و همچنین خسارت ناشی از علف‌های هرز را تعدیل سازد.

References

- Abbasi, H., AghaAlikhani, M., and Hamzei, J. 2015. Interaction between black plastic mulch, irrigation interval

- and bio-fertilizers on weeds biomass and yield of naked-seeds pumpkin. *Agroecology* 5 (1): 102-113. (in Persian).
2. Ahmad, Y. M., Shahlaby, E. A., and Shnan, N. T. 2011. The use of organic and inorganic cultures in improving vegetative growth, yield characters and antioxidant activity of roselle plants (*Hibiscus sabdariffa* L.). *African Journal of Biotechnology* 10: 1988-1996.
3. Ahmadi, F., and Aminifard, M. H. 2017. Effects of foliar spraying humic acid on some morphological characteristics and flower yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Saffron Research* 6 (1): 17-26. (in Persian).
4. Ali, K., Arif, M., Ullah, W., Ahmad, W., Khan, M., Ayeni, L., Amin, M., and Jehangir, M. 2015. Influence of organic and inorganic amendments on weeds density and chemical composition. *Pakistan Journal of Weed Science Research* 21: 47-57.
5. Aminifard, M. H., Aroiee, H., Azizi, M., Nemati, H., and Jaafar Hawa, Z. E. 2012. The influence of compost on antioxidant activities and quality of hot pepper (*Capsicum annuum* L.). *National Congress on Medicinal Plants*, Kish Island. Iran.
6. Arvin, P. 2019. Study of different levels of nitrogen, phosphorus and potassium on physiological and morphological parameters and essential oils in savory plant (*Satureja hortensis* L.). *Journal of Plant Research* 32 (2): 260-279. (in Persian).
7. Ayyobi, H., Olfati, J. A., and Peyvast, G. A. 2014. The effects of cow manure vermicompost and municipal solid waste compost on peppermint (*Mentha piperita* L.) in Torbat-e-Jam and Rasht regions of Iran. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture* 3 (4): 147-153. <https://doi.org/10.1007/s40093-014-0077-8>.
8. Azeez, J. O., Van Averbek, W., and Okorogbona, A. O. M. 2010. Differential responses in yield of pumpkin (*Cucurbita maxima* L.) and nightshade (*Solanum retroflexum* Dun.) to the application of three animal manures. *Bioresource Technology* 101: 2499-2505. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.10.095>.
9. Behdarvand, P., Chinchani, G., and Dhumal, K. 2012. Influences of different nitrogen levels on competition between spring wheat (*Triticum aestivum* L.) and wild mustard (*Sinapis arvensis* L.). *Journal of Agricultural Science* 4 (12): 134-139. DOI: 10.5539/jas.v4n12p134.
10. Bronick, E. J., and Lai, R. 2005. Soil structure and management: A review. *Geoderma* 124: 3-22. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.03.005>.
11. Burits, M., and Bucar, F. 2000. Antioxidant activity of *Nigella sativa* essential oil. *Phytotherapy Research* 14 (5): 323-328. [https://doi.org/10.1002/1099-1573\(200008\)14:5<323::AID-PTR621>3.0.CO;2-Q](https://doi.org/10.1002/1099-1573(200008)14:5<323::AID-PTR621>3.0.CO;2-Q).
12. Chalchat, J. C., and Ozcan, M. M. 2008. Comparative essential oil composition of flowers, leaves and stems of basil (*Ocimum basilicum* L.) used as herb. *Food Chemistry* 110: 501-503. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.018>.
13. Chang, C., Yang, M., Wen, H., and Chern, J. 2002. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food Drug Analysis* 10: 178-182. <https://doi.org/10.38212/2224-6614.2748>.
14. Charbandi, S., Zaefarian, F., Akbarpour, V., and Kaveh, M. 2022. Reaction of sweet basil (*Ocimum bacilicum* L.) to different fertilizing system in an agroecosystem. *Journal of Horticultural Science* 35 (4): 535-547.
15. Daur, I., and Bakhshwain, A. A. 2013. Effect of humic acid on growth and quality of maize fodder production. *Pakistan Journal of Botany* 45: 21-25.
16. Davis, A., and Liebman, M. 2001. Nitrogen source influences wild mustard growth and competitive effect on sweet corn. *Weed Science* 49: 558-566. [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2001\)049\[0558:NSIWMG\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2001)049[0558:NSIWMG]2.0.CO;2).
17. Dehghanian, H., and Nasrollahzadeh, H. 2014. Effect of plant density and weed interference on morphological characteristics and yield of corn (*Zea mays* L.). *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research* 2: 2225-2229.
18. Delfih, M. R., Modarres Sanavi, A. M., and Farhoudi, R. 2015. Effect of different nitrogen nutritional systems on yield and competition ability of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) against mallow (*Malva* spp.). *Iranian Journal of Weed Research* 7 (2): 71-86. (in Persian).
19. Dolatabadi, A., Masoud Sinaki, J., Abbaspour, H., and Ebadi, A. 2011. Effect of manure and foliar application of humic acid on morphological and physiological traits of wheat. *Plant Ecophysiology* 3 (6): 28-38. (in Persian).
20. Efthimiadou, A., Froud-Williams, R., Eleftherochorinos, I., Karkanis, A., and Bilalis, D. 2012. Effects of organic and inorganic amendments on weed management in sweet maize. *International Journal of Plant Production* 6 (3): 291-308.
21. El-Nemr, M. A., El-Desuki, M., El-Bassiony, A. M., and Fawzy, Z. F. 2012. Response of growth and yield of cucumber plants (*Cucumis sativus* L.) to different foliar applications of humic acid and biostimulators. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 6: 630-637.
22. El-Sherbeny, S. E., Hendawy, S. F., Youssef, A. A., Naguib, N. Y., and Hussein, M. S. 2012. Response of turnip (*Brassica rapa*) plants to minerals or organic fertilizers treatments. *Journal of Applied Sciences Research* 8: 628-634.
23. Emad, M. 2008. Identification of Medicinal, Industrial, Forest and the Pasture Plants, and their Use Cases. Volume

- I, Publications Rural Development. Serdang 43400 Selangor Darul Ehsan Malaysia.
24. Emami Bistgani, Z., Siadat, S. A., Bakhshandeh, A., and Ghasemi Pirbaloti, A. 2015. Effects of chemical and organic fertilizers and chitosan on physiological traits and phenolic compound amounts in thyme (*Thymus deanensis* Celak) in Shahrekord region. Journal of Crop Production Research 7 (1): 11-26. (in Persian).
 25. Farahani, H. A., Valadabadi, A., and Rahmani, N. 2008. Effects of nitrogen on oil yield and its component of calendula (*Calendula officinalis* L.) in drought stress conditions. Africa J. Trad, Complement Altern med, Abstracts of the World Congress on Medicinal and Aromatic Plants, Cape Town November, 364p.
 26. Faramarzi, Sh., and Ahmadi, A. 2015. The evaluation of allelopathic effects of sunflower (*Helianthus annuus* L.) aquatic extract on enzyme activity of wild barley (*Hordeum spontaneum* L.) and barnyardgrass (*Echinochloa crusgalli* (L.) Beauv) seedling. Applied Research of Plant Ecophysiology 2 (1): 81-90. (in Persian).
 27. Fathi A., Tahmasebi, A., and Teimoori, N. 2016. Effect of sowing date and weed interference on chickpea seed quantitative and traits in genotypes under dryland conditions. Iranian Journal of Dryland Agriculture 5 (2): 135-156. (in Persian).
 28. Gad El-Hak, S. H., Ahmed, A. M., and Moustafa, Y. M. M. 2012. Effect of foliar application with two antioxidants and humic acid on growth, yield and yield components of peas (*Pisum sativum* L.). Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants 4: 318-328. DOI: [10.5829/idosi.jhsop.2012.4.3.262](https://doi.org/10.5829/idosi.jhsop.2012.4.3.262).
 29. Gayathri, B., and Srinivasamurthy, C. A. 2016. Effect of different levels and sources of humic acid extracted from organic wastes on soil properties, growth, yield and nutrient uptake by maize. Mysore Journal of Agricultural Sciences 50 (2): 463-468.
 30. Ghalambaz, S., Ayneband, A., and Moezzi, A. A. 2013. Evaluation of relation between weed population and nitrogen use efficiency in wheat as affected by integrated fertilizer management. Agroecology 5 (4): 473-482. (in Persian).
 31. Ghorbanali, M., Saadatmand, L., and Nikan, M. 2011. The effects of natural habitat on polyphenol flavonoids, anthocyanin and its related antioxidant activity in Silverberry. The first national conference on modern topics in agriculture, Islamic Azad University Saveh. (in Persian).
 32. Gity, S., and Raoofy, M. 2017. Yield, essential oil and some morphological characteristics of peppermint (*Mentha piperita* L.) influenced by hand weeding and plant density. Agricultural Science and Sustainable Production 27 (1): 14-23.
 33. Gulser, F., Sonmez, F., and Boysan, S. 2010. Effects of calcium nitrate and humic acid on pepper seed ling growth under saline condition. Journal of Environmental Biology 31 (5): 873-876.
 34. Herms, D. A., and Mattson, W. J. 1992. The dilemma of plants to grow or defend. The Quarterly Review of Biology 67: 283-335. <https://doi.org/10.1086/417659>.
 35. Heshmatnia, M., and Armin, M. 2016. Effects of weed interference duration on yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum*) in two different production system. Journal of Crop Production 9 (1): 25-47: (in Persian).
 36. Huggins, D. R., and Pan, W. L. 2003. Key indicators for assessing nitrogen use efficiency in cereal-based agroecosystems. Journal of Crop Production 8 (1-2): 157-186. https://doi.org/10.1300/J144v08n01_07.
 37. Hussain, Z., Marwat, K. B., Cardina, J., and Khan, I. A. 2014. *Xanthium strumarium* L. impact on corn yield and yield components. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 38: 39-46.
 38. Heidarzadeh, S., and Jalilian, J. 2020. The effect of fertilizers and cover crops on alfalfa control and some quality characteristics of safflower (*Carthamus tinctorius*). Iranian Journal of Field Crop Science 51 (2): 105-120. (in Persian). DOI: [10.22059/IJFCS.2019.223288.654231](https://doi.org/10.22059/IJFCS.2019.223288.654231).
 39. Kavurmaci, Z., Karadavut, U., Kokten, K., and Bakoglu, A. 2010. Determining critical period of weed-crop competition in faba bean (*Vicia faba*). International Journal of Agriculture and Biology 12: 318-320.
 40. Khan, M. A., Sharmaand, V., and Shukla, R. K. 2016. Response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to organic manure and biofertilizer under different levels of mycorrhiza and sulphur in comparison with inorganic fertilizer. Journal of Crop and Weed 12 (1): 81-86.
 41. Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, P., Asadi, Gh. A., Seyyedi, S. M., and Azizi, H. 2015. Effects of different levels of animal manure and bulb weights on yield and yield components of caraway (*Bunium persicum* Bioss.). Plant Production Research 22 (4): 133-155. (in Persian).
 42. Lorenzo, P., Palomera-Pérez, A., Reigosa, M. J., and Gonzal, L. 2011. Allelopathic interference of invasive *Acacia dealbata* Link. on the physiological parameters of native understory species. Plant Ecology 212: 403-411. <https://doi.org/10.1007/s11258-010-9831-9>.
 43. Mckey, D. 1979. The distribution of secondary compounds within plants. In: Rosenthal G.A., Janzen D.H., editors, Herbivores: their interaction with secondary plant metabolites. New York: Academic Press.
 44. Mullera, V., Lankesa, C., Zimmermannb, B. F., Nogaa, G., and Hunschea, M. 2013. Centelloside accumulation in leaves of *Centella asiatica* is determined by resource partitioning between primary and secondary metabolism while influenced by supply levels of either nitrogen, phosphorus or potassium. Journal of Plant Physiology 170: 1165-1175. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.03.010>.

45. Najafpour Navaei, M., and Shariat, A. 2017. A study on ionic indices of *Zataria multiflora* Boiss.: an Iranian native medicinal plant. *Medicinal and Aromatic Plants* 33 (5): 812-819. (in Persian).
46. Nguyen, P. M., Kwee, E. M., and 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>.
47. Nourihoseini, M., Khorassani, R., Astaraei, A. R., Rezvani Moghadam, P., and Zabihi, H. R. 2016. Effect of different fertilizer resources and humic acid on some morphological criteria, yield and antioxidant activity of black zira seed (*Bunium persicum* Boiss). *Applied Field Crops Research* 29 (4): 87-104. (in Persian). DOI:10.22092/AJ.2017.110251.1150.
48. Omidbaigi, R. 2000. Production and processing of medicinal plants, Volume 3. Astan Quds Razavi.
49. Oracz, K., Bailly, C., Gniazdowska, A., Côme, D., Corbineau, D., and Bogatek, R. 2007. Induction of oxidative stress by sunflower phytotoxins in germinating mustard seeds. *Journal of Chemical Ecology* 33: 251-264. <https://doi.org/10.1007/s10886-006-9222-9>.
50. Peterson, D. M., Emmons, C. L., and Hibbs, A. 2001. Phenolic antioxidant activity in pearling fractions of oat groats. *Cereal Science* 33 (1): 97-103. <https://doi.org/10.1006/jcrs.2000.0347>.
51. Pirasteh Anosheh, H., Emam, Y., and Jamali Ramin, F. 2010. Comparative effect of biofertilizers with chemical fertilizers on sunflower (*Helianthus annuus* L.) growth, yield and oil percentage in different drought stress levels. *Agroecology* 2 (3): 492-501. (in Persian).
52. Rahbarian, P. 2014. Effects of manure on growth medical plant in dragonhead (*Dracocephalum moldavica*). *European Journal of Experimental Biology* 4 (2): 357-360.
53. Rajpar, I., Bhatti, M. B., Zia-Ul, H., Shah, A. N., and Tunio, S. D. 2011. Humic acid improves growth, yield and oil content of *brassica campestris* L.. *Pakistan Journal of Agricultural Engineering and Veterinary Sciences* 27: 125-133.
54. Sadegh, M., Zaefarian, F., Akbarpour, V., and Emadi, M. 2019. Effect of fertilizer sources on physiological and biochemical traits of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) in competition with weeds. *Journal of Plant Production Research* 25 (4): 67-84 (in Persian). DOI: 10.22069/JOPP.2018.14131.2268.
55. Sahoo, S. 2001. Conservation and utilization of medicinal and aomatic plants. Allied publishers, New Delhi, p 423.
56. Salimi, H., Attari, A. R., and Rahimian Mashhadi, H. 2006. Determination of critical period of weed control in cotton fields (*Gossypium herbaceum*). *Journal of Applied Entomology and Phytopathology* 74 (1): 47-64. (in Persian).
57. Santos, O. S. N., Teixeira, M. B., Queiroz, L. M., Fadigas, F. S., Silva Paz, V. P., Silva, A. J., and Kiperstok, A. 2016. Accumulation of NPK and development of bermuda grass irrigated with human urine. *Revista Brasileira de Agroecologia* 11 (3): 164-171.
58. Sebastiano, D., Roberto, T., Ersilio, D., and Arturo, A. 2005. Effect of foliar application of N and humic acids on growth and yield of durum wheat. *Journal of Agriculture Research* 25: 183-191.
59. Shizadi, F., Ardakani, M. R., and Asadi Rahmani, H. 2014. Investigation of the effect of vermicompost and biological fertilizers on some quantitative characteristics of basil (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Agroecology* 6 (3): 542-551. (in Persian).
60. Turan, M. A., Asik, B. B., Katkat, A. V., and Celik, H. 2011. The effects of soil-applied humic substances to the dry weight and mineral nutrient uptake of maize plants under soil salinity conditions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 39: 171-177. <https://doi.org/10.15835/nbha3915812>.
61. Valifard, M., Mohsenzadeh, S., Kholdebarin, B., and Rowshan, V. 2014. Effects of salt stress on volatile compounds, total phenolic content and antioxidant activities of *Salvia mirzayanii*. *South African Journal of Botany* 93: 92-97. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2014.04.002>.
62. Vojodi Mehrabani, L., Valizadeh Kamran, R., and Hassanpouraghdam, M. B. 2017. The effects of relative substitution of organic fertilizers on elements content, some physiological traits and yield of *Lepidium sativum* L.. *Agriculture Sciencs and Sustainable Production* 27 (3): 63-72. (in Persian).
63. Willis, J., and Hester, M. 2008. Evaluation of enhanced panicum amarum establishment through fragment plantings and humic acid amendment. *Journal of Coastal Research* 2: 263-268. <https://doi.org/10.2112/06-0669.1>.
64. Yang, Y. H., Jiang, P. A., Ai, E. K., and Zhou, Y. Q. 2005. Effects of planting *Medicago sativa* L. on soil fertility. *Arid Land Geography* 28: 48-59.
65. Yuan, T., Wang, J., Sun, X., Yan, J., Wang, Z., and Niu, J. 2017. Effect of combined application of humic acid and nitrogen fertilizer on nitrogen uptake, utilization and yield of winter wheat. *Chinese Journal of Eco-Agriculture* 3: 74-82.



Effect of Irrigation Interval and Nitrogen and Potassium Fertilizers on Yield, Yield Components and Some Traits of Gilaneh Rice

Z. Rabiei¹, N. Mohammadian Roshan^{2*}, S. M. Sadeghi³, E. Amiri⁴, H. R. Doroudian⁵

Received: 11-10-2021
Revised: 26-01-2022
Accepted: 05-02-2022

How to cite this article:

Rabiei, Z., Mohammadian Roshan, N., Sadeghi, S. M., Amiri, E., and Doroudian, H. R. 2022. Effect of Irrigation Interval and Nitrogen and Potassium Fertilizers on Yield, Yield Components and Some Traits of Gilaneh Rice. Iranian Journal of Field Crops Research 20 (2): 217-228. (in Persian with English abstract). DOI: [10.22067/jcesc.2022.72996.1098](https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.72996.1098).

Introduction

Considering the conditions of Iran in terms of water resources, high consumption of nitrogen fertilizer and low consumption of potassium fertilizer, less water use in rice cultivation and balance in chemical fertilizer consumption will play very important role in saving and wasting water. Rice production should increase in the coming years due to population growth, and this is possible due to the use of improved cultivars and agricultural management. Water is the most important factor for sustainable production in many agricultural products. About 75% of the rice produced (50% of the total rice fields in the world) is irrigated. Mineral nutrition includes; Supply, absorption and consumption of nutrients are essential for the growth and yield of crops. Non-use of nitrogen in rice plant at the beginning of tillering reduces plant height and non-use of nitrogen in full clustering stage reduces 1000-seed weight.

Materials and Methods

The aim of this study was to investigate the effect of different irrigation methods and nitrogen and potassium fertilizers on yield, yield components, water use efficiency and nitrogen consumption efficiency of Gilaneh rice cultivar in 2016-2017 and 2017-2018 cropping years. The shredded load was performed based on a randomized complete block design with three replications in Rasht. The size of the experimental units was nine square meters (dimensions of the main plot were 3 × 3 m, the sub-plot was 3 × 1 m and the sub-plot was 1 × 1 m). Accordingly, experimental treatments include irrigation at two levels of permanent flooding and irrigation interval of once every 10 days as the main factor, nitrogen fertilizer at three levels of 0, 60 and 120 kg.ha⁻¹ as a secondary factor and potassium fertilizer at three levels. Zero, 80 and 160 kg.ha⁻¹ were sub-factors. To determine the grain yield by observing the margin effect (removal of two rows) in each plot in the physiological maturation stage was taken and grain yield was calculated based on 14% moisture.

Results and Discussion

The results of this study showed that the highest grain yield of 5198 kg.ha⁻¹ in flooding treatment, application of 120 kg.ha⁻¹ of nitrogen fertilizer and 80 kg.ha⁻¹ of potassium fertilizer and the lowest yield in 10 days irrigation cycle and no use of two types Potassium and nitrogen fertilizers equivalent to 887 kg.ha⁻¹ were obtained. Increasing the irrigation distance reduced the number of spikes per square meter, number of seeds per spike, 1000-seed weight and paddy yield. The highest nitrogen crop yield (45.8 kg.kg⁻¹) was recorded in both

1- PhD student of Agronomy, Department of Agronomy and Plant breeding, Lahijan branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran

2- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant breeding, Lahijan branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran

3- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant breeding, Lahijan branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran

4- Professor, Department of Water Engineering, Lahijan branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran

5- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant breeding, Lahijan branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran

(*- Corresponding Author Email: Nmroshan71@yahoo.com)

DOI: [10.22067/jcesc.2022.72996.1098](https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.72996.1098)

irrigation regimes at 160 kg.ha^{-1} of potassium fertilizer with 60 kg.ha^{-1} of nitrogen fertilizer. By increasing the irrigation cycle, treatments of 60 kg.ha^{-1} nitrogen fertilizer along with 160 kg.ha^{-1} of potassium fertilizer equivalent to 0.764 kg.m^{-3} in the first year and equivalent to 0.775 kg.m^{-3} in the second year increased water use efficiency. With increasing irrigation frequency, 1000-seed weight was reduced in all three levels of nitrogen fertilizer, which was significant only in one level of nitrogen fertilizer. The maximum weight of 1000 seeds per hectare with consumption of 80 kg.ha^{-1} of potassium fertilizer and 60 kg.ha^{-1} of nitrogen fertilizer was equal to 23.31 g. Increasing the irrigation cycle in all three levels of potassium fertilizer reduced the number of full grains in the panicle.

Conclusion

Nitrogen and potassium fertilizer application, in addition to optimizing fertilizer application, increased the yield and yield components of Gilaneh rice. Irrigation period of 10 days and non-application of two types of potassium and nitrogen fertilizers, the lowest grain yield and consumption of 80 kg.ha^{-1} of potassium fertilizer and 120 kg.ha^{-1} of nitrogen fertilizer in flooded conditions recorded the highest grain yield.

Keywords: Crop management, Paddy field, Water use efficiency

اثر دور آبیاری و کودهای نیتروژن و پتاسیم بر عملکرد، اجزای عملکرد و صفات برنج رقم گیلانه

زهرا ربیعی^۱، ناصر محمدیان روشن^{۲*}، سید مصطفی صادقی^۳، ابراهیم امیری^۴، حمیدرضا درویدیان^۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۶

چکیده

با توجه به کم‌آبی‌های پیوسته در نواحی کشت برنج، مصرف نامتعادل کودهای شیمیایی نیتروژنی و پتاسیم، لزوم توجه به استفاده از آب کمتر در زراعت برنج و تعادل در مصرف کود شیمیایی در صرفه‌جویی و جلوگیری از هدررفت آب حائز اهمیت می‌باشد. لذا این پژوهش با هدف بررسی اثر روش‌های آبیاری، شامل غرقابی پیوسته و دور آبیاری ۱۰ روزه و مصرف مقادیر مختلف کودهای نیتروژن و پتاسیم بر عملکرد، اجزای عملکرد، بهره‌وری مصرف آب و کارایی مصرف نیتروژن روی برنج رقم گیلانه در سال‌های زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ به‌صورت کرت‌های دو بار خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ای در روستای کشل‌ورزل استان گیلان (رشت) اجرا گردید. بر این اساس، تیمارهای آزمایشی شامل آبیاری در دو سطح غرقاب دائم و فاصله آبیاری ۱۰ روز یک‌بار به‌عنوان عامل اصلی، سطوح مختلف نیتروژن (صفر، ۶۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص از منبع اوره) به‌عنوان عامل فرعی و پتاسیم (صفر، ۸۰ و ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم خالص از منبع سولفات پتاسیم) به‌عنوان عامل فرعی بودند. نتایج این پژوهش نشان داد که بیش‌ترین عملکرد شلتوک به میزان ۵۱۹۸ کیلوگرم در هکتار در تیمار غرقاب، کاربرد ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و ۸۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم و کم‌ترین عملکرد در دور آبیاری ۱۰ روز و عدم مصرف دو نوع کود پتاسیم و نیتروژن معادل ۸۸۷ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. دور آبیاری ۱۰ روز تعداد خوشه در متر مربع، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه و عملکرد شلتوک را کاهش داد. بالاترین کارایی زراعی نیتروژن (۴۵/۸ کیلوگرم بر کیلوگرم) در هر دو رژیم آبیاری در تیمار ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم همراه با ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن ثبت شد. تیمارهای ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژنی همراه با ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم در دور آبیاری ۱۰ روز، معادل ۰/۷۶۴ کیلوگرم بر مترمکعب در سال اول و معادل ۰/۷۷۵ کیلوگرم بر مترمکعب در سال دوم به‌وری مصرف آب را افزایش دادند. در شرایط غرقاب و آبیاری ۱۰ روز یک‌بار میزان مصرف کود شیمیایی نیتروژن و پتاسیم به‌ترتیب ۱۲۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار بهترین عملکرد را در تیمار غرقاب و کم‌آبی خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری مصرف آب، شالیزار، مدیریت زراعی

مقدمه

تن در جهان، نقش مهمی در تأمین نیاز غذایی جوامع بشری دارد (FAOSTAT, 2020). برنج غذای بیش از نیمی از جمعیت دنیا را تشکیل می‌دهد و روزانه بیش از سه و نیم میلیارد نفر در حدود ۲۰ درصد کالری مورد نیاز خود را از این گیاه با ارزش تأمین می‌کند (Priya et al., 2019). آب مهم‌ترین عامل برای تولید پایدار در بسیاری از محصولات کشاورزی از جمله برنج است. حدود ۷۵ درصد برنج تولیدی (۵۰ درصد کل مزارع برنج دنیا) به‌صورت آبی است (Carmelita et al., 2011). در صورت عدم وجود مدیریت مناسب و اعمال دور آبیاری بدون مطالعه موجب کاهش رطوبت خاک از حد مناسب و در پی آن کمتر شدن رشد گیاه، عملکرد، تأخیر در رسیدگی، رشد علف‌های هرز، ایجاد ترک در سطح مزرعه، افزایش آب مصرفی در داخل مزرعه می‌شود و تأثیر بر راندمان کاربرد کود دارد (Tabbal

برنج (*Oryza Sativa* L.) از مهم‌ترین محصولات زراعی با سطح زیر کشت بیش از ۱۶۴ میلیون هکتار و مقدار تولید ۷۶۰ میلیون

- ۱- دانشجوی دکتری زراعت، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران
- ۲- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران
- ۳- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران
- ۴- استاد، گروه مهندسی آب، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران
- ۵- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: Nmroshan71@yahoo.com)

DOI: 10.22067/jcesc.2022.72996.1098

al., 2018). این پژوهش با هدف بهبود مدیریت نیتروژن و پتاسیم در خاک‌های شالیزارهای گیلان از طریق افزایش عملکرد شلتوک، افزایش کارایی زراعی، کارایی بازیافت و کارایی فیزیولوژیک کود نیتروژن، بهره‌وری مصرف آب روی گیاه برنج رقم گیلانه انجام گرفت است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه‌ای آزمایشی در روستای کشل‌ورزل استان گیلان (رشت) با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۱ درجه و ۵۵ دقیقه شرقی، به‌منظور بررسی تأثیر روش‌های آبیاری و کودهای نیتروژن و پتاسیم بر عملکرد، اجزای عملکرد، بهره‌وری مصرف آب و کارایی مصرف نیتروژن برنج رقم گیلانه به‌صورت کرت‌های دو بار خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در بهار سال‌های زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ اجرا شد. محل آزمایش دارای آب و هوای معتدل و مرطوب است و میزان بارندگی سالانه بر حسب میانگین ۱۰ ساله برابر با ۱۳۳۰ میلی‌متر می‌باشد (Guilan Meteorological Quarterly, 2019). اطلاعات هواشناسی منطقه در طول اجرای این آزمایش در جدول ۱ آمده است. قبل از اجرای آزمایش، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در آزمایشگاه بخش آب و خاک موسسه تحقیقات برنج رشت، اندازه‌گیری شد (جدول ۲). تیمارهای آزمایشی شامل مدیریت آب در دو سطح غرقاب دائم و فاصله آبیاری ۱۰ روز یک‌بار به‌عنوان عامل اصلی، کود نیتروژن از منبع اوره در سه سطح صفر، ۶۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار به‌عنوان عامل فرعی و کود پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم در سه سطح صفر، ۸۰ و ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار به‌عنوان عامل فرعی بودند. کود نیتروژن از منبع اوره (۴۶ درصد نیتروژن)، کود پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم (محتوی ۵۰ درصد پتاسیم و ۱۸ درصد گوگرد) و کود فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل (فسفات ۴۶ درصد، کلسیم ۱۴ درصد و ۱۲ درصد گوگرد) بر اساس تیمارهای آزمایشی و نتایج آزمون تجزیه خاک به کرت‌ها افزوده شدند. در این پژوهش از برنج رقم گیلانه استفاده شد که حاصل تلاقی بین رقم صالح و رقم محلی آبجی بوجی یا دم سرخ می‌باشد. رقم گیلانه از نظر ساختار و مورفولوژی بسیار شبیه به والد خود رقم (آبجی بوجی) است و همانند آن دارای ریشک‌های بلندی می‌باشد. این رقم جزء ارقام زودرس و تا حدی متحمل به ورس است (Allahgholipour et al., 2018).

et al., 2002). اعمال مدیریت صحیح آب و در نتیجه صرفه‌جویی آن، می‌توان بهره‌وری آب را افزایش داد (Bouman et al., 2005). بیشتر وارپته‌های برنج در شرایط غرقابی عملکرد بیشتری نسبت به شرایط غیرغرقابی تولید می‌کنند. افزایش دور آبیاری می‌تواند از طریق اثر بر صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاه بر گیاهان اثرگذار باشد که همه این تغییرات می‌توانند رشد و عملکرد گیاه را تغییر دهند (Pandey and Shukla, 2015).

غرقاب شدن مزرعه برنج قابلیت دسترسی بعضی از عناصر از قبیل بخشی از فسفر، پتاسیم، کلسیم، سیلیسیم و آهن را زیاد می‌کند. تغذیه عناصر معدنی شامل؛ تأمین، جذب و مصرف عنصر غذایی برای رشد و عملکرد گیاهان زراعی ضروری است (Akhgari, 2004). عدم مصرف نیتروژن در گیاه برنج در ابتدای پنجه‌دهی موجب کاهش ارتفاع بوته و عدم مصرف نیتروژن در مرحله خوشه‌دهی کامل سبب کاهش وزن هزار دانه می‌شود (Khosravi et al., 2011). مصرف ۱۲۰ کیلوگرم کود نیتروژن به همراه آبیاری هر پنج روز یک بار، بالاترین عملکرد دانه در هکتار را در رقم خزر منطقه رودسر را سبب گردید (Ashouri, 2012). با افزایش سطوح مختلف کود نیتروژن در آبیاری هر ۴ روز یک بار، عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، به‌طوری‌که بالاترین عملکرد دانه (۵۷۲۵ کیلوگرم در هکتار) و شاخص برداشت ۴۷/۲ درصد در تیمار کودی ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و آبیاری هر چهار روز یک بار به‌دست آمد (Alhassan and Saddiqe, 2016). پتاسیم فراوان‌ترین عنصر غذایی در گیاه بوده و برنج به‌ویژه ارقام پرمحصول، مقدار قابل‌توجهی پتاسیم جذب می‌کنند که حتی مقدار آن گاهی تا چهار برابر ارقام بومی است (Esfahani et al., 2005). واکنش برنج به کودهای پتاسیم در مقایسه با نیتروژن و فسفر محدودتر است. واکنش ارقام پرمحصول برنج به پتاسیم خاک شدیداً تحت تأثیر مقدار پتاسیم در دسترس، فراوانی نیتروژن، بافت خاک، وضعیت زهکشی خاک، میزان اسیدیته خاک و آب آبیاری دارد (DeDatta and Mikkelsen, 1985; Prasad and Prasad, 1997). افزایش نیتروژن باعث بالا رفتن درصد دانه‌های پر و کمبود پتاسیم موجب عقیمی دانه‌های گرده در مرحله آبستنی و در نتیجه کاهش تعداد دانه‌های پر شده می‌شود (Esfahani et al., 2005). کاربرد ۶۰ و ۷۵ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم در ذرت (Zea mays L. در شرایط تنش خشکی از کاهش بیشتر عملکرد دانه ذرت جلوگیری می‌کند (Maleki et al., 2014). پتاسیم علاوه بر افزایش تولید و بهبود کیفیت محصول، سبب افزایش تحمل گیاهان به کم‌آبی، شوری، انواع تنش‌ها، آفات و بیماری‌ها شده و کارایی مصرف آب و عناصر غذایی ماکرو و میکرو را افزایش می‌دهد (Rezaei et

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ محل انجام آزمایش

Table 1- Meteorological information from year 2016 and 2017 at the site of the experiment

سال Year	مشخصات هواشناسی Climatic item	فروردین 21Mar-20Apr	اردیبهشت 21Apr-16May	خرداد 17May-16Jun	تیر 17Jun-18Jul	مرداد 19Jul-18Agu	شهریور 20Agu-19Sep
2017	دما Tmean (°C)	13.6	19.3	23.6	26	28.2	26.9
	بارندگی Rainfall (mm)	86.2	27.8	18.6	13.8	15	61
	رطوبت نسبی Relative Humidity (%)	78	78	75	74	71	75
	ساعات آفتابی Sunny Hours (h)	140	169.2	229.1	232.5	293.7	245.8
	دما Tmean (°C)	13.7	19.4	23.1	28.1	27	25.1
2018	بارندگی Rainfall (mm)	20.4	37.2	48.7	30.8	68.4	13.8
	رطوبت Relative Humidity (%)	76	74	75	73	77	74
	ساعات آفتابی Sunny Hours (h)	145.9	170.4	230.3	295.4	164.9	209.7

جدول ۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 2- Physical and chemical properties of soil in the experiment site

سال Year	کل نیتروژن Total N (mg kg ⁻¹)	پتاسیم قابل جذب K vailable (mg kg ⁻¹)	فسفر قابل جذب P vailable (mg kg ⁻¹)	اسیدیته خاک pH	ماده آلی O.C (%)	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	بافت خاک Soil texture
۱۳۹۶ 2017	0.176	170	17.2	7.1	1.5	1.17	لومی رسی Clay loam
۱۳۹۷ 2018	0.149	185	16.8	7.1	1.4	1.11	

جذب شده توسط گیاه برنج با استفاده از شاخص‌های زیر محاسبه شدند. کلیه این شاخص‌ها در آزمایش‌های مزرعه‌ای با استفاده از روش تفاضل (Difference Method) برآورد می‌شوند. اندازه‌گیری‌ها شامل عملکرد دانه و میزان جذب کل نیتروژن در کلیه تیمارها از جمله تیمار بدون کود نیتروژن انجام شدند.

$$AE_N = (GY_{+N} - GY_{0N}) / FN \quad (1)$$

$$RE_N = (UN_{+N} - UN_{0N}) / FN \quad (2)$$

$$PE_N = (GY_{+N} - GY_{0N}) / (UN_{+N} - UN_{0N}) \quad (3)$$

AE_N : کارایی زراعی کود نیتروژن، RE_N : کارایی بازیافت کود نیتروژن، PE_N : کارایی فیزیولوژیکی کود نیتروژن

GY_{+N} : عملکرد دانه در تیمار با مصرف کود (کیلوگرم در هکتار)، GY_{0N} : عملکرد دانه در تیمار بدون مصرف کود، UN_{+N} و UN_{0N} به ترتیب میزان جذب کل نیتروژن در زیست‌توده اندام‌های هوایی در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی در

مزرعه محل انجام آزمایش سه بار شخم زده شد که شخم اول در اسفند ماه، شخم دوم در اواسط اردیبهشت همزمان با احداث خزانه و شخم سوم (پادلینگ) همزمان با نشاءکاری برنج انجام شد. بذور در خزانه و زیر پوشش پلاستیکی پرورش داده شده و در سن ۲۵ روزگی (ارتفاع ۲۰ تا ۲۵ سانتی‌متر و ۳ برگ) از خزانه انتخاب و به زمین اصلی منتقل و به فاصله ۲۰×۲۰ سانتی‌متر (تراکم ۲۵ بوته در مترمربع) به تعداد یک گیاهچه در هر کپه، نشاءکاری شدند. اندازه واحدهای آزمایشی نه متر مربع (ابعاد کرت اصلی ۶×۳ متر، فرعی ۲×۳ متر و فرعی فرعی ۲×۱ متر) بود. در طول دوره رشد برنج برای مبارزه با کرم ساقه‌خوار برنج از سم دیازینون (گرانول ۵ درصد) به میزان ۳۰ کیلوگرم در هکتار و برای مدیریت علف‌های هرز از دو نوبت وجین دستی ۲۰-۱۵ روز بعد از نشاءکاری و ۳۵-۲۰ روز پس از نشاءکاری و مبارزه شیمیایی (بوتاکلر به میزان سه لیتر در هکتار ۴ روز پس از نشاءکاری) انجام شد.

انواع کارایی‌های نیتروژن کودی مصرف‌شده و نیتروژن

کرت‌هایی که کود نیتروژن دریافت کرده‌اند و کرت بدون مصرف کود نیتروژن بر حسب کیلوگرم در هکتار، FN: مقدار کود نیتروژن مصرف شده (کیلوگرم در هکتار) می‌باشند (Dobermann and Fairhurst, 2000).

بهره‌وری مصرف آب از روش زیر محاسبه گردید (Zhou et al., 2017):

آب باران + مقدار آب آبیاری (مترمکعب در مترمربع) / عملکرد دانه (کیلوگرم در مترمربع) = بهره‌وری مصرف آب

میزان آب ورودی (آبیاری و باران) به کرت‌ها با استفاده از یک کنتور حجمی اندازه‌گیری شد. جهت آبیاری و اعمال تیمارهای آبیاری میزان تبخیر از تشتک کلاس A، برای دوره ۵ روزه اندازه‌گیری شد و میزان آب آبیاری براساس سطح کرت و درصد تبخیر در نظر گرفته شده، اعمال گردید. جهت تعیین عملکرد و اجزای عملکرد نیز با رعایت اثر حاشیه (حذف دو ردیف) در هر کرت در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک اقدام به برداشت گردید و صفاتی نظیر تعداد خوشه در مترمربع، تعداد دانه در خوشه و وزن هزار دانه و عملکرد شلتوک بر مبنای رطوبت ۱۴ درصد محاسبه شد. تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹ (SAS, 2002)، انجام شد. مقایسه میانگین با روش حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. همچنین در این بررسی به جهت آن‌که فاکتورهای آزمایش در سال دوم نسبت به سال اول در کرت‌های دیگری ولی در همان قطعه زمین تصادفی شده بودند از روش تجزیه مرکب برای آنالیز استفاده شد. برای اطمینان از یکنواختی واریانس‌ها به‌منظور ادغام داده‌ها، آزمون بارتلت انجام شد که نتایج حاکی از عدم معنی‌داری داده‌ها و شرایط لازم برای ادغام بودند.

نتایج و بحث

عملکرد و اجزای عملکرد شلتوک:

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر سه‌گانه آبیاری، کود پتاسیم و نیتروژن بر عملکرد شلتوک و تعداد دانه در خوشه (سطح احتمال یک درصد) و اثر آبیاری و نیتروژن بر تعداد خوشه در بوته (در سطح احتمال پنج درصد)، دانه در خوشه و وزن هزار دانه و اثر آبیاری در پتاسیم بر تعداد خوشه در بوته و دانه پر در خوشه (در سطح احتمال یک درصد) معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که دور آبیاری ۱۰ روز سبب کاهش عملکرد شلتوک در همه سطوح کودی مورد مطالعه شده است. عملکرد شلتوک در رژیم‌های رطوبتی ۱۰ روزه نسبت به حالت غرقاب حدود ۳۸ درصد کاهش نشان داد. این افت عملکرد در سطوح پایین دو کود مورد استفاده بسیار مشخص و معنی‌دار بود. دور آبیاری ۱۰ روز و عدم مصرف دو نوع کود پتاسیم و نیتروژن کم‌ترین عملکرد شلتوک معادل ۸۸۷ کیلوگرم در هکتار را

نشان داد. بالاترین عملکرد شلتوک از تیمار آبیاری غرقاب، مصرف ۸۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن معادل ۵۱۹۸ کیلوگرم در هکتار حاصل شد (جدول ۴). نقش کود پتاسیم و نیتروژن در تغییر عملکرد شلتوک در هر دو شرایط آبیاری مشهود بود. در هر دو نوع آبیاری با افزایش سطوح دو نوع کود عملکرد شلتوک افزایش یافته است. با افزایش دور آبیاری از وزن هزار دانه در هر سه سطح کود نیتروژن کاسته شد که این کاهش تنها در سطح یک کود نیتروژن معنی‌دار بود. بیش‌ترین وزن هزار دانه در با مصرف ۸۰ کیلوگرم در هکتار از کود پتاسیم و ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن معادل ۲۳/۳۱ گرم بود. افزایش دور آبیاری در هر سه سطح کود پتاسیم سبب کاهش تعداد دانه پر در خوشه شد. مصرف ۸۰ و ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم سبب افزایش این صفت در مقایسه با سطح صفر این کود شدند. بررسی اثر دوگانه کود نیتروژن در کود پتاسیم بر این صفت نشان داد که در هر سه سطح کود پتاسیم، سطح دوم کود نیتروژن موثرتر بوده، به گونه‌ای که در این سطح کود نیتروژن و سطح ۸۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم بیش‌ترین تعداد دانه پر در خوشه (۹۴/۳ دانه) مشاهده گردید و کم‌ترین تعداد دانه پر در خوشه (۶۳/۷ عدد) در تیمار شاهد حاصل شد. تعداد دانه پوک در سال دوم مطالعه بیش‌تر از سال اول مطالعه بوده است. با توجه به روند مشابه دما در دو سال آزمایش، اثر متفاوت بودن تعداد دانه پوک در سال دوم مطالعه را به اندک بارندگی بیش‌تر در این سال در مقایسه با سال اول نسبت داد. مشابه با نتایج تحقیق حاضر ماهاجان و همکاران (Mahajana et al., 2012) بیان کردند که کاربرد کود پتاسیم و فسفات همراه با ۱۲۰ کیلوگرم نیتروژن سبب افزایش ۱۴ درصدی عملکرد شلتوک شد. همچنین کاربرد این دو کود در مقایسه با شاهد سبب افزایش بهره‌وری مصرف آب و نیتروژن شد. این نشان می‌دهد که مصرف کودهای پتاسیم و نیتروژن می‌تواند کاهش عملکرد ناشی از تنش آب را جبران کند.

ارقام اصلاح‌شده مقصد فیزیولوژیک بزرگ‌تری داشته و ظرفیت پرشدن دانه در آن‌ها بهتر بوده و دلیل اصلی عملکرد بالا در آن‌ها تعادل و هماهنگی مقصد فیزیولوژیک و منبع و مواد فتوسنتزی جاری می‌باشد. رقم گیلا نه نیز به دلیل پاکوتاه بودن نسبت به ارقام بومی (ارتفاع ۱۰۷/۵ سانتی‌متر) و داشتن تعداد دانه بیش‌تر در خوشه نیتروژن خاک، خصوصاً نیتروژن اضافه‌شده در مرحله اواخر رشد زایشی را بیش‌تر صرف پرکردن دانه کرده و در نتیجه عملکرد بالایی دارد. لذا مصرف نیتروژن در رقم پاکوتاهی چون گیلا نه صرف پرشدن دانه می‌شود، در واقع در این رقم مصرف کود نیتروژن بر عملکرد بسیار تاثیرگذار است (Kavousi and Allahgholipour, 2017). ژو و همکاران (Ju et al., 2009) نیتروژن را فاکتور کلیدی تعیین‌کننده عملکرد و مهم‌ترین نهاده مصرفی در تولید برنج برشمردند. کود نیتروژن و رژیم آبیاری به‌طرز سینرژیکی سبب افزایش عملکرد

می‌شوند. در برنج در تنش متوسط با مصرف ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن افزایش عملکرد منتج از کاهش پنجه‌های نابارور، افزایش رشد ریشه و افزایش شاخص برداشت مشاهده شد (Wang et al., 2016). با افزایش کود پتاسیم نیز می‌توان افت عملکرد را کاهش داد. پتاسیم عنصر ضروری برای زراعت برنج بوده و در افزایش اندازه و وزن دانه، بهبود پنجه‌زنی، افزایش پاسخ به سایر عناصر غذایی خصوصاً نیتروژن و فسفر، قوی شدن ساقه‌ها، کاهش تمایل به خوابدگی و افزایش مقاومت به امراضی چون بلاست نقش دارد (De Datta et al., 1985).

همچنین در بررسی مصرف کود پتاسیم بر عملکرد برنج در دو فصل خشک و مرطوب گزارش کردند که بالاترین عملکرد شلتوک از بالاترین سطح مصرفی کود پتاسیم ناشی از تولید تعداد پنجه بالاتر در کپه، تعداد بالاتر خوشه در کپه و درصد دانه پر بالاتر حاصل شده است (Htun et al., 2017). ماتسو و همکاران (Matsuo et al., 1995) گزارش کردند پتاسیم عملکرد دانه برنج را افزایش می‌دهد. واکنش عملکرد برنج به کود پتاسیم و در مکان‌های مختلف و بسته به مقادیر پتاسیم قابل دسترس خاک متفاوت است (Ghasemi Minaei et al., 2011). در پژوهش حاضر افزایش عملکرد شلتوک ناشی از افزایش سطح کود پتاسیم در هر دو نوع رژیم آبیاری مشاهده شد. در هنگام کم‌آبی گیاهان با پتاسیم کافی هدررفت آب کم‌تری را توسط کاهش تعرق تجربه می‌کنند (Fusheing, 2006). این ویژگی در تعدیل اثرات تنش بر رشد نمو و عملکرد برنج موثرند (Stone and Johnson and Wallingford, 1983; Moreira, 1996). افزایش رشد ریشه نیز توسط کود پتاسیم در این مسیر بسیار موثر است (Jia et al., 2008). این به گیاهان تحت تنش کمک کرده تا آب بیشتری را جذب کنند. افزایش مقاومت به تنش آب و کمک به تثبیت عملکرد گیاه زراعی در محیط‌های تحت تنش از نتایج استفاده از کود پتاسیم می‌باشد (Quampah et al., 2011). در پژوهش حاضر مشاهده شد که افزایش فاصله آبیاری سبب کاهش اجزای عملکرد و عملکرد شد، در حالی که افزایش مصرف کود نیتروژن این صفات را در هر سه رژیم آبیاری افزایش داد (جدول ۴). واضح است که افزایش فاصله آبیاری، سبب بروز تنش در رقم هاشمی در این پژوهش گردید. کاهش در تعداد دانه در خوشه و وزن هزار دانه (Rezaei et al., 2009) اتفاقاتی است که حین تنش خشکی اتفاق افتاده و می‌تواند عملکرد در برنج را کاهش دهند.

کارایی زراعی، کارایی فیزیولوژیک و کارایی بازیاخت نیتروژن:

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثرات ساده (به جز آبیاری روی کارایی زراعی نیتروژن)، دوگانه و سه‌گانه آبیاری،

نیتروژن و پتاسیم بر روی کارایی زراعی، فیزیولوژیک و بازیاخت نیتروژن معنی‌دار بود. اثر سال بر کارایی زراعی و کارایی فیزیولوژیک نیتروژن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). اثر متقابل سه عامل رژیم آبیاری، کود نیتروژن و پتاسیم در سطح یک درصد بر کارایی زراعی و کارایی فیزیولوژیک نیتروژن در هر دو سال معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که در همه سطوح کود پتاسیم با افزایش مقدار کود نیتروژن، از کارایی زراعی این کود کاسته شد، به گونه‌ای که بالاترین کارایی زراعی نیتروژن در هر دو رژیم آبیاری زمانی مشاهده شد که ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاس همراه با ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن در شرایط غرقاب به مقدار ۴۵/۸ کیلوگرم بر کیلوگرم به‌دست آمد (جدول ۴). باکتری‌های محلول‌کننده فسفات و پتاسیم موجب افزایش جذب عناصری همچون فسفر، پتاسیم و نیتروژن شدند. این باکتری‌ها پتاسیم نامحلول خاک را که به شکل کانی‌هایی چون مسکوویت، ارتوکالز، بیوتیت، فلدسپار، ایالیت و میکا تثبیت شده است به فرم محلول درآورده و آن را در اختیار گیاه قرار می‌دهند و موجب بهبود جذب پتاسیم می‌گردند (Zhang and Kong, 2014). کاهش ۲۲/۰۱ درصدی کارایی زراعی نیتروژن با افزایش دور آبیاری مشاهده شد. کاهش کارایی زراعی نیتروژن با بالا رفتن مصرف کود نیتروژن مشاهده گردید (جدول ۴). کارایی زراعی تفاوت عملکرد شلتوک در تیمار کود داده شده و تیمار بدون کود را نسبت به کود مصرفی نشان می‌دهد. همسو با نتایج مطالعه حاضر در ارزیابی سه ساله مصرف ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ کیلوگرم کود نیتروژن با تقسیط یکسان آن در سه مرحله پایه، ۳ و ۵ روز قبل از تشکیل مریستم خوشه و ظهور خوشه بر عملکرد برنج، نشان داد که کارایی بازیاخت، کارایی زراعی و کارایی فیزیولوژیک به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر مقادیر نیتروژن قرار می‌گیرد، به‌طوری‌که کارایی بازیاخت و کارایی زراعی با افزایش میزان نیتروژن مصرفی کاهش می‌یابند (Patil et al., 2001). طبق نتایج پژوهش‌های گذشته، مصرف زیاد کود نیتروژن سبب کاهش کارایی زراعی کود شده و هدررفت جدی نیتروژن و آلودگی منابع آب سطحی و آب‌های زیرزمینی و اتمسفر را به دنبال دارد (Liu and Diamond, 2005). در مطالعه حاضر دور آبیاری ۱۰ روز یک‌بار کارایی زراعی کود نیتروژن را کاهش داد. در سطح اول کود پتاسیم (سطح صفر) کارایی زراعی نیتروژن به شدت پایین بود. این یافته‌ها اهمیت کود پتاسیم در زراعت برنج و افزایش کارایی مصرف کود نیتروژن در حضور کود پتاسیم را اثبات می‌کند. کارایی زراعی به فصل رشد، میزان عملکرد، ذخایر نیتروژن خاک، زمان و مقدار کود مورد استفاده بستگی دارد (Yoshida, 1981). کاووسی و اله‌قلی‌پور (Kavousi and Allahgholipour, 2017) در بررسی دو رقم گیلانه و آبجی‌بوجی بیان کردند که با افزایش مقدار کود از ۷۵ کیلوگرم بر هکتار به ۹۰ کیلوگرم بر هکتار از کارایی زراعی نیتروژن کاسته شده است.

بهره‌وری مصرف آب

طبق نتایج تجزیه مرکب (جدول ۳) اثرات ساده نیتروژن و پتاسیم (در سطح احتمالی یک درصد) و اثرات متقابل آبیاری با پتاسیم (در سطح احتمال پنج درصد) و نیتروژن و پتاسیم (در سطح احتمال یک درصد) روی بهره‌وری مصرف آب معنی‌دار شدند. اثر سال نیز بر این صفت معنی‌دار شد. نتایج مقایسه میانگین در هر دو سال زراعی مطالعه، کاهش مصرف آب ناشی از افزایش دور آبیاری، بهره‌وری مصرف آب را افزایش داد، این افزایش در سال اول ۱۶ درصد و در سال دوم مطالعه ۱۳ درصد بود که معنی‌دار بود. در سطح صفر و ۸۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم با افزایش مصرف کود نیتروژن به بهره‌وری مصرف آب در هر دو سیستم آبیاری افزوده شد، اما در سطح ۱۸۰ کیلوگرم کود پتاسیم، سطح ۶۰ کیلوگرم در هکتار از کود نیتروژن موثر از دو سطح دیگر بود. زمانی که ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم استفاده شد، مصرف ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن سبب کاهش بهره‌وری مصرف آب در مقایسه با سطح دوم این کود شد.

نکته جالب توجه از نتایج پژوهش حاضر در مورد بهره‌وری مصرف آب افزایش بهره‌وری مصرف آب ناشی از استفاده از کود در مقابل تیمارهای عدم استفاده از کود در هر دو سبک آبیاری می‌باشد. مصرف کود سبب بهبود بهره‌وری مصرف آب گردید که ناشی از اثر مثبت مصرف این دو نوع کود در افزایش عملکرد گیاه برنج می‌باشد. بالاترین بهره‌وری مصرف آب به مقدار ۰/۷۷۵ کیلوگرم بر مترمکعب در تیمار ۶۰ کیلوگرم در هکتار از کود نیتروژن و ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم در دور آبیاری ۱۰ روز یک‌بار به‌دست آمد. گزارش شده است از مهم‌ترین چالش‌های تولید در گیاه برنج رسیدن به افزایش عملکرد همراه با افزایش کارایی استفاده از منابع مصرفی است (Wang et al., 2018). ماهاجان و همکاران (Mahajana et al., 2012) در گیاه برنج همبستگی بالایی بین بهره‌وری مصرف آب و عملکرد گزارش نمودند.

ونگ و همکاران (Wang et al., 2016) با انتخاب سه رژیم آبیاری غرقاب، فواصل آبیاری و دو سطح کودی نیتروژن کم (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار)، متوسط (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) و زیاد (۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) در گیاه برنج گزارش کردند که بهره‌وری مصرف آب در شرایط غرقاب و بالاترین سطح کود نیتروژن بیش‌ترین مقدار را داشته و با کاهش مقدار کود این صفت نیز کاهش نشان داشته است. در دو رژیم رطوبتی دیگر نیز با افزایش مقدار نیتروژن بر مقدار بهره‌وری مصرف آب افزوده شده است. در رژیم‌های رطوبتی مختلف اثرات افزایشی بین آب و کود نیتروژن گزارش شده است.

در سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ کارایی فیزیولوژیک نیتروژن در تیمار آبیاری با دور ۱۰ روز در مقایسه با آبیاری غرقاب کاهش یافت. در هر دو سال مطالعه مصرف ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن در همه سطوح کود پتاسیم کارایی فیزیولوژیک نیتروژن بالایی را نشان داد که تیمار ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و مصرف ۱۶۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار و شرایط غرقاب به مقدار ۴۴/۲ کیلوگرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. کارایی فیزیولوژیک کود نیتروژن بسته به دیررس متوسط رس بودن رقم متغیر بین ۳۵ تا ۹۴ می‌باشد، اما کارایی فیزیولوژیک در برخی از ارقام تحت تاثیر مقادیر مختلف نیتروژن قرار نمی‌گیرد (Singh et al., 1981).

در آزمایشی مصرف ۴۶، ۹۹۲، ۱۳۸ و ۱۸۴ کیلوگرم در هکتار نیتروژن در زراعت ذرت مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که اثر سطوح مصرفی نیتروژن بر کارایی فیزیولوژیک نیتروژن در سطح یک درصد معنی‌دار بود و تیمار مصرف ۱۸۴ کیلوگرم در هکتار نیتروژن با میانگین ۵۶/۳۴ کیلوگرم بر کیلوگرم کارایی فیزیولوژیک از سایر تیمارها برتر بود (Bagheri et al., 2011).

بازیافت ظاهری نیتروژن در واقع نسبت بین مقدار نیتروژن جذب‌شده توسط گیاه به مقدار کل کود داده شده را نشان می‌دهد. اثر سال بر کارایی بازیافت ظاهری نیتروژن معنی‌دار نشد، اما برهمکنش سه عامل مورد مطالعه بر این صفت معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین داده‌های این صفت نشان داد که تنش خشکی ۳۴/۶۱ درصد کارایی بازیافت ظاهری نیتروژن را کاهش داد. در هر سه سطح کود پتاسیم و هر دو سطح آبیاری مصرف ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن بیش‌ترین کارایی بازیافت ظاهری نیتروژن را دارد (جدول ۴). بیش‌ترین مقدار این صفت از تیمار آبیاری غرقاب و مصرف ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم و ۶۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن معادل ۶۶/۷ درصد مشاهده شد. با افزایش مصرف کودهای شیمیایی نیتروژن مقدار هدروری و آبشویی آن‌ها نیز افزایش می‌یابد. می‌توان اظهار داشت که به‌دلیل حلالیت بسیار زیاد کود نیتروژن در آب معمولاً با افزایش میزان مصرف کود نیتروژن مقدار بازیافت ظاهری آن کاهش می‌یابد. در این شرایط اتلاف و آبشویی کود نیتروژن بیش‌تر شده و امکان خروج آن از منطقه جذب ریشه‌ها بیش‌تر خواهد شد. همچنین تشکیل کمپلکس کود با ذرات خاک نیز می‌تواند آن را از دسترس ریشه خارج کند. به‌همین دلایل می‌توان گفت که یکی از مهم‌ترین دلایل کاهش مقدار بازیافت ظاهری نیتروژن خارج‌شدن نیتروژن از دسترس ریشه‌ها از طریق آبشویی و هدررفت آن می‌باشد (Alibakhshi and Mirzakhani, 2016). کاهش مصرف کودهای شیمیایی از طریق کم‌شدن میزان آبشویی آن‌ها موجب کاهش آلودگی‌های زیست محیطی، آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شود و در نتیجه در تداوم تولید و پایداری اکوسیستم‌های زراعی و طبیعی بسیار اهمیت خواهد داشت.

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب اثر رژیم آبیاری و کود پتاسیم و نیتروژن بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیک برنج رقم گیلانه
Table 3- Combined analysis of variance for irrigation regims and potassium and nitrogen fertilizer on Yield, yield components and some physiological traits of Gilanch rice

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	تعداد خوشه در پشته Panicle No.	تعداد دانه در خوشه Grain No.	تعداد پر در خوشه Filled grain No.	دانه پر در خوشه Unfilled grain No.	وزن هزار دانه 1000 grain weight	عملکرد شلتوک Grain yield	کارایی زراعی Agronomic nitrogen efficiency	کارایی فیزیولوژیک Physiologic nitrogen efficiency	کارایی بازافت نیتروژن Nitrogen uptake efficiency	بهره‌وری مصرف آب Water use efficiency
سال	1	0.148	878.3	192	9.03	1.4	7038.04	1.57**	5.3**	0.12	0.0014**
بلوک در سال	4	0.9	846.7*	905.8*	9.34	2.6**	8844.9	0.2	0.105	1.38	0.0002
آبیاری	1	53.5	13377.8**	7170.4	960.1	0.41	1801974.5*	423.3	51.3*	2064.3*	0.06
سال×آبیاری	1	0.925	1526.3*	472.9	300.1**	0.17	75769.2**	13.4**	0.01**	17.8**	0.0018**
خطای عامل آبیاری	4	0.092	278.2	378.7	16.9	0.21	1283.2	0.09	0.027	1.9	0.00032
نیتروژن	2	12.7	197.1	1164.3	212.8	1.3	30650436**	577.8**	1334.8**	15.34**	0.151**
سال×نیتروژن	2	1.4	38.3	405.3	79.8	1.6	5603.3	15.9**	10.7**	6.3**	0.00033
آبیاری×نیتروژن	2	33.4*	11488.3**	57.8	72.3	2.5*	735150.2**	184.7**	65.3*	1563**	0.0016
سال×آبیاری×نیتروژن	2	0.73	126.2	345.6	48.4	1.4	25495.2**	7.9**	1.8	11.8	0.0003*
خطای عامل نیتروژن	16	0.67	390.1	211.2	22.8	0.55	3086.9	0.134	0.06**	2.08	0.0001
پتاسیم	2	3.58	2322.5	417.6	99.2	2.34	37192780**	2043.9**	262.3*	1855.8**	1.32**
سال×پتاسیم	2	2.84*	682	135.8	241.9**	0.95	7780.02	13.3**	5.2**	15.5**	0.00005
آبیاری×پتاسیم	2	84.1**	18.17	7295.7*	691.1	0.01	140630.5**	53.4*	95.5*	123.1	0.06*
سال×آبیاری×پتاسیم	2	0.06	240.9	173.3	97.7	0.234	646.5	2.2**	1.9**	14.6**	0.001**
نیتروژن×پتاسیم	4	2.7	1645.7**	1447.7*	99.5	1.51*	1088125.5**	982**	286**	629.3**	0.05**
سال×نیتروژن×پتاسیم	4	0.63	70.9*	154.2	46.7	0.86	23840.4**	12.8**	2.2**	22.6**	0.0008**
آبیاری×نیتروژن×پتاسیم	4	1.1	747.8*	432.3	108.5	0.8	119049.7**	34.7	29.7*	58.8*	0.011
سال×آبیاری×نیتروژن×پتاسیم	4	1.07	566	539.2	77.8	0.4	7441.9	10.6*	1.9**	1.2	0.003**
خطای عامل پتاسیم	68	0.163	178.4	315.9	30.36	0.51	4474.8	0.024	0.018	2.6	0.00022
خطای کل	107	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ضریب تغییرات CV(%)		10.4	18.9	22.7	38.8	0.4	3.15	2.4	2.63	5.06	2.9

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد
* and ** significant at 5 and 1% probability levels, respectively

این اثر افزایشی از طریق کاهش رشد رویشی اضافی، افزایش رشد ریشه، افزایش رشد اندام هوایی، افزایش انتقال مجدد کربوهیدرات‌ها از ساقه در طول دوره رسیدگی، افزایش شاخص برداشت، افزایش عملکرد و افزایش کارایی‌های مصرف آب و نیتروژن حاصل می‌شود (Wang et al., 2016). طبق نتایج مطالعات پیشین، کود پتاسیم نیز می‌تواند سبب بهبود بهره‌وری مصرف آب شود بدین صورت که پتاسیم نقش مهمی در فرآیندهای فیزیولوژیک از قبیل فتوسنتز، انتقال مواد پرورده به مخازن، حفظ آماس، هدایت روزنه‌ای، تنظیم اسمزی، فعالیت آنزیمی، توسعه سلولی، خنثی‌سازی یون‌های دارای بار منفی غیر قابل انتشار و قطبی نمودن غشاء ایفاد می‌کند (Fanaei et al., 2009). در شرایط تنش آبی، تولید رادیکال‌های تولید اکسیژن در گیاهان به شدت تحریک می‌شود، نیاز به پتاسیم در شرایط تنش به نقش بازدارندگی پتاسیم در برابر تولید رادیکال‌های

فعال اکسیژن در طی فتوسنتز و اکسید شدن نسبت داد (Cakmak, 2005). در گیاه خردل وحشی (*Sinapis arvensis* L.) و کلزا (*Brassica napus* L.) مصرف کود پتاسیم، بهره‌وری مصرف آب را بهبود داد. مصرف ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم در این گیاهان عملکرد دانه را ۲۱ درصد و بهره‌وری مصرف آب را ۲۲ درصد نسبت به شاهد بهبود داد (Fanaei et al., 2009). کود پتاسیم سبب افزایش آبیگری کلونیدهای سیتوپلاسمی و افزایش درجه پراکندگی آن‌ها می‌شود. فراهمی کافی از کود پتاسیم به گیاه توانایی نگهداری آب بیش‌تر و مقاومت کردن در برابر تنش‌های موقت را می‌دهد (Mengel and Kirkby, 2001). در برنج گزارش شده است که در کاربرد توام کودهای نیتروژن و پتاسیم کارایی مصرف نیتروژن و بهره‌وری مصرف آب نسبت به شاهد بهبود پیدا می‌کند (Sarkar et al., 2018).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر رژیم آبیاری و کود نیتروژنی و پتاسیم بر عملکرد، اجزای عملکرد و برخی صفات برنج رقم گیلانه

Table 4- Mean comparison for interaction effects of irrigation regimes and nitrogen and potassium levels on grain yield, yield components and some traits of Gilaneh rice

دور آبیاری Irrigation interval (Day)	نیتروژن Nitrogen	پتاسیم Potassium	کارایی زراعی نیتروژن Physiologic nitrogen efficiency (kg. kg ⁻¹) 2017	کارایی زراعی نیتروژن Physiologic nitrogen efficiency (kg. kg ⁻¹) 2018	کارایی مصرف نیتروژن Nitrogen use efficiency (%) 2017	کارایی مصرف نیتروژن Nitrogen use efficiency (%) 2018	کارایی بازیافت نیتروژن Nitrogen uptake efficiency (%)	بهره‌وری مصرف آب Water use efficiency (kg.m ⁻²) 2017	بهره‌وری مصرف آب Water use efficiency (kg.m ⁻²) 2018	عملکرد شلتوک Grain yield (kg.ha ⁻¹)
0	0	0	0	0	0	0	0	0.156i	0.15q	1354.7lm
0	60	0	8.52h	8.6gh	16.7g	16.9g	32.3d	0.239g	0.237o	3343.2f
0	120	0	7.24h	7.8hi	6.9j	6.9j	11.7j	0.294g	0.29m	3295.3d
0	0	80	0	0	0	0	0	0.401ef	0.403k	2080.6k
0	60	80	34.7c	30.6c	31.8c	31.7c	59.3b	0.463e	0.457hi	4022.9de
0	120	80	17.9de	19.1d	22.9d	23.2d	30.7de	0.56d	0.521fg	5198.3a
0	0	160	0	0	0	0	0	0.476e	0.456ij	2559.3hi
0	60	160	46.03a	45.7a	43.8a	44.5a	66.7a	0.597d	0.586de	4583.5b
0	120	160	18.9d	19.2d	18.6f	18.5f	26.5f	0.525de	0.534f	4601.2bc
10	0	0	0	0	0	0	0	0.169i	0.165q	887.3o
10	60	0	5.6k	5.9j	4.3k	3.86k	17.6i	0.238h	0.227op	1848.8l
10	120	0	6.34k	9.6g	3.4k	3.44k	12.8j	0.268gh	0.274mn	3442.1f
10	0	80	0	0	0	0	0	0.483h	0.321l	1267.5mn
10	60	80	19.55d	19.3d	20.17e	20.6e	31.9d	0.576d	0.486h	3596.2h
10	120	80	14.8f	15.3e	14.6h	15.3h	24.3gh	0.628bc	0.637bc	4065.2d
10	0	160	0	0	0	0	0	0.647b	0.659b	1429.4l
10	60	160	37.5b	38.6b	36.2b	38.7b	37c	0.764a	0.775a	3343.2f
10	120	160	14.07fg	13.3ef	11.4i	10.25i	24.7g	0.616d	0.587d	3278.2fg

حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

Means with the same letter are not significantly different at p-value 5%.

نتیجه‌گیری

عدم مصرف دو نوع کود پتاسیم و نیتروژن، کم‌ترین عملکرد شلتوک به‌دست آمد در صورتی که با فصل کم‌آبی مواجه باشیم مصرف ۸۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن در شرایط ۱۰ روزیکبار، بالاترین عملکرد شلتوک (۴۰۶۵ کیلوگرم در

مصرف ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و ۸۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم علاوه بر بهینه‌سازی مصرف کود، سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم گیلانه شد. دور آبیاری ۱۰ روز و

هکتار) را ثبت کرد. در شرایط غرقاب و آبیاری ۱۰ روز یکبار میزان مصرف کود شیمیایی نیتروژن و پتاسیم به ترتیب ۱۲۰ و ۸۰ کیلوگرم هکتار) را ثبت کرد. در شرایط غرقاب و آبیاری ۱۰ روز یکبار میزان مصرف کود شیمیایی نیتروژن و پتاسیم به ترتیب ۱۲۰ و ۸۰ کیلوگرم هکتار) را ثبت کرد. در شرایط غرقاب و آبیاری ۱۰ روز یکبار میزان مصرف کود شیمیایی نیتروژن و پتاسیم به ترتیب ۱۲۰ و ۸۰ کیلوگرم هکتار) را ثبت کرد.

References

1. Akhgary, H. 2004. Rice; Agronomy, Ratooning, Nutrition. Published: Islamic Azad University of Rasht. (In Persian).
2. Alhassan, I., and Saddiqe. A. M. 2016. Effects of irrigation frequency and nitrogen fertilizer application on yield and water use efficiency of lowland rice (*Oryza sativa* L.) in Northeastern Nigeria. MAYFEB Journal of Agricultural Science 4: 20-27.
3. Alibakhshi, E., and Mirzakhani, M. 2016. Response of growth criteria, yield and physiologic efficiency and nitrogen appear recovery of flint corn to Simultaneous cropping of legumes and different levels of urea. Journal of Crop Production 9 (2): 75-92.
4. Allahgholipour, M., Kavousi, M., Majidi, F., Yazdani, M. R., Sharafi, N., and ShafieSabet, H. 2018. Gilaneh, A new rice cultivar with origin of Iranian landrace Varieties. Research Achievements for Field and Horticulture Crops 7 (2): 277-289. (in Persian). DOI: 10.22092/RAFHC.2019.107933.1045.
5. Ashouri, M. 2012. The Effect of Water Saving Irrigation and Nitrogen Fertilizer on Rice Production in Paddy Fields of Iran. International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics 2 (1): 56-59.
6. Bagheri, R. H., Mobasser, R., Ghanbari-Malidarreh, A., and Dastan, S. 2011. Effect of Seedling Age and Potassium Rates on Morphological Traits Related-Lodging, Yield and Yield Components of Rice (*Oryza sativa* L.) In Iran. American-Eurasian. Journal Agriculture and Environmental Science 11 (2): 261-268. (in Persian).
7. Bouman, B. A. M., Peng, S., Castaneda, A. R., and Visperas. R. M. 2005. Yield and water use of irrigated tropical aerobic rice systems. Agricultural Water Management 74: 87-105. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.11.007>.
8. Bouman, B. A. M and Tuong, T. P. 2001. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. Agricultural Water Management 49: 11-30. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(00\)00128-1](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(00)00128-1)
9. Cakmak, I. 2005. Kalleviates detrimental effects of abiotic stresses in plants. Journal Plant Nutrition 168: 521-530. <https://doi.org/10.1002/jpln.200420485>.
10. Carmelita, M., Alberto, R., Wassmann, R., Hirano, T., Miyata, A., Hatano, R., Kumar, A., Padre, A., and Amante. M. 2011. Comparisons of energy balance and evapotranspiration between flooded and aerobic rice fields in the Philippines. Agricultural Water Management 98: 1417-1430. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.04.011>.
11. De Datta, S. K., and Millelsen, D. S. 1985. Potasium nutrition of rice. In: Munson, R.D., summer, M.E., Bishop, W.D., Potassium in Agriculture. American society of agronomy, CSSA, SSSA, Madison, WI PP. 665-699.
12. Dobermann, A., and Fairhurst, T. 2000. Rice: Nutrient Disorders and Nutrient Management. IRRI and PPI &and PPIC, Makati City and Singapore.
13. Esfahani, M., Sadrzadeh, S. M., Kavousi, M., and Dabbagh Mohammadinasab, A. 2005. Study the effect of different levels of nitrogen and potassium fertilizers on yield, yield components and growth of rice c. v. Khazar. Iranian Journal of Crop Sciences 7 (3): 226-240. (in Persian).
14. Fanaei, H. R., Galavi, M., Kafi, M., Ghanbari Bonjar, A., and Shirani-Rad, H. 2009. Effect of potassium fertilizer and irrigation levels on grain yield and water use efficiency of rapeseed (*Brassica napus* L.) and Indian mustard (*Brassica juncea* L.) species. Iranian Journal of Crop Sciences 11 (3): 271-289. (in Persian).
15. FOSTAT, 2021. Available online at: <https://www.fao.org/faostat/en/#data>.
16. Fusheing, L. 2006. Potassium and Water Interaction, International Workshop on Soil Potassium and K Fertilizer Management. Guangxi University, Nanning, China Pp:1-32.
17. Ghasemi Minaei, A., Mobser, H. R., Madani, H., and Dastan, S. 2011. Results of silica and potassium application on morphological characteristics of loading Quantitative Yield of Tarom Hashemi Rice. New Finding in Agriculture 5 (4): 423-67435.
18. Guilan Meteorological Quarterly. 2019. Statistics 24 pp. (in Persian).
19. Htun, K. M. M., Thein, S. S., Toe, S. S., and Ngwe, K. K. 2017. Effects of different rates of potassium fertilizer on rice productivity with or without rice husk ash in Minbya soil. Journal of Agricultural Research 4 (1). 30-38.
20. Ju, X. T., Xing, G. X., Chen, X. P., Zhang, S. L., Zhang, L. J., Liu, X. J., Cui, Z. L., Yin, B., Christiea, P., Zhu, Z. L., and Zhang, F. S. 2009. Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems. Protection National Academic Science U. S. A. 106: 3041-3046. <https://doi.org/10.1073/pnas.0813417106>.
21. Kavousi, M., and Allahgholipour, M. 2017. Effect of Dividend and Nitrogen Fertilizer on Growth and Grain Yield of Two Rice Cultivars (*Oryza sativa* L.) (Gilaneh and Abji Boji). Iranian Journal of Crop Sciences 2 (19): 165-18.
22. Khosravi, Y., Dastan, S., Mobaser, H., and Nasri, M. 2011. Effects of Nitrogen Stress and Cycocel Application on Versus-Related Properties and Yield of Rice Grains in Tarom Dilmani Cultivar. Crop Production Research 3 (4): 409-419.
23. Liu, J., and Jared, D. 2005. China's environment in a globalizing world. Nature 435: 1178-1186. <https://doi.org/10.1038/4351179a>.

24. Mahajana, G. B. S. Chauhanb, J., Timsinab, P. P., Singha, P., and Singha, K. 2012. Crop performance and water- and nitrogen-use efficiencies in dry-seeded rice in response to irrigation and fertilizer amounts in northwest India. *Field Crops Research* 134: 59-70. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.04.011>.
25. Maleki, A., Fazel, S., Naseri, R., Rezaei, K., and Heydari, M. 2014. The Effect of Potassium and Zinc Sulfate Application on Grain Yield of Maize under Drought Stress Conditions *Adv. Environmental Biology*. 8 (4): 890893.
26. Matsuo, T., Kumazawa, K., Ishii, R., Ishihara, K., and Hirata, J. 1995. *Science of the rice plant*, Food and Agriculture Policy Research Center. Tokyo, Japan 2: 1240 Pp.
27. Mengel, K., and Kirkby, E. A. 2001. *Principles of plant nutritio*. Kluwer Academic Pub. Paper back, 849p.
28. Pandey, V and Shukla, A. 2015. Acclimation and Tolerance Strategies of Rice under Drought Stress. *Rice Science* 22 (4): 147-161. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2015.04.001>.
29. Patil, S. K., Singh, U., Singh, V. P., Mishra, V. N., Das, R. O., and Henao, J. 2001. Nitrogen dyanamics and crop growth on an Alfisol and Vertisol under a direct-seeded rainfed lowland rice-based system. *Field Crop Research* 70: 186-199. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(01\)00135-6](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00135-6).
30. Peng, S., Garcia, F. V., Laza, R. C., Sanico, A. L., Visperas, R. M., and Cassman, K. G. 1996. Increased nuse efficiency using a chlorophyll meter on high-yielding irrigated rice. *Field Crops Research* 47: 243-252. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(96\)00018-4](https://doi.org/10.1016/0378-4290(96)00018-4).
31. Prasad, B., and Prasad, J. 1997. Response of rice to potassium application in calcareous soils. *Journal of Potassium Research* 13: 50-57.
32. Priya, T. S. R., Nelson, A. R. L. E., Ravichandran, K., and Antony, U. 2019. Nutritional and functional properties of coloured rice varieties of South India: A review. *Journal of Ethnic Foods* 6: 1-11. <https://doi.org/10.1186/s42779-019-0017-3>.
33. Quampah, A., Wang, R. M., Shamsi, I. H., Jilani, G., Zhang, Q., Hua, S., and Xu, H. 2011. Improving water productivity by potassium application in various rice genotypes. *International Journal Agriculture Biology* 13: 9-17.
34. Rezaei, A. 2010. Investigation of the effects of silica and potassium in two planting arrangements on agronomic and morphological characteristics of Tarom Mahali cultivar. Master Thesis in Agriculture. Islamic Azad University (*Oryza stiva* L.) affiliated to Vers in rice of Ghaemshahr branch 102 Pp.
35. Rezaei Sokht-Abandani, A., Siadat, S. A., Pazoki, A., Lak, Sh., and Mojaddam, M. 2018. Effect of drought stress, different levels of nitrogen and potassium fertilizer on some physiological and agronomical traits of maize hybrid.12, 40: 40-52.
36. Sarkar, N., Uddipta, G., and Kumar, B. 2018. Effect of drip irrigation on yield and water use efficiency of summer rice cultivation in pots. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 7 (1): 37-40.
37. SAS. 2002. *The SAS system for Windows*. Release 9.0. SAS Inst., Cary, NC. US.
38. Singh, U., Ladha, J. K., Castillo, E. G., Punzalan, G., Tirol-Padre, A., and Duqueza, M. 1981. Genotypic variation in nitrogen use efficiency in medium-and log-duration rice. *Field Crops Research* 58: 35-53. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(98\)00084-7](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(98)00084-7).
39. Stone, L. F., and Moreira, J. A. A. 1996. Response of upland rice to ploughing depth, potassium fertilization, and soil water status. *Brasilia*. 31 (12): 885-895.
40. Tabbal, D. F., Bouman, B. A. M., Bhuiyan, S. L., Sibayan, E. B., and Sattar, M. A. 2002. On-farm strategies for reducing water input in irrigated rice; case studies in the Philippines. *Agricultural Water Management* 56: 93-112. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(02\)00007-0](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(02)00007-0).
41. Vennila, C., and Jayanthi, C. 2006. Effect of integrated nitrogen management on nitrogen use efficiency in wet seeded rice + daincha dual cropping system. *Madras Agricultural Journal* 93 (7-12): 274-277.
42. Wang, Zh. Zh., Beebout, W., Sarah, S., Zhang, H., Liu, L., Yang, J., and Zhang, J. 2016. Grain yield, water and nitrogen use efficiencies of rice as influenced by irrigation regimes and their interaction with nitrogen rates. *Field Crops Research* 193: 54-69. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.03.006>.
43. Wang, J., Lu, Y. P., Wang, J., Xu, R. X., Li, J., Hu, W., and Tian, X. H. 2018. Effects of elevated nitrogen application on nitrogen partitioning, plant growth, grain quality and key genes involved in glutamate biosynthesis among three rice genotypes. *Chilean Journal of Agricultural Research* 78 (2): 152-164. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392018000200152>.
44. Yoshida, S. 1981. *Fundamentals of rice crop science*. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines 269pp.
45. Zhang, C., and Kong, F. 2014. Isolation and identification of potassium-solubilizing bacteria from tobacco rhizospheric soil and their effect on tobacco plants, *Applied Soil Ecology* 8 (2): 18-25. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.05.002>.
46. Zhou, Q., Ju, Ch., Wang, Z., Zhang, H., Liu, L., Yang, J., and Zhang J. 2017. Grain yield and water use efficiency of super rice under soil water deficit and alternate wetting and drying irrigation. *Journal Integrative Agriculture* 16 (5): 1028-1043. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61506-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61506-X).

Contents

Research Articles

- Evaluation of Correlation Coefficient and Factor Analysis for Seed Yield, Some Phenological and Morphological Traits of Fenugreek (*Trigonella foenum-graceum*) Landraces in Drought Conditions** 121
H. R. Ehyae, M. Kafi, A. Nezami, M. H. Fotokian, M. Goldani
- The Effect of Nitrogen Fertilizer and Nitrogen Splitting on Yield and Nitrate Content of Potato Tubers** 137
A. H. Jalali
- Improving Yield, Yield Components and the Absorption of Nutrients of Wheat by Growth Stimulants under Normal Irrigation and Drought Stress** 147
M. Rajaie
- Improving the Nutrient Content, Physiological Indices and Grain Yield of Black seed (*Nigella sativa* L.) with the Application of Vermicomposting at Different planting Dates** 163
A. Bahramifar, M. R. Baziar
- Effect of Cropping System Management on Yield, Yield Components and Weed Diversity in Potato (*Solanum tuberosum* L.)** 179
H. R. Bahrevar, M. Jahan, P. Rezvani-Moghaddam
- Response of Sweet Basil (*Ocimum bacilicum* L.) to Different Nutritional Sources in Competition with Weeds** 197
E. Moafi, F. Zaefarian, V. Akbarpour, I. Mansouri
- Effect of Irrigation Interval and Nitrogen and Potassium Fertilizers on Yield, Yield Components and Some Traits of Gilaneh Rice** 217
Z. Rabiei, N. Mohammadian Roshan, S. M. Sadeghi, E. Amiri, H. R. Doroudian
- Effects of Silica and Zinc on the Quantity and Quality of Grain and Rapeseed Oil in Different Planting Dates** 229
M. Shahmardan, E. Rahimi Petroudi, A. Daneshmand, H. Mobasser

Iranian Journal of Field Crops Research

Ferdowsi University of Mashhad
Center of Excellence for Special Crops (CESC)

Vol. 20

No. 2

2022

Publisher	Ferdowsi University of Mashhad	
Managing	P. Rezvani Moghaddam (Agroecology)	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Editor- in-chief	H.R. Khazaei (Crop Physiology)	Prof., Ferdowsi University of Mashhad

Editorial Board

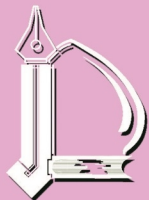
AghaAlikhani, M.	Weed-Crop Ecophysiology	Prof., Tarbiat Modares University, Tehran
Ehsanzadeh, P.	Plant Physiology	Prof., Isfahan University of Technology
Emam, Y.	Crop Physiology	Prof., Shiraz University
Bagheri, A.	Genetic and Plant Breeding	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Behdani, M.A.	Crop Ecology	Prof., University of Birjand
Banayan Awal, M.	Agro-Environment Modeling	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Jami Alahmadi, M.	Crop Physiology	Assoc. Prof., University of Birjand
Raei, Y.	Plant Eco physiology	Prof., Tabriz University
Rahimian-Mashhadi, H.	Crop Physiology	Prof., Tehran University
Zamani, Gh.R.	Crop Physiology	Assoc. Prof., University of Birjand
Zare- Feizabadi, A.	Crop Ecology	Prof., Agriculture and Natural Resources Research Center of Khorasan Razavi Province
Shahriari-Ahmadi, F.	Genetic and Plant Breeding	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Kafi, M.	Crop Physiology	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Nezami, A.	Crop Physiology	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Khazaei, H.R.	Crop Physiology	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Eyshi Rezaei, E.	Crop modeling	Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research: Müncheberg, Brandenburg, Germany
Lashakri, A.	Environmental Plant Physiology	(CIMMYT-Henan Collaborative Innovation Centre), Henan Agricultural University, Zhengzhou, China

Address: Iranian Journal of Field Crops Research Ferdowsi University of Mashhad Faculty of Agriculture
Mashhad, Iran

P. O. Box: 91775-1163

Email: cesc@um.ac.ir

Web Site: <https://jcesc.um.ac.ir>



Ferdowsi University
of Mashhad

Vol.20 No.2

2022

Iranian Journal of Field Crops Research

ISSN:2008-1472

Contents

Research Articles

- Evaluation of Correlation Coefficient and Factor Analysis for Seed Yield, Some Phenological and Morphological Traits of Fenugreek (*Trigonella foenum-graceum*) Landraces in Drought Conditions 121**
H. R. Ehyae, M. Kafi, A. Nezami, M. H. Fotokian, M. Goldani
- The Effect of Nitrogen Fertilizer and Nitrogen Splitting on Yield and Nitrate Content of Potato Tubers 137**
A. H. Jalali
- Improving Yield, Yield Components and the Absorption of Nutrients of Wheat by Growth Stimulants under Normal Irrigation and Drought Stress 147**
M. Rajaie
- Improving the Nutrient Content, Physiological Indices and Grain Yield of Black seed (*Nigella sativa* L.) with the Application of Vermicomposting at Different planting Dates 163**
A. Bahramifar, M. R. Baziar
- Effect of Cropping System Management on Yield, Yield Components and Weed Diversity in Potato (*Solanum tuberosum* L.) 179**
H. R. Bahrevar, M. Jahan, P. Rezvani-Moghaddam
- Response of Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.) to Different Nutritional Sources in Competition with Weeds 197**
E. Moafi, F. Zaefarian, V. Akbarpour, I. Mansouri
- Effect of Irrigation Interval and Nitrogen and Potassium Fertilizers on Yield, Yield Components and Some Traits of Gilaneh Rice 217**
Z. Rabiei, N. Mohammadian Roshan, S. M. Sadeghi, E. Amiri, H. R. Doroudian
- Effects of Silica and Zinc on the Quantity and Quality of Grain and Rapeseed Oil in Different Planting Dates 229**
M. Shahmardan, E. Rahimi Petroudi, A. Daneshmand, H. Mobasser