



جلد ۲۰ شماره ۱

سال ۱۴۰۱

(شماره پیاپی: ۶۵)

نشریه علمی

پژوهشهای زراعی ایران

شاپا: ۱۴۷۲-۲۰۰۸

عنوان مقالات

مقالات پژوهشی

تأثیر کم آبیاری بر درصد ماده خشک غده، عملکرد و کارآیی مصرف آب و برخی از ارقام سیب زمینی ۳
علیرضا نوری، احمد نظامی، محمد کافی، داود حسن پناه

تأثیر مقدار آب و کود پتاسیم بر عملکرد و کیفیت سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.)
در شرایط آبیاری زیر سطحی ۱۷
بهناز یوسفی، حمیدرضا خزاعی، مهدی پارسا

مقایسه اثرات زیست محیطی نظام های رایج و کم نهاده زعفران در استان خراسان رضوی با استفاده
از ارزیابی چرخه حیات LCA ۳۱
پرویز رضوانی مقدم، سرور خرم دل، سینا فرشچین

بررسی اثر کود نیتروژنه و سطوح آبیاری بر عملکرد و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی گندم تحت آبیاری قطره ای ۴۷
پرستو شوکتی، عادل سی و سه مرده، فرزاد حسین پناهی، پرویز فتحی

اثر آبیاری و مدیریت تغذیه بر عملکرد و اجزای عملکرد کینوا در شرایط بیرجند ۶۷
حسین طبعی، رضا برادران، محمد جواد ثقه الاسلامی، سید غلامرضا موسوی

مطالعه صفات رویشی و ترکیب های اسانس سه جمعیت گیاه دارویی کاکوتی کوهی
(*Ziziphora clinopodioides* Lam) در اصفهان ۸۳
لیلی صفائی، ابراهیم شریفی عاشورآبادی، داود امین آزر

اثر همزیستی قارچ مایکوریزا و کاربرد برگی اسیدهای آمینه بر برخی صفات رشدی و روغن
گیاه دارویی همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) ۹۴
مهدی طاهری اصغری

پاسخ های فیزیولوژیک گیاه سویا (DPX) به پیش تیمار بذر و محلول پاشی عصاره جلبک و کیفیت اولیه بذر ۱۰۷
صفیه عرب، مهدی برادران فیروزآبادی، احمد غلامی، مصطفی حیدری

نشریه پژوهشهای زراعی ایران

«نشریه علمی قطب علمی گیاهان زراعی ویژه»

با شماره ثبت ۱۲۴/۷۸۵۷ از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی و

۸۲/۵/۲۷

درجه علمی - پژوهشی شماره ۳/۱۱/۷۴۵۰۹ از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

۸۹/۱۰/۲۱

"بر اساس مصوبه وزارت عتف از سال ۱۳۹۸، کلیه نشریات دارای درجه "علمی-پژوهشی" به نشریه "علمی" تغییر نام یافتند."

سال ۱۴۰۱

شماره ۱

جلد ۲۰

دانشگاه فردوسی مشهد

صاحب امتیاز:

پرویز رضوانی مقدم

مدیر مسئول:

حمیدرضا خزاعی

سردبیر:

استاد-اگرواکولوژی (دانشگاه فردوسی مشهد)

استاد-فیزیولوژی گیاهان زراعی (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 لابنتز (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 ۹۱۷۷۵-۱۱۶۳

پست الکترونیک: cesc@um.ac.ir

مقالات این شماره در سایت <https://jcesc.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)



مندرجات

مقالات پژوهشی

- 3 تاثیر کم آبیاری بر درصد ماده خشک غده، عملکرد و کارآیی مصرف آب و برخی از ارقام سیب زمینی
علیرضا نوری، احمد نظامی، محمد کافی، داود حسن پناه
- 17 تاثیر مقدار آب و کود پتاسیم بر عملکرد و کیفیت سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در شرایط آبیاری زیر سطحی
بهناز یوسفی، حمیدرضا خزاعی، مهدی پارسا
- 31 مقایسه اثرات زیست محیطی نظام های رایج و کم نهاده زعفران در استان خراسان رضوی با استفاده از ارزیابی چرخه حیات LCA
پرویز رضوانی مقدم، سرور خرم دل، سینا فرشچین
- 47 بررسی اثر کود نیتروژنه و سطوح آبیاری بر عملکرد و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی گندم تحت آبیاری قطره ای
پرستو شوکی، عادل سی و سه مرده، فرزاد حسین پناهی، پرویز فتحی
- 67 اثر آبیاری و مدیریت تغذیه بر عملکرد و اجزای عملکرد کینوا در شرایط بیرجند
حسین طبیعی، رضا برادران، محمد جواد ثقه الاسلامی، سید غلامرضا موسوی
- 83 مطالعه صفات رویشی و ترکیب های اسانس سه جمعیت گیاه دارویی کاکوتی کوهی (*Ziziphora clinopodioides* Lam) در
اصفهان
لیلی صفائی، ابراهیم شریفی عاشورآبادی، داود امین آزر
- 94 اثر همزیستی قارچ مایکوریزا و کاربرد برگی اسیدهای آمینه بر برخی صفات رشدی و روغن گیاه دارویی همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.)
مهدی طاهری اصغری
- 107 پاسخ های فیزیولوژیک گیاه سویا (DPX) به پیش تیمار بذر و محلول پاشی عصاره جلبک و کیفیت اولیه بذر
صفیه عرب، مهدی برادران فیروزآبادی، احمد غلامی، مصطفی حیدری



Effect of Deficit Irrigation on Water Use Efficiency and Tuber Dry Matter of Potato Cultivars

A. Nouri¹, A. Nezami^{2*}, M. Kafi², D. Hassanpanah³

Received: 08-11-2016
Revised: 03-01-2017
Accepted: 31-01-2017

How to cite this article:

Nouri, A., Nezami, A., Kafi, M., and Hassanpanah, D. 2022. Effect of Deficit Irrigation on Water Use Efficiency and Tuber Dry Matter of Potato Cultivars. Iranian Journal of Field Crops Research 20 (1): 1-13. (in Persian with English abstract).
DOI: [10.22067/gsc.v19i1.60189](https://doi.org/10.22067/gsc.v19i1.60189).

Introduction

Potato ranks the first with respect to the amount of energy production per unit area. It is cultivated in about 19.5 million hectares throughout the world and its annual production is about 375 million tons. Iran ranks the third in Asia and 12th in the world in potato production and produces around 4.5 million tons of potato annually. Potato is a sensitive crop to water deficiency and its water requirement is higher compared to many other crops. Due to ever decreasing of water available for agriculture sector and reduced precipitations in recent years deficit irrigation, which results to more efficient use of available water, can be considered as a clever water management strategy in potato production. In this study the effect of deficit irrigation on water use efficiency (WUE) and percent tuber dry matter of 10 potato cultivars were investigated to identify the best performed cultivar (s) under this condition.

Materials and Methods

A two years study was conducted in a split plot experiment based on complete block design with three replications in Ardabil in 2013 and 2014. The main plot was three levels of irrigation (complete irrigation and irrigation with 80% and 60% of required water) and the subplot consisted of 10 potato cultivars including: Khavaran, Savalan, Luca, Satina, Santa, Marfona, Ceasar, Agria, Aula and Draga. Each plot consisted of 6 rows of 4.5 m long (27 m²). Required water conveyed to the plots through tape line equipped with a measurer gauge. At harvest 7.5 m² of each plot (excluding the borders) was hand harvested and transferred to the laboratory, where marketable tubers (tubers with at least 35 mm or more in size) were separated and weighted and data were transformed to ton.ha⁻¹. To determine percent dry matter of tubers, a 300 g tuber sample was taken from each plot, chopped to one cm pieces and oven dried at 75°C for 48 hours until a constant weight was obtained and then the dry matter was measured.

Results and Discussion

The analysis of variance result of WUE revealed that there were significant differences between years, irrigation treatments and cultivars. Also, the interactions of irrigation × year and irrigation × cultivar were significant. Water use efficiency were higher in both mild and severe water deficit conditions compared to complete irrigation and there were significant differences among potato cultivars in all three irrigation regimes. Under severe water deficit condition the highest and the lowest WUE were found in cultivars Satina and Marfona respectively (5.88 and 2.24 kg.m⁻³) and the lowest and the highest percent reduction of WUE were also observed in cultivars Satina (+50%) and Marfona (-29%), respectively. The effect of water treatment on percent tuber dry matter was not

1- PhD student in Crop Physiology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

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

3- Associate Professor, Horticulture Crops Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research Centre, AREEO, Ardabil, Iran

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

DOI: [10.22067/gsc.v19i1.60189](https://doi.org/10.22067/gsc.v19i1.60189)

significant. However, significant differences were observed among the potato cultivars in this regard. The highest and the lowest mean percent tuber dry matter were observed in cultivars Savalan (23.6%) and Draga (18%), respectively.

Conclusion

Based on the results obtained in this study it can be concluded that deficit irrigation results in increased WUE especially in cultivar Satina, but has no effect on percent tuber dry matter. Therefore, in regions with severe water limitation cultivar Satina, that has the highest WUE, can be recommended. In regions where enough water is available and higher dry matter is demanded specially by processing industries cultivar Savalan is recommended based on its higher dry matter.

Keywords: Drought stress, Satina, Savalan

مقاله پژوهشی

جلد ۲۰، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱، ص ۱۳-۱

تاثیر کم آبیاری بر درصد ماده خشک غده، عملکرد و کارایی مصرف آب و برخی از ارقام

سیب زمینی

علیرضا نوری^۱، احمد نظامی^{۲*}، محمد کافی^۲، داود حسن پناه^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۸/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۱۲

چکیده

سیب زمینی جزو محصولات زراعی با نیاز آبی بالا بوده و به تنش رطوبتی حساس است. کم آبیاری یک راهکار سودمند مدیریت آب در شرایط محدودیت آب آبیاری محسوب می شود. در این تحقیق تاثیر تیمارهای کم آبیاری بر کارایی مصرف آب و درصد ماده خشک غده ۱۰ رقم سیب زمینی در یک آزمایش کرت های خرد شده بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی و در دو فصل زراعی بررسی شد. عامل اصلی سه تیمار آبیاری و عامل فرعی ۱۰ رقم سیب زمینی بودند. در تنش آبی ملایم بیشترین و کمترین مقدار عملکرد غده قابل فروش به ترتیب در ارقام خاوران و دراگا و کمترین درصد کاهش نسبت به آبیاری کامل در رقم کایزر به دست آمد. در تنش آبی شدید بیشترین و کمترین مقدار عملکرد غده قابل فروش به ترتیب در ارقام ساتینا و دراگا و کمترین درصد در رقم کایزر به دست آمد. کارایی مصرف آب در هر دو شرایط تیمار کم آبیاری بیشتر از شرایط آبیاری کامل بود. بین ارقام مختلف سیب زمینی از نظر کارایی مصرف آب در هر سه تیمار آبیاری تفاوت های معنی داری مشاهده گردید. بیشترین و کمترین کارایی مصرف آب در تنش آبی شدید در ارقام ساتینا و مارفونا (به ترتیب ۵/۸۸ و ۲/۲۴ کیلوگرم بر متر مکعب آب) به دست آمد. بیشترین و کمترین ماده خشک به ترتیب در ارقام ساوالان (۲۳/۶۶ درصد) و دراگا (۱۸ درصد) حاصل گردید. بنابراین در مواقعی که کمبود آب وجود دارد استفاده از رقم ساتینا مقرون به صرفه تر بوده و در مواردی که آب کافی در دسترس بوده و تولید محصول با درصد بالایی از ماده خشک غده مورد نظر باشد کشت رقم ساوالان توصیه می شود.

واژه های کلیدی: تنش خشکی، رقم ساتینا، رقم ساوالان

مقدمه

سایر محصولات زراعی به دلیل سطحی بودن ریشه های آن، که بیشتر در ۳۰ تا ۵۰ سانتی متری خاک پراکنده شده اند (Allen and Onder et al., 2005, Scott, 1992)، به تنش رطوبتی حساس بوده و نیاز آبی بالایی دارد (Foti et al., 1995). با وجود این در میان ارقام سیب زمینی از نظر عمق ریشه تفاوت وجود دارد و عمق ریشه در ارقام متحمل به تنش کم آبی بیشتر از ارقام حساس است (Shi et al., 2015).

بر اساس نتایج یک تحقیق وقوع کم آبی در مرحله شروع تشکیل غده میانگین اندازه و وزن مخصوص غده را کاهش داد ولی هیچ تاثیری بر روی تعداد غده در بوته نداشت (Miller and Martin, 1987). مرحله رشد استولون ها و شروع تشکیل غده ها نیز نسبت به تنش خشکی حساس بوده و کمبود رطوبت در این مرحله باعث کاهش تعداد غده در بوته می شود، اما بعد از تشکیل و تثبیت تعداد غده تیمارهای آبیاری تاثیری بر تعداد غده ها نداشته و عمده تاثیر تنش خشکی بر اندازه متوسط و وزن غده ها بوده است (Minhas and Bansal, 1991). پس از تشکیل شدن غده ها وقوع حتی یک دوره

سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.)، از نظر میزان تولید، سطح زیر کشت و تامین غذای مردم جهان در میان محصولات زراعی پس از گندم (*Triticum aestivum* L.)، برنج (*Oryza sativa* L.) و ذرت (*Zea mays* L.) در رتبه چهارم قرار دارد و ایران از نظر تولید سیب زمینی در دنیا رتبه دوازدهم و در آسیا پس از چین و هند جایگاه سوم را به خود اختصاص داده است (FAO, 2015). سیب زمینی جزو محصولات زراعی با نیاز آبی بالا محسوب می شود و در مقایسه با

۱- دانش آموخته دکتری در رشته فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

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

۳- دانشیار، بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران
(Email: nezami@um.ac.ir)

DOI: 10.22067/gsc.v19i1.60189

که در هر حال کم‌آبیاری حتی در این منطقه با بارش‌های نسبتاً خوب باعث کاهش عملکرد و اجزای عملکرد سیب‌زمینی می‌شود.

در یک تحقیق با به تاخیر انداختن آبیاری به مدت ۳۳ روز پس از سبز شدن محصول (پس از ۲۴۰ میلی‌متر تبخیر از تحت تبخیر کلاس A) کارایی مصرف آب افزایش یافت (Mortazavibak et al., 2008). در تحقیق دیگری نیز کم‌آبیاری باعث افزایش کارایی مصرف آب گردید و علی‌رغم این که کم‌آبیاری باعث کاهش عملکرد محصول سیب‌زمینی در واحد سطح شد، ولی در عین حال سبب افزایش کارایی مصرف آب، افزایش سود خالص و کاهش هزینه‌های تولید شد (Shayan Nejad and Moharrery, 2010). در مطالعات دیگر نیز بیشترین کارایی مصرف آب سیب‌زمینی در تنش آبی ملایم حاصل شد و بین ارقام سیب‌زمینی از نظر کارایی مصرف آب تفاوت معنی‌داری وجود داشت (Ghadami Firouzabadi and Parvizi, 2010; Eskandari et al., 2011b). تحقیقات متعدد دیگر نیز نشان داده‌اند که کم‌آبیاری باعث افزایش کارایی مصرف آب در سیب‌زمینی می‌شود (Hassan et al., 2002; Fulai et al., 2006). برعکس، تعدادی از محققان نتیجه گرفته‌اند که با کاهش سطح تامین آب آبیاری کارایی مصرف آب کاهش می‌یابد و افزایش میزان آبیاری به افزایش کارایی مصرف آب منجر می‌شود (van; Baghani, 2009; Loon, 1981). البته علاوه از مقدار آب عوامل دیگری نیز مانند سیستم آبیاری (Heydari, 2011; Erdem et al., 2006)، فصل کشت (Nagaz et al., 2007)، اقلیم منطقه (Wright and Stark, 2001; Fabeiro et al., 1990) و نوع و مقدار کود مصرفی (Sobhani and Hamidi, 2013) نیز روی کارایی مصرف آب سیب‌زمینی تاثیر دارند. لازم به ذکر است که در بسیاری از موارد قابلیت تحمل کمبود شدید آب با عملکرد رابطه منفی دارد و ارقامی که نسبت به کمبود شدید آب سازگاری پیدا کرده‌اند در مواقع تامین بودن آب کافی نمی‌توانند با کارایی بیشتری از آن استفاده نمایند (Kafi et al., 2012).

برخی تحقیقات نشان داده‌اند که کم‌آبیاری سبب کاهش درصد ماده خشک غده سیب‌زمینی می‌شود (Ghadami Firouzabadi and Parvizi, 2010; Ayas and Korukcu, 2010; Doorenbos and Pruitt, 1977). از طرف دیگر برخی محققان نتیجه گرفته‌اند که کم‌آبیاری هیچ‌گونه تاثیر معنی‌داری بر درصد ماده خشک غده ارقام سیب‌زمینی ندارد، ولی از نظر درصد ماده خشک غده بین ارقام سیب‌زمینی تفاوت معنی‌داری مشاهده نموده‌اند (Eskandari et al., 2011a; Sharma et al., 2014).

در طی ۳۰ سال گذشته تعداد زیادی از ارقام سیب‌زمینی برای کشت و کار در کشور معرفی شده و کشت بعضی از آن‌ها در یک دوره زمانی نسبتاً طولانی به صورتی گسترده متداول شده ولی به تدریج و با معرفی ارقام جدید سطح زیر کشت آن‌ها کاهش یافته است. در این

کوتاه کم‌آبی می‌تواند به کاهش عملکرد غده (Hassanpanah, 2010; Eskandari et al., 2011a; Shi et al., 2015) کیفیت (Ayas and Korukcu, 2010; Ta et al., 2003) و کاهش اندازه غده و عملکرد غده قابل فروش (Ferreira and Goncalves, 2007; Cabello et al., 2012; Alva et al., 2012) مرحله شروع تشکیل غده، که غالباً با مرحله گلدهی گیاه مصادف است، حساس‌ترین مرحله رشدی سیب‌زمینی به کم‌آبی می‌باشد (van Loon, 1981; Alizadeh, 2010) و وقوع تنش خشکی در این مرحله، تعداد غده در بوته را کاهش می‌دهد (Mackerron and Jefferies, 1986). از سوی دیگر اعمال تنش خشکی محدود در مرحله شروع تشکیل غده، باعث تسریع رشد استولون و تحریک آغازش غده می‌شود (Haverkort et al., 1990)، اما اگر تنش خشکی قبل از شروع تشکیل غده انجام گیرد، تعداد غده‌های تولید شده به شدت کاهش می‌یابد (Haverkort and Mackerron, 1995). تنش خشکی به‌ویژه در مرحله تشکیل و رشد غده بیشترین تاثیر منفی را در عملکرد سیب‌زمینی ایجاد می‌کند (Mackerron and Jefferies, 1994; Yuan et al., 2003). با توجه به محدودیت نزولات جوی، کمبود آب یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رسیدن به عملکردهای مطلوب در تولید سیب‌زمینی در کشور محسوب می‌شود، لذا به کار بستن روش مدیریتی کم‌آبیاری می‌تواند در شرایط خاصی بسیار مفید و موثر واقع شود. کم‌آبیاری یا صرفه‌جویی در مصرف آب یک راهکار سودمند مدیریت آب در شرایط محدودیت آب آبیاری است (Ati et al., 2012). با این‌که با اعمال روش کم‌آبیاری عملکرد محصول اندکی کاهش می‌یابد، ولی در مقابل کارایی مصرف آب و سود خالص فعالیت کشاورزی افزایش پیدا می‌کند. تحقیقات متعدد نشان داده‌اند که از نظر کارایی مصرف آب بین ارقام مختلف سیب‌زمینی تفاوت وجود دارد. همچنین معلوم شده است که کارایی مصرف آب سیب‌زمینی تحت تاثیر میزان آب آبیاری، سیستم آبیاری، حاصلخیزی خاک، آب و هوای منطقه و غیره تغییر می‌کند. در یک تحقیق نشان داده شد که کارایی مصرف آب سیب‌زمینی در حدود پنج کیلوگرم غده تر به ازای هر مترمکعب آب می‌باشد (Iwama and Yamaguchi, 2006).

برای به‌دست آوردن عملکرد مطلوب در سیب‌زمینی محتوی آب خاک نباید از ۵۰ درصد ماکزیمم آب قابل دسترس در ناحیه ریشه کمتر باشد. اوندرو و همکاران (Onder et al., 2005) با بررسی اثر کاهش آبیاری بر عملکرد سیب‌زمینی در منطقه مدیترانه‌ای ترکیه نتیجه گرفتند که حداکثر کم‌آبیاری قابل قبول در این منطقه، کاهش میزان آبیاری در حد ۳۳ درصد آبیاری متداول است. آن‌ها نشان دادند

میلی موس می باشد. اسیدیته (pH) اراضی منطقه یاد شده، حدود ۷/۱ بوده و از نظر زهکشی مناسب و سطح سفره‌ی آب زیرزمینی آن خیلی عمیق است. بر اساس نتایج آنالیز خاک مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم، ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیوم و ۲۵۰ در هکتار کود اوره به خاک داده شد. کود اوره در دو مرحله کاشت و خاک‌دهی اول پای بوته مورد استفاده قرار گرفت. غده‌های سیب‌زمینی قبل از کاشت با قارچ‌کش کاربوکسین تیرام ضد عفونی گردید. در طول فصل رویشی در مواقع لزوم وجین علف‌های هرز به صورت دستی در چندین نوبت انجام گرفت و برای کنترل خسارت سوسک کلرادوی سیب‌زمینی در یک مرحله و هنگامی که بیش از ۵۰ درصد تخم‌های نسل اول حشره به لارو تبدیل شده بودند مزرعه آزمایشی با حشره‌کش کونفیدور به نسبت ۲۵۰ میلی‌لیتر در هکتار طبق عرف محل سم‌پاشی شد. ضمناً به منظور پیشگیری از بیماری سفیدک دروغی (سوختگی دیررس)، مزرعه در یک نوبت در اواسط خرداد ماه با استفاده از قارچ‌کش مانکوزب به مقدار یک کیلوگرم در هکتار سمپاشی گردید.

روش اعمال تیمارهای آبیاری

برای تعیین کارایی مصرف آب ارقام سیب‌زمینی، میزان آب مورد استفاده در هر نوبت آبیاری برای هر یک از سه تیمار آبیاری (حجم آب مورد استفاده در آبیاری کامل ۱۱۱۳۵ متر مکعب، در تنش ملایم آبی ۸۹۰۸ متر مکعب و در تنش آبی شدید ۶۶۸۱ متر مکعب بود) که توسط کنتور آب اندازه‌گیری می‌شد، یادداشت شده و در آخر فصل برداشت جمع مقادیر یادداشت‌برداری شده محاسبه گردید. ضمناً در هریک از سال‌های آزمایش مقدار بارندگی موثر مرتبط با فصل رشد از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک اردبیل واقع در چهار کیلومتری مزرعه آزمایشی تهیه شد (جدول ۱).

جایگزینی‌ها به موضوع واکنش ارقام به کمبود آب، که امروزه چالش اصلی تداوم تولید سیب‌زمینی در کشور محسوب می‌شود، توجه کمتری مبذول شده است (Hassanpanah et al., 2008). لذا هدف این تحقیق بررسی تاثیر کم آبیاری بر عملکرد غده قابل فروش، کارایی مصرف آب و درصد ماده خشک غده ۱۰ رقم از ارقام تجاری سیب‌زمینی و شناسایی رقم (ارقام) با عملکرد غده قابل فروش بالا، کارایی مصرف آب بالا و درصد ماده خشک غده بیشتر بود.

مواد و روش‌ها

روش اجرای آزمایش

این پژوهش در سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل اجرا شد. آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی و در سه تکرار انجام گرفت. عامل اصلی سه سطح آبیاری (تامین ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی) و عامل فرعی ۱۰ رقم سیب‌زمینی (خاوران، ساوالان، لوکا، سائینا، سائنه، مارفونا، کایزر، آگریا، آئولا و دراگا) بودند. علت انتخاب ارقام یاد شده بازگشت به نتایج آزمایشات قبلی، پر محصولی و کیفیت مناسب آن‌ها نسبت به سایر ارقام کاشت شده در منطقه بود. هر کرت آزمایشی شامل شش ردیف به طول ۴/۵ متر بود. فاصله ردیف‌های کاشت از یکدیگر ۷۵ سانتی‌متر و فاصله غده‌ها روی ردیف‌ها ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. فاصله کرت‌ها از یکدیگر یک متر و بین بلوک‌ها دو متر به عنوان حاشیه در نظر گرفته شد. زمین محل اجرای آزمایش سال قبل (در هر دوسال آزمایش) زیرکشت گندم بود و پس از برداشت گندم، در فصل پاییز همان سال شخم عمیق زده شد و در اوایل بهار سال بعد پس از انجام شخم مجدد، کودپاشی و دیسک‌زنی انجام گرفت.

خاک اراضی این منطقه جزء خاک‌های لومی رسی بوده و از نظر مواد آلی فقیر و مقدار آن ۰/۹ درصد و هدایت الکتریکی آن یک

جدول ۱- آمار هواشناسی مربوط به فصل رویش سیب‌زمینی در دوره دوساله (۱۳۹۲ و ۱۳۹۳)
Table 1- Weather data for potato growing season during two year (2013 and 2014)

Table 1- Weather data for potato growing season during two year (2013 and 2014)											
ماه		تبخیر		ساعات آفتابی		بارندگی		رطوبت نسبی		دما	
(Month)		Evaporation (mm)		Sunshine hours		Rainfall (mm)		Relative humidity		Temperature (°C)	
		1392	1393	1392	1393	1392	1393	1392	1393	1392	1393
(May)	اردیبهشت	150.3	173.0	247.0	251.9	48.1	35.4	66.0	60.5	11.2	15.3
(June)	خرداد	168.5	203.3	280.1	283.5	57.3	24.5	67.0	61.0	16.1	17.8
(July)	تیر	214.5	238.1	346.9	287.4	0.70	12.2	63.7	67.0	17.5	19.4
(August)	مرداد	182.6	302.8	253.9	335.8	16.0	0.40	71.0	51.0	17.3	19.8
(September)	شهریور	200.4	231.6	275.0	274.4	6.40	0.60	68.0	65.0	18.3	18.8
(Total)	جمع	916.3	1148.8	1402.9	1433	128.5	73.1	-	-	-	-
(Average)	میانگین	-	-	-	-	-	-	67.1	60.9	16.1	18.2

آن‌ها تعیین شد. به‌منظور تعیین درصد ماده خشک غده، از غده‌های برداشت شده از هر کرت مقدار ۳۰۰ گرم غده به صورت تصادفی انتخاب و با استفاده از کارد آشپزخانه به قطعات مکعبی شکلی به اندازه تقریبی یک سانتی‌متر مکعب بریده شده و به مدت ۴۸ ساعت در داخل آون تنظیم شده در دمای ۷۵ درجه سلسیوس تا تثبیت وزن آن‌ها خشکانده شده و مجدداً توزین گردید. از طریق تقسیم کردن وزن خشک به وزن تر غده‌ها، درصد ماده خشک غده محاسبه گردید (Eskandari et al., 2011b).

محاسبات آماری

ابتدا بر روی داده‌های حاصل از اندازه‌گیری صفات مورد مطالعه آزمون نرمال بودن به روش اسمیرنوف-کولموگراف انجام شد، سپس با توجه به نرمال بودن کلیه داده‌ها تجزیه واریانس ساده اجرا و مقایسات میانگین صفات بر اساس آزمون توکی با نرم‌افزار آماری SAS (ver 9.1) انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سال؛ آبیاری؛ آبیاری × سال؛ رقم؛ آبیاری × رقم و رقم بر عملکرد غده قابل فروش و کارایی مصرف آب معنی‌دار بود (جدول ۲). در شرایط آبیاری کامل ارقام خاوران، ساوالان، لوکا و آتولا نسبت به بقیه ارقام بیشترین عملکرد غده قابل فروش و ارقام دراگا و کایزر کمترین عملکرد غده قابل فروش را تولید کردند (جدول ۳). در تنش آبی ملایم بیشترین عملکرد غده قابل فروش در رقم خاوران (۳۱/۲ تن در هکتار) و کمترین مقدار آن در رقم دراگا (۲۴/۷ تن در هکتار) به‌دست آمد، ولی از نظر درصد کاهش عملکرد غده قابل فروش نسبت به آبیاری کامل کمترین کاهش در رقم کایزر (۱- درصد) و بیشترین کاهش در دو رقم مارفونا و ساوالان (۱۸- درصد) مشاهده گردید. در شرایط تنش آبی شدید بیشترین و کمترین عملکرد غده قابل فروش به‌ترتیب در ارقام ساتینا (۲۸/۹ تن در هکتار) و دراگا (۱۹/۱ تن در هکتار) حاصل شد، ولی از نظر درصد کاهش عملکرد غده قابل فروش نسبت به آبیاری کامل کمترین و بیشترین مقدار کاهش به‌ترتیب در ارقام کایزر (۱۲- درصد) و آگیا (۳۴- درصد) به‌دست آمد (جدول ۳). بیشترین کارایی مصرف آب در رقم کایزر (۴/۲۸ کیلوگرم غده قابل فروش بر هر مترمکعب آب) و کمترین مقدار آن در رقم مارفونا (۳/۱۵ کیلوگرم غده قابل فروش بر هر مترمکعب آب) به‌دست آمد (جدول ۳). در شرایط تنش آبی ملایم، بیشترین کارایی مصرف آب در رقم ساتینا (۴/۱۲ کیلوگرم غده قابل فروش بر هر مترمکعب آب) و کمترین مقدار آن در رقم آگیا (۳۲/۲ کیلوگرم غده قابل فروش بر هر مترمکعب آب) حاصل شد. در شرایط تنش آبی شدید، بیشترین کارایی

آبیاری اولیه صورت کامل انجام گرفت. زمان شروع آبیاری اول در اردیبهیل برای گیاه سیب‌زمینی بر اساس عرف منطقه و کارهای تحقیقاتی انجام شده پس از ۳۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A در نظر گرفته شد (Hassanpanah et al., 2008)، که این زمان مصادف با حدود ۱۵ روز پس از کاشت غده‌ها بود. جهت تعیین میزان آب مورد نیاز در آبیاری کامل اولیه از رابطه (۱) استفاده شد:

(۱) مساحت کرت × ضریب گیاهی × مقدار تبخیر از تشتک = مقدار نیاز آبی گیاه

با توجه به مساحت کرت آزمایشی مقدار آب مورد نیاز در مراحل ابتدایی رشد (که ضریب گیاهی برابر با ۰/۵ است) به‌صورت زیر تعیین شد:

متر مکعب $0.285 = 0.5 \times 27 \times 0.3 \times 0.7$ = مقدار نیاز آبی گیاه برای هر کرت

بع‌از محاسبه نیاز آبی برای آبیاری کامل در دور اول، مقدار آن برای تیمار ۸۰ درصد و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه به ترتیب معادل ۰/۲۲۸ و ۰/۱۷۱ متر مکعب محاسبه گردید. آب مورد نیاز توسط لوله‌های پی وی سی و بعد از عبور از کنتور شمارش‌گر به هر کرت داده شد. آبیاری‌های بعدی با توجه به دور آبیاری انجام گرفت. بدین منظور به جای تنظیم دور آبیاری بر مبنای تقویم یا برنامه ثابت در طول فصل رشد، دور آبیاری از رابطه (۲) به‌دست آمد (Allen et al., 1998):

$$I = RAW / (ET_c - Re) \quad (2)$$

I: دور آبیاری برحسب روز

RAW: مقدار آب سهل‌الوصول در خاک برحسب میلی‌متر

ET_c: مقدار تبخیر و تعرق واقعی برحسب میلی‌متر در روز

Re: مقدار باران موثر برحسب میلی‌متر در روز

در آخر فصل رشد محصول، پس از برداشت کرت‌های آزمایشی و تعیین عملکرد غده در هکتار، کارایی مصرف آب ارقام مختلف سیب‌زمینی با استفاده از معادله (۳) محاسبه گردید (Zhang et al., 1999).

$$WUE = TY / TWU + Re \quad (3)$$

در این معادله WUE عبارت است از کارایی مصرف آب؛ TY عبارت است از عملکرد غده (تن/هکتار) و TWU عبارت است از کل آب مصرف شده توسط محصول (متر مکعب/هکتار) و Re عبارت است از باران موثر.

در پایان فصل رشد جهت تعیین عملکرد غده قابل فروش از هر کرت آزمایشی غده‌های گیاهان موجود در سطحی معادل ۷/۵ مترمربع (پس از حذف حاشیه‌ها) برداشت و به آزمایشگاه انتقال داده شد. سپس غده‌هایی که اندازه آن‌ها ۳۵ میلی‌متر یا بیشتر بود به‌عنوان غده‌های قابل فروش تفکیک (Shahnazari et al., 2008) و وزن

رشد سیبزمینی به دست آمد. در حالی که نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر نشان داد که از نظر کارایی مصرف آب بین تیمار آبیاری کامل و تنش آبی ملایم (آبیاری با ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه) تفاوت معنی-داری وجود ندارد، اما در تیمار تنش شدید آبی (آبیاری با ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه) کارایی مصرف آب به طور بسیار معنی داری نسبت به تیمار آبیاری نرمال و تنش آبی ملایم بیشتر بود (جدول ۳). دلیل احتمالی این مغایرت، تفاوت در شرایط اقلیمی دو منطقه می باشد. قبلاً حسن پناه (Hassanpanah, 2010) نیز نشان داده است که در منطقه اردبیل کارایی مصرف آب سیبزمینی در شرایط تنش شدید بیشتر از شرایط تنش ملایم و آبیاری کامل است.

حیدری پور و همکاران (Heydari Pour et al., 2014) نشان دادند که در سه محصول ذرت، چغندر قند و کنگد کاهش ۲۵ درصدی آب مورد نیاز، کارایی مصرف آب این محصولات زراعی را فقط ۱۶ درصد کاهش داد. لذا ایشان پیشنهاد کردند که کم آبیاری می تواند یکی از روش های بالا بردن کارایی مصرف آب در کشاورزی باشد. در تحقیق دیگر نتیجه گیری شد که متناسب با افزایش شدت تنش کم آبی کارایی مصرف آب در سیبزمینی کاهش پیدا می کند (Kashyap and Panda, 2001). بیوکما و واندرزاگ (Beukema and van der Zaag, 1990) نتیجه گرفتند که در تنش کم آبی ملایم، که باعث بسته شدن جزئی روزه های سیبزمینی می شود، میزان تبخیر و تعرق بیشتر از میزان فتوسنتز کاهش می یابد و در نتیجه کارایی مصرف آب افزایش پیدا می کند.

مصرف آب در رقم ساتینا (۸۵/۸) کیلوگرم غده قابل فروش بر هر مترمکعب آب) و کمترین مقدار آن در رقم مارفونا (۴۲/۲) کیلوگرم غده قابل فروش بر هر مترمکعب آب) به دست آمد. در تنش آبی ملایم کارایی مصرف آب اکثر ارقام تا حدودی افزایش یافت و بیشترین و کمترین افزایش نسبت به آبیاری کامل به ترتیب در ارقام آئولا (۱۵٪+) و آگریا و کایزر (۴٪-) مشاهده شد. در تنش آبی شدید نیز کارایی مصرف آب اکثر ارقام افزایش یافت و بیشترین و کمترین افزایش نسبت به آبیاری کامل به ترتیب در ارقام ساتینا (۵۰٪+) و مارفونا (۲۹٪-) حاصل شد (جدول ۳).

میانگین کارایی مصرف آب برای ۱۰ رقم سیبزمینی در شرایط آبیاری کامل، تنش آبی ملایم و تنش آبی شدید به ترتیب ۳/۳۸، ۳/۳۹ و ۳/۷۸ کیلوگرم بر متر مکعب محاسبه گردید که نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی دار بین آبیاری کامل و تنش آبی ملایم و تاثیر مثبت تنش آبی شدید روی کارایی مصرف آب ارقام سیبزمینی می باشد. در تحقیقات قدیمی فیروزآبادی و پرویزی (Ghadami Firouzabadi and Parvizi, 2010) و شایان نژاد و موهاری (Shayan Nejad and Moharrery, 2010) و بیشترین کارایی مصرف آب در تنش آبی ملایم (تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی سیبزمینی) حاصل گردید و در تحقیق بهراملو و ناصری (Bahramloo and Nasseri, 2010) و وزارت جهاد کشاورزی (Ministry of Agricultural Jihad, 2014) و نیز بیشترین کارایی مصرف آب در تنش آبی ملایم و در تیمار آبیاری با تاخیر دو هفته ای در مراحل اولیه

جدول ۲- منابع تغییر، درجه آزادی و میانگین مربعات عملکرد غده قابل فروش، کارایی مصرف آب و درصد ماده خشک ارقام سیبزمینی تحت تاثیر کم آبیاری

Table 2- Sources of variation, degrees of freedom and mean of squares of marketable tuber yields, water use efficiency and tuber dry matter of potato cultivars under water stress

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی d.f	عملکرد غده قابل فروش Marketable tuber yield	کارایی مصرف آب Water use efficiency	درصد ماده خشک Dry matter %
سال (Year)	1	4919**	92.7**	0.242 ^{ns}
اشتباه ۱ (Error 1)	4	86.06	2.31	0.70
آبیاری (Irrigation)	2	1093**	5.81**	0.949 ^{ns}
آبیاری × سال (Irrigation × Year)	2	79.86*	3.83**	0.009 ^{ns}
اشتباه ۲ (Error 2)	8	3.28	0.22	0.70
رقم (Cultivar)	9	111**	4.54**	44.94**
آبیاری × رقم (Irrigation × Cultivar)	18	114**	1.47**	0.16 ^{ns}
سال × رقم (Cultivar × Year)	9	172**	7.75**	0.93 ^{ns}
سال × آبیاری × رقم (Year × Irrigation × Cultivar)	18	16.32 ^{ns}	1.06 ^{ns}	0.41 ^{ns}
اشتباه ۳ (Error 3)	108	26.41	0.54	0.70
(C.V) ضریب تغییرات (درصد)		18.1	19.2	4.0

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد
ns, * and ** respectively insignificant and significant at 5% and 1%

جدول ۳- مقایسه میانگین کارایی مصرف آب ۱۰ رقم سیبزمینی در تیمارهای آبیاری
Table 3- Mean comparison of water use efficiency of 10 potato cultivars under water stress

تنش آبی Water Stress	Cultivars	عملکرد غده قابل فروش Marketable tuber yield	درصد تغییرات نسبت به آبیاری کامل Percent variation compared to normal irrigation	کارایی مصرف آب Water use efficiency	درصد تغییرات نسبت به آبیاری کامل Percent variation compared to normal irrigation
آبیاری با تامین ۱۰۰ درصد آب مورد نیاز Irrigation with 100% of required water	خاوران	37.0	a *	3.82	b-d
	ساوالان	36.3	ab	3.59	b-d
	لوکا	33.8	a-c	3.68	b-d
	ساتینا	33.8	a-c	3.91	b-d
	سانته	32.1	a-d	3.65	b-d
	مارفونا	31.8	a-d	3.15	cd
	کایزر	27.6	a-e	4.28	a-c
	آگریا	31.5	a-d	3.38	cd
	آئولا	34.6	a-c	3.39	cd
آبیاری با تامین ۸۰ درصد آب مورد نیاز Irrigation with 80% of required water	خاوران	31.2	a-d	3.84	b-d
	ساوالان	29.8	a-e	3.74	b-d
	لوکا	29.4	a-e	3.80	b-d
	ساتینا	29.6	a-e	4.12	bc
	سانته	28.7	a-e	3.61	b-d
	مارفونا	26.2	a-e	3.54	cd
	کایزر	27.3	a-e	4.10	bc
	آگریا	29.2	a-e	3.23	cd
	آئولا	29.5	a-e	3.91	b-d
آبیاری با تامین ۶۰ درصد آب مورد نیاز Irrigation with 60% of required water	خاوران	27.4	a-e	4.63	a-c
	ساوالان	24.5	b-e	5.24	ab
	لوکا	26.1	a-e	4.43	a-c
	ساتینا	28.9	a-e	5.88	a
	سانته	23.6	c-e	3.79	b-d
	مارفونا	21.0	de	2.24	d
	کایزر	24.1	c-e	4.46	a-c
	آگریا	20.9	de	3.22	cd
	آئولا	24.8	b-e	4.29	a-c
در اگا	در اگا	19.1	e	3.77	b-d

* در هرستون میانگین‌های با حروف مشابه، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

In each column the means with similar letters are not significantly different at the 5% level

علامت + معرف افزایش و علامت - معرف کاهش می‌باشد.

Symbols + and - are indications of increase and decrease

مرحله رشدی محصول نیز که تحت شرایط تنش قرار می‌گیرد مرتبط باشد (Cantore et al., 2014). البته علاوه بر میزان آبیاری نوع رقم نیز ممکن است روی کارایی مصرف آب در سیبزمینی موثر باشد. اخوان و همکاران (Akhavan et al., 2007) نشان دادند که بین ارقام سیبزمینی از نظر کارایی مصرف آب تفاوت وجود دارد و در

ولی برعکس، در شرایط تنش کم‌آبی بسیار شدید روزنه‌ها به‌طور کامل بسته می‌شوند که این موضوع سبب کاهش کارایی مصرف آب و عملکرد می‌شود. نتایج ضد و نقیض گزارش شده توسط محققان مختلف در رابطه با تاثیر تنش خشکی روی کارایی مصرف آب در سیبزمینی ممکن است با شدت تنش خشکی وارد شده به محصول و

آبیاری بر کارایی مصرف آب رقم سائنه معنی دار بود و بیشترین کارایی مصرف آب (۲/۲۴ کیلوگرم بر مترمکعب آب) در تیمار آبیاری با دو هفته تاخیر در مراحل اولیه رشد و کمترین مقدار آن (۱/۹۶ کیلوگرم بر مترمکعب آب) در آبیاری کامل به دست آمد. در تحقیق حاضر رقم سائنه در مقایسه با اکثر ارقام مورد مطالعه از کارایی مصرف آب کمتری برخوردار بود و مقدار آن در آبیاری کامل، تنش آبی ملایم و تنش آبی شدید به ترتیب برابر با ۳/۶۵، ۳/۶۱ و ۳/۷۹ کیلوگرم بر مترمکعب آب به دست آمد. البته این مقادیر به مقدار قابل توجهی بیشتر از یافته‌های بهراملو و ناصری (Bahramloo and Nasseri, 2010) است که دلیل احتمالی این تفاوت، شرایط اقلیمی و شرایط خاک متفاوت در این دو منطقه آزمایش می‌باشد.

عوامل دیگری مانند شرایط اقلیمی، ویژگی‌های خاک زراعی، عناصر غذایی خاک و نوع و میزان کود مصرفی نیز ممکن است روی کارایی مصرف آب در سیب‌زمینی موثر باشند. گزارش شده است که کارایی مصرف آب در سیب‌زمینی بر حسب منطقه، نوع مدیریت آبیاری و نوع و مقدار کودهای مصرف شده از ۵/۴ تا ۱۲ کیلوگرم بر مترمکعب آب متغیر بوده است (Wright and Stark, 1990). فابیرو و همکاران (Fabeiro et al., 2001) گزارش کردند که در شرایط اقلیمی اسپانیا کارایی مصرف آب سیب‌زمینی ۶/۳ تا ۸/۶ کیلوگرم بر مترمکعب آب بوده است. یونلو و همکاران (Unlu et al., 2006) کارایی مصرف آب سیب‌زمینی را در منطقه آناطولی ترکیه بسته به نوع سیستم آبیاری و میزان کود نیتروژن مصرف شده ۴/۸ تا ۷/۴ کیلوگرم بر مترمکعب آب گزارش نمودند. در منطقه نیمه‌خشک تِراکیه در کشور ترکیه با میانگین بارندگی سالانه ۵۷۵ میلی‌متر کارایی مصرف آب در سیستم آبیاری قطره‌ای به مراتب بیشتر از سیستم آبیاری نشتی بوده و بیشترین کارایی مصرف آب (۹/۴۷ کیلوگرم بر مترمکعب) در تیمار آبیاری قطره‌ای و پس از مصرف شدن ۳۰٪ آب قابل دسترس و کمترین مقدار آن (۴/۷۰ کیلوگرم بر مترمکعب) در تیمار آبیاری نشتی و پس از مصرف شدن ۵۰٪ آب قابل دسترس حاصل گردید (Erdem et al., 2006). آتی و همکاران (Ati et al., 2012) نیز نشان دادند که کارایی مصرف آب سیب‌زمینی در روش آبیاری قطره‌ای (تیپ) (۱۰/۲۶ کیلوگرم بر مترمکعب آب) به مراتب بیشتر از روش آبیاری نشتی (۵/۱۳ کیلوگرم بر مترمکعب آب) می‌باشد. اخوان و همکاران (Akhavan et al., 2007) نیز نتیجه گرفتند که در آبیاری قطره‌ای کارایی مصرف آب سیب‌زمینی به مراتب بیشتر (۴/۶۸ کیلوگرم بر متر مکعب) از روش آبیاری نواری (۳/۳۲ کیلوگرم بر مترمکعب) بود. در تحقیق ایشان رقم المرا در تیمار آبیاری با تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی سیب‌زمینی بیشترین کارایی مصرف آب را نشان داد، در حالی که در شرایط اعمال تنش آبی ملایم (آبیاری با تامین ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه) در دوره قبل از آغاز غده رقم آگria بیشترین کارایی مصرف آب (۳/۷ کیلوگرم بر مترمکعب) را داشت. ایشان نشان دادند که

میان ارقام مورد مطالعه ایشان رقم آگria بیشترین کارایی مصرف آب (۳/۷۱ کیلوگرم بر مترمکعب) را داشت. در تحقیق حاضر رقم متداول آگria از این نظر در سه تیمار آبیاری کامل، تنش آبی ملایم و تنش آبی شدید در میان ۱۰ رقم مورد مطالعه به ترتیب در جایگاه‌های هشتم، دهم و نهم قرار گرفت. قدمی فیروزآبادی و پرویزی (Ghadami Firouzabadi and Parvizi, 2010) اثر کم آبیاری را بر عملکرد و کارایی مصرف آب کلون‌های جدید سیب‌زمینی مورد بررسی قرار داده و دریافتند که بیشترین کارایی مصرف آب سیب‌زمینی در تنش آبی ملایم (آبیاری با ۸۰ درصد نیاز آبی) به دست می‌آید و از این نظر بین کلون‌های مورد مطالعه ایشان نیز تفاوت وجود داشت و کلون ۲-۳۹۷۰۸ (که در سال‌های بعد به نام رقم ساوالان نام‌گذاری گردید) با تولید ۴/۸۸ کیلوگرم غده بر مترمکعب آب بیشترین مقدار کارایی مصرف آب را نشان داد. در تحقیق حاضر نیز رقم ساوالان با تولید ۵/۲۴ کیلوگرم غده بر مترمکعب آب پس از رقم ساتینا در جایگاه دوم قرار گرفت. محققان دیگری (Eskandari et al., 2011b) نیز نشان داده‌اند که در میان ارقام سیب‌زمینی از نظر کارایی مصرف آب تفاوت معنی‌داری وجود دارد و بیشترین کارایی مصرف آب سیب‌زمینی در آبیاری با ۷۰ درصد نیاز آبی حاصل گردید. در میان سه رقم سیب‌زمینی مورد مطالعه ایشان در تیمار با تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، رقم المرا و در تیمار با تامین ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه رقم آگria بیشترین مقدار کارایی مصرف آب (۳/۷۱ کیلوگرم بر مترمکعب) را داشتند. حسن‌پناه (Hassanpanah, 2010) نیز در بررسی‌های خود دریافت که از نظر کارایی مصرف آب بین ارقام سیب‌زمینی تفاوت وجود دارد. طبق نتایج ایشان در شرایط آبیاری کامل و آبیاری با ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی به ترتیب ارقام ساوالان، کایزر و کینک بالاترین کارایی مصرف آب را نشان دادند و میانگین کارایی مصرف آب از ۶/۵۶ کیلوگرم بر مترمکعب آب در آبیاری کامل به ۷/۹ کیلوگرم بر مترمکعب آب در شرایط تنش آبی شدید افزایش یافت. با توجه به این که در تحقیق حاضر در میان ۱۰ رقم سیب‌زمینی مورد بررسی رقم ساتینا به‌ویژه در شرایط تنش شدید کم‌آبی بالاترین کارایی مصرف آب را نشان داد، بنابراین می‌توان از این رقم در شرایط محدود بودن شدید آب آبیاری استفاده نمود. یارنیا و همکاران (Yarnia et al., 2011) که تاثیر سطوح مختلف آبیاری را بر کارایی مصرف آب چهار رقم سیب‌زمینی آگria، گرانولا، کایزر و کارا بررسی کرده‌اند، دریافتند که در شرایط آبیاری کامل بیشترین کارایی مصرف آب در رقم آگria حاصل گردید، ولی در شرایط تامین ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه رقم آگria برتری نسبی خود را از دست داد و در این شرایط رقم کایزر از بالاترین کارایی مصرف آب برخوردار گردید. در تحقیق حاضر رقم کایزر در شرایط تنش آبی شدید از نظر کارایی مصرف آب در جایگاه چهارم قرار گرفت. بهراملو و ناصری (Bahramloo and Nasseri, 2010) نیز دریافتند که تاثیر تیمارهای

(Allen and Scott, 1992; De Wit, 1958) مطابقت داشته ولی با یافته‌های عده‌ای دیگر (Kashyap and Panda, 2001; Wang et al., 2007; Shayan Nejad and Moharrery, 2010) در تناقض می‌باشد که این تفاوت احتمالا از متفاوت بودن شرایط آزمایشی ناشی شده است.

اثر تیمارهای آبیاری روی درصد ماده خشک غده معنی‌دار نبود، ولی از این نظر بین ارقام سیب‌زمینی تفاوت معنی‌داری مشاهده گردید و بیشترین و کمترین ماده خشک به ترتیب در ارقام ساوالان (۲۳/۶۶ درصد) و دراگا (۱۸ درصد) به دست آمدند (جدول ۴).

جدول ۴- مقایسه میانگین درصد ماده خشک غده ارقام سیب‌زمینی

Table 4- Comparison of the means of percent tuber dry matter of potato cultivars

ارقام	خاوران	ساوالان	لوکا	ساتینا	سانته	مارفونا	کایزر	آگریا	آئولا	دراگا
میانگین	22.1 b*	23.6 a	21.6 bc	20.5 fe	21.1 cd	19.0 g	20.2 f	21.3 cd	21.0 df	18.0 h

* میانگین‌های با حروف مشابه در هر ردیف، بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.
In each column the means with similar letters are not significantly different at the 5% level

آزمایش‌های صحرایی و یا متفاوت بودن ارقام سیب‌زمینی مورد مطالعه در این تحقیقات می‌باشد و نشان‌دهنده لزوم انجام تحقیقات دقیق‌تر و جامع‌تر در این زمینه است.

درصد ماده خشک سیب‌زمینی به‌ویژه از نظر فراوری این محصول توسط صنایع فراوری اهمیت زیادی دارد و هر اندازه درصد ماده خشک یک محصول بیشتر باشد به همان نسبت در فرایند سرخ کردن و تهیه چپس مقدار کمتری روغن به مصرف می‌رسد و همین موضوع باعث افزایش سود کارخانه فراوری‌کننده سیب‌زمینی می‌شود و به همین دلیل کارخانه‌های فراوری‌کننده سیب‌زمینی به خرید محصول با درصد ماده خشک بالا تمایل بیشتری نشان می‌دهند. در تحقیق حاضر درصد ماده خشک رقم ساوالان به‌طور معنی‌داری بیشتر از بقیه ارقام مورد بررسی بود. بنابراین، توصیه می‌شود در مواقعی که بازار هدف صنایع فراوری سیب‌زمینی می‌باشد رقم ساوالان مورد کشت قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر رقم ساتینا از لحاظ عملکرد غده قابل فروش و کارایی مصرف آب در شرایط تنش کم‌آبیاری بهتر از ارقام دیگر ظاهر شد ولی از نظر درصد ماده خشک غده رقم ساوالان حائز رتبه اول گردید.

کارایی مصرف آب سیب‌زمینی در روش آبیاری قطره‌ای تیپ وسط پشته نسبت به آبیاری نواری ۱/۱ کیلوگرم بر مترمکعب بیشتر است. ناگاز و همکاران (Nagaz et al., 2007) گزارش کردند که کارایی مصرف آب سیب‌زمینی بر حسب فصل کشت (پاییزه، زمستانه و بهاره) متفاوت بوده و مقدار آن برای کشت‌های پاییزه، زمستانه و بهاره به ترتیب ۸-۹، ۸-۶ و ۱۱-۱۴ کیلوگرم بر مترمکعب آب بوده است و کمترین کارایی مصرف آب از آبیاری کامل روزانه حاصل شده است. نتایج به‌دست آمده از تحقیق حاضر با یافته‌های تعدادی از محققان (Badr et al., 2012; Mortazavibak et al., 2008) مطابقت دارد.

در مطالعاتی که در همدان روی تاثیر کم‌آبیاری روی درصد ماده خشک غده پنج کلون سیب‌زمینی انجام گرفت معلوم گردید که بیشترین میزان درصد ماده خشک غده در تیمار آبیاری با تامین ۶۰ درصد آب مورد نیاز حاصل می‌شود (Ghadami Firouzabadi and Parvizi, 2010). از طرف دیگر اسکندری و همکاران (Eskandari et al., 2011a) در تحقیقاتی که در مشهد انجام دادند نتیجه گرفتند که کم‌آبیاری هیچ‌گونه تاثیر معنی‌داری بر درصد ماده خشک غده ارقام سیب‌زمینی ندارد، ولی از نظر درصد ماده خشک غده بین سه رقم سیب‌زمینی مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری وجود داشت و در شرایط آبیاری کامل، رقم المرا بیشترین درصد ماده خشک غده را تولید کرد. از طرف دیگر آیاز و کوروکو (Ayas and Korukcu, 2010) نشان دادند که بین درصد ماده خشک غده با میزان آب مورد استفاده در آبیاری همبستگی مثبت و خطی وجود دارد، ولی شارما و همکاران (Sharma et al., 2014) در هندوستان نتیجه گرفتند که کم‌آبیاری بر درصد ماده خشک غده سیب‌زمینی بی‌تاثیر است. نتایج به‌دست آمده از تحقیقات حاضر در این زمینه با یافته‌های اسکندری و همکاران (Eskandari et al., 2011a) و شارما و همکاران (Sharma et al., 2014) همسو بوده ولی با نتایج تحقیقات آیاز و کوروکو (Ayas and Korukcu, 2010) و قدمی فیروزآبادی و پرویزی (Ghadami Firouzabadi and Parvizi, 2010) در تناقض می‌باشد. دلیل این تناقض احتمالا شرایط اقلیمی حاکم بر این

References

1. Akhavan, S., Mousavi, F., Mostsfazadehfard, M., and Ghadami Firouzabadi, A. 2007. Furrow and tape irrigation effects on potato yield and water use efficiency. Agriculture and Natural Resources Sciences and Technologies 11

- (41): 16-26. (in Persian with English abstract).
2. Alizadeh, A. 2010. Relations between Water, Soil and Plant. Astane Ghodse Razavi Press. (in Persian).
3. Allen, E. J., and Scott, R. K. 1992. Principles of agronomy and their application in the potato industry. PP 816-882. in: P. Harris ed. Potato Crop. Chapman and Hall Ltd, London. DOI: [10.1007/978-94-011-2340-2_17](https://doi.org/10.1007/978-94-011-2340-2_17).
4. Allen, R., Pereira, L. A., Raes, D., and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage, Paper No. 56. FAO, Rome, Italy.
5. Alva, A. K., Moore, A. D and Collins, H. P. 2012. Impact of deficit irrigation on tuber yield and quality of potato cultivars. Journal of Crop Improvement 26: 211-227. <https://doi.org/10.1080/15427528.2011.626891>.
6. Ati, A. S., Iyada, A. D., and Najim, S. M. 2012. Water use efficiency of potato (*Solanum tuberosum* L.) under different irrigation methods and potassium fertilizer rates. Annals of Agricultural Science 57: 99-103. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2012.08.002>.
7. Ayas, S., Korukcu, A., 2010. Water-yield relationships in deficit irrigated potato. Journal of Faculty of Agriculture, Uludag University 24: 23-36.
8. Badr, M. A. El-Tohamy, W. A. and Zaghloul, A. M. 2012. Yield and water use efficiency of potato grown under different irrigation and nitrogen levels in an arid region. Agricultural water Management 110: 9-15. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.03.008>.
9. Baghani, J. 2009. Effect of planting pattern and water quantity on potato cultivation with drip irrigation in Mashhad. Journal of Water and Soil 23 (1): 153-159. (in Persian with English abstract).
10. Bahramloo, R., Nasser, A., 2010. Effect of deficit irrigation on yield and water use efficiency of potato cultivar Sante. Iranian Journal of Irrigation and Drainage 1 (4): 90-98. (in Persian with English abstract).
11. Beukema, H. P., and van der Zaag, D. E. 1990. Introduction to Potato Production. PUDOC. Wageningen, the Netherlands.
12. Cabello, R., Monneveux, P., De Mendiburu, F., and Bonierbale, M. 2012. Comparison of yield based drought tolerance indices in improved varieties, genetic stocks and landraces of potato (*Solanum tuberosum* L.). Euphytica 193: 147-156. <https://doi.org/10.1007/s10681-013-0887-1>.
13. Cantore, V., Wassar, F., Yamac, S. S., Sellami, M. H., Albrizio, R., Stellacci, A. M., and Todorovic, M. 2014. Yield and water use efficiency of early potato grown under different irrigation regimes. International Journal of Plant Production 8: 409-428.
14. De Wit, C. T. 1958. Transpiration and crop yields modeling. Institute voor Biologisch en Scheikundig, Onderzoek van Landbou Wgewassen, Wageningen No.59.
15. Doorenbos, J., and Pruitt, W. O. 1977. Guidelines for predicting crop water requirement. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24, FAO, Rome, Italy.
16. Erdem, T., Erdem, Y., Orta, H., and Okursoy, H. 2006. Water yield relationship of potato under different irrigation methods and regimes. Scientific Agriculture 63: 226-231.
17. Eskandari, A., Khazaie, H. R., Nezami, A., and Kafi, M. 2011a. Study the effects of irrigation regimes on physiological characteristics of three cultivars of potato (*Solanum tuberosum* L.). Journal of Water and Soil 25 (2): 240-247. (in Persian with English abstract).
18. Eskandari, A., Khazaie, H. R., Nezami, A., Kafi, M., and Majdabadi, A., 2011b. Study the effects of irrigation regimes on physiological characteristics, yield and water use efficiency of potato (*Solanum tuberosum* L.) in Mashhad climate. Journal of Horticulture Sciences 25 (2): 201-210. (in Persian with English abstract).
19. Fabeiro, C., Martin de Santa Olalla, F., and de Juan, J. A. 2001. Yield and size of deficit irrigated potatoes. Agricultural water Management 46: 255-266. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(00\)00129-3](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(00)00129-3).
20. Ferreira, T. C., and Goncalves, D. A. 2007. Crop-yield/water-use production functions of potato (*Solanum tuberosum* L.) grown under differential nitrogen treatments in a hot, dry climate. Agricultural Water Management 90: 45-55. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2007.02.012>.
21. FAO Statistical Database. Agriculture statistics. 2015. Retrived on 14 November 2015 from: <http://URL: faostat, fao.org/faostat>.
22. Foti, S., Mauromicale, G., and Irna, A. 1995. Influence of irrigation regimes on growth and yield of potato cultivar Spunta. Potato Research 38: 307-318. <https://doi.org/10.1007/BF02357733>.
23. Fulai, L., Shahnazari, A., Anderson, M. N., Jacobsen, S. E. and Jensen, C. R. 2006. Effects of deficit irrigation and partial root drying on gas exchange, biomass partitioning and water use efficiency in potato. Scientific Horticulture 109: 113-117. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.04.004>.
24. Ghadami Firouzabadi, A., Parvizi, Kh. 2010. The effect of deficit irrigation on yield and water use efficiency of new clones of potato in drip tape irrigation. Journal of Water Research in Agriculture 24: 133-144. (in Persian with English abstract).
25. Hassan, A. A., Sarkar, A. A., Ali, M. H., and Karim, N. N. 2002. Effect of deficit irrigation at different growth stages on the yield of potato. Pakistan Journal of Biological Science 5: 128-134.
26. Hassanpanah, D. 2010. Evaluation of potato advanced cultivars against water deficit stress under *in vitro* and *in vivo* conditions. Biotechnology 9: 164-169.

27. Hassanpanah, D., Nikshad, K., and Hassani, M. 2008. Potato tuber production. Jahade Keshavarzi Ardabil. Extension Bulletin No. 34. (in Persian).
28. Haverkort, A. J., and Mackerron, D. K. L. 1995. Potato Ecology and Modeling of Crops Under Conditions Limiting Growth. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
29. Haverkort, A. J., van de Waart, M., and Bodaader, K. B. A. 1990. The effect of early drought stress on numbers of tubers and stolones of potato in controlled and field conditions. Potato Research 33: 89-96. <https://doi.org/10.1007/BF02358133>.
30. Heydari Pour, R., Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., and Zare Feize Abadi, A. 2014. The effect of different levels of irrigation and nitrogen fertilizer on productivity and efficiency in corn (*Zea mays* L.), sugar beet (*Beta vulgaris* L.) and sesame (*Sesamum indicum* L.). Journal of Agroecology 2: 187-198. (in Persian with English abstract).
31. Heydari, N. 2011. Determination and evaluation of water use efficiency of some major crops under farmers management in Iran. Journal of Water and Irrigation Management 2: 43-57. (in Persian with English abstract).
32. Iwama, K., and Yamaguchi, J. 2006. Abiotic stresses. PP 231-278 in: S. M. Gopal and P. Khurana, eds, Handbook of Potato Production, Improvement and Post-Harvest Management. Food Production, New York.
33. Kafi, M., Borzoei, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A., and Nabati, J. 2012 (2nded.). Physiology of Environmental Stresses in Plants. Jahad-e- Daneshgahi Press. Mashhad. (in Persian).
34. Kashyap, P. S., and Panda, R. K. 2001. Evaluation of evapotranspiration estimation methods and development of crop-coefficient for potato crop in a sub-humid region. Agricultural Water Management 50: 9-25. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(01\)00102-0](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(01)00102-0).
35. Mackerron, D. K. L., and Jefferies, R. A. 1986. The influence of early soil moisture stress on tuber numbers in potato. Potato Research 29: 299-312. <https://doi.org/10.1007/BF02359959>.
36. Mackerron, D. K. L., and Jefferies, R. A. 1994. Seasonal and ontogenetic changes in water use efficiency in potato as indicated by isotope discrimination. Aspects of Applied Biology 38: 101-111.
37. Miller, D. E., and Martin, M. W. 1987. The effect of irrigation regime and subsoiling on yield and quality of three potato cultivars. American Potato Journal 64: 17-26. <https://doi.org/10.1007/BF02853226>.
38. Minhas, J. S., and Bansal, K. C. 1991. Tuber yield in relation to water stress at different stages of growth in potato. Journal of Indian Potato 18: 1-8.
39. Ministry of Agricultural Jihad, 2014. Crops and Livestock Statistics, 2013-2014. available at: <http://www.agrijahad.ir> (in Persian).
40. Mortazavibak, A., Aminpour, R., and Mousavi, S. F. 2008. Effects of deficit irrigation at early growth stages on yield of commercial potato cultivars. Iranian Journal of Horticulture Science and Technology 9 (1): 1-10. (in Persian with English abstract).
41. Nagaz, K., Masmoudi, M. M., and Mechli, N. B. 2007. Soil salinity and yield of drip-irrigated potato under different irrigation regimes with saline water in arid conditions of Southern Tunisia. Journal of Agronomy 6 (2): 324-330.
42. Onder, S., Caliskan, M. E., Onder, D., and Caliskan, S. 2005. Different irrigation methods and water stress effects on potato yield and yield components. Agricultural Water Management 73: 73-86. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.09.023>.
43. Shahnazari, A., Ahmadi, S. H., Laerke, P. E., Liu, F., and Plauborg, F. 2008. Nitrogen dynamics in the soil-plant system under deficit and partial root-zone drying irrigation strategies in potatoes. European Journal of Agronomy 28: 65-73. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.05.003>.
44. Sharma, N., Rawal, S., Kadian, M. S., Arya, S., Bonierbale, M., and Singh, B. P. 2014. Evaluation of advanced potato clones for drought tolerance in arid zone in Rajasthan, Indian Potato Journal 41: 189-195.
45. Shayan Nejad, M., and Moharrery, A. 2010. Effects of water stress on qualitative properties of wheat and potato in Shahrekord. Iranian Journal of Water Research in Agriculture (Formerly Soil and Water Sciences) 24 (1): 65-71. (in Persian with English abstract).
46. Shi, Sh., Fan, M., Iwama, K., Li, F., Zhang, Z., and Jia, L. 2015. Physiological basis of drought tolerance in potato grown under long-term water deficiency. International Journal of Plant Production 9: 305-320.
47. Sobhani, A. R., and Hamidi, H. 2013. Effects of water deficit stress and potassium on yield and water use efficiency of potato by the source sprinkler irrigation. Environmental Stresses in Crop Sciences 6 (1): 1-15 (in Persian with English abstract). doi: [10.22077/escs.2013.133](https://doi.org/10.22077/escs.2013.133).
48. Ta, J., Kaushik, S. K., Minhas, J. S., and Bhardwaj, V. 2003. The Potato Breeding for Biotic and Abiotic Stress. New Dehli, Mehta.
49. Unlu, M., Kanber, R., Senyigit, U., Onaran, H., and Diker, K. 2006. Trickle and sprinkler irrigation of potato (*Solanum tuberosum* L.) in the Middle Anatolian Region in Turkey. Agricultural water Management 79: 43-71.
50. van Loon, C. D. 1981. The effect of water stress on potato growth, development and yield. American Potato Journal 58: 51-69. <https://doi.org/10.1007/BF02855380>.
51. Wang, F., Kang, Y., Liu, S., and Hou, X. 2007. Effects of soil matric potential on potato growth under drip

- irrigation in the North China Plain. *Agricultural Water Management* 88: 34-42. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.08.006>.
52. Wright, J. L., and Stark, J. C. 1990. Potato. PP 211-247 in: B. A. Stewart, and D. R. Nielsen eds. *Irrigation of Agricultural Crops*. Agronomy Monograph No.30. Madison, Wisconsin, USA.
53. Yarnia, M., Khorshidi, M. B., Nasser, A., and Hassanpanah, D. 2011. Drought stress effects in different growth stages on potato cultivars. In *Conference on Ecology, Microbiology and Biotechnology Problems*, Baku, Azerbaijan Republic 7: 384-392.
54. Yuan, B-Z., Nishiyama, S., and Kang, Y. 2003. Effect of different drip irrigation regimes on the growth and yield of drip-irrigated potato. *Agricultural Water Management* 63: 153-167. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(03\)00174-4](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(03)00174-4).
55. Zhang, H., Wang, X., You, M., and Liu, C. 1999. Water yield relations and water use efficiency of winter wheat in North China Plain. *Irrigation Science* 19: 37-45. <https://doi.org/10.1007/s002710050069>.



Effect of Water and Potassium Fertilizer on Yield and Quality of Potato (*Solanum tuberosum* L.) under Subsurface Irrigation Condition

B. Yousefi¹, H. R. Khazaei^{2*}, M. Parsa³

Received: 11-11-2018

Revised: 12-10-2019

Accepted: 26-10-2019

How to cite this article:Yousefi, B., Khazaei, H. R., and Parsa, M. 2022. Effect of Water and Potassium Fertilizer on Yield and Quality of Potato (*Solanum tuberosum* L.) under Subsurface Irrigation Condition. Iranian Journal of Field Crops Research 20 (1): 15-28. (in Persian with English abstract). DOI: [10.22067/gsc.v0i0.71123](https://doi.org/10.22067/gsc.v0i0.71123).

Introduction

Drought is the most important environmental stress that limit plant growth and crop production around the world. Long-term tension affects all metabolic processes of the plant and as a result, it often reduces plant production. On the other hand, potato is important for dry matter production and dietary intake and has been ranked as the fourth crop for volume of production after wheat, rice and corn. Due to water scarcity, population increase and necessity of more production of this crop, it is necessary to study the effects of water deficit on the yield and physiology and quality of potato. The purpose of this experiment was to investigate the effect of various irrigation regimes by subsoil irrigation at different depths on the potato yield and potassium effects as a damage reducer factor caused by irrigation reduction.

Materials and Methods

This experiment was conducted in 2014 at Research Farm of Faculty of Agriculture of Ferdowsi University of Mashhad. The experiment was split factorial in a randomized complete block design with three replications. In this experiment, the main plot consisted of irrigation at three levels of 100 percent irrigation (control), 80 percent and 60 percent of the required blueberries throughout the plant growth period and Sub plots consisted of two sub-surface drip irrigation systems in two levels, including drip tape in depth 7.5 cm soil layer and drip tape in depth 15 cm layer of soil and the factor of potassium fertilizer application in two levels, including 100 percent and 120 percent recommended soil test. In this research, Fontaneh, cultivar which has a better adaptability with Mashhad conditions than the other cultivars, were used for growing season and industrial market. Plant water requirement in Mashhad conditions was also determined using software (OPTIWAT). Irrigation volume during growth season to supply 100 percent water requirement was 6840 cubic meters per hectare, for 80 percent was 5742 cubic meters per hectare and for 60 percent was 4104 cubic meters per hectare. Weeding is carried out manually. The measured indexes included number of tubers per plant, tuber mean weight, tuber yield, relative water content of leaves (RWC), dry matter content, electrolyte leakage and chlorophyll content. The data were analyzed by SAS statistical program and the meanings were compared by Duncan test at 5 percent level.

Results and Discussion

The results of the experiment showed that irrigation have a significant effect on most traits. So that the highest number of tubers in the plant and the relative water content was obtained in the control treatment, namely 100 percent water requirement of potatoes, but percentage of dry matter, electrolyte leakage and chlorophyll were increased with irrigation reduction. There was a significant difference between the two drip irrigation systems in terms of gland performance, and the amount of this trait was higher in the treatment of the drip tape at 7.5 cm depth. The results of this experiment showed that there was no significant difference between two levels of potassium fertilizer in terms of most traits. In general, it can be concluded that although irrigation treatment has a significant effect on most of the studied traits, the trend of changes in the two types of drip irrigation systems used in this experiment is one.

1-PhD student in Agriculture, 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 Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

(*- Corresponding Author Email: h.khazaie@um.ac.ir)DOI: [10.22067/gsc.v0i0.71123](https://doi.org/10.22067/gsc.v0i0.71123)

Conclusion

The results of this experiment showed that reduction of irrigation water in the potato whole growth season can have a negative effect on morphological characteristics, yield and yield components compared to the full supply of water. The tuber yield decreases with decreasing irrigation volume, due to the sensitivity of the plant to soil moisture, especially at the time of tuber initiation and tuberization.

Keywords: Cell membrane stability, Drip irrigation tape, Relative water content, Tuber yield

مقاله پژوهشی

جلد ۲۰، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱، ص ۱۵-۲۸

تأثیر مقدار آب و کود پتاسیم بر عملکرد و کیفیت سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در شرایط آبیاری زیر سطحی

بهناز یوسفی^۱، حمیدرضا خزاعی^{۲*}، مهدی پارسا^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۰۴

چکیده

سیب‌زمینی جزو گیاهان حساس به خشکی بوده و یکی از محصولات مهم و اصلی ایران به‌شمار می‌آید. از آنجایی که کشت آن هم‌زمان با مرحله داشت و آبیاری گندم می‌باشد باید به دنبال راه‌حلی برای کاهش مصرف آب در این محصول بود. به‌منظور مطالعه تأثیر مقدار آب و مصرف کود پتاسیم بر عملکرد و کیفیت سیب‌زمینی تحت شرایط آبیاری زیر سطحی، آزمایشی به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به اجرا درآمد. در این آزمایش کرت اصلی شامل تیمار آبیاری در سه سطح آبیاری تأمین ۱۰۰ درصد (شاهد)، ۸۰ درصد و ۶۰ درصد نیاز آبی سیب‌زمینی در کل دوره رشد گیاه بود و کرت فرعی شامل دو عامل سیستم آبیاری قطره‌ای زیر سطحی در دو سطح شامل نوار تیپ در عمق ۷/۵ و ۱۵ سانتی‌متر عمق خاک و عامل تیمار کود شیمیایی پتاسیم در دو سطح ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد (به‌ترتیب ۵۰ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار) به توصیه آزمایش خاک در نظر گرفته شد. نتایج آزمایش نشان داد که میزان آبیاری بر اکثر صفات مورد بررسی اثر معنی‌داری داشت. به‌طوری که بیشترین میزان تعداد غده در بوته، محتوای نسبی آب برگ در تیمار شاهد حاصل شد. ولی درصد ماده خشک، نشت الکترولیت و کلروفیل با کاهش آبیاری، افزایش یافت. بین دوسیستم، تأثیر آبیاری قطره‌ای از نظر عملکرد غده نسبت به همدیگر اختلاف معنی‌داری وجود داشت و عملکرد غده در تیمار نواری در عمق ۷/۵ سانتی‌متر نسبت به نوار در عمق ۱۵ سانتی‌متر بیشتر بود. بررسی تأثیر میزان کود پتاسیم بین دو سطح کود از نظر اکثر صفات مورد بررسی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در کل می‌توان نتیجه گرفت که هرچند تیمار آبیاری بر اکثر صفات مورد بررسی اثر معنی‌دار داشت، اما روند تغییرات در دو نوع سیستم آبیاری قطره‌ای به‌کار رفته در این آزمایش مشابه همدیگر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پایداری سلول، آبیاری قطره‌ای، محتوای نسبی آب برگ و نشت الکترولیت

مقدمه

تنش خشکی مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد گیاه و تولید محصول در سراسر نقاط جهان است (Abedi and Pakniyat, 2010). تنش طولانی مدت بر تمام فرآیندهای متابولیک گیاه اثر می‌گذارد و در نتیجه اغلب موجب کاهش تولید گیاه می‌شود (Jafarzadeh et al., 2014). شناسایی زمان بحرانی و اجرای یک

برنامه دقیق و اساسی آبیاری باعث بهبود عملیات آبیاری، نگهداری آب و قابلیت تحمل گیاه به کمبود آب در کشاورزی می‌شود (Ngouajio et al., 2007). همچنین با توجه به هدف از کشت محصول، به منظور رسیدن به حداکثر عملکرد می‌توان به جای آبیاری کامل، تنها در مراحل بحرانی، از آب استفاده کرد که در این صورت تأثیر خشکی کاهش خواهد یافت (Kamkar et al., 2011). سیب‌زمینی از نظر تولید ماده خشک و قرار گرفتن در جیره غذایی دارای اهمیت زیادی است و بعد از گیاهانی مانند گندم (*Triticum aestivum*)، برنج (*Oryza sativa*) و ذرت (*Zea mays*) چهارمین محصول زراعی از نظر حجم تولید می‌باشد (FAO, 2017). سطح زیر کشت سیب‌زمینی در ایران در سال ۱۳۹۶ برابر با ۱۴۶۵۳۸ هکتار بوده است و عملکرد آن در ایران بالغ بر ۵۰۱۹۲۷۱ تن گزارش شده است (Agricultural Statistics, 2018). همچنین، سطح زیر کشت سیب‌زمینی در استان خراسان رضوی ۵۷۹۳ هکتار و میزان تولید

۱- دانشجوی دکترای زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

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

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

(*)- نویسنده مسئول: (Email: h.khazaie@um.ac.ir)

DOI: 10.22067/gsc.v0i0.71123

از کاهش آبیاری بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد با طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲۸ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه و ارتفاع ۹۸۵ متری از سطح دریا اجرا شد. قبل از کشت، جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه، از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری انجام گرفت و نتایج آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است. آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. در این آزمایش کرت اصلی شامل تیمار آبیاری در سه سطح آبیاری تأمین ۱۰۰ درصد (شاهد)، ۸۰ درصد و ۶۰ درصد نیاز آبی سیب‌زمینی در کل دوره رشد گیاه بود و کرت فرعی شامل دو عامل سیستم آبیاری قطره‌ای زیر سطحی در دو سطح شامل نوار تیپ در عمق ۷/۵ سانتی‌متر لایه خاک و نوار تیپ در عمق ۱۵ سانتی‌متر لایه خاک و عامل تیمار کود شیمیایی پتاسیم در دو سطح شامل مقدار ۱۰۰ درصد و ۱۲۰ درصد (به‌ترتیب ۵۰ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار) توصیه آزمایش خاک در نظر گرفته شد. به‌منظور اجرای آزمایش عملیات تهیه زمین در اردیبهشت ماه انجام گرفت. پس از تسطیح زمین اقدام به کرت‌بندی شد. هر کرت آزمایشی شامل شش ردیف شش متری و فاصله بین ردیف‌ها ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها در روی ردیف ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در این تحقیق از رقم فونتانه که از نظر ویژگی دارای طول فصل رشدی میان‌رس، مقاوم به آفات و بیماری‌ها، دارای بازارپسندی خوب صنعتی و سازگاری بیشتر با شرایط مشهد نسبت به سایر ارقام را دارد، استفاده گردید. کشت گیاه در ۱۸ اردیبهشت ماه صورت گرفت، نیاز آبی گیاه نیز با استفاده از نرم‌افزار (OPTIWAT) در شرایط مشهد تعیین شد (Alizadeh and Kamali, 2007). حجم آبیاری در طی دوره کشت برای تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه ۶۸۴۰ متر مکعب در هکتار، ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه ۵۷۴۲ متر مکعب در هکتار و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه ۴۱۰۴ متر مکعب در هکتار محاسبه گردید. برای آبیاری با دور چهار روز یکبار از نوارهای آبیاری قطره‌ای دارای قطر داخلی ۱۶ میلی‌متر با فاصله خروجی‌های ۳۰ سانتی‌متر استفاده شد. با توجه به نتایج آزمایش خاک که در جدول ۱ ارائه شده است کود سولفات پتاسیم برای ۱۰۰ درصد پتاسیم مورد نیاز ۵۰ کیلوگرم در هکتار و برای ۱۲۰ درصد ۶۰ کیلوگرم در هکتار، کود اوره به مقدار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار و کود فسفر (P₂O₅) ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شد. عملیات وجین به‌صورت دستی انجام گردید. به‌منظور اندازه‌گیری میزان آب نسبی برگ در این آزمایش از روش کولمن (Coleman, 2008) استفاده

۱۷۳۷۷۴ تن گزارش شد (Agricultural Statistics, 2018). تمام مراحل رشد سیب‌زمینی به‌ویژه مرحله تشکیل غده آن به کمبود آب خیلی حساس است (Shock, 2004). تحت شرایط کم‌آبیاری، عملکرد سیب‌زمینی با میزان آب کاربردی رابطه خطی دارد (Shock and Feibert, 2002).

آبیاری قطره‌ای زیر سطحی (SDI)^۱ از جمله روش‌های آبیاری است که در دهه اخیر، در نقاط مختلف دنیا گسترش یافته است. در این روش که نوعی آبیاری قطره‌ای است، قطره‌چکان‌ها در زیر سطح خاک قرار می‌گیرند (Camp et al., 2000). از مزایای این روش می‌توان به کاهش تبخیر، رواناب سطحی، نفوذ عمقی و همچنین کنترل بهتر علف‌های هرز، افزایش راندمان علف‌کش‌ها و در نتیجه آن کاهش آلودگی منابع آب و خاک، در شرایط استفاده از منابع غیرمتعارف آب اشاره کرد (Oron et al., 1999). در آزمایشی به‌منظور مقایسه عملکرد غده‌ی سیب‌زمینی در روش آبیاری بارانی و قطره‌ای گزارش شد، برای تولید یک کیلوگرم سیب‌زمینی در روش آبیاری بارانی حدود ۰/۱۱۹ مترمکعب و در سیستم آبیاری قطره‌ای ۰/۰۵۷ مترمکعب آب مصرف شده است (Moon et al., 2006).

پتاسیم نقش ویژه‌ای را در حیات و بقای گیاهان تحت شرایط تنش‌های محیطی ایفا می‌کند. در شرایط کمبود پتاسیم، حساسیت گیاهان به تنش‌های محیطی افزایش می‌یابد (Cakmak, 2002). به‌طوری‌که در شرایط تنش، تولید رادیکال‌های فعال اکسیژن در گیاهان به شدت تحریک می‌شود (Cakmak, 2005). می‌توان نیاز به پتاسیم بالا در شرایط تنش را به نقش بازدارندگی پتاسیم در مقابل تولید رادیکال‌های فعال اکسیژن در طی فتوسنتز و اکسید شدن NADPH نسبت داد. خسروی فر و همکاران (Khosravifar et al., 2008) گزارش کردند که وزن تر و عملکرد غده سیب‌زمینی با افزایش فاصله دوره‌های آبیاری و افزایش مصرف کود پتاسیم به‌ترتیب کاهش و افزایش یافتند. در آزمایشی با مطالعه اثر مقادیر مختلف پتاسیم بر عملکرد و خصوصیات کیفی سیب‌زمینی در پاکستان با مصرف ۱۳۰ کیلوگرم پتاسیم در هکتار، بالاترین عملکرد غده حاصل شد. در حالی‌که در تیمار ۱۵۷ کیلوگرم پتاسیم در هکتار، خصوصیات کیفی از جمله ماده خشک غده بهبود یافت (Abdul-Hannan et al., 2011). با توجه به محدودیت آب، روند افزایش جمعیت و نیاز به تولید بیشتر این محصول، بررسی اثرات کمبود آب بر عملکرد و خصوصیات فیزیولوژیک و ویژگی‌های کیفی سیب‌زمینی ضروری می‌باشد. هدف از این آزمایش بررسی تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری با استفاده از آبیاری زیر سطحی در عمق‌های مختلف بر روی عملکرد سیب‌زمینی و همچنین اثرات پتاسیم به‌عنوان عامل کاهش‌دهنده خسارات ناشی

آزمایشی پنج بوته که نماینده کل کرت بود، برداشت شد و به آزمایشگاه منتقل گردید. شاخص کلروفیل برگ در این آزمایش با استفاده از دستگاه SPAD (مدل Minolta502) با استفاده از سه برگ انتهایی کاملاً توسعه‌یافته از ده بوته و طی پنج مرحله در طی فصل رشد (مرحله ۸۵ درصد سبز شدن، مرحله قبل از غده‌زایی، مرحله آغاز غده‌زایی، قبل از گلدهی و مرحله ۵۰ درصد گلدهی) اندازه‌گیری شد. به‌منظور تعیین درصد نشت الکترولیت ابتدا جوان‌ترین دو برگ کاملاً توسعه‌یافته از هر بوته جدا شد و در ویال‌های حاوی ۵۰ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر شده قرار گرفت. ارلن‌ها به مدت ۶ ساعت بر روی شیکر قرار گرفت و سپس هدایت الکتریکی هر نمونه با استفاده از دستگاه EC متر (مدل Jenway) اندازه‌گیری گردید (Sairam et al., 2002). بعد از رسیدن محصول به‌منظور تعیین عملکرد نهایی و اجزای عملکرد، از هر کرت آزمایشی بوته‌های موجود در سطحی معادل سه مترمربع با رعایت حاشیه برداشت گردید. داده‌ها با استفاده از برنامه آماری SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و میانگین‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفت.

گردید. بدین منظور نمونه‌برداری در سه مرحله و بعد از ۴۰ روز پس از کاشت و از جوان‌ترین برگ کامل توسعه یافته انجام شد و محتوای نسبی برگ با استفاده از رابطه (۱) محاسبه گردید.

$$RWC = \frac{FW - DW}{TW - DW} \times 100 \quad (1)$$

در این رابطه، FW (وزن تر برگ)، DW (وزن خشک برگ) و TW (وزن برگ در حالت تورژسانس) است. جهت تعیین وزن تورژسانس برگ‌های جدا شده از بوته پس از تعیین وزن تر، برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در داخل آب مقطر غوطه‌ور شد و پس از خارج شدن و خشک کردن آب سطحی توزین گردید. جهت اندازه‌گیری درصد ماده خشک، ۲۰۰ گرم غده از هر تیمار به‌طور تصادفی انتخاب و وزن شد، سپس غده‌ها خرد و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد آون قرار گرفتند و پس از ثابت شدن وزن آن‌ها، دوباره توزین شدند (Hagman and Martenssen, 2009). از طریق تناسب وزن تر و وزن خشک غده‌ها، درصد ماده خشک غده تعیین گردید. اندازه‌گیری شاخص سطح برگ توسط دستگاه دیجیتالی اندازه‌گیری سطح برگ به فاصله هر دو هفته یک‌بار پس از سبز شدن بوته‌ها و با رعایت حاشیه و طی پنج مرحله انجام گردید. در هر نوبت از هر واحد

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی- شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Table 1- Soil physical and chemical characteristics of the experimental field

آهک درصد Lime (%)	پتاسیم K (mg.kg ⁻¹)	فسفر P	نیترژن کل Total N (%)	کربن آلی درصد Organic carbon (%)	اسیدیته (pH)	هدایت الکتریکی EC dS.m ⁻¹	بافت Texture	رس clay	سیلت silt	شن sand	عمق depth (cm)
17.99	300	32	0.08	0.94	8.08	2.076	لوم Loam	24	40	36	0-30
15>	350	25	0.1- 0.15	1.5-2	6-7	5>	-	30	30	40	-

تحقیقات حسینی و امینی (Hossaeini and Amini, 2013) روی سیب‌زمینی مطابقت دارد. در بسیاری از خاک‌ها مقدار کل پتاسیم قابل توجه است اما قسمت عمده آن به دلیل کوچک بودن بخش قابل دسترس پتاسیم نسبت به سایر شکل‌های آن در خاک قابلیت استفاده برای گیاهان را ندارد. همچنین برخی پژوهشگران معتقدند بازده جذب و استفاده از پتاسیم در سیب‌زمینی نسبت به سایر گیاهان کم‌تر بوده و به همین دلیل استفاده بیشتری از کودهای پتاسیم‌دار نسبت به بقیه محصولات صورت می‌گیرد (Stengrobe et al., 2000).

متوسط وزن غده

نتایج به‌دست آمده از این آزمایش نشان داد که هیچ‌یک از تیمارهای مورد بررسی (میزان آبیاری، سیستم آبیاری قطره‌ای و کود شیمیایی پتاسیم) و اثر متقابل آن‌ها بر میزان متوسط وزن غده‌ها تأثیر

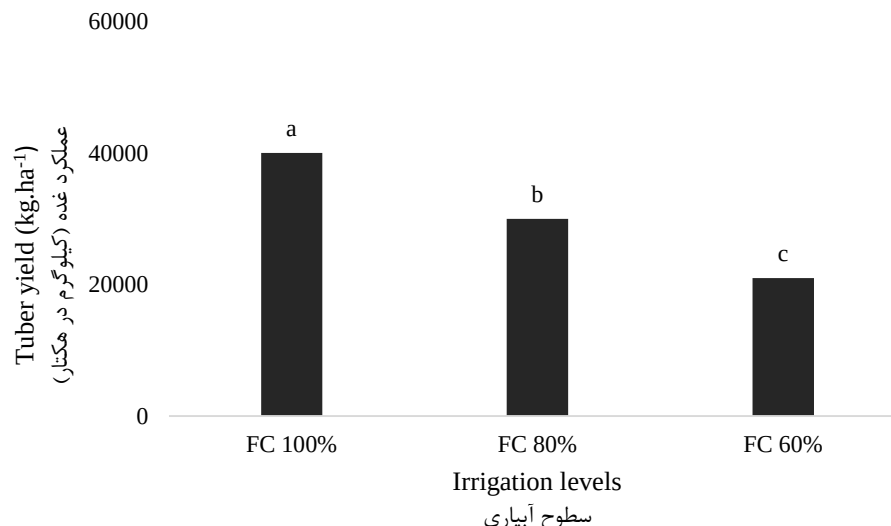
نتایج و بحث

تعداد غده در بوته

در این بررسی اثر آبیاری در سطح یک درصد بر تعداد غده در بوته معنی‌دار شد. ولی اثر سیستم آبیاری قطره‌ای و کود پتاسیم معنی‌دار نشد (جدول ۲). براساس نتایج آزمایش در تیمار تامین ۶۰ درصد نسبت به دو تیمار تامین ۱۰۰ درصد و ۸۰ درصد نیاز آبی تعداد غده در بوته به‌ترتیب ۵۰ و ۳۹/۵ درصد کاهش یافت. در همین راستا نتایج آزمایش قدیمی فیروزآبادی و پرویزی (Ghadami Firozabadi and Parvizi, 2009) بیانگر اثر معنی‌دار میزان آب مصرفی بر تعداد غده سیب‌زمینی بود. در این تحقیق بین دو سطح کود شیمیایی پتاسیم (۱۰۰ درصد و ۱۲۰ درصد توصیه آزمون خاک) از نظر تعداد غده در بوته اختلاف معنی‌داری وجود نداشت که این امر با نتایج

پوشش گیاه از رشد کمی برخوردار شده و کوچک می ماند. در آزمایشی که حسینی و امینی (Hossaeini and Amini, 2013) بر روی سیبزمینی تحت شرایط خشکی انجام دادند بیان داشتند هرچه آب بیشتری برای گیاه تأمین شود عملکرد غده ها افزایش می یابد و با افزایش میزان تنش، عملکرد کاهش یافت به طوری که عملکرد در دور آبیاری ۱۲ و ۱۸ روزه نسبت به دور آبیاری شش روزه به ترتیب ۵/۲ و ۲۷/۳ درصد کاهش یافت. این موضوع با نتایج تحقیقات اخوان و همکاران (Akhavan et al., 2007) روی سیبزمینی مطابقت دارد. در این آزمایش حداکثر عملکرد سیبزمینی مربوط به تیمار آبیاری ۱۲۵ درصد و حداقل عملکرد مربوط به تیمار آبیاری ۷۵ درصد بود.

همچنین، نتایج مقایسه میانگین حاصل از داده ها نشان داد بیشترین میزان عملکرد غده در سیستم های آبیاری در سیستم آبیاری قطره ای با عمق ۷/۵ سانتی متر در خاک با میانگین ۳۱۸۹۱ کیلوگرم در هکتار به دست آمد و کمترین مقدار در سیستم آبیاری قطره ای با عمق ۱۵ سانتی متر به میزان ۲۸۹۲۵ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (شکل ۲). در همین راستا در آزمایشی که توسط پاتل و راجپوت (Patel and Rajput, 2007) در خاک شنی لومی بر روی سیبزمینی انجام شد، اثر عمق نصب کارگذاری نوار تیپ بر عملکرد غده معنی دار بود و به طور کلی اعلام کردند که عمق نصب نوارهای آبیاری قطره ای به نوع خاک و گیاه بستگی دارد. علت این وابستگی را می توان ناشی از خصوصیات بافت خاک ها دانست که در مقدار سطح خیس شده و یا به عبارتی نشت آب در خاک تاثیرگذار است. و همچنین با سطح گسترش ریشه های گیاهان که با یکدیگر تفاوت دارند، مرتبط هستند.



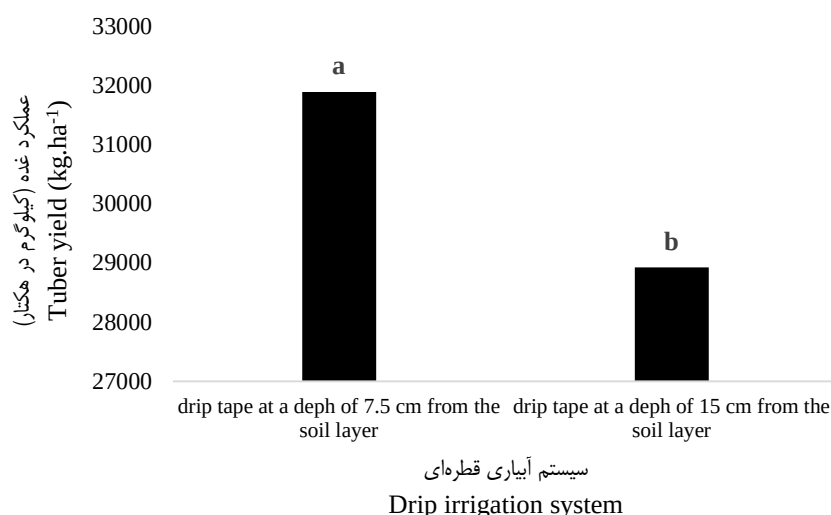
شکل ۱- اثر آبیاری بر عملکرد غده (FC100%: ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد. FC 80%: ظرفیت زراعی ۸۰ درصد. FC 60%: ظرفیت زراعی ۶۰ درصد). (ستون های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی داری با آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند)

Figure 1- Effect of irrigation on tuber yield (FC100%: 100% field capacity. FC 80%: 80% field capacity. FC 60%: 60% field capacity) (Columns with at least one common letter do not differ significantly from Duncan's multiple range test at the 5% probability level)

معنی داری نداشته اند (جدول ۲). در مطالعه ای اثر رژیم های مختلف و روش های متفاوت آبیاری بر عملکرد سیبزمینی برای سال های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ در ترکیه بررسی شد، در آزمایش انجام شده دو سیستم آبیاری قطره ای و سیستم فارو با سه رژیم آبیاری (دوره های آبیاری براساس مصرف ۳۰، ۵۰ و ۷۰ درصد آب قابل دسترس گیاه) استفاده شد. نتایج نشان داد که تفاوت وزن غده در دو سیستم آبیاری معنی دار نیست (Tolga et al., 2005). نتایج تحقیق باغانی و همکاران (Baghani et al., 2012) نیز نشان داد که بین دو سیستم قطره ای نوار تیپ در عمق ۱۰ و ۲۰ سانتی متر از نظر میانگین وزن غده ها اختلاف معنی داری وجود نداشت.

عملکرد غده

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده ها نشان داد اثرات اصلی رژیم های آبیاری (در سطح یک درصد) و نوع سیستم آبیاری قطره ای (در سطح ۵ درصد) بر روی شاخص عملکرد غده معنی دار بود ولی هیچ کدام از اثرات متقابل معنی دار نبودند (جدول ۲). نتایج به دست آمده از جدول مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین عملکرد در شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی (شاهد) به میزان ۴۰۶۱۹ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن در تیمار تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی ۲۱۶۵۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (شکل ۱). تنش آبی به عنوان یک عامل محدودکننده تولید سیبزمینی شناخته شده است که عملکرد آن را تحت تاثیر قرار می دهد. زمانی که سیبزمینی با تنش خشکی مواجه می شود موجب کاهش سرعت رشد گیاه خواهد شد و در نتیجه تاج



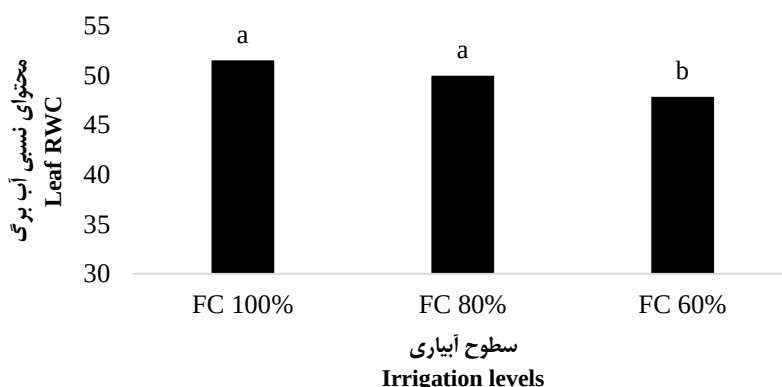
شکل ۲- اثر سیستم‌های آبیاری بر عملکرد غده (ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند)

Figure 2- The effect of irrigation systems on tuber yield (Columns with at least one common letter do not differ significantly from Duncan's multiple range test at the 5% probability level)

تحقیقی که توسط مطلبی فرد و همکاران (Motalebi Fard *et al.*, 2014) صورت گرفت نتایج نشان داد که با افزایش شدت تنش کمبود آب مقدار نسبی آب برگ به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد کاهش یافت. این موضوع را می‌توان به کاهش حجم آبیاری نسبت داد. در کل بررسی‌های زیادی نشان می‌دهد که هنگامی که برگ‌ها در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرند، کاهش زیادی در محتوای نسبی آب برگ و پتانسیل آب خود، نشان می‌دهند (Decov *et al.*, 2000; Shaw *et al.*, 2002; Nayyar and Gupta, 2006).

محتوای نسبی آب برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی آبیاری در سطح یک درصد بر محتوای نسبی آب برگ معنی‌دار شد و دیگر اثرات معنی‌دار نبودند (جدول ۲). براساس نتایج آزمایش با کاهش میزان آبیاری، محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت. بیشترین میزان محتوای نسبی آب برگ در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به‌میزان ۵۱/۵۳ درصد و کمترین میزان هم در تیمار ۶۰ درصد ظرفیت زراعی به‌دست آمد (شکل ۳). کاهش نسبی آب برگ می‌تواند به دلیل کاهش درصد رطوبت خاک و به تبع آن کاهش پتانسیل آب برگ در اثر افزایش شدت تنش خشکی باشد. در همین راستا در



شکل ۳- اثر آبیاری بر محتوای نسبی آب برگ (FC100%: ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد. FC 80%: ظرفیت زراعی ۸۰ درصد. FC 60%: ظرفیت زراعی ۶۰ درصد). (ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند)

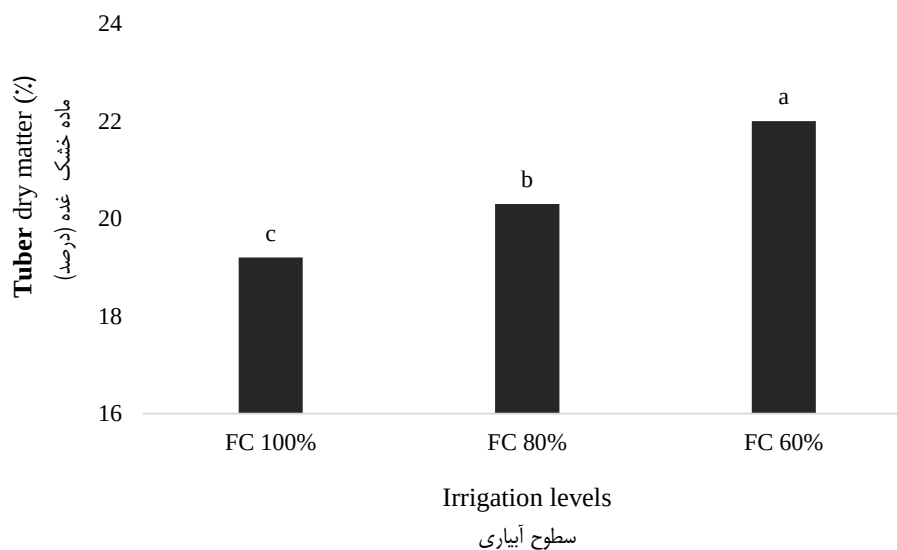
Figure 3- Effect of irrigation on Leaf RWC (FC100%: 100% field capacity. FC 80%: 80% field capacity. FC 60%: 60% field capacity) (Columns with at least one common letter do not differ significantly from Duncan's multiple range test at the 5% probability level)

درصد ماده خشک

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد شاخص درصد ماده خشک فقط تحت تاثیر رژیم‌های مختلف آبیاری در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۲). با کاهش آبیاری درصد ماده خشک افزایش یافت. بیشترین درصد ماده خشک برای تیمار ۶۰ درصد ظرفیت زراعی با میانگین ۲۲/۰۸ درصد به‌دست آمد و کمترین میزان هم در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به‌میزان ۱۹/۱۲ درصد گزارش شد (شکل ۴). در کل میزان ماده خشک سیب‌زمینی صفتی ژنتیکی بوده و تحت تأثیر وراثت و ویژگی‌های رقم قرار می‌گیرد، اما براساس نتایج حاصله از این آزمایش و معنی‌دار شدن اثر تیمار آبیاری، می‌توان اظهار نمود که درصد ماده خشک غده می‌تواند تحت تأثیر تنش آبی و تغییرات آن نیز قرار گیرد. در همین راستا در آزمایشی به‌منظور بررسی اثر کم آبیاری بر عملکرد کمی و کارایی مصرف آب کلون‌های سیب‌زمینی، نتایج تجزیه مرکب واریانس داده‌های حاصل از دو سال اجرای آزمایش نشان داد که بیشترین میزان درصد ماده خشک غده در تیمار آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی به‌دست آمد (Ghadami Firozabadi and Parvizi, 2009).

نشت الکترولیت

بر اساس نتایج حاصله از تجزیه واریانس داده‌ها شاخص نشت الکترولیت تحت تاثیر رژیم‌های مختلف آبیاری در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج به‌دست آمده از جدول مقایسه میانگین نشان داد با کاهش آبیاری میزان نشت الکترولیت افزایش یافت. بیشترین میزان نشت الکترولیت در ظرفیت زراعی ۶۰ درصد و به میزان ۳۹/۲ به‌دست آمد. همچنین کمترین میزان نشت الکترولیت در تیمار شاهد و با میانگین ۳۳/۸ به‌دست آمد (شکل ۵). محدودیت آب و تنش خشکی باعث افزایش پراکسیداسیون چربی‌ها و در نتیجه افزایش نشت الکترولیت و کاهش پایداری غشای سلول می‌شود. آروین و دونلی (Arvin and Donnelly, 2008) با بررسی واکنش ارقام سیب‌زمینی به تنش‌های محیطی (شوری، خشکی، گرما و سرما) نتیجه گرفتند که نشت الکترولیت‌ها معیار مناسبی برای ارزیابی گیاهان به تنش‌های محیطی می‌باشد و با افزایش میزان تنش‌های محیطی، میزان نشت الکترولیت گیاه سیب‌زمینی هم افزایش پیدا می‌کند.



شکل ۴- اثر آبیاری بر درصد ماده خشک (FC100%: ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد. FC 80%: ظرفیت زراعی ۸۰ درصد. FC 60%: ظرفیت زراعی ۶۰ درصد). (ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند)

Figure 4- Effect of irrigation on tuber dry matter percentage (FC100%: 100% field capacity. FC 80%: 80% field capacity. FC 60%: 60% field capacity) (Columns with at least one common letter do not differ significantly from Duncan's multiple range test at the 5% probability level)

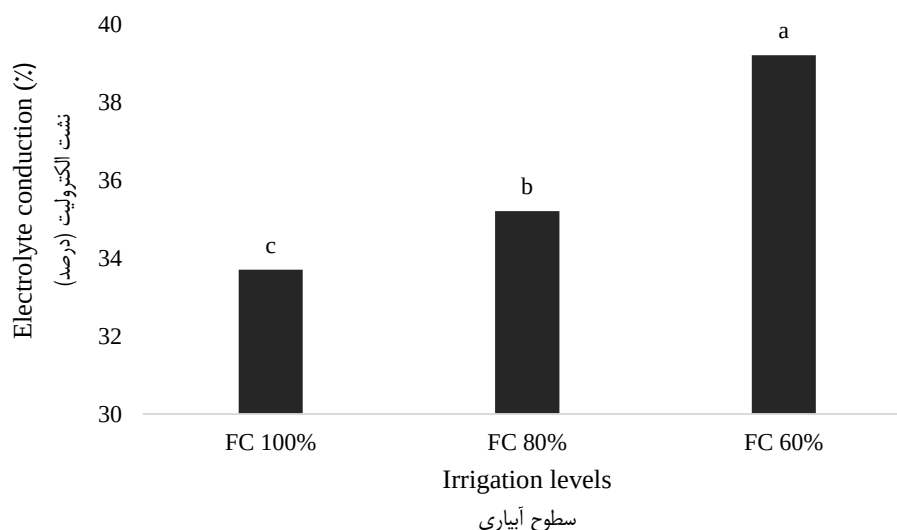
جدول ۲- تجزیه واریانس اثر مقدار و نوع سیستم آبیاری و کود پتاسیم بر برخی صفات سیب‌زمینی

Table 2- Analysis of variance for amount and type of irrigation system and Potassium fertilizer effects on some potato traits

میانگین مربعات (MS)							
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	وزن غده Tuber weight	تعداد غده در بوته Number of tubers per plant	عملکرد غده Tuber yield	محتوای نسبی آب برگی Leaf RWC	درصد ماده خشک غده Tuber dry matter	نشت الکترولیت Electrolyte conduction
تکرار Replication	2	0.001 ^{ns}	1.03 ^{ns}	36316960*	20.6 ^{**}	8.02 ^{**}	21.62 ^{**}
آبیاری (A) Irrigation	2	0.005 ^{ns}	31.86 ^{**}	1080733814 ^{**}	40.87 ^{**}	26.47 ^{**}	92.89 ^{**}
خطای اصلی Main error	4	0.02	1.86	2845234	2.56	0.45	1.98
سیستم آبیاری قطره‌ای (B) Drip irrigation system	1	0.001 ^{ns}	1.36 ^{ns}	59114741*	4.34 ^{ns}	1.99 ^{ns}	31.42 ^{ns}
کود شیمیایی پتاسیم (C) Potassium fertilizer	1	0.004 ^{ns}	0.25 ^{ns}	13935704 ^{ns}	2 ^{ns}	0.2 ^{ns}	1.56 ^{ns}
A × B	2	0.002 ^{ns}	0.36 ^{ns}	18994051 ^{ns}	0.55 ^{ns}	0.009 ^{ns}	1.03 ^{ns}
A × C	2	0.002 ^{ns}	0.25 ^{ns}	1968485 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.2 ^{ns}	1.81 ^{ns}
B × C	1	0.0002 ^{ns}	0.69 ^{ns}	665584 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.3 ^{ns}
A × B × C	2	0.001 ^{ns}	0.19 ^{ns}	424012 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.47 ^{ns}	0.49 ^{ns}
خطای فرعی Sub error	18	0.07	0.54	111025100	1.9	0.58	1.3
ضریب تغییرات CV (%)		2.9	14.7	8.	2.8	3.7	3.2

ns, * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح ۵ و ۱ درصد

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



شکل ۵- اثر آبیاری روی نشت الکترولیت (FC100%: ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد. FC 80%: ظرفیت زراعی ۸۰ درصد. FC 60%: ظرفیت زراعی ۶۰ درصد). (ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند)
Figure 5- Effect of irrigation on Electrolyte conduction (FC100%: 100% field capacity. FC 80%: 80% field capacity. FC 60%: 60% field capacity) (Columns with at least one common letter do not differ significantly from Duncan's multiple range test at the 5% probability level)

شاخص کلروفیل برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد اثر متقابل رژیم‌های مختلف آبیاری و سیستم آبیاری قطره‌ای برای شاخص کلروفیل در مرحله ۸۵ درصد سبز شدن در سطح یک درصد و مرحله قبل از گلدهی در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. همچنین اثرات متقابل سه‌گانه (آبیاری، سیستم آبیاری قطره‌ای و کود شیمیایی پتاسیم) برای شاخص کلروفیل در مرحله قبل از غده‌زایی و مرحله ۵۰ درصد گلدهی در سطح ۵ درصد و برای شاخص کلروفیل در مرحله آغاز غده‌زایی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

نتایج به‌دست آمده از مقایسه میانگین نشان داد بین سطوح

مختلف آبیاری بیشترین شاخص کلروفیل در تمام پنج مرحله اندازه‌گیری در رژیم آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی سیب‌زمینی حاصل شد و کمترین میزان آن‌ها در تیمار شاهد حاصل گردید (شکل ۶). همچنین مقایسه میانگین بین دو سیستم آبیاری قطره‌ای بیانگر آن بود که در تمام پنج مرحله اندازه‌گیری شاخص کلروفیل در سیستم آبیاری قطره‌ای با نوار تیپ در عمق ۱۵ سانتی‌متری به‌طور معنی‌داری بیشتر از نوار تیپ در عمق ۷/۵ سانتی‌متری لایه خاک بود (شکل ۷). کود شیمیایی پتاسیم تا قبل از مرحله آغاز غده‌زایی بر شاخص کلروفیل تاثیر معنی‌داری نداشت.

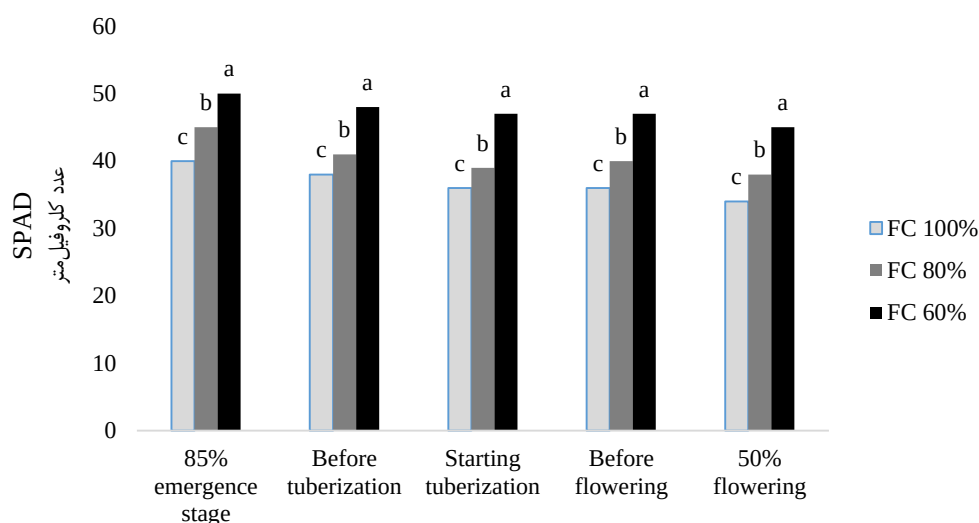
جدول ۳- تجزیه واریانس اثر مقدار و نوع سیستم آبیاری و کود پتاسیم بر کلروفیل برگ در مراحل رشدی مختلف

Table 3- Analysis of variance for amount and type of irrigation system and Potassium fertilizer effects on leaf chlorophyll in different growth stages

میانگین مربعات (MS)						
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی (d.f)	کلروفیل در مرحله ۸۵ درصد سبز شدن Chlorophyll in the 85% emergence stage	کلروفیل در مرحله قبل از غده‌زایی Chlorophyll in before tuberization stage	کلروفیل در مرحله آغاز غده- زایی Chlorophyll in starting tuberization stage	کلروفیل در مرحله قبل از گلدهی Chlorophyll in before flowering stage	کلروفیل در مرحله ۵۰ درصد گلدهی Chlorophyll in the 50% flowering stage
تکرار Replication	2	5.21 ^{ns}	26.75 ^{**}	14.94 [*]	9.37 ^{**}	4.71 [*]
آبیاری (A) Irrigation	2	327.46 ^{**}	289.46 ^{**}	258.6 ^{**}	216.64 ^{**}	222.39 ^{**}
خطای اصلی Main error	4	4.7	0.69	2.52	2.78	1.35
سیستم آبیاری قطره‌ای (B) Drip irrigation System	1	122.5 ^{**}	110.25 ^{**}	184.51 ^{**}	95.39 ^{**}	112 ^{**}
کود شیمیایی پتاسیم (C) Potassium fertilizer	1	0.03 ^{ns}	7.47 ^{ns}	23.85 [*]	10.67 [*]	20.4 ^{**}
A × B	2	21.64 ^{**}	9.23 [*]	2.38 ^{ns}	9.2 [*]	7.63 ^{**}
A × C	2	6.11 ^{ns}	2.44 ^{ns}	8.9 ^{ns}	2.49 ^{ns}	10.26 ^{**}
B × C	1	1.69 ^{ns}	18.49 ^{**}	33.83 ^{**}	5.29 ^{ns}	7.2 [*]
A × B × C	2	6 ^{ns}	9.27 [*]	37.74 ^{**}	4.73 ^{ns}	5.34 [*]
خطای فرعی Sub error	15	2.81	1.93	4.3	1.81	1.26
ضریب تغییرات CV (%)	-	3.6	3.1	4.7	3.1	2.7

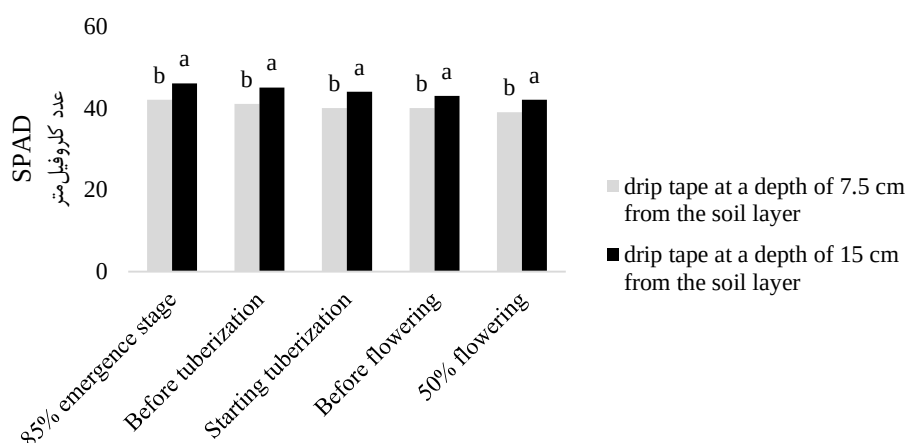
ns, * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطوح ۵ و ۱ درصد

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



شکل ۶- اثر آبیاری بر کلروفیل برگ. (ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند)

Figure 6- Effect of irrigation on leaf chlorophyll (Columns with at least one common letter do not differ significantly from Duncan's multiple range test at the 5% probability level)

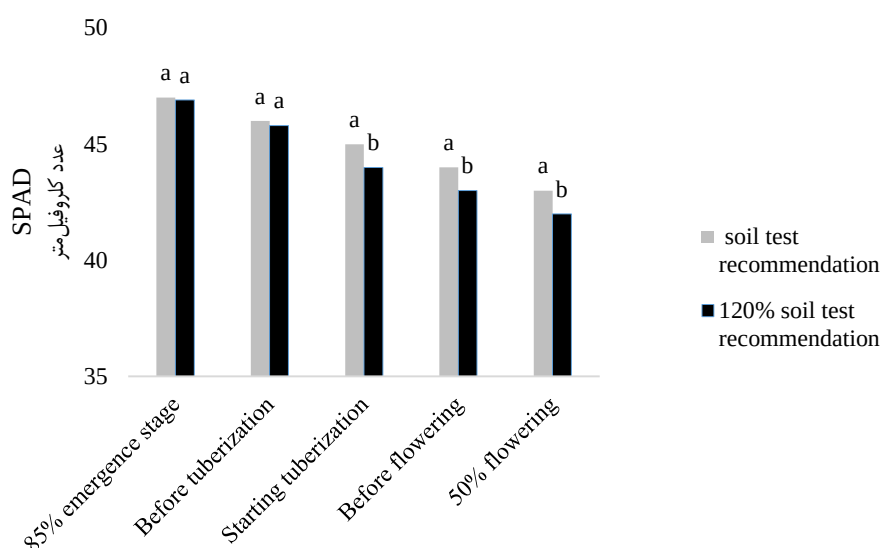


شکل ۷- اثر سیستم آبیاری قطره‌ای بر کلروفیل برگ. (ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند)

Figure 7- Effect of Drip irrigation system on leaf chlorophyll (Columns with at least one common letter do not differ significantly from Duncan's multiple range test at the 5% probability level)

بیان (Eskandari et al., 2011). اسکندری و همکاران (Eskandari et al., 2011) بیان کرد که کاهش غلظت کلروفیل می‌تواند از طریق کاهش جذب تشعشع خورشیدی باعث جلوگیری از تولید رادیکال‌های فعال اکسیژن شده و در نتیجه کاهش خسارت به سیستم فتوسنتزی را در پی داشته باشد، زیرا غلظت بالای کلروفیل در واحد سطح برگ یک منبع بالقوه برای تولید گونه‌های فعال اکسیژن می‌باشد. خزاعی (Khazaei, 2003) نیز بیان کرد که تنش خشکی در کل فصل رشد موجب افزایش غلظت کلروفیل نسبت به تیمار آبیاری کامل در گندم شد.

اما از این مرحله به بعد با افزایش مصرف پتاسیم تا مقدار ۱۲۰ درصد مقدار توصیه شده آزمون خاک (۶۰ کیلوگرم در هکتار) شاخص کلروفیل کاهش یافت (شکل ۸). در این آزمایش کاهش حجم آبیاری باعث شد تا مقدار شاخص کلروفیل افزایش یابد. در واقع در تیمارهایی که نیاز آبی سیب‌زمینی کمتر از ۱۰۰ درصد تامین شد، افزایش شاخص کلروفیل متر می‌تواند به دلیل تغلیظ کلروپلاست درون سلول‌های گیاهی و یا به عبارتی تیره شدن رنگ برگ در مقایسه با رژیم آبیاری تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه باشد (Eskandari et



شکل ۸- اثر کود شیمیایی پتاسیم بر کلروفیل برگ. (ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند)

Figure 8- Effect of Potassium fertilizer on leaf chlorophyll (Columns with at least one common letter do not differ significantly (from Duncan's multiple range test at the 5% probability level)

نتیجه‌گیری

به‌ترتیب افزایش ۹/۳ و ۱۰/۲۵ درصدی در تعداد غده و میانگین وزن غده‌ها در سیستم آبیاری قطره‌ای با نوار تیپ در عمق ۷/۵ سانتی‌متر نسبت به نوار تیپ در عمق ۱۵ سانتی‌متر حاصل شد. همچنین، میزان کلروفیل در تمام پنج مرحله اندازه‌گیری شده در نوار تیپ در عمق ۱۵ سانتی‌متر به‌طور معنی‌داری بیشتر از نوار تیپ در عمق ۷/۵ سانتی‌متر بود. به‌علاوه، نتایج نشان داد که بین دو سطح کود شیمیایی پتاسیم از نظر اکثر صفات مورد بررسی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. این بیانگر این مطلب است که مصرف کود بیشتر ضمن صرف هزینه بیشتر، تاثیر معنی‌داری بر عملکرد و اجزای عملکرد سیب‌زمینی نداشته و مقدار توصیه شده براساس آزمون خاک برای رسیدن به عملکرد مطلوب مناسب است.

نتایج آزمایش نشان داد که میزان آبیاری بر اکثر صفات مورد بررسی اثر معنی‌داری داشت. به‌طوری‌که بیشترین میزان تعداد غده در بوته، میانگین وزن غده‌ها و تعداد غده‌ها و محتوای نسبی آب برگ در تیمار شاهد یعنی تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی سیب‌زمینی حاصل شد که در تعدادی از آن‌ها بین تیمار شاهد و تامین ۸۰ درصد نیاز آبی سیب‌زمینی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. همچنین، درصد ماده خشک و نشت الکترولیت با کاهش آبیاری، افزایش یافت. به‌طوری‌که بیشترین میزان آن در تیمار تامین ۶۰ درصد نیاز آبی سیب‌زمینی حاصل شد. در این آزمایش بین دو سیستم آبیاری قطره‌ای از نظر تعداد و میانگین وزن غده‌ها اختلاف معنی‌داری وجود داشت و میزان آن‌ها در تیمار نوار تیپ در عمق ۷/۵ سانتی‌متر بالاتر بود. به‌طوری‌که

References

1. Abdul Hannan, A., Arif, M., Ranjha, A. M., Abid, A., Fan, X. H., and Li. Y. C. 2011. Using soil potassium adsorption and yield response models to determine potassium fertilizer rates for potato crop on a calcareous soil in Pakistan. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 42 (6): 645-655. <https://doi.org/10.1080/00103624.2011.550378>.
2. Abedi, T., and Pakniyat, H. 2010. Antioxidant enzyme changes in response to drought stress in ten cultivars of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*, 46 (1): 27-34.
3. Agricultural Statistics. 2018. (in Persian).
4. Akhavan, S., Mosavi, S. F., Mostafazadeh Fard, B., and Ghadami Firoozabadi, A. 2007. Investigation of type and furrow irrigation in terms of yield and water use efficiency in potato farming. *Agricultural Science and Technology and Natural Resources* 11 (41): 15-26. (in Persian).

5. Arvin, M. J., and Donnelly, D. J. 2008. Screening potato cultivars and wild species to abiotic stresses using an electrolyte leakage bioassay. *Journal of Agriculture Science Technology* 10: 33-42.
6. Baghani, J., Alizadeh, A., and Faridhosseini, A. 2012. The Effect of Surface and Subsurface Drip Irrigation on Quantity and Quality Potato. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 3 (6): 238-244. (in Persian).
7. Cakmak, I. 2002. Plant nutrition research: Priorities to meet human needs for food in sustainable ways. *Plant Soil* 3-24. <https://doi.org/10.1023/A:1021194511492>.
8. Cakmak, I. 2005. K alleviates detrimental effects of abiotic stresses in plants *Journal of Plant Nutrition*. 168: 521-530. <https://doi.org/10.1002/jpln.200420485>.
9. Camp, C. R., Lamm, F. R., Evans, R. G., and Phene, C. J. 2000; Subsurface drip irrigation Past, Present and Future. *Proceeding of the 4th Decennial*.
10. Coleman, W. K. 2008. Evaluation of wild solanum for drought resistance 1. *Solanum gandarillasii* Cardenas
11. Decov, I., Tsonev, T., and Yordanov, I. 2000. Effects of water stress and hightemperature stress on the structure and activity of photosynthetic apparatus of *Zea mays* and *Helianthus annuus*. *Photosynthetica* 38: 361-366. <https://doi.org/10.1023/A:1010961218145>.
12. Eskandari, A., Khazaei, H., Nezami, A., Kafi, M., and Majdabadi, A. 2011. The effect of irrigation regime on physiological characteristics, yield and potato water use efficiency in Mashhad weather conditions. *Journal of Horticultural Science* 25 (2): 201-210. (in Persian).
13. Food and Agriculture Organization. 2017. <https://www.fao.org/home/en>.
14. Ghadami Firozabadi, A., and Parvizi, Kh. 2009. Effect of low irrigation on yield and water use efficiency of new potato clones in strip drip irrigation (type). *Journal of Water in Agriculture* 4 (2): 133-144. (in Persian).
15. Hagman J. E., and Martenssen, A. 2009. Cultivation practices and potato cultivars suitable for organic potato production. *Potato Research* (in Persian .)
16. Hossaeini, S. M., and Amini, Z. 2013. Effect of potassium sulfate on potato stomatal resistance in Fars province. *Journal of Water in Agriculture* 28 (2): 365-373. (in Persian).
17. Jafarzadeh, L., Omid, H., and Bostani, A. A. 2014. The study of drought stress and bio fertilizer of nitrogen on some biochemical traits of Marigold medicinal plant (*Calendula officinalis* L.). *Journal of Plant Research* 27 (2): 180-192. (in Persian).
18. Kamkar, B., Daneshmand, A. R., Ghooshchi, F., Shiranirad, A. H., and Safahani Langeroudi A. R. 2011. The effects of irrigation regimes and nitrogen rates on some agronomic traits of canola under a semiarid environment. *Agricultural Water Management* 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.01.009>.
19. Khazaei, H. R. 2003. The effect of drought stress on yield and physiological characteristics of wheat resistant and sensitive cultivars and introducing the most appropriate drought resistance indices, Ph.D. in Agriculture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. (in Persian).
20. Khosravifar, S., Yarnia, M., Khorshidi Benam, M. B., and Hosseinzadeh Moghbeli, A. H. 2008. Effect of potassium on drought tolerance in potato cv. Agria. *Proceedings of the 10th Congress of Agronomy and Plant Breeding*. Iran. Pp: 358. (in Persian).
21. Moon, K., Lim, H. H. C., and Hyun, H. N. 2006. Water use efficiency of potato between sprinkler and drip irrigation systems under field condition 18th World Congress of Soil Science. July 9-15, Philadelphia, Pennsylvania, USA.
22. Motalebi Fard, R., Najafi, N. A., Ostan, Sh., Naeishabori, M., and Valizadeh, M. 2014. Effect of soil moisture, phosphorus and zinc on growth characteristics of potato under greenhouse conditions. *Iranian Soil and Water Research (Iranian Agricultural Science)* 41 (1): 75-86. (in Persian).
23. Nayyar, H., and Gupta, D. 2006. Differential sensitivity of C3 and C4 plants to water deficit stress: association with oxidative stress and antioxidants. *Environmental and Experimental Botany*. 58: 106-113. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.06.021>.
24. Ngouajio, M., Wang, G., and Goldy, R. 2007. Withholding of drip irrigation between transplanting and flowering increases the yield of field-grown tomato under plastic mulch. *Agricultural Water Management* 87: 285-291. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.07.007>.
25. Oron, G. D., Campos, C., Gillerman, L. and Salgot, M. 1999. Wastewater treatment, renovation and reuse for agricultural irrigation in small communities. *Agricultural Water Management* 38: 223-234. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(98\)00066-3](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(98)00066-3).
26. Patel, N., and Rajput, T. B. S. 2007. Effect of drip tape placement depth and irrigation level on yield of potato. *Agricultural Water Management* 88 (1-3): 209-223. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.10.017>.
27. Sairam, R. K., Rao, K. V., and Srivastava, G. C. 2002. Differential response of wheat genotypes to longterm salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Science* 163. 1037-1046. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(02\)00278-9](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00278-9).

28. Shaw, B., Thomas, T. H., and Cooke, D. T. 2002. Responses of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) to drought and nutrient deficiency stress. *Plant Growth Regulation*. 37: 77-83. <https://doi.org/10.1023/A:1020381513976>.
29. Shock, C. C., and Feibert E. B. G. 2002. Deficit irrigation on potato. In *Deficit irrigation practices*. FAO. Rome. pp: 47-56.
30. Shock, C. C. 2004. Efficient irrigation scheduling. Malheur Experiment Station, Oregon State University, Oregon, USA.
31. Stengrobe, B., and N. Claassen. 2000. Potassium dynamics in the rhizosphere and K efficiency of crops. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 163: 101-118. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1522-2624\(200002\)163:1<101::AID-JPLN101>3.0.CO;2-J](https://doi.org/10.1002/(SICI)1522-2624(200002)163:1<101::AID-JPLN101>3.0.CO;2-J).
32. Tolga, E., Yesim, E., and Hakan, O. 2005. Water Yield relationship of potato under different irrigation methods and regimens, University of Trakya, Dept of farm, Structures and Irrigation. <http://terdem. Tu. Tz. Edu. Tr>.



Comparison of Environmental Effects of Conventional and Low Input Saffron Production Systems in Razavi Khorasan by Using the Life Cycle Assessment Methodology

P. Rezvani Moghaddam^{1*}, S. Khorramdel², S. Farshchin³

Received: 20-01-2021

Revised: 28-07-2021

Accepted: 09-10-2021

How to cite this article:Rezvani Moghaddam, P., Khorramdel, S., and Farshchin, S. 2022. Comparison of Environmental Effects of Conventional and Low Input Saffron Production Systems in Razavi Khorasan by Using the Life Cycle Assessment Methodology. Iranian Journal of Field Crops Research 20 (1): 29-44. (in Persian with English abstract). DOI: [10.22067/jcesc.2021.68449.1015](https://doi.org/10.22067/jcesc.2021.68449.1015).

Introduction

Over the past few decades, agriculture has experienced rapid intensification in agricultural ecosystems. Although, this production pattern has significantly improved the yield of some crops, but has also led to an uncontrolled increase in the consumption of various chemical inputs. Agricultural activities are always dependent on natural resources and therefore have complex relationships with the environment. Evidence shows that the negative consequences of these activities, which are due to increased application of chemical inputs (such as fertilizers and pesticides) and fossil fuels, land use change and tightening of agricultural operations, increase the incidence of pollution. Global warming and climate change, natural habitat loss and endangered biodiversity. Indigenous knowledge is well recognized for its contribution to global warming and climate change adaptation strategies, and natural resource conservation. The present study aimed to compare the environmental impacts of low input (as a local production system) and conventional (as a high input farming system) saffron systems in Razavi Khorasan province, Iran.

Materials and Methods

The required data related to saffron yield and management methods in low input and conventional systems in Razavi Khorasan province were collected from the Ministry of Jihad Agriculture, saffron farmers and different organizations in charge of agriculture. Data (as a 7-year perennial crop) were collected by using a face-to-face questionnaire. Four phases, such as goal and scope definition, inventory analysis, impact assessment, and interpretation, were designed to assess the life cycle indicator based on the ISO14044 procedure. Four main categories as impacts, including global warming, acidification, and eutrophication (terrestrial and aquatic) were defined. The functional unit was considered as a one-kg flower yield. N_2O_{Direct} , $N_2O_{Indirect}$, $N_2O_{leaching}$, and $N_2O_{volatilization}$ were computed for the production systems. K^2 and Pearson coefficients were computed.

Results and Discussion

The results showed that the conventional system's flower yield was higher than the low input farming system, up to 71 percent. Aquatic eutrophication potential for the conventional system was computed with 15.07 kg PO_4 eq./ per kg of flower higher than other management systems up to 34%. Environmental indicators for low input and conventional production systems were calculated with 2.72 and 3.51 Ecox per per kg of flower, respectively. The share on impact categories such as global warming, acidification, terrestrial eutrophication, and aquatic eutrophication were calculated with 16, 7, 8 and 69 percent from the conventional system's Ecox. The values were computed with 17, 7, 8, and 68 percent from the low input system's Ecox. The relationship between flower yield and fuel, nitrogen and phosphorus, and manure and yield was significant. The highest Pearson coefficient was calculated for flower yield and fuel with +0.824. The amount of CO_2 emission in the low input system was equal to 312.15 kg equivalent of CO_2 per kg of flower yield, which was 95% higher than the conventional system. On the other hand, the emissions of CH_4 and N_2O in the conventional system were 322.88 and 4913.94 kg, respectively, equivalent to CO_2 per kg of flower yield, which is 31 and 28% higher than the

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

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

3- MSc. in Agroecology, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

(*- Corresponding Author Email: rezvani@um.ac.ir)DOI: [10.22067/jcesc.2021.68449.1015](https://doi.org/10.22067/jcesc.2021.68449.1015)

emissions of these greenhouse gases in the system under management was low input. The global warming potential for the conventional management system was equal to 5262.67 kg equivalent of CO₂ per kg of flower yield, which was 18% higher than the low input system.

Conclusion

Based on the results, it is suggested that the implementation of conservation tillage methods, consumption of low inputs and more efficient irrigation systems be used in saffron production systems, which reduces consumption of fossil fuels as well as soil low input matter recovery and in the long run can have a significant impact on reducing the use of chemical fertilizers, especially nitrogen fertilizers. The integration of conservation tillage, indigenous knowledge, and traditional management based on women farmers are valuable contributions for global warming and climate change strategies, sustainable agriculture, natural resource and water management conservation especially in high input saffron agroecosystems.

Keywords: Climate change, Indigenous knowledge, Global warming, Smallholder and traditional farming system

مقاله پژوهشی

جلد ۲۰، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱، ص ۴۴-۲۹

مقایسه اثرات زیست محیطی نظام های رایج و کم نهاده زعفران در استان خراسان رضوی با استفاده از ارزیابی چرخه حیات LCA

پرویز رضوانی مقدم^{۱*}، سرور خرم دل^۲، سینا فرشچین^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۱۷

چکیده

دانش بومی راهکاری سنتی در مدیریت نظام های کم نهاده و خرده پا است که عمدتاً برای سازگاری با گرمایش جهانی و تغییر اقلیم و حفاظت از منابع طبیعی نیز مفید واقع می شود. این مطالعه با هدف مقایسه اثرات زیست محیطی نظام های کم نهاده و رایج زعفران در استان خراسان رضوی انجام شد. نهاده های مصرفی طی سال های اول تا هفتم با استفاده از ۷۶ پرسشنامه جمع آوری و تعیین شد. ارزیابی چرخه حیات بر اساس روش ISO14044، در چهار گام مشخص سازی اهداف و حوزه عمل، ممیزی چرخه حیات، ارزیابی تاثیر چرخه حیات و تلفیق، نتیجه گیری و تفسیر نتایج محاسبه گردید. گروه های تاثیر مورد مطالعه شامل گرمایش جهانی، اسیدی شدن و اوتریفیکاسیون (در محیط های خشکی و آبی) بودند. واحد کارکردی معادل یک کیلوگرم گل در نظر گرفته شد. انتشار مستقیم و غیرمستقیم اکسید نیتروس و انتشار اکسید نیتروس تحت تاثیر آبیاری و تصعید برای نظام های مختلف محاسبه شد. به منظور بررسی همبستگی متغیرهای مختلف عملکرد با میزان مصرف نهاده ها از آزمون کای مربع و ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. نتایج نشان داد که در مدیریت های مختلف، بین عملکرد با مصرف سوخت، کاربرد نیتروژن و سوخت، مصرف نیتروژن و فسفر و کاربرد کود دامی با عملکرد رابطه معنی داری ($p \leq 0.05$) وجود داشت. عملکرد گل در نظام تحت مدیریت رایج در مقایسه با نظام کم نهاده ۷۱ درصد بالاتر بود. پتانسیل اوتریفیکاسیون آبی برای نظام رایج برابر با ۱۵/۰۷ کیلوگرم معادل PO_4 به ازای یک کیلوگرم گل محاسبه شد که ۳۴ درصد بالاتر از نظام کم نهاده بود. شاخص بوم شناخت برای نظام های کم نهاده و رایج به ترتیب ۲/۷۲ و $EcoX$ ۳/۵۱ به ازای یک کیلوگرم گل محاسبه شد. سهم گروه های مختلف تاثیر شامل گرمایش جهانی، اسیدی شدن و اوتریفیکاسیون در بوم نظام های خشکی و آبی از مجموع شاخص بوم شناخت در نظام رایج به ترتیب ۱۶، ۷، ۸ و ۶۹ درصد و برای نظام کم نهاده به ترتیب ۱۷، ۷، ۸ و ۶۸ درصد محاسبه شد. بالاترین ضریب همبستگی پیرسون برای عملکرد گل و مصرف سوخت برابر با ۰/۸۲۴ مثبت گردید. به کارگیری مدیریت کم نهاده اثرات زیست محیطی کمتری در مقایسه با نظام های رایج به دنبال داشت. بر اساس نتایج، پیشنهاد می شود که خاک ورزی حفاظتی، تلفیق دانش بومی و بهره گیری از مدیریت سنتی بر پایه حضور زنان می تواند به عنوان راهکارهایی برای کاهش اثرات زیست محیطی، مقابله با گرمایش جهانی و تغییر اقلیم، دستیابی به کشاورزی پایدار و حفاظت از منابع طبیعی و آب در نظام های فشرده تولید زعفران مدنظر قرار گیرد.

واژه های کلیدی: تغییر اقلیم، دانش بومی، گرمایش جهانی، نظام های سنتی و خرده پا

مقدمه

افزایش بی رویه مصرف انواع نهاده های شیمیایی محقق شده است (García- Palma and Sánchez-Mora Molina, 2016). شواهد نشان می دهد که پی آمدهای منفی این فعالیت ها که ناشی از افزایش مصرف نهاده های شیمیایی و سوخت های فسیلی، تغییر کاربری اراضی و فشرده گی عملیات زراعی می باشند، باعث تشدید بروز آلودگی های زیست محیطی، گرمایش جهانی و تغییر اقلیم، از بین رفتن زیستگاه های طبیعی و به مخاطره افتادن تنوع زیستی شده است (Heller and Keoleian, 2003 Tilman et al., 2002). کشاورزی به میزان زیادی تحت تاثیر تغییر اقلیم و گرمایش جهانی قرار می گیرد (Gregory et al., 2005). با توجه به تاثیر

بوم نظام های کشاورزی در چند دهه گذشته، با شدت بالایی فشرده سازی را تجربه کرده اند که این امر اگرچه بهبود قابل توجه عملکرد برخی محصولات زراعی را موجب شده ولی به واسطه

۱- استاد گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشیار گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- کارشناس ارشد کشاورزی اکولوژیک گروه آگروتکنولوژی دانشکده کشاورزی

دانشگاه فردوسی مشهد

(Email: rezvani@um.ac.ir)

(*)- نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/jcesc.2021.68449.1015

روستایی در بسیاری از نقاط جهان دارای اقلیم‌های مختلف نیز تاکید داشته‌اند (Briggs, 2013; Briggs, 2014; Briggs and Sharp, 2004). از اوایل قرن بیست و یکم، تحقیقات متعددی درباره دانش بومی و ارتباط آن با سازگاری نسبت به تغییر اقلیم در بوم‌نظام‌های زراعی انجام شده (Green and Raygorodetsky, 2010; Galloway Mclean, 2010; Salick and Ross, 2009) محققین متعقدند که سازگاری/ تخفیف تبعات تغییر اقلیم با به‌کارگیری دانش بومی در مدیریت نظام‌های زراعی امکان‌پذیر است (Hiwasaki et al., 2014).

با توجه به این امر که امروزه روند تولید و سطح زیر کشت محصولات ارگانیک و کم‌نهاد به شکل قانون‌مند و چشمگیری در حال افزایش است، لذا حرکت به سمت تولید ارگانیک زعفران که نظام تولید آن در ایران معمولاً به‌صورت کشاورزی خانوادگی، روستا محوری، خرده‌مالکی، معیشتی و کم‌نهاد مدیریت می‌شود (Khorramdel et al., 2018; Koocheki et al., 2017)، می‌تواند علاوه بر کاهش اثرات زیست‌محیطی، تضمین‌کننده رقابت ایران در بازارهای خارجی بوده و موجب ارتقای سطح سلامت مصرف‌کنندگان شود. فلاهی و همکاران (Fallahi et al., 2021) نیز تاکید نمودند اگرچه بسیاری از مراحل تولید، فرآوری، تجارت و مصرف زعفران در ایران بر مبنای دانش بومی پایه‌ریزی شده و بیشتر تولیدات این گیاه در مزارع با سطح کوچک به‌صورت همکاری خانوادگی و بهره‌گیری از نهاده‌ها و فناوری‌های بوم‌سازگار شکل می‌گیرد و از طرفی بخش قابل‌توجهی از تولید این محصول در ایران نزدیکی بالایی با اصول کشاورزی ارگانیک دارد، ولی از نظر قواعد و استانداردهای تولید این محصول صرفاً به‌عنوان یک محصول شیدارگانیک تلقی می‌شود. البته از جمله مشکلات مرتبط با تولید ارگانیک زعفران، عدم وجود استاندارد جامع، عدم دسترسی آسان و کم‌هزینه به موسسات صدور گواهی و نیز بازاریابی ضعیف محصول تولیدی معرفی شده‌اند (Fallahi et al., 2021). در همین راستا ارزیابی اثرات زیست‌محیطی تولید زعفران می‌تواند ضمن افزایش توجه به محیط زیست، منجر به کاهش هزینه‌ها و انتخاب شیوه‌های پایدار مدیریتی شود و از طرفی کیفیت محصول را نیز بهبود بخشد. از این‌رو، هدف این تحقیق، مقایسه اثرات زیست‌محیطی نظام‌های کم‌نهاد و رایج تولید زعفران در استان خراسان رضوی با استفاده از ارزیابی چرخه حیات LCA و برآورد انتشار اکسید نیتروس بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور جمع‌آوری داده‌ها مربوط به عملکرد زعفران و روش‌های مدیریتی در نظام‌های کم‌نهاد و رایج در استان خراسان رضوی (برای تمام سال‌های بهره‌برداری در مزارع هفت ساله)، از اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی استفاده و مراجعه حضوری به سازمان‌های زیربط و

مستقیم گرمایش جهانی بر درجه حرارت، این عامل محیطی کنترل‌کننده فرآیندهای اصلی گیاهان بوده و مراحل نمو و گلدهی را بشدت تحت تاثیر قرار می‌دهد (Koocheki et al., 2009; Menzel, 2000).

زعفران (*Crocus sativus* L.) یکی از محصولات اصلی و مهم استان خراسان می‌باشد که طی سال‌های اخیر تحقیقاتی مبتنی بر کاهش عملکرد آن تحت تاثیر گرمایش جهانی و تغییر اقلیم در مناطق مختلف تولید به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک گزارش شده است. اگرچه عوامل زراعی متعددی بر عملکرد گل این گیاه موثر هستند، ولی درجه حرارت عامل اصلی اقلیمی و کنترل‌کننده رفتار گلدهی آن می‌باشد (Koocheki et al., 2009; Molina et al., 2005; Gresta et al., 2009) و از طرفی، پیش‌بینی‌ها مویید افزایش درجه حرارت در استان خراسان طی سال‌های اخیر می‌باشد که تاثیر این تغییرات اقلیمی با استفاده از مدل‌سازی برای زعفران نیز تایید شده است (Koocheki et al., 2009).

یکی از مهم‌ترین راهکارهای سنتی در بوم‌نظام‌های زراعی خرده‌پا به‌منظور ارتقای ظرفیت سازگاری در بوم‌نظام‌های زراعی در مقابله با تغییر اقلیم و تخفیف سایر اثرات زیست‌محیطی، استفاده از پتانسیل دانش بومی^۱ می‌باشد. دانش بومی، بخشی از سرمایه ملّی هر قوم است که باورها، ارزش‌ها، روش‌ها و آگاهی‌های محلی و دانش‌های اکولوژیک افراد مختلف همچون کشاورزان را از محیط زندگی در بر می‌گیرد. این دانش، حاصل قرن‌ها آزمون و خطا بوده و تحت تاثیر عوامل اقتصادی و اجتماعی ایجاد می‌شود (García- Palma and Sánchez-Mora Molina, 2016). به‌کارگیری دانش بومی برای حفاظت از زمین، آب و منابع، ضروری می‌باشد (Turner and Garibaldi, 2004; Montanari and Bergh, 2019). راهکارهای سنتی و بوم‌سازگاران در بوم‌نظام‌های کشاورزی، تولید بهینه با اثرات زیست‌محیطی کم، ردپای اکولوژیکی پایین و متناسب با پتانسیل بالقوه، ریشه در بینشی عمیق دارد که کشاورزان آن را در طی زمان در وجود خود نهادینه نموده‌اند. کشاورزی کم‌نهاد و سنتی یا به بیانی خرده مالکی^۲ مبتنی بر دانش بومی بوده که بر ویژگی‌هایی چون سازگاری با محیط طبیعی، اتکا بر کاربرد منابع محلی، عدم وابستگی به منابع غیرتجدیدشونده، تنوع در کشت، استفاده معقول و بهینه از منابع، پایداری نظام‌های تولید غذا و حفاظت از منابع تاکید دارد (Cheharsoghi and Mirdamadi, 2008). شاهولی (Shahvali, 2011) تاکید نمود که دانش بومی جزء ضروری برای توسعه محلی محسوب می‌شود. بسیاری از محققان بر مزایای دانش بومی جوامع

1- Indigenous knowledge
2- Smallholder

$$N_2O_{Direct} = N_{NSF} \times EF \times 44/28 \times 310 \quad (۱)$$

$$N_2O_{Indirect} = N_2O_L \times N_2O_V \times 44/28 \times 310 \quad (۲)$$

در این روابط، N_2O_{Direct} : انتشار مستقیم اکسید نیتروس (بر حسب $kg \ N_2O \ ha^{-1}$)، N_{NSF} : میزان کود شیمیایی نیتروژن مصرفی بر حسب $kg \ ha^{-1}$ ، EF : فاکتور انتشار اکسید نیتروس برای نهاده‌های مختلف، $N_2O_{Indirect}$: انتشار غیرمستقیم اکسید نیتروس (بر حسب $kg \ ha^{-1}$) و N_2O_L و N_2O_V : به ترتیب انتشار اکسید نیتروس تحت تاثیر فرایندهای آبشویی و تصعید هستند که با استفاده از روابط (۳) و (۴) محاسبه شدند.

$$N_2O_L = N_F \times R_L \times EF_L \quad (۳)$$

$$N_2O_V = N_F \times R_V \times EF_V \quad (۴)$$

در این روابط، N_F : مقدار مصرف کود نیتروژن بر حسب $kg \ ha^{-1}$ ، R_L و R_V : به ترتیب نشان‌دهنده ضرایب انتشار در اثر آبشویی و تصعید و EF_L و EF_V : فاکتورهای انتشار بر اثر آبشویی و تصعید، $R_{Leaching}$ و $R_{Volatilization}$: ضرایب انتشار اکسید نیتروس تحت تاثیر آبشویی و تصعید می‌باشند (Helgason et al., 2005).

نتایج بر اساس آماره‌های توصیفی و فراوانی نتایج پرسشنامه‌ها با استفاده از کای مربع پی‌رسون، ضریب همبستگی پی‌رسون به کمک نرم‌افزار تحلیل آماری SPSS ver. 25 مورد مقایسه آماری قرار گرفت. شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای Excel و Sigma plot رسم شد.

نتایج و بحث

در جدول ۱ ضرایب کای مربع پی‌رسون برای عملکرد گل و میزان مصرف نهاده‌ها در نظام‌های کم‌نهاده و پرنهاده تولید زعفران نشان داده شده است.

همان‌گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، مجموع عملکرد گل زعفران در نظام‌های هفت ساله تحت مدیریت رایج ۷۱ درصد بالاتر از نظام‌های کم‌نهاده تعیین گردید که تحت تاثیر فراهمی بالاتر عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن و فسفر و خاک‌ورزی‌های فشرده می‌باشد. در سایر مطالعات نیز حداقل اختلاف بین عملکرد در نظام‌های رایج و کم‌نهاده ۲۰ درصد گزارش شده است (Lee et al., 2019) که به تفاوت در مدیریت نظام‌های زراعی به‌ویژه محتوی فسفر خاک نسبت داده می‌شود (Oehl et al., 2002). نتایج مطالعه فعلی همچنین تایید نمود که عملکرد در هر دو نظام مدیریتی رایج و سنتی ارتباط معنی‌داری ($p \leq 0.05$) با میزان مصرف سوخت دارد. نتایج آزمون همبستگی پی‌رسون با عدد $+0.824$ نشان‌دهنده ارتباط خطی مثبت و قوی بین این دو متغیر می‌باشد (جدول ۱) که تاکید می‌نماید مصرف نهاده‌های شیمیایی و به‌کارگیری ماشین‌آلات در نظام‌های فشرده بر عملکرد گل زعفران بسیار موثر می‌باشد.

تکمیل ۷۶ پرسشنامه از کشاورزان مختلف در شهرستان‌های نیشابور، فیروزه، مشهد، سبزوار، قوچان، تربت حیدریه و کاشمر انجام شد. لازم به ذکر است اگرچه برخی مزارع به‌ویژه بر مبنای مدیریت سنتی و کم‌نهاده دارای سن بیشتری بودند، ولی جهت ایجاد یکنواختی تنها هفت سال اول هر مزرعه به‌عنوان یک نظام تولیدی مدنظر قرار گرفت.

ارزیابی اثرات زیست محیطی: بر اساس روش ارائه شده در ISO₁₄₀₄₄ (Brentup et al., 2004a, b; ISO, 2006) LCA در چهار گام تعریف اهداف و حوزه عمل، ممیزی چرخه حیات، ارزیابی تاثیر چرخه حیات و تلفیق و تفسیر نتایج، محاسبه و تعیین شد. در گام اول، «واحد کارکردی» معادل یک کیلوگرم گل در نظر گرفته شد (Brentup et al., 2004a, b). در گام دوم، میزان مصرف نهاده‌ها تحت هر دو نوع نظام مدیریتی بر حسب واحد کارکردی محاسبه (Brentup et al., 2001) و اثرات زیست محیطی بر اساس استانداردهای بین‌المللی برآورد شد (Finkbeiner et al., 2006).

گروه‌های تاثیر مورد مطالعه شامل گرمایش جهانی، اسیدی شدن و اوتریفیکاسیون در دو زیرگروه آبی و خشکی بودند. پتانسیل گرمایش جهانی که برای بیان پتانسیل انتشار انواع گازهای گلخانه‌ای در تشدید گرمایش جهانی و تغییر اقلیم مورد استفاده قرار می‌گیرد (Brentup et al., 2004a, b)، از طریق تعیین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای شامل دی‌اکسید کربن، متان و اکسید نیتروس محاسبه و بر اساس معادل دی‌اکسید کربن یکسان‌سازی شد (ISO, 2006). پتانسیل اسیدی شدن، بر اساس میزان ورود املاح و ترکیبات معدنی به خاک برآورد و به‌صورت کیلوگرم واحد معادل SO_2 به ازای واحد کارکردی بیان شد (Brentup et al., 2004a, b; Biswas et al., 2008). از آنجا که ورود NH_3 و NO_x در بوم‌نظام‌های خشکی و نشت ترکیبات نیتروژن و فسفر به آب‌های سطحی در بوم‌نظام‌های آبی موجب تشدید پتانسیل اوتریفیکاسیون می‌شود (Brentup et al., 2004a, b)، این گروه تاثیر در دو زیرگروه خشکی و آبی برآورد و به ترتیب بر اساس واحدهای معادل NO_x و PO_4 یکسان‌سازی شد (Brentup et al., 2004a, b).

در گام بعد، سه گروه فوق ممیزی و تاثیر کارکرد بوم‌نظام بر اساس واحد کارکردی تعیین شد. شاخص‌ها بر اساس دستورالعمل ISO و ضرایب، نرمال‌سازی (Guinée, 2001) و وزن‌دهی شدند تا شدت تاثیر آن‌ها بر حسب وزن هر گروه لحاظ گردد (Brentup et al., 2004a, b). در آخرین مرحله، شاخص بوم‌شناخت محاسبه شد (Brentup et al., 2004a, b).

برآورد انتشار اکسید نیتروس: میزان انتشار مستقیم و غیرمستقیم اکسید نیتروس تحت تاثیر مصرف کودهای شیمیایی با استفاده از روابط (۱) و (۲) محاسبه گردید (Rochette, 2008).

میزان انتشار دی اکسید کربن در نظام رایج برابر با ۶۶۸/۸۲ کیلوگرم معادل دی اکسید کربن به ازای یک کیلوگرم گل محاسبه شد که ۵۲ درصد بالاتر از نظام کم‌نهاده بود. از طرف دیگر، میزان انتشار متان و اکسید نیتروس در نظام رایج به ترتیب ۳۲۲/۸۸ و ۴۹۱۳/۹۴ کیلوگرم معادل دی اکسید کربن به ازای یک کیلوگرم گل به دست آمد که ۲۳ و ۲۷ درصد بالاتر از انتشار این گازها در نظام کم‌نهاده بود. مجموع پتانسیل گرمایش جهانی برای نظام مدیریت رایج برابر با ۵۲۶۲/۶۷ کیلوگرم معادل دی اکسید کربن به ازای یک کیلوگرم گل محاسبه شد که ۲۷ درصد بالاتر از نظام کم‌نهاده حاصل گردید (شکل ۱).

نتایج نشان داد که میزان مصرف نیتروژن در نظام‌های رایج کشت زعفران ارتباط معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با میزان

مصرف سوخت دارد. هرچند نتایج آزمون همبستگی پیرسون ارتباط خطی مثبتی بین این دو متغیر نشان نداد، اما بر اساس نتایج، به‌طور کلی افزایش استفاده از نهاده‌های کشاورزی و سوخت ارتباط مثبتی با یکدیگر دارند (جدول ۱). مصرف انرژی در بوم‌نظام‌های زراعی به‌واسطه استفاده از کودهای شیمیایی نیتروژنه، به‌کارگیری ماشین‌های کشاورزی و اجرای روش‌های آبیاری موجب افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود (Moudry et al., 2013; Ramedani et al., 2011). از طرف دیگر، بختیاری و همکاران (Bakhtiari et al., 2015) میانگین انتشار گازهای گلخانه‌ای در نظام‌های تولید زعفران را ۲۳۲۵/۵ کیلوگرم معادل دی اکسید کربن در هکتار برآورد کرده و عمده‌ترین عامل انتشار این گازها را به مصرف کودهای شیمیایی نسبت دادند.

جدول ۱- ضرایب کای مربع پیرسون برای عملکرد گل و مصرف نهاده‌ها در نظام‌های کم‌نهاده و پر‌نهاده تولید زعفران

Table 1- Pearson Chi-Square coefficients for flower yield and some inputs in low input and conventional production systems of saffron

	نظام کم‌نهاده Low input system		نظام رایج Conventional system		
	عملکرد گل و سوخت Flower yield and fuel	عملکرد گل و سوخت Flower yield and fuel	عملکرد گل و کود دامی Flower yield and cow manure	سوخت و نیتروژن Fuel and nitrogen	نیتروژن و فسفر Nitrogen and phosphorus
کای مربع پیرسون Pearson Chi-Square	559.583*	716.833**	451.500**	268.651**	111.400**
آزمون نسبت درست‌نمایی Likelihood ratio	180.522	208.655	146.741	112.760	66.777
پیوستگی خطی Linear-by-linear association	0.045	26.470	4.233	2.304	1.531

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

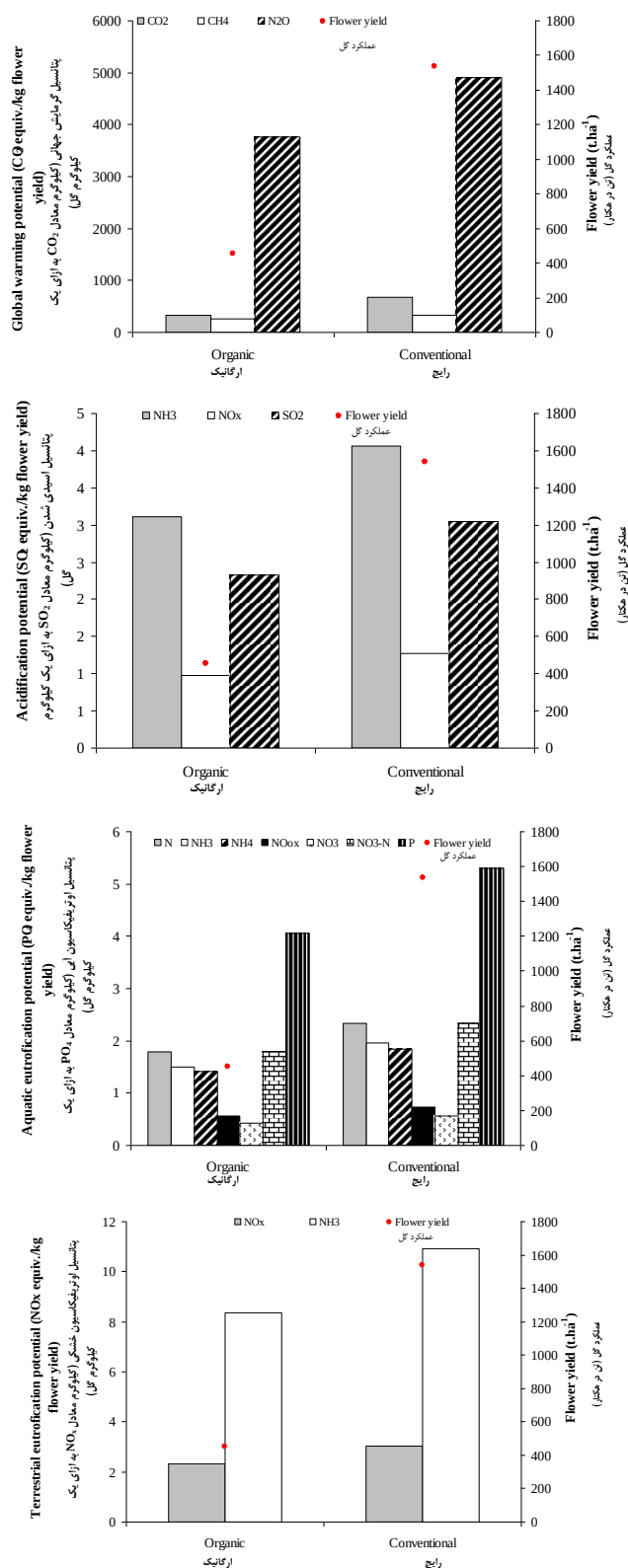
* and **: are significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

راهکارهای زراعی مناسب تحت تاثیر کشاورزی حفاظتی، تخفیف مصرف انرژی و انتشار کربن را به دنبال دارد (Karimi et al., 2012).

از دیگر دلایل مصرف بالای سوخت در مزارع زعفران تحت تاثیر مدیریت‌های مختلف، به‌ویژه مدیریت‌های سنتی و خرده‌پا به‌کارگیری ماشین‌آلات فرسوده و با عمر زیاد و عدم تناسب ماشین‌آلات با عملیات زراعی و مساحت مزرعه می‌باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد کشاورزی حفاظتی با بهبود کیفیت و تنظیم چرخه‌های عناصر غذایی در خاک باعث افزایش تاب‌آوری نظام‌های زراعی برای انطباق با تغییرات اقلیمی می‌شود، از این‌رو اجرای این نظام، به‌عنوان یک راهکار اکولوژیک برای سازگاری با تغییرات اقلیمی مطرح می‌باشد (Hobbs and Govaerts, 2010).

در همین راستا، برآوردها نشان می‌دهد فعالیت‌های کشاورزی و تغییر کاربری اراضی عامل انتشار ۲۴-۲۱ درصد گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر می‌باشند (Aguilera et al., 2013a; Morugán-Coronado et al., 2020; Vicente-Vicente et al., 2016; Tubiello et al., 2015). بر اساس نتایج مطالعات متاآنالیز، نقش کشاورزی در تخفیف و سازگاری نظام‌های زراعی در مقابله به‌طور معنی‌داری با تغییر اقلیم بالا تعیین شده است (Aguilera et al., 2013a; Morugán-Coronado et al., 2020; Lee et al., 2019; Moudry et al., 2013).

علاوه بر این که به‌کارگیری نظام‌های خاک‌ورزی فشرده و رایج تشدید تغییر اقلیم و تخریب خاک را به دنبال دارد، در درازمدت نیز به‌کارگیری این نوع مدیریت زراعی می‌تواند تهدیدی برای پایداری نظام‌های زراعی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب شود (Morugán-Coronado et al., 2020). از طرف دیگر، به‌کارگیری



شکل ۱- انتشار آلاینده‌ها و شاخص‌های تاثیر چرخه حیات برای گروه‌های مختلف تاثیر در نظام‌های تولید زعفران به ازای یک واحد کارکردی
Figure 1- Emissions of pollutants and life cycle impact indicators for different impact categories in saffron production systems per one functional unit

اجرای نظام‌های کشاورزی حفاظتی علاوه بر ایجاد پایداری، به علت عدم خاکورزی فشرده و حفظ باقیمانده‌های گیاهی موجب افزایش ترسیب کربن و صرفه‌جویی در مصرف سوخت و نیروی کار شده (Su et al., 2007) که در نهایت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را نیز به دنبال دارد (Baker et al., 2007). نتایج بررسی هزینه‌های کشاورزی در اجرای نظام‌های حفاظتی نسبت به نظام‌های فشرده و رایج در اردن نشان داد که با کاهش به کارگیری نیروی کار و ماشین‌آلات برای عملیات آماده‌سازی زمین در نظام‌های کشاورزی حفاظتی، مصرف سوخت و انرژی حدود ۴۰-۶۰ درصد کاهش یافت (Robertson et al., 2000). روبرتسون و همکاران (Robertson et al., 2000) نیز عنوان کردند اجرای نظام کشاورزی حفاظتی، با مصرف سوخت فسیلی کمتر، موجب افزایش نسبی ماده آلی در خاک می‌شود که به نوبه خود به مرور زمان نیاز به استفاده از کودهای شیمیایی را کاهش و ثبات را بهبود خواهد داد. از طرف دیگر، اجرای شیوه‌های کشاورزی رایج که به خاک‌ورزی فشرده و مصرف کودهای شیمیایی متکی هستند، با تسریع در تجزیه بقایای محصولات گیاهی، علاوه بر تاثیر منفی بر فعالیت میکروارگانیسم‌های خاکزی، کربن را به اتمسفر منتشر می‌کند (Baker et al., 2007). در همین راستا برآورد شده است که در سال‌های اخیر کربن زیادی که طی سالیان طولانی در خاک ترسیب شده بود، به دلیل اجرای خاک‌ورزی‌های فشرده به اتمسفر آزاد شده است (Balesdent et al., 2000; Six et al., 2004). بر این اساس، واردات تکنولوژی‌های سازگار با محیط و اجرای خاک‌ورزی‌های حفاظتی می‌تواند علاوه بر حفظ بقایای گیاهی و بهبود ماده آلی خاک، نقش موثری در راستای انتشار غلظت دی‌اکسید کربن به همراه داشته باشد (Al-Kaisi and Yin, 2005). همچنین از آنجا که کارکردهای خاک حمایت‌کننده و پشتیبان سایر خدمات بوم‌نظام و تعیین‌کننده کیفیت خاک می‌باشد (Zornoza et al., 2015)، اجرای نظام‌های کم‌خاک‌ورزی با حداقل دستکاری و برهم زدن خاک می‌تواند علاوه بر بهبود خدمات، سایر کارکردها نظیر کاهش تبخیر و بهبود محتوی ذخیره رطوبتی خاک را تقویت و ثبات تولید را به‌ویژه برای این نظام‌های حساس نسبت به تغییرات اقلیمی تضمین نماید.

علاوه بر مزایای ذکر شده در فوق، اگرچه زنان معمولاً نقش حاشیه‌ای و اندکی در مدیریت نظام‌های کشاورزی دارند (Glazenbrook, 2011)، ولی به نظر می‌رسد که وارد کردن آن‌ها در مدیریت نظام‌های زراعی به‌ویژه در نظام‌های مبتنی بر مدیریت سنتی و کشاورزی خانوادگی^۱ همچون زعفران می‌تواند انعطاف‌پذیری و سازگاری این نظام‌ها را نسبت به تغییرات اقلیمی بهبود بخشد

(Galvin, 2009; McKune et al., 2015). بررسی‌ها تایید می‌نماید که زنان در نظام‌های کشاورزی خرده‌پا تمایل زیادی به پذیرش تکنولوژی‌های سازگار با منابع طبیعی دارند (Murage et al., 2015). سایر مطالعات نیز نشان می‌دهد که زنان دارای دانش اکولوژیکی بومی بوده و علاقه‌مند به حفاظت پایدار از محیط‌زیست و مدیریت سازگار با منابع طبیعی هستند (Montanari and Bergh, 2019). بر این اساس، به نظر می‌رسد بهره‌گیری از زنان روستایی در مدیریت تولید زعفران به‌ویژه نظام‌های رایج و فشرده به‌دلیل نگاه عمیق و بوم‌شناختی آن‌ها از طریق اجرای مدیریت کم‌نهاد و مصرف کمتر نهاده‌های شیمیایی می‌تواند در کاهش اثرات زیست‌محیطی مفید واقع شود.

انتشار اکسید نیتروس بین یک تا پنج درصد از نیتروژن مصرفی در مدیریت زراعی نظام‌های تولیدی گزارش شده است، علاوه بر این، اکسید نیتروس تحت تاثیر فرآیند دنتریفیکاسیون به محیط منتشر می‌شود (Crutzen et al., 2008). میزان مصرف نیتروژن در نظام‌های رایج کشت زعفران ارتباط معنی‌داری با مصرف فسفر داشته ($p \leq 0.01$) (جدول ۱) که نشان‌دهنده تمایل بالای مصرف انواع کودهای شیمیایی در بین کشاورزان در نظام‌های تحت مدیریت رایج بالا می‌باشد. البته از آنجا که جذب عناصر غذایی به تعادل بین محتوی آن‌ها در خاک بستگی دارد، لذا پیشنهاد می‌شود که هنگام مصرف کودهای شیمیایی، خصوصیات خاک تعیین شود.

مصرف کودهای دامی مهم‌ترین منبع انتشار متان از مزارع تحت مدیریت کم‌نهاد و ارگانیک می‌باشند؛ به طوری‌که انتشار آن، ۰/۳۷ گرم متان به ازای هر کیلوگرم کود دامی در سال گزارش شده است (Van der Hoek and Van Schijndel, 2006). با وجود تاثیر مثبت کاربرد کود دامی بر بهبود خصوصیات خاک، برخی محققان تأکید دارند که افزایش ماده آلی خاک به‌عنوان راهکاری بوم‌شناختی در جهت بهبود پتانسیل ترسیب کربن و کاهش تغییر اقلیم موثر می‌باشد (Zhang et al., 2016).

سهم انتشار NH_3 ، NO_x و SO_2 در گروه تأثیر اسیدی شدن در نظام رایج تولید زعفران به‌ترتیب ۴/۰۶، ۱/۲۷ و ۳/۰۴ کیلوگرم معادل SO_2 به ازای یک کیلوگرم گل به‌دست آمد که ۲۷، ۲۳ و ۳۴ درصد بالاتر از نظام کم‌نهاد بود. مجموع پتانسیل گروه تأثیر اسیدی شدن برای نظام رایج برابر ۸/۳۷ کیلوگرم معادل SO_2 به ازای یک کیلوگرم گل محاسبه شد که ۴۱ درصد بالاتر از نظام تحت مدیریت کم‌نهاد بود (شکل ۱).

فعالیت‌های کشاورزی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل نشت فرم‌های مختلف نیتروژن به محیط‌زیست مطرح می‌باشد (Billen et al., 2013). تولید و مصرف کودهای شیمیایی و به‌ویژه نیتروژن علاوه بر مصرف انرژی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین موارد موثر در ایجاد

(Zolfi Bavariani and Nouruzi, 2010). نتایج تحلیل رگرسیونی گام‌به‌گام رفتار کشاورزان منطقه ورامین بر پذیرش استفاده از انواع کودهای آلی و روش‌های حفاظت خاک پایدار نشان داد که دانش حفاظت از خاک می‌تواند تا ۸۳ درصد از تغییرات پذیرش روش‌های حفاظت آن را توضیح دهد (Rezvanfar et al., 2009). از این‌رو، راهکارهای مبتنی بر افزایش مصرف نهاده‌های آلی در جهت تولید باثبات در بوم‌نظام‌های زراعی مناطق خشک و نیمه‌خشک به موضوعی اساسی برای کاهش فقر و ارتقای وضعیت پایداری کشاورزی و از طرفی بهبود خصوصیات خاک به‌ویژه در نظام‌های سنتی و مبتنی بر اصول مدیریت اکولوژیک و ارگانیک تبدیل شده‌است.

آموزش و ترویج کشاورزان جهت آگاه‌سازی، آرایه راهکارهای پایدار همراه با شناخت خصوصیات اکولوژیکی گیاهان و توجه به شرایط آب و هوایی منطقه می‌تواند در انتخاب بهترین روش‌های مدیریت آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز و کاهش اثرات زیست‌محیطی ناشی از مصرف کودها و سموم شیمیایی در گروه تأثیر اوتریفیکاسیون موثر واقع شود (Woodley, 1991). استفاده از علف‌کش‌های شیمیایی علاوه بر افزایش هزینه، از طریق ایجاد مقاومت در علف‌های هرز و افزایش غلظت و دفعات کاربرد سموم مصرفی، پایداری نظام‌های رایج را تهدید می‌نماید. همچنین نتایج برخی پژوهش‌ها در شرایط تغییر اقلیم نشان داد که به دلیل افزایش سرعت تجزیه آفت‌کش‌ها در اثر افزایش درجه‌حرارت‌های بالا و تغییر در برخی عوامل محیطی، تأثیر مصرف این مواد شیمیایی کمتر شده که در نتیجه افزایش مصرف این سموم را به دنبال خواهد داشت. علاوه بر این نتایج برخی تحقیقات نشان داده است که جذب و انتقال سموم دفع آفات، وابسته به میزان بارندگی و محتوی آب قابل دسترس در خاک بوده و تأثیر آن در صورت کاهش تعرق در مناطق خشک و نیمه‌خشک همچون مزارع زعفران، محدود می‌شود (Keikotlhaile, 2011). بنابراین، انتظار می‌رود که با تشدید تغییرات اقلیمی، تعداد و غلظت مصرف آفت‌کش‌های مصرفی نیز بیشتر شود که در این شرایط به‌کارگیری روش‌های سازگار، جایگزین و تلفیقی در کاهش اثرات زیست‌محیطی اهمیت بیشتری دارد (Delcours et al., 2015). از این‌رو، با توجه به اهمیت دانش بومی در حفاظت از تنوع بیولوژیکی و استفاده پایدار از منابع طبیعی (Smith et al., 2017)، پیشنهاد می‌شود روش‌های غیرشیمیایی و سازگار با محیط‌زیست مشابه با نظام‌های سنتی و تحت مدیریت کم‌نهاد و ارگانیک برای کنترل آفات و علف‌های هرز به‌کارگرفته شود که این امر تخفیف اثرات زیست‌محیطی گروه‌های تأثیر اسیدی شدن و اوتریفیکاسیون را به دنبال دارد.

مجموع شاخص بوم‌شناخت برای نظام‌های کم‌نهاد و رایج تولید زعفران به‌ترتیب ۲/۷۲ و ۳/۵۱ EcoX به ازای یک کیلوگرم گل

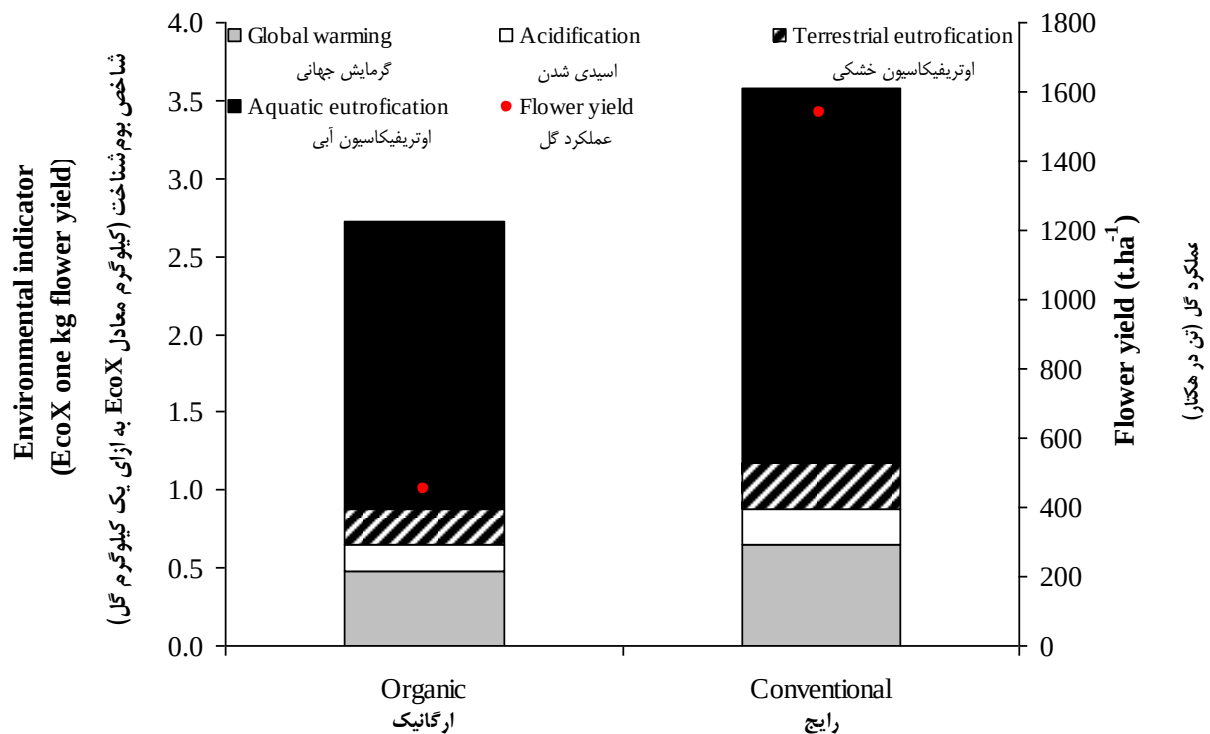
و تشدید بروز آلودگی آب‌های زیرزمینی و سطحی محسوب می‌شود (Zhang et al., 2012; Bexfield, 2008). بر این اساس، به‌کارگیری تناوب‌های زراعی با تأکید بر گیاهان خانواده بقولات و تغییر در تعداد سال‌های آیش، ذخیره‌سازی آب، بهبود چرخه‌های غذایی در خاک و کاهش نیاز به مصرف کودهای شیمیایی را به همراه دارد (White et al., 2011). همچنین به‌علت برهم‌زدن چرخه زندگی آفات و بیماری‌ها، امکان کنترل آن‌ها از طریق راهکارهای پایدار نیز فراهم می‌شود و استفاده از سموم شیمیایی را نیز به حداقل می‌رساند. کاشت گیاهان با عمق توسعه ریشه متفاوت در شرایط اجرای تناوب زراعی، امکان استفاده از آب و عناصر غذایی از اعماق متفاوت خاک را نیز فراهم می‌آورد، از طرفی نیازهای متفاوت عناصر غذایی برای گیاهان مختلف در تناوب زراعی باعث کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی نیز می‌شود (ECAP, 2019). از این‌رو، انتخاب و اجرای تناوب‌های زراعی مناسب می‌تواند در سازگاری و تخفیف اثرات زیست‌محیطی ناشی از مصرف سموم و کودهای شیمیایی همچون گروه تأثیر اسیدی شدن مفید واقع شود.

میزان انتشار NO_x و NH_3 در نظام رایج به‌ترتیب ۳/۰۴ و ۱۰/۹۱ کیلوگرم معادل SO_2 به ازای یک کیلوگرم گل به‌دست آمد که ۴۵ درصد بالاتر از نظام تحت مدیریت کم‌نهاد بود. مجموع پتانسیل گروه تأثیر اوتریفیکاسیون در زیرگروه خشکی در نظام رایج ۰/۲۹ کیلوگرم معادل SO_2 به ازای یک کیلوگرم گل به‌دست آمد که ۳۵ درصد بالاتر از نظام کم‌نهاد بود (شکل ۱). همچنین میزان انتشار N ، NH_3 ، NH_4 ، NO_x ، NO_3 ، $\text{NO}_3\text{-N}$ و P برای نظام رایج به‌ترتیب با ۲/۴۳، ۱/۹۵، ۱/۸۴، ۰/۷۳، ۰/۵۶، ۲/۴۳ و ۵/۳۰ کیلوگرم معادل PO_4 به ازای یک کیلوگرم گل حاصل گردید که ۱۹، ۲۷، ۳۲، ۳۸، ۴۱، ۴۴ و ۱۶ درصد بالاتر از انتشار این فرم‌های آلاینده‌ها در نظام کم‌نهاد بود. مجموع پتانسیل اوتریفیکاسیون در زیرگروه آبی برای نظام رایج برابر با ۱۵/۰۷ کیلوگرم معادل PO_4 به ازای یک کیلوگرم گل محاسبه شد که ۳۴ درصد بیشتر از نظام تحت مدیریت کم‌نهاد بود (شکل ۱).

انتشار نیترات به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر در گروه تأثیر اوتریفیکاسیون، بیش از هر چیز به شرایط اقلیمی و خصوصیات خاک بستگی داشته و در شرایط محیطی ثابت، تابع میزان مصرف نیتروژن است (Charles et al., 2006). فسفر نیز به‌عنوان یکی دیگر از اصلی‌ترین عوامل مؤثر در تشدید اوتریفیکاسیون در بوم‌نظام‌های زراعی مختلف تحت انواع شرایط آب و هوایی در دنیا محسوب می‌شود (Khoshnevisan et al., 2013; Charles et al., 2006). از طرفی، ماده آلی می‌تواند به صورت پوششی محافظ در اطراف ذرات کود، به‌عنوان پیونددهنده فسفر در محل‌های تبادل آنیونی بوده و یا از طریق واکنش با فسفر و تشکیل ترکیبات فسفات آلی عمل نماید و قابلیت استفاده از فسفر را به دلیل آزادسازی تدریجی آن افزایش دهد

تأثیر گرمایش جهانی، اسیدی شدن و اوتریفیکاسیون در بوم‌نظام خشکی و آبی از مجموع شاخص بوم‌شناخت در نظام رایج به‌ترتیب ۱۶، ۷، ۸ و ۶۹ درصد و برای نظام با مدیریت کم‌نهاد به‌ترتیب ۱۷، ۷، ۸ و ۶۸ درصد محاسبه گردید (شکل ۲).

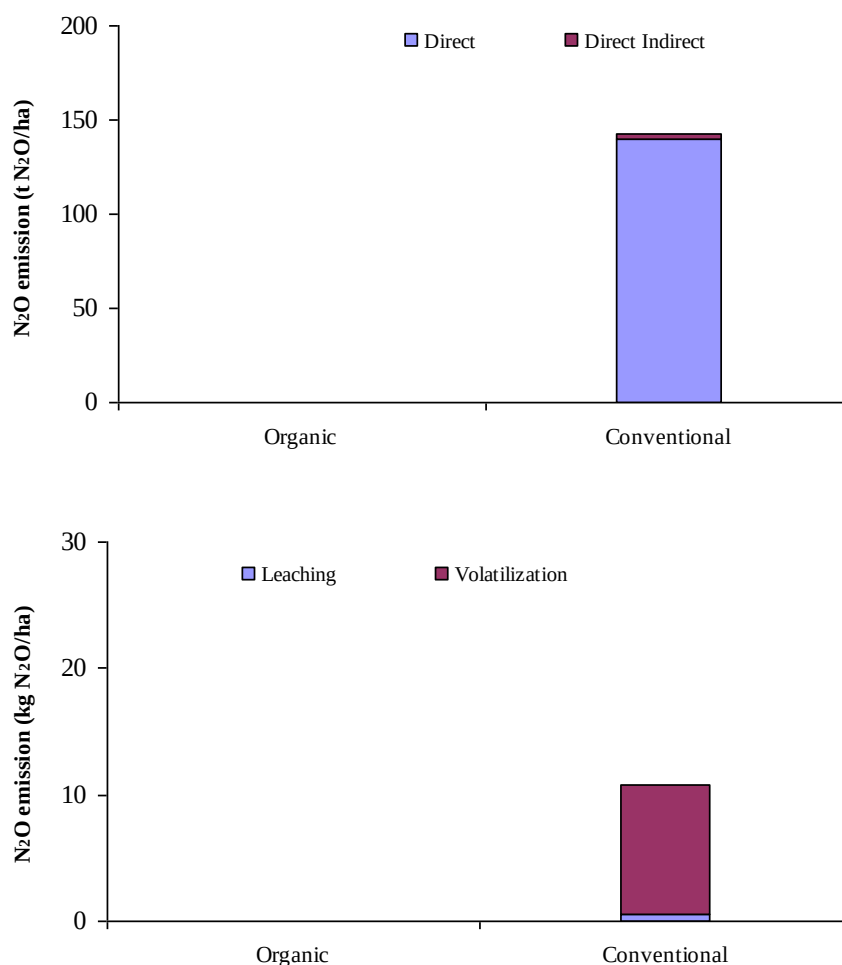
محاسبه شد. میزان این شاخص در نظام‌های مختلف برای گروه‌های تأثیر گرمایش جهانی، اسیدی شدن و اوتریفیکاسیون در بوم‌نظام‌های خشکی و آبی برای مدیریت رایج به‌ترتیب برابر با ۰/۵۷، ۰/۲۴، ۰/۲۹ و ۱/۷۶ EcoX به ازای یک کیلوگرم گل به‌دست آمد که ۱۸، ۲۵، ۳۳ و ۲۶ درصد بالاتر از نظام دارای مدیریت کم‌نهاد بود. سهم گروه‌های



شکل ۲- شاخص بوم‌شناخت چرخه حیات در گروه‌های مختلف تأثیر به ازای یک کیلوگرم گل در نظام‌های مختلف تولید زعفران
Figure 2- Environmental indicators of different impact categories for one kg flower in different production systems of saffron

دانش نوین; Montanari and Bergh, 2019; Ford et al., 2016; Strauch et al., 2016; UN-CFCCC, 2013) مدنظر قرار گیرد. میزان انتشار اکسید نیتروس تحت تأثیر فرآیندهای آبشویی و تصعید در نظام‌های تولید فشرده به‌ترتیب برابر با ۰/۵۱ و ۱۰/۲۸ کیلوگرم اکسید نیتروس به ازای یک هکتار و میزان انتشار مستقیم و غیرمستقیم اکسید نیتروس در نظام‌های تحت مدیریت رایج و فشرده برابر با ۱۴۰/۲۴ و ۲/۵۷ تن اکسید نیتروس به ازای یک هکتار برآورد گردید. همچنین به‌دلیل عدم مصرف کودهای شیمیایی نیتروژنه تحت مدیریت کم‌نهاد میزان انتشار این گاز گلخانه‌ای برابر با صفر محاسبه شد (شکل ۳).

یکی از راهکارهای اکولوژیکی برای بهبود وضعیت زیست‌محیطی در بوم‌نظام‌های زراعی، افزایش بهره‌وری و بهبود عملکرد اقتصادی است (Iriarte et al., 2010; Romero-Gómez et al., 2014). بر این اساس، به منظور بهینه‌سازی نظام‌های تولید زعفران در استان خراسان رضوی از نظر انرژی، وضعیت اقتصادی و همچنین کاهش اثرات زیست‌محیطی، پیشنهاد می‌شود بهینه‌سازی و انتخاب الگوهای کاشت مناسب، جایگزینی نهاده‌ها و منابع غیرقابل تجدید با نهاده‌های تجدیدپذیر (Alluvione et al., 2011)، اجرای کشاورزی دقیق، توسعه به‌کارگیری تکنولوژی‌های نو (Yuan and Peng, 2017)، ارتقای وضعیت ماشین آلات و بهره‌گیری از دانش بومی و تلفیق آن با



شکل ۳- میانگین انتشار اکسید نیتروس در نظام‌های تولید زعفران تحت مدیریت‌های مختلف
Figure 3- Mean of N₂O emission for saffron crop under different management systems

به‌ویژه نیتروژن در نظام‌های زراعی نظیر زعفران، متوسط عملکرد این گیاه پایین‌تر از سایر کشورهای عمده تولیدکننده بوده (Koocheki, 2018) و رابطه مثبت و معنی‌داری بین مصرف کودهای مختلف و عملکرد این گیاه در ایران گزارش نشده است. در همین راستا چارلز و همکاران (Charles *et al.*, 2006) نیز نتیجه گرفتند که تأمین مقادیر عناصر مورد نیاز گیاه با تأکید بر بهبود کارایی مصرف نهاده‌ها مزایای زیست محیطی بسیاری به دنبال دارد.

سلامت خاک تحت عنوان شاخصی برای تعیین ظرفیت آن به‌صورت کارکرد بوم‌نظام تعریف می‌شود که اجزای زنده و کارکردهای آن‌ها را حمایت می‌نماید (Doran and Zeiss, 2000). این شاخص کیفی به‌طور چشمگیری وابسته به مدیریت زراعی (Doran and Zeiss, 2000) بوده که تضمین‌کننده دستیابی به عملکرد بالا بوده و موجب جلوگیری از تلفات عناصر غذایی می‌شود

نتایج این مطالعه تایید نمود که عملکرد گل زعفران ارتباط معنی‌داری ($p \leq 0.01$) با میزان مصرف کودهای دامی دارد. همچنین نتایج آزمون همبستگی پیرسون با عدد $+0.396$ نشان‌دهنده ارتباط خطی مستقیم و متوسط بین این دو متغیر می‌باشد (جدول ۱). در طی قرن گذشته، ضریب همبستگی بین مصرف کود و تولیدات کشاورزی در جهان بالا بوده و برابر 0.9 گزارش شده است (Heffer and Prud-homme, 2009). تقریباً دو سوم گازهای گلخانه‌ای منتشر شده در دنیا تحت تاثیر فعالیت‌های کشاورزی به شکل اکسید نیتروس بوده که عمده این انتشار مربوط به ناشی از مصرف کودهای شیمیایی نیتروژنه است (Gan *et al.*, 2012). هیلیر و همکاران (Hillier *et al.*, 2009) نیز گزارش کردند که ۷۵ درصد انتشار گازهای گلخانه‌ای در تولید محصولات مختلف زراعی در اسکاتلند ناشی از مصرف کودهای نیتروژنه است. علی‌رغم مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی

سهم در مقایسه گروه‌های مختلف تاثیر از مجموع شاخص بوم‌شناخت مربوط به اوتریفیکاسیون آبی (به ترتیب برابر با ۶۸ و ۶۹ درصد) بود. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که راهکارهای فشرده‌سازی پایدار و اکولوژیک نظام‌های زراعی نظیر تلفیق دانش بومی و نوین، بهره‌گیری از زنان روستایی، افزایش کارایی استفاده از نهاده‌ها و جایگزینی نهاده‌های شیمیایی با نهاده‌های سازگار با محیط‌زیست از طریق کاهش سهم انرژی‌های ورودی و استفاده از نهاده‌های تجدیدپذیر، به‌عنوان راهکارهای پایدار برای افزایش تولید، همراه با کاهش تلفات عناصر غذایی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در مدیریت نظام‌های زراعی فشرده را به‌منظور تخفیف اثرات زیست‌محیطی مدنظر قرار داد. همچنین از آنجا که سلامت خاک، کارکرد ضروری بوم‌نظام‌های زراعی بوده که به‌طور چشمگیری وابسته به مدیریت زراعی می‌باشد و با توجه به این مطلب که مدیریت خاک‌های سالم موجب دستیابی به عملکرد بالا و جلوگیری از تلفات عناصر غذایی می‌شود، مشخص است که تقویت و بهبود پویایی و باروری خاک به‌ویژه در بوم‌نظام‌های فشرده زعفران می‌تواند کارکردهای فراوانی نظیر تولید غذا، تنوع زیستی و تخفیف تغییر اقلیم را به همراه داشته باشد.

سیاسگزاری

بودجه این پروژه از محل اعتبار طرح پژوهش شماره ۴۷۴۶۶ مورخ ۱۳۹۷/۰۶/۱۸ توسط معاونت محترم پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده که بدین‌وسیله سپاسگزاری می‌شود.

(Congreves *et al.*, 2015). علاوه بر این، نظام‌های زراعی می‌توانند کارکردهای فراوانی نظیر تولید غذا، تنوع زیستی و تخفیف اثرات تغییر اقلیم را به همراه داشته باشند (Aguilera *et al.*, 2013b; Lee *et al.*, 2019). در این راستا، تلفیق دانش بومی با بهره‌گیری از علم مدرن امروزی و تکنولوژی، اصل مهمی جهت حفظ شاخص‌های بیولوژیک سلامت خاک، سازگاری با تغییرات آب و هوایی (Ford *et al.*, 2016; Montanari and Bergh, 2019) دستیابی به کشاورزی پایدار، نوآوری در مدیریت آب و سایر منابع طبیعی و همچنین تضمین سلامت جامعه (Berkes *et al.*, 2007; Montanari and Bergh, 2019; Strauch *et al.*, 2016; UN-CFCCC, 2013) همراه با دستیابی به سطح مطلوبی از تولید محسوب می‌شود.

نتیجه‌گیری

با مقایسه شاخص‌های زیست‌محیطی نظام‌های تحت مدیریت مختلف رایج و سنتی زعفران طی سال‌های اول تا هفتم در استان خراسان رضوی به‌نظر می‌رسد که زمین‌های تحت مدیریت کم‌نهاده و خرده‌پا دارای مساحت کمتر بوده و بر اجرای عملیات زراعی با نیروی انسانی و مصرف کودهای آلی تکیه دارند. از طرف دیگر، زمین‌های با مساحت بیشتر و تحت مدیریت فشرده و رایج بر به‌کارگیری بیشتر ماشین‌آلات و مصرف نهاده‌های شیمیایی وابستگی بالاتری دارند. شاخص بوم‌شناخت برای نظام‌های کم‌نهاده و رایج به‌ترتیب ۲/۷۲ و ۳/۵۱ EcoX به ازای یک کیلوگرم گل محاسبه شد که بیشترین

References

1. Aguilera, E., Lassaletta, L., Gattinger, A., and Gimeno, B. S. 2013a. Managing soil carbon for climate change mitigation and adaptation in Mediterranean cropping systems: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 168: 25-36. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.02.003>.
2. Aguilera, E., Lassaletta, L., Sanz-Cobena, A., Garnier, J., and Vallejo, A. 2013b. The potential of organic fertilizers and water management to reduce N₂O emissions in Mediterranean climate cropping systems. A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 164: 32-52. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.09.006>.
3. Al-Kaisi, M. M., and Yin, X. 2005. Tillage and crop residue effects on soil carbon and carbon dioxide emission in corn-soybean rotations. *Journal of Environmental Quality* 34, 437-445. <https://doi.org/10.2134/jeq2005.0437>.
4. Alluvione, F., Moretti, B., Sacco, D., and Grignani, C. 2011. EUE (energy use efficiency) of cropping systems for a sustainable agriculture. *Energy* 36 (7): 4468-4481. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.03.075>.
5. Baker, J. M., Ochsner, T. E., Venterea, R. T., and Griffis, T. J. 2007. Tillage and soil carbon sequestration- What do we really know? *Agriculture, Ecosystems & Environment* 118 (1): 1-5. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.05.014>.
6. Bakhtiari, A. A., Hematian, A., and Sharifi, A. 2015. Energy analyses and greenhouse gas emissions assessment for saffron production cycle. *Environmental Science and Pollution Research* 22 (20): 16184-16201. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4843-6>.
7. Balesdent, J., Chenu, C., and Balabane, M. 2000. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. *Soil and Tillage Research* 53 (3): 215-230. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(99\)00107-5](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(99)00107-5).
8. Bexfield, L. M. 2008. Decadal-scale changes of pesticides in ground water of the United States, 1993-2003. *Journal of Environmental Quality* 37: 226-239. <https://doi.org/10.2134/jeq2007.0054>.
9. Billen, G., Garnier, J., and Lassaletta, L. 2013. The nitrogen cascade from agricultural soils to the sea: Modelling nitrogen transfers at regional watershed and global scales. *Philosophical Transactions of the Royal Society B:*

- Biological 368(1621): 20130123. <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0123>.
10. Biswas, W. K., Barton, L., and Carter, D. 2008. Global warming potential of wheat production in Western Australia: A life cycle assessment. *Water Environment Research* 22: 206-216. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2008.00127.x>.
11. Brentrup, F., Küsters, J., Kuhlmann, H., and Lammel, J. 2001. Application of the life cycle assessment methodology to agricultural production: An example of sugar beet production with different forms of nitrogen fertilisers. *The European Journal of Agronomy* 14: 221-233. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(00\)00098-8](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(00)00098-8).
12. Brentrup, F., Küsters, J., Kuhlmann, H., and Lammel, J. 2004a. Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology: I. Theoretical concept of a LCA method tailored to crop production. *European Journal of Agronomy* 20 (3): 247-264. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(03\)00024-8](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(03)00024-8).
13. Brentrup, F., Küsters, J., Lammel, J., Barraclough, P., and Kuhlmann, H. 2004b. Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment (LCA) methodology: II. The application to N fertilizer use in winter wheat production systems. *European Journal of Agronomy* 20 (3): 265-279. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(03\)00039-X](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(03)00039-X).
14. Briggs, J. 2013. Indigenous knowledge: A false dawn for development theory and practices? *The Progress in Development Studies* 13 (3): 231-243. <https://doi.org/10.1177/1464993413486549>.
15. Briggs, J. 2014. Indigenous knowledge and development: In Desai, V. and Potter, B. R. (Ed.): *The Companion to Development Studies*. 3rd Edition. London and New York: Routledge.
16. Briggs, J., and Sharp, J. 2004. Indigenous knowledge and development: A postcolonial caution. *Third World Quarterly* 25 (4): 661-676. <https://doi.org/10.1080/01436590410001678915>.
17. Charles, R., Jolliet, O., Gillard, G., and Pellet, D. 2006. Environmental analysis of intensity level in wheat production using life cycle assessment. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 113: 216-225. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.09.014>.
18. Cheharsoghi, H., and Mirdamadi, M. 2008. An analytical study of the factors influencing sustainable agriculture practical women farmers in Anzali: With emphasis on indigenous knowledge for rice cultivation. *Iranian Journal of Agricultural Knowledge* 5 (1): 61-83. (in Persian with English abstract).
19. Congreves, K. A., Hayes, A., Verhallen, E. A., and Van Eerd, L. L. 2015. Long-term impact of tillage and crop rotation on soil health at four temperate agroecosystems. *Soil and Tillage Research* 152: 17-28.
20. Crutzen, P. J. 1981. Atmospheric chemical processes of the oxides of nitrogen, including nitrous oxide. In: C.C. Delwiche (Ed.), *Denitrification, nitrification, and atmospheric nitrous oxide*, New York: Wiley. p. 17-44.
21. Delcour, I., Spanoghe, P., and Uyttendaele, M. 2015. Literature review: Impact of climate change on pesticide use. *Food Research International* 68: 7-15. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.09.030>.
22. Doran, J. W., and Zeiss, M. R. 2000. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology* 15: 3-11.
23. ECAF. 2109. A major new research study in favour of conservation agriculture. Available at Web site <http://www.ecaf.org/inaction/news/item/60-a-major-new-research-study-in-favour-of-conservation-agriculture>.
24. Fallahi, H. R., Behdani, M. A., Rezvani Moghaddam, P., and Jami Al-Ahmadi, M. 2021. Principles of standardization of organic saffron production in Iran. *Journal of Saffron Agronomy and Technology* 9 (1): 43-79. (in Persian with English abstract).
25. Finkbeiner, M., Inaba, A., Tan, R. B. H., Christiansen, K., and Klüppel, H. J. 2006. The new international standards for life cycle assessment: ISO 14040 and ISO 14044. *International Journal of Life Cycle Assessment* 11 (2): 80-85. <https://doi.org/10.1065/lca2006.02.002>.
26. Ford, J. D., Cameron, L., Rubis, J., Maillet, M., Nakashima, D., Cunsolo Willox, A., and Pearce, T. 2016. Including indigenous knowledge and experience in IPCC assessment reports. *Nature Climate Change* 6: 349-353. <https://doi.org/10.1038/nclimate2954>.
27. Galloway Mclean, K. 2010. Climate change impacts, adaptation, mitigation and indigenous peoples-a compendium of case studies. United Nations University- Traditional Knowledge Initiative, Darwin, Australia.
28. Galvin, K. A. 2009. Transitions: Pastoralists living with change. *The Annual Review of Anthropology* 38: 185-198.
29. Gan, Y., Liang, C., Huang, G., Malhi, S., Brandt, A., and Katepa-Mupondwa, F. 2012. Carbon footprint of canola and mustard is a function of the rate of N fertilizer. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 17: 58-68. <https://doi.org/10.1007/s11367-011-0337-z>.
30. García-Palma, M. B., and Sánchez-Mora Molina, M. I. 2016. Knowledge and female entrepreneurship: A competence and social dimension. *Suma de Negocios* 7: 32-37. <https://doi.org/10.1016/j.sumneg.2015.12.005>.
31. Glazenbrook, T. 2011. Women and climate change: A case-study from northeast Ghana. *Hypatia* 26 (4): 762-782. <https://doi.org/10.1111/j.1527-2001.2011.01212.x>.
32. Green, D., and Raygorodetsky, G. 2010. Indigenous knowledge of a changing climate. *Climatic Change* 100: 239-

- 242.
33. Gregory, P. J., Ingram, J. S. I., and Brklacich, M. 2005. Climate change and food security. *Philosophical Transactions of the Royal Society A* 360: 2139-2148. <https://doi.org/10.1098/rstb.2005.1745>.
 34. Gresta, F., Avola, G., Lombardo, G. M., Siracusa, L., and Ruberto, G. 2009. Analysis of flowering, stigmas yield and qualitative traits of saffron (*Crocus sativus* L.) as affected by environmental conditions. *Scientia Horticulturae* 119: 320-324. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.08.008>.
 35. Guinée, J. B. 2001. Life cycle assessment: An operational guide to the ISO standards. Centre of Environmental Science, Leiden University, Leiden.
 36. Heffer, P., and Prud-homme, M. 2009. Mediumterm outlook for global fertilizer demand, supply and trade: 2009-2013. In *Proceedings 77th IFA Annual Conference*, 25th -27th May, Shanghai, China. P. 1-12.
 37. Helgason, B. L., Janzen, H. H., Chantigny, M. H., Drury, C. F., Ellert, B. H., Gregorich, E. G., Lemke, R. L., Pattey, E., Rochette, P., and Wagner-Riddle, C. 2005. Toward improved coefficients for predicting direct N₂O emissions from soil in Canadian agroecosystems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 71: 87-99. <https://doi.org/10.1007/s10705-004-7358-y>.
 38. Heller, M. C., and Keoleian, G. A. 2003. Assessing the sustainability of the US food system: A life cycle perspective. *Agricultural Systems* 76: 1007-1041. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(02\)00027-6](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00027-6).
 39. Hillier, J., Hawes, C., Squire, G., Hilton, A., Wale, S., and Smith, P. 2009. The carbon footprints of food crop production. *The International Journal of Agricultural Sustainability* 7 (2): 107-118. <https://doi.org/10.3763/ijas.2009.0419>.
 40. Hiwasaki, L., Luna, E., Syamsidik, S., and Shaw, R. 2014. Process for integrating local and indigenous knowledge with science for hydro-meteorological disaster risk reduction and climate change adaptation in coastal and small island communities. *The International Journal of Disaster Risk Reduction* 10: 15-27. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2014.07.007>.
 41. Hobbs, P. R., and Govaerts, B. 2010. How conservation agriculture can contribute to buffering climate change. *Climate change and crop production 1*, Department of crop and soil sciences, 609 Bradfield Hall, Cornell University, Ithaca, NY 14853, USA.
 42. Iriarte, A., Rieradevall, J., and Gabarrell, X. 2010. Life cycle assessment of sunflower and rapeseed as energy crops under Chilean conditions. *Journal of Cleaner Production* 18 (4): 336-345. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.11.004>.
 43. ISO (International Organization for Standardization). 2006. ISO 14040: 2006(E) Environmental Management- Life Cycle Assessment- Principles and Framework.
 44. Karimi, P., Qureshi, A. S., Bahramloo, R., and Molden, D. 2012. Reducing carbon emissions through improved irrigation and groundwater management: A case study from Iran. *Agricultural Water Management* 108: 52-60. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.09.001>.
 45. Keikotthaile, B. M. 2011. Influence of the processing factors on pesticide residues in fruits and vegetables and its application in consumer risk assessment. Ghent University.
 46. Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, P., and Amin Ghafari, A. 2018. Economic evaluation of agroecosystem services of saffron in Khorasan Razavi province. *Saffron Agronomy and Technology* 6 (1): 89-73. (in Persian with English abstract).
 47. Khoshnevisan, B., Rafiei, S., Omid, M., Keyhani, A., and Movahedi, M. 2013. Assessing of energy indices and environmental impacts of potato production (Case study: Fereydoonshahr region, Isfahan province). *Iranian Journal of Biosystems Engineering* 44 (1): 57-66. (in Persian with English abstract).
 48. Khresat, S. 2016. Practicing conservation agriculture to mitigate and adapt to climate change in Jordan. *Geophysical Research* 18: 685.
 49. Koocheki, A. 2018. Agro-ecological aspects of saffron production with a holistic approach. In: *Fifth National Conference on Saffron*, November 14-15, Torbat-Heydarieh, Iran. (in Persian with English abstract).
 50. Koocheki, A., Karbasi, A. R., and Seyyedi, S. M. 2017. Some reasons for saffron yield loss over the last 30 years period. *Saffron Agronomy and Technology* 5 (2): 107-122. (in Persian with English abstract).
 51. Koocheki, A., Khorramdel, S., and Shabahang, J. 2021. Evaluation of quality criteria and yield of saffron on simulated On-farm conditions. *Journal of Saffron Research* 9 (1): 95-114. (in Persian with English abstract).
 52. Koocheki, A., Nassiri, M., Alizadeh, A., and Ganjali, A. 2009. Modelling the impact of climate change on flowering behaviour of saffron (*Crocus sativus* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research* 7 (2): 583-594. (in Persian with English abstract).
 53. Lee, H., Lautenbach, S., Nieto, A. P. G., Bondeau, A., Cramer, W., and Geijzendorffer, I. R. 2019. The impact of conservation farming practices on Mediterranean agro-ecosystem services provisioning- A meta-analysis. *Regional Environmental Change* 1-16. <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1447-y>.
 54. McKune, S. L., Borresen, B. C., Young, A. G., Ryley, T. D. A., Russo, S. L., Camara, A. D., Coleman, M., and Ryan, E. P. 2015. Climate change through a gendered lens: Examining livestock holder food security. *Global Food Security* 6: 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2015.05.001>.

55. Menzel, A. 2000. Trends in phenological phases in Europe between 1951 and 1996. The International Society of Biometeorology 44: 76-81. <https://doi.org/10.1007/s004840000054>.
56. Molina, R. V., Garcia-Luis, A., Coll, V., Ferrer, C., and Valero, M. 2004. Flower formation in the saffron (*Crocus sativus* L.). The role of temperature. Acta Horticulturae 650: 39-47.
57. Molina, R. V., Valerol, M., Navarro1, Y., Guardiola, J. L., and García-Luis, A. 2005. Temperature effects on flower formation in saffron (*Crocus sativus* L.). Scientia Horticulturae 103: 361-379. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2004.06.005>.
58. Montanari, B., and Bergh, S. I. 2019. Why women's traditional knowledge matters in the production processes of natural product development: The case of the Green Morocco Plan. Women's Studies International Forum 77: 102-275. <https://doi.org/10.1016/j.wsif.2019.102275>.
59. Morugán-Coronado, A., Linares, C., Gómez-López, M. D., Faz, Á., and Zornoza, R. 2020. The impact of intercropping, tillage and fertilizer type on soil and crop yield in fruit orchards under Mediterranean conditions: A meta-analysis of field studies. Agricultural Systems 178: 102-736. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102736>.
60. Moudrý, J., Jelínková, Z., Plch, R., Moudrý, J., Konvalina, P., and Hyšpler, R. 2013. The emissions of greenhouse gases produced during growing and processing of wheat products in the Czech Republic. Journal of Food, Agriculture and Environment 11 (1): 1133-1136.
61. Murage, A. W., Pittchar, J. O., Midega, C. A. O., Onyango, C. O., and Khan, Z. R. 2015. Gender specific perceptions and adoption of the climate-smart push-pull technology in eastern Africa. Crop Protection 76: 83-91. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.06.014>.
62. Oehl, F., Oberson, A., Tagmann, H. U., Besson, J. M., Dubois, D., Mäder, P., Roth, H. R., and Frossard, E. 2002. Phosphorus budget and phosphorus availability in soils under organic and conventional farming. Nutrient Cycling in Agroecosystems 62: 25-35. <https://doi.org/10.1023/A:1015195023724>.
63. Ramedani, Z., Rafiee, S., and Heidari, M. D. 2011. An investigation on energy consumption and sensitivity analysis of soybean production farms. Energy 36 (11): 6340-6344. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.09.042>.
64. Rezvanfar, A., Sameiee, A., and Faham, E. 2009. Analysis of factors affecting adoption of sustainable soil conservation practices among wheat growers. World Applied Sciences Journal 6 (5): 644-651.
65. Robertson, G. P., Paul, E. A., and Harwood, R. R. 2000. Greenhouse gases in intensive agriculture: Contribution of individual gases to the radiate forcing of the atmosphere. Science 289: 1922-1925. DOI: [10.1126/science.289.5486.1922](https://doi.org/10.1126/science.289.5486.1922).
66. Rochette, P. 2008. Estimation of N₂O emissions from agricultural soils in Canada, I: Development of a country specific methodology. Canadian Journal of Soil Science 88 (5): 641-654.
67. Romero-Gámez, M., Audsley, E., and Suárez-Rey, E. M. 2014. Life cycle assessment of cultivating lettuce and escarole in Spain. Journal of Cleaner Production 73: 193-203. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.10.053>.
68. Salick, J., and Ross, N. 2009. Traditional peoples and climate change. Global Environmental Change 19 (2): 137-139.
69. Shahvali, M. 2011. Enriching indigenous knowledge: An alternative paradigm for empowerment. Knowledge Management for Development Journal. 6: 194-205. (in Persian with English abstract).
70. Six, J., Ogle, S. M., Conant, R. T., Mosier, A. R., and Paustian, K. 2004. The potential to mitigate global warming with no-tillage management is only realized when practised in the long term. Global Change Biology 10 (2): 155-160. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2003.00730.x>.
71. Smith, B. M., Chakrabarti, P., Chatterjee, A., Chatterjee, S., Dey, U. K., Dicks, L. V., Giri, B., Laha, S., Majhi, R. K., and Basu, P. 2017. Collating and validating indigenous and local knowledge to apply multiple knowledge systems to an environmental challenge: A case-study of pollinators in India. Biological Conservation 211: 20-28. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.04.032>.
72. Strauch, M., Rurai, M. T., and Almedom, A. M. 2016. Influence of forest management systems on natural resource use and provision of ecosystem services in Tanzania 2016. Journal of Environmental Management 180: 35-44. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.05.004>.
73. Su, Z., Zhang, J., Wu, W., Cai, D., Lv, J., Jiang, G., Huang, J., Gao, J., Hartmann, R., and Gabriels, D. 2007. Effects of conservation tillage practices on winter wheat water-use efficiency and crop yield on the Loess Plateau, China. Agricultural Water Management 87 (3): 307-314. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.08.005>.
74. Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., and Polasky, S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. Nature 418: 671-677. <https://doi.org/10.1038/nature01014>.
75. Tubiello, F. N., Salvatore, M., Ferrara, A. F., House, J., Federici, S., Rossi, S., Biancalani, R., Condor Golec, R. D., Jacobs, H., Flammini, A., Prosperi, P., Cardenas-Galindo, P., Schmidhuber, J., Sanz Sanchez, M. J., Srivastava, N., and Smith, P. 2015. The contribution of agriculture, forestry and other land use activities to global warming, 1990-2012. Global Change Biology 21 (7): 2655-2660. <https://doi.org/10.1111/gcb.12865>.
76. Turner, N., and Garibaldi, A. 2004. Cultural keystone species: Implications for ecological conservation and restoration. Ecology and Society 9 (3): 1.
77. UN-CFCCC. 2013. Best practices and available tools for the use of indigenous and traditional knowledge and

- practices for adaptation, and the application of gender-sensitive approaches and tools for understanding and assessing impacts, vulnerability and adaptation to climate change. Technical report. Available at: <https://unfccc.int/documents/7927>. (Accessed 28 April 2018).
78. Van der Hoek, K.W., and Van Schijndel, M.W. 2006. Methane and nitrous oxide emissions from animal manure management 1990-2003. Background document on the calculation method for the Dutch National Inventory Report. RIVM and MNP (Netherlands Environmental Assessment Agency), Beethoven, The Netherlands. p. 1-50.
 79. Vicente-Vicente, J. L., García-Ruiz, R., Francaviglia, R., Aguilera, E., and Smith, P. 2016. Soil carbon sequestration rates under Mediterranean woody crops using recommended management practices: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 235: 204-214. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.10.024>.
 80. White, J. W., Hoogenboom, G., Kimball, B. A., and Wall, G. W. 2011. Methodologies for simulating impacts of climate change on crop production. *Field Crops Research* 124: 357-368.
 81. Woodley, E. 1991. Indigenous ecological knowledge systems and development. *Agriculture and Human Values* 8 (1-2): 173-178.
 82. Yuan, S., and Peng, S. 2017. Trends in the economic return on energy use and energy use efficiency in China's crop production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 70: 836-844. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.264>.
 83. Zhang, C., Chen, J., and Wen, Z. 2012. Assessment of policy alternatives and key technologies for energy conservation and water pollution reduction in Chinas synthetic ammonia industry. *Journal of Cleaner Production* 25: 96-105. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.11.056>.
 84. Zhang, L., Zhuang, Q., He, Y., Liu, Y., Dongsheng, Y., Zhao, Q., Shi, X., Xing, S., and Wang, G. 2016. Toward optimal soil organic carbon sequestration with effects of agricultural management practices and climate change in Tai-Lake paddy soils of China. *Geoderma* 275: 28-39. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.04.001>.
 85. Zolfi Bavariani, M., and Nouruzi, M. 2010. Effect of organic matter on residual phosphorus recovering in a calcareous soil. *Journal of Water and Soil Science* 14 (52): 87-98. (in Persian with English abstract).
 86. Zornoza, R., Acosta, J. A., Bastida, F., Domínguez, S. G., Toledo, D. M., and Faz, A. 2015. Identification of sensitive indicators to assess the interrelationship between soil quality, management practices and human health. *Soil* 1: 173-185. <https://doi.org/10.5194/soil-1-173-2015>.



Effect of Nitrogen Fertilizer and Irrigation Levels on Yield and Some Physiological Traits of Wheat under Drip Irrigation

P. Shokati¹, A. Siosemardeh^{2*}, F. Hosseinpanahi³, P. Fathi⁴Received: 13-03-2021
Revised: 24-11-2021
Accepted: 30-11-2021**How to cite this article:**Shokati, P., Siosemardeh, A., Hosseinpanahi, F., and Fathi, P. 2022. Effect of Nitrogen Fertilizer and Irrigation Levels on Yield and Some Physiological Traits of Wheat under Drip Irrigation. Iranian Journal of Field Crops Research 20 (1): 45-63. (in Persian with English abstract). DOI: [10.22067/jcesc.2021.69378.1035](https://doi.org/10.22067/jcesc.2021.69378.1035).

Introduction

Wheat is globally one of the most critical cereals. It is necessary to increase its yield to cope with the increasing population through management improvement or breeding due to decreased arable lands. Soil moisture before planting and rainfall during the growing season are the two primary water supply sources for rainfed wheat production. However, the non-uniform distribution of rainfall during the growing season leads to drought, affecting crop water consumption and natural wheat growth. Irrigation is the primary way to meet the plant's water requirement for growth, development, and high yield. Since water availability is limited in Iran and on the other hand, different cultivars have different sensitivities to drought stress at various stages of growth, so reducing different degrees of water consumption may have unequal effects on crop yield. This type of management, known as deficit-irrigation, often increases water use efficiency. Drip irrigation provides optimized use of water and nutrients during the growing season. In addition to water consumption, the balanced application of fertilizers is an influential factor in increasing agricultural production, and nitrogen is the most critical fertilizer recommended to improve wheat yield. Nitrogen can increase wheat yield by increasing the number of spikes per square meter, the number of grains per spike, and 1000-grain weight. This study aims to determine the optimum water consumption and nitrogen fertilizer under the drip irrigation system according to wheat physiological traits.

Materials and Methods

This experiment was performed as split plot based on a randomized complete block design with three replications in the Research Farm of the University of Kurdistan located in the Dehgolan plain in 2018-19 cropping year. Factors were in various irrigation levels (60, 80, 100, and 120% of crop water requirement) as the main plots and nitrogen fertilizer treatments (fertilizer application of 50, 75, 100, and 125% of plant nitrogen requirement based on soil test) as subplots. Sampling was done in all three replications to calculate soil weight moisture and determine the irrigation water requirement in each irrigation stage. The soil moisture balance method was used to determine the crop's water requirement according to the volume percentage of moisture in the control plot (treatment of providing 100% water requirement). Based on the soil test results, the optimal nitrogen application in the control treatment was considered equivalent to 200 kg.ha⁻¹ of urea. Other experimental treatments were calculated based on the control treatment. In this experiment, traits such as biological yield, grain yield, harvest index, water use efficiency (WUE), chlorophyll content (chlorophyll *a*, chlorophyll *b*, and total chlorophyll), remobilization, grain protein content, protein percent, and agronomic nitrogen use efficiency (ANUE) were evaluated. Data were analyzed using SAS statistical software, and the means were compared using Duncan's multiple range test at 5% probability.

1- Former Student of Agrotechnology, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

2- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

3- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

4- Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

(*- Corresponding Author Email: a33@uok.ac.ir)

DOI: [10.22067/jcesc.2021.69378.1035](https://doi.org/10.22067/jcesc.2021.69378.1035)

Results and Discussion

The results showed that the effects of different irrigation and nitrogen levels were significant on biological yield, grain yield ($P < 0.01$), and grain protein percent ($p \leq 0.05$). The interaction effect of irrigation and nitrogen was significant on WUE ($p \leq 0.05$), chlorophyll content, remobilization, and ANUE ($P < 0.01$). In comparing different irrigation levels, The highest and lowest biological yields were obtained in the treatments of 120% water requirement (15976 kg.ha^{-1}) and 60% water requirement (12975 kg.ha^{-1}), respectively. Among different nitrogen treatments, the highest and lowest biological yields were observed in 125% fertilizer requirement (15141 kg.ha^{-1}) and 50% fertilizer requirement (12640 kg.ha^{-1}), respectively. The highest and lowest yields were observed in the treatments of supply of 120% (6498 kg.ha^{-1}) and 60% (4933 kg.ha^{-1}) of water requirement, respectively. The rate of yield increase in 120% water requirement treatment was 9, 18, and 24%, compared to 100, 80, and 60% of water requirement treatments, respectively. However, the highest WUE was obtained in 60% crop water requirement treatment and providing 100% of nitrogen consumption (3.08 kg.m^{-3}). In water deficit conditions, providing 100% of the plant's nitrogen requirement keeps WUE in high level. If the amount of nitrogen is reduced, WUE was also decreased. The highest and lowest ANUE were observed in 100% water requirement treatment fertilized with 75% of nitrogen requirement (79 kg.kg^{-1}) and 120% water requirement treatment fertilized with 100% nitrogen requirement (9 kg.kg^{-1}), respectively. With decreasing water consumption, the rate of stem remobilization increased to the highest level, which was observed in the treatment of 60% of water requirement fertilized with 100% nitrogen requirement. The highest chlorophyll concentration was related to the 100% crop water requirement treatment fertilized with 100% of nitrogen requirement.

Keywords: Chlorophyll, Nitrogen use efficiency, Protein percent, Remobilization, Water use efficiency

بررسی اثر کود نیتروژنه و سطوح آبیاری بر عملکرد و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی گندم تحت آبیاری قطره‌ای

پرستو شوکتی^۱، عادل سی و سه مرده^{۲*}، فرزاد حسین پناهی^۳، پرویز فتحی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۰۹

چکیده

کم آبیاری یک راهبرد مطلوب است که می‌تواند کارایی مصرف آب را در محصولات زراعی افزایش دهد. در چنین شرایطی تعیین سطح بهینه مصرف کود نیتروژن بسیار حائز اهمیت می‌باشد. در مطالعه حاضر اثر سطوح مختلف آبیاری به میزان ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد به‌عنوان کرت اصلی و تیمارهای کود نیتروژنه به میزان ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز ازته گیاه براساس نتایج آزمون خاک به‌عنوان کرت فرعی بر عملکرد گندم رقم پیشگام در قالب آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین عملکرد دانه به‌ترتیب در تیمارهای تأمین ۱۲۰ درصد با ۶۴۹۸ کیلوگرم در هکتار و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه با ۴۹۳۳ کیلوگرم در هکتار (حدود ۲۴ درصد کاهش در مقایسه با تیمار فوق) حاصل شد. بیشترین میزان کارایی مصرف آب در تیمار تأمین ۶۰ درصد مصرف نیاز آبی گیاه با تأمین ۱۰۰ درصدی مصرف نیتروژن به‌دست آمد (۳/۰۸ کیلوگرم بر متر مکعب). بیشترین و کمترین مقدار کارایی زراعی کود نیتروژن به‌ترتیب در تیمارهای آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و تأمین ۷۵ درصد نیاز کودی (۷۹ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم کود نیتروژنه مصرفی) و تیمار تأمین ۱۲۰ درصد نیاز آبی و ۱۰۰ درصد نیاز کودی (۹ کیلوگرم بر کیلوگرم) مشاهده شد. با کاهش آب مصرفی میزان انتقال مجدد مواد ذخیره‌ای ازساقه به دانه‌ها افزایش یافت. بیشترین غلظت کلروفیل نیز مربوط به سطح تیماری تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و تیمار ۱۰۰ درصدی مصرف کود نیتروژنه بود.

واژه‌های کلیدی: انتقال مجدد، درصد پروتئین، کارایی مصرف آب، کارایی مصرف نیتروژن، کلروفیل

مقدمه

غذای جمعیت در حال افزایش، بهبود عملکرد در واحد سطح می‌باشد (Pouri et al., 2019). در بسیاری از نقاط دنیا بروز تنش خشکی خصوصاً در مراحل که نیاز آبی گیاهان و تبخیر و تعرق پتانسیل بالا است، خسارت‌زا می‌باشد (Paredes et al., 2017). رطوبت خاک قبل از کشت و میزان بارش در طول فصل رشد منابع اصلی تأمین آب برای تولید گندم می‌باشند. با این حال، توزیع غیر یکنواخت بارش در طول فصل رشد منجر به تنش خشکی می‌شود که می‌تواند بر مصرف آب محصول و رشد طبیعی گندم تأثیر بگذارد (Ma et al., 2018). همچنین بیشتر کشاورزان از اعمال آبیاری‌های آخر گندم اجتناب می‌ورزند زیرا آبیاری‌های آخر گندم با کشت محصولات تابستانه تلاقی پیدا می‌کند و چون این محصولات ارزش اقتصادی بیشتری دارند کشاورزان ناگزیر به حذف یک یا دو مرحله از آبیاری‌های آخر گندم می‌شوند که موجب تنش انتهایی گندم می‌شود. بنابراین آبیاری اصلی‌ترین روش برای رفع نیاز آبی گیاه جهت رشد، نمو و تولید عملکرد مناسب است (Al-Ghazawi et al., 2018)، اما از آنجایی که در ایران فراهمی آب محدود است و از طرفی ارقام مختلف

در میان غلات، گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از مهم‌ترین محصولات غذایی در سراسر جهان است که به‌دلیل کاهش سطح اراضی کشاورزی و برای مقابله با افزایش جمعیت، افزایش عملکرد آن از طریق اصلاح یا مدیریت زراعی امری ضروری است (Yan et al., 2019). در سال‌های اخیر به‌دلیل کاهش منابع خاکی و آبی در اثر عوامل مختلف، اعتقاد بر این بوده است که تنها راه تأمین

- ۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آگرو تکنولوژی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
- ۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
- ۳- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
- ۴- دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

(Email: a33@uok.ac.ir)

(*)- نویسنده مسئول:

DOI: [10.22067/jcesc.2021.69378.1035](https://doi.org/10.22067/jcesc.2021.69378.1035)

قطره‌ای بر رشد، عملکرد و کارایی مصرف آب در گندم زمستانه نتایج نشان داد که افزایش آبیاری و کاربرد کود نیتروژن باعث افزایش شاخص سطح برگ، زیست‌توده زیرزمینی، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب شده است این در حالی بود که کاربرد کود نیتروژن بیش از ۲۴۰ کیلوگرم در هکتار اثر مثبتی بر رشد و عملکرد گندم نداشت. (Jafarinejad et al., 2011) در آزمایشی با هدف بررسی کارایی انواع کودهای نیتروژنی نشان دادند که مصرف ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در گندم در سه مرحله کاشت، طولی شدن ساقه‌ها و گلدهی منجر به حصول بیش‌ترین عملکرد شد اما بیش‌ترین کارایی زراعی از تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در دو مرحله طولی شدن ساقه‌ها و گلدهی به‌دست آمد. با توجه به آنچه که بیان شد هدف مطالعه حاضر تعیین بهترین تیمار مصرف آب و کود نیتروژنه در سیستم آبیاری قطره‌ای با توجه به صفات فیزیولوژیکی در گندم است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق اثرات سطوح مختلف کود نیتروژن و مقادیر مختلف آب آبیاری بر عملکرد و برخی خصوصیات فیزیولوژیکی گندم تحت آبیاری قطره‌ای به‌صورت آزمایش کرت‌های خرد شده بر پایه‌ی طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در زمینی به مساحت ۱۸۰۰ متر مربع در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان واقع در دشت دهگلان در ۴۵ کیلومتری شرق سنندج در ارتفاع ۱۸۶۶ متر از سطح دریا و در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و طول ۴۷ درجه شرقی اجرا شد. میانگین سالانه دمای حداکثر ۱۷/۹ درجه سانتی‌گراد، میانگین سالانه دمای حداقل شش درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالانه منطقه ۳۴۷ میلی‌متر می‌باشد. قبل از کاشت به‌طور تصادفی از خاک محل انجام آزمایش، در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک، نمونه‌برداری انجام گرفت که نتایج آن در جدول ۱ آمده است.

حساسیت‌های متفاوتی در مراحل مختلف رشدی به تنش خشکی دارند، لذا کاهش درجات مختلفی از آب مصرفی ممکن است تأثیرات متفاوتی بر عملکرد محصول بگذارند. این نوع مدیریت که به کم‌آبیاری مشهور است در اغلب موارد سبب افزایش کارایی مصرف آب می‌شود. با توسعه فناوری‌های جدید در زمینه صرفه‌جویی در مصرف آب در بخش کشاورزی، آبیاری قطره‌ای به‌عنوان یک فناوری پیشرفته برای افزایش عملکرد محصولات و کاهش مصرف آب از طریق انتقال مستقیم آب به ریشه گیاهان تأیید شده است (Fan et al., 2017). آبیاری قطره‌ای استفاده کافی از آب و مواد مغذی را در طول فصل رشد گیاه فراهم می‌کند (Zhou et al., 2018; Zhang et al., 2017). در حال حاضر از نوارهای آبیاری قطره‌ای در کشت گیاهان ردیفی مانند گندم، پنبه (*Gossypium herbaceum*) و ذرت (*Zea Mayz*) استفاده می‌شود (Akhavan, 2015). آبیاری قطره‌ای به‌دلیل صرفه‌جویی قابل توجه در استفاده از آب آبیاری و بهبود کارایی مصرف آب برای تولید گندم زمستانه در چین تا حد زیادی مورد استفاده قرار گرفته است (Si et al., 2020). علاوه بر میزان آب مصرفی، کاربرد متعادل کودها از عوامل مؤثر در افزایش تولید محصولات کشاورزی می‌باشد و کودهای نیتروژنه از مهم‌ترین کودهای توصیه شده در بهبود عملکرد گندم محسوب می‌شوند، به‌طوری که نتایج مطالعات مختلف نشان داده است که تعیین میزان بهینه کاربرد کود نیتروژن به اندازه مدیریت آب در دستیابی به عملکرد بالا در غلات کمک‌کننده است (Shi et al., 2013). نیتروژن از مهم‌ترین عناصر غذایی پرمصرف می‌باشد که در ساختمان آنزیم‌ها، کوآنزیم‌ها، سیتوکروم‌ها، اسیدهای نوکلئیک کلروفیل وجود دارد و سطح برگ، محتوی کلروفیل، فعالیت‌های فتوسنتزی، حجم و اندازه پروتوپلاسم سلولی و همچنین میزان پروتئین دانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Mirzakhani, 2019).

در مطالعه سی و همکاران (Si et al., 2020) پیرامون بررسی اثر کاربرد کود نیتروژن و رژیم‌های مختلف آبیاری در شرایط آبیاری

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک محل اجرای آزمایش

Table 1- Soil analysis of experimental site

بافت خاک			ماده الی	شوری خاک EC (dSm ⁻¹ .m ⁻¹)	اسیدیته pH	نیتروژن N (%)	پتاسیم K (mg.kg)	فسفر p (mg.kg)
رس	سیلت	شن						
Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	(%)					
14.56	30.72	54.72	1.36	0.95	7.9	0.19	230.83	31.16

درصد نیاز گیاه به نیتروژن بر اساس آزمون خاک) به‌عنوان کرت فرعی بود. ابعاد کرت‌های اصلی ۸ × ۱۱ (متر)، ابعاد هر کرت فرعی ۸ × ۲ (متر)، فاصله بین کرت‌های فرعی یک متر و فاصله بین بلوک‌ها

عوامل مورد بررسی شامل سطوح مختلف آب آبیاری (به میزان ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز آبی گیاه) به‌عنوان کرت اصلی و تیمارهای کود نیتروژن (مصرف کود به میزان ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵

طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر قرائت گردید.

به منظور اندازه‌گیری صفات مرتبط با انتقال مجدد در مراحل گلدهی، دو هفته بعد از گلدهی و مرحله رسیدگی از هر کرت آزمایشی با در نظر گرفتن اثر حاشیه دو خط نیم‌متری از ردیف‌های میانی برداشت گردید و وزن خشک سنبله، برگ، ساقه و دانه تعیین گردید و با استفاده از روابط (۲) تا (۵) صفات مربوطه محاسبه شد (Papakosta and Goyiannas, 1991).

(۲) وزن ساقه در رسیدگی - حداکثر وزن ساقه پس از گلدهی = مقدار انتقال مجدد

(۳)
$$\frac{\text{انتقال مجدد مواد ذخیره ای (گرم در متر مربع)}}{\text{وزن خشک اندام های رویشی در ابتدای گرده افشانی (گرم در متر مربع)}} = \text{کارایی انتقال مجدد}$$

(۴)
$$100 \times \frac{\text{میزان انتقال مجدد (گرم در متر مربع)}}{\text{عملکرد دانه (گرم در متر مربع)}} = \text{سهام انتقال مجدد مواد ذخیره ای}$$

(۵) سهم انتقال مجدد در عملکرد - ۱۰۰ = سهم فتوسنتز جاری در عملکرد

عملیات برداشت گندم در مزرعه در تاریخ ۲۷ تیرماه سال ۱۳۹۸ انجام شد. بدین منظور پس از حذف حاشیه و با استفاده از یک کادر ۲ در ۱ متر (مساحت ۲ متر مربع) اقدام به برداشت شد. کلیه بوته‌های درون کادر کف‌بر شد و عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت تعیین شد. کارایی مصرف آب نیز با تقسیم عملکرد دانه (برحسب کیلوگرم در هکتار) بر آب مصرفی در هر تیمار (برحسب متر مکعب در هکتار) محاسبه شد.

برای اندازه‌گیری میزان پروتئین دانه از دستگاه NIR آزمایشگاه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه استفاده شد. با استفاده از رابطه (۶) کارایی زراعی کود نیتروژنه محاسبه شد (Timsina et al., 2001).

(۶)
$$\frac{\text{افزایش وزن دانه}}{\text{نیتروژن مصرف شده}} = \text{کارایی زراعی کود نیتروژنه (kg.kg}^{-1}\text{)}$$

تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد بیولوژیک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی سطوح مختلف آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین حاکی از آن بود که بیشترین کمترین عملکرد بیولوژیک به ترتیب در تیمارهای تأمین ۱۲۰٪ نیاز آبی (۱۵۹۷۶ کیلوگرم در هکتار) و ۶۰٪ نیاز آبی (۱۲۹۷۵ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد (شکل ۱). بیشترین و کمترین عملکرد بیولوژیک نیز به ترتیب از تیمارهای ۱۲۵٪ نیاز کودی (۱۵۱۴۱ کیلوگرم در هکتار) و ۵۰٪ نیاز کودی (۱۲۶۴۰ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد که

و همچنین کرت‌های اصلی دو متر در نظر گرفته شد. پس از برداشت سیب‌زمینی در اواسط مهرماه عملیات آماده‌سازی زمین با چیرل و روتواتور انجام گرفت. پس از اتمام عملیات خاک‌ورزی در اواسط مهرماه کشت گندم رقم پیشگام با تراکم ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار با تراکم ۵۵۰ بوته توسط خطی کار غلات صورت گرفت. در هر کرت فرعی ۱۳ ردیف گندم به فاصله ردیف‌های ۱۵ سانتی‌متر و طول هشت متر کشت گردید. برای کنترل علف‌های هرز از علف‌کش توفوردی در ابتدای بهار استفاده شد. جهت مقابله با آفات و بیماری‌های گیاهی در دو مرحله مزرعه با استفاده از سم دلتامترین و قارچ‌کش پروپیکونازول سمپاشی گردید. به جز عملیات آبیاری و کوددهی نیتروژن، سایر عملیات زراعی در مورد کلیه تیمارها به‌طور یکنواخت انجام شد. در این آزمایش برای آبیاری از سیستم قطره‌ای- نواری استفاده شد. در تمام تیمارها نوارهای تیپ در فواصل ۴۵ سانتی‌متری نصب شد و میزان مصرف آب توسط یک کنتور حجمی کنترل گردید. آبیاری در ۸ مرحله (۷ روز یک بار) انجام شد. برای تعیین میزان آب مورد نیاز در هر مرحله آبیاری از روش وزنی استفاده شد (Hong et al., 2017)، به این ترتیب که رطوبت وزنی خاک در هر مرحله از آبیاری در هر سه تکرار با نمونه‌برداری تعیین و با توجه به بیان رطوبتی خاک (Hong et al., 2017) و درصد حجمی رطوبت در کرت شاهد (تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی) میزان نیاز آبی برآورد شد. عمق آبیاری هر بار بر اساس کسر نمودن رطوبت خاک از حد رطوبت ظرفیت زراعی و با نمونه‌گیری از خاک در عمق ریشه، قبل از آبیاری محاسبه گردید.

$Ig = \text{عمق ناخالص آبیاری در هر بار آبیاری (میلی‌متر)}$

$\theta_{FC} = \text{رطوبت حجمی خاک در حد ظرفیت زراعی (درصد)}$

$\theta_i = \text{رطوبت حجمی خاک قبل از آبیاری (درصد)}$

$Dr = \text{عمق نفوذ ریشه (متر)}$

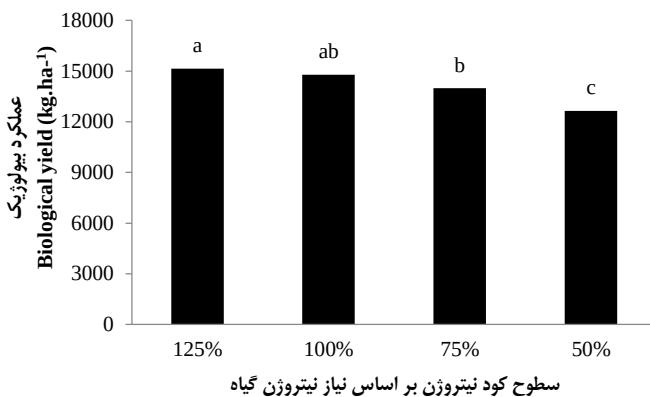
$\eta = \text{راندمان آبیاری (در این آزمایش راندمان آبیاری ۹۰ درصد بود)}$

$$Ig = \frac{(\theta_{FC} - \theta_i)(Dr)}{\eta}$$
 (۱)

نیاز کودی خاک با توجه به آزمایش خاک مزرعه تعیین شد. با توجه به نتایج آزمون خاک و کفایت مقدار فسفر و پتاسیم برای کشت گندم نیازی به مصرف کود فسفر و پتاسیم نبود. بر اساس نتایج آزمون خاک مصرف بهینه نیتروژن در تیمار شاهد معادل ۲۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار در نظر گرفته شد و سایر تیمارهای آزمایش بر مبنای تیمار شاهد محاسبه گردید. کود اوره مورد نیاز در زمان کاشت و در مرحله اوایل طویل شدن ساقه در تاریخ ۱۳۹۸/۱/۲۹ استفاده شد.

در مرحله خمیری شدن دانه‌ها نمونه‌هایی از برگ پرچم از هر کرت برداشت شد و در تانک محتوای ازت مایع منجمد قرار داده شد و به فریزر با دمای ۰۴- درجه سانتی‌گراد در آزمایشگاه منتقل گردید. جهت اندازه‌گیری میزان کلروفیل از روش آرنون (Arnon, 1986) استفاده گردید و میزان جذب آن توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در

ریشه‌ها و جذب بیشتر رطوبت از خاک می‌شود. علاوه بر آن افزایش نیتروژن باعث تسریع رشد سبزینه‌ای گیاه و افزایش حجم بخش هوایی می‌شود (Fooladvand et al., 2006).



شکل ۲- اثرات سطوح مختلف درصد نیتروژن مورد نیاز بر عملکرد

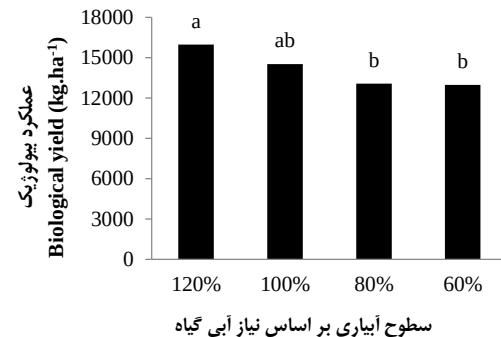
بیولوژیک گندم آبی. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Figure 2- Effects of different levels of nitrogen fertilizer on the biological yield of irrigated wheat. Columns with same letters are not significantly difference by using multiple test at $p \leq 0.05$ probability.

کودهای دامی در زراعت سیب‌زمینی معمولاً سبب می‌شود که گیاه بعدی کمتر با مشکلات تغذیه‌ای مواجه گردد (Hatfield et al., 2004) بیان کردند که اجزای عملکرد و در نهایت عملکرد گندم تحت تأثیر مستقیم نیتروژن قرار می‌گیرند.

با وجود این که اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد دانه به لحاظ آماری معنی‌دار نبود (جدول ۲) اما نتایج نشان داد که ۱۲۰٪ نیاز آبی و مصرف ۱۲۵٪ نیتروژن منجر به حصول بیشترین عملکرد دانه شد و کمترین عملکرد مربوط به تیمار ۶۰٪ نیاز آبی گیاه و مصرف ۵۰٪ نیتروژن بود معنی‌دار نشدن اثر متقابل بدین معنی است که پاسخ گیاه به سطوح مختلف نیتروژن مستقل از سطوح رطوبتی است و در این مطالعه نیز مشخص شد که در تمام سطوح رطوبتی به استثنای سطح ۶۰ درصد تأمین نیاز آب گیاه عملکرد با کاهش فراهمی نیتروژن دچار کاهش شد (شکل ۵). البته تحت سطوح آبیاری ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد تفاوت معنی‌داری بین عملکرد تیمارهای ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ مصرف کود نیتروژن مشاهده نشد اما افزایش آب تا سطح ۱۲۰ درصد سبب شد که گیاه به مصرف بیشتر کود نیتروژن پاسخ دهد و در این سطح رطوبتی مصرف ۱۲۵ درصد نیتروژن براساس نیاز گیاه منجر به افزایش معنی‌داری عملکرد نسبت به سایر سطوح شد.

از لحاظ آماری با تیمار ۱۰۰٪ نیاز آبی و کودی تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۲). میزان این افزایش ۱۹ درصد بود. افزایش نیتروژن منجر به افزایش مقدار ماده خشک و همچنین گسترش و حجیم شدن



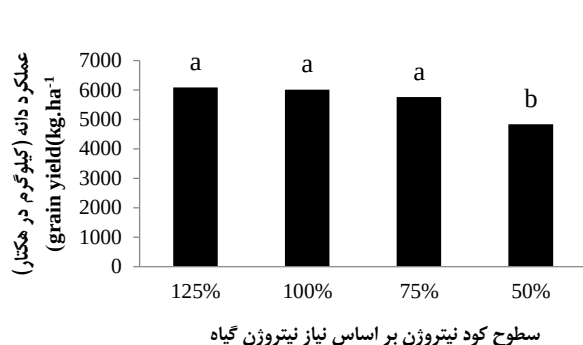
شکل ۱- اثرات سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد بیولوژیک گندم

آبی. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Figure 1- Effects of different levels of irrigation on the biological yield of irrigated wheat. Columns with same letters are not significantly difference by using multiple test at $p \leq 0.05$ probability.

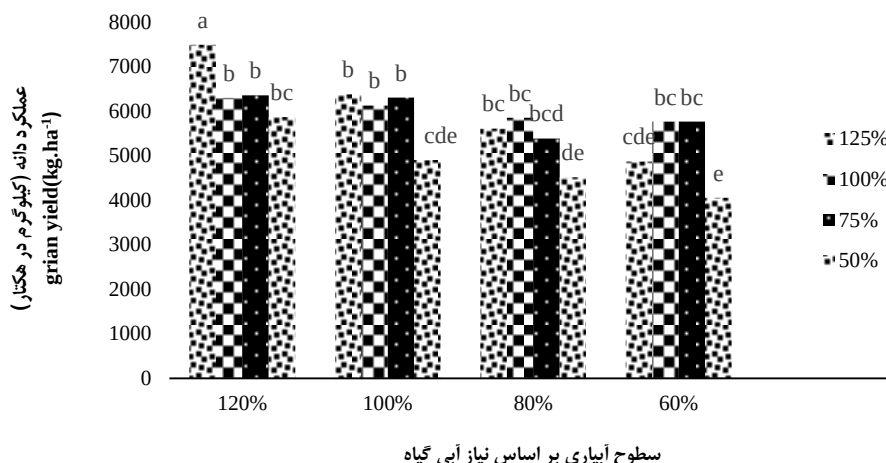
عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی سطوح مختلف آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد دانه گندم معنی‌دار بود ($P < 0.01$) اما اثرات متقابل آن‌ها غیرمعنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین و کمترین عملکرد به ترتیب در تیمارهای تأمین ۱۲۰ درصد (۶۴۹۸ کیلوگرم در هکتار) و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه (۴۹۳۳ کیلوگرم در هکتار) ثبت شد، اما بین سطوح تیماری تأمین ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز آبی گیاه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، به عبارت دیگر با افزایش مصرف آب، عملکرد بیشتری از نظر آماری حاصل نشد (شکل ۳). تیمار تأمین ۱۲۰ درصد نیاز آبی نسبت به تیمارهای ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی به ترتیب ۹، ۱۸ و ۲۴ درصد افزایش عملکرد داشت. پژوهشگران زیادی کاهش عملکرد دانه را در شرایط تنش خشکی گزارش کرده‌اند (Rajala et al., 2009; Gonzalez et al., 2010; Kirigwi et al., 2004). همچنین با بررسی مقایسه میانگین داده‌ها مشاهده شد که بین سطوح تیماری مصرف کود نیتروژن به میزان ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز کودی از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد اما عملکرد در تیمار کودی ۵۰ درصد تأمین نیاز کودی به طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۴). تیمار تأمین ۱۲۵ درصد نیاز کودی در مقایسه با تیمارهای ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز کودی به ترتیب ۱، ۵ و ۲۱ درصد افزایش عملکرد نشان داد. در این مطالعه گندم در تناوب با سیب‌زمینی کشت شد. مصرف مقادیر بالای



شکل ۴- اثرات سطوح مختلف درصد نیتروژن مورد نیاز بر عملکرد دانه گندم آبی. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

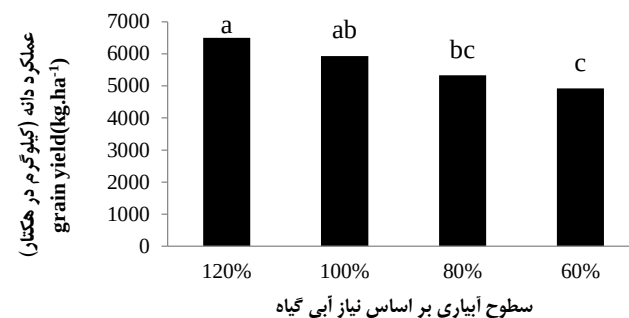
Figure 4- Effects of different levels of nitrogen fertilizer on grain yield of irrigated wheat. Columns with same letters are not significantly difference by using multiple test at $p \leq 0.05$ probability.



شکل ۵- اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و درصد نیتروژن مورد نیاز بر عملکرد دانه گندم آبی. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Figure 5- Interaction effect of different irrigation (120, 100, 80 and 60% of water requirement) and nitrogen (125, 100, 75 and 50% of nitrogen requirement) levels on the yield of irrigated wheat. Columns with same letters are not significantly difference by using multiple test at $p \leq 0.05$ probability

مکعب)، (شکل ۶). در این تحقیق کارایی مصرف آب فقط بر اساس میزان آب مصرفی محاسبه شد و اگر میزان بارندگی نیز در محاسبه کارایی مصرف آب لحاظ گردد کارایی مصرف آب آبیاری کمتر از این مقدار می‌شود به عبارتی دیگر می‌توان گفت که در شرایط کمبود آب تأمین صد درصدی نیاز نیتروژن گیاه کارایی مصرف آب را در سطح بالایی نگه می‌دارد و در صورت کاهش مقدار نیتروژن، کارایی مصرف



شکل ۳- اثرات سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد دانه گندم آبی. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

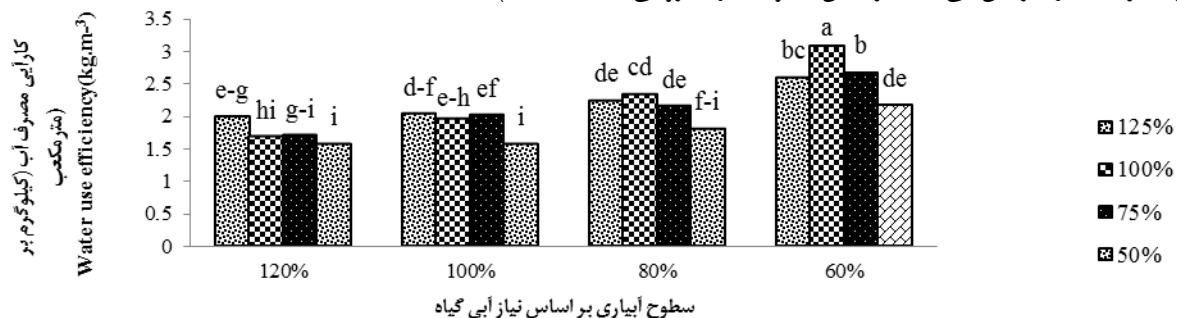
Figure 3- Effects of different levels of irrigation on the grain yield of irrigated wheat. Columns with same letters are not significantly difference by using multiple test at $p \leq 0.05$ probability.

کارایی مصرف آب آبیاری

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل تیمارهای مختلف آبیاری و کود نیتروژن بر کارایی مصرف آب معنی‌دار بود (جدول ۲، $p \leq 0.05$). با توجه به نتایج مقایسه میانگین کارایی مصرف آب، بهترین تیمار در سطح تیمار تأمین ۶۰ درصد مصرف آبی گیاه با تأمین ۱۰۰ درصدی مصرف نیتروژن به دست آمد (۳/۰۸ کیلوگرم بر متر

میچرخان کارایی مصرف منابع در سطوح پایین نهاده‌ها بالاتر است. بنابراین به نظر می‌رسد که با مصرف کمتر نهاده‌ها بتوان به یک راندمان بالاتر دست پیدا کرد. بنابراین در شرایط کمبود آب آبیاری می‌توان با افزایش میزان کود نیتروژن کارایی مصرف آب را افزایش داد. در کل هرچه مقدار آب مصرفی بیشتر شد، کارایی مصرف آب کاهش پیدا کرد و در تمامی سطوح آبیاری، کاهش کود ازته باعث کاهش کارایی مصرف آب شد و در هر سطح آبیاری مصرف ۵۰ درصد نیاز کودی کمترین کارایی را نشان داد. نیتروژن عنصری ضروری برای رشد و نمو گیاه بوده و تغییر در مقادیر قابل دسترس آن به‌ویژه در شرایط تنش آب عملکرد گیاه را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهد. مقدار نیتروژن قابل دسترس بر توزیع مقدار مواد فتوسنتزی بین اندام‌های رویشی و زایشی موثر بوده و مراحل فنولوژیکی رشد و نمو در اثر کمبود نیتروژن به تاخیر می‌افتد (El-Gendy et al., 2015).

آب نیز کاهش خواهد یافت. در کل، هرچه مقدار آب مصرفی بیشتر شد، کارایی مصرف آب کاهش پیدا کرد. در حالت کلی با کاهش مصرف آب و افزایش مصرف کود کارایی مصرف آب افزایش یافت. اما مشاهده شد که هرچه تأمین آب مورد نیاز کمتر شود، مزیت مصرف حداکثر کود نیتروژن در بهبود کارایی مصرف آب با کاهش مواجه می‌شود. به عبارت دیگر در تیمار آبیاری تأمین ۱۲۰٪ نیاز آبی مصرف کود به میزان ۱۲۵٪ نیاز کودی بیشترین کارایی مصرف آب را نشان داد ولی در تیمار آبیاری ۱۰۰٪ تیمار کودی فوق اثری مشابه تیمار کودی ۱۰۰٪ داشت، در تیمار آبیاری ۸۰٪ تیمار کودی فوق (۱۲۰٪ نیاز آبی) در رتبه دوم و در تیمار کودی ۶۰٪ تیمار آبیاری فوق‌الذکر (۱۲۰٪ نیاز آبی) در رتبه سوم قرار داشت. این بررسی با نتایج تحقیقات (Ghobadi et al., 2015) مطابقت دارد، آن‌ها نیز عنوان نمودند که در صورت کافی بودن آب، مصرف کود نیتروژن راندمان مصرف آب را افزایش می‌دهد. براساس قانونده بازده نزولی



شکل ۶- اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری (۱۲۰، ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی) و نیتروژن (۱۲۵، ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز نیتروژن) بر کارایی مصرف آب گندم آبی. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Figure 6 - Interaction of different levels of irrigation (120, 100, 80 and 60% of water requirement) and nitrogen (125, 100, 75 and 50% of nitrogen requirement) on water use efficiency of irrigated wheat. Columns with same letters are not significantly difference by using multiple test at $p \leq 0.05$ probability.

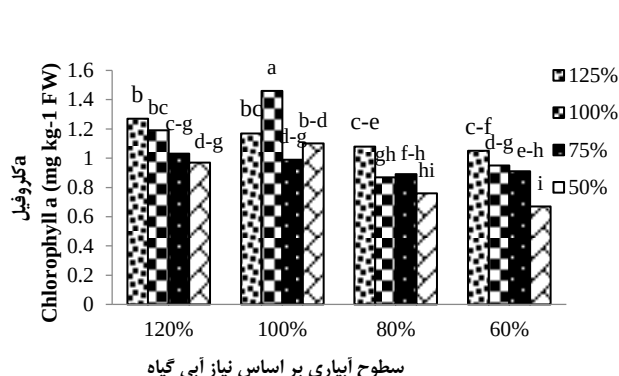
جدول ۲- تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم آبی

Table 2- Analysis of variance of the effect of different levels of irrigation and nitrogen fertilizer on yield and yield components of irrigated wheat

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Means squares			
		عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grian yield	شاخص برداشت Harvest index	کارایی مصرف آب Water use efficiency
بلوک (Block)	2	20941618*	7868746**	58.98*	1.01**
آبیاری (Irrigation)	3	23986469*	5692999**	20.42 ^{ns}	1.83**
خطای کرت اصلی (Main plot)	6	4336946	516999	7.69	0.06
کود نیتروژن (Fertilizer)	3	14810697**	3986803**	23**	0.059**
آبیاری × کود نیتروژن Irrigation × Fertilizer	9	3034454 ^{ns}	460910 ^{ns}	9.04 ^{ns}	0.08*
خطای کرت فرعی (Sub error)	24	1623259	311542	5.49	0.03
ضریب تغییرات C.V (%)	-	9.0	9.8	5.9	8.7

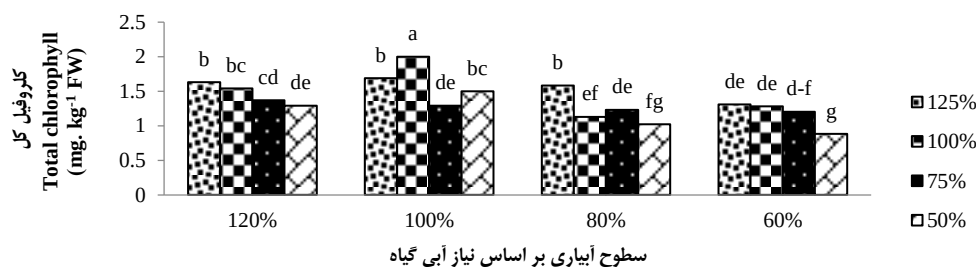
*, * and ns, respectively, indicate significant differences at 1%, 5% and non-significant.

آبی تا حد بهینه گیاه میسر است به طوری که در سطوح بالا یا پایین تر تیمارهای آبی اثر آن بر میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل کاهشی خواهد بود که با نتایج مطالعه (Afkari et al., 2018) مطابقت دارد. تحت تاثیر کاهش آبیاری از ۱۲۰ درصد به ۶۰ درصد عملکرد دانه ۲۴ درصد و تحت تاثیر کاهش مصرف کود نیتروژنه مقدار عملکرد ۲۱ درصد کاهش یافته است و در خصوص مقدار کلروفیل a با کاهش مقدار آب از ۱۲۰ درصد به ۶۰ درصد ۲۰ درصد و با کاهش مقدار کود از ۱۲۵ درصد به ۵۰ درصد مقدار عملکرد ۲۳ درصد کاهش یافته است. همچنین در خصوص مقدار کلروفیل b با کاهش مقدار آب از ۱۲۰ درصد به ۶۰ درصد، ۱۹/۸۸ درصد و با کاهش مقدار کود از ۱۲۵ درصد به ۵۰ درصد مقدار عملکرد ۲۷ درصد کاهش یافته است.



شکل ۸- اثرات متقابل سطوح مختلف آبیاری (۱۲۰، ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی) و نیتروژن (۱۲۵، ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز نیتروژن) بر محتوی کلروفیل a در گندم آبی. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

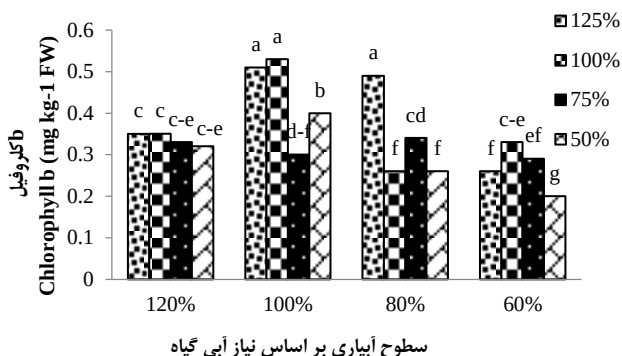
Figure 8- Interaction of different levels of irrigation (120, 100, 80 and 60% of water requirement) and nitrogen (125, 100, 75 and 50% of nitrogen requirement) on Chlorophyll a of irrigated wheat. Columns with same letters are not significantly difference by using multiple test at $p \leq 0.05$ probability.



شکل ۹- اثرات متقابل سطوح مختلف آبیاری (۱۲۰، ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی) و نیتروژن (۱۲۵، ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز نیتروژن) بر محتوی کلروفیل کل در گندم آبی. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Figure 9 – Interaction effects of different levels of irrigation (120, 100, 80 and 60% of water requirement) and nitrogen (125, 100, 75 and 50% of nitrogen requirement) on Total Chlorophyll of irrigated wheat. Columns with same letters are not significantly difference by using multiple test at $p \leq 0.05$ probability.

زرد شدن (کلروزیس) حاصل کمبود نیتروژن در گیاه است که باعث کاهش رشد گیاه و پیری زودرس برگ‌ها می‌شود (Majidian et al., 2008; Fatih et al., 2010). کمترین میزان کلروفیل در این تحقیق در سطح تیماری ۵۰ درصد مصرف کود نیتروژن و ۶۰ درصد تأمین نیاز آبی گیاه به دست آمد و با روند افزایشی آن تا رسیدن به نقطه مطلوب نیاز کودی و آبی به حداکثر خود رسید. در مجموع، بین تیمارهای ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز آبی و تیمارهای ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز کودی تفاوتی از لحاظ محتوای کلروفیل وجود نداشت که نشان‌دهنده مطلوب بودن سطوح ۱۰۰ درصد نیاز آبی و نیتروژن برای تأمین کلروفیل می‌باشد. این آزمایش نشان داد که تأثیر مثبت افزایش میزان کود نیتروژنه با افزایش نیاز



شکل ۷- اثرات متقابل سطوح مختلف آبیاری (۱۲۰، ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی) و نیتروژن (۱۲۵، ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز نیتروژن) بر محتوی کلروفیل b در گندم آبی. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Figure 7- Interaction of different levels of irrigation (120, 100, 80 and 60% of water requirement) and nitrogen (125, 100, 75 and 50% of nitrogen requirement) on Chlorophyll b of irrigated wheat. Columns with same letters are not significantly difference by using multiple test at $p \leq 0.05$ probability.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف آبیاری و کود نیتروژن بر محتوی کلروفیل گندم آبی

Table 3- Analysis of variance of the effect of different levels of irrigation and nitrogen fertilizer on chlorophyll content of irrigated wheat

میانگین مربعات Means squares				
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll
بلوک (Block)	2	0.0139 ^{ns}	0.0007 ^{ns}	0.0202 [*]
آبیاری (Irrigation)	3	0.2594 ^{**}	0.0575 ^{**}	0.5125 ^{**}
خطای کرت اصلی (Main plot)	6	0.0048	0.0005	0.0028
کود نیتروژن (Fertilizer)	3	0.2004 ^{**}	0.0258 ^{**}	0.3753 ^{**}
آبیاری × کود نیتروژن Irrigation × Fertilizer	9	0.0372 ^{**}	0.0169 ^{**}	0.0849 ^{**}
خطای کرت فرعی (Sub error)	24	0.0109	0.0007	0.0127
ضریب تغییرات (درصد) C.V(%)	-	10.2	7.7	8.2

*، ** و ns به ترتیب نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد، ۵ درصد و غیر معنی دار

*، ** and ns, respectively, indicate significant differences at 1%, 5% and non-significant

میزان کلروفیل

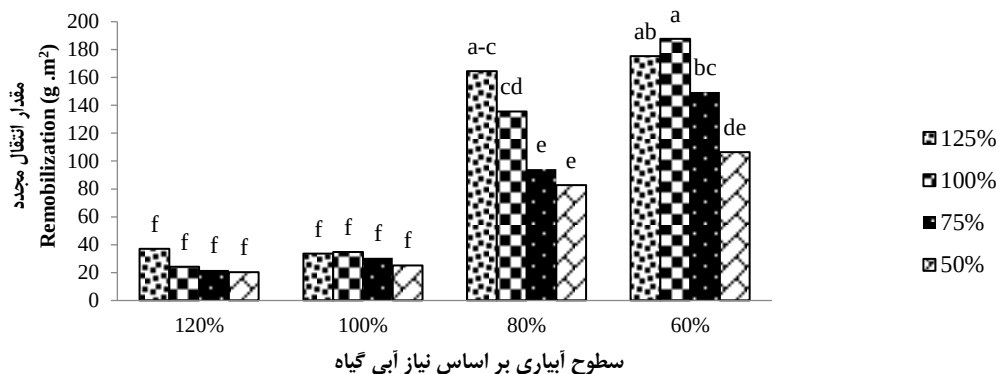
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و کود نیتروژن بر محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل معنی دار ($P < 0.01$) بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل کلروفیل a، b و کلروفیل کل مربوط به سطح تیماری تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و تیمار ۱۰۰ درصدی مصرف کود نیتروژنه مربوط بود. همچنین کمترین میزان کلروفیل a، b و کلروفیل کل در سطح تیماری تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه و سطح ۵۰ درصد نیاز نیتروژن گیاه حاصل شد (شکل‌های ۷، ۸ و ۹).

تشخیص دقیق وضعیت نیتروژن در گیاهان زراعی بسیار مهم می باشد. اگر نیتروژن به میزان مطلوب در اختیار گیاه باشد، باعث افزایش عملکرد گیاه می شود. کلروفیل و نیتروژن در گیاهان ارتباط نزدیکی با هم دارند و به همین دلیل از میزان کلروفیل برای تعیین وضعیت نیتروژن در گیاهان استفاده می شود (Ebertseder et al., 2003).

مقدار انتقال مجدد

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر برهمکنش آبیاری و نیتروژن بر میزان انتقال مجدد معنی دار ($P < 0.01$) بود (جدول ۴). بررسی نتایج مقایسه میانگین مربوط به میزان انتقال مجدد ساقه حاکی از آن بود که بین تیمارهای تأمین آبی ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز آبی در همه ی سطوح کود مصرفی نیتروژن تفاوت معنی داری از لحاظ آماری وجود نداشت. با افزایش آبیاری به دلیل افزایش فتوسنتز جاری

و عدم نیاز به ذخایر ساقه، میزان انتقال مجدد کاهش یافت به طوری که در سطوح ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز آبی میزان انتقال مجدد به حدود یک چهارم تیمارهای ۶۰ و ۸۰ درصد تأمین نیاز آبی کاهش یافت. همچنین بیشترین میزان انتقال مجدد ساقه (۱۸۷ گرم در متر مربع) مربوط به سطح تیماری ۶۰ درصد نیاز آبی در سطح ۱۰۰ درصدی کود نیتروژن بود (شکل ۱۰). به طور کلی در شرایط مطلوب آبیاری، سطوح بالاتر مصرف نیتروژن به دلیل تولید سطح برگ بالاتر و هم چنین بالا بودن مقدار و دوام فتوسنتز جاری میزان انتقال مجدد کمتر بود و بدین ترتیب سهم مواد ذخیره ای در عملکرد دانه کاهش یافت. نتایج مطالعات حاکی از آن است که در شرایط تنش خشکی، مصرف مقادیر بیشتر نیتروژن باعث تولید سطح برگ بیشتر در اوایل فصل رشد شده و این مسئله سبب افزایش مقدار مواد ذخیره ای در ساقه و در نتیجه افزایش میزان انتقال مجدد در مقایسه با مقادیر کمتر مصرف نیتروژن می گردد (Gholinezhad, 2014). در آزمایش حاضر این شرایط در تیمارهای مصرف کمتر آب مشهود بود. در مجموع، در هر سطح تأمین نیاز آبی با کاهش مصرف نیتروژن میزان انتقال مجدد کاهش یافت که دلیل آن کاهش تولید مواد فتوسنتزی و کاهش ذخایر ساقه می باشد. روند مشابه میزان انتقال مجدد تحت تأثیر کود نیتروژنه (شکل ۹) و میزان کلروفیل برگ (شکل ۱۰) مؤید نکته فوق است. اثرات مثبت مصرف کود نیتروژنه در افزایش انتقال مجدد در نهایت اثر خود را در بهبود کارایی مصرف آب (شکل ۵) نیز نشان داده است.



شکل ۱۰- اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و درصد نیتروژن مورد نیاز بر میزان انتقال مجدد ساقه در گندم آبی
ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

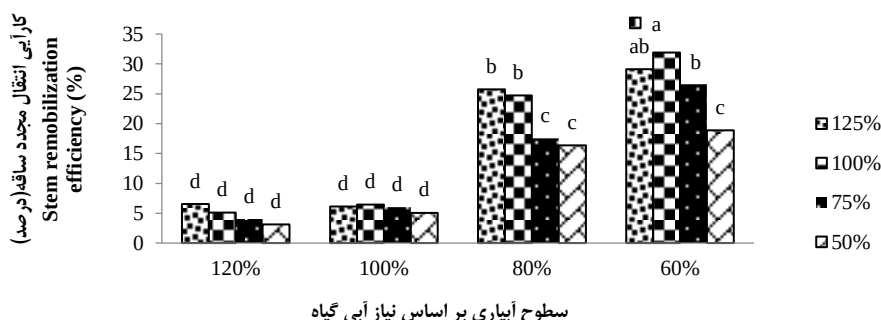
Figure 10- Interaction of different levels of irrigation and nitrogen on Remobilization of irrigated wheat. Columns with same letters are not significantly difference by using multiple test at $p \leq 0.05$ probability

افزایش یافت (Baradaran Firoz Abadi et al., 2004). (Dordas and Sioulas, 2008)

بیان داشتند که کود نیتروژن میزان فتوسنتز جاری را افزایش داده و میزان انتقال مجدد ماده خشک را کاهش می‌دهد. در شرایط مطلوب آبیاری و کود نیتروژن به دلیل افزایش میزان فتوسنتز، نیاز به ذخایر ساقه کاهش یافته و کارایی انتقال مجدد کاهش می‌یابد. این نتایج نشان می‌دهد که در تیمارهای فوق منبع فتوسنتزی کافی بود و گیاه فاقد محدودیت منبع بوده است و چندان نیازی به ذخایر ساقه نداشته است. بنابراین در این شرایط، گیاه مقصد محدود بوده است و سنبله توانایی جذب مواد فتوسنتزی ذخیره شده در ساقه را به‌طور مطلوب نداشته است و لذا می‌توان انتظار داشت وزن دانه در این تیمار به حداکثر خود نزدیک شده باشد.

کارایی انتقال مجدد ساقه

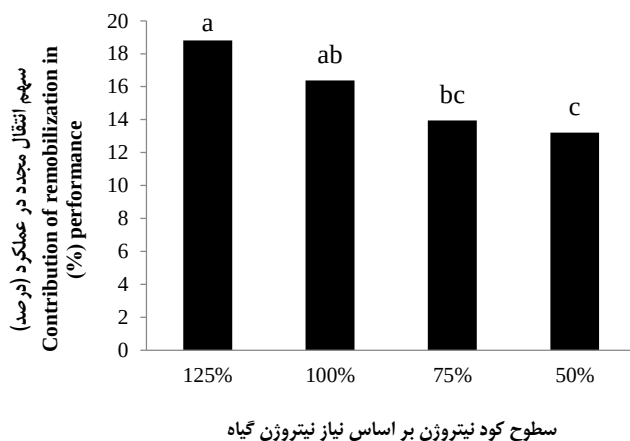
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل آبیاری و نیتروژن، بر کارایی انتقال مجدد ساقه معنی‌دار ($p < 0.01$) بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین صفات نشان داد که بین سطوح ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبی در تمامی سطوح مصرف کود نیتروژن تفاوت معنی‌داری از نظر کارایی انتقال مجدد ساقه وجود نداشت و با افزایش مصرف آب کارایی انتقال مجدد ساقه کاهش پیدا کرد (شکل ۱۱). بیشترین میزان کارایی انتقال مجدد ساقه (۳۲٪) مربوط به تیمار تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی و تأمین ۱۰۰ درصد نیاز کودی بود به عبارت دیگر در این تیمار ۳۲ درصد وزن دانه حاصل انتقال مجدد مواد فتوسنتزی از ساقه است (شکل ۱۰). با کاهش آب قابل دسترس و افزایش کود نیتروژن، انتقال مجدد ماده خشک به‌طور معنی‌داری



شکل ۱۱- اثرات متقابل سطوح مختلف آبیاری و درصد نیتروژن مورد نیاز بر کارایی انتقال مجدد ساقه در گندم آبی. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Figure 11- Interaction of different levels of irrigation and nitrogen on Stem remobilization efficiency of irrigated wheat. Columns with same letters are not significantly difference by using multiple test at $p \leq 0.05$ probability

تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی نسبت به تیمارهای ۱۰۰، ۱۲۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی به ترتیب ۸۷، ۸۳ و ۲۹ درصد افزایش داشت. عملکرد دانه گندم تابع دو منبع فتوسنتز جاری و انتقال مجدد مواد فتوسنتزی ذخیره شده از اندامهای رویشی می باشد (Forouzi et al., 2016). یک بررسی مشاهده شد که افزایش تنش خشکی موجب افزایش انتقال مجدد ماده خشک به خصوص از قسمت میانگره‌های پایینی ساقه به دانه می شود (Abdoli et al., 2013).



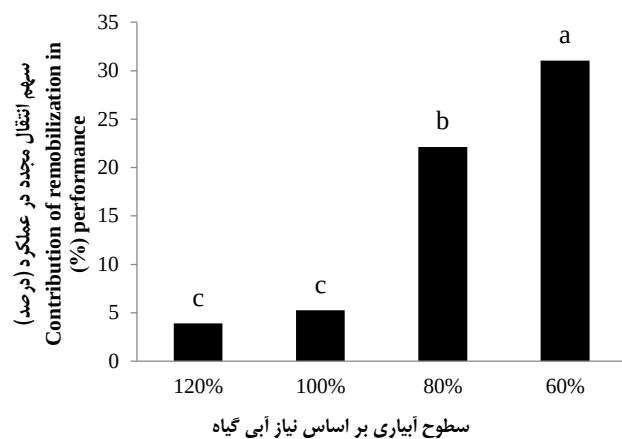
شکل ۱۳- اثرات سطوح مختلف درصد نیتروژن مورد نیاز بر سهم انتقال مجدد در عملکرد گندم آبی. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Figure 13- Effects of different levels of nitrogen Contribution of remobilization in performance of fertilizer of irrigated wheat. Columns with same letters are not significantly difference by using multiple test at $p \leq 0.05$ probability

نیتروژن معنی‌دار ($p < 0.01$) بود (جدول ۴). بررسی نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده سطوح مختلف رژیم آبی بر سهم فتوسنتز جاری در عملکرد نشان داد که بیشترین میزان (۹۶ درصد) به تیمار آبی ۱۲۰ درصد مربوط بود که از لحاظ آماری با تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی تفاوت معنی‌داری نداشت. همچنین کمترین میزان آن (۶۹ درصد) به تیمار تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی مربوط بود (شکل ۱۴). در بررسی سطوح مختلف کود نیتروژن نیز مشخص شد که بیشترین سهم فتوسنتز جاری در عملکرد (۸۷ درصد) به تیمار تأمین ۵۰ درصد نیاز کودی مربوط بود و با افزایش مصرف کود نیتروژن مقدار آن کاهش یافت. دلیل این امر تأثیر شدیدتر کودهای ازته بر بهبود رشد رویشی در دوره رشد فعال گندم قبل از گلدهی در مقایسه با رشد رویشی آرام

سهم انتقال مجدد در عملکرد

اثر اصلی سطوح مختلف آبیاری و نیتروژن بر سهم انتقال مجدد در عملکرد معنی‌دار ($p < 0.01$) بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین سهم (۳۱ درصد) مربوط به تیمار تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی بود و با افزایش میزان آبیاری مقدار آن کاهش یافت (شکل ۱۲). کم‌ترین میزان این صفت در تیمار تأمین ۱۲۰ درصد نیاز آبی (۴ درصد) به دست آمد. سهم انتقال مجدد در عملکرد در تیمار



شکل ۱۲- اثرات سطوح مختلف آبیاری بر سهم انتقال مجدد در عملکرد گندم آبی. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

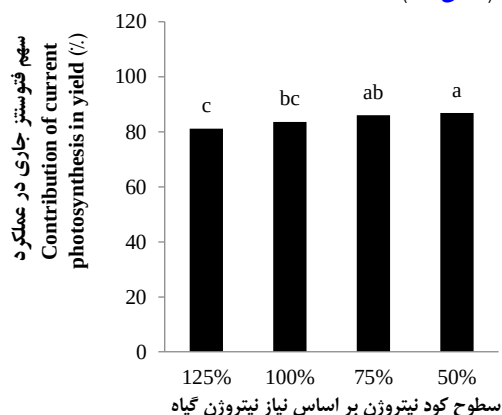
Figure 12- Effects of different levels of irrigation on the Contribution of remobilization in performance of irrigated wheat. Columns with same letters are not significantly difference by using multiple test at $p \leq 0.05$ probability

نتایج مقایسه میانگین اثر کود نیتروژن بر سهم انتقال مجدد در عملکرد دانه نشان داد که بیشترین مقدار این صفت در تیمار تأمین ۱۲۵ درصد نیاز کودی و کم‌ترین آن در تیمار تأمین ۵۰ درصد نیاز کودی حاصل گردید (شکل ۱۳). سهم انتقال مجدد در عملکرد در تیمار ۱۲۵ درصد نیاز کودی در مقایسه با تیمارهای ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ درصد نیاز نیتروژن به ترتیب ۱۳، ۲۶ و ۳۰ درصد افزایش نشان داد. در مجموع، نتایج نشان داد که سهم انتقال مجدد در عملکرد بیشتر تحت تأثیر سطوح آبیاری قرار گرفت تا سطوح نیتروژن.

سهم فتوسنتز جاری در عملکرد دانه

بررسی نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برای صفت سهم فتوسنتز جاری در عملکرد تنها اثرات ساده تیمارهای آبی و کود

می گردید، این امر با کاهش سهم فتوسنتز جاری در عملکرد همراه شد (شکل ۱۵).

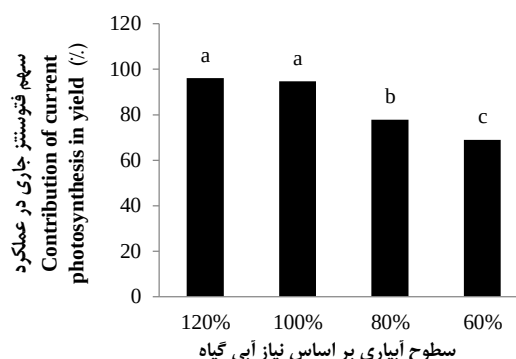


شکل ۱۵- اثرات سطوح مختلف درصد نیتروژن مورد نیاز بر سهم فتوسنتز جاری در عملکرد گندم آبی. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Figure 16 - Effects of different levels of nitrogen on Contribution of current photosynthesis in yield of irrigated wheat. Columns with same letters are not significantly different by using multiple test at $p \leq 0.05$ probability.

تامین نیاز آبی بین ۹/۹ تا ۱۰/۹ درصد متغیر بود (شکل ۱۶). سطوح مختلف کود نیتروژن اعمال شده بر درصد پروتئین گندم معنی‌دار ($P < 0.05$) گردید به این ترتیب که بیشترین (۱۱/۳ درصد) و کمترین (۱۰/۲ درصد) درصد پروتئین دانه در تیمارهای ۱۲۵ درصد تامین نیاز نیتروژن و ۷۵ درصد تامین نیاز نیتروژن مشاهده شد (شکل ۱۷).

بعد از گلدهی بود که باعث افزایش ذخایر ساقه و به دنبال آن افزایش انتقال مجدد این ذخایر به دانه و افزایش سهم ذخایر دانه در عملکرد



شکل ۱۴- اثرات سطوح مختلف آبیاری بر سهم فتوسنتز جاری در عملکرد گندم آبی. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Figure 15- Effects of different levels of irrigation on Contribution of current photosynthesis in yield of irrigated wheat. Columns with same letters are not significantly different by using multiple test at $p \leq 0.05$ probability.

درصد پروتئین دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و کود نیتروژن بر درصد پروتئین دانه معنی‌دار نبود. همچنین درصد پروتئین در این آزمایش تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری قرار نگرفت (جدول ۵). درصد پروتئین در تیمارهای

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف آبیاری و کود نیتروژن بر میزان فتوسنتز جاری و پارامترهای انتقال مجدد در گندم آبی

Table 4- Analysis of variance of the effect of different levels of irrigation and nitrogen fertilizer on current photosynthesis and remobilization parameters in irrigated wheat

Means squares میانگین مربعات					
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	مقدار انتقال مجدد Remobilization	کارایی انتقال مجدد ساقه Stem remobilization efficiency	سهم انتقال مجدد در عملکرد Contribution of remobilization in performance	سهم فتوسنتز جاری در عملکرد Contribution of current photosynthesis in yield
بلوک (Block)	2	1044 ^{ns}	9.26 ^{ns}	7.48 ^{ns}	7.48 ^{ns}
آبیاری (Irrigation)	3	49698 ^{**}	1440 ^{**}	20.96 ^{**}	2096 ^{**}
خطای کرت اصلی (Main plot)	6	1226	14.32	20.70	20.69
کود نیتروژن (Fertilizer)	3	4845 ^{**}	105.18 ^{**}	77.46 ^{**}	77.48 ^{**}
آبیاری × کود نیتروژن Irrigation × Fertilizer	9	1173 ^{**}	22.09 [*]	22 ^{ns}	22.01 ^{ns}
خطای کرت فرعی (Sub error)	24	358.54	7.11	11.72	11.27
ضریب تغییرات C.V(%)	-	22.9	18.3	21.5	4.0

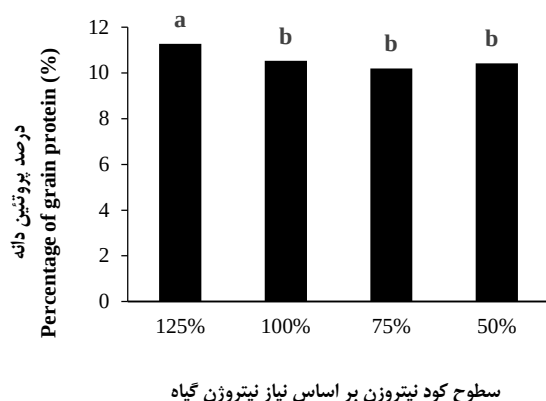
*** و ns به ترتیب نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، ۵ درصد و غیر معنی‌دار

*, **and ns, respectively, indicate significant differences at 1%, 5% and non-significant

از ۱۰۰٪ نیاز کودی فقط نیاز نیتروژن دانه را متناسب با افزایش عملکرد افزایش داده‌اند و باعث افزایش درصد پروتئین دانه نشده‌اند. نتایج حاصل از این تحقیق در خصوص افزایش درصد نیتروژن در تیمارهای کودی مشابه با نتایج تحقیقات (Garrido-Lestache *et al.*, 2005) و (Guadra *et al.*, 2014) می‌باشد.

کارایی زراعی کود نیتروژنه

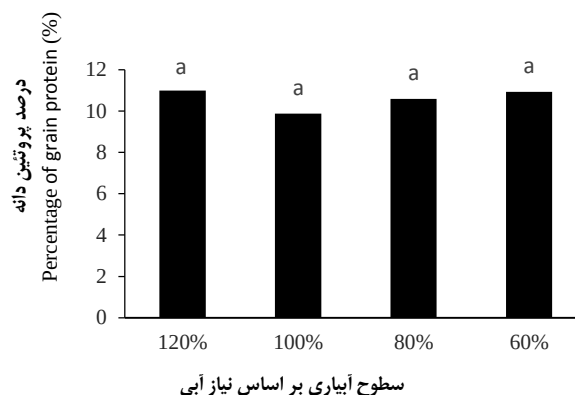
کارایی زراعی کود نیتروژنه عبارت است از افزایش عملکرد دانه به ازای هر کیلوگرم مصرف کود نیتروژنه مازاد بر تیمار شاهد (۵۰٪ تأمین نیاز کودی). نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به کارایی زراعی کود نیتروژن نشان داد که این صفت به‌طور معنی‌داری ($p < 0.01$) تحت تأثیر اثر متقابل آبیاری و کود نیتروژنه قرار گرفت (جدول ۴). بیشترین (۷۹ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم کود نیتروژن مصرفی) و کمترین (۹ کیلوگرم بر کیلوگرم) مقدار کارایی زراعی کود نیتروژن به‌ترتیب در تیمارهای آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی و تأمین ۷۵ درصد نیاز کودی و تیمار تأمین ۱۲۰ درصد نیاز آبی و ۱۰۰ درصد نیاز کودی مشاهده شد (شکل ۱۸).



شکل ۱۷- اثرات سطوح مختلف آبیاری بر درصد پروتئین دانه گندم آبی. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Figure 18- Effects of different levels of nitrogen on Percentage of grain protein of fertilizer of irrigated wheat. Columns with same letters are not significantly difference by using multiple test at $p \leq 0.05$ probability.

طهماسبی سروسستانی و همکاران (Tahmasebi Sarvestani *et al.*, 2011) در آزمایش خود روی گندم گزارش کردند که درصد پروتئین دانه گندم تحت تأثیر تیمار آبیاری معنی‌دار نشد که این نتایج با نتایج آزمایش حاضر منطبق می‌باشد. (Bole and Dubetz, 2006) در آزمایش خود بیان داشتند که با افزایش میزان آبیاری عملکرد گندم افزایش پیدا کرد اما درصد پروتئین دانه کاهش یافت که این نتیجه مغایر با نتیجه حاصل از آزمایش حاضر می‌باشد. لازم به ذکر است که افزایش عملکرد دانه همراه با ثبات درصد پروتئین دانه تحت تیمارهای افزایش مصرف آب در این تحقیق نشان از افزایش محتوای پروتئین دانه در واحد سطح متناسب با افزایش عملکرد دانه می‌باشد. با توجه به این مسئله که کود نیتروژنه یکی از مهم‌ترین عناصر تأثیرگذار در افزایش درصد نیتروژن دانه می‌باشد، به نظر می‌رسد که افزایش کاربرد کود نیتروژنه تجمع این عنصر در دانه و همچنین در اندام‌های هوایی گندم مورد مطالعه در آزمایش حاضر را بیشتر از افزایش عملکرد افزایش داد. این وضعیت در نهایت، منجر به بهبود درصد پروتئین دانه‌ها شد. در این آزمایش در تیمار تأمین ۱۲۵ درصد نیاز نیتروژن بیشترین درصد پروتئین مشاهده شد سایر تیمارهای کودی علی‌رغم افزایش عملکرد دانه، درصد پروتئین را افزایش ندادند، این امر نشان می‌دهد که سطوح کودی معادل و کمتر



شکل ۱۶- اثرات سطوح مختلف آبیاری بر درصد پروتئین دانه گندم آبی. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Figure 17- Effects of different levels of irrigation on Percentage of grain protein of irrigated wheat. Columns with same letters are not significantly difference by using multiple test at $p \leq 0.05$ probability.

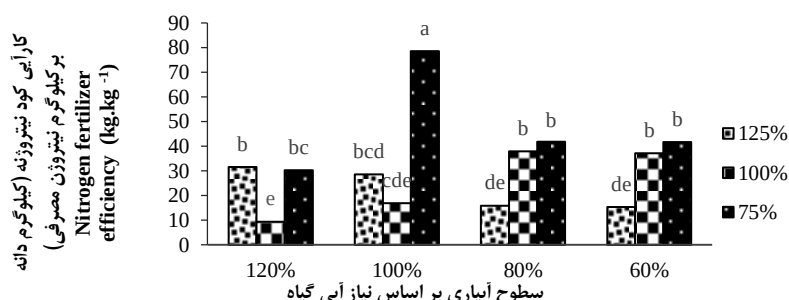
جدول ۵- تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف آبیاری و کود نیتروژنه بر درصد پروتئین دانه گندم آبی
Table 5- Analysis of variance of the effect of different levels of irrigation and nitrogen fertilizer on the percentage of wheat grain protein

میانگین مربعات Means squares		
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	درصد پروتئین دانه Percentage of grain protein
بلوک (Block)	2	1.64 ^{ns}
آبیاری (Irrigation)	3	3.12 ^{ns}
خطای کرت اصلی (Main plot)	6	2.64
کود نیتروژن (Fertilizer)	3	2.63*
آبیاری × کود نیتروژن (Irrigation × Fertilizer)	9	0.5 ^{ns}
خطای کرت فرعی (Sub error)	24	0.74
ضریب تغییرات C.V(%)	-	8.1

** و * ns به ترتیب نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد، ۵ درصد و غیر معنی دار
*, **and ns, respectively, indicate significant differences at 1%, 5% and non-significant

این عنصر توسط گیاه شود. با توجه به این که عموماً در شرایط آبیاری در استان کردستان ۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۱۰۰ درصد نیاز کود نیتروژنه گیاه تأمین می شود، لذا می توان انتظار داشت که در استان کردستان در شرایط آبی کارایی کود نیتروژنه حدود ۲۰ کیلوگرم دانه به ازای هر کیلوگرم کود نیتروژن مصرفی باشد از طرف دیگر در شرایط دیم، تأمین نیاز آبی کمتر از ۶۰ درصد و تأمین کود نیتروژنه کمتر از ۷۵ درصد است، لذا انتظار می رود که کارایی کود نیتروژنه در شرایط دیم حدود ۴۰ کیلوگرم عملکرد دانه به ازای هر کیلوگرم کود نیتروژنه باشد. باتوجه به این که قیمت هر کیلوگرم کود نیتروژنه (معادل ۲/۲ کیلو کود اوره) در سال ۱۳۹۹ حدود ۳ هزار تومان و قیمت هر کیلوگرم گندم حدود ۴ هزار تومان می باشد، از طرف دیگر به ازای مصرف هر کیلوگرم نیتروژن خالص، ۲۰-۴۰ کیلوگرم دانه اضافی تولید می شود لذا مصرف کود نیتروژنه تا مقدار ۱۰۰ درصد نیاز کودی کاملاً اقتصادی و مقرون به صرفه است.

نتایج آزمایش هایی در خصوص تأثیر میزان کود نیتروژن بر کارایی آن نشان داده است که با افزایش کاربرد نیتروژن، کارایی مصرف نیتروژن در همه تیمارها با اختلاف معنی داری بین تمام سطوح کودی کاهش می یابد. به نظر می رسد که دلیل این کاهش عمدتاً ناشی از این مسئله باشد که رابطه ی بین مصرف کود نیتروژن و افزایش عملکرد دانه ی گندم خطی نیست. به عبارت دیگر با افزایش کاربرد کود نیتروژن به همان میزان عملکرد دانه بهبود نمی یابد (Hosseini et al., 2013). زیرا بخشی از نیتروژن جذب شده به گیاه در تیمارهای بالای کود نیتروژنه صرف افزایش پروتئین دانه می شود که این وضعیت در آزمایش حاضر نیز مشاهده شد. از طرف دیگر در سطوح بالای مصرف کود نیتروژنه جذب نیتروژن قابل دسترس گیاه به آهستگی افزایش می یابد که این امر خود موجب کاهش کارایی مصرف نیتروژن می شود (Recous and Machet, 2019). در مطالعات مختلف نشان داده شده است که تعدیل در مصرف کودهای نیتروژنه می تواند منجر به بهبود کارایی مصرف



شکل ۱۸- اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری (۶۰ درصد نیاز آبی) و نیتروژن (۱۲۵، ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی) و نیتروژن (۱۲۵، ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز نیتروژن) بر کارایی کود نیتروژنه در گندم آبی. ستون های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی داری با آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.
Figure 19- Interaction of different levels of irrigation (120, 100, 80 and 60% of water requirement) and nitrogen (125, 100, 75 and 50% of nitrogen requirement) on Nitrogen fertilizer efficiency of irrigated wheat. Columns with same letters are not significantly difference by using multiple test at $p \leq 0.05$ probability.

جدول ۶- تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف آبیاری و کود نیتروژنه بر کارایی کود نیتروژنه گندم آبی
Table 6- Analysis of variance of the effect of different levels of irrigation and nitrogen fertilizer on the efficiency of irrigated wheat nitrogen fertilizer

میانگین مربعات Means squares		
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	کارایی کود نیتروژن Nitrogen fertilizer efficiency
بلوک (Block)	2	6.25 ^{ns}
آبیاری (Irrigation)	3	468.26 ^{ns}
خطای کرت اصلی (Main error)	6	122.94
کود نیتروژن (Fertilizer)	2	23.22 ^{**}
آبیاری × کود نیتروژن Irrigation × Fertilizer	6	946.13 ^{**}
خطای کرت فرعی (Sub error)	16	69.36
ضریب تغییرات C.V(%)	-	25.9

*** و ns به ترتیب نشان دهنده تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد، ۵ درصد و غیر معنی دار
*, ** and ns, respectively, indicate significant differences at 1%, 5% and non-significant

نتیجه گیری

مصرف کود نیتروژنه زمانی به حداکثر می رسد که مصرف آب نیز در حد بهینه باشد.

نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش آبیاری و مصرف کود نیتروژنه به دلیل افزایش فتوسنتز جاری و عدم نیاز به ذخایر ساقه، میزان انتقال مجدد به حدود یک چهارم شرایط تنش کاهش یافت. در کل سهم انتقال مجدد در عملکرد دانه از ۴ درصد در شرایط بهینه آب و نیتروژن تا ۳۱ درصد در شرایط نامطلوب آب و نیتروژن متغیر بود. این وضعیت هماهنگ با تغییرات محتوای کلروفیل برگ بود که بر کارایی مصرف آب نیز موثر بود. نیاز کمتر به انتقال مجدد در تیمارهای فوق باعث کاهش کارایی ساقه در انتقال مجدد مواد ذخیره ای گردید.

افزایش عملکرد دانه در اثر مصرف بهینه آب و کود نیتروژنه ممکن است باعث رقیق شدن پروتئین در آندوسپرم دانه و کاهش درصد پروتئین گردد ولی نتایج نشان داد که مصرف بهینه نیتروژن نه تنها عملکرد را افزایش می دهد بلکه درصد پروتئین دانه را نیز بهبود می بخشد. البته مصرف زیاد کود نیتروژنه به عنوان یک نهاده می تواند کارایی زراعی کود نیتروژنه را کاهش دهد، اما به واسطه اثرات مثبت کود نیتروژنه بر عملکرد و درصد پروتئین این کاهش قابل اغماض است.

براساس نتایج این تحقیق تیمار تامین ۱۲۰٪ نیاز آبی عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه بیشتری در مقایسه با تامین ۱۰۰٪ نیاز آبی حاصل نمود، البته این افزایش در رابطه با عملکرد دانه از لحاظ آماری معنی دار نبود. این مسئله ممکن است ناشی از آن باشد که برآوردهای نیاز آبی براساس عملکرد دانه است و نه عملکرد بیولوژیک. از طرف دیگر با ۴۰ درصد کاهش مصرف آب از تیمار تامین ۱۰۰٪ نیاز آبی به ۶۰٪ عملکرد فقط ۱۵ درصد کاهش یافت که اهمیت کم آبیاری را در افزایش کارایی مصرف آب در شرایط بحرانی نشان می دهد. با کاهش ۲۵ درصد کود نیتروژنه در مقایسه با تیمار تامین ۱۰۰٪ کود نیتروژنه عملکرد فقط ۵ درصد کاهش یافت. اما باید در نظر داشت که ارزش ریالی این ۵ درصد عملکرد بالاتر از ارزش ۲۵٪ کود نیتروژنه مصرفی بیشتر است، لذا با توجه به کمبود مواد آلی خاک در استان کردستان و پایین بودن درصد پروتئین دانه که در این تحقیق مشاهده شد، کاهش مصرف کود نیتروژنه در مقایسه با تیمار ۱۰۰٪ پیشنهاد نمی شود. همچنین مصرف ۱۰۰٪ کود نیتروژنه با آبیاری محدود ۶۰٪ تامین نیاز آبی گیاه باعث بالاترین کارایی مصرف آب به میزان ۳/۰۸ کیلوگرم بر متر مکعب گردید که اهمیت مصرف کود نیتروژنه را از این لحاظ نشان می دهد. تیمار کودی صددرصد در کنار تامین مناسب آب بالاترین مقدار کلروفیل را حاصل نمود که نشان می دهد اثرات مثبت

References

1. Afkari, A. 2018. Effects of drought stress and nitrogen fertilizer rate on some physiological characteristics, essential oil percentage, and yield of basil (*Ocimum basilicum* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 33 (6): 1047-105. doi: [10.22092/ijmapr.2018.112686.2085](https://doi.org/10.22092/ijmapr.2018.112686.2085).
2. Akhavan, K. 2015. The application of drip irrigation system (Tape) in wheat cultivation. Extension Manual, Number 83: 201.
3. Al-Ghzawi, A., Khalaf, Y., Al-Ajlouni, Z., AL-Quraan, N., Musallam, I., and Hani, N. J. A. 2018. The effect of supplemental irrigation on canopy temperature depression, chlorophyll content, and water use efficiency in three wheat (*Triticum aestivum* L. and *T. durum* Desf.) varieties grown in dry regions of Jordan. Agriculture 8 (5): 1-23.
4. Baradaran Firoz Abadi, M., Elahian Noughabi, M., Rahimzadeh, F., Moghadam, M., Ranji, Z., and Rarsaeian, M. 2004. Effect of different levels of continuous water stress on quantity and quality of tree sugar beet lines, Journal of Sugar beet 19 (2): 133-144.
5. Bole, J. B., and Dubetz, S. 2006. Effect of irrigation and nitrogen fertilizer on the yield and protein content of soft white spring wheat. Canadian Journal of Plant Science 66: 281-289. <https://doi.org/10.4141/cjps86-041>.
6. Dordas, C. A., and Sioulas, C. 2008. Safflower yield, chlorophyll content, photosynthesis, and water use efficiency response to nitrogen fertilization under rainfed conditions. Industrial Crops and Products 27 (1): 75- 85. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2007.07.020>.
7. Ebertseder, T., R. Guster, U. Hege, R. Brandhuber and Schmidhalter, U. 2003. Strategies for site-specific nitrogen fertilization with respect to long-term environmental demands. In: Proceeding of the 4th European Conference on Precision Agriculture. J. V. Stafford (Ed.). Wageningen Academic Publishers. The Netherlands.
8. El-Gendy, A. G., Gohary, E. I., Omer, E. A., Hendawy, S. F., and Hussein, M. S. 2015. Effect of nitrogen and potassium fertilizer on herbage and oil yield of chervil plant (*Anthriscus cerefolium* L.). Industrial Crops and Products 69: 167-174. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.02.023>.
9. Garrido-Lestache, E., Lopez-Bellido, R. J., and Lopez-Bellido, L. 2005. Durum wheat quality Under Mediterranean conditions as affected by N rate, timing and splitting, N form and S fertilization. European Journal of Agronomy 23: 265-278. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2004.12.001>.
10. Ghobadi, R., Shirkhani, A., and Jalilian, A. 2015. Effects of water stress and nitrogen fertilizer on yield, its components, water and nitrogen use efficiency of corn (*Zea mays* L.) CV. SC. 704. Applied Field Crops Research (Pajouhesh and Sazandegi) 28 (106): 79-87.
11. Gholinezhad, E. 2014. Effect of water deficit stress, different rates of nitrogen and plant density on remobilization, current photosynthesis and grain yield in sunflower. Journal of Oil Plant Production (1): 44-63.
12. Guadra, G., Padovan, S., and Delogu, G. 2004. Grain yield, nitrogen use efficiency and baking quality of old and modern Italian bread- wheat cultivars grown at different nitrogen levels. European Journal of Agronomy 21: 181-192. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2003.08.001>.
13. Gonzalez, A., Bermjo, V., and Gimeno, B. S. 2010. Effect of different physiological traits on grain yield in barley grown under irrigated and terminal water deficit conditions. Journal of Agricultural Science 148: 319-328. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859610000031>.
14. Hatfield, J. L., and Prueger, J. H. 2004. Nitrogen over-use, under-use, and efficiency. In Proceedings of the 4th International Crop Science Congress (Vol. 26).
15. Fan, J., Wu, L., Zhang, F., Yan, S., and Xiang, Y. 2017. Evaluation of drip fertigation uniformity affected by injector type, pressure difference and lateral layout. Irrigation and Drainage 66 (4): 520-529. <https://doi.org/10.1002/ird.2136>.
16. Fatih, H. 2010. Effect of nitrogen and zinc fertilizers on physiological characteristics of two barley cultivars in autumn, under drought stress conditions. Master Thesis in Agriculture, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan.
17. Fooladvand, H. R., Niazi, J. A., Shirazi Agriculture, H. and Jokar, L. 2006. Interaction of different amounts of irrigation and nitrogen on wheat yield. Journal of Agricultural Sciences, Twelfth Year, 4: 786-779.
18. Forouzi, M., Ehteshami, M. R., Isfahani, M. and Rabiee, M. 2016. Study of dry matter remobilization rate and current photosynthesis in different seed sizes of four wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). Iranian

- Journal of Seed Science and Research 3 (1): 61-47.
19. Jafarinejadi, A. R., Moezi, A. A. A., Mousavi Fazl, S. M. H. and Sayyad, Gh. A. 2011. The efficiency of different types of nitrogen fertilizers and wheat yield. *Journal of Agriculture* 33 (2): 91-100.
 20. Hong, W. P., Lielei, M., Yongqing, Q. I., Xingran, L., Yugui, J., Yanjun, Sh., and Changming, L. 2017. Impact of varied irrigation on field water budgets crops yields in the North china plain: Rainfed vs. irrigation double cropping system. *Agriculture Water Management* 190: 42-54. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.05.007>.
 21. Hosseini, R., Gashi, S., Soltani, A., Kalateh, M., and zahed. M. 2013. Effect of Nitrogen Fertilizer on Nitrogen Consumption Indices in Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Iranian Journal of Crop Research* 11 (2): 300-306.
 22. Kirigwi, F. M., M. Van Ginkel, R. Trethowan, R. G. Sears, S. Rajaram, and G. M. Paulsen. 2004. Evaluation of selection strategies for wheat adaptation across water regimes. *Euphytica* 135: 361-371. <https://doi.org/10.1023/B:EUPH.0000013375.66104.04>.
 23. Ma, S. C., Wang, T. C., Guan, X. K., and Zhan, X. 2018. Effect of sowing time and seeding rate on yield components and water use efficiency of irrigated wheat by regulating the growth redundancy and physiological traits of root and shoot. *Field Crops Research* 221: 166-174. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.02.028>.
 24. Majidian, M., Ghalavand, A., Karimian, N., and Kamgar haghghi, A. A. 2008. Effects of nitrogen different amounts, manure and irrigation water on yield and yield components of corn. *Eleectronic Journal of Crop Production* 1 (2): 67-85.
 25. Mirzakhani, M. 2019. Response of nitrogen use efficiency and agronomic characteristics of irrigated wheat to rate, time and method of nitrogen application. *Iranian Journal of Field Crop Science* 50 (2): 77-87. Doi: [10.22059/ijfcs.2018.245329.654402](https://doi.org/10.22059/ijfcs.2018.245329.654402).
 26. Papakosta, D. K., and Gagianas, A. A. 1991. Nitrogen and dry matter accumulation, remobilization, and losses for Mediterranean wheat during grain filling. *Crop Science Society of America, Agronomy Journal* 83: 864-870. <https://doi.org/10.2134/agronj1991.00021962008300050018x>.
 27. Paredes, P., Pereira, L. S., Rodrigues, G. C., Botelho, N., and Torres, M. O. 2017. Using the FAO dual crop coefficient approach to model water use and productivity of processing pea (*Pisum sativum* L.) as influenced by irrigation strategies. *Agricultural Water Management* 189: 5-18. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.04.010>.
 28. Pouri, K., Siosemardeh, A., Sohrabi, Y., and Soltani, A. 2019. Crop phenotyping for wheat yield and yield components against drought stress. *Cereal Research Communications* 47: 383-393. <https://doi.org/10.1556/0806.47.2019.05>.
 29. Rajala, A., Hakala, K., Kela, P. M., Muurinen, S., and Peltonen-Sainio, P. 2009. Spring wheat response to timing of water deficit through sink and grain filling capacity. *Field Crops Research* 114: 27-263. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.08.007>.
 30. Recous, S., and J. M. Machet. 2019. Short term immobilization and crop uptake of fertilizer nitrogen applied to irrigated wheat: Effect of date application in spring. *Plant and Soil* 206: 137-149. <https://doi.org/10.1023/A:1004377006602>.
 31. Shi, S., Zhou, S., Yin, J., Li, Q., Zhang, Y., Cheng, M., and Zhang, C. 2013. Effects of water and fertilizer coupling on photosynthetic characteristics in flag leaves and yield of irrigated wheat under high yield condition. *Journal of Triticeae Crops* 33 (3): 549-554.
 32. Si, Z., Zain, M., Mehmood, F., Wang, G., Gao, Y., and Duan, A. 2020. Effects of nitrogen application rate and irrigation regime on growth, yield, and water-nitrogen use efficiency of drip-irrigated wheat in the North China Plain. *Agricultural Water Management* 231: 106002. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106002>.
 33. Tahmasebi Sarvestani, Z., Rouhi, A., and Secondary teacher, S., and Ahmadi. M. 2011. Quantitative and Qualitative Characteristics of Yield of Dryland Wheat Genotypes under Supplementary Irrigation Conditions, *Iranian Journal of Crop* 3 (1): 47-55
 34. Timsina, T., Singh, U., Badaruddin, M., Meisner, C., and Amin, M. R. 2001. Cultivar, nitrogen, and water effects on productivity, and nitrogen-use efficiency and balance for rice–wheat sequences of Bangladesh. *Field Crop Research* 72: 143-161. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(01\)00171-X](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00171-X).
 35. Yan, S., Wu, Y., Fan, J., Zhang, F., Qiang, S., Zheng, J., and Zou, H. 2019. Effects of water and fertilizer management on grain filling characteristics, grain weight and productivity of drip-fertigated irrigated

- wheat. *Agricultural Water Management* 213: 983-995. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.12.019>.
36. Zheng, J., Fan, J., Zhang, F., Yan, S., and Xiang, Y. 2018. Rainfall partitioning into throughfall, stemflow and interception loss by maize canopy on the semi-arid Loess Plateau of China. *Agricultural Water Management* 195: 25-36. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.09.013>.



Effect of Irrigation and Nutrition Management on Yield and Yield Components of Quinoa in Birjand Conditions

H. Tabiei¹, R. Baradaran^{2*}, M. J. Seghatoleslami², S. Gh. Mousavi²

Received: 15-03-2021
Revised: 21-11-2021
Accepted: 27-11-2021

How to cite this article:

Tabiei, H., Baradaran, R., Seghatoleslami, M. J., and Mousavi, S. Gh. R. 2022. Effect of Irrigation and Nutrition Management on Yield and Yield Components of Quinoa in Birjand Conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 20 (1): 65-80. (in Persian with English abstract). DOI: [10.22067/jcesc.2021.69421.1036](https://doi.org/10.22067/jcesc.2021.69421.1036).

Introduction

Quinoa is a plant that has received worldwide attention due to its ability to grow in different stresses. The seed protein content of this plant is higher than seeds and its protein quality is better than seeds and legumes. It is rich in the amino acids lysine, globulin, which makes it suitable for patients with celiac disease. These issues have led the food and agriculture organization of the United Nations (FAO) to prioritize its development, especially in countries facing environmental tensions.

Materials and Methods

An experiment was conducted during the two cropping years of 2019-20 as split plot in a randomized complete block design with three replications in the academic center for education, culture, and research (ACECR), Birjand, IR Iran in 2019 and 2020. The main factor was irrigation regimes at three levels (100% of reference evapotranspiration (ET₀) (control), 65% of reference evapotranspiration, and 30% of reference evapotranspiration; the secondary factor was fertilizer levels at six levels (control, manure, vermicompost, NPK, 50% manure+ 50% NPK and 50% vermicompost+ 50% NPK). Water requirement was calculated using the FAO method using class A evaporation pan using equations 1 and 2. Then, considering the efficiency of 90% for water distribution in the field, irrigation was performed. In this method, to calculate the amount of water required by the plant, first evaporation was obtained from the daily pan evaporation (E_p) of the meteorological department and then multiplied by the pan coefficient (K_{pan}). The obtained value was the ET₀. In this study inflorescence number per square meter, number of seed per plant, 1000 seeds weight, Chlorophyll index, leaf relative water content, seed yield and harvest index were measured.

Results and Discussion

The results showed that irrigation treatment of 30% of the reference evapotranspiration (severe stress) had a significant effect on the measured traits in both cropping years. In this treatment, seed yield decreased 38.4% and 32.6% compared to the 100% reference evapotranspiration treatment (control) in the first and second years, respectively. Also, yield and yield components were higher in integrated feeding systems than chemical and organic systems. The highest seed yield with an average of 3040.1 kg.ha⁻¹ was obtained from 50% vermicompost+ 50% NPK application. Based on the correlation results, 1000 seed weight was one of the most important components affecting on seed yield of quinoa. In both years, with increasing the intensity of stress from 100 to 35% of reference evapotranspiration, SPAD reading showed an increasing trend. The results of trait correlation showed that there is a positive and significant correlation between harvest index and 1000 seed weight with seed yield ($r = 0.74$) and ($r = 0.83$), respectively.

Conclusion

According to the results of this experiment, different irrigation regimes have different effects on quinoa growth. It is concluded that in quinoa, the dry matter decreases with increasing drought stress. In compared to

1- PhD Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Birjand Branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran

2- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Birjand Branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran

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

DOI: [10.22067/jcesc.2021.69421.1036](https://doi.org/10.22067/jcesc.2021.69421.1036)

optimal irrigation treatment (100% of evapotranspiration), moderate and severe stress were significant decreased the number of fertile lateral branches per plant, inflorescence number per m², number of seeds per plant, 1000 seed weight, Chlorophyll index and seed yield treatments. Also, there was not a significant difference in seed yield between mild stress (65% of reference evapotranspiration) and control. The quinoa response to fertilizer application under enough irrigation was almost constant.

Keywords: Deficit irrigation, Evaporation pan, Nutrition system, Organic fertilizer, Relative water content

مقاله پژوهشی

جلد ۲۰، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱، ص ۸۰-۶۵

اثر آبیاری و مدیریت تغذیه بر عملکرد و اجزای عملکرد کینوا در شرایط بیرجند

حسین طبعی^۱، رضا برادران^{۲*}، محمد جواد ثقه الاسلامی^۲، سید غلامرضا موسوی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۰۶

چکیده

به منظور بررسی اثر آبیاری و سیستم تغذیه‌ای بر عملکرد و اجزای عملکرد کینوا، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقات جهاد دانشگاهی خراسان جنوبی در دو سال ۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد. عامل اصلی رژیم‌های آبیاری در سه سطح: آبیاری معادل ۱۰۰ (شاهد)، ۶۵ و ۳۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه مرجع و عامل فرعی شش سطح کودی شامل: ۱- شاهد (عدم مصرف)، ۲- کود دامی، ۳- ورمی کمپوست، ۴- NPK، ۵- ۵۰٪ دامی + ۵۰٪ NPK و ۶- ۵۰٪ ورمی کمپوست + ۵۰٪ NPK بود. صفات تعداد گل آذین در مترمربع، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه، شاخص کلروفیل، محتوی رطوبت نسبی برگ، عملکرد دانه و شاخص برداشت اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که تیمار آبیاری ۳۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه مرجع (تنش شدید) تأثیر چشمگیری بر صفات اندازه‌گیری شده در هر دو سال زراعی داشت، به طوری که در این تیمار عملکرد دانه نسبت به تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه مرجع (شاهد)، ۳۸/۴ و ۳۲/۶ درصد به ترتیب در سال اول و دوم کاهش یافت. همچنین عملکرد و اجزای عملکرد در سیستم‌های تغذیه تلفیقی نسبت به سیستم‌های شیمیایی و آلی بیشتر بود. بیشترین عملکرد دانه با میانگین ۳۰۴۰/۱ کیلوگرم در هکتار از تیمار کاربرد ۵۰٪ ورمی کمپوست + ۵۰٪ NPK به دست آمد. بر اساس نتایج ضرایب همبستگی، وزن هزار دانه از مهم‌ترین اجزای تأثیرگذار بر عملکرد دانه کینوا بود. بنابراین در منطقه بیرجند، سیستم تغذیه تلفیقی در شرایط آبیاری کافی برای حصول عملکرد اقتصادی قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: تشنگ تبخیر، رطوبت نسبی برگ، سیستم تغذیه، کم آبیاری، کود آلی

مقدمه

مقابله با مسأله خشکی، تغییر الگوی کشت به سمت کاشت گیاهان مقاوم به شرایط سخت آب و هوایی و تنش‌های محیطی مثل خشکی و شوری به جای گیاهان با نیاز آبی زیاد و حساس می‌باشد (Reiahi, 2010).

گیاه کینوا (*Chenopodium quinoa willd*) گیاه یکساله از خانواده *Amaranthaceae* و از گروه گیاهان C3 می‌باشد و به خوبی با شرایط نامناسب خاک و شرایط بحرانی آب و هوایی سازگار است (Hariadi et al., 2011). علاوه بر مقاومت زیاد به شرایط نامناسب محیطی، یک دانه بسیار غنی از نظر تغذیه‌ای می‌باشد که می‌تواند در تامین امنیت غذایی به‌ویژه در شرایط خشکسالی نقش مهمی را ایفا کند و ارزش اقتصادی زیادی نیز در میان محصولات کشاورزی در بازار جهانی دارد (Esfandiari sabzevar et al., 2018).

در مناطق خشک و نیمه‌خشک، آب و دسترسی به آن در زمان‌های حساس رشد گیاهان زراعی، مهم‌ترین عامل محدودکننده عملکرد اقتصادی است (Khaninejad et al., 2016). در تحقیقی

کشور ایران با متوسط بارش سالیانه ۲۵۲ میلی‌متر، به عنوان یکی از مناطق خشک و نیمه‌خشک شناخته می‌شود که به دلیل تغییرات زمانی و مکانی بارش، متأسفانه در چند دهه اخیر با خشکسالی‌های متوالی و دوره‌ای هم مواجه شده است (Teimouri and Bazrafshan, 2017). استان خراسان جنوبی با متوسط بارندگی ۱۱۳ میلی‌متر که کمتر از میانگین کشور است در کمربند خشکی ایران قرار گرفته است (Anonymous, 2019). مهم‌ترین محدودیت تولید در این منطقه خشک و نیمه‌خشک، کمبود آب است. یکی از راهکارهای

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران

۲- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران

(Email: r.baradaran@yahoo.com)

(*) نویسنده مسئول:

به‌طور معنی‌داری افزایش داد (Ibrahim et al., 2010). نتایج آزمایش دیگری نشان داد که کود دامی باعث افزایش ماده خشک و میزان کلروفیل برگ جو بهاره (*Hordeum vulgare*) شد (Ofosu-Anim and Leitch, 2009).

مصرف کود شیمیایی در شرایط کم آبیاری بسیار دقیق و حساس است، اگر رطوبت کافی وجود نداشته باشد کود شیمیایی تصعید و از دسترس گیاه خارج و یا هم با تغییر در نسبت $\frac{C}{N}$ گیاه موجب گیاه سوزی و یا بوته میری خواهد شد (Fageria and Baligar, 2005). فقدان کود آلی در خاک‌های ایران و بارش‌های اندک از مهم‌ترین چالش‌های پیش روی کاربرد کود شیمیایی است (Jalali and Bahrani, 2014). در گزارشی بیان شد مصرف نیتروژن در شرایط تنش کم‌آبی می‌تواند با افزایش میزان آسیمیلاسیون، منجر به افزایش تعداد دانه، طول دوره پرشدن دانه، وزن صد دانه و عملکرد دانه شود (Yarnia et al., 2009). گزارش شده که کاربرد ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم، فسفات آمونیم و اوره می‌تواند در افزایش عملکرد و بهبود خصوصیات رشدی کنگد (*Sesamum indicum* L.) موثر باشد (Rahbar Keykha et al., 2017). چون نیتروژن تأثیر مستقیم در ساختمان کلروفیل دارد، لذا تأمین کافی آن از طریق مصرف کود شیمیایی نیتروژنه باعث افزایش میزان فتوسنتز و همچنین میزان تولید کلروفیل می‌شود (Ojaghloo et al., 2007). افزایش نیاز به پتاسیم در گیاهان تحت تنش خشکی به‌دلیل نقش پتاسیم در تثبیت دی‌اکسید کربن و این‌که تنش با بستن روزنه‌ها ضمن کاهش تثبیت دی‌اکسید کربن سبب تولید فرم‌های فعال اکسیژن می‌شود ضروری است (Cakmak, 2005).

در تحقیقی بیشترین تعداد سنبله در مترمربع (۳۶۳ سنبله)، عملکرد دانه (۴۱۳۳/۳ کیلوگرم در هکتار) گندم در تیمار مصرف کود دامی و ۶۰ درصد اوره توصیه شده و کمترین تعداد سنبله در مترمربع (۲۲۸/۳ سنبله)، عملکرد دانه (۲۵۰۰/۳ کیلوگرم در هکتار) در تیمار عدم مصرف کود به‌دست آمد (Moradi et al., 2016). کودهای شیمیایی و بیولوژیک در تحقیقی موجب تولید حداکثر عملکرد دانه، وزن هزاردانه ذرت (*Zea mays*) شد (Amujoyegbe et al., 2007). در بررسی تأثیر تلفیقی کودها بر روی زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) گزارش شد که صفات تعداد شاخه فرعی، تعداد چتر در گیاه، تعداد بذر در چتر و عملکرد دانه افزایش پیدا می‌کند (Forouzandeh et al., 2015). در پژوهش دیگری نیز استفاده توأم از کود زیستی + ۵۰ درصد کود شیمیایی بیشترین تأثیر مثبت بر عملکرد شنبلیله (*Coriandrum sativum* L.) داشت (Dadrasan et al., 2015). اعلام شد بیشترین (۱۴/۲۵) و کمترین (۵/۳۳) میانگین تعداد بذر در هر چترک گشنیز (*Coriandrum sativum* L.)

بیشترین عملکرد دانه کینوا به‌ترتیب در تیمارهای ۵۰، ۸۰ و ۱۱۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر مشاهده شد، تیمار تنش خفیف، نسبت به تنش ملایم ۲۴ درصد و از تنش شدید ۳/۴ برابر بیشتر عملکرد دانه را دارا بود (Ziaei et al., 2020). نتایج پژوهش دیگری نشان داد که وزن خشک بوته و ریشه کینوا در شرایط تنش خشکی نسبت به عدم تنش کاهش یافت (Conzalez et al., 2009). قاسمی و همکاران (Ghasemi et al., 2011) در گزارشی بیان کردند که بیشترین عملکرد دانه ذرت (*Zea mays*) تحت شرایط آبیاری مطلوب حاصل شد و گیاهان تحت شرایط تنش ملایم در رتبه دوم قرار گرفتند. در گزارش دیگری با افزایش آب مصرفی تا ۸۰ درصد مقدار آب تبخیر شده از تشتک تبخیر کلاس A، محتوی کلروفیل a و b کلزا (*Brassica napus* L.) افزایش پیدا کرد (Pazaki et al., 2007).

موضوع تغذیه گیاه به‌ویژه در شرایط تنش خشکی از اهمیت زیادی برخوردار است. زیرا قابلیت دسترسی عناصر غذایی مختلف در خاک تحت تأثیر تنش، تغییرات زیادی دارد. گیاهی که تغذیه خوب شده مقاومت به خشکی بهتری خواهد داشت (Lal et al., 1993). بنابراین مدیریت تغذیه گیاه از طریق کاربرد کودهای آلی و شیمیایی در شرایط تنش یکی از مسائل مهم در تولیدات گیاهی محسوب می‌شود. مواد آلی افزون بر فراهم کردن عناصر غذایی، آثار مختلفی بر خصوصیات مرتبط با فیزیک خاک دارند (Pedra et al., 2006). کود دامی از طریق اصلاح ساختمان، احیای باروری و تنوع زیستی، باعث افزایش حاصل‌خیزی و تعادل نیتروژن و کارایی جذب فسفر خاک می‌شود (Brussard and Ferrera Cenato, 1997). همچنین کود دامی پس از متلاشی شدن تنوع میکرو ارگانیسم‌های خاک را افزایش داده و به ارتقای ظرفیت تبادل کاتیونی خاک^۱ می‌انجامد (Ghosh et al., 2004). افزایش فعالیت‌های آنزیمی و میکروبی خاک از نتایج استفاده از ورمی‌کمپوست است، مجموعه این عوامل موجب افزایش شاخص سطح برگ، افزایش سرعت تجمع ماده خشک و افزایش عملکرد می‌شود (Koocheki et al., 1995). احمدی نژاد و همکاران (Ahmadinejad et al., 2013) اعلام کردند که افزایش سطح کودهای آلی از ۳۰ به ۶۰ تن در هکتار شاخص کلروفیل برگ‌ها را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. در گزارشی روی گیاه رازیانه (*Foeniculum vulgare*) نیز مشخص شد که مصرف کودهای آلی باعث افزایش تعداد دانه در بوته شد که دلیل این افزایش، بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه و همچنین افزایش آب قابل دسترس گیاه ناشی از بهبود فیزیکی خاک بیان شد (Moradi, 2009). در بررسی پاسخ گندم (*Triticum aestivum* L.) به سطوح مختلف کمپوست و کود دامی گزارش شد که مصرف کود دامی و کمپوست تعداد پنجه در بوته، ارتفاع سنبله و عملکرد کاه و دانه گندم را نسبت به تیمار شاهد

ارائه شده است.

رقم مورد استفاده در این پژوهش رد کینوا^۲ که از جهاد دانشگاهی خراسان جنوبی تهیه گردید و کاشت به روش خشکه کاری به صورت ردیفی که هر کرت فرعی شامل پنج خط کاشت به طول پنج متر و با فاصله خطوط ۵۰ سانتی متر و فاصله روی ردیف ۱۰ سانتی متر و فاصله بین دو کرت اصلی دو متر در نظر گرفته شد. عملیات تنک و وجین علف‌های هرز در مرحله شش تا هشت برگی، تا رسیدن به تراکم نهایی ۲۰ بوته در متر مربع انجام شد.

نیاز آبی با استفاده از آمار تبخیر از تشتک کلاس A و با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد. سپس با راندمان ۹۰ درصد برای پخش آب در مزرعه آبیاری انجام شد. در این روش برای محاسبه مقدار آب مورد نیاز گیاه، ابتدا تبخیر از تشتک روزانه (Ep) اداره هواشناسی اخذ و سپس در ضریب تشتک ضرب شد (Kpan). حاصل ضرب این دو مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع بود (ET0) (Howell et al., 2008).

$$ET0 = Kpan \times Ep \quad (1)$$

در هر دو سال تحقیق در تاریخ ۲۰ آبان عملیات برداشت در هر کرت با حذف حاشیه بوته‌های موجود در سه متر طول از هر ردیف انجام پذیرفت. صفات تعداد گل آذین در متر مربع، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه، شاخص اسپد، محتوی رطوبت نسبی برگ، عملکرد دانه و شاخص برداشت اندازه‌گیری شد. محاسبه اجزای عملکرد و عملکرد دانه بر اساس شمارش در ۲۰ بوته محاسبه و میانگین ۲۰ بوته برای هر کرت در نظر گرفته شد.

شاخص برداشت محصول از تقسیم عملکرد دانه (عملکرد اقتصادی) بر عملکرد بیولوژیکی محاسبه شد. تعیین محتوای نسبی رطوبت برگ، در مرحله ۹۵ درصد رسیدگی فیزیولوژیک انجام و بدین منظور از هر گیاه، برگ پرچمی انتخاب شد. برگ پرچم بلافاصله پس از برداشت توزین شد (وزن تازه). سپس برگ‌ها در دمای اتاق به مدت ۴۸ ساعت در آب مقطر نگهداری شدند تا آماس کامل پیدا نماید. سپس از آب خارج و آب سطحی آن توسط دستمال کاغذی خشک و وزن شد (وزن آماس). در آخر به منظور اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در دمای اتاق قرار گرفت و پس از خشک شدن به کمک ترازو با دقت ۰/۰۰۰۱ توزین شد (وزن خشک). محتوای نسبی آب برگ با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد (Smart and Bingham, 1974).

$$RWC = \left(\frac{WF - Wd}{Wt - Wd} \right) \times 100 \quad (2)$$

در رابطه (۲)، RWC: محتوای نسبی آب برگ بر حسب درصد؛ WF: وزن تازه برگ؛ Wt: وزن برگ پس از آماس کامل و Wd: وزن خشک برگ بر حسب گرم است.

محتوی کلروفیل برگ توسط دستگاه کلروفیل متر مدل 502 Plus

به ترتیب در تیمارهای آبیاری پس از ۶۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A و کاربرد توأم ۵۰ درصد اوره+ کود بیولوژیک نیتروکارا و آبیاری پس از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A و عدم مصرف کود به دست آمد (Yeganehpour et al., 2017). در گزارشی بهره‌گیری از مصرف تلفیقی کود گاوی+ شیمیایی و تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی، عملکرد غوزه چای ترش (Hibiscus sabdariffa L.) را بهبود بخشید (Rezvani Moghaddam et al., 2021).

با توجه به خشکسالی‌های اخیر و لزوم تغذیه کافی و مناسب برای جمعیت رو به رشد، هدف از اجرای این پژوهش بررسی میزان اثر بخشی سطوح مختلف کودهای آلی و شیمیایی بر بهبود عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کینوا در شرایط کم آبیاری می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده^۱ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی گیاهان دارویی جهاد دانشگاهی خراسان جنوبی در تاریخ ۲۰ فروردین (کشت بهاره) و طی دو سال ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ اجرا شد. این منطقه با موقعیت جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۳ دقیقه طول شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۲ دقیقه شمالی و در ارتفاع ۱۴۹۱ متر از سطح دریا قرار دارد. میانگین دمای سالانه ۱۶ درجه‌ی سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه آن ۱۷۱ میلی‌متر گزارش شده است (Weather base). عامل اصلی رژیم‌های آبیاری در سه سطح شامل: ۱- آبیاری معادل ۱۰۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه مرجع (شاهد)، ۲- آبیاری معادل ۶۵ درصد تبخیر و تعرق گیاه مرجع و ۳- آبیاری معادل ۳۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه مرجع و عامل فرعی سطوح کودی در شش سطح شامل: ۱- شاهد (عدم مصرف کود)، ۲- کود دامی، ۳- ورمی‌کمپوست، ۴- NPK، ۵- ۵۰٪ دامی + ۵۰٪ NPK و ۶- ۵۰٪ ورمی‌کمپوست + ۵۰٪ NPK) بود. براساس آنالیز انجام گرفته از خاک، کود فسفره از منبع سوپرفسفات تریپل (۲۵۰ کیلوگرم در هکتار) و کود پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم (۲۵۰ کیلوگرم در هکتار) تامین و قبل از کاشت به خاک افزوده شد. کود اوره (۳۵۰ کیلوگرم در هکتار) در دو مرحله شامل ۵۰ درصد قبل از کاشت و مابقی به صورت سرک در مرحله ۸-۶ برگی استفاده شد. برای اعمال تیمار کود دامی، میزان ۳۵ تن در هکتار کود گاوی پوسیده و هفت تن در هکتار کود ورمی‌کمپوست قبل از کاشت کاملاً با خاک مخلوط شد. به منظور انجام آزمایش خاک در هر سال یک نمونه مرکب از عمق ۰-۳۰ تهیه شد که نتایج تجزیه خاک در جدول ۱ آمده است. خصوصیات شیمیایی کودهای مورد استفاده در جدول ۲ و نتایج مربوط به مشخصات اقلیمی در سال‌های آزمایش در جدول ۳

و از برگ پرچی اندازه‌گیری شد. بدین ترتیب که عدد قرائت شده از ابتدا، وسط و انتهای برگ پرچم میانگین‌گیری شد و اعداد مربوط به میانگین سه بوته از هر تیمار به عنوان محتوی کلروفیل برگ در نظر

گرفته شد. این کار بعد از شروع تنش به فاصله هر دو هفته یکبار تکرار شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در دو سال ۹۸ و ۹۹ (عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر)

Table 1- Soil physical and chemical analysis in 2019 and 2020 (depth of 0 to 30 cm)

سال	اسیدیته	هدایت الکتریکی	ماده آلی	شن	سیلت	رس	نیتروژن کل	فسفر	پتاسیم	آهن	منگنز	روی	مس
Year	pH	EC (dS.m ⁻¹)	O.C	Sand	Silt	Clay	N Total	P(ave)	K(ave)	Fe	Mn	Zn	Cu
				(%)				(ppm)					
2019	7.9	3.73	0.08	74	14	12	0.013	4.4	168	0.68	0.94	0.24	0.36
2020	7.7	3.72	0.09	74	15	11	0.015	4.6	168	0.67	0.99	0.25	0.37

جدول ۲- خصوصیات کودهای آزمایش

Table 2- Fertilizer properties of the experimental

انواع کود	خاکستر	ماده آلی	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	آهن	منگنز	روی	مس	اسیدیته	هدایت الکتریکی	درصد رطوبت
Fertilizers information	Ash	O.C	N	P	K	Fe	Mn	Zn	Cu	pH	EC	Humidity percentage
			(%)			(ppm)						
شیمیایی (Chemical)	***	***	7.5	9.1	16.1	***	***	***	***	***	***	***
کود دامی (Manure)	55	21.5	1.2	0.6	1.57	2482	256	71	15	8.0	16.5	***
ورمی کمپوست (Vermicompost)	70	15.4	0.8	0.7	0.42	3795	277	105	20	8.3	3.19	44.7

جدول ۳- مشخصات اقلیمی سال ۹۸ و ۹۹ منطقه مورد آزمایش

Table 3- Climatic parameters of the experimental site in 2019 and 2020

ماه	میانگین حداقل دما		میانگین حداکثر دما		میانگین حداقل رطوبت		میانگین حداکثر رطوبت		میانگین میزان بارندگی	
Month	Mean min. temperature (°C)		Mean max. temperature (°C)		Mean min. humidity (%)		Mean max. humidity (%)		Mean precipitation (mm)	
	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020
فروردین (April)	10.5	8.2	23.8	20.4	22.6	25.5	68.0	85.9	0	16.0
اردیبهشت (May)	13.8	13.8	28.7	29.5	11.9	12.5	51.4	57.2	0	2.0
خرداد (June)	18.0	19.4	33.4	36.6	11.8	6.4	44.1	27.7	0	0
تیر (July)	24.2	22.2	38.9	37.4	6.5	8.2	23.7	25.6	0	0
مرداد (August)	22.1	22.4	37.4	38.5	6.3	6.3	26.7	29.5	0	0
شهریور (September)	17.8	15.4	34.9	32.2	6.8	10.4	27.1	38.3	0	0
مهر (October)	10.5	9.3	27.2	27.6	11.7	7.3	38.9	30.1	0	0
آبان (December)	7.4	4.4	21.1	23.2	26.5	13.3	65.5	46.0	0	0

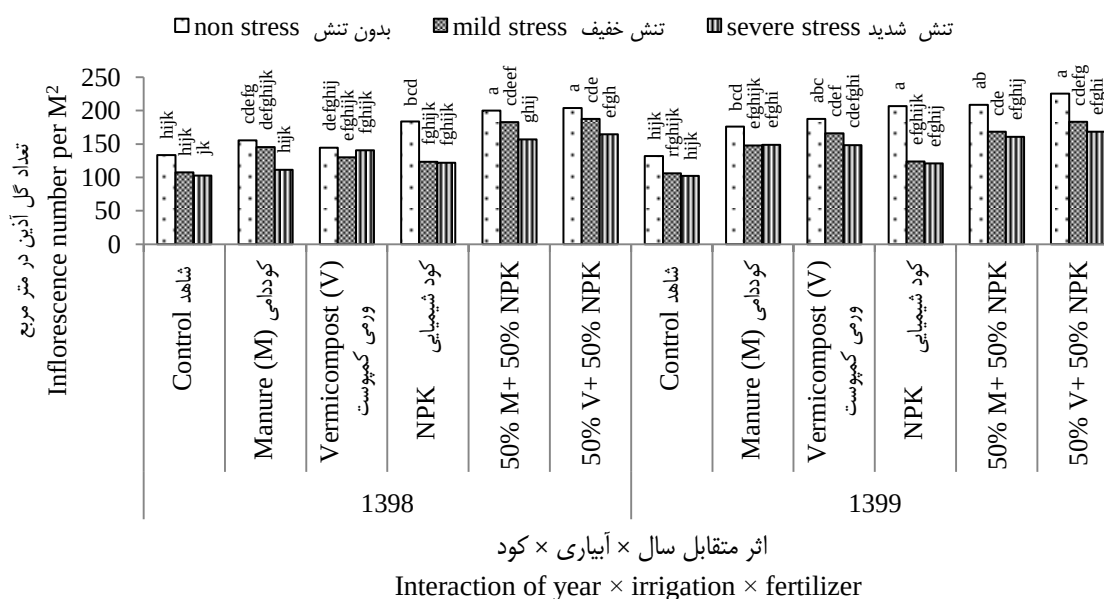
حاصل شد که اختلاف ۵۳/۹ درصدی با تیمار کاربرد تلفیقی کود در شرایط عدم تنش داشت. استفاده از تیمارهای کود تلفیقی در شرایط تنش در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ باعث بهبود این صفت نسبت به شاهد (عدم تنش) شده است. نتایج نشان داد در هر دو سال، اثرات تنش خشکی در کاهش تعداد گل آذین در متر مربع همراه با کاربرد کود شیمیایی شدیدتر بود. می‌توان گفت، مصرف ورمی‌کمپوست و کود دامی، با بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و سپس توسعه سیستم ریشه تأثیر بیشتری بر افزایش تعداد گل آذین در شرایط تنش خشکی طی سال‌های آزمایش نسبت به کود شیمیایی داشته و توانسته اثرات منفی تنش خشکی را نیز جبران می‌کند (Azimzadeh et al., 2016). در حالی که با مصرف کودهای شیمیایی در شرایط کمبود رطوبت، امکان محلول شدن و انتقال به سمت ریشه گیاه از طریق جریان توده‌ای نبوده و سبب تصعید و یا عدم جذب کود توسط گیاه شده است (Faizi Asl and Valizadeh, 2003).

تجزیه آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

تعداد گل آذین در متر مربع

اثر ساده‌ی سال و همچنین برهمکنش سال در سطوح آبیاری در کود بر تعداد گل آذین در متر مربع معنی‌دار ($p < 0.05$) بود (جدول ۴). مقایسه میانگین برهمکنش سه‌گانه تیمارها نشان داد که بیشترین تعداد گل آذین در متر مربع (۲۲۵ گل آذین) از کاربرد تیمار تلفیقی ۵۰٪ ورمی‌کمپوست + ۵۰٪ NPK در شرایط عدم تنش از هر دو سال زراعی به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با کاربرد تلفیقی ۵۰٪ کود دامی + ۵۰٪ NPK و کاربرد کود شیمیایی در شرایط عدم تنش دیده نشد (شکل ۱). کمترین تعداد گل آذین در متر مربع با میانگین ۱۰۳/۷ گل آذین از تیمار بدون کود در شرایط تنش شدید (ET0 ۳۵٪) (ET0 ۳۵٪)



شکل ۱- تاثیر کودهای مختلف و سطوح آبیاری بر تعداد گل آذین در متر مربع در دو سال. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

بدون تنش، تنش خفیف و تنش شدید به ترتیب آبیاری بعد از ۱۰۰ (شاهد)، ۶۵ و ۳۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه مرجع.

Figure 1- Effect of different fertilizers and irrigation levels on inflorescence number per m² in 2 year. Columns with at least one common letter do not differ significantly from Duncan's multiple range test at the 5% probability level.
non stress, mild stress and severe stress: irrigation after 100, 65, and 30 % of reference evapotranspiration respectively.

جدول ۴- تجزیه واریانس مرکب عملکرد و اجزای عملکرد کینوا تحت سطوح مختلف آبیاری و مدیریت تغذیه
Table 4- Combined analysis of variance for yield and yield components of Quinoa under irrigation levels and nutrition management

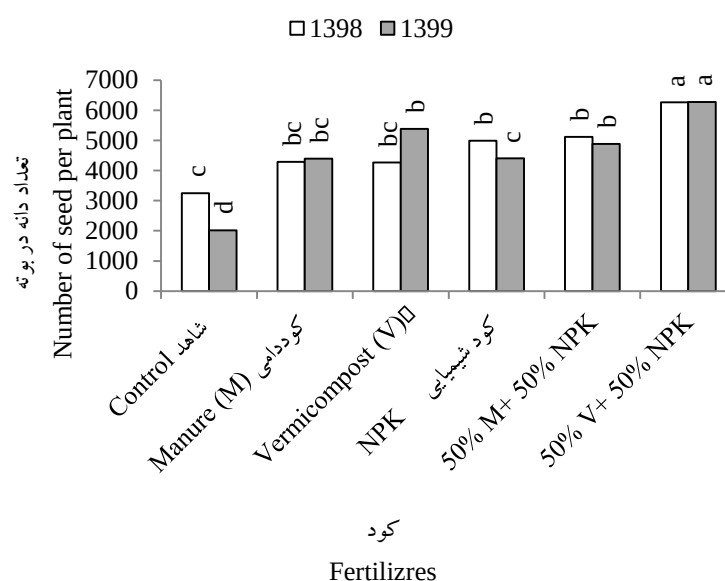
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	تعداد گل آذین در متر مربع Inflorescence number per m ²	تعداد دانه در بوته Number of seed per plant	وزن هزار دانه 1000 seeds weight	شاخص کلروقیل Chlorophyll index	محتوی رطوبت نسبی برگ Leaf relative water content	عملکرد دانه Seed yield	شاخص برداشت Harvest index
سال Year (Y)	1	24204*	2534592.9ns	3.7037 *	1032.12ns	967.20 ns	1025564ns	4526.41 ns
خطای Error a	4	6206.75	6513938	0.1464	97.99	146.33	986657	175.80
آبیاری Irrigation (I)	2	19210ns	20889025.5ns	1.4095 *	155.34ns	629.09 ns	8473256*	2369.42 ns
Y × I	2	1228.14ns	2816764.5ns	0.0517 ns	80.76*	167.16 ns	318829ns	455.40 ns
خطای Error b	8	1454.98	6898205.3	0.0842	19.83	291.54	943625	196.16
کود Fertilizers (F)	5	1592.53ns	20809556.8ns	0.1228ns	76.57ns	248.68 ns	5265115ns	966.81*
Y × F	5	2786.19ns	10314356.1**	0.1577ns	27.26ns	317.30 ns	1783875**	98.55 ns
I × F	10	1720.96ns	901935.6ns	0.0399ns	25.75ns	205.77 ns	264392ns	164.68 ns
Y × I × F	10	1304.13*	849647.2ns	0.0604ns	19.48 ns	175.17 ns	186022ns	226.17 ns
خطای Error c	60	501.69	1158234.6	0.0487	19.98	149.53	161652	154.89
ضریب تغییرات (%)	-	16.2	22.8	10.5	12.7	18.4	20.3	23.7
CV (%)								

*، ** و ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد و غیر معنی دار.

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

تعداد دانه در بوته

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که برهمکنش سال در کود بر تعداد دانه در بوته معنی‌دار ($p < 0.05$) بود و برای سایر تیمارها تاثیر معنی‌داری دیده نشد (جدول ۴). بر اساس نتایج مقایسه میانگین برهمکنش تیمارها (شکل ۲) بیشترین تعداد دانه در بوته در سال اول (۶۲۶۲ دانه) و دوم (۶۲۷۵/۱ دانه) از سیستم‌های تغذیه تلفیقی ۵۰٪ ورمی کمپوست + ۵۰٪ NPK حاصل شد و از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری بین سال‌های مختلف تحقیق مشاهده نشد. روند افزایشی تعداد دانه در بوته، تحت تأثیر کاربرد تلفیقی کود



شکل ۲- تاثیر کودهای مختلف بر تعداد دانه در بوته در دو سال. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

بدون تنش، تنش خفیف و تنش شدید به ترتیب آبیاری بعد از ۱۰۰ (شاهد)، ۶۵ و ۳۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه مرجع.

Figure 2- Effect of different fertilizers on number of seed per plant in 2 year. Columns with at least one common letter do not differ significantly from Duncan's multiple range test at the 5% probability level.

non stress, mild stress and severe stress: irrigation after 100, 65, and 30 % of reference evapotranspiration respectively.

وزن هزار دانه

میانگین وزن هزار دانه به طور معنی‌داری تحت تاثیر اثرات ساده سال و رژیم آبیاری در سطح احتمال ۵ درصد قرار گرفت (جدول ۴). بیشترین وزن هزار دانه در شرایط مطلوب (۱۰۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه مرجع) با میانگین ۲/۳۲ گرم و کمترین آن در تنش شدید (۳۵ درصد تبخیر و تعرق گیاه مرجع) با میانگین ۱/۹۶ گرم حاصل شد (جدول ۵). به نظر می‌رسد کاهش وزن هزار دانه در نتیجه کاهش میزان فتوسنتز و کربوهیدرات و توزیع نامناسب مواد ذخیره‌ای عوامل کاهش‌دهنده وزن هزار دانه در شرایط تنش شدید باشد (Gholipour

et al., 2016). در تحقیقی اعلام شد که تنش رطوبتی بر اجزای عملکرد بیشترین اثر را در وزن دانه گندم داشته است. آن‌ها اظهار داشتند که وزن هزار دانه در شرایط تنش شدید ۱۹ درصد افت نشان داد. لذا تنش خشکی از طریق کاهش وزن هزار دانه موجب کاهش عملکرد دانه می‌گردد (Barjasteh et al., 2019). در بررسی سایر محققان نیز کمبود آب باعث کاهش مدت پر شدن دانه و در نهایت کاهش وزن آن شد (Khodabin et al., 2020; Barati and Bijanzadeh, 2020).

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات اندازه گیری شده کینوا تحت تاثیر سطوح مختلف آبیاری و مدیریت تغذیه
Table 5- Mean comparison measured traits in Quinoa under irrigation levels and nutrition management

منبع تغییرات Sources of variation	وزن ۱۰۰۰ دانه 1000 seeds weight	شاخص برداشت Harvest index
	(g)	(%)
(Irrigation) آبیاری		
I1	2.32 A	55.37 A
I2	2.00 B	58.93 A
I3	1.96 B	43.44 A
(Fertilizers) کود		
شاهد (Control)	1.96 A	42.24 C
کود دامی (Manure)	2.10 A	46.93 BC
ورمی کمپوست (Vermicompost)	2.09 A	53.67 B
NPK	2.07 A	54.07 B
۵۰٪ دامی + ۵۰٪ NPK	2.14 A	55.05 AB
۵۰٪ ورمی کمپوست + ۵۰٪ NPK	2.21 A	63.54 A
۵۰٪ ورمی کمپوست + ۵۰٪ NPK		

میانگین‌ها با حروف مشابه در هر ستون نشانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد.

Means with at least one similar letter in each column, are not significantly different ($p \leq 0.05$) based on Duncan multiple range test.

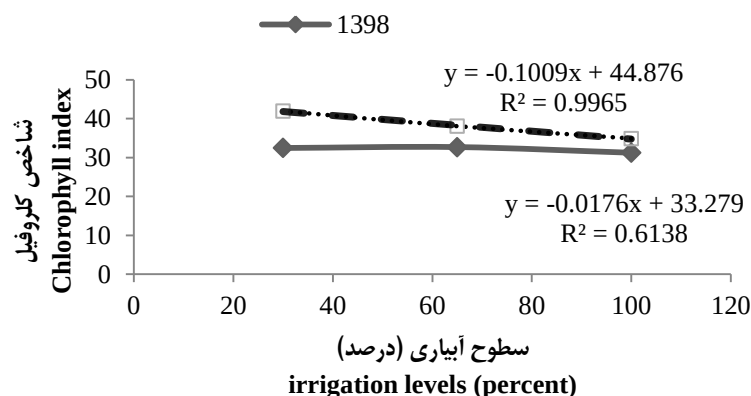
I1, I2 and I3: به ترتیب آبیاری معادل ۱۰۰ (شاهد)، ۶۵ و ۳۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه مرجع.

I1, I2 and I3: 100%, 65% and 30% of reference evapotranspiration respectively.

شاخص کلروفیل

بر اساس نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها، تاثیر برهمکنش تیمار سال در آبیاری بر شاخص کلروفیل معنی‌دار بود ($p < 0.05$) (جدول ۴). در هر دو سال با افزایش شدت تنش از ۱۰۰ به ۳۵ درصد تبخیر و تعرق گیاه مرجع، شاخص کلروفیل روند افزایشی را نشان داد. به عبارت دیگر کاهش بیشتر محتوای آب در دسترس، باعث افزایش شاخص کلروفیل شد (شکل ۳). باید توجه داشت که شاخص کلروفیل به هیچ عنوان مقدار کلروفیل را مشخص نمی‌کند بلکه تخمینی از غلظت کلروفیل است. در شرایط تنش تا ۳۵ درصد تبخیر و تعرق گیاه

مرجع، هم‌زمان با کاهش محتوای آب درون سلولی، غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ افزایش یافته است. شاید در شدت‌های تنش خشکی بالاتر از این سطح در حد مقاومت کینوا نباشد و سبب تخریب کلروفیل شود. گزارش شده با افزایش شدت تنش از ۱۰۰ به ۳۰ درصد ظرفیت زراعی (FC) باعث افزایش ۱۲/۵ درصدی شاخص کلروفیل در مقایسه با شاهد در آفتابگردان (*Helianthus annuus*) شد (Nezami et al., 2008). مطابق با تحقیق حاضر بیان شده که افزایش تنش خشکی منجر به افزایش قابل توجهی در محتوای کلروفیل گندم شد (Ommen et al., 1999).



شکل ۳- تاثیر سطوح آبیاری بر شاخص کلروفیل در دو سال

Figure 3- Effect of irrigation levels on Chlorophyll index in 2 year

محتوی رطوبت نسبی برگ^۱

رویشی و سپس انتقال به دانه شده و ذخیره پروتئین را در دانه افزایش داده و باعث افزایش غلظت نیتروژن دانه می‌گردند. همچنین گزارش شده است که افزایش مصرف نیتروژن باعث افزایش محتوای نیتروژن بوته و عملکرد ارقام کینوا شد (Shahmansouri, 2015). تنش آب به‌طور مستقیم می‌تواند بر فرآیندهای بیوشیمیایی مربوط به فتوسنتز و به‌طور غیرمستقیم بر ورود دی‌اکسید کربن به درون روزنه‌ها اثر بگذارد که با محدود شدن فرآورده‌های فتوسنتزی، رشد گیاه و در نهایت عملکرد آن دچار کاهش می‌شود (Kolenc et al., 2016). در گزارشی کاهش آب آبیاری به میزان ۵۰ درصد منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد دانه به میزان ۲۱/۲ درصد شد. افزایش بهره‌وری مصرف آب در پژوهش گونزالو توبر و همکاران (González Teuber et al., 2018) روی کینوا نیز در شرایط تنش رطوبتی مشاهده شد. کاهش عملکرد تحت تنش کم آبی، توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است (Jamali et al., 2020).

شاخص برداشت

کودهای مصرف شده در این پژوهش تأثیر معنی‌داری بر شاخص برداشت کینوا داشتند ($p < 0.05$) (جدول ۴). بیشترین شاخص برداشت (۶۳/۵ درصد) مربوط به کاربرد تیمار ۵۰٪ ورمی کمپوست + ۵۰٪ NPK و کمترین آن مربوط به شاهد (۴۲/۲ درصد) بود که ۳۳/۵ درصد کاهش نشان داد (جدول ۵). احمدی نژاد و همکاران (Ahmadinejad et al., 2013) در بررسی اثر کودهای آلی و نیتروژن بر عملکرد و ویژگی‌های رشدی گندم گزارش کردند بیشترین شاخص برداشت از کاربرد تلفیقی کود دامی + ۵۰٪ اوره حاصل شد. افزایش معنی‌دار شاخص برداشت در تیمارهای تلفیقی کود آلی + کود اوره نشان‌دهنده این است که این تیمارها عملکرد دانه را بیشتر از عملکرد بیولوژیک افزایش داده است. زیرا بر اساس فرمول شاخص برداشت (عملکرد اقتصادی تقسیم به عملکرد بیولوژیک) هر عاملی که سبب بهبود بیشتر عملکرد دانه نسبت به وزن خشک کل گیاه شود باعث تغییر شاخص برداشت می‌شود (Mohammadian and Malakooti, 2002).

همبستگی بین صفات

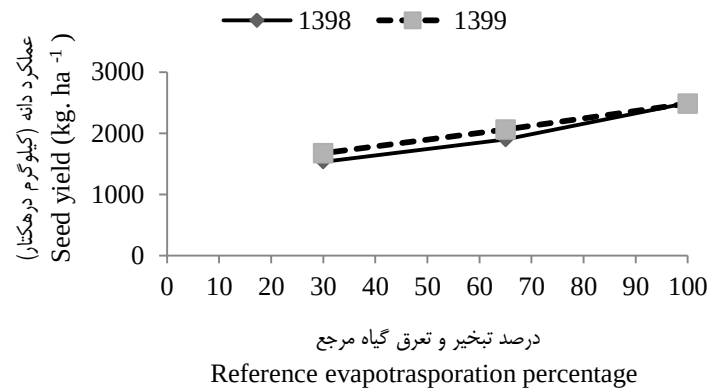
بررسی ضرایب همبستگی صفات کینوا (جدول ۶) نشان داد که عملکرد دانه گیاه با صفات تعداد گل آذین در متر مربع ($r = 0.679$)، تعداد دانه در بوته ($r = 0.692$)، وزن هزار دانه ($r = 0.838$)، محتوی رطوبت نسبی برگ ($r = 0.592$) و شاخص برداشت ($r = 0.742$) همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد دارد.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد محتوی رطوبت نسبی برگ تحت تأثیر سال، سطوح آبیاری، کود، و برهمکنش آن‌ها قرار نگرفت (جدول ۴). این روش برای تعیین وضعیت آب برگ و مقایسه محتوای آب برگ با حداکثر مقدار آب ممکن در برگ در فشار تورگور کامل کاربرد دارد (Ihuoma et al., 2017). اگرچه فشار تورگور یک عامل کلیدی برای گسترش سلول است، اما برخی مطالعات کاهش رشد برگ را حتی برای برگ‌های تورگور نشان داده‌اند. در مطالعه‌ای میزان طویل شدن برگ فلفل (Capsicum annum) پس از روز دوم آبیاری کاهش یافت که این نشان می‌دهد، انبساط سلول همیشه با تورگور همراه نیست (Ismail et al., 2002). انبساط سلول به سایر فرآیندهای متابولیکی و فیزیکی مانند رسوب مواد مغذی و متابولیت (چوبی شدن دیواره سلول) نیز بستگی دارد که بر قابلیت توسعه دیواره سلول و جذب آب تأثیر می‌گذارد (Shackel et al., 1987). در گزارش دیگری روی گیاه آنیسون (Pimpinella anisum L.) اعلام شد که در اوایل تنش از نظر محتوی رطوبت نسبی برگ، اختلاف معنی‌داری بین تیمار شاهد و تنش وجود نداشت، اما پس از گذشت یک هفته و با افزایش شدت تنش، محتوای آب نسبی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (Heidari, 2015). بدین معنی که از این شاخص تنش خشکی فقط برای مواقعی می‌توان استفاده کرد که در شرایط محیطی نوسانات بسیار کمی وجود دارد.

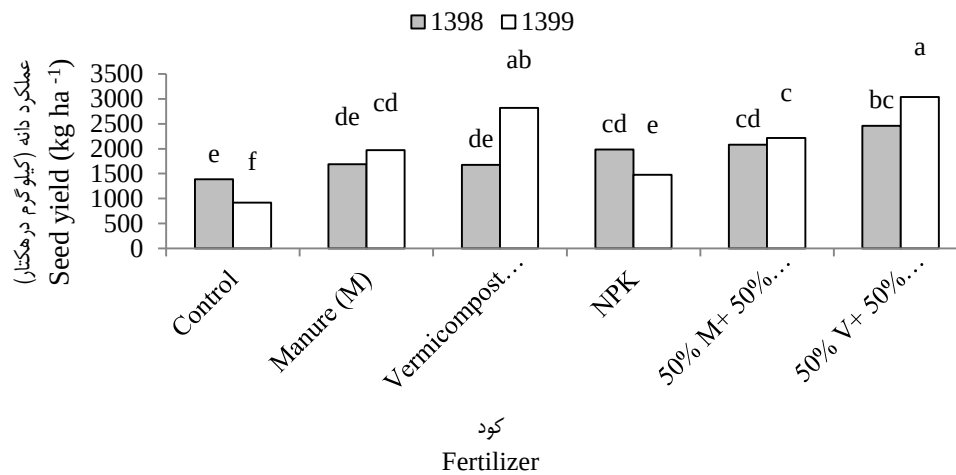
عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد عملکرد دانه کینوا تحت تأثیر اثرات متقابل دوگانه سال × کود ($p < 0.01$) و اثر ساده رژیم آبیاری ($p < 0.05$) معنی‌دار و اثرات متقابل سه‌گانه این دو تیمار غیر معنی‌دار می‌باشد. در بررسی اثر سطوح آبیاری بر میانگین عملکرد دانه مشخص شد که در تیمار عدم تنش (۱۰۰٪ تبخیر و تعرق گیاه مرجع)، بیش‌ترین عملکرد به‌دست آمد که در دو سال زراعی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. از تیمار تنش شدید (۳۰٪ تبخیر و تعرق گیاه مرجع)، کمترین عملکرد دانه را در هر دو سال زراعی به‌دست آمد (شکل ۴).

در بررسی اثر کودها بر عملکرد دانه (شکل ۵) بیش‌ترین میانگین این صفت در دو سال زراعی از کاربرد تیمار تلفیقی ۵۰٪ NPK + V با میانگین ۳۰۴۰/۱ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد و کمترین آن مربوط به تیمار عدم کاربرد کود (شاهد) بود. به‌طور کلی کودهای نیتروژنی باعث انباشت بیشتر نیتروژن در قسمت‌های



شکل ۴- تاثیر سطوح آبیاری بر عملکرد دانه
Figure 4- Effect of irrigation levels on seed yield



شکل ۵- تاثیر کودهای مختلف بر عملکرد دانه در دو سال. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Figure 5- Effect of different fertilizers on seed yield in 2 year. Columns with at least one common letter do not differ significantly from Duncan's multiple range test at the 5% probability level.

جدول ۶- همبستگی بین خصوصیات اندازه‌گیری شده کینوا تحت تاثیر برهمکنش آبیاری و کود

Table 6- Correlation between measured characteristics of Quinoa as affected by interaction of irrigation and fertilizer

تیمار Treat	تعداد گل آذین در متر مربع Inflorescence number per M ² (1)	تعداد دانه در بوته Number of seed per plant (2)	وزن هزار دانه 1000 seeds weight (3)	شاخص کلروفیل Chlorophyll index (4)	محتوی رطوبت نسبی برگ Leaf relative water content (5)	عملکرد دانه Seed yield (6)	شاخص برداشت Harvest index (7)
1	1						
2	0.1889ns	1					
3	0.6724**	0.4778*	1				
4	-0.2735ns	0.4293ns	-0.2230ns	1			
5	0.5226*	0.3741ns	0.5092*	0.09264ns	1		
6	0.6796**	0.6921**	0.8380**	0.0861ns	0.5922**	1	
7	0.6213**	0.5940**	0.5330*	0.1534ns	0.4243ns	0.7420**	1

ns و **، * به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد و غیر معنی‌دار.

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

و تعرق گیاه مرجع)، تنش متوسط و شدید به‌طور قابل توجهی تعداد گل آذین در متر مربع، تعداد دانه در بوته، وزن هزار دانه، شاخص کلروفیل و عملکرد دانه را کاهش داد. همچنین تفاوت معنی‌داری بین تنش ملایم (۶۵ درصد تبخیر و تعرق گیاه مرجع) با شاهد از نظر عملکرد وجود نداشت. پاسخ کینوا به کاربرد کود تحت تنش خشکی تقریباً ثابت بود. تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که استفاده تلفیقی از کود آلی و شیمیایی برای منطقه مورد مطالعه به‌دلیل تعدیل اثرات تنش آب و افزایش جذب آب و عناصر غذایی، از کاربرد کود شیمیایی، به نظر می‌رسد به‌دلیل عدم محلول شدن در شرایط کمبود رطوبت، تصعید و نهایتاً عدم جذب توسط گیاه باشد. بنابراین در شرایط بیرجند، کاربرد توأم کود آلی و شیمیایی در شرایط رطوبتی مناسب می‌تواند موجب حفظ عملکرد کینوا و حداکثر استفاده از منابع آب شود.

با توجه به نتایج ضرایب همبستگی بین صفات، مشاهده شد که وزن هزاردانه از مهم‌ترین اجزای تاثیرگذار بر عملکرد دانه گیاه کینوا است که با نتایج سلیمانی‌فرد و ناصری (Soleymani Fard and Naseri, 2020) در گیاه گندم نان همخوانی دارد. گل پرور و همکاران (Golparvar et al., 2006) نیز شاخص برداشت را به‌عنوان صفات مؤثر در توجیه تغییرات عملکرد گزارش کرده‌اند. نتایج مطالعه‌ی حاضر حاکی از آن است که در بین صفات، افزایش در تعداد گل آذین در متر مربع، تعداد دانه در بوته و وزن هزار دانه را می‌توان به‌عنوان معیارهای گزینش برای بهبود عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی بیان کرد.

نتیجه‌گیری

مشخص شد که رژیم‌های مختلف آبیاری تأثیرات متفاوتی بر رشد کینوا دارد. در مقایسه با تیمار آبیاری مطلوب (۱۰۰ درصد تبخیر

References

- Ahmadinejad, R., Najafi, N., Aliasgharzad, N., and Oustan, S. 2013. Effects of organic and nitrogen fertilizers on water use efficiency, yield and the growth characteristics of Wheat (*Triticum aestivum* cv. Alvand). Water and Soil Science 23 (2): 177-194. (in Persian with English abstract).
- Amujoyegbe, B. Y., Opode, J. T., and Olayinka, A. 2007. Effect of organic and inorganic fertilizer on yield and chlorophyll content of *Zea mays* and *Sorghum bicolor*. Plant Science 46: 186-174. DOI: [10.5897/AJB2007.000-2278](https://doi.org/10.5897/AJB2007.000-2278).
- Anonymous, 2019. Long-term rainfall statistics of Iran. Iran water resources management company. Online available at: <https://web.archive.org/web/20180418074514/http://wrs.wrm.ir/m3/gozaresh.asp>
- Azimzadeh, S., Nassiri Mahallati, M., and Koochaki, A. 2016. Study on replacement probability of organic with chemical fertilizers in Canola (*Brassica napus*) under two deficit and full Irrigation conditions. Iranian Journal of Field Crops Research 14 (4): 587-598. (in Persian with English abstract).
- Barati, V., and Bijanzadeh, E. 2020. Grain yield and its components of titicale as affected by silicon foliar application, nitrogen fertilizer and water stress in reproductive phase. Iranian Journal of Field Crops Research 18 (4): 435-449. (in Persian with English abstract).
- Barjasteh, A., Nezami, A., Khazaie, H., and Zand, E. 2019. Effects of deficit irrigation and wild oat (*Avena ludoviciana*) density on yield and yield components of wheat. Iranian Journal of Field Crops Research 17 (1): 1-14. (in Persian with English abstract).
- Brussard, L., and Ferrera Cenato, R. 1997. Soil ecology in sustainable agricultural systems. New York: Lewis publishers, USA, P: 168.
- Cakmak, I. 2005. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 168: 521-530. <https://doi.org/10.1002/jpln.200420485>.
- Dadrasan, M., Chaichi, M. R., Pourbabaee, A. A., Yazdani, D., and Keshavarz-Afshar, R. 2015. Deficit irrigation and biological fertilizer influence on yield and trigonelline production of fenugreek. Indian Crops Production 77: 156-162. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.08.040>.
- Dehghanzadeh, H., and Adavi, Z. 2019. The effect of integrated management of organic and chemical fertilization on yield, oil, and essential oil of Black cumin (*Nigella sativa* L.) in different irrigation regimes. Journal of Crop Production 12 (1): 161-189. (in Persian with English abstract).
- Esfandiari sabzevar, T., Tatari, M., and Farokhi, H. 2018. Antioxidative properties comparison of *Chenopodium quinoa* leaves and seeds extract: in vitro study. Journal of Sabzevar University of Medical Sciences 25 (3): 353-361. (in Persian with English abstract).
- Fageria, N. K., and Baligar, V. C. 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plant. Advance in Agronomy 88: 97-185. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(05\)88004-6](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(05)88004-6).
- Faizi Asl, W., and Valizadeh, G. R. 2003. The effect of time and nitrogen consumption on the yield of dry land wheat. Journal of Soil and Water Sciences 17 (1): 38-29. (in Persian with English abstract).
- Forouzandeh, M., Karimian, M. A., and Mohkami, Z. 2015. Effect of drought stress and different types of organic

- fertilizers on yield of cumin components in Sistan region. *European Journal of Medicinal Plants* 5 (1): 95-100.
15. Ghasemi, C., Siavoshi, K., Choukan, R., Khavasi, K., and Rahmani, A. 2011. Effect of biological phosphate fertilizer on grain yield and its components in corn 704 single cross (*Zea mays* L.) under water deficit conditions. *Seed and Plant Production Journal* 27-2 (2): 219-233. (in Persian with English abstract).
16. Gholipour, S., Ebadi, A., and Permon, G. H. 2016. Components of different genotypes of grain of bread wheat. *Crop Physiology Journal* 8 (11): 111-128.
17. Ghosh, P. K., Ajay, Bandyopadhyay, K. K., Manna, M. C., Mandal, K. G., Misra, A. K., and Hati, K. M. 2004. Comparative effectiveness of cattle manure, poultry manure, phosphocompost and fertilizer-NPK on three cropping systems in vertisols of semi-arid tropics. II. Dry matter yield, nodulation, chlorophyll content and enzyme activity. *Bioresource Technology* 95 (1): 85-93. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.02.011>.
18. Golparvar, A. R., Ghanadha, M. R., Zali, A. A., Ahmadi, A., and Harvan, E. M. 2006. Factor analysis of morphological and morphophysiological traits in bread wheat genotypes under drought and non-drought stress conditions. *Journal of Pajouhesh and Sazandegi* 72: 52-59. (in Persian with English abstract).
19. González, J. A., Gallardo, M., Hilal, M., Rosa, M., and Prado, F. E. 2009. Physiological responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to drought and waterlogging stresses: dry matter partitioning. *Botanical Studies* 50: 35-42.
20. González-Teuber, M., Urzúa, A., Plaza, P., and Bascuñán-Godoy, L. 2018. Effects of root endophytic fungi on response of *Chenopodium quinoa* to drought stress. *Plant Ecology* 219 (3): 231-240. <https://doi.org/10.1007/s11258-017-0791-1>.
21. Hariadi, Y., Marandon, K., Tian, Y., Jacobsen, S. E., and Shabala, S. 2011. Ionic and osmotic relations in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plants grown at various salinity levels. *Journal of Experimental Botany* 62 (1): 185-193. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq257>.
22. Heidari, N. 2015. Effects of drought stress on photosynthesis, its parameters and relative water content of anise (*Pimpinella anisum* L.). *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)* 27 (5): 829-839. (in Persian with English abstract).
23. Howell, T. A., Evett, S. R., Tolk, J. A., Copeland, K. S., Colaizzi, P. D., and Gowda, P. H. 2008. Evapotranspiration of corn and forage sorghum for silage. *World Environmental and Water Resources Congress* 10 (1): 886-889.
24. Ibrahim, M., Hassan, A. U., Arshad, M., and Tanveer, A. 2010. Variation in root growth and nutrient element concentration in wheat and rice: effect of rate and type of organic materials. *Soil and Environment* 29: 47-52.
25. Ihuoma, S. O., and Madramootoo, C. A. 2017. Recent advances in crop water stress detection. *Computers and Electronics in Agriculture* 141: 267-275. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.07.026>.
26. Ismail, M. R., Davies, W., and Awad, M. H. 2002. Leaf growth and stomatal sensitivity to ABA in droughted pepper plants. *Science Horticulture* 96: 313-327. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(02\)00117-6](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(02)00117-6).
27. Izan, T., Javanmard, A., Shekari, F., and Abbasi, A. 2020. Evaluation of yield, yield components and some physiological traits of sunflower with integrative application of biological, chemical, and organic fertilizers under different irrigation levels. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 30 (3): 87-111. (in Persian with English abstract).
28. Jalali, A. H., and Bahrani, M. J. 2014. Effect of crop reduce and nitrogen fertilizer on nitrogen use efficiency in Corn (*Zea mays*) production. *Agronomy Journal (Pajouhesh and Sazandegi)* 102: 197-204. (in Persian with English abstract).
29. Jamali, S., Goldani, M., and Zeynodin, S. 2020. Evaluation the effects of periodic water stress on yield and water productivity on Quinoa. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage* 13 (6): 1687-1697. (in Persian with English abstract).
30. Jazayeri, S., Mousavinik, S., Bahreininejad, B., and Ghanbari, S. 2020. Effect of organic and chemical fertilizers on growth indices, yield and yield components of Guar in different plant densities. *Horticultural Plants Nutrition* 3 (1): 87-104. Doi: [10.22070/hpn.2020.5254.1080](https://doi.org/10.22070/hpn.2020.5254.1080).
31. Khaninejad, S., Khazaie, H., Nabati, J., and Kafi, M. 2016. Effect of three species of mycorrhiza inoculation on yield and some physiological properties of two potato cultivars under drought stress in controlled conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research* 14 (4): 558-574. (in Persian with English abstract).
32. Khodabin, G., Tahmasebi-Sarvestani, Z., Shirani Rad, A., Modarres-Sanavy, S., and Bakhshande, E. 2020. The effect of withholding irrigation and foliar application of Zn and Mn on yield and eco-physiological Characteristics of Rapeseed (*Brassica napus* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research* 18 (1): 85-100. (in Persian with English abstract).
33. Kolenc, Z., Vodnik, D., Mandelc, S., Javornik, B., Kastelec, D., and Čerenak, A. 2016. Hop (*Humulus lupulus* L.) response mechanisms in drought stress: Proteomic analysis with physiology. *Plant physiology and biochemistry* 105: 67-78. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.03.026>.
34. Koocheki, A., Hosseini, M., and Hashemi Dezfuli, A. 1995. Sustainable Agriculture Systems. Mashhad University

- Press.
35. Lal, P., Chhipa, B. R., and Kumar, A. 1993. Salt affected soil and crop production: a modern synthesis. Agro Botanical Publishers, India, 375 pp.
36. Mohammadi, S., Nahvi, M., and Mohadesi, A. 2015. The effect of irrigation interval on vegetative different stage on yield and yield component in rice line and varieties. Applied Field Crops Research 28 (107): 108-114. (in Persian with English abstract).
37. Mohammadian, M., and Malakooti, M. J., 2002. Evaluation of the effect of two types of compost on physical and chemical properties of soil and main yield. Soil and Water Sciences 16 (2): 144-151. (in Persian with English abstract).
38. Moradi, M., Soleymanifard, A., Naseri, R., Ghasemi, M., and Abromand, K. 2016. The changes of agronomic traits and harvest index of wheat under the effect of manure and plant growth promotion bacteria at different levels of nitrogen. Crop Physiology Journal 7 (28): 73-90. (in Persian with English abstract).
39. Moradi, R. 2009. The effect of application of organic and biological fertilizers on yield, yield components and essential oil of *Foeniculum vulgare* (Fennel). Dissertation of MSc Master's degree, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. (in Persian with English abstract).
40. Nezami, A., Khazaiea, H. R., Boroumand Rezazadehb, Z., and Hossein, A. 2008. Effects of drought stress and defoliation on sunflower (*Helianthus annuus*) in controlled conditions. Desert (Biaban)12: 99-104.
41. Ofosu-Anim, J., and Leitch, M. 2009. Relative efficacy of organic manures in spring barley (*Hordeum vulgare* L.) production. Australian Journal of Crop Science 3: 13-19.
42. Ojaghloo, F., Farah, F., Hassanzadeh, S. A., and Javanshir, A. 2007. Effect of inoculation with azotobacter and barvar 2 phosphate biofertilizers on safflower yield. Journal of Agricultural Science 1 (3): 5-39. (in Persian with English abstract).
43. Ommen, O. E., Donnelly, A., Vanhoutvin, S., Vanoijen, M., and Manderscheid, R. 1999. Chlorophyll content of spring wheat flag leaves grown under elevated CO₂ concentration and other environmental stress within ESPACE-Wheat project. European Journal of Agronomy 10: 197-203. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(99\)00011-8](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(99)00011-8).
44. Pazaki, A., Shirani Rad, A. H., Habibi, D., Madani, H., and Shamsi, K. 2007. Effect of drought stress on chlorophyll a and b content on two rapeseed cultivars. Plant and Ecosystem 10: 50-56. (in Persian with English abstract).
45. Pedra, F., Polo, A., Ribero, A., and Domingues, H. 2006. Effect of municipal solid waste compost and sewage sludge on minerlization of soil organic matter. Soil Biology & Biochemistry 29: 1375-1382. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.12.014>.
46. Rahbar Keykha, F., Khammari, E., Dahmardeh, M., and Forouzandeh, M. 2017. Effect of nano bio-fertilizer and chemical fertilizer application on quantitative and qualitative yield of Sesame cultivars. Journal of Crop Science Research in Arid Regions 1 (2): 177-190. (in Persian with English abstract).
47. Rahimizadeh, M., Kashani, A., and Zare Faizabadi, A. 2010. The effect of preceding crop, nitrogen fertilizer and return of crop residue on growth and yield of wheat. Iranian Journal of Field Crops Research 8 (1): 98-110. (in Persian with English abstract).
48. Reiahi, R. 2010. Drought stress management and alternative cultivation patterns to reduce water consumption in southern khorasan region. National Conference on Drought Stress Management and Water Shortage in Agriculture, Arsanjan, Iran.
49. Rezvani Moghaddam, P., Asadi, Gh. A., Aghavani, Shajari, M., and Ranjbar, F. 2021. Yield and water use efficiency for Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) as a medicinal plant in Mashhad condition. Iranian Journal of Field Crops Research 18 (4): 373-384. (in Persian with English abstract).
50. Shackel, K. A., Matthews, M. A., and Morrison, J. C. 1987. Dynamic relation between expansion and cellular turgor in growing grape (*Vitis vinifera* L.) leaves. Plant Physiology 84: 1166-1171. <https://doi.org/10.1104/pp.84.4.1166>.
51. Shahmansouri, R. 2015. Reaction of quinoa cultivars to nitrogen levels. MSc Thesis. Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Iran. (in Persian with English abstract).
52. Smart, R., and Bingham, G. E. 1974. Rapid estimates of relative water content. Plant Physiology 53: 258-260. <https://doi.org/10.1104/pp.53.2.258>.
53. Soleymani Fard, A., and Naseri, R. 2020. Evaluation of relationships between grain yield and agro-physiological traits of bread wheat genotypes under rainfed conditions. Environmental Stress in Crop Science 13 (3): 701-714. (in Persian with English abstract).
54. Teimouri, F., and Bazrafshan, O. 2017. Analysis of temporal distribution of rainfall in Iran over the past four decades. Geography and Development Iranian Journal 15 (48): 171-188. (in Persian with English abstract).
55. Weather base: Historical Weather for Birjand, Iran. <https://www.weatherbase.com/weather/weather-summary.php?s=90804&cityname=Birjand%2C+Khorasan-e+Jonubi%2C+Iran&units=>.
56. Yarnia, M., Safaie, P., Khorshidi-benam, M., and Farajzadeh, E. 2009. Effect of drought stress and potassium

- sulfate on yield and yield components of sunflower. *New Finding in Agriculture* 3 (3): 317-332. (in Persian with English abstract).
57. Yeganehpour, F., Zehtab Salmasi, S., Shafaq Kalvanagh, J., and Ghasemi Golazani, K. 2017. Effect of drought stress chemical and biofertilizer and salicylic acid on grain yield and yield components of Coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Journal of Crop Production* 9 (4): 37-55. (in Persian with English abstract).
58. Yousefipor, M., Lack, S., and Payandeh, K. 2019. Evaluation of the Combined Effect of Biological and Chemical Phosphorous Fertilizers and Micronutrient on Seed and Protein Yield of Barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Crop Ecophysiology* 49 (1): 103-120. (in Persian with English abstract).
59. Ziaei, S. M. M., Salimi, K., and Amiri, S. R. 2020. Investigation of quinoa cultivation (*Chenopodium quinoa* Willd.) under different irrigation intervals and foliar application in saravan region. *Crop Physiology Journal* 12 (45): 113-125. (in Persian with English abstract).



The Study of Vegetative Traits and Oil Components in Three Populationa of *Ziziphora clinopodioides* L. in Esfahan

L. Safaii^{1*}, E. Sharifi Ashoorabadi², D. Aminazarm³

Received: 31-08-2021

Revised: 29-11-2021

Accepted: 04-12-2021

How to cite this article:

Safaii, L., Sharifi Ashoorabadi, E., and Aminazarm, D. 2022. The Study of Vegetative Traits and Oil Components in Three Populationa of *Ziziphora clinopodioides* L. in Esfahan. Iranian Journal of Field Crops Research 20 (1): 81-92.

DOI: [10.22067/jcesc.2021.72239.1082](https://doi.org/10.22067/jcesc.2021.72239.1082).

Introduction

Lamiaceae is a large plant family with many important genus like *Ziziphora*. This genus has four species in Iran. Three species including *Z. tenuior*, *Z. persica* and *Z. capitata* are annual and *Z. clinopodioides* is Perennial. *Ziziphora clinopodioides* Lam. is an aromatic plant that leaves and flowers are frequently used as a traditional herbal medicines for the treatment of colds and cough. In Iran, this plant is mostly used in traditional medicine as a sedative, carminative, anti-emetic, anti-inflammatory and antiseptic substance in food. The present work was conducted to investigate the reaction of different plant populations to cultivation in one place.

Materials and Methods

The experiment was conducted during 2017-2019 in Fozveh station of Agricultural and Natural Resource Research Center of Isfahan. It was on the basis of randomized complete block design with three replications. Treatments were three populations of *Z. clinopodioides* that were collected from Isfahan province including Makoooleh, Sarcheshmeh Golpayegan and Daran regions. Measured traits included: dry shoot weight, plant height, dry to wet weight ratio, 1000-seed weight, essential oil percentage, yield of essential oil and essential oil compounds. The percentage of essential oil was measured in 50% flowering stage by using hydro-distillation using an all-glass cleverger apparatus for 4 h. The amount of essential oil compounds was measured by gas chromatography (GC) and the qualification of essential oil was measured by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The chemical compounds of the essential oil were identified on the basis of GC-MS retention time on fused silica capillary column and by comparison between their retention indices (RIs) with retention indices of published data, Standard Mass Spectral Fragmentation Pattern. Sas 9.1 software package was used for data analyses. Mean and standard deviations of each experiment were calculated and then were subjected to analysis of variance. Duncan test was used to determine mean differences among the treatments at 1% probability. Also, interactions were analyzed by using MSTATC software.

Results and Discussion

The combined analysis results showed a significant difference for all traits among populations. Sarcheshmeh Golpayegan and Daran populations had the highest (179 and 7011 kg.ha⁻¹) and lowest (70 and 6120 kg.ha⁻¹) seed yield and aerial dry yield respectively. Also the highest amount of oil percentage and oil yield were observed in Sarcheshmeh Golpayegan population. The range of essential oil percentages between populations were from 1.2% (makoooleh) to 1.4% (sarcheshmeh). Experimental years had a significant effect on all studied traits except of 1000-seed weight. Populations in the second year had higher performance than the first year. This was especially noticeable in shoot dry weight, seed yield and essential oil yield. Results of genotype*year interaction revealed that Sarcheshmeh Golpayegan population had the highest seed yield and shoot dry weight in the second year. In total, 26 compounds were identified in *Z. clinopodioides* essential oil populations. Two major identified

1- Research Division of Natural Resources, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran

2- Medicinal Plants and By-products Research Division, Research Institutes of Forest and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

3- Horticulture Crops Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran

(*- Corresponding Author Email: safaii2000@yahoo.com)

DOI: [10.22067/jcesc.2021.72239.1082](https://doi.org/10.22067/jcesc.2021.72239.1082)

compounds in essential oil analysis recognized as 1,8 cineole and pulegone. In Makooole population Pulegone was the main component but Sarcheshmeh Golpayegan and Daran were rich in 1, 8- Cineole.

Conclusion

In general, the results of this study indicated that the studied populations had the sufficient genetic diversity for various traits such as shoot yield, seed yield and essential oil percentage. The existence of this diversity can pave the way for remedial work in the future. This research has shown that *Z. clinopodioides* has the ability to adapt and cultivate in the field environments. Therefore, it can be used as a new medicinal plant in the country's agricultural system. This plant can also be introduced as an appropriate source to provide a combination of 1, 8- Cineole and Pulegone used in food and pharmaceutical industries.

Keywords: Lamiaceae family, Pulegone, Seed, Yield



مقاله پژوهشی

جلد ۲۰، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱، ص ۸۱-۹۲

مطالعه صفات رویشی و ترکیب‌های اسانس سه جمعیت گیاه دارویی کاکوتی کوهی (*Ziziphora clinopodioides* Lam.) در اصفهان

لیلی صفائی^{۱*}، ابراهیم شریفی عاشورآبادی^۲، داود امین آزر^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۱۳

چکیده

جهت بررسی کمی و کیفی کاکوتی کوهی (*Ziziphora clinopodioides* Lam.) آزمایشی طی سال‌های ۱۳۹۷-۱۳۹۸ در ایستگاه تحقیقاتی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان اجرا گردید و سه جمعیت کاکوتی جمع‌آوری شده از رویشگاه‌های استان اصفهان شامل جمعیت‌های ماکوله، سرچشمه گلپایگان و داران بر اساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بررسی شدند. صفات اندازه‌گیری شده شامل: ارتفاع بوته و وزن خشک اندام هوایی، نسبت وزن خشک به تر، وزن هزار دانه، عملکرد اندام هوایی و بذر در هکتار، درصد و عملکرد اسانس و ترکیبات اسانس بود. تجزیه مرکب نتایج دو سال نشان داد که جمعیت‌های مورد بررسی از نظر کلیه صفات تفاوت معنی‌داری داشتند. جمعیت سرچشمه گلپایگان، با متوسط عملکرد خشک اندام هوایی و بذر به ترتیب ۷۰۱۱ و ۱۷۹ کیلوگرم در هکتار بیشترین و جمعیت داران با مقادیر ۶۱۲۰ و ۷۰ کیلوگرم در هکتار کمترین مقدار را به خود اختصاص دادند. بیشترین درصد و عملکرد اسانس نیز در جمعیت سرچشمه گلپایگان مشاهده گردید. سال‌های آزمایش تاثیر معنی‌داری روی عملکرد اندام هوایی و درصد اسانس داشت. برهمکنش جمعیت در سال نشان داد که جمعیت سرچشمه گلپایگان در هر دو سال زراعی از عملکرد بذر و اندام هوایی بالاتری برخوردار بود. آنالیز اسانس حضور ۲۶ ترکیب را در اسانس سه جمعیت مورد بررسی نشان داد و ۸، ۱ سینئول و پولگون به‌عنوان ترکیب‌های غالب اسانس بودند.

واژه‌های کلیدی: بذر، پولگون، عملکرد، خانواده نعناع

مقدمه

آویشن کوهی (*Z. clinopodioides*) که در فارسی به آن کاکوتی کوهی گفته می‌شود (Mozaffarian, 2009)، گیاهی علفی، چندساله و متعلق به خانواده نعنائیان (Lamiaceae) می‌باشد. ارتفاع آن ۵ تا ۵۰ سانتی‌متر، ساقه‌ها متعدد، از قاعده منشعب، برگ‌ها بدون دم‌برگ و یا با دم‌برگ‌های کوتاه، خطی، سرنیزه‌ای، بیضوی، تخم‌مرغی تا کم و بیش دایره‌ای، نوک تیز، در حاشیه صاف، گل آذین

متشکل از گل‌های متعدد بدون دم‌گل و یا با دم‌گل‌های به طول تا ۴ میلی‌متر، جام گل سفید، صورتی تا بنفش و میوه با سطح صاف، قهوه‌ای کم‌رنگ می‌باشد (Jamzad, 2012).

بخش‌های هوایی این گیاه در ایران به‌عنوان ادویه و همچنین جهت درمان سرماخوردگی و سرفه مورد استفاده قرار می‌گیرد و در طب سنتی برای درمان معده درد، دل پیچه، اسهال و بیماری‌های تنفسی کاربرد دارد. براساس گزارش‌های موجود، ترکیبات منوترپن، مواد غالب اسانس آویشن کوهی می‌باشد. تحقیقات نشان داده است که گونه‌های مختلف جنس کاکوتی خواص آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی دارند (Godze et al., 2006; Eftekhari et al., 2005; Chitsaz, 2006; Salehi et al., 2006). بر اساس تحقیق اوگانسین و چاکوین (Chachoyan and Oganessian, 1996) عصاره کاکوتی کوهی (*Z. clinopodioides*) فعالیت ضدتوموری داشته و رشد غده‌های بدخیم را تا ۳۳/۶ درصد و غدد سرطانی را تا ۴۷/۵ درصد کاهش می‌دهد. بیشترین ترکیب موجود در این گیاه پولگون (Sajadi et al., 2002; Salehi et al., ۲۰۰۵) گزارش شده است. (Zarrabi, 1998) میزان

۱- مربی پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

۲- دانشیار، بخش تحقیقات گیاهان دارویی و معطر، موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۳- 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: safaii2000@yahoo.com)

*- نویسنده مسئول:

DOI: 10.22067/jcesc.2021.72239.1082

پولگون، ۱، ۸ سینثول، نئومنتول، ۴- ترپینتول، ۱- ترپینتول، نئومنتیل استات و پیریتون بود.

بر اساس تحقیق بخشی‌خانی و همکاران (Bakhshikhaniki et al., 2010) مراحل فنولوژی بر بازده اسانس کاکوتی کوهی اثر معنی‌داری داشت. مهدوی و همکاران (Mahdavi et al., 2014) اثر مراحل مختلف برداشت را بر درصد اسانس آویشن کوهی تعیین و بازده اسانس در مرحله قبل از گلدهی را ۰/۲۷ درصد و در مرحله گلدهی ۰/۳۲ درصد گزارش نمودند. بر اساس گزارش آن‌ها پولگون به‌عنوان ترکیب غالب اسانس در مرحله بعد از گلدهی افزایش نشان داد. تحقیق امین‌غفوری و همکاران (Amin ghafoori et al., 2003) روی تاریخ کاشت کاکوتی کوهی نشان داد که امکان کاشت گیاه در شرایط آب و هوایی مشهد در پاییز و بهار وجود دارد ولی بیشترین تولید مربوط به گیاهان کاشته شده در پاییز است که مهم‌ترین علت آن طولانی‌تر بودن فصل رشد و رشد رویشی بهتر گیاه در کشت پاییزه است.

از آنجا که با بررسی جمعیت‌های هر گیاه امکان دسترسی به جمعیت برتر جهت تولید بذریه مطلوب وجود دارد و تاکنون در استان اصفهان پژوهشی در این زمینه انجام نشده است، لذا تحقیق حاضر به منظور بررسی صفات رویشی و ترکیب‌های اسانس سه جمعیت این گیاه دارویی با رویکرد معرفی جمعیت برتر از نظر عملکرد اقتصادی طراحی گردید.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی صفات رویشی و مواد تشکیل‌دهنده اسانس در گیاه کاکوتی کوهی، جمع‌آوری بذریه سه جمعیت گیاه در خردادماه ۱۳۹۶ از رویشگاه‌های طبیعی آن واقع در مناطق داران، سرچشمه گلپایگان و ماکوله استان اصفهان انجام پذیرفت. از هر جمعیت یک نمونه هرباریومی تهیه و پس از شناسایی توسط متخصص گیاهشناسی بخش تحقیقات منابع طبیعی اصفهان، به آن یک شماره هرباریومی اختصاص داده شد (جدول ۱).

کاشت بذرها در بهمن ماه ۱۳۹۶ در محیط گلخانه و داخل سینی کشت‌های حاوی پیت‌ماس انجام گردید و نشاهای حاصله در فروردین‌ماه سال بعد به زمین اصلی منتقل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقاتی شهید فزوه وابسته به مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان کشت شد. این ایستگاه واقع در ۲۵ کیلومتری غرب شهرستان اصفهان، با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۱ درجه شرقی، ارتفاع از سطح دریا ۱۶۱۲ متر، حداقل درجه حرارت ۱۷- و حداکثر درجه حرارت ۴۰ درجه سانتی‌گراد، بافت خاک لوم رسی، $\text{PH} = 7/7$ و قابلیت هدایت الکتریکی ۲/۸ دسی زیمنس بر متر، کربن

اسانس کاکوتی کوهی را ۰/۹ درصد و میزان پولگون موجود در اسانس را ۳۴/۳ گزارش کردند. بر اساس گزارش ربیعی و همکاران (Rabiiei, et al., 2015) ترکیب اصلی اسانس کاکوتی کوهی در رویشگاه‌های متفاوت از نظر ارتفاع، پولگون می‌باشد و پس از آن به‌ترتیب ۱، ۸ سینثول، پیریتون، نئومنتول، پارامنت ۳-، ان-۸-ال و کارواکرال دارای بیشترین ترکیب‌های موجود در اسانس گیاه بودند. شاروپو و ستزر (Sharopov and Setzer, 2011) ۴۵ ترکیب را در اسانس کاکوتی کوهی تشخیص دادند که پولگون، نئومنتول، منتون، پارامنتا-۳-ان-۸-ال، پیریتون و پیریتون به‌ترتیب ترکیبات غالب اسانس بودند. امیری (Amiri, 1998) ۲۳ ترکیب که ۹۸/۶ درصد از کل اسانس را شامل می‌شدند در اسانس این گیاه شناسایی نموده که ترکیبات غالب آن به‌ترتیب پولگون (۳۰/۱ درصد)، تیمول (۲۱/۳ درصد)، پارامنتا-۳-ان-۸-ال (۱۲/۹ درصد)، پیریتون (۹/۳ درصد) و ۱، ۸ سینثول (۴/۱ درصد) بود. بر اساس تحقیق دینگ و همکاران (Ding et al., 2014) کاکوتی کوهی سرشار از پولگون می‌باشد و بیشترین مقدار این ترکیب در مرحله گلدهی وجود دارد. عصری و همکاران (Asri et al., 2016) نیز در تجزیه اسانس کاکوتی کوهی برداشت شده از سه رویشگاه مختلف در مجموع ۴۷ ترکیب شناسایی کردند که ۲۴ عدد آن در هر سه رویشگاه مشترک بود. در این تحقیق ۱، ۸ سینثول، ترپین-۴-ال و پولگون ترکیبات غالب اسانس بودند. بر اساس گزارش شفییعی و همکاران (Shafei et al., 2012) پولگون موجود در کاکوتی بسته به محیط رشد، متفاوت گزارش است. به‌عنوان مثال در گونه رشد کرده در قزوین درصد آن ۸۷ درصد ولی در ارتفاعات خراسان ۲۷/۲ درصد به‌دست آمده که می‌تواند ناشی از تاثیر عوامل محیطی بر گیاه باشد. براساس تحقیق چیت‌ساز و همکاران (Chitsaz et al., 2007) پولگون ماده‌ای سمی است که موجب آسیب‌های حاد کبدی می‌گردد لذا به نظر می‌رسد کم بودن مقدار آن در گیاه، در شرایط اقلیمی مختلف، می‌تواند یک برتری به حساب بیاید. در تحقیق امیری (Amiri, 2009) ترکیبات اسانس در مراحل مختلف رشدی کاکوتی کوهی بررسی شد. ترکیبات غالب اسانس در مرحله قبل از گلدهی شامل پولگون (۳۰/۱ درصد)، تیمول (۲۱/۳ درصد)، پارامنتا-۳-ان-۴-ال (۱۲/۹ درصد) و پیریتون (۹/۳ درصد) بود. در مرحله گلدهی پولگون (۴۴/۶ درصد)، پارامنتا-۳-ان-۴-ال (۱۰/۵ درصد)، ۱، ۸ سینثول (۱۰/۴ درصد)، پیریتون (۸/۷ درصد) و تیمول (۶/۷ درصد) و در مرحله پس از گلدهی پولگون (۴۱/۳ درصد)، ایزومنتون (۱۱/۶ درصد)، پارامنتا-۳-ان-۴-ال (۱۱ درصد)، پارامنتا ۳،۸ دین (۷/۲ درصد) و تیمول (۵/۸ درصد) ترکیبات اصلی اسانس بودند. سنبل و همکاران (Sonboli et al., 2010) نیز در اسانس ۹ جمعیت کاکوتی مورد مطالعه تنوع وسیعی از نظر مواد تشکیل‌دهنده مشاهده نمودند و بر این اساس آن‌ها را در ۵ گروه شیمیایی مختلف قرار دادند. بر اساس این تحقیق اصلی‌ترین ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس شامل

آلی خاک ۱/۲ درصد، ازت کل ۰/۱۲ درصد، فسفر قابل جذب ۹۰/۸ ppm، پتاسیم قابل جذب ۱۹۱۲ ppm، طبقه آب و هوایی خشک سرد می‌باشد.

جدول ۱- اطلاعات مربوط به رویشگاه‌های محل جمع‌آوری گیاه

Table 1- Plant habitat information

شماره هرباریومی	ارتفاع از سطح دریا	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	Location	محل جمع‌آوری
Herbarium no.	Height above sea level (m)	Latitude	Longitude		
17890	2450	50°29'28"	33°04'22"	Daran	داران
17891	2091	50°12'39"	33°25'06"	Sarcheshmeh Golpayeghan	سرچشمه گلپایگان
17892	2000	50°12'47"	33°23'44"	Makooleh	ماکوله

50 ml min^{-1} و انرژی یونیزاسیون در طیف‌سنج جرمی معادل ۷۰ الکترون بود. برنامه حرارتی ستون از ۴۰ تا ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت 4 C min^{-1} تنظیم شد و دمای محفظه تزریق ۲۳۰ درجه سانتی‌گراد بود.

محاسبه شاخص بازداري و شناسایی ترکیب‌ها

برای محاسبه اندیس‌های بازداري ترکیب‌ها، آلکان‌های نرمال C9-C22 به دستگاه GC تزریق شد. شناسایی ترکیب‌ها با مطالعه طیف‌های جرمی و مقایسه با طیف جرمی ترکیب‌های استاندارد، با استفاده از اطلاعات موجود در کتابخانه و به کمک شاخص‌های بازداري محاسبه شده و مقایسه آن‌ها با شاخص‌های بازداري استاندارد که در منابع مختلف منتشر گردیده، انجام گردید. محاسبات کمی (تعیین درصد هر ترکیب) به کمک داده‌پرداز R3A-Chromatepac به روش نرمال کردن سطح (Area normalization method) و نادیده گرفتن ضریب‌های پاسخ (Response factors) مربوط به طیف‌ها انجام شد.

پس از جمع‌آوری اطلاعات مزرعه‌ای در طی دو سال زراعی، تجزیه واریانس مرکب و مقایسه میانگین صفات با آزمون چند دامنه دانکن در سطح احتمال یک درصد انجام گردید. از نرم‌افزار SAS 9.1 جهت آنالیز داده‌ها استفاده شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس صفات (جدول ۱) تفاوت معنی‌داری از نظر کلیه صفات مورد بررسی در بین جمعیت‌های مورد مطالعه نشان داد. این تفاوت معنی‌دار برای صفات نسبت وزن خشک به تر و عملکرد خشک اندام هوایی در هکتار در سطح احتمال پنج درصد و برای دیگر صفات در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. تفاوت آماری معنی‌دار جمعیت‌های مورد مطالعه کاکوتی کوهی در این تحقیق نشانگر وجود پتانسیل مطلوب آن‌ها برای ورود به سیستم زراعی و انتخاب در برنامه‌های به‌نژادی و تبدیل شدن به رقم است. تحقیق شلتوکی و همکاران (Shaltouki et al., 2021)، مرادی و همکاران (Moradi et al., 2019)، اصغری‌پور و همکاران (Asgharipour, 2019)

هر واحد آزمایشی از سه ردیف به طول سه متر تشکیل گردید. فاصله ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فاصله دو بوته روی ردیف ۳۰ سانتی‌متر منظور شد. انجام آبیاری به روش قطره‌ای و هر هفته یکبار بود. وجین علف‌های هرز نیز در طی فصل رشد به‌طور مرتب انجام گردید. داده‌برداری در مرحله گلدهی (گلدهی بالای ۷۰ درصد- اواسط خردادماه) انجام شد. گیاهان موجود در یک مترمربع هر کرت پس از اندازه‌گیری ارتفاع بوته، از سطح خاک برداشت و وزن تر اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها در سایه خشک شده و وزن خشک آن‌ها محاسبه گردید. به‌منظور استخراج اسانس، ۵۰ گرم از سرشاخه هر جمعیت آسیاب شده و به مدت چهار ساعت با استفاده از روش تقطیر با آب و دستگاه کلونجر، اسانس‌گیری و درصد آن تعیین شد (Amiri et al., 2009). اسانس استخراج شده جهت انجام آنالیزهای لازم به موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور ارسال گردید. بقیه گیاهان موجود در مزرعه پس از بذردگی برداشت و وزن بذر تک بوته آن‌ها محاسبه شد. برای شناسایی ترکیب‌های اسانس از دستگاه‌های گاز کروماتوگرافی (GC) و گاز کروماتوگرافی متصل به طیف‌سنج جرمی (GC/MS) استفاده گردید. مشخصات این دستگاه‌ها به قرار زیر است:

مشخصات گاز کروماتوگرافی (GC)

کروماتوگراف گازی مدل Shimadzu-9A مجهز به دتکتور F.I.D (یونیزاسیون شعله هیدروژن) و داده‌پرداز Chromatepac بود. ستون دستگاه DB-5 به طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۲۵ میکرون و ضخامت لایه فاز ساکن برابر ۰/۲۵ میکرون بود. گاز حامل هلیوم با سرعت جریان گاز ۲۲/۷، دمای محفظه تزریق ۲۶۵ درجه سانتی‌گراد و برنامه‌ریزی حرارتی ستون از دمای اولیه ۵۰ درجه تا دمای نهایی ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد بود که در هر دقیقه ۴ درجه سانتی‌گراد به آن افزوده شد.

مشخصات گاز کروماتوگرافی متصل به طیف‌سنج جرمی (GC/MS)

کروماتوگراف گازی Varian 3400 متصل شده به طیف‌سنج جرمی، ستون مشابه با ستون مورد استفاده در دستگاه GC بود. دتکتور "Ion Trap" گاز حامل هلیوم، سرعت جریان گاز حامل

گیاه و استقرار مناسب آن در سال دوم کشت و همچنین رشد و توسعه بیشتر اندام هوایی آن نسبت به سال اول، امری بدیهی به نظر می‌رسد و نشان‌دهنده سازگاری گیاه با شرایط زراعی می‌باشد. این مسئله در آویشن دنایی (*Thymus daenensis*) که از گیاهان هم‌خانواده کاکوتی کوهی می‌باشد نیز گزارش شده است (Safaei et al., 2012).

برهم‌کنش جمعیت و سال در جدول ۴ آمده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده بیشترین عملکرد خشک اندام هوایی، عملکرد بذر، عملکرد برگ خالص و عملکرد اسانس در هکتار در سال دوم جمعیت سرچشمه گلپایگان مشاهده شد. بیشترین ارتفاع گیاه نیز در سال دوم جمعیت ماکوله به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با سایر جمعیت‌ها در همان سال داشت. این تفاوت‌های معنی‌دار حاکی از تفاوت موجود بین جمعیت‌ها و همچنین شرایط متفاوت آب و هوایی و محیطی در سال‌های آزمایش می‌باشد که در نتیجه صفات را تحت تاثیر قرار داده است.

ضریب همبستگی بین صفات مورد بررسی در این تحقیق نشان داد که تاج‌پوشش گیاه با درصد اسانس، همبستگی مثبت و بسیار قوی دارد (جدول ۶). همچنین تاج‌پوشش گیاه با عملکرد برگ نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد. بنابراین با افزایش تراکم اندام‌های هوایی در این گیاه، میزان عملکرد خشک اندام هوایی نیز بیشتر می‌شود. از طرفی رابطه مثبت و معنی‌دار بین درصد اسانس با عملکرد برگ، نشان‌دهنده نقش مهم برگ‌ها در افزایش یا کاهش درصد اسانس می‌باشد. وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار مشاهده شده بین عملکرد اندام هوایی گیاه و عملکرد بذر نیز نشان می‌دهد که با رشد رویشی کافی و مناسب گیاه، افزایش تولید بذر اتفاق خواهد افتاد. این موضوع کاملاً منطقی به نظر می‌رسد. چرا که با فراهم شدن شرایط مناسب برای رشد رویشی گیاه که منجر به افزایش میزان فتوسنتز و تولید می‌گردد، امکان تولید بذر مناسب و کافی دور از تصور نیست.

بر اساس نتایج آزمایش در سه جمعیت مورد بررسی در مجموع ۲۶ ترکیب شناسایی شده است که دو ترکیب ۱، ۸ سینئول و پولگون درصد بالاتری داشتند (جدول ۷). درصد ترکیب پولگون در جمعیت ماکوله بسیار بالاتر از دو جمعیت دیگر به‌دست آمده و بالعکس درصد ترکیب ۱، ۸ سینئول در دو جمعیت دیگر بیشتر از جمعیت ماکوله می‌باشد. نتایج تحقیقات موجود حضور ترکیب پولگون را به‌عنوان بالاترین ترکیب اسانس کاکوتی کوهی اثبات نموده است (Sajadi et al., 2002; Salehi et al., 2005; Verdian-Rizi, 2008; Zarrabi et al., 1998). همچنین بر اساس گزارش‌های موجود پس از پولگون، ترکیبات ۱، ۸ سینئول، پیرتینون، نئومنتول، پارامنتا ۳-ان-۸-ال و کارواکرال به‌ترتیب بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده‌اند (Rabiei et al., 2015).

(et al., 2016) و سنبل و همکاران (Sonboli et al., 2010) نیز تنوع وسیعی از نظر صفات مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی در اکوتیپ‌های کاکوتی کوهی گزارش کرده است که این تنوع جهت انجام پروژه‌های اصلاحی کاربردی می‌باشد (Safarnejad, 2017). نتایج همچنین نشان داد که فاکتور سال بر کلیه صفات مورد بررسی به استثنای وزن هزار دانه اثر معنی‌داری داشت. لذا در سال‌های مختلف صفات مورد بررسی واکنش‌های متفاوتی نشان داده‌اند. اثر برهم‌کنش جمعیت در سال نیز بر صفات وزن خشک به تر، عملکرد خشک اندام هوایی، عملکرد بذر در هکتار، عملکرد برگ و عملکرد اسانس در سطح احتمال یک درصد و بر صفات ارتفاع و وزن خشک اندام هوایی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. سایر صفات تحت تاثیر برهم‌کنش جمعیت در سال قرار نگرفتند. این مسئله نشان از واکنش متفاوت جمعیت‌های مورد مطالعه به شرایط آب و هوایی در سال‌های مختلف از نظر صفات مهم عملکردی گیاه دارد.

مقایسه میانگین جمعیت‌ها در جدول ۲ نشان داد که جمعیت سرچشمه گلپایگان از نظر کلیه صفات مورد بررسی به‌استثنای ارتفاع و وزن هزار دانه نسبت به دو جمعیت دیگر برتری داشت. جمعیت ماکوله بالاترین ارتفاع و وزن هزار دانه را دارا بود. در بین جمعیت‌های مورد مطالعه این تحقیق، جمعیت سرچشمه گلپایگان از نظر صفات عملکردی تفاوت معنی‌داری با دو جمعیت دیگر داشته که این مسئله در مورد عملکرد بذر، عملکرد برگ خشک و عملکرد اسانس که صفات اقتصادی گیاه می‌باشند کاملاً مشهود می‌باشد. لذا در زمینه تولید می‌توان از این جمعیت استفاده نمود. یکی از موارد مشاهده شده در این تحقیق طول دوره رشد گیاه در شرایط زراعی می‌باشد. در شرایط زراعی اصفهان این دوره رشدی از اواخر اسفندماه آغاز شده و تا اواخر آبان‌ماه ادامه دارد و تنها آغاز سرمای پاییزه باعث توقف آن می‌گردد. طولانی بودن این دوره با افزایش تعداد چین و به دنبال آن افزایش عملکرد اندام هوایی همراه است. این دوره رویشی طولانی به همراه گلدی نامحدود، گیاه را به گزینه مناسبی جهت استفاده در فضای سبز شهرها تبدیل می‌کند. البته باید در نظر داشت که گل‌دهی نامحدود گیاه کاهش عملکرد بذر را به دنبال دارد. زیرا با توجه به عدم تفکیک زمانی بین مرحله گل‌دهی و بذردهی، در یک بوته به‌طور هم‌زمان حضور گل و بذر مشاهده می‌شود و حتی در یک گل‌آذین نیز مخلوطی از بذر و گل به‌صورت مخلوط قابل مشاهده است. لذا یکی از مواردی که در اصلاح این گیاه بایستی در نظر گرفته شود برطرف نمودن این مشکل می‌باشد. از طرفی عملکرد مناسب اندام هوایی گیاه در شرایط زراعی که نشان‌دهنده سازگاری آن با سیستم زراعی می‌باشد راه را جهت انجام کارهای اصلاحی هموار می‌سازد.

جدول مقایسه میانگین صفات از نظر سال (جدول ۳) نیز نشان داد که گیاهان در سال دوم از نظر صفات مورد بررسی برتری خاصی نسبت به سال اول نشان دادند. این مسئله با توجه به چند ساله بودن

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب صفات مورد مطالعه در سه جمعیت کاکوتی کوهی (*Z. clinopodioides*) کشت شده در ایستگاه تحقیقاتی شهید فروزه وابسته به مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان طی دو سال زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸

Table 2- Analysis of variance of studied traits in three ppulations of *Z. clinopodioides* cultivated in Fozveh station of Agricultural and Natural Resource Research Center of Isfahan during 2018-2019

منابع تغییرات	S.O.V	درجه ازادی d.f	نسبت وزن خشک به تر					میانگین مربعات MS				
			ارتفاع بوته Plant height	تاج پوشش Canopy	وزن خشک Dry weight of Shoot	نسبت وزن خشک به تر Dry weight/ wet weight ratio	اسانس Essential oil percentage	وزن هزار دانه 1000-seed's weight	عملکرد اندام هوایی Shoot yield	عملکرد بذر Seed yield	عملکرد برگ Leaf yield	عملکرد اسانس Essential oil yield
سال	Year	1	74.01**	76614.4**	38475.4**	0.14**	0.46**	0.000005	185172182.0**	60112.0**	37920727.8**	48114.7**
سال*تکرار	Year*Block	4	7.76	26.15	15.45*	0.003	0.009	0.0001	38307.7	102.22	40847.4	50.67**
جمعیت	Population	2	267.8**	353.5**	295.04**	0.025*	0.06**	0.042**	1279214.1*	18346.2**	1677281.9**	838.01**
سال*جمعیت	*year population	2	12.69*	81.41	98.65*	0.05**	0.003	0.0001	343897.4**	5638.6**	1402391.9**	221.12**
خطا	Error	8	2.86	46.19	5.04	0.005	0.005	0.0003	21864.9	86.04	16604.0	5.36
ضرب تغییرات	CV		3.9	6.3	2.4	13.5	6.0	3.5	2.3	7.8	5.1	2.6

** و * به ترتیب در سطح یک و پنج درصد معنی دار است.
** and * significant at the 1%, 5% probability levels respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه در سه جمعیت کاکوتی کوهی (*Z. clinopodioides*) کشت شده در ایستگاه تحقیقاتی شهید فروزه وابسته به مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان طی دو سال زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸

Table 3- Mean comparison of studied traits in three ppulations of *Z. clinopodioides* cultivated in Fozveh station of Agricultural and Natural Resource Research Center of Isfahan during 2018-2019

جمعیت	Populatin	ارتفاع Plant height (cm)	تاج پوشش Canopy (cm)	وزن خشک Dry weight of Shoot (g)	نسبت وزن خشک به تر Dry weight/ wet weight ratio	اسانس Essential oil percentage (%)	وزن هزار دانه 1000-seed's weight (g)	عملکرد اندام هوایی Shoot yield (kg ha ⁻¹)	عملکرد بذر Seed yield (kg ha ⁻¹)	عملکرد برگ Leaf yield (kg ha ⁻¹)	عملکرد اسانس Essential oil yield (kg ha ⁻¹)
داران	Daran	36.9±2.38c	106.9±7.9b	87.4±3.38c	0.43±0.05b	1.3±0.2b	0.52±0.007a	6120.3±236.9c	70 ±3.5c	2477.2±181.3b	82.5±5.4b
سرچشمه	Sarcheshmeh	43.7±4.36b	115.8±9.7a	100.9±3.9a	0.55±0.2a	1.4±0.17a	0.38±0.02b	7011.7±60.3a	178.6±17.7a	2920.2±116.4a	102.2±6.8a
گلپایگان	Golpayeghan										
ماکوله	makoolah	50.3±2.43a	100.6±5.5b	90.7±2.15b	0.53±0.2a	1.2±0.22b	0.53±0.01a	6356.8±150.6b	106.3±4.8b	2177.0±105.1c	81.1±6.03b

میانگین ± خطای استاندارد ستون‌های دارای حروف مشترک در احتمال یک درصد از هم معنی دار هستند.
Means ± STDER, followed by the similar letters in each column are not significantly different by Duncan test at 1% probability level.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر سال بر صفات مورد مطالعه در سه جمعیت کاکوتی کوهی (*Z. clinopodioides*) کشت شده در ایستگاه تحقیقاتی شهید فروزه وابسته به مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان طی دو سال زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸

Table 4- Year mean comparison of studied traits in three populations of *Z. clinopodioides* cultivated in Fozveh station of Agricultural and Natural Resource Research Center of Isfahan during 2018-2019

سال	Year	ارتفاع گیاه (cm)	Plant height (cm)	تاج پوشش	Canopy (cm)	وزن خشک	Dry weight (g)	نسبت وزن خشک به تر	Dry weight/wet weight	اسانس	Essential oil percentage (%)	وزن هزار دانه	1000-seed's weight (g)	عملکرد اندام هوایی	Shoot yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد بذر	Seed yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد برگ	Leaf yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد اسانس	Essential oil yield (kg.ha ⁻¹)
اول	1	41.6±5.8b	42.5±7.3b	46.8±3.4b	0.59±0.2a	1.12±0.13b	0.47±0.08a	3288.9±242.8b	60.5±25.6b	1073.3±126.2b	36.9±5.3b										
دوم	2	45.7±6.6a	173.0±10.7a	139.2±9.9a	0.41±0.02b	1.44±0.08a	0.47±0.07a	9703.7±622.8a	176.1±74a	3976.3±625.1a	140.3±16.4a										

Means ± STDERR, followed by the similar letters in each column are not significantly different by Duncan test at 1% probability level.

جدول ۵- برهم کنش اثر سال و جمعیت بر صفات مورد مطالعه در سه جمعیت کاکوتی کوهی (*Z. clinopodioides*) کشت شده در ایستگاه تحقیقاتی شهید فروزه وابسته به مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان طی دو سال زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸

Table 5- Year * population interaction of studied traits in three populations of *Z. clinopodioides* cultivated in Fozveh station of Agricultural and Natural Resource Research Center of Isfahan during 2018-2019

جمعیت	Population	سال	Year	ارتفاع	Plant height (cm)	تاج پوشش	Canopy (cm)	وزن خشک	Dry weight of shoot (g)	خشک به تر	Dry weight/wet weight ratio	نسبت وزن خشک به تر	اسانس	Essential oil percentage (%)	وزن هزار دانه	1000-seed's weight (g)	عملکرد اندام هوایی	Shoot yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد بذر	Seed yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد برگ	Leaf yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد اسانس	Essential oil yield (kg.ha ⁻¹)
داران	Daran	1	36.2±1.8d	37.8±2.79d	44.0±3.6e	0.42±0.07b	1.13±0.15d	0.53±0.006a	3080.0±252.4e	45.3±5.95d	956.7±106.9d	34.7±1.8d												
سرچشمه گیلان	Sarcheshmeh Golpayeghan	1	40.1±2.03dc	51.0±4.05c	50.0±2d	0.70±0.02a	1.23±0.04c	0.38±0.03b	3530.0±98.5d	93.3±10.69c	1166.7±106.9d	43.5±0.7c												
ماکوله	Makoolah	1	48.5±3.21b	38.8±5.01cd	46.3±1.52de	0.65±0.14a	1.0±0.1d	0.53±0.02a	3256.7±90.7e	42.9±7.2d	1096.7±80.8d	32.5±2.7d												
داران	Daran	2	37.7±3.05d	176.0±7.9a	130.9±3.38c	0.44±0.005b	1.42±0.03ab	0.52±0.006a	9160.7±236.9c	94.7±3.5c	3997.7±181.3b	130.4±5.4b												
سرچشمه گیلان	Sarcheshmeh Golpayeghan	2	47.3±3.08b	180.7±9.7a	151.8±3.95a	0.40±0.01b	1.53±0.06a	0.39±0.02b	10493.3±60.3a	269.9±17.7a	4673.7±116.4a	160.9±6.8a												
ماکوله	Makoolah	2	52.0±1a	162.3±5.5b	135.1±2.15b	0.40±0.01b	1.37±0.1b	0.53±0.006a	9457.0±150.6b	169.6±4.8b	3257.3±105.1c	129.6±6.04b												

Means ± STDERR, followed by the similar letters in each column are not significantly different by Duncan test at 1% probability level.

جدول ۶- ضرایب همبستگی بین صفات در سه جمعیت کاکوتی کوهی (*Z. clinopodioides*) کشت شده در ایستگاه تحقیقاتی شهید فزوه وابسته به مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان طی دو سال زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸

Table 6- Correlation coefficients among traits of three populations of *Z. clinopodioides* cultivated in Fozveh station of Agricultural and Natural Resource Research Center of Isfahan during 2018-2019

صفت	Trait	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
۱	ارتفاع Plant height	1									
۲	تاج پوشش Canopy	-0.4	1								
۳	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	0.24	0.78	1							
۴	نسبت وزن خشک به تر Dry weight/ wet weight	0.77	0.27	0.8	1						
۵	اسانس Essential oil percentage	-0.46	0.99*	0.74	0.21	1					
۶	وزن هزار دانه 1000-seed's weight	0.04	-0.93	-0.95	-0.59	-0.9	1				
۷	عملکرد اندام هوایی Shoot yield	0.26	0.77	0.99**	0.82	0.73	-0.94	1			
۸	عملکرد بذر Seed yield	0.33	0.72	0.99	0.86	0.67	-0.92	0.99*	1		
۹	عملکرد برگ Leaf yield	-0.39	0.99**	0.079	0.28	0.99*	-0.93	0.78	0.73	1	
۱۰	عملکرد اسانس Essential oil yield	-0.05	0.93	0.95	0.59	0.91	-0.99**	0.94	0.92	0.93	1

مجموع به نظر می‌رسد به دلیل تفاوت‌های فیزیولوژیکی، جمعیت‌های مورد مطالعه رفتارها و واکنش‌های مختلفی را از خود نشان داده‌اند و بسته به واکنش‌های فیزیولوژیک متفاوت، تولید متابولیت‌های ثانویه از جمله اسانس نیز متفاوت خواهد بود (Emami Bistgani et al., 2018).

درصد اسانس در این تحقیق از ۱ تا ۱/۵۳ درصد متفاوت مشاهده شده است. ضرابی و همکاران (Zarrabi et al., 1998) میزان اسانس کاکوتی کوهی را ۰/۹ درصد، بتولی و همکاران (Batooli et al., 2012) حداقل و حداکثر اسانس این گیاه را به ترتیب ۰/۳ تا ۱/۳ درصد و دهقان و همکاران (Dehghan, et al., 2014) ۰/۳۱ تا ۱/۰۸ گزارش نموده‌اند که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. میزان اسانس و ترکیبات آن به عوامل محیطی نظیر فاکتورهای مختلف اکولوژیکی، جغرافیایی، اقلیمی، خاکی و ارتفاع و همچنین عوامل ژنتیکی بستگی دارند. لذا تفاوت‌های موجود بین تحقیقات انجام شده در مناطق مختلف می‌تواند ناشی از اثر این عوامل باشد. از طرفی از آنجا که در مطالعه حاضر جمعیت‌های کاکوتی کوهی در شرایط محیطی و زراعی یکسان کشت شده‌اند لذا تفاوت‌های دیده شده بین آن‌ها بیشتر می‌تواند ناشی از اثر عوامل ژنتیکی به حساب آید (Azimi et al., 2014).

این در حالی است که سنبل و همکاران (Sonboli et al., 2010) تنوع وسیعی را از نظر مواد تشکیل‌دهنده اسانس در جمعیت‌های کاکوتی کوهی یک منطقه مشاهده نمودند. دلایل مختلفی برای وجود این تفاوت‌ها در اسانس جمعیت‌ها و سال‌های مختلف آزمایش وجود دارد. تفاوت ژنتیکی جمعیت‌ها و خطای آزمایش از جمله این موارد است. همچنین کاکوتی گیاهی است دارویی که هنوز اهلی نشده است و سیر فیزیولوژیک این گیاه طی یک سال به تکامل می‌رسد. در مورد این گیاه بایستی این نکته را مد نظر قرار داد که روند تغییرات برخی از صفات در اندام‌های گیاه طی سال‌های رشدی مختلف، متفاوت است. به طوری که برخی صفات مانند میزان اسانس دچار تغییرات چشمگیری می‌شوند. لذا بدیهی است که گیاه در طی سال‌های مختلف از واریانس بیشتری برخوردار باشد. به طور کلی، تغییر در محتوا و ترکیب‌های موجود در اسانس، ناشی از تغییر در الگوی بیان ژن‌های دخیل در بیوسنتز اسانس می‌باشد. همچنین مطالعات پیشین نشان داده است که شرایط و اقلیم متفاوت منجر می‌گردد که ترین‌های موجود در اسانس گیاهان دچار نوارایی و اکسایش شوند و امکان ناپدید و یا به وجود آمدن ترکیب‌های جدید را فراهم کنند، که این امر به دلیل امکان وجود چندین زنجیره ارتباطی بین مسیر ایزوپرنوئیدی با سایر مسیرهای متابولیکی وجود دارد که منجر به انتقال و ایجاد رقابت بر سر پیش ماده‌های کربنی می‌گردد. در

جدول ۷- درصد ترکیبات متشکله اسانس در سه جمعیت کاکونی کوهی (*Z. clinopodioides*) کشت شده در ایستگاه تحقیقاتی شهید فزوه وابسته به مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان طی دو سال زراعی ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸

Table 7- Essential oil percentages in three pulations of *Z. clinopodioides* cultivated in Fozveh station of Agricultural and Natural Resource Research Center of Isfahan during 2018-2019

شماره بازداری	نام ترکیبات	Compound name (%)	سال ۱۳۹۷				سال ۱۳۹۸			
			داران		سرچشمه گلپایگان		داران		سرچشمه گلپایگان	
			Daran	Makooleh	Daran	Makooleh	Daran	Makooleh	Daran	Makooleh
935	آلفاتون	α -thujene	0.4	---	0.5	---	---	0.7	0.3	---
947	آلفاین	Alpha-Pinene	2.3	---	---	0.7	2.4	2	2.1	---
964	کامفن	Camphene	---	---	---	---	1.1	0.2	0.6	---
980	ساینین	Sabinene	4.6	---	4.2	1.7	5.4	3.4	2.4	---
1005	میرسن	Myrcene	---	---	---	---	5.1	4.8	3.4	---
1007	بتاین	β -Pinene	4.4	---	3.7	2.2	1.9	1.4	1	---
1046	آلفاترین	α -terpinene	---	---	---	---	4.5	1.6	3.1	---
1055	پاراسیم	p-Cymene	9.1	---	8.8	1.5	5.5	3.1	9.6	---
1058	لیمون	Limonene	2.3	---	1.6	2.7	2	0.6	1.2	---
1065.4	لیمونینول	1,8-Cineole	37.9	---	31.6	17.9	59.8	44.5	19.3	---
1097.7	سیس سالیلین هیدرات	cis-Sabinene hydrate	7.8	---	9.2	1.2	0.6	2	1	---
1115	لینالول	Linalool	0.8	---	2.1	0.6	---	0.6	2.2	---
1171	پارا مینا آل	p-Mentha-3-one	2.8	---	2.9	14.7	2	3.2	10.3	---
1219	بورنول	Borneol	5.3	---	4.5	0.6	---	---	---	---
1233	ترپین آل	Terpinene-4-one	0.6	---	4.9	1.9	2.7	0.4	1.1	---
1255	آلفاترینول	α -terpineole	---	---	0.3	0.9	1.2	0.8	0.5	---
1281	ایزو بورنیل فرمات	Iso-bornyl format	0.9	---	0.5	---	---	---	---	---
1292.3	پوگون	Polygon	2.1	---	4.5	38.5	2	4	18.6	---
1312	پیریتون	Piperitone	---	---	---	---	1.2	0.4	1.9	---
1315	بورنیل استات	Bornyl acetate	0.4	---	1.2	---	---	---	---	---
1322.6	تیمول	Thymol	0.5	---	4.7	---	---	---	---	---
1334.9	کارواکرول	Carvacrole	---	---	---	5.9	---	---	---	---
1403.1	کارواکرول استات	Carvacrole acetate	0.6	---	---	1.9	---	---	---	---
1427.3	بتا بورنول	β -Borbonene	0.4	---	0.8	---	0.3	---	---	---
1468.6	ای کاروفیلین	E-Caryophyllene	0.9	---	0.3	---	1.9	---	0.9	---
1500	اسپاجولول	Spatholol	2.9	---	1.4	1	---	---	---	---
1664	کاروفیلین اکساید	Caryophyllene oxide	0.5	---	4.2	0.3	1.2	1.7	2.3	---

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست آمده از این تحقیق گیاه دارویی کاکوتی کوهی استقرار و سازگاری مناسبی در شرایط زراعی داشته است و عملکرد اندام هوایی بالای این گیاه از موارد مهم و قابل تامل می‌باشد که ارزش اقتصادی آن را افزایش می‌دهد. تفاوت موجود بین جمعیت‌های این گیاه، زمینه انجام کارهای اصلاحی را فراهم می‌کند. جمعیت سرچشمه گلپایگان به علت برتری صفات عملکردی و اقتصادی مهم نظیر عملکرد اندام هوایی و اسانس می‌تواند جهت تولید

انبوه به سیستم زراعی معرفی گردد. همچنین از آنجا که جمعیت ماکوله از نظر صفت ارتفاع گیاه نسبت به سایر جمعیت‌ها برتری دارد لذا از این جمعیت نیز می‌توان در اجرای برنامه‌های به‌نژادی و انجام انتخاب جهت تولید ژنوتیپ‌های با خصوصیات مطلوب استفاده کرد. وجود دو ترکیب ۱، ۸ سینئول و پولگون موجود در اسانس این گیاه به‌عنوان ماده اصلی و غالب می‌تواند در بازار هدف و جهت استفاده در تولید ترکیبات ضدباکتری در صنعت دارویی، طعم‌دار کردن مواد غذایی، نوشیدنی‌ها، خمیر دندان‌ها و غیره استفاده گردد.

References

1. Abyar, S., Fakheri, B. A., and Mahdi nezhad, N. 2019. Ecological factors effecting in south west regions of Iran on the gum and essential oil composition of *Ferula assafoetida*. Journal of Plant Process and Function 29 (8): 125-135.
2. Amin Ghafoori, A., Koocheki, A., Nasiri mahalati, M., and Kheirkhah, M. 2003. Evaluation of growth characteristics of perennial medicinal plant under low agricultural conditions. National Conference on Agricultural Science and Technology. (in Persian).
3. Aghajani, A., Assadian, F., Masoudi, S., Chalabian, F., Esmaeili, A., and Tabatabaei-Anaraki, M. 2008. Antibacterial activities of the oil of *Ziziphora clinopodioides* and *Z. capitata* subsp. *capitata* from Iran. Chemistry of Natural Compounds 44: 387. <https://doi.org/10.1007/s10600-008-9073-4>.
4. Amiri, H. 1998. Composition and antioxidant activity of the essential oil and methanolic extract of *Ziziphora clinopodioides* Lam in preflowering stage. Medical Department of Kerman University 16 (1): 91-106.
5. Amiri, H. 2009. Influence of growth phase on the essential oil composition of *Ziziphora clinopodioides* Lam. Natural Product Research 23 (7): 601-6. <https://doi.org/10.1080/14786410802113995>.
6. Asgharipour, M. R., Akbari Abjahan, A., and Dahmarde, M. 2016. Variability in *Ziziphora clinopodioides* Subsp. *Bungeana* (Juz.) based on morphological traits and essential oils Profile. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici 44: 189-94. DOI: <https://doi.org/10.15835/nbha44110118>.
7. Asri, Y., Firozi Ardestani, M., Rabie, M., and Bakhshi Khaniki, Gh. 2016. The effect of environmental factors on growth characteristics, seed germination and essential oils of *Ziziphora clinopodioides* Iranian Journal of Plant Biology 8 (29): 91-107. doi: [10.22108/ijpb.2016.21038](https://doi.org/10.22108/ijpb.2016.21038).
8. Azimi, M. H., Naghdi Badi, H., Kalate Jari, S., Abdossi, V., and Mehrafarin, A. 2014. Comparison of essential oils composition in Iranian populations of *Thymus kotschyanus* Boiss. & Hohen. Journal of Medicinal Plants 4 (52): 136-147.
9. Bakhshikhaniki, A., Sefidkon, F., and Dehghan, Z. 2010. Examination of effect some habitet condition on quantity and quality *Ziziphora clinopodioides* essential oil. Journal of Plant Dregs 1: 11-20. (in Persian).
10. Batooli, H., Akhbairi, M., and Hoseinizadeh, S. M. J. 2012. The effect of different oil extraction on the quantity and quality of two species of *Ziziphora* essential oil., Journal of Herbal Drugs 3(3): 135-146.
11. Chachoyan, A. A., and Oganessian, G. B. 1996. Antitumor activity of some spices of the family Lamiaceae. Rastitelnye Resursy 32 (4): 59-64.
12. Chitsaz, M., Barrton, M. D., Naseri, M., Kamali Nejad, M., and Bazargan, M. 2007. Essential oil composition and antibacterial effects of *Ziziphora clinopodioides* Lam. International Journal of Antimicrobial Agents 29: 203-205.
13. Chitsaz, M., Pargar, A., Naseri, M., Bazargan, M., and Ansari, M. 2007. Composition and anti- bacterial effects of hydro-alcoholic extract and essential oil of *Ziziphora clinopodioides* on selected bacteria. Scientific Journal of Shahed University 68: 15-22. (in Persian)
14. Dalir, M., and Safarnejad, A. 2017. Morphological, molecular and phytochemical variation in some Thyme genotypes. Journal of Medicinal Plant By-Products 1: 41-52. doi: [10.22092/jmpb.2017.113149](https://doi.org/10.22092/jmpb.2017.113149).
15. Dehghan, Z., Sefidkon, F., Emami S. M., and Kalvandi, R. 2014. The effects of ecological factors on essential oil yield and composition of *Ziziphora clinopodioides* lam. Subsp. *rigida* (Boiss) Rech.f. Journal of Plant Research (Iranian biology Journal). 27 (1): 49-63. (in Persian).
16. Ding, W., Yang, T., Liu, F., and Tian, Sh. 2014. Effect of different growth stages of *Ziziphora clinopodioides* Lam. on its chemical composition. Pharmacogn Magazine 10(Suppl 1): S1-S5. doi: [10.4103/0973-1296.127329](https://doi.org/10.4103/0973-1296.127329).
17. Eftekhari, F., Salehi, P., Sonboli, A., Nejad Ebrahimi, S., and Yousef Zadi, M. 2005. Essential oil composition,

- antibacterial and antioxidant activity of oils and various extracts of *Ziziphora clinopodioides* subsp *rigida* (Boiss). Rech. f. from Iran. Biological and Pharmaceutical Bulletin 28: 1892-1896. <https://doi.org/10.1248/bpb.28.1892>.
18. Emami Bistgani, Z., Siadat, S. A., Bakhshandeh, A., Ghasemi Pirbalouti, A., Hashemi, M., Maggi, F., and Morshedloo, M. R. 2018. Application of combined fertilizers improves biomass, essential oil yield, aroma profile, and antioxidant properties of *Thymus daenensis* Celak. Industrial Crops and Products 121: 434-440. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.05.048>.
19. Jamzad, Z. 2012. Labiateae family. No:76. Institute of Forests and Rangelands Research Publications. 1066 pp. (in Persian)
20. Mahdavi, S. Kh., Valizadeh, S., and Mahmoodi, J. 2014. The effect of phenological stages on the quantity and quality of *Ziziphora Clinopodioides* L. essential oil: Qasemloo Valley of Urmia. Journal of Range Management 1 (4): 70-83.
21. Maral, H., Taghikhani, H. Alpaslan, K. A. Y. A., and Kirici, S. 2015. The Effect of Different Levels of Altitudes on Composition and Content of Essential Oils of *Ziziphora Clinopodioides* in Southern of Turkey. Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi 1 (1): 1-6.
22. Moradi, R.; Alizadeh, M. A.; Hervan, E. M.; Shanjani, P. S.; Khaghani, S., and Jafari, A. A. 2019. Evaluation of shoot yield, agronomical traits and essential oil production in domestic populations of *Ziziphora* in Iran. Zeitschrift für Arznei- & Gewürzpflanzen 24 (2): 77-83.
23. Mozaffarian, V. 2009. A dictionary of Iranian plant names. Farhang Moaser publishers. 671 pp.
24. Rabiiei, M., Firoozi Ardestani, M., Asri, U., and Bakhshi khaniki, Gh. 2015. Phytochemical study of *Ziziphora clinopodioides* Lam. Oil in the natural habitats of Alborz and Mazandaran provinces. Journal of Plant Physiology 11 (3): 54-61.
25. Safaei, L., Sharifi ashoorabadi, E., Zeinali, H., and Mirza, M. 2012. The effect of different harvesting stages on aerial parts yield, essential oil percentage and main components of *Thymus daenensis* Celak. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 28 (2): 342-355.
26. Sajadi, A., Ghasemidehkordi, N., and Balochi, M. 2002. Examination of Constituent materials essential aerial organs plant *Ziziphora clinopodioides*. Journal Pajouhesh & Sazandegi 58: 97-100. (In Persian).
27. Salehi, P., Mirjalili, M. H., Hadian, J., Nejad Ebrahimi, S., and Yousef Zadi, M. 2006. Antibacterial Activity and composition of the Essential oil of *Ziziphora clinopodioides* subsp *bungeana* (JUZ). Rech.f. from Iran. Zeitschrift für Naturforschung C, 61: 677-680. <https://doi.org/10.1515/znc-2006-9-1011>.
28. Salehi, P., Sonboli, A., Eftekhari, F., Nejad-Ebrahimi, S., and Yousefzadi, M. 2005. Essential oil composition, Antibacterial and antioxidant activity of the oil and various extracts of *Ziziphora clinopodioides* subsp. *rigida* (Boiss.) Rech. F. from Iran. Journal of Biology Pharmacology Bulloten 28 (10): 1892-1896. <https://doi.org/10.1248/bpb.28.1892>.
29. Shafei, M., Sharifan, B., and Aghazade Meshki, M. 2012. Composition of essential oil of *Ziziphora clinopodioides* and its antimicrobial activity on *Kluyveromyces marxianus*. Food Technology and Nutrition 9 (1): 101-108.
30. Shaltouki, M., Nazeri, V., Shokrpour, M., Tabrizi, L., and Aghaei, F. 2021. Phenotypic and genotypic assessment of some Iranian *Ziziphora clinopodioides* Lam. Ecotypes. Journal of Agricultural Science and Technology 23 (3): 645-660
31. Sharopov, F. S., and Setzer, W. N. 2011. Chemical diversity of *Ziziphora clinopodioides*: composition of the essential oil of *Z. clinopodioides* from Tajikistan. Natural Product Communications 6 (5): 695-8. <https://doi.org/10.1177/1934578X1100600524>.
32. Sonboli, A., Atri, M., and Shafiei, S. 2010. Intraspecific variability of the essential oil of *Ziziphora clinopodioides* ssp. *rigida* from Iran. Chemistry and Biodiversity 7 (7): 1784-9. <https://doi.org/10.1002/cbdv.200900336>.
33. Verdian-Rizi, M. R. 2008. Essential oil composition and biological activity of *Ziziphora clinopodioides* Lam. from Iran. American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture 2 (1): 69-71.
34. Zarrabi, M. 1998. Botany, stratigraphy, analysis and identification of objects in the essential oil of *Ziziphora clinopodioides* subsp *rigida*. Department of Pharmacy, Tehran University of Medical Sciences. PhD Thesis.



Effect of Mycorrhizal Fungi Symbiosis and Foliar Application of Amino acids on Some Growth Traits and Pot Marigold Oil (*Calendula officinalis* L.)

M. Taheri Asghari^{1*}

Received: 26-09-2021
Revised: 20-12-2021
Accepted: 25-12-2021

How to cite this article:

Taheri Asghari, M. 2022. Effect of Mycorrhizal Fungi Symbiosis and Foliar Application of Amino acids on Some Growth Traits and Pot Marigold Oil (*Calendula officinalis* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 20 (1): 93-103. (in Persian with English abstract). DOI: [10.22067/jcesc.2021.72735.1092](https://doi.org/10.22067/jcesc.2021.72735.1092).

Introduction: The Food and Drug Administration has classified pot marigold as a GRAS (generally recognized as safe) substance. Foliar nutrition acts as an effective tool for nutrient management in plants, and foliar nutrition can be used successfully to address wide spread nutrient deficiencies, especially in critical plant growth stages. Plants are able to absorb amino acids, amides and many nitrogen compounds through their roots or leaves. Also, plant symbiosis with mycorrhizal fungi causes water absorption, nutrient uptake and growth under environmental stress. These fungi are able to symbiosis with the roots of most terrestrial plants.

Materials and Methods: In order to investigate the effects of foliar application of amino acids and mycorrhizal fungi symbiosis on quantitative and qualitative characteristics of *Calendula officinalis* L., a factorial layout has been conducted, based on a randomized complete block design with three replications at the research farm of Islamic Azad University, Takestan Branch during 2017-2018 and 2018-2019 growth seasons. Experimental factors included three species of mycorrhiza fungi (Control, *Glomus mosseae*, *G. etunicatum* and *G. intraradices*) and Soren amino acid levels (This commercial compound contains a variety of essential amino acids for the plant) included no foliar application and foliar application in two stages of stem and flowering. Land preparation was performed before planting. According to the experimental map, experimental plots were planted in six rows at a distance of 50 cm and a length of six meters and the distance between plants on the row was 20 cm. Before planting, based on soil test results, ammonium phosphate fertilizer (150 kg.ha⁻¹) and potassium sulfate fertilizer (100 kg. ha⁻¹) were used. Both fertilizers were mixed with soil along with one third of the nitrogen mountain from the urea source at the beginning of planting. Urea fertilizer at the rate of 100 kg.ha⁻¹ was applied and the remaining two thirds were applied as a road after the final thinning and before flowering.

Results and Discussion: The results showed that the application of amino acid and mycorrhizal fungus of *G. mosseae* species had a so significant increase in the percentage of root colonization compared to the treatment of not using mycorrhizal fungus and the application of amino acid. Foliar application of amino acid increased by 6% and use of mycorrhiza, *G. mosseae* in pot marigold, increased chlorophyll index treatment by 33%. The results also showed a 25% and 70% increase in oil percent and oil yield due to foliar application of amino acid and use of mycorrhiza, *G. mosseae* compared to non-use, foliar application of amino acid and mycorrhiza. The highest essential oil yield was obtained from *G. mosseae* treatment with a value of 7.74 kg.ha⁻¹. The results of analysis of variance showed that the interaction effect of foliar application of amino acid and mycorrhiza on the percentage and oil yield was significant at the level of five percent. The results showed a 25% and 70% increase in oil yield and yield due to foliar application of amino acid and mycorrhiza, respectively, of *G. mosseae* compared to non-foliar application of amino acid and mycorrhiza. Inoculation with *G. mosseae* and application of amino acid had the highest seed yield and this treatment showed a 24% increase compared to the control with the same mycorrhiza but without the use of amino acid.

Conclusion: Based on this study results, it can be said that inoculation of pot marigold with mycorrhizal fungus, especially *G. mosseae* species, it can be used to absorb nutrients for better growth of this plant, and foliar application of amino acids improves plant growth and development by providing nitrogen to the plant.

Keywords: Chlorophyll index, Mycorrhiza, Oil, Root colonization

1- Assistant Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran

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

DOI: [10.22067/jcesc.2021.72735.1092](https://doi.org/10.22067/jcesc.2021.72735.1092)

اثر همزیستی قارچ مایکوریزا و کاربرد برگی اسیدهای آمینه بر برخی صفات رشدی و روغن گیاه دارویی همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.)

مهدی طاهری اصغری^{*۱}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۰۴

چکیده

به منظور بررسی اثر محلول پاشی اسیدهای آمینه و همزیستی قارچ مایکوریزا بر صفات کمی و کیفی گیاه دارویی همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی با سه تکرار، طی سال‌های زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ و ۱۳۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان اجرا شد. عوامل آزمایشی شامل سه گونه قارچ مایکوریزا (شاهد، *Glomus mosseae*، *G. intraradices* و *G. etunicatum*) و سطوح اسید آمینه سورن (این ترکیب تجاری حاوی انواع اسید آمینه‌های ضروری برای گیاه است) شامل بدون محلول پاشی و محلول پاشی در دو مرحله ساقه‌دهی و گل‌دهی بود. نتایج نشان داد که کاربرد اسید آمینه و قارچ مایکوریزا گونه *G. mosseae* نسبت به تیمار عدم استفاده از قارچ مایکوریزا و کاربرد اسید آمینه افزایش بسیار معنی داری در درصد کلونیزاسیون ریشه داشت. کاربرد *G. mosseae* در همیشه بهار باعث افزایش ۳۳٪ شاخص کلروفیل شد. همچنین نتایج نشان دادند درصد و عملکرد روغن در اثر کاربرد برگی اسید آمینه و استفاده از *G. mosseae* به ترتیب به میزان ۲۵٪ و ۷۰٪ نسبت به تیمار عدم استفاده از اسید آمینه و مایکوریزا افزایش یافت. بیشترین عملکرد اسانس نیز از تیمار *G. mosseae* با مقدار ۷/۷۴ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. به طور کلی، نتایج نشان داد که تلقیح گیاه دارویی همیشه بهار با قارچ مایکوریزا به ویژه گونه *mosseae* می‌تواند در جذب عناصر غذایی در جهت رشد بهتر این گیاه استفاده شود و کاربرد برگی اسید آمینه با در اختیار قرار دادن نیتروژن برای گیاه، روند رشد و توسعه گیاه را بهبود بخشد.

واژه‌های کلیدی: روغن، شاخص کلروفیل، کلونیزاسیون ریشه، مایکوریزا

مقدمه

محلول پاشی اسیدهای آمینه با افزایش در جذب عناصری چون نیتروژن، فسفر، پتاسیم و عناصر کم مصرف باعث افزایش رشد و عملکرد در گیاه ذرت گردیده است. البته این روش جایگزینی کامل برای کاربرد خاکی کود نیست. علی‌رغم وجود محدودیت، تغذیه برگی به عنوان یک ابزار کارآمد برای مدیریت مواد مغذی در گیاهان عمل کرده و برای مقابله با کمبودهای گسترده مواد مغذی به ویژه در مراحل حساس رشد گیاهان، تغذیه برگی می‌تواند با موفقیت مورد استفاده قرار گیرد (Krishnasree et al., 2021). اسیدهای آمینه از طریق ریشه نیز جذب گیاه می‌شوند. غلظت اسیدهای آمینه در خاک به طور طبیعی، از طریق جذب و رهاسازی (تراوش) هر دو، توسط ریشه گیاهان، میکروارگانیسم‌های مختلف همزیست و آزادزی کنترل شود (Nasholm et al., 2009). آن‌ها بیان کردند که که نرخ جذب اسیدهای آمینه احتمالاً کمتر از NH_4 است اما بیشتر از NO_3 برای اکثر گونه‌های گیاهی مورد مطالعه تا به امروز است. اسیدهای آمینه در سطح سلولی دارای پروتئین‌های ناقل ویژه بوده که از آن طریق امکان جذب و انتقال را دارند. از دیگر فعالیت‌های مدیریتی که برای رشد و نمو و تغذیه گیاهان می‌توان مورد استفاده قرار داد، کاربرد قارچ‌های

گیاه همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.)، به دلیل خواص درمانی آن به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است (Gunes et al., 2020). سازمان غذا و داروی آمریکا^۲ گیاه همیشه بهار را به عنوان ماده GRAS^۳ (به طور کلی بی خطر) طبقه‌بندی کرده است (Slavov et al., 2020). با این حال، ایجاد شرایط برای رشد مناسب، باید در تغذیه این گیاه دقت نظر داشت. از طرفی با توجه به استفاده دارویی از این گیاه، کاهش استفاده از سموم و کودهای شیمیایی در رشد و نمو گیاه هدف به زراعی در این گیاه می‌تواند باشد. در این راستا یکی از فعالیت‌هایی که می‌توان انجام داد، محلول پاشی با اسیدهای آمینه است، به طوری که پور یوسف و شهروان (Pouryousef and Shahravan, 2014) نیز بیان داشتند که

۱- استادیار، گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: m.taheri.asghari@gmail.com)

DOI: 10.22067/jcesc.2021.72735.1092

2- Food and Drug Administration

3- Generally recognized as safe

مختلف گیاه دارویی همیشه بهار در پزشکی از جمله خاصیت آن در ترمیم زخم، فعالیت تحریک کننده سیستم ایمنی و فعالیت آنتی اکسیدانی، ضد باکتری و قارچ و غیره به عنوان ماده اولیه در بسیاری از داروها از جمله قطره کالاندولا، کرم موضعی کالاندولا، پماد رکوبیزول روغن کالاندولا و غیره مورد استفاده قرار می گیرد، بنابراین استفاده از ماده خام با مصرف کمتر کودهای شیمیایی می تواند در سلامت محصول تولیدی مهم باشد. از سویی دیگر، در مناطق مختلف ایران شرایط آب و هوایی، امکان کشت این گیاه را فراهم می آورد و می توان برای تولید محصولات دارویی و صادرات آن ها اقدام کرد. در این تحقیق به اثر محلول پاشی با اسید آمینه سورن و همزیستی گونه های قارچ مایکوریزا بر برخی صفات رشدی و روغن گیاه دارویی همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) پرداخته شده است.

مواد و روش ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی با سه تکرار، طی سال های زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ و ۱۳۹۸-۱۳۹۹ در زمین های دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۴۲ دقیقه شرقی و ۱۲۶۵ متر ارتفاع از سطح دریا اجرا شد. عوامل آزمایش شامل سطوح مختلف قارچ مایکوریزا (*Glomus mosseae*، *G. intraradices* و *G. etunicatum* و شاهد) که از کلینیک گیاه پزشکی ارگانیک واقع در اسدآباد همدان تهیه شده که در هر گرم آن، تعداد ۱۲۰ اسپور قارچ مایکوریزا وجود داشت و سطوح اسید آمینه سورن شامل بدون محلول پاشی و محلول پاشی در دو مرحله ساقه دهی و گل دهی بود. میزان مصرف به صورت یک کیلوگرم در هکتار با توجه به توصیه شرکت سازنده (به صورت پودری و محصول کمپانی GPPW سوئیس و تولید شرکت Biomega یونان) بود که خریداری و مصرف شد. برخی ویژگی های خاک محل آزمایش و اسید آمینه سورن مورد استفاده در آزمایش، در جدول های ۱ و ۲ آورده شده است.

مایکوریزایی است. همزیستی گیاه با قارچ های مایکوریزا باعث جذب آب، جذب مواد مغذی و رشد تحت شرایط تنش محیطی می شود (Zhang et al., 2019). دیانگ و همکاران (Diagne et al., 2020) نیز اظهار داشتند که قارچ های مایکوریزی (AM) می توانند رابطه همزیستی با اکثر گیاهان برقرار کنند. همزیستی گیاه و قارچ های همزیست خاکری مانند مایکوریزا، راهکار مفیدی در جهت افزایش مواد آلی خاک، تقویت جوامع میکروبی، افزایش کارایی مصرف نهاده های کشاورزی به ویژه آب آبیاری و در نهایت بهبود عملکرد کمی و کیفی گیاهان محسوب می شود (Aqhawani Shajari et al., 2015). هازومی و همکاران (Hazzoumi et al., 2015) گزارش دادند که دلیل سودمندی مایکوریزا در این است که باعث تغییر در سوخت و ساز گیاه شده و این تغییرات، باعث تولید ترکیبات دفاعی در گیاه می گردد. همچنین این قارچ ها با بهبود روابط تغذیه ای و آبی گیاهان از طریق تغییر در مورفولوژی ریشه گیاه و افزایش سطح جذب، سبب بهبود رشد آن ها می شوند. با همزیستی که بین مایکوریزا و ریشه گیاهان ایجاد می شود، مایکوریزا با استفاده از قندهای فتوسنتزی تولیدی توسط گیاه، رشد و تکثیر می یابد و در مقابل باعث افزایش رشد گیاه از طریق افزایش جذب مواد غذایی، تحریک سنتز مواد تنظیم کننده رشد داخلی و افزایش راندمان فتوسنتزی می شود (Rekha et al., 2009). پژوهش محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2013) که بر روی گیاه همیشه بهار انجام شد، بیان داشتند که تلقیح گیاهان با قارچ میکوریزا همراه یا بدون کاربرد فلزهای سنگین منجر به بهبود رشد و عملکرد گیاه شد. همچنین صوری و یار احمدی (Souri and Yarahmadi, 2015) بیان کردند که برای رشد بهینه گیاه همیشه بهار به جای مصرف خاکی کودهای شیمیایی از چهار بار محلول پاشی آمینو کالت ها استفاده کرد. گیاه دارویی همیشه بهار در کشورهای آلمان، استرالیا، چک، اتریش، سوئیس، مجارستان و اخیراً در مصر و سوریه به عنوان گیاهی دارویی کشت می شود. کشورهای صادر کننده آن شامل مصر، لهستان و مجارستان هستند. اما کشورهای اصلی عرضه کننده این گیاه اسپانیا، پرتغال، الجزائر، تونس، یوگسلاوی، مجارستان، بلغارستان، سوریه و مصر می باشد (Amouii et al., 2017). با توجه به کاربردهای

جدول ۱- برخی ویژگی های شیمیایی خاک مزرعه از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی متر
Table 1- Selected chemical properties of farm soil from a depth of 0 to 30 (cm) used

بافت خاک Soil texture	ماسه Sandy	سیلت Silt	رس Clay	پتاسیم K	فسفر P	نیتروژن N	کربن آلی Organic carbon	مواد خنثی شونده Neutralizing materials	هدایت الکتریکی خاک EC (dS.m ⁻¹)	pH
	(%)			(mg.kg ⁻¹)			(%)			
لوم رسی شنی Sandy clay loam	57	20	23	134	6.2	0.03	0.28	5.6	2.48	7.4

جدول ۲- مشخصات اسید آمینه‌های آمینو سورن (پودری) (Torabahmadi et al., 2019)

Table 2- Characteristics of the amino acid Soren (powder)					
g.100 ⁻¹ g protein		نام اسید	g.100 ⁻¹ g protein		نام اسید آمینه
		Name of amino acid			Name of amino acid
3.6	leucine	لیسین	8.9	Alanine	آلانین
4.4	lysine	لیزین	7	Arginine	آرژینین
1.5	Methionine	متیونین	6.3	Aspartic Acid	اسید آسپارتیک
2.5	Phenylalanine	فیل آلانین	0.3	cysteine	سیستئین
11	Proline	پرولین	12.5	Glutamic Acid	اسید گلوتامیک
3.4	Serine	سرین	20	Glycine	گلیسین
2.1	Threonine	تروئونین	1.7	Histidine	هیستیدین
1.3	Tyrosine	تیروزین	8.8	Hydroxiprolin	هیدروکسی پرولین
3.2	Valine	والین	1.5	Isoleucine	ایزولوسین

اتوکلاو، نمونه‌ها ۳ الی ۴ بار با آب معمولی شسته شدند. سپس ریشه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در محلول آب اکسیژنه دو درصد قرار گرفتند. پس از آن، مجدداً نمونه‌ها با آب معمولی شسته شده و سپس به مدت یک دقیقه در داخل اسید کلریدریک ۱٪ غوطه‌ور شدند. بعد از خارج کردن نمونه‌ها از اسید، در محلول تریپان بلو (به نسبت ۱:۱:۱ اسید لاکتیک- گلیسرول- آب مقطر و ۰/۰۵ درصد وزنی- حجمی تریپان بلو) به مدت ۴۸ ساعت در دمای اتاق قرار گرفتند. پس از این مدت، ریشه‌ها از محلول تریپان بلو خارج شده و با استفاده از روش (Kormanik and McGraw, 1982) درصد کلونیزه شدن ریشه مشخص شد. تعدادی از این ریشه‌ها به صورت تصادفی انتخاب شده و با میکروسکوپ نوری مورد بررسی قرار گرفتند و با استفاده از رابطه (۱) درصد کلونیزاسیون تعیین شد.

$$(۱) \quad \text{درصد کلونیزاسیون} = \frac{\text{تعداد قطعات ریشه آلوده شده به قارچ}}{\text{تعداد کل قطعات ریشه مطالعه شده}} \times 100$$

جهت اندازه‌گیری شاخص کلروفیل برگ با استفاده از دستگاه کلروفیل متر دستی مدل (SPAD-502) در مرحله گل‌دهی انجام شد. برای این منظور پس از قرائت عدد دستگاه در برگ‌های ۳ بوته (با استفاده از برگ‌های کاملاً توسعه‌یافته) و برگ‌های مربوط به هر واحد آزمایشی، میانگین آن به عنوان شاخص کلروفیل برگ برای هر تیمار ثبت شد (Hamzei and Salimi, 2014). به منظور تعیین عملکرد دانه، از مساحت ۲ متر مربع کرت‌ها و با در نظر گرفتن اثر حاشیه، بوته‌ها کف بر شده (در انتهای مرحله گلدهی و رسیدگی دانه‌ها) و صفت عملکرد دانه اندازه‌گیری شد. برای اسانس‌گیری از روش تقطیر (با استفاده از دستگاه کلونجر) با آب و با استفاده از گل‌ها انجام گرفت. گل‌های کامل هر کرت پس از اعمال محلول‌پاشی و در سه چین انتهایی تیر، مرداد و شهریور برداشت و با هم مخلوط شد و برای اسانس‌گیری مورد استفاده قرار گرفتند. مقدار ۲۵ گرم گل پس از توزین دقیق و خرد کردن، به همراه ۶۰۰ میلی‌لیتر آب به بالن ۱۰۰۰ میلی‌لیتری منتقل شد. دما در ابتدای کار بین ۱۳۰ تا ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد و پس از جوش آمدن محلول، دما در ۱۰۰

عملیات آماده‌سازی زمین با انجام شخم، دیسک و ماله، قبل از کاشت صورت گرفت. با توجه به نقشه آزمایش، کرت‌های آزمایشی به صورت شش ردیف کاشت به فاصله ۵۰ سانتی‌متر و به طول شش متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف نیز ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. قبل از عملیات کاشت بر اساس نتایج آزمون خاک، از کود فسفات آمونیوم به مقدار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و از کود سولفات پتاسیم به مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شد و هر دوی این کودها به همراه یک سوم کود نیتروژنه از منبع اوره در ابتدای کاشت با خاک مخلوط شدند. کود اوره به میزان ۱۰۰ کیلو گرم در هکتار استفاده شد و دو سوم باقی‌مانده پس از تنک نهایی و قبل از گلدهی به صورت سرک داده شد.

عملیات کاشت در ۱۵ اردیبهشت‌ماه هر دو سال انجام شد. بذور مورد استفاده از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد و پس از ضدعفونی مورد استفاده قرار گرفت. برای چسبندگی بهتر بذرها با مایه تلقیح قارچ مایکوریزا (مایه تلقیحی به شکل پودر است) (از مؤسسه تحقیقات خاک و آب تهیه گردید) از صمغ عربی استفاده شد (Khoramdel et al., 2008). پس از ۱۰ دقیقه و اطمینان از اختلاط با قارچ، بذرها به مدت یک ساعت در سایه خشک شدند و پس از آن، عملیات کاشت به سرعت انجام شد. صفات درصد کلونیزاسیون ریشه، شاخص کلروفیل، عملکرد دانه، عملکرد اسانس، شاخص سطح برگ، طول ساقه گل‌دهنده، درصد روغن، عملکرد روغن، تعداد شاخه جانبی و قطر گل اندازه‌گیری شد.

جهت اندازه‌گیری درصد کلونیزاسیون ریشه، ریشه‌های نازک و جوان، در مرحله گل‌دهی، انتخاب شده و در مخلوط آب مقطر و الکل اتیلیک قرار گرفت (Arjmand Alavi et al., 2014). ریشه‌ها پس از خارج شدن از مخلوط ۵۰٪ آب مقطر و ۵۰٪ الکل اتیلیک، ۳ الی ۴ بار با آب معمولی شستشو شدند. آن‌گاه به مدت نیم ساعت در داخل هیدروکسید پتاسیم ۸ تا ۱۰٪ به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار گرفته و به مدت ۱۵ دقیقه در داخل اتوکلاو در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱/۲ اتمسفر قرار داده شدند. پس از خروج از

نتایج و بحث

درصد کلونیزاسیون ریشه

در بررسی صفت کلونیزاسیون ریشه مشخص شد که اثر متقابل اسید آمینه و مایکوریزا بر این صفت در سطح یک درصد معنی دار شد و اثر سال معنی دار نشد. نتایج نشان داد که کاربرد اسید آمینه و قارچ مایکوریزا گونه *G. mosseae* نسبت به تیمار عدم استفاده از قارچ مایکوریزا و کاربرد اسید آمینه افزایش بسیار معنی داری در درصد کلونیزاسیون ریشه داشت (جدول ۳). در بین دیگر گونه‌های مایکوریزای مورد استفاده در این آزمایش *G. etunicatum* دارای کمترین مقدار در این صفت بود. صفری سنجانی و الیاسی یگانه (Safari Sinegani and Elyasi Yeganeh, 2017) نشان دادند که *C. officinalis* دارای درصد کلونیزاسیون بالایی است. در پژوهشی که ملکی و همکاران (Maleki et al., 2014) انجام دادند، بیشترین درصد کلونیزاسیون ریشه در سطح مصرف مایکوریزا *G. mosseae* (۴۴/۵۶٪) بود که در حدود ۱۱/۱٪ بیشتر از مصرف مایکوریزا *G. intraradices* (۴۰/۱٪) گزارش کردند. در پژوهش حمزه‌ای و سلیمی (Hamzei and Salimi, 2014) گونه *G. mosseae* درصد کلونیزاسیون ریشه بالاتری نسبت به شاهد (بدون تلقیح) و گونه *G. intraradices* نشان داد. در پژوهش دیگری که خیری و همکاران (Kheiri et al., 2020) انجام دادند، بیان داشتند که بیشترین درصد کلونیزاسیون با ریشه همیشه بهار در گونه *G. intraradices* بوده که از نظر آماری با گونه‌های *G. mosseae* و *G. geosporum* اختلاف معنی داری نداشت.

درجه ساتی گراد ثابت نگداری شد. بعد از اتمام اسانس گیری، به جداسازی اسانس و توزین آن با ترازوی با دقت بالا اقدام شد (Omidbeigi, 2000). عملکرد اسانس با ضرب کردن درصد اسانس در عملکرد خشک گل تقسیم بر ۱۰۰ به دست آمد و به صورت کیلوگرم در هکتار بیان شد. برای محاسبه شاخص سطح برگ (LAI) در مرحله شروع گل دهی اقدام شد و مساحت برگ‌ها به روش وزنی محاسبه شد. برای تعیین شاخص سطح برگ از رابطه (۲) استفاده شد که در آن A سطح نمونه برداری و LA سطح برگ می باشد (Soleimani, 2015).

$$LAI = \frac{1}{A} \times LA \quad (2)$$

برای تعیین درصد روغن دانه از دستگاه سوکسله و با استفاده از حلال دی اتیل اتر انجام شد. از هر کرت ۱۰ گرم دانه‌ی خشک انتخاب و آسیاب شد. سپس ۲ گرم آن را داخل کارتوش دستگاه ریخته و حلال دی اتیل اتر بر روی نمونه ریخته و توسط هیتر حرارت داده شد. برای هر نمونه ۴ تا ۵ ساعت زمان مورد نیاز است. روغن استخراج شده از نمونه ۲۴ ساعت در دستگاه آون به در دمای ۷۰ درجه ساتی گراد قرار داده شد تا دی اتیل اتر باقیمانده تبخیر گردد. سپس روغن استخراج شده با استفاده از ترازوی با دقت ۰/۰۱ توزین و میزان روغن در ۱۰۰ گرم نمونه محاسبه شد. عملکرد روغن نیز از حاصل ضرب درصد روغن و عملکرد دانه، محاسبه شد (Rahmani et al., 2008). نتایج حاصل توسط نرم افزار SAS (نسخه 9.1.3) به صورت مرکب مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مقایسه میانگین‌ها نیز با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

جدول ۳- اثر برهم کنش تیمارهای اسید آمینه و مایکوریزا بر برخی صفات گیاه همیشه بهار

Table 3- Interaction of amino acid and mycorrhiza treatments on some traits of *calendula officinalis*

	درصد کلونیزاسیون ریشه Root colonization percentage (%)	عملکرد بذر Seed yield (kg.ha ⁻¹)	طول ساقه گل دهنده Lenght of flower stem (cm)	درصد روغن Oil percentage (%)	عملکرد روغن Oil yield (kg.ha ⁻¹)
شاهد (Control)	3.50 c	926.67 d	20.73 c	17.05 c	158.43 d
شاهد (Control)	<i>G. mosseae</i> 50.83 a	1793.83 a	23.03 a	22.46 a	402.96 a
	<i>G. etunicatum</i> 40.83 b	1167.17 c	21.76 b	21.36 b	249.33 c
	<i>G. intradices</i> 44.16 b	1343.83 b	21.73 b	21.91 ab	294.71 b
کاربرد	شاهد (Control) 4.66 d	1624.00 d	21.65 c	18.18 c	295.88 d
اسید آمینه	<i>G. mosseae</i> 59.83 a	2343.83 a	24.26 a	22.65 a	531.15 a
Amino acid	<i>G. etunicatum</i> 40.16 c	1963.33 c	22.71 b	21.41 b	420.35 c
application	<i>G. intradices</i> 47.33 b	2170.83 b	23.78 a	22.31 a	484.56 b

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون اختلاف معنی داری 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.

محلول پاشی اسید آمینه نسبت به عدم کاربرد افزایش نشان می‌دهد.

شاخص سطح برگ

نتایج نشان داد که اثر کاربرد اسید آمینه و قارچ مایکوریزا بر صفت شاخص سطح برگ در سطح یک درصد معنی دار شد. با بررسی نتایج

چنین می‌توان بیان کرد که قبل از مصرف و در دسترس بودن اسیدهای آمینه، قارچ با ریشه گیاهان شروع به همزیستی کرده و کاربرد اسید آمینه، سبب هم‌افزایی در گیاه همیشه بهار در جهت بهبود درصد کلونیزاسیون ریشه این گیاه شده است به طوری که در گونه *G. mosseae* درصد کلونیزاسیون ریشه حدود ۱۵٪ در تیمار کاربرد

گونه‌ی *G. intraradices* بوده که البته گونه‌ی *G. mosseae* با اختلاف کمی، دارای مقدار بیشتری بود. به نظر می‌رسد با افزایش مواد مغذی اسید آمینه، آسمیلاسیون آمونیاک باعث افزایش رشد برگ و سپس افزایش شاخص سطح برگ می‌شود. افزایش شاخص سطح برگ با افزایش فتوسنتز خالص مرتبط است که در نهایت منجر به افزایش وزن خشک گیاه می‌شود.

طول ساقه گل‌دهنده، تعداد شاخه‌های جانبی و قطر گل

بررسی نتایج نشان داد که اثر برهم‌کنش کاربرد برگی اسید آمینه و میکوریزا بر صفت طول ساقه گل‌دهنده در سطح پنج درصد معنی‌دار شد. نتایج نشان‌دهنده این است که کاربرد اسید آمینه و گونه‌ی *G. mosseae* با مقدار ۲۴/۲۶ سانتی‌متر دارای بیشترین طول ساقه گل‌دهنده بوده و نسبت به تیمار بدون تلقیح و کاربرد اسید آمینه ۱۱٪ افزایش و نسبت به تیمار عدم کاربرد اسید آمینه و میکوریزا (شاهد) ۱۵٪ افزایش را نشان داد (جدول ۳). در بررسی نتایج مشخص گردید که اثر کاربرد برگی اسید آمینه و اثر میکوریزا بر صفت تعداد شاخه‌های جانبی و قطر گل در سطح یک درصد معنی‌دار شد.

مشخص شد که کاربرد اسید آمینه (۲۱/۰) باعث افزایش شاخص سطح برگ شد، به‌طوری‌که این صفت نسبت به تیمار عدم کاربرد اسید آمینه (۱۹/۰) حدود ۱۰٪ افزایش را نشان داد (جدول ۴). همچنین گونه‌ی *G. mosseae* باعث بیشترین مقدار در صفت شاخص سطح برگ شد که نسبت به تیمار گونه‌ی *G. intraradices* حدود ۸٪ افزایش و نسبت به تیمار شاهد (بدون کاربرد میکوریزا) ۴۰٪ افزایش را نشان داد (جدول ۴).

در پژوهشی که توسط رضاخانی و حاج سید هادی (Rezakhani and Haj Seyed Hadi, 2017) انجام شد، کاربرد محلول‌پاشی اسید آمینه هیومی فورته باعث افزایش ۴۳/۸۲٪ شاخص سطح برگ در گیاه گشنیز شد. اسیدهای آمینه می‌توانند به‌عنوان منبعی برای نیتروژن بوده و در تولید پروتئین و کلروفیل در گیاه اثر گذاشته و نتیجتاً باعث افزایش در سطح برگ و نورساخت گیاهان گردند (Ghazi Manas et al., 2013). در پژوهشی که توسط رفیعی و همکاران (Rafiee et al., 2013) انجام شد، کاربرد اسید آمینه اثر معنی‌داری بر شاخص سطح برگ گیاه همیشه بهار داشت. نتایج پژوهش رحیمی و همکاران (Rahimi et al., 2016) نیز نشان داد که بیشترین شاخص سطح برگ در گیاه گاو زبان (*Borago officinalis* L.) مربوط به کاربرد میکوریزا گونه‌ی *G. mosseae* و

جدول ۴- اثر کاربرد تیمارهای اسید آمینه و میکوریزا بر برخی صفات گیاه همیشه بهار

Table 4- Effect of application of amino acid and mycorrhiza treatments on some traits of *calendula officinalis*

		شاخص کلروفیل	عملکرد اسانس	شاخص سطح برگ	تعداد شاخه جانبی	قطر گل
		Chlorophyll index	Essential oil yield (kg.ha ⁻¹)	LAI	Number of lateral branches	Flower diameter (cm)
سال	1	39.54 a	5.59 a	0.21 a	4.78 a	4.92 a
	2	39.37 a	5.80 a	0.20 a	4.90 a	5.04 a
اسید آمینه	عدم استفاده	38.29 b	5.35 b	0.19 b	4.62 b	4.62 b
	کاربرد اسید آمینه	40.62 a	6.04 a	0.21 a	5.06 a	5.34 a
میکوریزا	عدم استفاده	34.33 d	6.08 b	0.15 d	3.44 d	3.25 d
	<i>G. mosseae</i>	44.41 a	7.74 a	0.25 a	5.88 a	5.96 a
	<i>G. etunicatum</i>	37.33 c	3.84 d	0.17 c	4.65 c	5.96 c
	<i>G. intradices</i>	41.75 b	5.13 c	0.23 b	5.38 b	5.56 b

میانگین‌های 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.

بیشترین تعداد شاخه فرعی در بوته (۱۴/۰۸ عدد) در گیاه ریحان سبز با محلول‌پاشی توام اسید آمینه آمینول فورته و هیومی فورته به‌دست آمد. همچنین صوری و یاراحمدی (Souri and Yarahmadi, 2015) گزارش دادند که بیشترین طول ساقه گل‌دهنده (۲۴/۱ سانتی‌متر) در همیشه بهار از تیمارهای محلول‌پاشی با اسید آمینه دلفن‌پلاس و کاربرد خاکی NPK به‌دست آمد که با تیمار شاهد، تفاوت معنی‌دار بود. نتایج پژوهش صوری و یاراحمدی (Souri and

کاربرد برگی اسید آمینه باعث افزایش به‌ترتیب ۹٪ و ۱۳٪ در مقدار صفات تعداد شاخه‌های جانبی و قطر گل نسبت به شاهد شد و همچنین گونه‌ی *G. mosseae* اثر بیشتری نسبت به کاربرد برگی اسید آمینه در این صفات داشته و باعث افزایش ۴۱ درصدی در صفت تعداد شاخه‌های جانبی و افزایش ۴۵٪ قطر گل نسبت به شاهد شد (جدول ۴).

صبوری و همکاران (Saburi et al., 2014) نشان دادند که

فتمی و همکاران (Fathi et al., 2020) نشان دادند که اسیدهای آمینه با افزایش میزان نیتروژن، پتاسیم و فسفر در گیاه، باعث افزایش میزان رنگیزه‌ها (کلروفیل) شده که به دنبال توانایی جذب نور خورشید، تولید مواد فتوسنتزی و در نهایت باعث بهبود رشد و عملکرد گیاه می‌شود. در مطالعه دیگری نیز کاربرد اسیدهای آمینه منجر به افزایش کلروفیل شد (Faten et al., 2010). آمینو اسیدها و مایکوریزا باعث افزایش میزان کلروفیل در گیاه و در نتیجه افزایش میزان فتوسنتز و ساخت کربوهیدرات‌ها شده و در نتیجه وزن تر و خشک گیاه افزایش می‌یابد که احتمالاً می‌توان یک هم افزایی در بین تیمارها را بر این صفت مشاهده کرد که نتیجه آن افزایش عملکرد در گیاه خواهد بود.

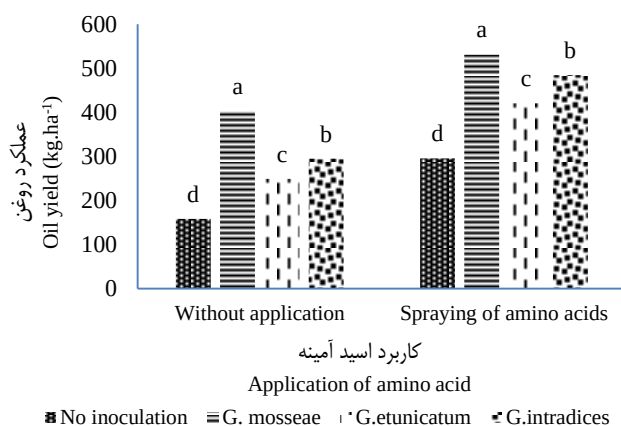
درصد و عملکرد روغن

با بررسی نتایج جدول تجزیه واریانس مشخص گردید که اثر برهم‌کنش کاربرد برگی اسید آمینه سورن و مایکوریزا بر درصد و عملکرد روغن در سطح پنج درصد معنی‌دار شد. نتایج نشان‌دهنده افزایش به ترتیب ۲۵ و ۷۰ درصدی در درصد و عملکرد روغن در اثر کاربرد برگی اسید آمینه و استفاده از مایکوریزا، گونه‌ی *G. mosseae* نسبت به عدم استفاده از کاربرد برگی اسید آمینه و مایکوریزا بود (جدول ۳ و شکل ۱ و ۲). رحمانی و همکاران (Rahmani et al., 2008) بیان کردند که بیشترین عملکرد روغن با ۳۷۷/۴ کیلوگرم در هکتار از کاربرد ۹۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و بیشترین درصد روغن نیز به میزان ۲۲/۶٪ از کاربرد ۶۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن به‌دست آمد. در تحقیقی نشان داده شد که تلقیح با قارچ مایکوریزا، بیوسولفور و ترکیب دوگانه مایکوریزا و بیوسولفور با کتان در مقایسه با شاهد، عملکرد روغن را به ترتیب به میزان ۳۲، ۲۸ و ۳۱ درصد افزایش داد (Rahimi et al., 2019). آبیاری پس از ۹۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر و کاربرد قارچ گونه‌ی *G. mosseae* ۴۷ درصد میزان روغن دانه گیاه گاو زبان را نسبت به آبیاری پس از ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از سطح تشتک تبخیر و عدم کاربرد مایکوریزا را افزایش داد (Rahimi et al., 2017). نتایج نشان داد که عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن با این که در ساختمان روغن همیشه بهار وجود ندارد، اما سبب افزایش درصد روغن شد. زیرا روغن این گیاه در درون کیسه‌های روغن موجود در میوه‌ها وجود دارد و نیتروژن با افزایش این کیسه‌ها و بدون آن که در ساختمان روغن نقشی داشته باشد سبب افزایش روغن شده است (Rahmani et al., 2008). محققان بیان کردند که در ابتدا کربوهیدرات‌ها تجمع می‌یابند و سپس این ماده به روغن و پروتئین و یا هر ماده دیگر تبدیل می‌شود. پس هرچه طول مدت پر شدن دانه بیشتر باشد درصد روغن نیز بالاتر خواهد بود (Rahimi et al., 2019). به نظر می‌رسد که کاربرد برگی اسید آمینه و تلقیح با مایکوریزا، طول دوره رشد گیاه و همچنین طول دوره پر شدن دانه‌ها را افزایش داده و امکان تبدیل بیشتر ترکیبات تولیدی به روغن را فراهم ساخته است.

Yarahmadi, 2015) نشان داد که بیشترین قطر گل در همیشه‌بهار (۳/۱ سانتی‌متر) از تیمار اسیدآمینه دلفن پلاس با چهار بار محلول‌پاشی مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با دیگر تیمارها نشان داد. رحیمی و همکاران (Rahimi et al., 2016) با آزمایش خود بر گیاه دارویی گاو زبان (*Borago officinalis* L.) گزارش دادند که بیشترین تعداد شاخه فرعی مربوط به کاربرد مایکوریزا گونه‌ی *G. mosseae* بوده است. همچنین محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2013) در آزمایش خود بر روی گیاه همیشه‌بهار اظهار داشتند که قطر گل به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر قارچ مایکوریزا قرار گرفت. تامین نیتروژن، که از طریق کاربرد برگی اسیدآمینه می‌توان ایجاد کرد، موجب تحریک رشد گیاه و افزایش در تعداد ساقه‌های فرعی شده و از طرفی فعالیت مایکوریزا و افزایش جذب بسیاری از عناصر مهم از جمله فسفر، منجر به بهبود میزان فتوسنتز در گیاه و افزایش رشد و افزایش تعداد ساقه می‌گردد. این افزایش در طول ساقه گل‌دهنده و تعداد شاخه‌های جانبی را می‌توان به وجود ارتباط تنگاتنگ و مثبت که اغلب در بین میزان فتوسنتز خالص و مواد غذایی برگ‌ها است، نسبت داد.

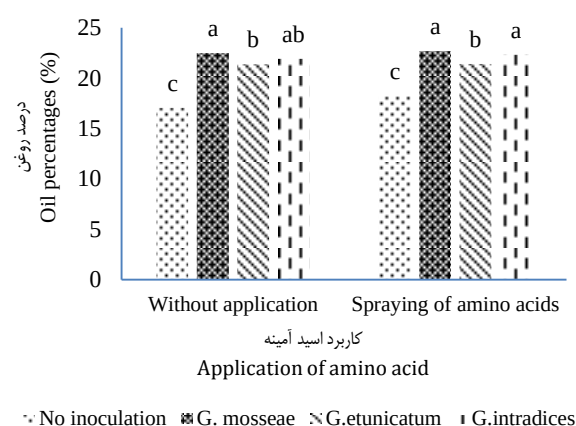
شاخص کلروفیل

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد اثر کاربرد برگی اسیدآمینه و اثر مایکوریزا بر صفت شاخص کلروفیل در سطح یک درصد معنی‌دار شد. نتایج نشان‌دهنده افزایش شش درصدی شاخص کلروفیل در اثر کاربرد برگی اسید آمینه بوده و استفاده از مایکوریزا و گونه‌ی *G. mosseae* باعث افزایش ۳۳٪ این صفت شد و بیان‌کننده تاثیر بیشتر مایکوریزا نسبت به کاربرد برگی اسیدآمینه در افزایش این شاخص است (جدول ۴). یکی از مهم‌ترین نقش‌های مایکوریزا افزایش محتوای کلروفیل است (Gogoi and Sint, 2011). گزارش شده است که مایکوریزا فتوسنتز گیاه را افزایش داده و بنابراین، نسبت ذخیره‌سازی و انتقال مواد در همان زمان افزایش پیدا می‌کند که احتمالاً دلیل این امر افزایش غلظت کلروفیل در گیاهان مایکوریزایی است (Auge, 2001). در پژوهشی که خیری و همکاران (Kheiri et al., 2020) انجام دادند، با بررسی نه گونه قارچ مایکوریزا بر گیاه همیشه بهار، بیان کردند که *G. mosseae* تأثیر مثبتی بر بهبود رنگیزه‌های فتوسنتزی داشت، به‌طوری‌که میزان کلروفیل کل در تلقیح با آن نسبت به تیمار شاهد ۶۸ درصد افزایش یافت. مقدسان و همکاران (Moghadasan et al., 2016) نیز بیان کردند که استفاده از قارچ‌های مایکوریزا موجب افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی نسبت به گیاهان غیر مایکوریزایی در گیاه همیشه‌بهار شد. مایکوریزا باعث افزایش در سطح جذب عناصری همچون نیتروژن، آهن و منیزیم شده و با توجه به این که این عناصر نقش مهمی در ساختمان کلروفیل دارند، احتمالاً باعث افزایش معنی‌داری در میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی می‌شوند (Chaudhary et al., 2007).



شکل ۲- اثر برهم کنش سطوح مختلف اسید آمینه و مایکوریزا بر عملکرد روغن همیشه بهار. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند

Figure 2- Effect of interaction of different levels of amino acids and mycorrhiza on the oil yield of pot marigold. Columns with at least one common letter are not significantly different from Duncan's multiple range test at the 5% probability level



شکل ۱- اثر برهم کنش سطوح مختلف اسید آمینه و مایکوریزا بر درصد روغن همیشه بهار. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Figure 1- Effect of interaction of different levels of amino acids and mycorrhiza on the percentage of pot marigold oil. Columns with at least one common letter are not significantly different from Duncan's multiple range test at the 5% probability level

عملکرد بذر

اثر تیمارهای محلول‌پاشی برگی اسید آمینه و مایکوریزا و برهم کنش آن‌ها بر صفت عملکرد بذر به ترتیب در سطح یک درصد و پنج درصد معنی‌دار شد. تلقیح با گونه *G. mosseae* و کاربرد اسید آمینه دارای بیشترین عملکرد بذر بود و این تیمار نسبت به شاهد با همین مایکوریزا ولی بدون کاربرد اسید آمینه ۲۴ درصد افزایش را نشان داد (جدول ۳). وهبا و همکاران (Wahba et al., 2015) بیان کردند که استفاده از انواع اسیدهای آمینه عملکرد بذر را در گیاه گزنه (*Urtica pilulifera* L.) افزایش داد. استفاده از اسیدهای آمینه می‌تواند به عنوان منبعی برای تأمین نیتروژن مورد نیاز گیاه، در افزایش تولید آسیمیلات‌های گیاه نقش مهمی داشته باشد و در پر شدن دانه موثر بوده و نقش تعیین‌کننده‌ای در عملکرد بذر خواهد داشت. می‌توان گفت که فیتوهورمون‌ها و ترکیباتی که با عملکرد و اجزای آن ارتباط معنی‌داری دارند، شامل اسیدهای آمینه هستند (Raeisi et al., 2014).

در بخش‌هایی از دوره رشد گیاه، نیاز به جذب عناصر غذایی برای انجام فعالیت‌های متابولیسمی افزایش می‌یابد ولی احتمالاً به دلیل وجود محدودیت‌هایی، گیاه امکان جذب عناصر غذایی را به مقدار کافی نداشته و از طرفی در صورت فراهمی عناصر غذایی مورد نیاز از طریق کود و خاک در زمان کمبود، بین جذب این عناصر و تبدیل آن‌ها به مواد مورد نیاز، شاید امکان رفع کامل نیازها میسر نگردد و گیاه دچار کمبود مواد غذایی شده و از رشد کافی برخوردار نگردد. این

شرایط، کاهش عملکرد برای گیاه را محتمل کرده و برای رفع این مشکل، با کاربرد کودهای حاوی اسیدهای آمینه در زمان کوتاهی می‌توان نسبت به تأمین نیازهای گیاه اقدام و از کاهش عملکرد جلوگیری کرد (Golzadeh et al., 2011). از طرفی با حضور قارچ مایکوریزا، سیستم ریشه‌ای گیاه توسعه یافته و با افزایش سطح جذب آب و مواد غذایی، کارایی جذب آن‌ها توسط گیاه افزایش داشته و در نتیجه مواد بیشتری به سمت دانه‌ها منتقل می‌شوند که نهایتاً می‌تواند افزایش عملکرد بذر را باعث گردد.

عملکرد اسانس

اثر کاربرد برگی اسید آمینه و کاربرد مایکوریزا بر عملکرد اسانس در سطح یک درصد معنی‌دار شد. نتایج نشان دادند که عملکرد اسانس گیاه دارویی همیشه بهار تحت تأثیر کود اسید آمینه واقع شد و ۱۲٪ نسبت به شاهد افزایش را نشان داد (جدول ۴). احتمالاً، کاربرد کود اسید آمینه باعث افزایش رشد سلولی گیاه را با اثر بر بهبود جذب عناصر غذایی شده و در تشکیل ترکیبات آلی گیاه همچون آنزیم و پروتئین نقش مهمی داشته و به همین جهت با افزایش رشد رویشی و وزن خشک گیاه و گل، منجر به افزایش عملکرد اسانس شده است. مرادی مرجانه و همکاران (Moradi Marjaneh et al., 2018) در پژوهش خود بر روی گیاه دارویی رزماری بیان کردند که محلول‌پاشی با اسید آمینه هیومی فورته بیشترین میزان درصد و عملکرد اسانس را داشت.

همیشه بهار را داشتند. کاربرد اسید آمینه و مایه‌های تلقیح گونه‌های متفاوت مایکوریزا به‌ویژه گونه *G. mosseae* نسبت به تیمار عدم استفاده از قارچ مایکوریزا و کاربرد اسید آمینه سبب افزایش بسیار معنی‌داری در درصد کلونیزاسیون ریشه شد و این موضوع سبب افزایش رشد و نمو گیاه شد. *G. mosseae* باعث افزایش ۳۳٪ شاخص کلروفیل شد که بیان‌کننده اثرگذاری بیشتر مایکوریزا نسبت به کاربرد برگی اسید آمینه در افزایش این شاخص است. همچنین نتایج نشان دادند که افزایش به‌ترتیب ۲۵٪ و ۷۰٪ در درصد و عملکرد روغن در اثر کاربرد برگی اسید آمینه و استفاده از مایکوریزا، گونه‌ی *G. mosseae* نسبت به عدم استفاده از کاربرد برگی اسید آمینه و مایکوریزا بود. در کل کاربرد مایکوریزا در گیاه دارویی همیشه بهار به‌ویژه گونه موسایی، توانست تغییرات مثبتی در شاخص‌های رشد و عملکرد این گیاه ایجاد کند و کاربرد برگی اسید آمینه (محلول‌پاشی) نیز پس از این که کلونیزاسیون در ریشه اتفاق افتاده بود، باعث بهبود آن شاخص‌ها شد.

سپاسگزاری

از دانشگاه پیام نور بابت تأمین بخشی از هزینه‌های این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌شود.

تلقیح با گونه *G. mosseae* در صفت عملکرد اسانس، نسبت به شاهد بدون تلقیح ۲۲٪ افزایش مشاهده شد (جدول ۴). در تحقیقی بیشترین میزان درصد و عملکرد اسانس زیره سبز از تیمار *G. intraradices* به‌دست آمد (Haghir Ebrahimabadi et al., 2017). تحقیق دیگری در گیاه دارویی مرزنجوش (*Origanum vulgare*) انجام شد که مشخص شد کاربرد قارچ مایکوریزا سبب افزایش چشمگیر میزان اسانس در مقایسه با شاهد شد (Khaosaad et al., 2006). گلوبکینا و همکاران (Golubkina et al., 2020) هم بیان کردند که کاربرد قارچ مایکوریزا باعث افزایش در اسانس گیاهان *Artemisia dracunculus* (tarragon), *Lavandula angustifolia* (lavender) and *Hyssopus officinalis* (hyssop) شد. محلول‌پاشی با کود اسید آمینه و از طرفی استفاده از قارچ‌های مایکوریزا سبب بهبود شرایط زیست ریشه در خاک، جذب بهتر مواد غذایی از سطوح بیشتر خاک، در اختیار قرار گرفتن مواد غذایی چون نیتروژن در زمان مورد نیاز شده و همه این‌ها در رشد رویشی و عملکرد بیولوژیک گیاه موثر واقع می‌شود و در نتیجه بر عملکرد اسانس تولیدی اثرگذار است.

نتیجه‌گیری

بر اساس یافته‌های این پژوهش تمامی گونه‌های مایکوریزای استفاده شده در این آزمایش، دارای توانایی برقراری همزیستی با گیاه

References

- Amouii, A. M., Mojahed, M., and Mojahed, M. 2017. Pot marigold Production Entrepreneurship Package. Publishing Asrar ghalam. 93 pages.
- Aqhawani Shajari, M., Rezvani Moghadam, P., Ghorbani, R., and Nasiri Mahallati, M. 2015. Effects of application of organic, biological and chemical fertilizers on quantitative and qualitative yield of (*Coriandrum sativum* L.). Horticultural Sciences 29 (4): 500-486.
- Arjmand Alavi, M., Hatamzadeh, A., and Ehteshami, S. M. 2014. Effect of bulb inoculation with four species mycorrhizal fungi on quantitative and qualitative yield of two lily species. Iranian Journal of Seed Science and Research 1 (2): 57-65.
- Auge, R. M. 2001. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. Mycorrhiza 11(1): 3-42. <https://doi.org/10.1007/s005720100097>.
- Chaudhary, V., Kapoor, R., and Bhatnagar, A. K. 2007. Effect of arbuscular mycorrhiza and phosphorus application on artemisinin concentration in *Artemisia annua* L. Mycorrhiza 17: 581-587. <https://doi.org/10.1007/s00572-007-0135-4>.
- Diagne, N., Ngom, M., Ibrahima Djighaly, P., Fall, D., Hoher, V., and Svistoonof, S. 2020. Roles of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Plant Growth and Performance: Importance in Biotic and Abiotic Stressed Regulation. Diversity 12: 370. DOI:10.3390/d12100370.
- Faten, S., Abd El-Aal, F. S., Shaheen, A. M., Ahmed, A. A., and Mahmoud, A. R. 2010. Effect of foliar application of urea and amino acids mixtures as antioxidants on growth, yield and characteristics of squash. Agriculture and Biological Sciences 6: 583-588.
- Fathi, Sh., Azarpira, E., Sharafi, Y., and Najafian, S. 2020. Effect of some amino acids based biostimulants on Medicinal Mint (*Mentha spicata* L.) under salinity stress. Scientific Journal of Horticultural Nutrition 2 (2): 154-173.
- Ghazi Manas, M., Banj Shafiee, S., Haj Seyed Hadi, M. R., and Darzi, M. T. 2013. Effects of vermicompost and nitrogen on quantitative and qualitative yield of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 29 (2): 269-280. (in Persian).
- Gogoi, P., and Singh, R. K. 2011. Different effect of some arbuscular mycorrhizal fungi on growth of *Piper longum* L. (Piperaceae). Indian Journal of Sciences and Technology 4(2): 119-125.
- Golubkina, N., Logvinenko, L., Novitsky, M., Zamana, S., Sokolov, S., Molchanova, A., Shevchuk, O., Sekara, A., Tallarita, A., and Caruso, G. 2020. Yield, essential oil and quality performances of *Artemisia dracunculus*,

- Hyssopus officinalis* and *Lavandula angustifolia* as affected by arbuscular mycorrhizal fungi under organic management. *Plants* 9: 375. DOI: 10.3390/plants9030375. <https://doi.org/10.3390/plants9030375>.
12. Golzadeh, H., Mehrafarin, A., Naghdi Badi, H., Fazeli, F., Ghaderi, A., and Zarincheh, N. 2011. Effects of biostimulants on quantitative and qualitative yield of German chamomile. *Journal of Medicinal Plants* 11(41): 195-207. (in Persian).
 13. Gunes, A. K., Zengin, G., Ibrahime Sinan, K., Fawzi Mahomoodally, M., Picot-Allain, M. C. N., Cakýr, O., Bensari, S., Abdullah Yılmaz, M., Gallo, M., and Montesano, D. 2020. A Comparative Bio-Evaluation and Chemical Profiles of *Calendula officinalis* L. Extracts Prepared via Different Extraction Techniques. *Applied Sciences* 10: 5920. DOI: 10.3390/app10175920.
 14. Haghiri Ebrahimabadi, A., Hatami, M., Karimzadeh Asl, K., and Ghorbanpour, M. 2017. Effect of Mycorrhizal Fungi and Biophosphor Fertilizer on Growth Features, Yield and Yield Components, and Essential Oil Constituents in *Cuminum cyminum* L. *Journal of Medicinal Plants* 17 (2): 174-184. (in Persian).
 15. Hamzei, J., and Salimi, F. 2014. Root Colonization, Yield and Yield Components of milk thistle (*Silybum marianum*) Affected by Mycorrhizal Fungi and Phosphorus Fertilizer. *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production* 24 (4): 85-96. (in Persian).
 16. Hazzoumi, Z., Moustakime, Y., Elharchli, E., and Amrani Joutei, Kh. 2015. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi and water stress on ultrastructural change of glandular hairs and essential oil compositions in *Ocimum gratissimum*. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* 2: 1-10. <https://doi.org/10.1186/s40538-017-0102-z>.
 17. Khaosaad, T., Vierheilig, H., Nell, M., ZitterlEglseer, K., and Novak, J. 2006. Arbuscular mycorrhiza alters the concentration of essential oils in oregano (*Origanum* sp., Lamiaceae). *Mycorrhiza* 16 (6): 443-446. <https://doi.org/10.1007/s00572-006-0062-9>.
 18. Kheiri, Z., Moghadam, M., and Moradi, M. 2020. Investigation of the effect of different species of mycorrhizal fungi on some growth indices, photosynthetic pigments, flavonoid and carotenoid content of pot marigold flower. *Scientific Journal of Garden Nutrition* 3 (1): 37-50. (in Persian).
 19. Khoramdel, S., Koocheki, A., Nassiri Mahalati, M., and Ghorbani, R. 2008. Application effects of biofertilizers on the growth indices of black cumin (*Nigella sativa* L.). *Iranian Journal of Crop Research* 6 (2): 285-294. DOI: 10.22067/GSC.V6I2.2435. (in Persian).
 20. Kormanik, P. P., and McGraw, A. C. 1982. Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant roots. In *Methods and Principles of Mycorrhizal Research* (N. C. Schenck, Ed.). pp. 37-45. American Phytopathological Society, St Paul.
 21. Krishnasree, R. K., Raj, S. K., and Chacko, S. R. 2021. Foliar nutrition in vegetables: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 10(1): 2393-2398. DOI: <https://doi.org/10.22271/phyto.2021.v10.i1ah.13716>.
 22. Maleki, S., Aghayari, F., Ardakani, M. R., and Rajali, F. 2014. Investigation of the possibility of improving root growth of two lentil cultivars (*Lens culinaris* L.) using mycorrhizal and azospirillum symbiosis under dryland conditions. *Journal of Agricultural Ecology* 6 (4): 779-787. (in Persian).
 23. Moghadasan, Sh., Safipour Afshar, A., and Saeid Nematpour, F. 2016. The Role of Mycorrhiza in Drought Tolerance of pot Marigold (*Calendula officinalis* L.). *Journal of Crop Ecophysiology* 9 (4): 521-532. (in Persian).
 24. Mohammadi, S., Tabrizi, L., Delshad, M., and Moteshare Zadeh, B. 2013. Investigation of growth and yield of pot marigold (*Calendula officinalis* L.) under arbuscular mycorrhizal fungi symbiosis and heavy metal stress conditions. *Iranian Journal of Agroecology* 3 (2): 48-59. (in Persian).
 25. Moradi Marjaneh, E., Golavi, M., Ramroudi, M., and Salouki, M. 2018. Investigation of some qualitative characteristics of rosemary plant under the influence of foliar application of various nutrients at different harvest times. *Journal of Crop Production* 11 (4): 119-134. DOI: 10.22069/ejcp.2019.13979.2064.
 26. Nasholm, T., Kielland, K., and Ganeteg, U. 2009. Uptake of organic nitrogen by plants. *New Phytology* 182: 31-48. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02751.x>.
 27. Omidbeigi, R. 2000. Production and processing of medicinal plants. Volume I, Second Edition, Tarahan Publication. 424 pp. (in Persian).
 28. Pouryousef Miyandoab, M., and Shahrvar, N. 2014. The effect of foliar application of amino acids at different times on yield and yield components of maize. *Journal of Crop Physiology - Islamic Azad University, Ahvaz Branch* 23: 21-32. (in Persian).
 29. Raeisi, M., Farahani, L., and Palashi, M. 2014. Changes of qualitative and quantitative properties of radish (*Raphanus sativus* L.) under foliar spraying through amino acid. *International Journal of Biosciences* 4 (1): 463-468. DOI: <http://dx.doi.org/10.12692/ijb/4.1.463-468>.
 30. Rahimi, A., Jahanbin, Sh., Salehi, A., and Faraji, H. 2016. Effect of mycorrhiza on morphological characteristics, phenolic compounds and chlorophyll fluorescence of (*Borago officinalis* L.) under drought stress. *Journal of Plant Environmental Physiology* 11 (42): 46-55. (in Persian).
 31. Rahimi, A., Jalalian, Sh., Salehi, A., and Farajee, H. 2017. The effect of mycorrhiza on yield, oil content and water use efficiency of medicinal plant of Borage (*Borago officinalis* L.) under water stress. *Iranian Journal of Horticultural Science* 49 (2): 407-415. DOI: 10.22059/ijhs.2017.220274.1127.
 32. Rahimi, N., Jalalian, J., Pirzad, A., and Gholinezhad, E. 2019. Evaluation of grain and oil yield changes of linseed (*Linum usitatissimum* L.) as affected by bio-fertilizers and supplementary irrigation. *Scientific Journal of Plant Ecophysiology* 12 (41): 41-52. (in Persian).

33. Rahmani, N., Valadabadi, S. A., Daneshian, J., and Bigdeli, M. 2008. The effect of different levels of drought stress and nitrogen on oil yield in pot marigold. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research* 24 (1): 101-108. (in Persian).
34. Rekha, B., Shruti, C., Rashmi, S., Sharma, A. K., and Johri, B. 2009. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the growth and nutrient status of *Dalbergia sissoo*. *Tropical Ecology Journal* 50: 231-242.
35. Rezakhani, A., and Haj Seyed Hadi, M. R. 2017. Effect of manure and foliar application of amino acids on growth characteristics, seed yield and essential oil of coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science* 48 (3): 777-786. DOI: [10.22059/ijfcs.2017.210745.654144](https://doi.org/10.22059/ijfcs.2017.210745.654144). (in Persian).
36. Rafiee, H., Mehrafarin, A., Qaderi, A., Kalate Jari, S., and Naghdi Badi, H. 2013. Phytochemical, Agronomical and Morphological Responses of Pot Marigold (*Calendula officinalis* L.) to Foliar Application of Bio-stimulators (Bioactive Amino Acid Compounds). *Journal of Medicinal Plants* 12 (47): 48-61.
37. Saburi, M., Haj Seyed Hadi, M. R., and Darzi, M. T. 2014. The effect of foliar application of amino acids and application of nitrogen-fixing bacteria on the growth characteristics of green basil. The First International Congress and the Thirteenth National Congress of Agronomy and Plant Breeding, Iran
38. Safari Sinegani, A. A., and Elyasi Yeganeh, M. 2017. The occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in soil and root of medicinal plants in Bu-Ali Sina garden in Hamadan, Iran. *Biological Journal of Microorganism* 5 (20): 43-59. DOI: [10.22108/bjm.2017.21145](https://doi.org/10.22108/bjm.2017.21145). (in Persian).
39. Slavov, A., Ognyanov, M., and Vasileva, I. 2020. Pectic polysaccharides extracted from pot marigold (*Calendula officinalis*) industrial waste. *Food Hydrocolloids* 101: 105545. DOI: [10.1016/j.foodhyd.2019.105545](https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105545).
40. Soleimani, A. 2015. Effect of plant density on light absorption in canopy and growth indices of sunflower cultivars. *Journal of Crop Physiology* 28: 107-123. (in Persian).
41. Souiri, M. K., and Yarahmadi, B. 2015. Effect of amino chelates foliar application on growth and development of Marigold (*Calendula officinalis*) plant. *Crop Production Technology* 15 (2): 109-119. (in Persian).
42. Torabahmadi, S., Abedy, B., and Saberali, S. F. 2019. Evaluation of some quantitative and qualitative characteristics of Pistachio plant in Response to amino acid compounds and seaweed extract. *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production* 29 (4): 189-204. (in Persian).
43. Wahba, H. E., Motawe, H. M., and Ibrahim, A. Y. 2015. Growth and chemical composition of *Urtica pilulifera* L. plant as influenced by foliar application of some amino acids. *Journal of Materials and Environmental Science* 6 (2): 499-509.
44. Zhang, X. F., Hu, Z. H., Yan, T. X., Lu, R. R., Peng, C. L., Li, S. S., and Jing, Y. X. 2019. Arbuscular mycorrhizal fungi alleviate Cd phytotoxicity by altering Cd subcellular distribution and chemical forms in *Zea mays*. *Ecotoxicol Environ Saf* 171: 352-360. DOI: [10.1016/j.ecoenv.2018.12.097](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.12.097).



Physiological Responses of Soybean Plant (DPX) to Pretreatment and Foliar Application of Seaweed Extract (*Ascophyllum nodosum*) and Seed Primary Quality

S. Arab¹, M. Baradaran Firouzabadi^{2*}, A. Gholami², M. Haydari²Received: 04-12-2021
Revised: 17-12-2021
Accepted: 25-12-2021**How to cite this article:**Arab, S., Baradaran Firouzabadi, M., Gholami, A., and Haydari, M. 2022. Physiological Responses of Soybean Plant (DPX) to Pretreatment and Foliar Application of Seaweed Extract (*Ascophyllum nodosum*) and Seed Primary Quality. Iranian Journal of Field Crops Research 20 (1): 105-119. (in Persian with English abstract).
DOI: [10.22067/jcesc.2021.74004.1119](https://doi.org/10.22067/jcesc.2021.74004.1119).

Introduction

Changes that occur during aging affect seed quality. Vigor is the first component of seed quality that decreases with aging seed, and followed by a decrease in germination capacity, seedling growth and establishment. The seeds of soybeans are classified in the orthodox seeds. These seeds contain high amount of lipid and protein. Seed viability can only be maintained until few months of storage under normal conditions. One of the important steps in soybean seed industry is maintaining seed quality during storage condition for the planting during next growth season or sales. Lack of a proper storage condition would affect the biochemical and physiological nature of soybean seeds and intensify their aging. Changes that occur during deterioration condition affect seed quality. Through the process of deterioration, seed vigor is the first traits of the seed quality that decreases, followed by a decrease in germination capacity, seedling growth and establishment. Wide range of deteriorative conditions (especially moisture content and temperature) may affect seed quality during storage which may lead to seed aging. Hence, to stimulate germination and increase the establishment of seedlings from ageing seeds, treatment can be done using different materials such as brown seaweed extract. To continue the experiment, normal seeds and aged seeds were sown in June 2018 and 2019 at a depth of 2 cm. Each plot consisted of 4 lines 6 m long with a distance of 50 cm between the lines and 10 cm width on the lines.

Materials and Methods

A factorial experiment was performed based on a randomized complete block design with three replications at the research field of Shahrood University of Technology. In this study two sets of seeds including control seeds (un-aged) and aged seed were used and brown seaweed *A. nodosum* (0.3%) was applied for control, seed pretreatment, foliar spray and seed pretreatment+foliar spray. The brown seaweed extract was "Acadian™ Seaweed Powder" (produced in Canada) containing brown seaweed extract (*Ascophyllum nodosum*), and all the reagent and chemicals for experiments were purchased from Merck (Germany). Soybean seed Var. DPX. was collected from the Mazandaran agricultural research center. The water content of seeds was 12%. The seeds were those that harvested in the same year and kept in a controlled storage room at the temperature between 14 to 17 °C and relative humidity of 30 to 40% at the Agricultural Research and Training Center and Natural Resources of Mazandaran Province. For surface sterilization, soybean seeds were disinfected with 1% sodium hypochlorite for 60 seconds and then washed with distilled water. To prepare aged seeds in the laboratory, the seeds were incubated at 41°C and 95% relative humidity for 72 hours according to the method described previously. For each treatment, 100 g of the soybean seeds were soaked in 20 ml seaweed extract (0.3%) under ventilation condition for 6 hours, following by drying the seeds in the shade.

Results and Discussion

In this study, the results showed that the seed aging reduced the mean daily seedling field emergence, content of soluble sugar, leaf area index, stomatal conductance, oil yield and seed yield and also, increased the electrical conductivity and free amino acids content in the field condition. Whereas, the seed pretreatment with the seaweed extract in normal and aging conditions increased mean daily seedling field emergence 15.31% and 55.03% respectively. The values of leaf area index, stomatal conductance, oil yield and seed yield were increased with application of both pretreatment and foliar spray of seaweed extract, 34.51%, 23.72%, 91.68%

1- Ph D. student of Agronomy, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

2- Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

(*- Corresponding Author Email: m.baradaran.f@gmail.com)DOI: [10.22067/jcesc.2021.74004.1119](https://doi.org/10.22067/jcesc.2021.74004.1119)

and 87.85% respectively. Seed pre-treatment and foliar spraying with *Ascophyllum nodosum* brown seaweed extract at a concentration of 0.3% improved the deteriorated effects and significantly increased seed yield.

Conclusion

This study concludes that the seaweed extract is effective to minimize negative effects of aging on seeds performance and has a great positive effect on the physiological and agronomic traits of soybean plant. Among the four methods used in this study, the seeds pretreatment+foliar spray was more effective.

Keywords: Antioxidant, Deterioration, Priming, Rockweed



مقاله پژوهشی

جلد ۲۰، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱، ص ۱۱۹-۱۰۵

پاسخ‌های فیزیولوژیک گیاه سویا (DPX) به پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی عصاره جلبک و

کیفیت اولیه بذر

صفیه عرب^۱، مهدی برادران فیروزآبادی^{۲*}، احمد غلامی^۲، مصطفی حیدری^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۰۴

چکیده

تغییراتی که در طی فرسودگی رخ می‌دهد بر کیفیت بذر تأثیر می‌گذارند. با فرسودگی بذر، قدرت بذر اولین جزء از کیفیت بذر است که کاهش می‌یابد و به دنبال آن ظرفیت جوانه‌زنی، رشد و استقرار گیاهچه نیز کاهش نشان می‌دهد. به منظور بررسی تأثیر عصاره جلبک دریایی (*Ascophyllum nodosum*) بر بهبود کیفیت گیاهان حاصل از بذرهای زوال‌یافته سویا، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی شاهرود طی دو سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ و ۱۳۹۷-۱۳۹۸ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل کیفیت اولیه بذر در دو سطح (بذر نرمال و بذر فرسوده) و عصاره جلبک دریایی در چهار سطح (شاهد، پیش‌تیمار بذری، محلول‌پاشی برگ، کاربرد توأم پیش‌تیمار بذری و محلول‌پاشی برگ با غلظت ۰/۳ درصد) بودند که در قالب آزمایش فاکتوریل با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار سازمان‌دهی شدند. بذور در دمای ۴۱ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۵ درصد به مدت ۷۲ ساعت فرسوده شدند. نتایج نشان داد میانگین ظهور گیاهچه در مزرعه، میزان قند محلول موجود در برگ، شاخص سطح برگ، هدایت روزنه‌ای، عملکرد روغن و عملکرد دانه در گیاهان حاصل از بذور فرسوده کاهش یافت. فرسودگی موجب افزایش در صفاتی از قبیل میزان اسیدهای آمینه آزاد و هدایت الکتریکی غشاء گردید. استفاده از عصاره جلبک به‌صورت پیش‌تیمار بذری در شرایط نرمال و فرسوده موجب افزایش میانگین ظهور گیاهچه در مزرعه به‌ترتیب به میزان ۱۵/۳۱ و ۵۵/۰۳ درصد نسبت به عدم کاربرد عصاره شد. کاربرد توأم پیش‌تیمار و محلول‌پاشی عصاره صفات شاخص سطح برگ، هدایت روزنه‌ای، عملکرد روغن و عملکرد دانه را به‌ترتیب ۳۴/۵۱، ۲۳/۷۲، ۹۱/۶۸ و ۸۷/۸۵ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. در محدوده پژوهش انجام شده می‌توان کاربرد توأم عصاره جلبک دریایی به‌صورت پیش‌تیمار بذری و محلول‌پاشی برگ را به‌عنوان بهترین ترکیب تیماری در جهت بهبود صفات فیزیولوژیک در گیاهان حاصل از بذور فرسوده سویا پیشنهاد نمود.

واژه‌های کلیدی: آنتی‌اکسیدان، پرایمینگ، زوال بذر

مقدمه

فرسودگی بذر^۳ که به آن زوال یا پیری^۴ هم گفته می‌شود یکی از مشکلات عمده در تولید محصولات زراعی است. تحقیقات نشان داده است که سالانه حدود ۲۵ درصد بذرهای، به‌دلیل داشتن کیفیت پایین از بین می‌روند (Shelar et al., 2008). قدرت بذر اولین جزء از کیفیت بذر است که با زوال کاهش می‌یابد و به‌دنبال آن ظرفیت جوانه‌زنی و

قوه نامیه کاهش می‌یابد (Taji et al., 2014). اگرچه فرسودگی بذر یک فرآیند غیرقابل انعطاف و برگشت‌ناپذیر می‌باشد و در نهایت بذر نیز مانند هر موجود زنده دیگری می‌میرد، ولی بررسی‌ها حاکی از آن است که با روش‌های انبارداری مناسب می‌توان سرعت فرسودگی را کاهش داد. ترکیبات درون یک بذر روی سرعت پیری آن اثرگذار است. هر چه‌قدر مواد اکسیدشونده مانند روغن در بذرهای بیشتر باشد، بیشتر در معرض فرسودگی هستند و شیوه‌های انبارداری و رفتار خاص را نیاز دارند. بنابراین بذور روغنی حساسیت بیشتری دارند (Wang et al., 2021). غالباً این گیاهان از اهمیت بالایی نیز برخوردار هستند؛ به‌عنوان مثال سویا با نام علمی *Glycine max* L. گیاهی یک‌ساله از خانواده Fabaceae است که این گیاه زراعی جایگاه مهمی در بین محصولات صنعتی دارد و یکی از مهم‌ترین گیاهان روغنی در جهان است. بنابراین یافتن راهکارهایی جهت کاهش و یا بهبود خسارات ناشی از فرسودگی بذر در سویا ضروری می‌باشد. تحقیقات نشان

۱- دانشجوی دکتری زراعت، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

۲- دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود،

ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: m.baradaran.f@gmail.com)

DOI: 10.22067/jcesc.2021.74004.1119

3- Seed deterioration

4- Seed aging

جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر در گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon sculentum* L.) می‌گردد (Ahmadpour et al., 2020).

تحقیقات انجام شده گویای این موضوع است که بروز هر گونه شرایط نامساعد از قبیل تنش‌های محیطی در مسیر تولید بذر و یا استفاده از شیوه‌های نامناسب تولید و پس از آن نگهداری بذر می‌تواند موجب فرسودگی زود هنگام و کاهش توان واقعی بذر شود که خسارت جبران‌ناپذیری را برای تولیدکننده و کشور به دنبال خواهد داشت. لذا یافتن راهکاری کارآمد برای کاهش آثار منفی ناشی از بذوری که به هر دلیل دچار فرسودگی شده‌اند، ضرورت دارد. با توجه به این که تا به حال تحقیقی به منظور بررسی اثر عصاره جلبک دریایی به صورت پیش‌تیمار بذری و محلول‌پاشی روی برگ در راستای بهبود بذرها فرسوده شده سویا و تقویت گیاهان حاصل از آن‌ها انجام نشده است و سندی در این مورد یافت نگردید، در این تحقیق به بررسی این موضوع پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در دو سال زراعی (۱۳۹۷-۱۳۹۸ و ۱۳۹۸-۱۳۹۹) در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود طراحی و اجرا شد. فاکتور اصلی شامل دو سطح مختلف کیفیت اولیه بذر (بذر نرمال و بذر فرسوده) و فاکتور فرعی شامل چهار سطح عصاره جلبک قهوه‌ای *Ascophyllum nodosum* (صفر، پیش‌تیمار بذر، محلول‌پاشی برگ و کاربرد توأم پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی برگ با غلظت ۰/۳ درصد) بود.

عملیات کاشت سال اول در تاریخ ۲۶ خرداد ۱۳۹۸ و سال دوم ۲۰ خرداد ماه ۱۳۹۹ با دست و در عمق ۲ سانتی‌متری انجام شد. تراکم بوته در مزرعه معادل ۲۰ بوته در متر مربع بود. در طی فصل رشد از کود و سم استفاده نشد. نتایج تجزیه فیزیکو-شیمیایی خاک مزرعه در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری، ویژگی‌های آب مزرعه، ویژگی‌های پودر جلبک آکادین و داده‌های هواشناسی منطقه در طی فصل رشد به ترتیب در جداول ۱، ۲، ۳ و ۴ نشان داده شده است.

بذر سویا مورد استفاده، رقم DPX (کتول) بود که در طبقه الیت (Registered seed) قرار دارد که از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران تهیه شد. بذرها مورد استفاده، بذرها برداشت شده همان سال بودند که تا زمان آزمایش در انبار کنترل شده دارای سیستم خنک‌کننده و در محدوده دمایی ۱۴ تا ۱۷ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۳۰ تا ۴۰ درصد نگهداری شدند. بذر با هیپوکلریت سدیم یک درصد به مدت ۶۰ ثانیه ضدعفونی شدند و سپس سه بار با آب مقطر شستشو شدند. برای اعمال تیمار فرسودگی، بذر بر اساس روش‌های موجود با قرار گرفتن در دمای ۴۱ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۹۵ درصد به مدت ۷۲ ساعت فرسوده شدند (ISTA, 2009).

می‌دهد که درصد جوانه‌زنی، شاخص قدرت گیاهچه و طول ساقه در سویا تحت تأثیر پیری زودرس کاهش می‌یابد (Rajendra et al., 2018). در پژوهش دیگری مشخص شد که تیمار فرسودگی سبب کاهش درصد جوانه‌زنی، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و افزایش پراکسیداسیون لیپید در سویا می‌گردد (Nazari et al., 2020). نتایج تحقیقات نشان داد که زوال مصنوعی موجب کاهش درصد جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر و همچنین افزایش پراکسیداسیون لیپید در بذر سویا گردید (Maesaroh et al., 2021; Santos et al., 2021; Ebone et al., 2020). محققان دیگر نیز به این نتیجه رسیدند که درصد جوانه‌زنی، شاخص قدرت گیاهچه، طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، وزن خشک ساقه و ریشه در سویا تحت تأثیر زوال مصنوعی کاهش نشان داد (Rajendra et al., 2018).

امروزه راهکارهای متعددی برای کاهش فرسودگی بذر مطرح است. پیش‌تیمار بذر یکی از روش‌های مهم توانمندسازی بذر می‌باشد، به‌طوری که ابتدا بذرها با استفاده از روش‌های مختلف، آبدهی و سپس برای سهولت حمل و نقل و کاشت دوباره خشک می‌شوند. این عمل، افزایش سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی و سبز شدن، افزایش جوانه‌زنی در دامنه وسیع‌تری از عوامل محیطی و بهبود رشد و استقرار و بنیه گیاهچه را در پی دارد (Nascimento, 2013). عصاره برخی گیاهان به صورت پیش‌تیمار بذر و یا محلول‌پاشی برگ توانایی کاهش اثرات منفی انواع تنش‌های زنده و غیرزنده و کاهش اثرات منفی فرسودگی بذر را دارا می‌باشند (Hussein et al., 2021).

عصاره جلبک دریایی از جمله موادی است که در کاهش اثرات تنش‌ها از جمله فرسودگی در بذر نقش دارد. جلبک‌های دریایی به این دلیل اهمیت دارند که سرشار از عناصر مغذی شامل نیتروژن، فسفر، پتاسیم و برخی عناصر کم‌مصرف مورد نیاز گیاهان هستند. مواد فعال زیستی استخراج شده از جلبک دریایی در محصولات کشاورزی در سراسر جهان استفاده می‌شوند و بسیاری از آثار مفید آن‌ها به‌ویژه افزایش عملکرد کمی و کیفی محصولات مختلف گزارش شده است. محققان مشاهده کردند که استفاده از عصاره جلبک *A. nodosum* سبب افزایش وزن خشک، فتوسنتز و میزان کلروفیل در سویا گردید (Joshi-Paneri et al., 2020). این محققان دریافتند که این ترکیبات طبیعی می‌توانند به عنوان محرک رشد عمل کنند و باید از ظرفیت آن‌ها برای بهبود رشد و عملکرد استفاده کرد. نتایج تحقیقی نشان داد که کاربرد عصاره جلبک دریایی *A. nodosum* به هر دو صورت کاربرد در خاک و محلول‌پاشی سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد در سویا گردید (Patil et al., 2019). استفاده از جلبک دریایی روی بذر و همچنین به صورت محلول‌پاشی برگ سبب افزایش عملکرد دانه در سویا شد و نسبت به گیاهان شاهد ۳۰ درصد افزایش عملکرد به ثبت رسید (Guerreiro et al., 2017). محققان نشان دادند که پیش‌تیمار بذر با عصاره جلبک *A. nodosum* موجب افزایش درصد جوانه‌زنی، قدرت جوانه‌زنی، میانگین مدت زمان

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی خاک مزرعه

Table 1- Physico-chemical properties of the experimental soil

بافت خاک Soil texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (EC) dS.m ⁻¹	کربن آلی Organic carbon %	نیتروژن کل Total nitrogen (N) %	فسفر قابل دسترس Phosphorus (P) mg.kg ⁻¹	پتاسیم قابل دسترس Potassium (K)
لوم سیلتی Silty Loam	7.36	0.71	0.60	0.066	5.54	240

جدول ۲- ویژگی‌های آب مزرعه

Table 2- Properties of the experimental water

هدایت الکتریکی Electronic conductivity (EC) dS.m ⁻¹	اسیدیته pH	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
		meq.l ⁻¹					
1.5	7.4	3.8	10.2	12.2	18.4	11.6	11.0

جدول ۳- برخی ویژگی‌های پودر جلبک اکادین (*A. nodosum*). داده‌ها توسط شرکت تولیدکننده (Acadian Seaplants, Canada) گزارش شده است.

Table 3- Some composition of Acadian marine plant extracts powder (*A. nodosum*) according to information provided by Acadian Seaplants, Canada

Traits	ویژگی‌ها	
Appearance	ظاهر	بلورهای سیاه-قهوه‌ای Brownish-black crystals
Solubility in water	حلالیت در آب	100%
pH		10.0–10.5
Maximum moisture	حداکثر رطوبت	6.5%
Organic matter	مواد آلی	45–55%
Ash (Minerals)	خاکستر (مواد معدنی)	45–55%
Total nitrogen (N)	نیتروژن کل	0.8–1.5%
Available phosphoric acid (P ₂ O ₅)	اسید فسفریک قابل دسترس (P ₂ O ₅)	1–2%
Soluble potash (K ₂ O)	پتاسیم قابل دسترس (K ₂ O)	17–22%
Iron (Fe)	آهن	75–250 mg.L ⁻¹
Manganese (Mn)	منگنز	5–20 mg.L ⁻¹
Amino acids	اسیدهای آمینه	Total 4.4%

جدول ۴- داده‌های هواشناسی منطقه در دو سال مورد آزمایش (اداره هواشناسی استان سمنان)

Table 4- Meteorological data for the field sites during experiment (Semnan province Meteorological Office)

ماه Month		بارندگی Precipitation (mm)		رطوبت نسبی Relative humidity (%)		میانگین دما Mean temperature (°C)	
		1398 (2018)	1399 (2019)	1398 (2018)	1399 (2019)	1398 (2018)	1399 (2019)
فروردین	April	75.8	41.4	57	67	11	9.4
اردیبهشت	May	6.8	49.5	47	60	16.2	16.3
خرداد	June	10.7	0.0	46	41	22	24.9
تیر	July	0.0	4.2	42	41	27.5	24.0
مرداد	August	0.0	16.2	42	38	25.1	25.5
شهریور	September	0.0	0.0	42	45	21.3	20.3
مهر	October	3.3	10.7	43	47	14.3	13.8
آبان	November	5.8	4.8	48	51	10.1	9.4

اتوماتیک (Soxtherm 2000 automatic Gerhardt) و روش اوماه و همکاران (Oomah et al., 1995) اندازه‌گیری شد. برای محاسبه عملکرد روغن، درصد روغن نمونه‌ها در عملکرد دانه ضرب شد. عملکرد دانه در زمان رسیدگی کامل (R_8) همزمان با زرد شدن ۹۵ درصد نیام‌های بوته‌های مزرعه انجام شد. تعداد بوته‌های موجود در یک مترمربع برداشت و در نهایت عملکرد دانه بر حسب گرم در متر مربع گزارش گردید. برای داده‌های دو سال زراعی، ابتدا آزمون بارتلت انجام شد. برای صفاتی که این آزمون معنی‌دار نبود و همگنی اشتباه آزمایشی تأیید گردید، تجزیه مرکب انجام شد. برای صفاتی که آزمون بارتلت معنی‌دار شد (شامل صفات نسبت کلروفیل a به b، کلروفیل کل و اسیدهای آمینه آزاد) داده‌های هر سال به‌طور جداگانه تجزیه شدند. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 و مقایسه میانگین داده‌ها به روش LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

میانگین ظهور گیاهچه روزانه

نتایج تجزیه واریانس این صفت در جدول ۵ گزارش شده است. مقایسه میانگین ظهور گیاهچه در مزرعه در شکل ۱ آورده شده است. بررسی نتایج نشان می‌دهد که کمترین میزان این صفت در بذور فرسوده به ثبت رسید و معادل ۱/۲۹ بذر در روز بود. در بذور نرمال و فرسوده، کاربرد عصاره جلبک دریایی به‌صورت پیش‌تیمار بذری این صفت را به‌ترتیب ۱۵/۳۱ و ۵۵/۰۳ درصد نسبت به عدم کاربرد عصاره افزایش داد. کمتر بودن میانگین ظهور گیاهچه در مزرعه در شرایط فرسودگی، احتمالاً به دلیل وقفه‌هایی است که در شروع فرآیند جوانه‌زنی در بذور فرسوده ایجاد می‌گردد. علت این وقفه ایجاد شده نیز می‌تواند این باشد که بذرها برای اینکه خسارت‌های وارد شده به غشاء را جبران کنند نیاز به زمان دارند و جبران این خسارت‌ها ممکن است بعد از جذب آب توسط بذر امکان‌پذیر باشد. بنابراین مدت زمان لازم برای تکمیل فرآیند جوانه‌زنی در بذره‌های فرسوده نسبت به بذره‌های نرمال افزایش می‌یابد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که بذره‌های فرسوده شده به دلیل کاهش در فعالیت آنزیم آلفا آمیلاز، افزایش گونه‌های فعال اکسیژن و تخریب در دیواره سلولی در جذب آب دچار مشکل شده و از این‌رو، جوانه‌زنی کاهش می‌یابد (داده‌ها گزارش نشده است). از دیگر دلایل احتمالی کاهش جوانه‌زنی در بذره‌های فرسوده می‌توان به کاهش کارایی مصرف مواد ذخیره‌ای بذر و در نتیجه کاهش در انتقال مواد غذایی به محور جنینی و کاهش رشد سلولی محور جنینی اشاره کرد، که اعمال پیش‌تیمار می‌تواند تا حدودی سبب افزایش در مصرف مواد غذایی شده و از این طریق میانگین ظهور گیاهچه را افزایش دهد. در توافق با نتایج به‌دست آمده، تحقیقات محققان دیگر نیز نشان می‌دهد که فرسودگی بذر

پیش‌تیمار بذور با غلظت ۰/۳ درصد عصاره جلبک دریایی با رعایت اصول هوادهی بذر به مدت شش ساعت انجام شد. برای پیش‌تیمار کردن بذور، در هر ظرف ۵۰ عدد بذر سویا قرار گرفت و با ۱۰ میلی‌لیتر محلول عصاره جلبک دریایی خیسانده شدند. پس از آن بذور در سایه خشک شدند و جهت ادامه آزمایش و اندازه‌گیری صفات در مقایسه با بذور نرمال استفاده گردیدند. تیمار محلول‌پاشی نیز صبح زود و هنگام آغاز گلدهی (R_1) و در شرایط مساعد محیطی انجام شد، طوری که برگ‌های گیاه کاملاً خیس شدند (میزان عصاره جلبک محلول‌پاشی شده ۱۰۰ لیتر در مزرعه بود). به‌منظور بهبود جذب برگی عصاره جلبک دریایی، از تریتون X100 با غلظت ۰/۰۱ درصد استفاده شد. اندازه‌گیری صفات دو هفته پس از محلول‌پاشی انجام شد. عصاره جلبک مورد استفاده با نام تجاری آکادین ساخت کشور کانادا و تمامی مواد شیمیایی مورد استفاده مرک آلمان بود.

میانگین ظهور گیاهچه روزانه در مزرعه (MDE^1) شاخصی از سرعت و تعداد گیاهچه ظاهر شده در مزرعه است که از تقسیم درصد ظهور نهایی گیاهچه (FEP) بر طول دوره آزمایش (D) طبق رابطه (۱) به‌دست آمد (ISTA, 2006).

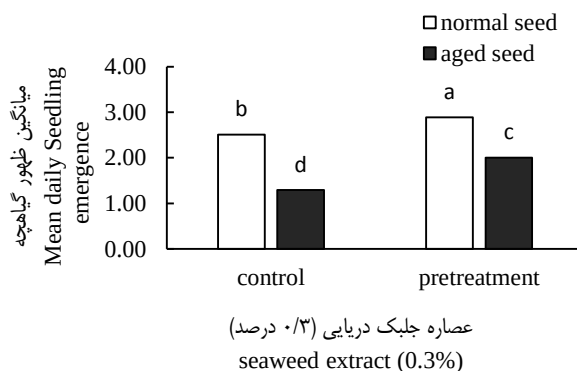
$$MDE = \frac{FEP}{D} \quad (1)$$

دو هفته پس از اعمال محلول‌پاشی اقدام به اندازه‌گیری صفات گردید. برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل a، b و کل، دیسک‌های برگی (۰/۵ گرم) در ۵ میلی‌لیتر از دی‌متیل سولفوکسید، در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۳۰ دقیقه قرار داده شدند (Hiscox and Israelstom, 1979). میزان جذب در طول موج‌های ۶۴۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر ثبت گردید. تعیین قند محلول به روش فنل اسید سولفوریک (Bonnett and Incoll, 1992) و قند نامحلول با استفاده از اسید پرکلریک ($HClO_4$) و روش یانگ و همکاران (Yang et al., 2000) انجام شد. جهت اندازه‌گیری اسیدهای آمینه آزاد از روش ژیانگ و همکاران (Xiong et al., 2006) و بافر استیک اسید-استات سدیم، معرف نین هیدرین و اسید آسکوربیک استفاده گردید. هدایت الکتریکی غشاء پلاسمایی برگ‌ها طبق روش بارانکو و همکاران (Barranco et al., 2005) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری شاخص سطح برگ دو هفته پس از محلول‌پاشی (R_2)، تعداد پنج بوته از هر تیمار به‌طور تصادفی برداشت شد و سطح تمامی برگ‌های این پنج بوته با استفاده از دستگاه سنجش سطح برگ مدل A3 Light box ساخت کشور انگلستان به ثبت رسید. هدایت روزنه‌ای روی پنج برگ که به‌صورت تصادفی انتخاب شده بودند و با استفاده از دستگاه پرومتر^۲ مدل Neterland ساخت کشور هلند اندازه‌گیری شد. درصد روغن دانه با استفاده از دستگاه سوکسله تمام

1- Mean daily Seedling field emergence

2- Prometer

منجر به کاهش درصد سبز شدن نهایی و میانگین ظهور گیاهچه در نخود می‌شود (Kapoor et al., 2010). این محققان علت کاهش درصد جوانه‌زنی را تأثیر فرسودگی بذر بر نفوذپذیری غشاء، افزایش تنفس بذر و کاهش انرژی اولیه مورد نیاز بذر برای جوانه‌زنی دانستند. علت افزایش میانگین ظهور گیاهچه در مزرعه با کاربرد عصاره جلبک



شکل ۱- تأثیر برهم‌کنش کیفیت اولیه بذر و پیش‌تیمار بذور با عصاره جلبک دریایی بر میانگین ظهور گیاهچه در مزرعه (بذر نرمال: normal seed، بذر فرسوده: aged seed) معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با آزمون LSD

Figure 1- Effect of seed primary quality and seed pretreatment of seaweed extract on mean daily seedling emergence. Significance at the 5% probability level with LSD.

جدول ۵- تجزیه واریانس میانگین مربعات سبز شدن روزانه (MDE)، هدایت الکتریکی (EC)، شاخص سطح برگ، هدایت روزنه‌ای (SC)، قند محلول (soluble sugar)، قند نامحلول (insoluble sugar)، عملکرد روغن (oil yield) و عملکرد دانه (seed yield) تحت تأثیر فرسودگی و عصاره جلبک در مزرعه سویا (تجزیه مرکب)

Table 5- Variance analysis of mean squares of mean daily seedling field emergence (MDE), soluble sugar, insoluble sugar, electrical conductivity (EC), LAI, stomatal conductance (SC), oil yield and seed yield under aging and seaweed extract on field of soybean

منابع تغییر S.O.V	d.f	MDE	Soluble sugar	Insoluble sugar	EC	LAI	SC	Oil yield	Seed yield
سال year	1	0.24 ^{ns}	1797.90 ^{ns}	782.79 ^{ns}	1.34 ^{ns}	0.004 ^{ns}	4302.29 ^{ns}	395.63 ^{ns}	10413.46 ^{ns}
خطای اول Error 1	4	0.005	970.10	835.08	6.37	0.81	198.41	440.55	11438.94
فرسودگی (a) aging	1	6.68 ^{**}	7270.68 ^{**}	71.72 ^{ns}	350.64 ^{**}	9.53 ^{**}	2907.32 ^{**}	4758.84 ^{**}	99706.06 ^{**}
عصاره جلبک (b) Seaweed extract	3	1.77 ^{**}	793.54 ^{ns}	4703.81 ^{**}	56.34 ^{**}	1.67 ^{**}	2564.46 ^{**}	2108.31 ^{**}	52425.19 ^{**}
a*b	3	0.16 [*]	8630.08 ^{**}	2589.66 ^{**}	9.18 ^{ns}	0.32 ^{ns}	326.45 ^{ns}	91.13 ^{ns}	3082.03 ^{ns}
y*a	1	0.13	9595.96 ^{**}	0.0001 ^{ns}	9.42 ^{ns}	0.31 ^{ns}	173.91 ^{ns}	192.77 ^{ns}	5306.62 ^{ns}
y*b	3	0.001	598.39 ^{ns}	0.00001 ^{ns}	23.14 ^{**}	0.64 [*]	156.39 ^{ns}	25.18 ^{ns}	716.67 ^{ns}
y*a*b	3	0.069	1429.12 ^{ns}	0.00001 ^{ns}	4.79 ^{ns}	0.25 ^{ns}	106.07 ^{ns}	73.36 ^{ns}	1941.22 ^{ns}
خطا Error	28	0.03	688.01	259.36	4.44	0.17	179.51	110.23	2729.54
ضریب تغییرات C.V (%)	-	8.1	11.7	10.7	2.8	16.3	8.7	22.8	22.4

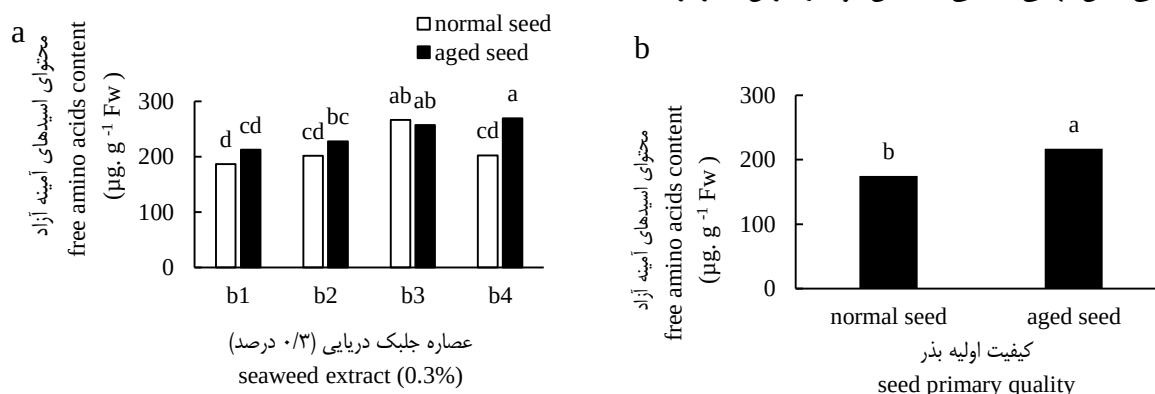
^{ns}, * و ** به ترتیب: عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح پنج درصد و یک درصد.
ns, * and **: nonsignificant, significant in 5% and 1% respectively.

نشان داد که برهم‌کنش کیفیت اولیه بذر و عصاره جلبک بر محتوای اسیدهای آمینه آزاد در برگ سویا تأثیرگذار بود. همان‌طور که در شکل ۲(a) مشاهده می‌شود در شرایط نرمال تنها کاربرد عصاره به‌صورت محلول‌پاشی موجب افزایش این صفت شد. این در حالی است که در گیاهان حاصل از بذور فرسوده، کاربرد عصاره به‌صورت محلول‌پاشی و

اسیدهای آمینه آزاد

از آن‌جایی که آزمون بارلت برای این صفت معنی‌دار شد، داده‌ها در قالب تجزیه ساده (هر سال جداگانه) آنالیز شدند. تجزیه واریانس این صفت در جدول ۶ گزارش شده است. نتایج سال اول آزمایش

کلروفیل و فتوسنتز، بر رشد و عملکرد گیاهان مؤثر هستند (Gawronska, 2008). دلیل افزایش اسیدهای آمینه آزاد در گیاهان حاصل از بذور فرسوده را می‌توان ویژگی اسمولیتی این ترکیبات به‌منظور جاروب کردن رادیکال‌های آزاد حاصل از واکنش‌های فرسودگی دانست (Akbari et al., 2019). یکی از دلایل افزایش این صفت با کاربرد عصاره جلبک این است که عصاره جلبک حاوی اسیدهای آمینه است (Colla et al., 2014).



شکل ۱- تأثیر برهم‌کنش کیفیت اولیه بذر و عصاره جلبک دریایی در سال ۱۳۹۸ (a) و تأثیر کیفیت اولیه بذر در سال ۱۳۹۹ (b) بر محتوای اسیدهای آمینه آزاد در برگ‌ها. b1: صفر، b2: پیش‌تیمار، b3: محلول‌پاشی و b4: پیش‌تیمار بذری به همراه محلول‌پاشی. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با آزمون LSD ندارند.

Figure 2- Effect of seed primary quality and seaweed extract in 2018 (a) and effect of seed primary quality in 2019 (b) on free amino acids content of leaves. b1: control, b2: pretreatment, b3: foliar spray and b4: seed pretreatment+foliar spray. Columns with at least one same letter have not significant difference at 5% probability level using the LSD.

جدول ۶- تجزیه واریانس میانگین مربعات اسیدهای آمینه آزاد (free amino acids)، نسبت کلروفیل a به b ($\text{Chl}_a/\text{Chl}_b$) و کلروفیل کل (Chl) (total) تحت تأثیر فرسودگی و عصاره جلبک در مزرعه سویا (تجزیه جداگانه سال ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹)

Table 6- Variance analysis of mean squares of free amino acids, $\text{Chl}_a/\text{Chl}_b$ and $\text{Chl}_{\text{total}}$ under aging and seaweed extract on field of soybean (2018 and 2019)

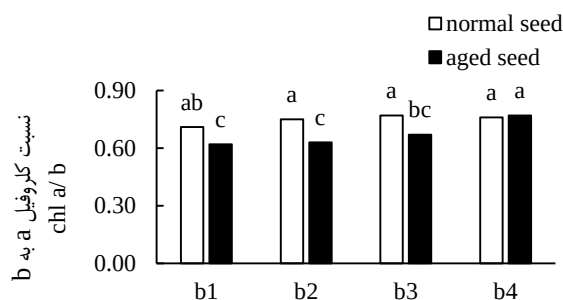
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	Free amino acids	$\text{Chl}_a/\text{Chl}_b$	$\text{Chl}_{\text{total}}$	Free amino acids	$\text{Chl}_a/\text{Chl}_b$	$\text{Chl}_{\text{total}}$
		۱۳۹۸ (2018)			۱۳۹۹ (2019)		
تکرار Replication	1	428.53	0.001	0.06	1273.23	0.085	0.08
زوال Aging (a)	4	4558.58**	0.03**	0.002 ^{ns}	10652.61**	0.22*	1.94*
عصاره جلبک (b)	1	4383.43**	0.004 ^{ns}	0.67*	907.57	0.30**	2.30**
Seaweed extract a*b	3	1473.73*	0.015**	0.34 ^{ns}	84.47	0.04	1.81*
خطای Error	14	388.91	0.001	0.18	539.48	0.026	0.37
ضریب تغییرات C.V (%)	-	8.6	6.2	6.9	11.9	15.6	10.4

^{ns}, * و ** به ترتیب: عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح پنج درصد و یک درصد.
ns, * and **: nonsignificant, significant in 5% and 1% respectively.

حاصل از بذور فرسوده در سال ۱۳۹۸، به میزان معنی‌داری کمتر از شرایط نرمال بود. کاربرد عصاره جلبک در شرایط نرمال تأثیری بر این صفت نشان نداد و کاربرد توأم پیش‌تیمار و محلول‌پاشی در شرایط فرسودگی موجب افزایش معنی‌دار این صفت شد (شکل ۳).

رنگدانه‌های فتوسنتزی (نسبت کلروفیل a به b و کلروفیل کل) (کل)

نتایج تجزیه واریانس در جدول ۶ نشان داده شده است. بررسی شکل ۳ بیانگر این است که نسبت کلروفیل a به b در برگ گیاهان



عصاره جلبک دریایی (۰/۳ درصد)

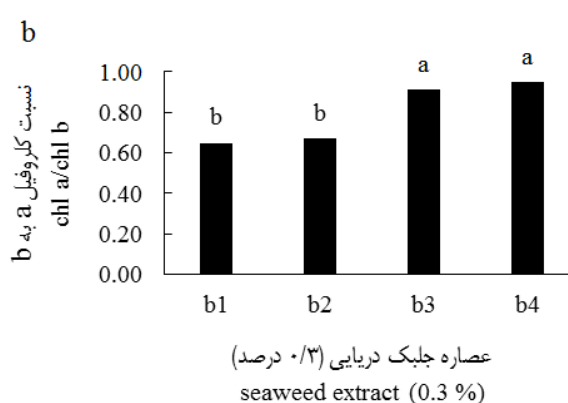
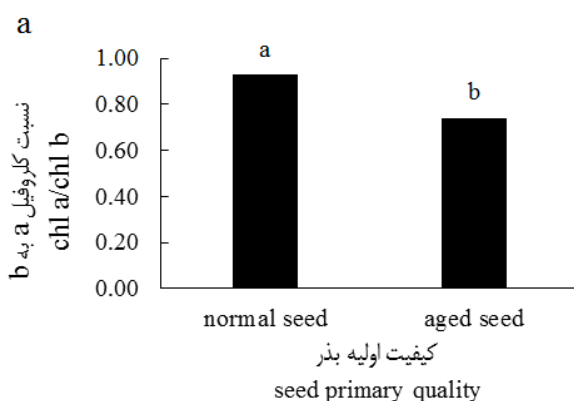
seaweed extract (0.3%)

شکل ۳- تأثیر برهم‌کنش کیفیت اولیه بذر و عصاره جلبک دریایی بر نسبت کلروفیل a به b در سال ۱۳۹۸. b1: صفر، b2: پیش‌تیمار، b3: محلول‌پاشی و b4: پیش‌تیمار بذری به همراه محلول‌پاشی برگ. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با آزمون LSD ندارند.

Figure 4- Effect of seed primary quality and seed pretreatment of seaweed extract on chl a/chl b in 2018. b1: control, b2: pretreatment, b3: foliar spray and b4: seed pretreatment+foliar spray. Columns with at least one same letter have not significant difference at 5% probability level using the LSD.

میزان کلروفیل a موجب کاهش نسبت کلروفیل a به b گردیده است که دلیل این کاهش می‌تواند تخریب کلروفیل به‌وسیله گونه‌های فعال اکسیژن باشد. کلروفیل a مرکز واکنش فتوسنتسم‌های I و II است. لذا افزایش آن، تقویت سیستم فتوسنتزی گیاه را به دنبال خواهد داشت (Nayar and Gupta, 2006).

نتایج سال دوم بیانگر این بود که فرسودگی بذر موجب کاهش ۲۰/۴۳ درصدی در نسبت کلروفیل a به b شد (شکل ۴a) و استفاده از عصاره جلبک دریایی به‌صورت محلول‌پاشی و هم‌چنین کاربرد توأم پیش‌تیمار و محلول‌پاشی توانست این صفت را به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد ارتقا دهد (شکل ۴b). نتایج این پژوهش نشان داد که اعمال فرسودگی از طریق کاهش



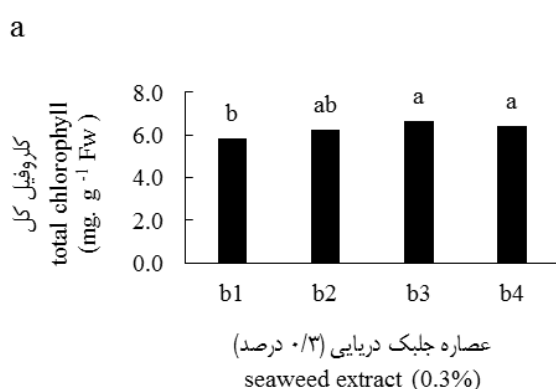
شکل ۴- تأثیر کیفیت اولیه بذر (a) و عصاره جلبک دریایی (b) بر نسبت کلروفیل a به b در سال ۱۳۹۹. b1: صفر، b2: پیش‌تیمار، b3: محلول‌پاشی و b4: پیش‌تیمار بذری به همراه محلول‌پاشی برگ. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با آزمون LSD ندارند.

Figure 4- Effect of seed primary quality (a) and seaweed extract (b) on chl a/chl b in 2019. b1: control, b2: pretreatment, b3: foliar spray and b4: seed pretreatment+foliar spray. Columns with at least one same letter have not significant difference at 5% probability level using the LSD.

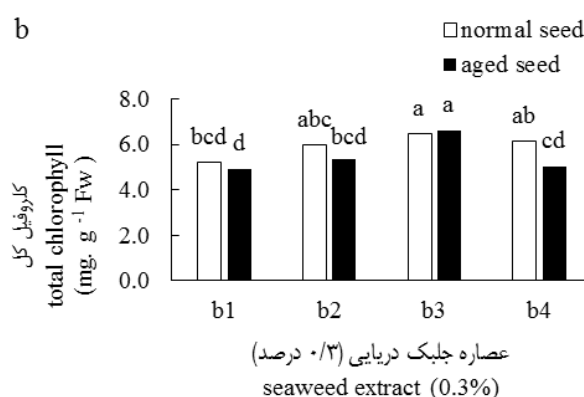
Lycopersicon (sativa) و *Vinoth et al. (2017)* در گوجه‌فرنگی (*sculentum* L. نیز گزارش کردند که کاربرد عصاره جلبک موجب افزایش میزان کلروفیل گردید. کلروفیل کل در سال اول، تنها تحت تأثیر کاربرد عصاره جلبک

کاربرد عصاره جلبک دریایی احتمالاً از طریق کاهش تولید این گونه‌های مخرب اکسیژن توانسته است از کاهش کلروفیل a جلوگیری کند. در راستای این پژوهش *Hussein et al. (2021)* در ذرت (*Zea mays* L.)، *Yusuf et al. (2019)* در کاهو (*Lactuca*

باشد. سیتوکینین‌ها نمو کلروپلاست را تسریع می‌کنند و منجر به افزایش تعداد و سایز کلروپلاست و گسترش بهتر گرانا می‌شوند (Ali *et al.*, 2021). هم‌چنین افزایش میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی ممکن است به دلیل حضور بتائین‌ها در عصاره جلبک دریایی باشد (Vijayanand *et al.*, 2014). نتایج بررسی‌های قبلی نیز نشان داده است که کاربرد عصاره جلبک دریایی سبب افزایش سطح کلروفیل برگ از طریق افزایش سنتز آن می‌شود (Khan *et al.*, 2009). مشابه نتایج تحقیق حاضر محققان دیگری نیز گزارش کردند که کاربرد عصاره جلبک دریایی سبب افزایش میزان کلروفیل در سویا گردید (Joshi paneri *et al.*, 2020; Ramarajan *et al.*, 2012).



قرار گرفت و تیمار فرسودگی تأثیری بر این صفت نشان نداشت. نتایج سال اول آزمایش نشان داد که کاربرد عصاره جلبک دریایی به‌صورت محلول‌پاشی و کاربرد توأم پیش‌تیمار و محلول‌پاشی موجب افزایش معنی‌دار کلروفیل کل نسبت به شاهد شد (شکل ۵a). بررسی برهم‌کنش کیفیت اولیه بذر و عصاره جلبک دریایی در سال دوم آزمایش حاکی از آن است که در هر دو شرایط نرمال و فرسودگی بذر تنها کاربرد عصاره جلبک به‌صورت محلول‌پاشی موجب افزایش معنی‌دار کلروفیل کل نسبت به شاهد گردید. سایر تیمارها اگرچه این صفت را افزایش دادند ولی از لحاظ آماری با گیاهان شاهد اختلافی نداشتند (شکل ۵b). افزایش در محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی ممکن است ناشی از حضور هورمون سیتوکینین در عصاره جلبکی



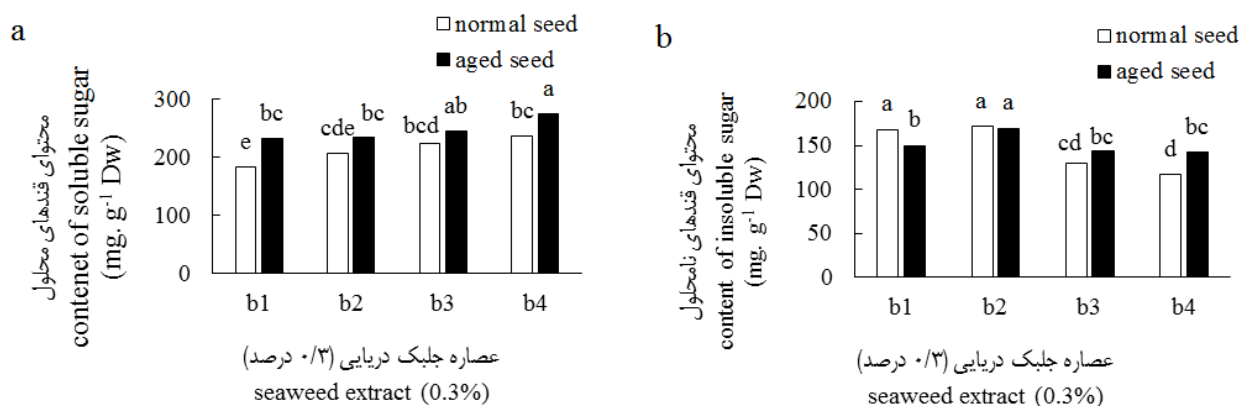
شکل ۵- تأثیر عصاره جلبک دریایی بر میزان کلروفیل کل در سال ۱۳۹۸ (الف) و برهم‌کنش کیفیت اولیه بذر و عصاره جلبک دریایی بر میزان کلروفیل کل در سال ۱۳۹۹. b1: صفر، b2: پیش‌تیمار، b3: محلول‌پاشی و b4: پیش‌تیمار بذر به همراه محلول‌پاشی ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با آزمون LSD ندارند.

Figure 5- Effect of seaweed extract on total chlorophyll in 2018 (a) and seed primary quality and seaweed extract on total chlorophyll in 2019. b1: control, b2: pretreatment, b3: foliar spray and b4: seed pretreatment+foliar spray. Means followed by the same letters in each column are not significantly different by LSD test at 5% probability level.

فشار اسمزی، نگهداری تورژسانس، پایداری غشاءها و پروتئین‌ها به گیاه کمک می‌کنند (Movahhedi Dehnavi *et al.*, 2017). مهم‌ترین عامل افزایش قند محلول در شرایط فرسودگی در این پژوهش می‌تواند تخریب هیدرات‌های کربن نامحلول (نشاسته) باشد که در نهایت منجر به افزایش قندهای محلول می‌شود. پژوهشگران دیگر نیز نشان دادند که فرسودگی بذر سویا موجب افزایش میزان قند محلول در برگ گیاهان حاصل از این بذور شد (Mansouri *et al.*, 2015). این محققان بیان کردند که شاید بتوان افزایش قندهای محلول در شرایط فرسودگی را با فعالیت بیشتر چرخه گلی‌اکسیلات و مسیر گلوکونوژنز که در طی آن ذخایر لیپیدی به هیدرات‌های کربن تبدیل می‌شوند، توجیه کرد. پژوهشگران دریافتند که عصاره جلبک به دلیل داشتن هورمون‌های رشد، عناصر میکرو و ماکرو و هم‌چنین به دلیل حضور مولکول‌های آلی نظیر اسیدهای آلی منجر به افزایش میزان قند محلول می‌شود (Jannin *et al.*, 2013).

قندهای محلول و نامحلول

تجزیه واریانس میانگین مربعات این صفات در جدول ۵ نشان داده شده است. پیری تسریع شده در گیاهانی که عصاره را دریافت نکرده بودند (نه به‌صورت پیش‌تیمار و نه به‌صورت محلول‌پاشی)، موجب افزایش ۲۶/۹۴ درصدی میزان قندهای محلول و کاهش ۱۰/۸۴ درصدی قندهای نامحلول موجود در برگ نسبت به شرایط نرمال شد (شکل ۶a و ۶b). در شرایط فرسودگی، تنها کاربرد پیش‌تیمار به همراه محلول‌پاشی موجب افزایش معنی‌دار قندهای محلول نسبت به شاهد شد ولی در گیاهان حاصل از بذور نرمال، تیمار محلول‌پاشی و هم‌چنین کاربرد توأم پیش‌تیمار به همراه محلول‌پاشی، این صفت را نسبت به شاهد افزایش داد (شکل ۶a). در شرایط نرمال، محلول‌پاشی و کاربرد توأم پیش‌تیمار به همراه محلول‌پاشی موجب کاهش میزان قندهای نامحلول شدند (شکل ۶b). قندهای محلول جزئی از محافظان اسمزی هستند که در پاسخ به تنش‌ها تجمع می‌یابند و در تنظیم اسمزی نقش دارند. قندهای محلول با افزایش



شکل ۶- تأثیر برهم‌کنش کیفیت اولیه بذر و عصاره جلبک دریایی بر محتوای قند محلول و نامحلول موجود در برگ. b1: صفر، b2: پیش‌تیمار، b3: محلول‌پاشی و b4: پیش‌تیمار بذری به همراه محلول‌پاشی برگ. ستون‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد با آزمون LSD ندارند.

Figure 6. Effect of seed primary quality and seaweed extract on content of soluble and insoluble sugars in leaves. b1: control, b2: pretreatment, b3: foliar spray and b4: seed pretreatment+foliar spray. Columns with at least one same letter have not significant difference at 5% probability level using the LSD.

۲۲/۱۲ و ۳۴/۱۵ درصدی در شاخص سطح برگ شد (جدول ۷). احتمالاً تیمار فرسودگی در این تحقیق از طریق کاهش دادن درصد سبز شدن نهایی مزرعه موجب کاهش معنی‌دار شاخص سطح برگ گردید. کاهش سطح برگ منجر به کاهش سرعت فتوسنتز خالص می‌شود و در نتیجه مواد فتوسنتزی برای رشد گیاه کاهش می‌یابد. در تحقیق دیگری مشخص شد که فرسودگی سبب کاهش سطح برگ در سویا شد (Ebene et al., 2020). در توافق با این تحقیق، نتایج سایر تحقیقات نشان دادند که عصاره جلبک دریایی از طریق افزایش سنتز کلروفیل موجب افزایش سطح برگ نخود و سویا گردید (Khan et al., 2009; Patil et al., 2019).

هدایت روزنه‌ای

هدایت روزنه‌ای در برگ گیاهان حاصل از بذور فرسوده ۹/۶۴ درصد کمتر از گیاهان شاهد بود (جدول ۷). استفاده از عصاره جلبک دریایی به صورت محلول‌پاشی و کاربرد توأم پیش‌تیمار و محلول‌پاشی موجب افزایش هدایت روزنه‌ای در برگ سویا شدند. میزان این صفت در گیاهان حاصل از بذور پیش‌تیمار شده اگرچه افزایش یافت ولی از لحاظ آماری با شاهد اختلاف معنی‌دار نشان نداد (جدول ۳). محققان گزارش کردند که محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی موجب افزایش هدایت روزنه‌ای در گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) (Sibi et al., 2015) و اسفناج (*Spinacia oleracea*) شد (Xu et al., 2015).

شاخص هدایت الکتریکی غشاء

طبق نتایج به‌دست آمده در این تحقیق، شاخص هدایت الکتریکی غشاء در برگ گیاهان روئیده از بذور فرسوده ۵/۴۱ درصد بیشتر از شرایط نرمال بود. استفاده از تمامی سطوح عصاره جلبک دریایی در این پژوهش موجب کاهش معنی‌دار این صفت از ۷۸ درصد به حدود ۷۴ درصد شد (جدول ۷). یکی از دلایل افزایش شاخص هدایت الکتریکی غشاء در شرایط فرسودگی احتمالاً افزایش پراکسیداسیون لیپیدها است که منجر به افزایش رادیکال‌های آزاد می‌شود و به غشاء خسارت وارد می‌کند. تولید و انباشتگی رادیکال‌های آزاد موجب خسارت به اسیدهای چرب غیراشباع غشاهای سلولی می‌شود، در ادامه رادیکال‌های آزاد دیگری تولید می‌شوند که این رادیکال‌ها با یکدیگر ترکیب و در نهایت کلیه این تغییرات به اختلال در غشاء، افزایش نفوذپذیری و نشت مواد از برگ و در نهایت افزایش هدایت الکتریکی منجر می‌شوند (Ghaderifar et al., 2012). احتمالاً عصاره جلبک دریایی نیز با کاهش دادن میزان گونه‌های فعال اکسیژن موجب کاهش شاخص هدایت الکتریکی گردیده است. در تحقیقی محلول-پاشی عصاره جلبک قهوه‌ای موجب کاهش شاخص هدایت الکتریکی غشاء در لوبیا سفید (*Phaseolus lanatus* L.) شد (Beigzadeh et al., 2019).

شاخص سطح برگ

فرسودگی بذر موجب شد که شاخص سطح برگ در گیاهان روئیده از این بذور به میزان ۲۹/۲۷ درصد کاهش یابد (جدول ۷). استفاده از عصاره جلبک دریایی به صورت محلول‌پاشی و هم‌چنین کاربرد پیش‌تیمار به همراه محلول‌پاشی موجب افزایش چشمگیر

جدول ۷- مقایسه میانگین اثرات کیفیت اولیه بذر و عصاره جلبک دریایی بر هدایت الکتریکی (EC)، شاخص سطح برگ (LAI)، هدایت روزنه‌ای (SC)، عملکرد روغن (Oil yield) و عملکرد دانه (Seed yield) سویا

Table 7- Mean comparison of seed primary quality and seaweed extract on Electrical conductivity (EC), Leaf area index (LAI), Stomatal conductance (SC), Oil yield and Seed yield

تیمارها Treatments	EC	LAI	SC	Oil yield	Seed yield
کیفیت اولیه بذر Seed primary quality	%		mmol CO ₂ . m ⁻² . S ⁻¹	g.m ⁻²	g.m ⁻²
بذر نرمال Normal seed	72.27	3.04	161.39	55.94	278.83
بذر فرسوده Aged seed	77.68	2.15	145.82	36.02	187.68
LSD 5%	1.246	0.250	7.922	6.208	30.89
عصاره جلبک دریایی Seaweed extract					
شاهد Control	78.20	2.26	140.77	32.46	167.21
پیش تیمار Pretreatment	74.01	2.30	146.30	50.83	258.23
محلول پاشی Foliar spray	74.15	2.76	153.18	38.42	193.46
پیش تیمار+محلول پاشی Pretreatment+Foliar spray	73.54	3.04	174.17	62.22	314.11
LSD 5%	1.762	0.354	11.204	8.78	43.69

عملکرد روغن و عملکرد دانه

عملکرد روغن در گیاهان رشد یافته از بذر فرسوده ۳۶/۰۲ گرم در مترمربع بود که به میزان ۱۹/۹۲ گرم در مترمربع کمتر از شرایط نرمال بود (جدول ۷). پیش تیمار بذر با عصاره جلبک دریایی موجب افزایش ۵۶/۵۹ درصدی عملکرد روغن نسبت به شاهد شد، در حالی که محلول پاشی با این ماده اختلافی با شاهد نشان نداد. بالاترین عملکرد روغن معادل ۶۲/۲۲ گرم در مترمربع به گیاهانی اختصاص داشت که عصاره جلبک را به صورت کاربرد توأم پیش تیمار بذری و محلول پاشی برگری دریافت کرده بودند (جدول ۷). از دلایل کاهش میزان روغن در شرایط فرسودگی می توان به کاهش سطح برگ، کاهش میزان کلروفیل و در نتیجه کاهش تولید مواد فتوسنتزی اشاره کرد. با توجه به این که کلروفیل گیاهان حاصل از بذر فرسوده نیز کاهش یافته است، احتمال می رود در ساختار کلروپلاست گیاهان حاصله اختلال به وجود آمده باشد و از آن جا که بیوستنژ اسیدهای چرب در کلروپلاست و پلاستیدها صورت می گیرد بنابراین کاهش معنی داری در عملکرد روغن مشاهده گردید (جدول ۷). از آن جا که انرژی لازم برای ساختن روغن بسیار بیشتر از انرژی لازم برای ساختن کربوهیدرات ها است، گیاه در هنگام کاهش مواد فتوسنتزی میزان کمتری از این مواد را به ساختن روغن اختصاص می دهد و موجب کاهش درصد روغن در بذر می شود (Verma et al., 2005). مشابه تحقیق حاضر رحیمی و همکاران (Rahimi et al., 2014) در سویا و اوندرو و همکاران (Onder et al., 2020) در گلرنگ مشاهده کردند که اعمال فرسودگی موجب کاهش عملکرد روغن در بذر گیاهان حاصل از آن ها شد. با توجه به این که عصاره جلبک دریایی حاوی مقادیر قابل توجهی از عناصر پتاسیم، فسفر، منیزیم و هورمون های گیاهی است، احتمالاً کاربرد جلبک دریایی سبب افزایش

فراهمی و جذب عناصر غذایی مذکور به سمت دانه ها و در نتیجه افزایش میزان روغن شده است (Shahbazi et al., 2015). محققان دیگری نیز در کلزا مشاهده کردند که کاربرد عصاره جلبک دریایی عملکرد روغن را تا سطح معنی داری ارتقا داد (Azarmehr et al., 2016).

نتایج نشان داد که در اثر فرسودگی بذر، عملکرد دانه به میزان ۳۲/۶۹ درصد کاهش نشان داد (جدول ۷). عملکرد دانه در گیاهان شاهد و گیاهانی که عصاره جلبک را تنها به صورت محلول پاشی دریافت کرده بودند نسبت به تیمارهای دیگر در سطح پایین تری قرار گرفت. محلول پاشی با عصاره جلبک موجب افزایش ۵۴/۴۳ درصدی عملکرد دانه نسبت به شاهد شد. زمانی که گیاهان عصاره جلبک دریایی را به هر دو صورت پیش تیمار بذری و محلول پاشی برگری دریافت کردند بالاترین عملکرد دانه (معادل ۳۱۴/۱۱ گرم در متر مربع) را به خود اختصاص دادند که نسبت به شاهد افزایش ۸۷/۸۵ درصدی را نشان داد (جدول ۷). این نتیجه قابل پیش بینی بود چراکه فرسودگی بذر احتمالاً از طریق کاهش میانگین ظهور گیاهچه مزرعه (شکل ۱)، شاخص سطح برگ، هدایت روزنه ای و افزایش هدایت الکتریکی (جدول ۷) موجب کاهش عملکرد دانه گردیده است. در مقابل عصاره جلبک دریایی ممکن است با افزایش میانگین ظهور گیاهچه، شاخص سطح برگ، هدایت روزنه ای و کاهش هدایت الکتریکی موجب افزایش عملکرد دانه شده باشد. افزایش عملکرد در گیاهان تیمار شده با عصاره جلبک دریایی می تواند به حضور عناصر ضروری و هورمون ها به خصوص سیتوکینین ها در عصاره جلبک دریایی مرتبط باشد. این افزایش در میزان سیتوکینین در دسترس گیاه موجب شروع گلدهی و افزایش عملکرد در گیاه می شود (Vijayanand et al., 2014). در توافق با نتایج این تحقیق، سایر

الکتریکی (-0.56)، شاخص سطح برگ (0.53) و هدایت روزنه‌ای (0.39) به عنوان متغیرهای اصلی وارد مدل شدند. با توجه به میزان ضریب تبیین 50.46% درصد از تغییرات عملکرد دانه توسط این ۴ صفت توجیه می‌شود. نتایج این پژوهش نشان داد که این ۴ صفت اثرات خود را بیشتر به صورت مستقیم بر عملکرد دانه داشتند. بیشترین اثر مستقیم مثبت را به ترتیب میانگین ظهور گیاهچه در مزرعه (0.360)، هدایت روزنه‌ای (0.225) و شاخص سطح برگ (0.192) به خود اختصاص دادند. در بین این ۴ صفت، هدایت الکتریکی بیشترین اثر مستقیم و منفی (-0.156) را بر عملکرد دانه داشت.

پژوهش‌ها نشان دادند که استفاده از عصاره جلبک دریایی سبب افزایش عملکرد در سویا گردید (Patil et al., 2019; Kocira et al., 2019).

تجزیه علیت

برای تعیین سهم اثرهای مستقیم و غیر مستقیم متغیرها بر عملکرد دانه از تجزیه علیت استفاده شد. همان‌طور که در جدول ۸ ملاحظه می‌گردد زمانی که عملکرد دانه به عنوان صفت وابسته در نظر گرفته شد میانگین ظهور گیاهچه در مزرعه (0.59)، هدایت

جدول ۸- تجزیه علیت عملکرد دانه تحت تأثیر صفات میانگین ظهور گیاهچه در مزرعه (MDE)، هدایت الکتریکی (EC)، شاخص سطح برگ (LAI) و هدایت روزنه‌ای (SC) (عملکرد دانه صفت وابسته است)

Table 8- Path coefficient analysis of Mean daily Seedling field emergence (MDE), Electrical conductivity (EC), Leaf area index (LAI) and Stomatal conductance (SC) traits on seed yield (seed yield is dependent trait).

Traits	MDE	EC	LAI	SC	Total effects
MDE	0.360	0.106	0.091	0.036	0.59
EC	-0.246	-0.156	-0.104	-0.056	-0.56
LAI	0.171	0.085	0.192	0.079	0.53
SC	0.059	0.036	0.067	0.225	0.39
R- Square	0.5046				

به‌ویژه در شرایط فرسودگی بذر اثر مثبت داشت و موجب افزایش عملکرد روغن و دانه شد. سطوح مورد استفاده عصاره جلبک در این پژوهش، تا حدودی اثرات منفی فرسودگی را تخفیف دادند. در نهایت کاربرد توأم این ماده به صورت پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی برگی برای بهبود شرایط فرسودگی در بذور سویا توصیه می‌شود.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این تحقیق پیری تسریع شده بذر سبب تغییراتی در فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه سویا از جمله افزایش هدایت الکتریکی و محتوای اسیدهای آمینه آزاد در برگ گیاه و کاهش عملکرد روغن و عملکرد دانه شد. استفاده از عصاره جلبک دریایی

References

- Ahmadpour, R., Mohammadi, F., and Armand, N. 2020. The effects of *Ascophyllum nodosum* extract on the stimulation of germination indices in *Lycopersicon sculentum* L. under drought stress. Journal of Seed Research 10 (35): 31-44. (in Persian with English abstract).
- Akbari, M., Baradaran firouzabadi, M., Amerian, M. R., and Farrokhi, N. 2019. The effect of foliar application and seed pretreatment with cinnamic acid on physiological characteristics of Cowpea (*Vigna unguiculata*) aged seeds and resulting plants. Ph.D. Thesis in Crop Physiology. Shahrood University of Technology. 188 pp. (in Persian with English abstract).
- Ali, O., Ramsubhag, A., and Jayaraman, J. 2021. Biostimulant properties of seaweed extracts in plants: implications towards sustainable crop production. Plants 10 (531): 1-27. <https://doi.org/10.3390/plants10030531>.
- Azarmehr, A., Baghi, M., and Ziaeinassab, M. 2016. Effect of seaweed extract and sulphate on yield and some yield components of winter rapeseed (*Brassica Napus* L.) var. Natalie. Iranian Journal of Dynamic Agriculture. 3 (14): 155-165. (in Persian with English abstract).
- Barranco, D., Ruiz, N., and Gomes, M. 2005. Frost tolerance of eight olive cultivars. European Journal of Horticultural Science 40: 558-560. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.40.3.558>.
- Beigzadeh, S., Maleki, A., Mirzaee Heydari, M., Rangin, A., and Khorgami, A. 2019. Effects of salicylic acid and seaweed (*Ascophyllum nodosum*) extracts application on some physiological traits of white bean (*Phaseolus lanatus* L.) under drought stress conditions. Journal of Applied Research in Plants Ecophysiology 1 (14): 21-44. (in Persian with English abstract).
- Bonnett, G.D., and Incoll, L.D. 1992. Effects on the stem of winter barley of manipulating the sucrose and sink during grain-filling. Changes in accumulation and loss of mass from internodes. Journal of Experimental Botany 44: 75-82. <https://doi.org/10.1093/jxb/44.1.83>.

8. Colla, G., Rouphael, Y., Canaguier, R., Svecova, E., and Cardarelli, M. 2014. Biostimulant action of a plant-derived protein hydrolysate produced through enzymatic hydrolysis. *Frontiers in Plant Science* 5: 1-6. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00448>.
9. Ebone, L. A., Caverzan, A., Tagliari, A., Chiomento, J., Silveira, D., and Chavarria, G. 2020. Soybean seed vigor: uniformity and growth as key factors to improve yield. *Agronomy Journal* 10 (545): 1-15. <https://doi.org/10.3390/agronomy10040545>.
10. Gawronska, H. 2008. Bio stimulators in modern agriculture (General aspects). Plant Press Ryko. University of Life Sciences (WULS). 14: 23-89.
11. Ghaderifar, A., Soltani, A., and Sadeghipoor, H. R. 2012. Biochemical changes during ageing in medicinal pumpkin: lipid peroxidation and membrane damage. *Iranian Journal of Plant Biology* 20 (6): 96-112. (in Persian with English abstract).
12. Guerreiro, J. C., Blainski, E., Silva, D. L., Caramelo, J. P., Pascutti T. M., Oliveira N. C., and Ferreira-Filho, P. 2017. Effect of the seaweed extract applied on seeds and/or foliar sprays on soybean development and productivity. *Journal of Food Agriculture and Environment* 15 (1): 18-21.
13. Hiscox, J. D., and Israelstom, G. F. 1979. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Canadian Journal of Botany* 57: 1332-1334. <https://doi.org/10.1139/b79-163>.
14. Hussein, M. H., Eltanahy, E. G., Albakry, A., and Elsafty, N. 2021. Seaweed extracts as prospective plant growth bio-stimulant and salinity stress alleviator for *Vigna sinensis* and *Zea mays*. *Journal of Applied Phycology* 33 (2): 1-18. <https://doi.org/10.1007/s10811-020-02330-x>.
15. ISTA (International Seed Testing Association). 2009. International rules for seed testing. *Seed Science and Technology* 49: 41-86.
16. ISTA (International Seed Testing Association). 2006. International rules for seed testing. Basserdorf, Switzerland, 379 p.
17. Jannin, L., Arkoun, M., Etienne, P., Laine, P., Goux, D., and Garnica, M. 2013. *Brassica napus* growth is promoted by *Ascomyllum nodosum* (L.) Le Jol. seaweed extract: microarray analysis and physiological characterization of N, C, and S metabolisms. *Journal Plant Growth Regulation* 32: 31-52. <https://doi.org/10.1007/s00344-012-9273-9>.
18. Joshi-Paneri, J., Chamberland, G., and Donnelly, D. 2020. Effects of *Chelidonium majus* and *Ascomyllum nodosum* extracts on growth and photosynthesis of soybean. *Acta Agrobotanica* 73 (1): 1-6.
19. Kapoor, N., Arya, A., Siddiqui, M. A., Amir, A., and Kumar, H. 2010. Seed deterioration in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under accelerated ageing. *Asian Journal of Plant Science* 9: 158-162.
20. Khan, W., Menon, U., Subramanian, S., and Critchley, A. 2009. Seaweed extract as biostimulants of plant growth and development. *Journal of Plant Growth Regulation* 28: 386-399. <https://doi.org/10.1007/s00344-009-9103-x>.
21. Kocira, S., Szparaga, A., Kubo, M., Czerwinska, E., and Piskier, T. 2019. Morphological and biochemical responses of *Glycine max* (L.) Merr. to the use of seaweed extract. *Agronomy Journal* 9 (1): 93. <https://doi.org/10.3390/agronomy9020093>.
22. Layek, J., Das, A., Ramkrushna, G. I., Sarkar, D., Ghosh, A., Zodape, S. T., Lal, R., Yadav, G. S., Panwar, A. S., Ngachan, S., and Meena, R. 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>.
23. Maesaroh, S., Wahyu, Y., and Widajati, E. 2021. Seed storability and genetic parameters estimation on accelerated aging seed of argomulyo soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) mutant lines. *Journal of Agricultural Sciences* 31 (3): 763-775. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.911571>.
24. Mansouri Gandamany, V., Omidi, H., and Bostani, A. 2015. Effects of nanoparticle silicon dioxide (SiO₂) and chitosan on modulators seed deterioration and salinity stress in Soybean. Ms. C. thesis of Shahed University. (in Persian with English abstract).
25. Movahhedi Dehnavi, M., Niknam, N., Behzadi, Y., and Mohtashami, R. 2017. Comparison of physiological responses of linseed (*Linum usitatissimum* L.) to drought and salt stress and salicylic acid foliar application. *Iranian Journal of Plant Biology* 9 (3): 39-62. (in Persian with English abstract).
26. Nascimento, W. M. 2013. Muskmelon seed germination and seedling development in response to seed priming. *Scientia Agricola* 60: 71-75.
27. Nazari, R., Parsa, S., Afshari, R., and Mahmodi, S. 2020. The effect of seed priming with salicylic acid on the activity of antioxidant enzymes and fat peroxidation in deteriorated seeds (*Glycine max* (L.) Merrill, William variety). *Iranian Journal of Seed Science and Technology* 1 (9): 50-57. (in Persian with English abstract).
28. Nayar, H., and Gupta, D. 2006. Differential sensitivity of C₃ and C₄ plants to water deficit stress. Association with oxidative stress and antioxidants. *Environmental and Experimental Botany* 58: 106-113. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.06.021>.
29. Onder, S., Tonguc, M., Guvercin, D., and Karakurt, Y. 2020. Biochemical changes stimulated by accelerated aging in safflower seeds (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Seed Science* 42: 1-12.
30. Oomah, B. D., Mazza, G., and Przyblski, R. 1995. Comparison of flaxseed meal lipids extracted with different solvent. *Journal of Food Science and Technology* 29: 654-658. <https://doi.org/10.1006/ftsl.1996.0100>.
31. Patil, S., Bhalerao, G. A., More, V. R., and Waghmare, P. K. 2019. Effect of combination of inorganic fertilizer

- and seaweed extract on growth and yield of soybean crop. *Journal of Chemistry* 7 (6): 2304-2306.
32. Rahimi, G., Bradaran Firouzabadi, M., Makarian, H., and Gholipour, M. 2014. The effect of seed aging and pretreatment with pyridoxine on growth and yield of soybean in weed competition. M.Sc. Thesis. Shahrood University of Technology. (in Persian with English abstract).
33. Rajendra, D., Satpute, A., and Sanjay, P. 2018. Studies on physiology of soybean seeds by applying tool of accelerated aging test for vigor assessment. *Journal of Pharma and Bio Science* 7 (3): 12-23.
34. Ramarajan, S., Henry Josef, L., and Saravana Ganthi, A. 2012. Effect of seaweed liquid fertilizer on the germination and pigment concentration of soybean. *Journal of Crop Science and Technology* 1 (2): 1-5.
35. Santos, R. F., Placido, H. F., Bosche, L. L., Neto, H. Z., Ferando, H., and Alessandro, B. 2021. Accelerated aging methodologies for evaluating physiological potential of treated soybean seeds. *Journal of Seed Science* 43 (41). <https://doi.org/10.1590/2317-1545v43250605>.
36. Shahbazi, F., Seyyed nejad, M., Salimi, A., and Gilani, A. 2015. Effect of seaweed extracts on the growth and biochemical constituents of wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science* 8 (3): 283-287.
37. Shelar, V. R., Shaikh, R. S., and Nikam, A. S. 2008. Soybean seed quality during storage: *Agricultural Reviews* 29 (2): 125-131.
38. Sibi, M., Khazaie, H. M., and Nezami, A. 2015. Effect of concentrations, time and application mode of seaweed extract on yield and quality of spring safflower. Ph.D. Thesis. Ferdowsi University of Mashhad. (in Persian with English abstract).
39. Taji, M., Rahemi karizaki, A., and Daneshmand khosravi, K. 2014. Effect of seed aging on emergence and morphological characteristics of sunflower cultivars (*Helianthus annus* L.). *Journal of Applied Research of Plant Ecophysiology* 1 (4): 19-30. (in Persian with English abstract).
40. Verma, S. K., Bjpai, G. C., Tewari, S. K., and Singh, J. 2005. Seedling index and yield as influenced by seed size in pigeon pea. *Legume Resarch* 28: 143-145.
41. Vijayanand, N., Ramya, S. S., and Rathinavel, S. 2014. Potential of liquid extracts of *Sargassum wightii* on growth, biochemical and yield parameters of cluster bean plant. *Asian Pacific Journal Reprod* 3 (2): 150-155. [https://doi.org/10.1016/S2305-0500\(14\)60019-1](https://doi.org/10.1016/S2305-0500(14)60019-1).
42. Vinoth, S., Sundari Gurusaravanan, P., Sivakumar, S., Siva, G., Kumar, G. P., Manju Velmurugan, K., Lakshminarayana, V., and Jayabalan, N. 2017. Evaluation of Liquid Extract on salt stress alleviation in tomato plants. *Asian Journal of Plant Science* 16 (4): 172-183.
43. Wang, R., Wu, F., Xie, X., and Yang, C. 2021. Quantitative trait locus mapping of seed vigor in soybean under - 20°C storage and accelerated aging conditions via RAD sequencing. *Molecular Biology* 43: 1977-1996. <https://doi.org/10.3390/cimb43030136>.
44. Xiong, Z. T., Chao, L., and Bing, G. 2006. Phytotoxic effects of copper on nitrogen metabolism and plant growth in *Brassica pekinensis* Rupr. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 64: 273-280. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2006.02.003>.
45. Xu, C., and Leskovar, D. I. 2015. Effects of *A. nodosum* seaweed extracts on spinach growth, physiology and nutrition value under drought stress. *Scientia Horticultura* 183: 39-47. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2006.02.003>.
46. Yang, J., Zhang, J., Huang, Z., Zhu, Q., and Wang, L. 2000. Remobilization of carbon reserved is improved by controlled soil drying during grain filling of wheat. *Crop Science* 40: 1645-1655. <https://doi.org/10.2135/cropsci2000.4061645x>.
47. Yusuf, R., Kristiansen, P., and Warwick, N. 2012. Potential effect of plant growth regulators on two seaweed products. *Acta Horticulturae* 958: 133-138. doi: [10.17660/ActaHortic.2012.958.15](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.958.15).

Contents

Research Articles

Effect of Deficit Irrigation on Water Use Efficiency and Tuber Dry Matter of Potato Cultivars	1
A. Nouri, A. Nezami, M. Kafi, D. Hassanpanah	
Effect of Water and Potassium Fertilizer on Yield and Quality of Potato (<i>Solanum tuberosum</i> L.) under Subsurface Irrigation Condition	15
B. Yousefi, H. R. Khazaei, M. Parsa	
Comparison of Environmental Effects of Conventional and Low Input Saffron Production Systems in Razavi Khorasan by Using the Life Cycle Assessment Methodology	29
P. Rezvani Moghaddam, S. Khorramdel, S. Farshchin	
Effect of Nitrogen Fertilizer and Irrigation Levels on Yield and Some Physiological Traits of Wheat under Drip Irrigation	45
P. Shokati, A. Siosemardeh, F. Hosseinpahani, P. Fathi	
Effect of Irrigation and Nutrition Management on Yield and Yield Components of Quinoa in Birjand Conditions	65
H. Tabiei, R. Baradaran, M. J. Seghatoleslami, S. Gh. Mousavi	
The Study of Vegetative Traits and Oil Components in Three Populationa of <i>Ziziphora clinopodioides</i> L. in Esfahan	81
L. Safaai, E. Sharifi Ashoorabadi, D. Aminazarm	
Effect of Mycorrhizal Fungi Symbiosis and Foliar Application of Amino acids on Some Growth Traits and Pot Marigold Oil (<i>Calendula officinallis</i> L.)	93
M. Taheri Asghari	
Physiological Responses of Soybean Plant (DPX) to Pretreatment and Foliar Application of Seaweed Extract (<i>Ascophyllum nodosum</i>) and Seed Primary Quality	105
S. Arab, M. Baradaran Firouzabadi, A. Gholami, M. Haydari	

Iranian Journal of Field Crops Research

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

Vol. 20

No. 1

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

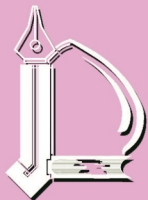
AghaAlikhani, M.	Weed-Crop Ecophysiology	Prof., Tarbiat Modares University, Tehran
Ehsanzadeh, P.	Plant Physiology	Prof., Isfahan University of Technology
Emam, Y.	Crop Physiology	Prof., Shiraz University
Bagheri, A.	Genetic and Plant Breeding	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Behdani, M.A.	Crop 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.1

2022

Iranian Journal of Field Crops Research

ISSN:2008-1472

Contents

Research Articles

Effect of Deficit Irrigation on Water Use Efficiency and Tuber Dry Matter of Potato Cultivars 1

A. Nouri, A. Nezami, M. Kafi, D. Hassanpanah

**Effect of Water and Potassium Fertilizer on Yield and Quality of Potato (*Solanum tuberosum* L.)
under Subsurface Irrigation Condition..... 15**

B. Yousefi, H. R. Khazaei, M. Parsa

**Comparison of Environmental Effects of Conventional and Low Input Saffron Production
Systems in Razavi Khorasan by Using the Life Cycle Assessment Methodology 29**

P. Rezvani Moghaddam, S. Khorramdel, S. Farshchin

**Effect of Nitrogen Fertilizer and Irrigation Levels on Yield and Some Physiological Traits of
Wheat under Drip Irrigation 45**

P. Shokati, A. Siosemardeh, F. Hosseinpanahi, P. Fathi

**Effect of Irrigation and Nutrition Management on Yield and Yield Components of Quinoa in
Birjand Conditions..... 65**

H. Tabiei, R. Baradaran, M. J. Seghatoleslami, S. Gh. Mousavi

**The Study of Vegetative Traits and Oil Components in Three Populationa of *Ziziphora
clinopodioides* L. in Esfahan 81**

L. Safaïi, E. Sharifi Ashoorabadi, D. Aminazarm

**Effect of Mycorrhizal Fungi Symbiosis and Foliar Application of Amino acids on Some
Growth Traits and Pot Marigold Oil (*Calendula officinallis* L.)..... 93**

M. Taheri Asghari

**Physiological Responses of Soybean Plant (DPX) to Pretreatment and Foliar Application
of Seaweed Extract (*Ascophyllum nodosum*) and Seed Primary Quality 105**

S. Arab, M. Baradaran Firouzabadi, A. Gholami, M. Haydari