Saffron Agronomy & Technology
Homepage: http://saffron.torbath.ac.ir
Vol. 12, No. 3, Fall 2024, p. 229-260

The Study of Growth Indices and Allocation Trend of Photoassimilates Between Different Parts of Saffron under the Influence of Corm Weight and Agricultural Inputs

Hamid-Reza Fallahi[1,2] , Mahsa Aghhavani-Shajari[3*], Hossein Sahabi[4,5] and Hassan Feizi[5,6]

Article type:
Research Article
Article history:
Submitted: 6 July 2024
Revised: 27 November 2024
Accepted: 8 December 2024
Available Online: 9 December 2024

How to cite this article:
Fallahi, H.R., Aghhavani-Shajari, M., Sahabi, H., and Feizi, H. 2024. The Study Of Growth Indices and Allocation Trend of Photoassimilates Between Different Parts of Saffron under the Influence of Corm Weight and Agricultural Inputs. Saffron Agronomy & Technology, 12(3): 229-260.
DOI: 10.22048/jsat.2024.466517.1536

Abstract

Evaluating the allocation trend of photoassimilates during the saffron growing season can lead to the identification of the key periods of plant growth. It is possible to improve the growth of the corm and ultimately increase the flowering of saffron by applying agricultural management according to the growth period. In this research, the allocation of photoassimilates between different organs of saffron under the influence of the mother corm weight (less than 4, 4-8, and 8-12 g) and the integrated and time-scheduled application of inputs (low-input and high-input), were investigated in a factorial layout based on a randomized complete block design with three replications. The maximum root weight was gained around 20th January (70 days after the first autumn irrigation) and the maximum leaf weight was observed on 29th February, and then it decreased, but after this date, the growth rate of the corm increased and reached its maximum value in the last month of the growing season. In all treatments, most of the mother corm reserves were consumed in the first 100 days after the first autumn irrigation, which coincides with mid-January. The production of replacement corms and their total weight accelerated 140 days after the first autumn irrigation, and its maximum amount (655 No. and 4148 $g.m^{-2}$, respectively) was obtained at the end of the growing season in the conditions of planting of big corms + high-input system. The highest mean weight of replacement corms (7.8 g) at the end of the growing season was obtained through planting of large mother corms + low-input system, while by planting small mother corms, the high input system increased the mean replacement corm weight. In all treatments, the highest corm growth rate was observed in the last month of the growing season (approximately 170 days after the first autumn irrigation). The total plant weight was strongly influenced by the weight of the mother corms, with no significant differences observed between the two input application levels. The highest crop growth rate (CGR) occurred in the final month of plant growth, reaching a maximum of 74.3 $g.m^{-2}$ day^{-1} under the combination of large corm planting and a high-input system. The plant's relative growth rate (RGR) increased during the time intervals of 100–140 and 180–200 days after the first autumn irrigation. There was no significant difference between the treatments in terms of the duration of the active period of corm filling, and it was about 45 days. At the end of the growing season, the highest and lowest levels of photoassimilate remobilization

1- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Iran
2- Plant and Environmental Stresses Research Group, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Iran
3- Assistant Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
4-Assistant Professor, Department of Plant Production, Faculty of Agriculture, University of Torbat Heydarieh, Torbat Heydarieh, Iran
5- Researcher Saffron Institute, University of Torbat Heydarieh, Torbat Heydarieh, Iran
Corresponding author email: aghhavani@um.ac.ir

© 2022, University of Torbat Heydarieh. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Non Commercial License (CC BY NC 4.0)
(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0).

(reallocation) from leaves to replacement corms (1016 kg.ha^{-1} and 220 kg.ha^{-1}, respectively) were observed with the planting of large corms combined with a high-input system and small corms combined with a high-input system. The maximum remobilization efficiency (56.2%) was achieved by planting 4–8 g mother corms and using the high-input system. According to the results of this study, the final month of saffron growth was identified as the most critical period for the corm growth rate.

Keywords: High input system, Corm growth rate, Remobilization, Relative growth rate, stigma

نشریه زراعت و فناوری زعفران
جلد۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳ ص. ۲۶۰-۲۲۹
Homepage: http://saffron.torbath.ac.ir

مقاله پژوهشی

مطالعه شاخص‌های رشد و روند تسهیم مواد فتوسنتزی زعفران تحت تأثیر وزن بنه و میزان مصرف نهاده‌های زراعی

حمیدرضا فلاحی[۱و۲]، مهسا اقحوانی شجری[۳*]، حسین صحابی[۴و۵] و حسن فیضی[۵و۶]

تاریخ دریافت: ۱۶ تیر ۱۴۰۳
تاریخ بازنگری: ۷ آذر ۱۴۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۸ آذر ۱۴۰۳

فلاحی، ح.ر.، اقحوانی شجری، م.، صحابی، ح.، فیضی، ح.۱۴۰۳. مطالعه شاخص‌های رشد و روند تسهیم مواد فتوسنتزی زعفران تحت تأثیر وزن بنه و میزان مصرف نهاده‌های زراعی. زراعت و فناوری زعفران، ۱۲(۳): ۲۶۰-۲۲۹.

چکیده

ارزیابی روند تسهیم مواد فتوسنتزی در طی فصل رشد زعفران می‌تواند منجر به شناسایی دوره‌های کلیدی رشد گیاه شود. با اعمال مدیریت زراعی متناسب با دورهٔ رشد، می‌توان به بهبود رشد بنه و در نهایت افزایش گلدهی زعفران کمک نمود. در این تحقیق روند تسهیم مواد فتوسنتزی بین اندام‌های مختلف زعفران تحت تأثیر وزن بنه مادری (کمتر از ۴ ، ۴ تا ۸ و ۸ تا ۱۲ گرم) و مدیریت تلفیقی و زمان‌بندی شدهٔ نهاده‌های زراعی (کم‌نهاده و پُرنهاده)، بصورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی سرایان (دانشگاه بیرجند) بررسی شد. حداکثر وزن ریشه در ابتدای بهمن‌ماه (۷۰ روز پس از اولین آبیاری پاییزه) و حداکثر وزن برگ در ۱۰ اسفندماه مشاهده شد و پس از آن کاهش یافت، اما پس از این تاریخ سرعت رشد بنه افزایش یافت و در یک‌ماه پایانی فصل رشد (نیمه فروردین- نیمه اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۶) به حداکثر مقدار خود رسید. در تمامی تیمارها بخش عمدهٔ ذخایر بنهٔ مادری در ۱۰۰ روز اول پس از اولین آبیاری پاییزه مصادف با اواخر دی‌ماه مصرف شد. تولید بنه‌های دختری و وزن کل آن‌ها، ۱۴۰ روز پس از اولین آبیاری پاییزه تسریع شد و حداکثر مقدار آن (به‌ترتیب ۶۵۵ عدد و ۴۱۴۸ گرم در مترمربع) در انتهای فصل رشد، در شرایط کاشت بنه‌های درشت + نظام پرنهاده حاصل شد. بیشترین مقدار متوسط وزن هر بنه دختری (۷/۸ گرم) در انتهای فصل رشد، در شرایط کاشت بنه‌های مادری درشت + نظام کم‌نهاده حاصل شد؛ در حالی‌که در شرایط کاشت بنه‌های مادری ریز استفاده از نظام پرنهاده موجب افزایش متوسط وزن بنه شد. در تمامی تیمارها، بیشترین سرعت رشد بنه در یک‌ماه آخر فصل رشد (تقریبا ۱۷۰ روز پس از اولین آبیاری پاییزه) مشاهده شد. وزن کل گیاه بطور معنی‌داری وابسته به وزن بنه‌های مادری بود، در حالی‌که در هر سه گروه وزنی بنه‌های مادری بین دو سطح مصرف نهاده تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. بیشترین سرعت رشد گیاه (CGR) در ماه پایانی رشد گیاه و حداکثر میزان آن (۷۴/۳ گرم بر مترمربع بر روز) در تیمار کاشت بنه‌های درشت + نظام پرنهاده حاصل شد. سرعت رشد نسبی گیاه (RGR) در فواصل روزهای ۱۰۰ تا ۱۴۰ و ۱۸۰ تا ۲۰۰ روز پس از اولین آبیاری پاییزه افزایش یافت. طول دوره فعال پرشدن بنه‌ها در بین تیمارها تفاوت معنی‌داری نداشت و حدود ۴۵ روز بود. در انتهای فصل رشد، بیشترین و کمترین میزان انتقال مجدد مواد فتوسنتزی از برگ‌ها به بنه‌های دختری (به‌ترتیب ۱۰۱۶ و ۲۲۰ کیلوگرم در هکتار) به ترتیب در تیمارهای کاشت بنه‌های درشت + نظام پرنهاده و کاشت بنه‌های ریز + نظام پرنهاده مشاهده شد. حداکثر کارایی انتقال مجدد (۵۶/۲ درصد) در تیمار کاشت بنه‌های ۴ تا ۸ گرم و اعمال نظام پرنهاده بدست آمد. بر اساس نتایج این تحقیق، ماه پایانی رشد زعفران از نظر افزایش وزن بنه‌های دختری و بهبود سرعت رشد بنه، به‌عنوان کلیدی‌ترین دوره شناسایی شد.

کلمات کلیدی: انتقال مجدد، نظام پرنهاده، سرعت رشد بنه، سرعت رشد نسبی، کلاله.

۱ – دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند
۲ – عضو گروه پژوهشی گیاه و تنش‌های محیطی، دانشگاه بیرجند
۳ – استادیار، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۴ – استادیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربت‌حیدریه
۵ – پژوهشگر پژوهشکده زعفران، دانشگاه تربت‌حیدریه
۶ – دانشیار، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربت‌حیدریه
(*-نویسنده مسئول: aghhavani@um.ac.ir)

DOI: 10.22048/jsat.2024.466517.1536

مقدمه

زعفران با نام علمی *Crocus sativus* L. یکی از باارزش‌ترین گیاهان دارویی و ادویه‌ای جهان است که اندام‌های مختلف آن به‌خصوص کلاله کاربردهای فراوانی در صنایع غذایی، آرایشی و دارویی دارد (Behdani & Fallahi, 2015). در کلالهٔ زعفران بیش از ۱۵۰ ترکیب مختلف شناسایی شده است که از بین آن‌ها کروسین، پیکروکروسین و سافرانال بیشترین اهمیت را دارند (Askary et al., 2023). ایران حدود ۹۰ درصد تولید جهانی زعفران را به خود اختصاص داده است. بر اساس آمار وزارت جهاد کشاورزی سطح زیرکشت این گیاه در ایران در سال ۱۴۰۱ بیش از ۱۱۲ هزار هکتار و تولید سالانهٔ کلالهٔ خشک ۴۰۸ تن بوده است (IMA, 2023).

مطالعهٔ روند انتقال و اختصاص مواد فتوسنتزی در زعفران از حیث مدیریت بهتر این گیاه در جهت تولید بنه‌های دختری دارای وزن مطلوب و در نتیجه افزایش توان گلدهی آن دارای اهمیت است (Fallahi et al., 2018a). در زعفران مواد فتوسنتزی در طی فصل رشد الگوی انتقال و اختصاص خاصی را پشت سر می‌گذارد. در اوایل فصل رشد اولویت گیاه به رشد ریشه و برگ و در اواخر دورهٔ رشد به توسعهٔ بنه‌های دختری داده می‌شود (Lopez-Corcoles et al., 2015; Behdani et al., 2016). در بسیاری از گیاهان زراعی توان ذخیره‌سازی و انتقال مجدد و به موقعِ ذخایر غذایی می‌تواند بخش مهمی از وزن نهایی مخازن اصلی که در زعفران بنه‌های دختری هستند، را به خود اختصاص دهد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که فراهمی محدود آب و در نتیجه وقوع تنش خشکی موجب کاهش میزان فتوسنتز جاری گیاهان زراعی شده و در نتیجه سهم انتقال کربوهیدرات‌هایی که در مخازن موقتی گیاه ذخیره شده‌اند، در عملکرد نهایی گیاه افزایش پیدا می‌کند. تمامی اندام‌های رویشی در بخشی از دورهٔ رشدی خود می‌توانند به عنوان مخزنی برای ذخیره مواد فتوسنتزی عمل کنند (Hokmalipour & Seyyed Sharifi, 2016). در گیاه زعفران نیز برگ‌های گیاه در طی یک بازهٔ زمانی مشخص به عنوان مخزن موقتی عمل می‌کنند که در انتهای فصل رشد این ذخایر در جهت انتقال مواد ذخیره‌ای به سمت بنه‌های دختری سهیم می‌شوند (Behdani & Fallahi, 2015).

تاکنون در پژوهش‌های محدودی موضوع روند تغییرات زیست‌توده اندام‌های گیاه زعفران در طی فصل رشد مورد مطالعه قرار گرفته است. برخی محققان بیان کردند که تشکیل بنه‌های دختری ممکن است در سراسر دوره رشد رویشی زعفران ادامه یابد، اما معمولاً سرعت تشکیل بنه‌های دختری در آذر ماه در حداکثر مقدار خود می‌باشد (Koocheki & Seyedi, 2015). بهدانی و همکاران (Behdani et al., 2016) در پژوهشی انتقال و اختصاص مواد فتوسنتزی را در گیاه زعفران در طی یک دورهٔ رشد از مهرماه تا زمان ریزش برگ‌ها در بهار مدل‌سازی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که مدل چند جمله‌ای درجه سوم از دقت بالایی برای پیش‌بینی روند تغییرات وزن اندام‌های مختلف زعفران در طی فصل رشد برخوردار بود. بر اساس یافته‌های آنها بازهٔ زمانی ۱۲۰ تا ۱۵۰ روز پس از آغاز رشد، به عنوان دوره‌ای بحرانی در ارتباط با روند انتقال و اختصاص مواد فتوسنتزی در گیاه زعفران به شمار می‌آید. توزیع زیست توده قبل و بعد از دورهٔ بحرانی دارای دو الگوی متفاوت می‌باشد. نتایج تحقیق دیگری (Fallahi et al., 2018b) نشان داد که قبل از دورهٔ بحرانی، مواد فتوسنتزی عمدتاً به برگ‌ها و ریشه‌ها اختصاص پیدا می‌کند، در حالی‌که پس از این دوره، بنه‌های دختری بیشترین سهم را از دریافت مواد فتوسنتزی به خود اختصاص می‌دهند. بنابراین، در ابتدای فصل رشد با استفاده از ذخایر بنه‌های مادری، سطح برگ و میزان ریشه در زعفران افزایش می‌یابد (۱۰۰ تا ۱۴۰ روز پس از کاشت)، ولی در دورهٔ پایانی رشد گیاه (از اوایل بهمن‌ماه و خصوصاً در ماه پایانی رشد)،

با انتقال مواد فتوسنتزی و ذخیره‌ای از سایر اندام‌ها، وزن بنه‌های دختری افزایش پیدا می‌نماید.

تاکنون موضوع تسهیم مواد فتوسنتزی و روابط بین مخازن و منابع فتوسنتزی تحت تأثیر مدیریت های مختلف زراعی در گیاه زعفران کمتر مورد توجه محققان قرار گرفته است. از جمله این مسایل می توان به اثر وزن بنه های مادری و نیز میزان مصرف نهاده های زراعی بر روابط منبع و مخزن در گیاه اشاره کرد که در تحقیق فعلی مورد توجه قرار گرفته است. در تحقیقی گزارش شد که بنه‌زایی (حداکثر مقدار آن در بازهٔ زمانی ۱۱۴ تا ۱۵۷ روز پس از اولین آبیاری پاییزه) بر پُر شدن بنه (شروع از ۱۳۵ روز پس از اولین آبیاری پاییزه) دارای تقدم زمانی بود. همچنین سرعت رشد بنه از روز ۵۰اُم پس از اولین آبیاری پاییزه افزایش یافت و حداکثر میزان آن (۰/۳۲ و ۰/۳۴ گرم بر روز در گیاه، به‌ترتیب در روزهای ۵۶ و ۷۸اُم پس از اولین آبیاری) در شرایط مصرف بیشتر نهاده های زراعی (آب و کود دامی) حاصل شد (Fallahi & Mahmoodi, 2018a).

بررسی گام به گام وضعیت رشدی اندام‌های مختلف گیاه تحت تأثیر مدیریت های زراعی مختلف می تواند ما را در انتخاب تیمار مدیریتی مناسب در جهت تخصیص بیشتر مواد غذایی به اندام هدف یاری نماید (Behdani & Fallhi, 2015; Behdani et al., 2016). در پژوهشی در خصوص تسهیم مواد فتوسنتزی در طی چرخهٔ زندگی زعفران گزارش شد که بیشتر ذخایر باقی‌ماندهٔ بنهٔ مادری پس از فرآیند گلدهی به تشکیل ریشه و توسعهٔ برگ‌ها اختصاص پیدا کرد. پس از اینکه برگ‌ها و ریشه‌ها به حداکثر اندازهٔ خود رسیدند، تشکیل و رشد بنه‌های دختری آغاز می‌گردد و توسعهٔ آنها عمدتاً بر فرآیند فتوسنتز متکی است (Renau-Morataet al., 2012). نتایج فلاحی و محمودی (Fallahi & Mahmoodi, 2018b) نشان داد که سرعت رشد زعفران در اوایل (۹۰ روز اول رشد)، اواسط (روزهای ۹۰ تا ۱۵۰ رشد) و اواخر (روزهای ۱۵۰ تا ۱۸۰ رشد) دوره رشد گیاه به ترتیب کمتر از ۳/۹ گرم در مترمربع زمین در روز)، سریع (۳/۹ تا ۱۲ گرم در مترمربع زمین در روز) و حدواسط (حدود ۵/۵ گرم در مترمربع زمین در روز) بود و بیشترین مقدار آن با حدود ۱۲ گرم در مترمربع زمین در روز، در شرایط مصرف کود آلی و ۱۴۵ روز پس از اولین آبیاری پاییزه حاصل شد.

تاکنون در پژوهش‌های متعددی مسائل به‌زراعی زعفران مانند پاسخ گیاه به انواع منابع تغذیه‌ای (Mollafilabi, 2014; Koocheki et al., 2016a)، سطوح مختلف فراهمی آب (Mosafery Zyaaldiny et al., 2021)، مصرف سوپرجاذب‌ها (Fallahi et al., 2016)، خصوصیات خاک (Azizi et al., 2013; Khorramdel et al., 2014; Aghhavani-Shajari et al., 2015)، کاربرد مالچ (Rezvani Moghaddam et al., 2013) و وزن بنه مادری (Koocheki et al., 2016a) مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس یافته‌های این تحقیقات اصلاح خصوصیات فیزیکی خاک، تأمین مطلوب نیاز آبی، مصرف خاکی یا برگی منابع تغذیه‌ای مختلف و استفاده از مالچ‌های آلی، رشد رویشی و زایشی زعفران را بهبود می‌بخشد. با این وجود کاربرد انفرادی این نهاده‌ها درصد کمی از بنه‌ها را به وزن مطلوب می‌رساند (Behdani & Fallahi, 2015; Fallahi et al., 2018a). بر این اساس، به نظر می‌رسد اجرای مدیریت تلفیقی و زمان‌بندی شده از نظر مصرف نهاده‌های زراعی بتواند سودمندی بیشتری را ایجاد نماید (Fallahi et al., 2018a). هر چند بر مبنای تمامی پژوهش‌ها، کاشت بنه‌های مادری درشت‌تر موجب افزایش عملکرد گل می‌شود؛ ولی در شرایطی که هدف کشاورزان تولید بنهٔ استاندارد جهت ارائه به بازار است، موضوع ممکن است مقداری متفاوت باشد. در این شرایط کاشت بنه‌های خیلی درشت ممکن است با افزایش بنه‌زایی و ایجاد رقابت بین آن‌ها، موجب کاهش متوسط وزن هر بنه شود. ضمن اینکه، شدت اعمال مدیریت تلفیقی و زمان‌بندی شده (کم‌نهاده و پرنهاده) ممکن است بسته به وزن بنهٔ کشت

شده پاسخ متفاوتی را سبب شود (Fallahi et al., 2018a). در تحقیق کنونی بررسی تعداد و وزن بنه‌های دختری در پایان فصل رشد، می‌تواند به فرضیات مذکور تاحدودی پاسخ دهد. با این وجود، بدلیل عدم توجه کافی به موضوع تسهیم مواد فتوسنتزی در زعفران، هدف اصلی از اجرای این پژوهش بررسی روند انتقال و اختصاص تولیدات فتوسنتزی در طی فصل رشد بین اندام‌های مختلف زعفران تحت تأثیر وزن بنهٔ مادری و میزان مصرف نهاده‌های زراعی بود.

مواد و روش‌ها

محل اجرای طرح

این آزمایش در شرایط اقلیمی خراسان جنوبی، در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشکده کشاورزی سرایان (دانشگاه بیرجند) در فاصلهٔ زمانی مهرماه ۱۳۹۵ تا آذرماه سال ۱۳۹۶ انجام شد. شهرستان سرایان در عرض جغرافیایی ۳۳ درجهٔ شمالی و طول جغرافیایی ۵۸ درجهٔ شرقی واقع است و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۴۵۰ متر می‌باشد. شهرستان سرایان دارای اقلیم گرم و خشک می‌باشد. مهم‌ترین پارامترهای آب و هوایی محل اجرای تحقیق در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- مهم‌ترین پارامترهای آب و هوایی محل اجرای تحقیق (سرایان) در طی فصل رشد زعفران (اولین آبیاری پاییزه در ۱۹ مهر صورت گرفت. گلدهی گیاه در حدفاصل زمانی ١٤ آبان تا ۷ آذر انجام شد)

Table 1- The main climatic parametrs in the experimental station, Sarayan, during saffron growing season

ماه رشد Growing month	بارندگی Precipitation (mm)	کمینه دما Minimum temperature (ºC)	بیشینه دما Maximum temperature (ºC)	میانگین دما Mean temperature (ºC)
مهر ۱۳۹۵ Sept-Oct, 2016	0	6	32	21
آبان ۱۳۹۵ Oct-Nov, 2016	0	-9	28	13
آذر ۱۳۹۵ Nov-Dec, 2016	5	-3	24	12
دی ۱۳۹۵ Dec-Jan, 2017	21	-6	21	7
بهمن ۱۳۹۵ Jan-Feb, 2017	64	-5	19	9
اسفند ۱۳۹۵ Feb-Mar, 2017	19	-2	25	15
فروردین ۱۳۹۶ Mar-April, 2017	3	2	35	23
اردیبهشت ۱۳۹۶ April-May, 2017	7	15	39	29
خرداد ۱۳۹۶ May-Jun, 2017	0	16	44	34
تیر ۱۳۹۶ Jun-Jul, 2017	0	15	39	32
مرداد ۱۳۹۶ Jul-Aug, 2017	0	15	37	30
شهریور ۱۳۹۶ Aug-Sep, 2017	0	12	36	27

داده‌ها از سایت سازمان هواشناسی کشور گرفته شده است.

The data were obtained from the website of Iran Meteorological Organization.

نوع طرح و تیمارهای آزمایشی

آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر مبنای طرح پایهٔ بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای مورد مطالعه شامل وزن بنه مادری در سه سطح بنه‌های ریز (کمتر از ۴ گرم)، متوسط (۴ تا ۸ گرم) و درشت (۸ تا ۱۲ گرم) و مدیریت تلفیقی و زمان‌بندی شدهٔ نهاده‌های زراعی در دو سطح فشرده (پُرنهاده) و معمول (طبق جدول ۲) بودند. بنه‌های مادری از مزرعه ای سه ساله در شهرستان سرایان تهیه شدند. در مزرعه تهیه بنه های مادری بطور میانگین سالانه شش نوبت آبیاری صورت گرفته و میزان ماده آلی خاک آن ۰/۷۵ درصد بود.

جدول ۲- مقدار و زمان مصرف نهاده‌های زراعی مختلف در طی فصل رشد زعفران در دو سیستم پرنهاده و معمول (این دستورالعمل با بررسی منابع علمی از جمله بهدانی و فلاحی (Behdani & Fallhi, 2015) و تجربه شخصی محقق تهیه شده است)

Table 2- The amount and timing of application of different inputs during the saffron growing season in two high-input and conventional systems.

نوع نهاده Input	نظام تولید معمول (کم‌نهاده) Low input system	نظام تولید فشرده (پرنهاده) High input system
ماسه بادی Sand	۳۰ کیلوگرم در متر مربع قبل از کاشت 30 $kg.m^{-2}$ as pre planting	۶۰ کیلوگرم در متر مربع قبل از کاشت 60 $kg.m^{-2}$ as pre planting
آبیاری Irrigation	مصرف ۳۰۰۰ مترمکعب آب در طی فصل رشد 3000 $m^3.ha^{-1}$, during growing season	مصرف ۴۲۰۰ مترمکعب آب در طی فصل رشد 4200 $m^3.ha^{-1}$, during growing season
اوره Urea	۱۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار بعد گلدهی 100 $kg.ha^{-1}$ after flowering	۲۰۰ کیلوگرم در هکتار بعد گلدهی 200 $kg.ha^{-1}$ after flowering
فسفر Phosphorous	۷۵ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار قبل کشت 75 $kg.ha^{-1}$ as pre planting	۱۵۰ کیلوگرم در هکتار قبل کشت 150 $kg.ha^{-1}$ as pre planting
کود گاوی Cow manure	۴۰ تن در هکتار قبل از کاشت 40 $t.ha^{-1}$ as pre planting	۸۰ تن در هکتار قبل از کاشت 80 $t.ha^{-1}$ as pre planting
اسید هیومیک Humic acid	دو مرتبه (آخر دی و آخر بهمن هر مرحله ۷ کیلوگرم در هکتار) Two times in 20th Jan and 20th Feb. (each time 7 $kg.ha^{-1}$)	دو مرتبه (آخر دی و آخر بهمن هر مرحله ۱۴ کیلوگرم در هکتار) Two times in 20th Jan and 20th Feb. (each time 14 $kg.ha^{-1}$)
محلولپاشی توسط کود دلفارد Spraying by Delfard	دو مرحله (اول اسفند و وسط اسفند هر مرتبه ۵ کیلوگرم در هکتار) Two times in 20th Feb and 6th Mar. (each time 5 $kg.ha^{-1}$)	دو مرحله (اول اسفند و وسط اسفند هر مرتبه ۱۰ کیلوگرم در هکتار) Two times in 20th Feb and 6th Mar. (each time 10 $kg.ha^{-1}$)
سوپرجاذب Superabsorbent	۳۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت 30 $kg.ha^{-1}$ as pre planting	۶۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت 60 $kg.ha^{-1}$ as pre planting
گوگرد + بیوسولفور Sulphure + Biosulfur	۱۰۰ کیلوگرم گوگرد + ۲ کیلوگرم در هکتار بیوسولفور قبل از کاشت 100 $kg.ha^{-1}$ S + 2 $kg.ha^{-}$ Biosulfur as pre planting	۲۰۰ کیلوگرم گوگرد + ۴ کیلوگرم در هکتار بیوسولفور قبل از کاشت 200 $kg.ha^{-1}$ S + 4 $kg.ha^{-1}$ Biosulfur as pre planting
مالچ بقایای گندم Wheat residue mulch	۳ تن در هکتار پس از کاشت 3 $t.ha^{-1}$ as post planting	۶ تن در هکتار پس از کاشت 6 $t.ha^{-1}$ as post planting

عملیات زراعی

قبل از اجرای آزمایش، از خاک مزرعه نمونه‌ای مرکب تهیه و برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن در آزمایشگاه تعیین گردید (جدول ۳). کود حیوانی مصرفی حاوی ۴۱۲۱ قسمت در میلیون پتاسیم، ۱/۱ درصد نیتروژن و ۴۴ درصد کربن آلی بود. همچنین، شاخص واکنش کود مصرفی ۷/۳ و هدایت الکتریکی آن ۶/۴ بود. برای محلول‌پاشی از کود دلفارد (اختصاصی زعفران) استفاده شد که حاوی ۱۲ درصد نیتروژن، هشت درصد فسفر (P_2O_5)، چهار درصد پتاسیم (K_2O)، و به‌ترتیب ۲۰۰۰،

۱۰۰۰، ۱۰۰۰ و ۵۰۰ قسمت در میلیون آهن، روی، منگنز و مس بود. اسید هیومیک مصرفی حاوی ۱۰ درصد اکسید پتاسیم، یک درصد اکسید کلسیم و ۷۰ درصد مواد آلی بود. میزان نگهداری آب سوپرجاذب مصرفی ۳۳۰ گرم بر گرم (یک‌ساعت اول آب‌گیری)، دوام آن حدود هفت سال، اندازهٔ ذرات آن ۵-۰/۱ میلی‌متر و چگالی آن ۱/۵-۱/۱ گرم بر سانتی‌مترمربع بود. اسید هیومیک بصورت مصرف خاکی و با تسریع فرآیند بنه‌زایی در فاصله دی تا بهمن ماه مصرف شد. محلول‌پاشی برگی عناصر غذایی در اسفندماه و همزمان با کاهش توان جذب ریشه صورت گرفت. مخلوط بیوسولفور و گوگرد قبل از کاشت و در محدودهٔ کاشت بنه مصرف شد (جدول ۲).

جدول ۳- مهم‌ترین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 3- The main physical and chemical characteristics of the soil in the experiment station

بافت خاک Soil texture	درصد رس Clay (%)	درصد سیلت Silt (%)	درصد شن Sand (%)	پتاسیم قابل دسترس K_{ava} ($mg.kg^{-1}$)	فسفر قابل دسترس P_{ava} ($mg.kg^{-1}$)	درصد نیتروژن کل N_{total} (%)	درصد کربن آلی OC (%)	شاخص واکنش pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)
لومی- Loam	29	23	48	195	2.07	0.016	0.13	8.49	2.27

کاشت زعفران در هفتم مهرماه سال ۱۳۹۵ با تراکم ۱۰۰ بنه در متر مربع، در کرت‌هایی به ابعاد ۱/۵ × ۱/۵ متر صورت گرفت (ذکر این نکته ضروری است که بهترین تاریخ کاشت بنه در مرحلهٔ خواب حقیقی بنه در حدود خردادماه است). فاصله بین ردیف‌های کاشت ۲۵ سانتی‌متر و فاصلهٔ بنه‌ها در روی ردیف چهار سانتی‌متر بود (۲۵ بنه در روی هر متر طولی از ردیف کاشت). اولین آبیاری در تاریخ ۱۹ مهرماه و همزمان با مناسب شدن دمای هوا (رسیدن دمای متوسط شبانه روز به حدود ۱۵ درجه سانتی‌گراد) صورت گرفت (Behdani & Fallahi, 2015) و پس از اتمام گلدهی نیز تمامی کرت‌ها در تاریخ ۱۷ آذرماه آبیاری شدند. آبیاری‌های بعدی در اول دی، ۲۶ دی، ۳۰ بهمن، ۲۴ اسفند، ۱۴ فروردین و ۲۸ فروردین صورت گرفت. فواصل آبیاری با در نظر گرفتن فاکتورهایی مانند دما و بارندگی محیط (جدول ۱) تعیین شد و بر این اساس در اواخر فصل رشد به افزایش دمای محیط و کاهش بارندگی فواصل بین آبیاری‌ها کاهش یافت. در هر نوبت آبیاری در نظام‌های کم نهاده و پرنهاده به‌ترتیب حدود ۳۷۵ و۵۲۵ متر مکعب آب در هر هکتار مصرف شد. وجین علف‌های هرز بصورت دستی و طی یک نوبت در نیمه اسفندماه صورت گرفت.

صفات مورد اندازه‌گیری

به منظور ارزیابی روند انتقال و اختصاص مواد فتوسنتزی، زمان شروع بنه‌زایی، سرعت رشد بنه و وزن نهایی بنه‌های دختری، نمونه‌برداری از کرت‌های آزمایشی با فواصل حدود ۴۰ روز (به جز آخرین نمونه‌برداری که با فاصله ۲۰ روز صورت گرفت) از زمان پایان گلدهی در پاییز ۱۳۹۵ تا پایان فصل رشد رویشی گیاه در بهار ۱۳۹۶ صورت گرفت. تاریخ اولین نمونه برداری ۲۲ آذرماه سال ۱۳۹۵ بود. در هر تاریخ نمونه‌برداری تعداد سه گیاه از هر کرت (معادل با مساحت ۳۰۰ سانتی مترمربع) برداشت شده و نمونه‌های تهیه شده در آزمایشگاه در آون دارای دمای ۷۲ درجه سانتیگراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. سپس وزن خشک هر یک از اجزای پیکر گیاه شامل ریشه، برگ‌ها، بنه‌مادری و بنه‌های دختری تعیین شد.

نمونه برداری از ریشه در بستر خاک برای گیاهان زراعی دارای سیستم ریشه ای گسترده عملا ناممکن یا با خطای بسیاری همراه است. با این وجود در گیاه زعفران چون میانگین طول ریشه حدود ۱۰ سانتی‌متر است و گسترش افقی آن نیز بسیار کم است و از طرفی بیشتر ریشه ها حتی در صورت تخریب در مرحلهٔ نمونه برداری به دلیل قطر نسبتا زیاد، قابل شناسایی و جداسازی از خاک می‌باشند عمل نمونه‌برداری از ریشه تسهیل می‌گردد. در آزمایش کنونی در هر تاریخ نمونه‌برداری کل خاک پیرامون ریشه برداشت شد و تمامی ریشه های مربوط به زعفران جدسازی گردید و سپس با آب شستشو صورت گرفت تا ذرات خاک متصل به ریشه جدا شود. همچنین در هر تاریخ نمونه برداری تعداد ریشه‌های انقباضی موجود در بنه‌های دختری نیز شمارش شد. ریشه‌های انقباضی ضخیم‌تر بوده و دارای اندامی غده مانند می‌باشند که به بنه این امکان را می‌دهد تا در عمق مناسبی از خاک قرار بگیرد (Behdani & Fallahi, 2015). افزون بر این، پس از آغاز بنه‌زایی در گیاه (حدود ۲۲ آذرماه)، تعداد بنه‌های دختری نیز در هر کرت و در هر تاریخ نمونه‌برداری به طور دقیق شمارش شد. پس از اندازه‌گیری وزن خشک بنه‌ها، سرعت رشد بنه برای هر تاریخ نمونه‌برداری از طریق معادله ۱ تعیین شد (Fallahi & Mahmoodi, 2018a; c). فاصلهٔ زمانی که در آن بنه‌های دختری از ۲۵ به ۹۵ درصد وزن نهایی خود رسیدند به عنوان دورهٔ فعال پرشدن بنه در نظر گرفته شد (Fallahi & Mahmoodi, 2018a; c) و زمان آغاز، پایان و طول این دوره در هر تیمار آزمایشی تعیین شد. میزان انتقال مجدد مادهٔ خشک از برگ‌ها به بنه‌های دختری با استفاده از معادله ۲ و درصد کارایی برگ‌ها در انتقال ذخایر فتوسنتزی به بنه نیز با کمک معادلهٔ ۳ محاسبه گردید (Fallahi & Mahmoodi, 2018a; c).

شاخص‌های کل ماده خشک تولیدی، نسبت وزن برگ و سرعت رشد محصول نیز با استفاده از معادلات ۴ تا ۶ مورد محاسبه قرار گرفتند (Fallahi & Mahmoodi, 2018a; c).

در معادلات TDW، RDW، LDW و RCDW به ترتیب بیانگر وزن خشک کل، وزن خشک ریشه، وزن خشک برگ و وزن خشک بنه‌های دختری می‌باشند. W_2-W_1 تغییرات وزن خشک کل گیاه را در فاصله بین دو نمونه‌برداری و T_2-T_1 فاصله زمانی بین دو نمونه‌برداری متوالی (بر حسب روز) را نشان می‌دهد. شاخص GA بیانگر مساحت زمین می‌باشد که در این آزمایش یک مترمربع در نظر گرفته شد. همچنین CGR و LWR نیز به ترتیب نمایانگر سرعت رشد محصول و نسبت وزن برگ می‌باشند. نسبت وزن برگ در حقیقت نشان دهنده میزان پُربرگی گیاه است و سرعت رشد گیاه نیز بیانگر میزان تجمع ماده خشک در هر روز در واحد سطح زمین است و واحد آن گرم بر مترمربع زمین در روز می‌باشد. برای محاسبه سرعت رشد نسبی نیز از معادله ۷ استفاده شد (Fallahi & Mahmoodi, 2018a; c).

$$\text{سرعت رشد بنه} = \frac{\text{وزن بنه در نمونه برداری اول} - \text{وزن بنه در نمونه برداری دوم}}{\text{فاصله زمانی بین دو نمونه برداری}} \quad (۱)$$

(۲) وزن خشک برگ‌ها در انتهای فصل رشد–حداکثر وزن خشک برگ‌ها در طی فصل رشد= میزان انتقال مجدد ماده خشک (کیلوگرم در هکتار)

$$\text{درصد کارایی برگ در انتقال ذخایر به بنه} = \frac{\text{میزان انتقال مجدد ذخایر از برگها به بنه}}{\text{حداکثر وزن خشک برگها در طی فصل رشد}} \quad (۳)$$

$$TDW=RDW+LDW+RCDW \quad (۴)$$

$$CGR = \frac{W2 - W1}{T2 - T1} \times \frac{1}{GA} \quad (۵)$$

$$LWR = \frac{LDW}{TDW} \quad (۶)$$

$$RGR = \frac{CGR}{TDW} \quad (۷)$$

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌های آزمایشی با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخهٔ ۹/۲ صورت گرفت. میانگین‌ها نیز به کمک آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد مورد مقایسه قرار گرفتند. همچنین برای رسم شکل‌ها از Excel استفاده گردید.

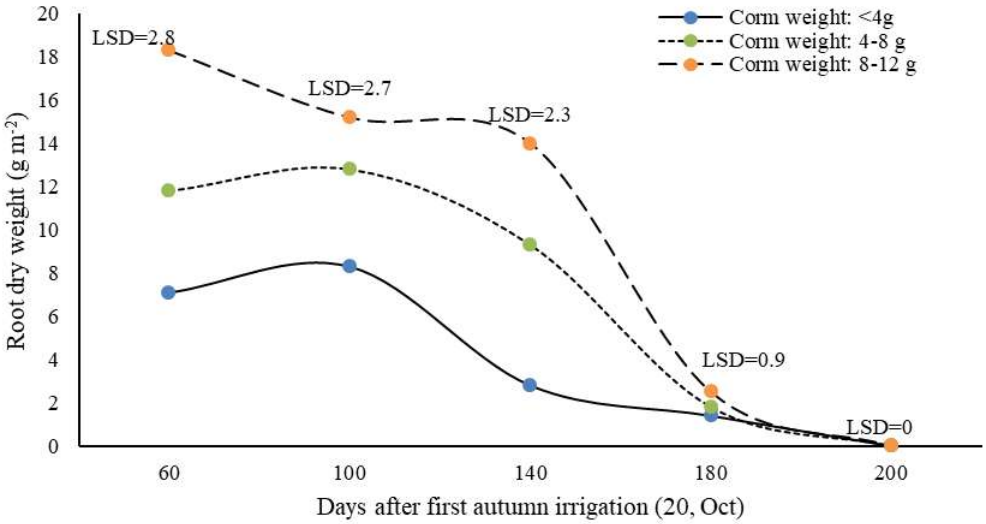
نتایج و بحث

وزن خشک ریشه و تعداد ریشه‌های انقباضی

وزن بنه مادری در تمامی تاریخ‌های نمونه‌برداری ($p\leq۰/۰۱$) و مدیریت تلفیقی و زمان‌بندی شدهٔ نهاده‌های زراعی در چهارمین تاریخ نمونه‌برداری ($p\leq۰/۰۵$)، به طور معنی‌داری بر وزن خشک ریشه زعفران اثر گذاشتند. اثر متقابل فاکتورهای آزمایشی بر مقدار این شاخص در طی فصل رشد معنی‌دار نبود. بیشترین و کمترین مقدار این شاخص در تمامی نمونه‌برداری‌ها به‌ترتیب در شرایط استفاده از بنه‌های مادری درشت و ریز به دست آمد (شکل ۱). مدیریت معمول زراعی در نمونه‌برداری چهارم موجب بهبود مقدار این شاخص شد (۲/۳ گرم برای مدیریت کم‌نهاده در مقابل ۱/۵ گرم در مترمربع برای مدیریت پرنهاده) (شکل ۲). در تحقیقی گزارش شد که استفاده از بنه‌های مادری درشت به دلیل داشتن اندوختهٔ غذایی کافی، باعث افزایش تعداد و وزن ریشه در زعفران می‌گردد (Amirshekari et al., 2008).

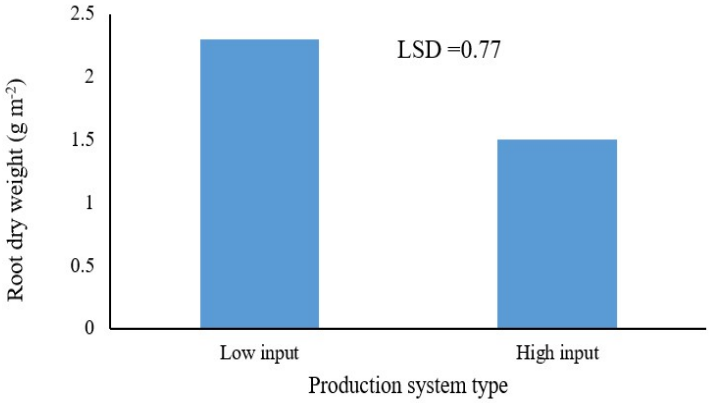
وزن ریشه تقریباً از اواخر دی (نمونه‌برداری دوم) تا انتهای فصل رشد رویشی گیاه روندی کاهشی در پیش گرفت، ولی حتی در اواخر فروردین نیز هنوز بخشی از ریشه‌های گیاه قابل مشاهده بودند (شکل ۱). دلیل این رخداد احتمالا به تغییر در اولویت بندی تسهیم مواد فتوسنزی گیاه در طی فصل رشد مرتبط باشد. در اواخر فصل رشد زعفران اولویت تسهیم مواد فتوسنتزی به سمت بنه‌های دختری است و به مرور سیستم ریشه‌ای گیاه تضعیف می‌شود (Behdani et al., 2016). یافته‌های رناموراتا و همکاران (Renau-Morata et al., 2012) نیز حاکی از آن است که حداکثر وزن ریشه در زعفران در اواخر دی‌ماه حاصل شده و سپس کاهش می‌یابد. در گزارش رضوانی مقدم (Rezvani Moghaddam, 2020) نیز حداکثر وزن ریشهٔ زعفران در ۱۲۰ روز پس از کاشت مشاهده شد و پس از آن به سرعت کاهش پیدا کرد. عباسی (Abbasi, 2017) در پژوهش بر روی زعفران دریافت که وزن خشک ریشه از ۸۰ روز پس از اولین آبیاری پاییزه شروع به کاهش می‌کند و مصرف هیومیک اسید و تلقیح میکوریزایی می‌تواند بر میزان این شاخص اثر مثبتی داشته باشد. در تحقیق دیگری مشاهده شد که وزن ریشه زعفران در چهار ماه ابتدایی فصل رشد افزایش یافت و سپس تا اواسط فصل بهار رو به کاهش گذاشت (Behdani et al., 2016). نتایج فلاحی و محمودی (Fallahi & Mahmoodi, 2018) نیز نشان داد وزن خشک ریشه تا اواخر دی‌ماه روندی افزایشی داشت و سپس کاهش پیدا کرد. نتایج مجموع این تحقیقات تأیید کنندهٔ کاهش وزن ریشه زعفران در اواخر فصل رشد می‌باشد که پیامد آن کاهش توان ریشه در جذب عناصر غذایی از خاک خواهد بود. بر همین مبنا مصرف برگی عناصر غذایی در دوره کاهش وزن ریشه جهت کمک به افزایش وزن بنه‌های دختری توصیه شده است (Mollafilabi, 2014).

در ابتدا و انتهای فصل رشد، ریشه انقباضیِ فعالی در گیاه زعفران مشاهده نشد (شکل ۳)، اما در تاریخ‌های نمونه‌برداری دوم تا چهارم اثرات ساده و متقابل فاکتورهای آزمایشی بر این شاخص معنی‌داری بود ($p\leq$۰/۰۱). بر اساس نتایج اثر متقابل، بیشترین مقدار این شاخص در شریط کاشت بنه‌های ریز و اعمال مدیریت پرنهاده مشاهده شد (شکل ۳). این ریشه‌ها عمدتاً در جهت تنظیم عمق قرارگیری بنه در خاک عمل کرده و در شرایطی که عمق کاشت کم باشد تعداد آن‌ها افزایش پیدا می‌کند.



شکل ۱- روند تغییرات وزن ریشه زعفران در طی فصل رشد، تحت تأثیر وزن بنه مادری

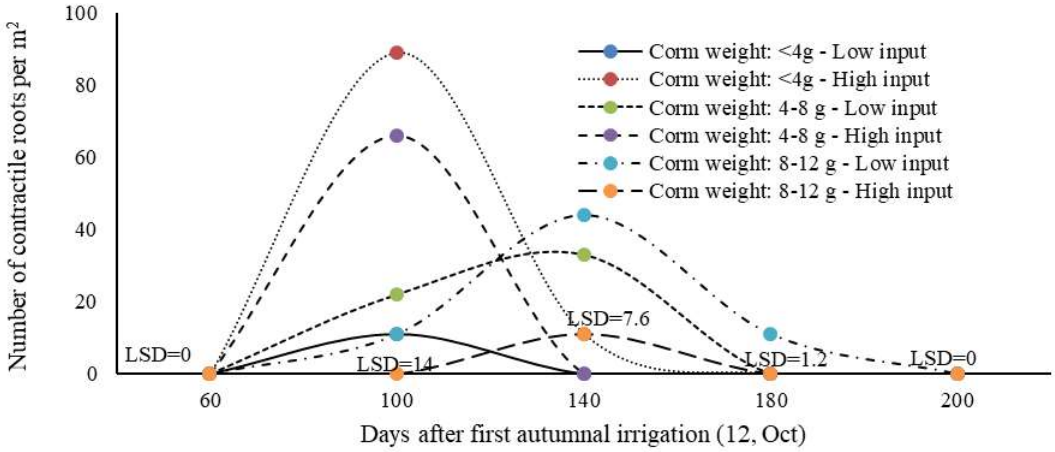
Figure 1- Changes in roots dry weight of saffron during the growing season under the influence of the mother corm weight.



شکل ۲- اثر نظام زراعی بر وزن ریشه زعفران در نمونه برداری چهارم (اول فروردین ماه)

Figure 2- The effect of production system on dry weight of saffron in fourth sampling (20 March).

عمل کشش این ریشه‌ها در شرایطی که بنه‌ها در عمق کم کاشت شوند، با ایجاد فعالیت انقباضی موجب کشاندن نسبی بنه به عمق بیشتر می شود (Behdani & Fallahi, 2015) . برخی پژوهش‌ها نیز نشان داده است که در شرایط فراهمیِ بیش از حد رطوبت تعداد ریشه‌های انقباضی افزایش می‌یابد (Koocheki et al., 2016b; Fallahi & Mahmoodi, 2018c). تولید این ریشه‌ها موجب مصرف بخش قابل توجهی از مواد فتوسنتزی گیاه، رقابت با بنه‌های دختری و در نتیجه ریزتر شدن بنه‌ها می‌شود (Fallahi & Mahmoodi, 2018a).



شکل ۳- روند تغییرات تعداد ریشه انقباضی تحت تأثیر وزن بنه مادری و مدیریت تلفیقی و زمان‌بندی شدهٔ نهاده‌های زراعی در زعفران
Figure 3- Changes in the number of contractile roots of saffron during the growing season under the influence of the mother corm weight and the integrated and time-scheduled application of inputs.

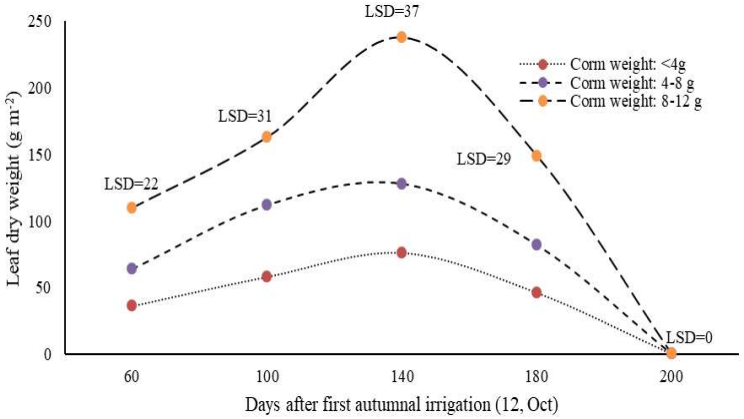
وزن خشک برگ و نسبت وزن برگ

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر متقابل فاکتورهای آزمایشی در هیچکدام از تاریخ های نمونه‌برداری بر وزن خشک برگ زعفران معنی‌دار نبود. وزن بنه مادری در تمامی تاریخ‌های نمونه‌برداری بر وزن خشک برگ دارای اثر معنی‌دار بود ($p\leq$۰/۰۱). مدیریت زراعی فقط در نمونه‌برداری چهارم بر این صفت اثر معنی‌داری داشت ($p\leq$۰/۰۵) و مقادیر وزن برگ در این زمان برای مدیریت‌های پرنهاده و معمول به‌ترتیب ۸۴ و ۱۰۴ گرم در هر متر مربع بود (شکل ۵) . در تمامی فصل رشد بیشترین مقادیر وزن خشک برگ به‌ترتیب در تیمارهای کاشت بنه‌های مادری درشت، متوسط و ریز به دست آمد (شکل ۴). در مجموع، استفاده از بنه‌های مادری درشت تأثیر مثبتی بر افزایش وزن خشک برگ داشت و از آنجا که بین دو نوع مدیریت زراعی تفاوت قابل توجهی وجود نداشت، می‌توان مدیریت معمول زراعی را برای این منظور پیشنهاد نمود. در بنه‌های بزرگتر تقسیم سلولی و به دنبال آن رشد برگ‌ها، نسبت به بنه‌های کوچک‌تر کمی زودتر اتفاق می‌افتد (Behdani & Fallahi, 2015). یافته‌های نصیری‌محلاتی و همکاران (Nassiri Mahallati et al., 2008) نیز نشان داد که افزایش طول برگ به همراه تعداد بیشتر برگ‌ها سبب شد تا سطح برگ زعفران در بنه‌های بزرگتر افزایش یابد. رشد زودتر و طول بیشتر برگ‌ها، امکان استفادهٔ بیشتر از شرایط محیطی را فراهم کرده و افزایش میزان مواد فتوسنتزی ساخته شده را بدنبال دارد که در نهایت موجب ایجاد بنه‌های دختری بزرگ‌تری در پایان فصل رشد

می‌شود (Molina et al., 2005; Koocheki et al., 2016a). نتایج تحقیق دیگری نشان داد کاشت بنه‌های مادری درشت موجب افزایش وزن برگ، عرض و ضخامت برگ و وزن خشک بنه‌های دختری در زعفران شد (Sabet-Teimouri et al., 2010).

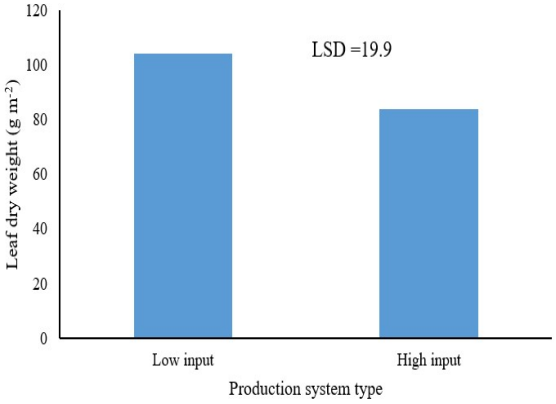
در تمامی تیمارهای آزمایشی وزن خشک برگ تا حدود ۱۰ اسفند ماه (سومین نمونه‌برداری) افزایش یافت و پس از آن روندی کاهشی در پیش گرفت (شکل ۴). بنظر می رسد تغییر اولویت در مسیر تسهیم مواد فتوسنتزی به سمت بنه‌های دختری و حتی انتقال مجدد مواد از برگ‌ها به بنه‌ها، از دلایل مهم وقوع این رخداد باشد (Behdani et al., 2016). در پژوهش عباسی (Abbasi, 2017) وزن برگ زعفران در فاصله زمانی حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ روز پس از اولین آبیاری پاییزه تغییرات کمی داشت و سپس روند نزولی آن آغاز شد. فلاحی و محمودی (Fallahi & Mahmoodi, 2018c) نیز بیان داشتند که بیشترین وزن برگ زعفران در فصل اول رشد گیاه حدود ۱۱۴ روز و در فصل دوم رشد حدود ۱۰۰ روز پس از اولین آبیاری پاییزه یعنی در اوایل تا اواسط بهمن‌ماه به دست آمد و بین تیمارهای مصرف ۳۶۰۰ و ۷۲۰۰ مترمکعب آب در هکتار در طی فصل رشد تفاوت قابل توجهی وجود نداشت. وزن‌گیریِ بنه‌های دختری به فتوسنتز جاری برگ و نیز انتقال مجدد مواد از برگ‌ها وابستگی دارد. با آغاز روند کاهشی وزن برگ‌ها (شکل ۴)، وزن بنه‌های دختری روند افزایشی سریعی گرفت (شکل ۱۱). این پدیده می‌تواند بیان‌گر وقوع انتقال مجدد مواد فتوسنتزی از سمت برگ‌ها به بنه‌های دختری در انتهای فصل رشد زعفران باشد (Behdani & Fallahi, 2015). در همین ارتباط بهدانی و همکاران (Behdani et al., 2016) و رناموراتا و همکاران (Renau-Morata et al., 2012) کاهش وزن برگ در انتهای فصل رشد زعفران را گزارش کرده‌اند. غلامی و همکاران (Gholami et al., 2017) نیز بیان کردند برگ‌ها و بنه‌های دختری زعفران در بخشی از فصل رشد به عنوان منبع و در بخشی دیگر به عنوان مخزن عمل می‌کنند.

نسبت وزن برگ در طی فصل رشد زعفران از اثرات اصلی و متقابل فاکتورهای آزمایشی تأثیر معنی‌داری نپذیرفت. در تمامی تیمارهای ترکیبی، روند تغییرات این صفت از اواخر دی‌ماه (نمونه‌برداری دوم) تا انتهای فصل رشد کاهشی بود (شکل ۶). دلیل این موضوع نیز احتمالاً شروع بنه‌زایی (شکل ۹)، تسریع وزن‌گیری بنه‌ها (شکل ۱۰ و ۱۱) و افزایش رشد بنه‌های دختری (شکل ۱۲) بود که باعث شد نسبت وزن برگ به وزن خشک کل گیاه روندی کاهشی نشان دهد. فلاحی و محمودی (Fallahi & Mahmoodi, 2018c) در تحقیق مشابهی بیان داشتند که نسبت سطح برگ تا حدود ۶۰ روز پس از اولین آبیاری پاییزه افزایش یافت و سپس روند نزولی در پیش گرفت. آنها بیان داشتند که کاهش سریع نسبت وزن برگ در زعفران همزمان با آغاز دوره رشد سریع بنه‌های دختری، می‌تواند ناشی از افزایش وزن این بنه‌ها و نیز انتقال مجدد مواد فتوسنتزی از برگ به بنه‌های در حال رشد باشد.



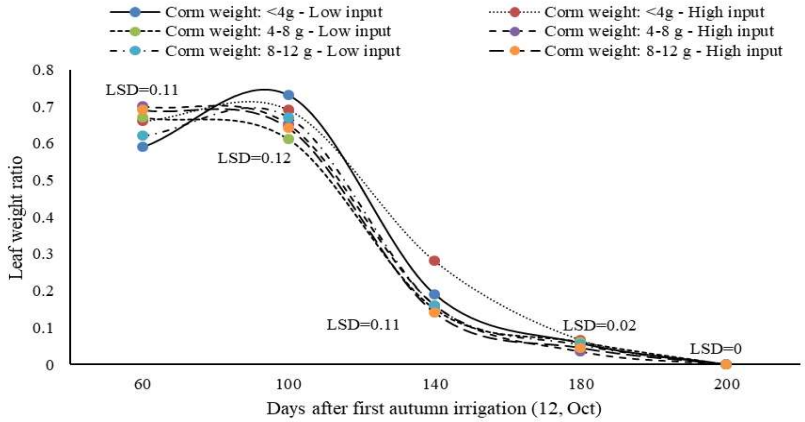
شکل ٤- روند تغییرات وزن برگ زعفران در طی فصل رشد تحت تأثیر اندازه بنه مادری

Figure 4- Changes in leaves dry weight of saffron during growing season under the influence of mother corm weight.



شکل ٥- اثر نظام زراعی بر وزن برگ زعفران در نمونه برداری چهارم (اول فروردین ماه)

Figure 5- The effect of production system on leaf dry weight of saffron in fourth sampling date (20 March).



شکل ٦- روند تغییرات نسبت وزن برگ زعفران در طی فصل رشد، تحت تأثیر اندازه بنه مادری و مدیریت تلفیقی و زمان‌بندی شدهٔ نهاده‌های زراعی

Figure 6- Changes in leaf weight ratio of saffron during the growing season, under the influence of the mother corm weight and the integrated and time-scheduled application of inputs.

وزن بنه مادری

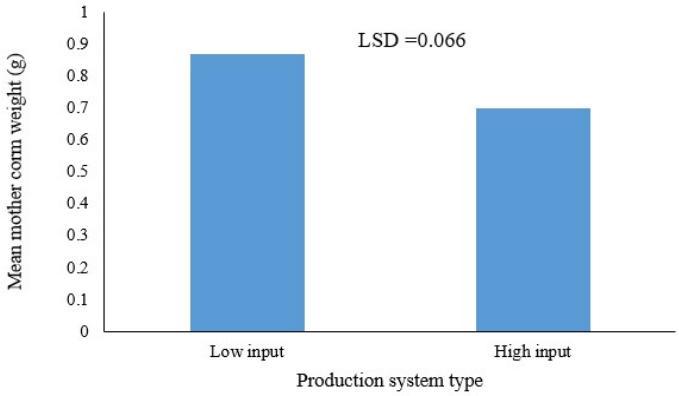
وزن بنه مادری و به عبارتی سرعت تخلیه ذخایر بنه مادری در تمامی تاریخ‌های نمونه‌برداری از وزن ابتداییِ بنه مادری به طور معنی‌داری تأثیر پذیرفت ($p\leq$۰/۰۱)، در حالی که اثر ساده مدیریت زراعی و اثر متقابل عوامل آزمایشی تنها در ابتدای فصل رشد بر این شاخص معنی‌دار بود ($p\leq$۰/۰۱). مقدار این صفت در این بازه زمانی در تیمار مدیریت معمول زراعی بیشتر بود (۰/۸۷ گرم در برابر ۰/۷۰ گرم) (شکل ۷) ، به‌عبارت دیگر سرعت تخلیه ذخایر بنه مادری جهت تولید گل و رشد سبزینه‌ای گیاه در مدیریت پرنهاده بیشتر بود. علت این موضوع می‌تواند ناشی از اصلاح خصوصیات فیزیکی خاک و تسهیل و تسریع در ظهور گل‌ها، برگ‌ها و ریشه‌های گیاه در شرایط مدیریت پرنهادهٔ زراعی باشد که موجبات تخلیه سریع‌تر ذخایر بنه مادری را فراهم کرده است (Fallahi et al., 2018a). در تأیید این موضوع در پژوهشی بیان شد که اصلاح ساختمان خاک و سبک‌تر کردن بافت خاک رشد اولیه برگ، بنه‌های دختری و ریشه را در زعفران تسریع می‌کند (Fallahi et al., 2017).

در تمامی تاریخ‌های نمونه‌برداری و هر دو نظام زراعی، باقی‌ماندهٔ وزن بنه مادری در شرایط کاشت بنه‌های مادری درشت بیشتر بود (شکل ۸). سرعت تخلیه بنه به نسبتِ وزن اولیه بنه، نیز در بنه‌های درشت بیشتر بود. در حالی که به طور متوسط وزن بنه مادری در زمان کاشت برای تیمار استفاده از بنه‌های مادری درشت ۵ برابر بنه‌های مادری ریز (به ترتیب حدود ۱۰ و ۲ گرم) بود؛ در ۲۰ آذر، ۳۰ دی و ۱۰ اسفند ذخایر باقی مانده در بنه‌های مادری درشت به‌ترتیب ۳/۷۷، ۳/۱۶ و ۴/۴۲ برابر بنه‌های مادری ریز بود. اگر متوسط وزن بنه‌های مادری کاشته شده در تیمارهای استفاده از بنه‌های مادری ریز، متوسط و درشت را به‌ترتیب ۲، ۶ و ۱۰ گرم در نظر بگیریم، با توجه به اینکه بر اساس میانگین داده‌های مربوط به دو نظام کم‌نهاده و پرنهاده، باقی‌ماندهٔ وزن بنه در اولین تاریخ نمونه‌برداری (۲۰ آذر) در تیمارهای مذکور به‌ترتیب ۰/۹۵، ۱/۸۴ و ۳/۵۸ گرم بود؛ بنابراین در دو ماه ابتدایی پس از انجام اولین آبیاری پاییزه به‌ترتیب حدود ۵۳، ۶۹ و ۶۴ درصد از ذخایر بنه‌های مادری ریز، متوسط و درشت جهت گلدهی و نیز تولید برگ و ریشه مصرف شده است. در پژوهش دیگری حدود ۵۰ درصد ذخایر بنه مادری برای وقوع گلدهی و نیز ظهور برگ‌ها و ریشه‌های اولیه مصرف شد (Fallahi & Mahmoodi, 2018a). نتایج فلاحی و همکاران (Fallahi et al., 2018b) نشان داد که در دو ماه ابتدایی رشد زعفران، حدود ۶۰ درصد ذخایر بنه‌های مادری صرف تولید گل، برگ و ریشه می‌شود. رناموراتا و همکاران (Renau-Morata et al., 2012) نیز دریافتند که حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد از ذخایر غذایی موجود در بنه‌های مادری صرف تولید گل، ریشه‌ها و برگ‌های اولیه می‌شود. در تحقیق دیگری بیان شد که تا حدود ۴۰ روز پس از ظهور برگ‌ها، ذخایر بنهٔ مادری به توسعهٔ برگ‌ها اختصاص یافته و پس از آن باقی‌ماندهٔ ذخایر بنه (حدود ۲۰ درصد) صرف تولید بنه‌های دختری می‌شود (Gholami et al., 2017). در مجموع، در تمامی تیمارهای آزمایشی بیشتر ذخایر بنه مادری در ۱۰۰ روز اول رشد (تا ۳۰ دی‌ماه) تخلیه شد و از ۱۰ اسفند ماه به بعد وزن بنه مادری بسیار ناچیز بود (شکل ۸) که آن‌هم عمدتاً شامل بقایای بنه مادری می‌شد. این یافته‌ها با نتایج پژوهش‌های رناموراتا و همکاران (Renau-Morata et al., 2012)، عباسی (Abbasi, 2017) و رضوانی‌مقدم (Rezvani Moghaddam, 2020) بر روی زعفران هم‌خوانی دارد.

وزن و تعداد بنه‌های دختری

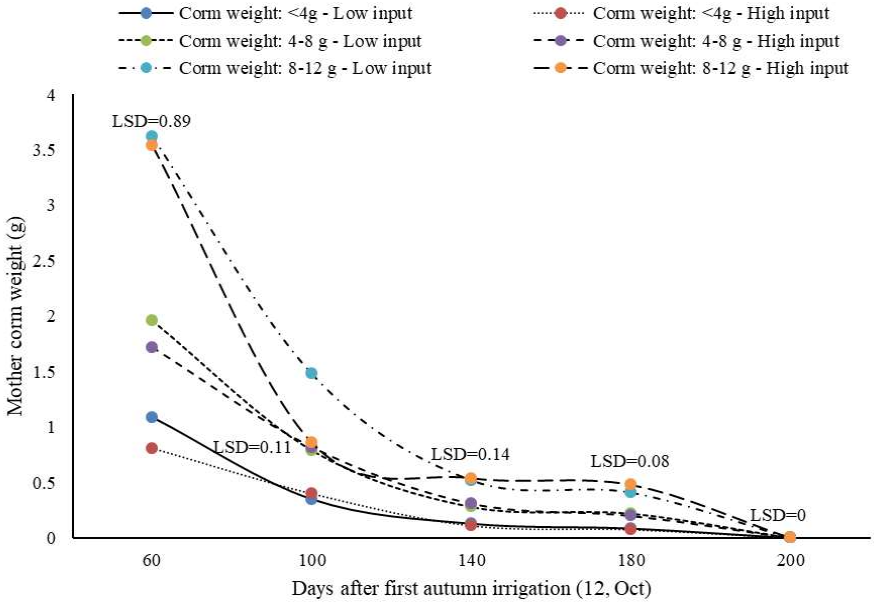
اثر ساده وزن بنه مادی در تمامی تاریخ‌های نمونه‌برداری و اثر متقابل وزن بنه مادری × مدیریت زراعی در نمونه‌برداری‌های دوم و پنجم بر صفت تعداد بنه دختری تولید شده در هر بوته معنی‌دار بود ($p\leq$۰/۰۱). بر اساس نتایج اثرات متقابل، در هر دو

تاریخ نمونه برداری، بیشترین تعداد بنه دختری در شرایط کاشت بنه های مادری درشت و بکارگیری مدیریت زراعی پرنهاده حاصل شد (شکل ۹). کاشت بنه‌های مادری درشت باعث شد تا در تمامی فصل رشد مقدار بنه‌زایی بیشتر باشد؛ به طوری که تعداد بنه دختری در مترمربع برای تیمارهای استفاده از بنه‌های مادری ریز، متوسط و درشت در انتهای فصل رشد به‌ترتیب ۳۴۰، ۴۵۰ و ۵۸۰ عدد بود (شکل ۹).



شکل ۷- اثر نظام زراعی بر وزن بنه مادری زعفران در نمونه برداری اول (۲۲ آذرماه)

Figure 7- The effect of production system on leaf dry weight of saffron in fourth sampling date (10 December).

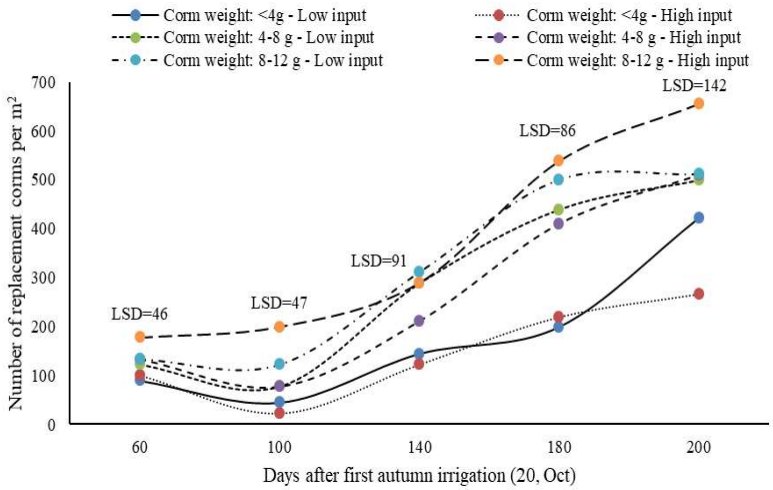


شکل ۸- روند تغییرات وزن بنه مادری زعفران در طی فصل رشد، تحت تأثیر اندازه بنه مادری و مدیریت تلفیقی و زمان‌بندی شدهٔ نهاده‌های زراعی

Figure 8- Changes in mother corm weight of saffron during the growing season, under the influence of the mother corm weight and the integrated and time scheduled inputs application.

بیشترین تعداد بنه دختری در انتهای فصل رشد، در شرایط کاشت بنه‌های مادری درشت و مدیریت زراعی پرنهاده حاصل شد (شکل ۹). بنه‌های مادری درشت دارای تعداد بیشتری جوانهٔ جانبی هستند و از این رو کاشت آنها منجر به تولید تعداد بیشتری بنه دختری می‌شود (Behdani & Fallahi, 2015) و بنظر می رسد مصرف بیشتر نهاده‌ها در نظام پرنهاده نیز بر تحریک رشد این جوانه‌ها اثرگذار بوده است. خاوری (Khavari, 2013) نیز اثر مثبت کاشت بنه‌های مادری درشت در افزایش تعداد بنه‌های دختری زعفران را تأیید کرد.

بنه‌زایی زعفران تا ۳۰ دی‌ماه بسیار کُند بود، اما پس از آن سرعت بیشتری یافت تا اینکه در بازه زمانی ۱۰ اسفند تا ۲۰ فروردین‌ماه به حداکثر میزان خود رسید (شکل ۹). افزایش سرعت تولید بنه در ماه‌های اسفند و فروردین احتمالاً ناشی از بهبود شرایط محیطی مانند دما و تابش و در نتیجه افزایش میزان فعالیت فتوسنتزی گیاه در این زمان می‌باشد. عباسی (Abbasi, 2017) نیز گزارش کرد که بنه‌زایی زعفران از حدود ۴۰ روز پس از اولین آبیاری پاییزه شروع شده و تا انتهای فصل رشد ادامه داشت، اما حداکثر میزان آن در حدود فاصله زمانی ۷۰ تا ۱۰۰ روز پس از آغاز رشد گیاه رخ داد. فلاحی و محمودی (Fallahi & Mahmoodi, 2018c) در پژوهشی دو ساله با بررسی فراهمی آب و مصرف کودهای آلی و شیمیایی بر روی زعفران دریافتند که در هر دو سال، مقدار بنه‌زایی در انتهای فصل رشد گیاه رو به کاهش گذاشت. یافته‌های فیضی و همکاران (Feizi et al., 2015) نیز حاکی از آن است که وزن و تعداد بنه‌های دختری زعفران از اول آذر تا آخر اردیبهشت‌ماه روندی نسبتاً خطی داشت. ذکر این نکته ضروری است که بنه‌زایی بیش از حد چندان سودمند نیست، زیرا با افزایش تعداد بنه ممکن است از متوسط وزن آن‌ها کاسته شود. این موضوع، در خصوص بنه‌زایی در آخر فصل رشد بیشتر صدق می‌کند، زیرا این بنه‌ها فرصت کافی برای دریافت مواد فتوسنتزی جهت رسیدن به وزن مطلوب را نخواهند داشت.



شکل ۹- روند تغییرات تعداد بنه دختری زعفران در طی فصل رشد، تحت تأثیر وزن بنه مادری و مدیریت تلفیقی و زمان‌بندی شدهٔ نهاده‌های زراعی

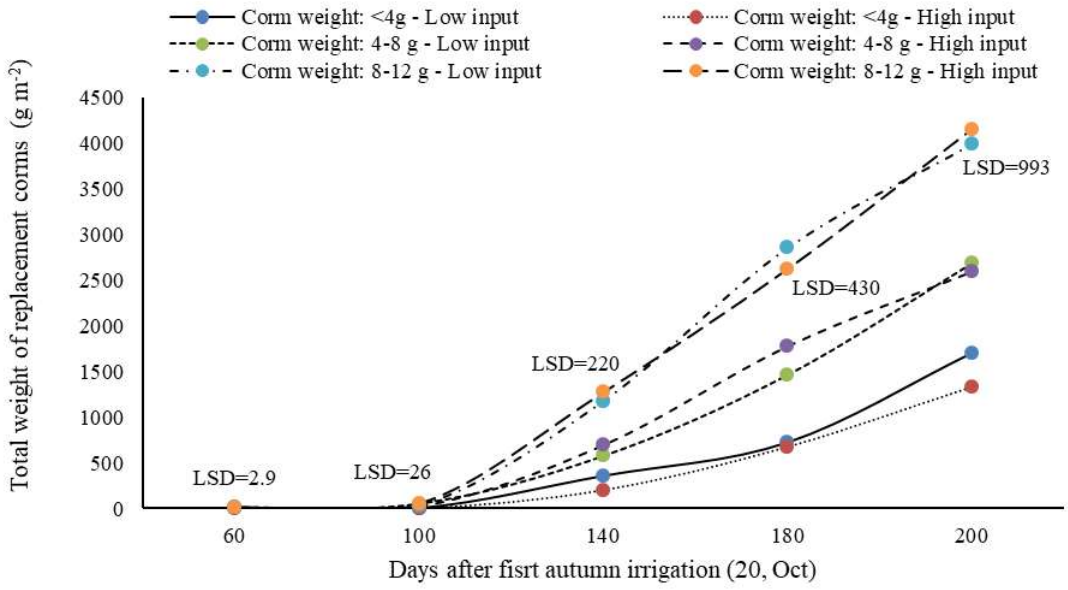
Figure 9- Changes in the number of replacement corms of saffron during the growing season, under the influence of the mother corm weight and the integrated and time-scheduled inputs application.

اثر وزن بنه مادری در تمامی فصل رشد ($p\leq$۰/۰۱)، اثر ساده مدیریت زراعی در نمونه‌برداری اول ($p\leq$۰/۰۱) و اثر متقابل فاکتورهای آزمایشی در اولین ($p\leq$۰/۰۱) و دومین ($p\leq$۰/۰۵) نمونه‌برداری بر صفت وزن بنه‌های دختری در مترمربع معنی‌دار شد. عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین دو سیستم مدیریت زراعی و نیز معنی دار نبودن اثر متقابل آن با وزن بنه در انتهای فصل رشد احتمالاً ناشی از تأمین نیاز تغذیه‌ای گیاه حتی در سیستم کم نهاده باشد. مدیریت زراعی معمول در ابتدای فصل رشد مقدار این شاخص را بهبود بخشید، در حالی که در تمامی فصل رشد زعفران تیمار کاربرد بنه‌های مادری درشت منجر به حصول بیشترین عملکرد بنه‌های دختری گردید (شکل ۱۰). عدم اثرگذاری مثبت سیستم پرنهاده بر وزن بنه های دختری حاکی از تأمین نیاز تغذیه‌ای گیاه در این سیستم است و در نتیجه فراهمی بیشتر نهاده‌ها در سیستم پرنهاده بر بهبود این صفت اثرگذار نبوده است. نتایج تحقیق مشابهی در شرایط اقلیمی سرایان در خصوص مدیریت زراعی، حاکی از آن است که مصرف منابع کودی به خصوص کود آلی در کنار آبیاری گیاه با فواصل هر چهار هفته یک‌بار (در مقایسه با فواصل دو هفته) راهبرد مناسبی جهت افزایش وزن بنه‌های دختری زعفران می‌باشد (Fallahi & Mahmoodi, 2017c).

مقدار عملکرد بنه در تیمارهای استفاده از بنه‌های مادری ریز، متوسط و درشت در انتهای فصل رشد زعفران به‌ترتیب ۱۵/۱، ۲۶/۳ و ۴۰/۶ گرم در بوته بود (به‌ترتیب ۱۵۱۰، ۲۶۳۰ و ۴۰۶۰ گرم در مترمربع) که در مقایسه با وزن بنه مادری کاشته شده (به طور متوسط به‌ترتیب ۲، ۶ و ۱۰ گرم)، به‌ترتیب منجر به افزایش ۷/۵۵، ۴/۳۸ و ۴/۰۶ برابریِ وزن بنه‌ها گردید. این موضوع نشان می‌دهد که میزان عملکرد نسبیِ تولیدی در بنه‌های ریز به نسبت وزن اولیه بنه مادری بیشتر می‌باشد. بنظر می رسد کاشت بنه‌های مادری ریز باعث کاهش بنه‌زایی شده و از این رو مواد فتوسنتزی بین تعداد بنه دختری کمتری توزیع گردیده که پیامد آن بهبود وزن بنه‌ها در مقایسه با وزن اولیه بنه‌های مادری کشت شده می باشد. حسن‌زاده اول و همکاران (Hassanzadeh Aval et al., 2013) در تحقیقی بیان داشتند بیشترین تعداد کل بنه در واحد سطح و بیشترین عملکرد بنه در شرایط استفاده از بنه‌های مادری درشت (۷ تا ۹ گرم) حاصل شد. کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2016a) نیز در آزمایشی گزارش کردند که وزن کل بنه‌های دختری در هر بوته در تیمار استفاده از بنه‌های مادری درشت (۹ تا ۱۰ گرم)، ۴۶ درصد بیشتر از تیمار استفاده از بنه‌های مادری ریز (۴ تا ۵ گرم) بود.

وزن‌گیریِ بنه‌های دختری از ۳۰ دی‌ماه (۱۰۰ روز پس از اولین آبیاری پاییزه) شروع شد و حداکثر میزان آن در فاصله زمانی ۱۰ اسفند تا ۱۰ اردیبهشت‌ماه (۱۴۰ تا ۲۰۰ روز پس از اولین آبیاری پاییزه) مشاهده گردید (شکل ۱۰). در دو ماه پایانی فصل رشد زعفران مسیر انتقال مواد فتوسنتزی به مرور به سمت بنه‌های دختری تغییر پیدا می‌کند و در کنار آن بهبود شرایط محیطی مانند دما و میزان تابش خورشیدی نیز به افزایش مقدار فتوسنتز گیاه کمک می‌نماید که نتیجه آن سرعت یافتن ذخیره مواد در بنه های دختری می‌باشد (Behdani et al., 2016). در پژوهش مشابهی تحت تأثیر مدیریت‌های آبیاری و تغذیه‌ای، روند وزن‌گیری بنه‌های دختری زعفران از حدود روز ۱۰۰ اُم پس از آغاز رشد (اواسط بهمن) شروع شد و تا انتهای فصل رشد ادامه داشت (Abbasi, 2017). در گزارش منتشر شده توسط رضوانی‌مقدم (Rezvani Moghaddam, 2020) نیز وزن بنه‌های دختری زعفران در طی فصل رشد تحت تأثیر وزن بنه مادری و سطوح مختلف کود دامی، دارای روندی افزایشی بود. نتایج آزمایش دو ساله‌ای بر روی زعفران نشان داد در طی هر دو فصل رشد مقدار وزن بنه‌های دختری در هر بوته پس از بازهٔ

زمانی ۲۰ تا ۳۰ بهمن‌ماه روند افزایشی سریعی پیدا کرد (Fallahi & Mahmoodi, 2018a). بر این اساس، دو ماه پایانی فصل رشد زعفران از نظر رسیدن بنه‌های دختری به وزن مطلوب و بهبود گلدهی سال آتی، بسیار حیاتی است. فراهمی مطلوب آب و عناصر غذایی، وجین علف‌های هرز و پرهیز از برداشت زودهنگام برگ‌های گیاه (فعالیت رایج در برخی مناطق جهت تأمین علوفه دام‌ها) در این بازهٔ زمانی، می‌تواند فعالیت فتوسنتزی و طول دورهٔ سبزمانی برگ‌ها را افزایش داده و موجب تولید بنه‌های دختری درشت‌تر شود.



شکل ۱۰- روند تغییرات وزن کل بنه‌های دختری زعفران در طی فصل رشد، تحت تأثیر وزن بنه مادری و مدیریت تلفیقی و زمان‌بندی شدهٔ نهاده‌های زراعی

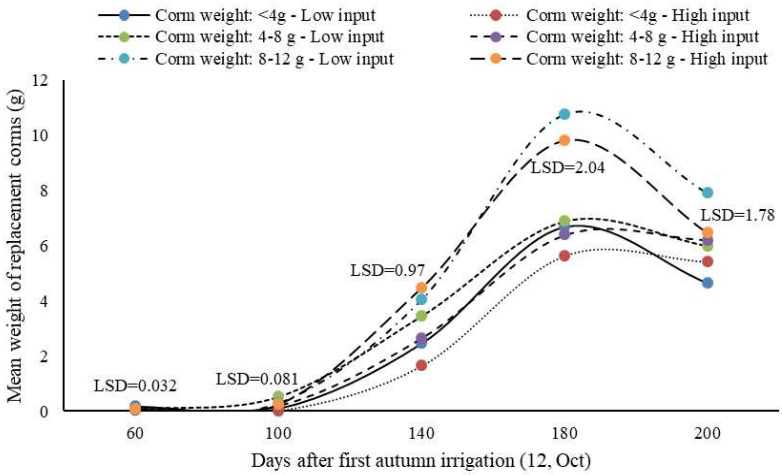
Figure 10- Changes in the total weight of replacement corms of saffron during the growing season, under the influence of the mother corm weight and the integrated and time-scheduled inputs application.

متوسط وزن هر بنه دختری در تمامی فصل رشد از وزن بنه مادری ($p\leq$۰/۰۱) و در تاریخ‌های اول و دوم نمونه‌برداری از مدیریت زراعی و اثر متقابل وزن بنه مادری × مدیریت زراعی ($p\leq$۰/۰۱) تأثیر معنی‌داری پذیرفت. مدیریت زراعی معمول و کاشت بنه‌های مادری درشت منجر به افزایش متوسط وزن هر بنه دختری شد (شکل ۱۱). بیشتر بودن میزان ذخایر غذایی در بنه‌های مادری درشت و احتمال کفایت نیاز غذایی گیاه در فصل اول رشد تحت مدیریت معمول زراعی، می‌تواند به عنوان دلایل احتمالی افزایش وزن بنه‌های دختری در این تیمارها باشد. در ارتباط با مدیریت زراعی، در تحقیقی دور آبیاری چهار هفته (در مقایسه با دو هفته) همراه با مصرف کود آلی در اولین و دومین فصل رشد زعفران، برای افزایش متوسط وزن بنه‌های دختری مفید ارزیابی شد؛ این در حالی است که مصرف کود شیمیایی در شرایط اعمال آبیاری با فواصل دو هفته سودمند بود، ولی با افزایش دور آبیاری به چهار هفته منجر به حصول کمترین مقدار این شاخص شد (Fallahi & Mahmoodi, 2017c).

متوسط وزن بنه‌های دختری در شرایط کاشت بنه‌های مادری ریز (کمتر از ۴ گرم)، متوسط (۴ تا ۸ گرم) و درشت

(بیش از ۱۲ گرم) در انتهای فصل رشد به‌ترتیب بـه ۵، ۶ و ۷/۱ گرم رسید. این موضوع نشان می‌دهد کاشـت بنـه‌هـای مـادری درشت بیشتر موجب افزایش بنه‌زایـی (شـکل ۹) شـده و بـدلیل ایجاد رقابت بین بنـه‌هـای تولیـد شـده، متوسـط وزن آن‌هـا در مقایسه با متوسط وزن بنه‌های مادری کشت شـده کـاهش پیـدا کرده است. این در حالی است کـه در شـرایط کاشـت بنـه‌هـای مادری ریز (کمتر از ۴ گرم) متوسـط وزن بنـه‌هـای دختـری در انتهای فصل رشد به ۵ گرم رسید که نشان مـی‌دهـد بنـه‌هـای مادری ریزتر با تولید تعداد کمتری بنه دختری (شکل ۹)، موجب افزایش نسبی وزن آن‌ها می‌شوند. بنابراین، بنظـر مـی رسـد در شرایطی که هدف تولید بنه‌های استاندارد جهـت ارایـه بـه بـازار باشد، کاشت بنه‌های با وزن کمتر سودمندی بیشتری ایجاد کند. این موضوع در تحقیـق فلاحـی و همکـاران (Fallahi et al., 2018a) مورد تأیید قرار گرفت. با این وجود، آن‌ها بیان داشـتند بهتر است این بنه‌ها به مـدت دو سـال تحـت مـدیریت زراعـی مناسب جهت تولید بنه‌های دختری با وزن مطلوب، قرار گیرند.

از اوایل اسفند ماه متوسط وزن هر بنه دختری روند افزایشی سریعی در پیش گرفت (شـکل ۱۱)، هـر چنـد کـه در چنـد روز پایانی رشد، اندکی مقدار این شاخص کاهش یافت. این موضـوع می‌تواند از یک‌طرف ناشی از کاهش رطوبت بنـه‌هـا در انتهـای فصل رشد، و از طرفی دیگر ناشی از ادامه بنه‌زایی در ایـن بـازه زمانی باشد (شکل ۹). از آنجا که بنه‌های جدیـد ایجـاد شـده در آخر فصل رشد فرصتی برای وزن‌گیری ندارند، متوسط وزن بنـه کاهش یافت. رناموراتـا و همکـاران (Renau-Morata et al., 2012) با مشاهدهٔ محدودیت در افزایش وزن بنه قبـل از پیـری کامل برگ‌ها، بیان داشتند که در گیاه زعفران در طی دورهٔ رشـد بنه‌های دختری، محدودیت مخزن رخ می‌دهد. آنها اضافه کردند که کاهش تقاضای بنه برای فتوآسیمیلات‌ها منجر به تجمع قند در برگ‌ها شده که در نهایت تسـریع پیـری بـرگ را بـه دنبـال خواهد داشت. با این وجـود، فلاحـی و محمـودی (Fallahi & Mahmoodi, 2018a) هم‌راستا بـا نتـایج آزمـایش کنـونی، بـا مشاهده تداوم رشد سریع بنه‌های دختری تا انتهای فصل رشد و عدم تجمع مواد در برگ‌ها، این موضوع را رد نمودند.

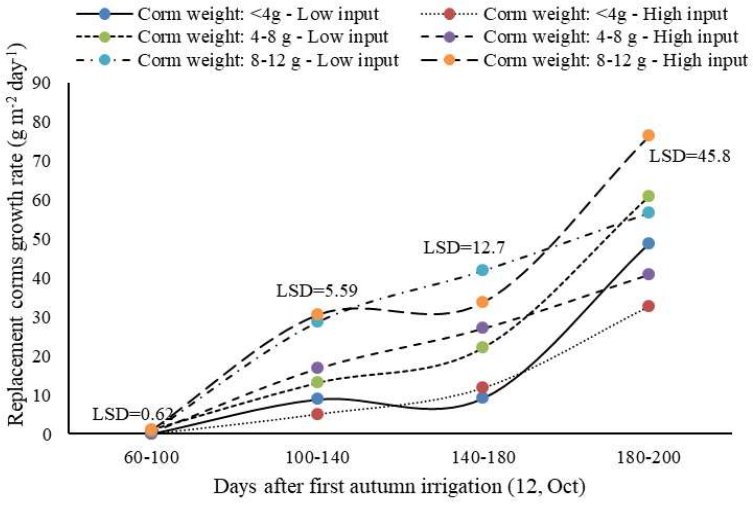


شکل ۱۱- روند تغییرات متوسط وزن هر بنه دختری زعفران در طی فصل رشد، تحت تأثیر وزن بنه مادری و مدیریت تلفیقی و زمان‌بندی شدهٔ نهاده‌های زراعی

Figure 11- Changes in the mean weight of replacement corms of saffron during the growing season, under the influence of the mother corm weight and the integrated and time-scheduled inputs application.

سرعت رشد بنه‌های دختری

وزن بنه مادری از ابتدای فصل رشد تا ۲۰ فروردین‌ماه بر سرعت رشد بنه‌های دختری زعفران اثر معنی‌داری داشت ($p\leq$۰/۰۱)، در حالی که مدیریت زراعی بر این صفت تأثیری نداشت و اثر متقابل عوامل آزمایشی نیز در حدفاصل ۲۰ آذر تا ۳۰ دی‌ماه صفت مذکور را بطور معنی‌داری متأثر نمود ($p\leq$۰/۰۵). معنی دار نشدن اثر متقابل فاکتورهای آزمایشی در خارج از بازهٔ زمانی مذکور احتمالاً ناشی از تخلیه بخش عمدهٔ ذخایر غذایی بنهٔ مادری تا اواخر دی‌ماه باشد. روند تغییرات وزن بنه مادری (شکل ۸) موید این موضوع است به طوری که بیشتر ذخایر غذایی بنه تا ۳۰ دی ماه (۱۰۰ روز پس از اولین آبیاری) تخلیه گردید. استفاده از بنه‌های مادری درشت و با شدت کمتر بکارگیری مدیریت زراعی معمول، حداکثر سرعت رشد بنه‌های دختری زعفران را در طی فصل رشد، سبب گردید. در تمامی تیمارهای آزمایشی در ۱۰۰ روز نخست فصل رشد زعفران سرعت رشد بنه بسیار کم بود، این در حالی است که در ۲۰ روز پایانی فصل رشد یعنی از اواسط فروردین‌ماه مقدار این شاخص به سرعت افزایش پیدا کرد (شکل ۱۲). در ابتدای فصل رشد اولویت گیاه بر گلدهی و توسعه سیستم ریشه‌ای است (شکل ۱) و طبیعی است که سرعت رشد بنه در این زمان بسیار کند باشد. در انتهای فصل رشد اولویت انتقال مواد فتوسنزی به سمت بنه‌های دختری تغییر می‌کند و در کنار آن بهبود شرایط محیطی مانند دما نیز منجر به بهبود سرعت رشد بنه های دختری می‌گردد (Fallahi & Mahmoodi, 2018a). نتایج پژوهش دیگری نیز نشان داد که در فروردین ماه حداکثر سرعت رشد بنه‌های دختری زعفران رخ می‌دهد (Abbasi, 2017). محمودی و فلاحی (Fallahi & Mahmoodi, 2018a) نیز دریافتند که از اوایل بهمن به بعد سرعت رشد بنه زعفران در حداکثر مقدار خود بود. بر این اساس، اعمال مدیریت زراعی مناسب در انتهای فصل رشد جهت حفظ سطح و دوام برگ‌ها، به منظور افزایش سرعت رشد بنه‌های دختری دارای اهمیت است.

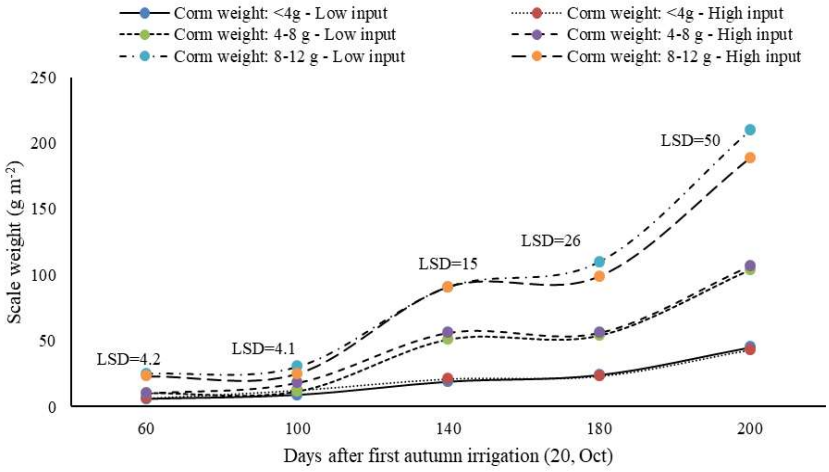


شکل ۱۲- روند تغییرات سرعت رشد بنه‌های دختری زعفران در طی فصل رشد، تحت تأثیر وزن بنه مادری و مدیریت تلفیقی و زمان‌بندی شدهٔ نهاده‌های زراعی

Figure 12- Changes in replacement corms growth rate of saffron during the growing season, under the influence of the mother corm weight and the integrated and time-scheduled inputs application.

وزن فلس و وزن خشک کل گیاه

اثر وزن بنه مادری در تمامی نمونه‌برداری‌ها و اثر متقابل وزن بنه × مدیریت زراعی در دومین نمونه‌برداری بر مقدار فلس موجود گیاه معنی‌دار شد ($p\leq$۰/۰۱). دومین تاریخ نمونه‌برداری تقریباً منطبق بر اوایل بهمن‌ماه یعنی سردترین روزهای سال بود و احتمالاً اثر متقابل معنی‌دار فاکتورهای آزمایشی در این زمان از سال، پاسخی جهت سازگاری گیاه به سرما از راه تقویت پوشش بنه از طریق تولید فلس باشد. این احتمال در پژوهش دیگری نیز مطرح شد و بیان گردید میزان فلس‌های اطراف بنه در زمان‌های سرد سال در طی فصل رشد زعفران افزایش یافت (Fallahi & Mahmoodi, 2018a) . کاربرد بنه‌های مادری درشت و پس از آن متوسط، بیشترین مقدار این شاخص را در طی فصل رشد زعفران تولید کرد، ولی بین دو تیمار مدیریت زراعی تفاوتی مشاهده نشد که احتمالاً ناشی از کفایت نیاز غذایی گیاه در اولین فصل رشد تحت مدیریت زراعی معمول باشد. روند تغییرات این شاخص از روند تغییرات تعداد بنه (شکل ۹)، وزن بنه‌های هر بوته (شکل ۱۰) و سرعت رشد بنه (شکل ۱۲) تبعیت کرده و در تمامی تیمارهای آزمایشی حداکثر افزایش آن نیز در یک‌ماه پایانی فصل رشد گیاه به دست آمد (شکل ۱۳). عباسی (Abbasi, 2017) نیز روند تغییرات وزن فلس در طی رشد رویشی زعفران را افزایشی گزارش کرد و بیان داشت که در فواصل آبیاری طولانی‌تر مقدار این شاخص بیشتر می‌شود. در تحقیق دیگری همزمان با آغاز تولید بنه‌های دختری و کاهش دمای هوا در زمستان وزن فلس تا اواسط اسفند رو به افزایش گذاشت، ولی پس از آن همزمان با افزایش دمای هوا در اواخر زمستان و ابتدای بهار کاهش یافت. بر این اساس بیان شد که احتمالاً ارتباط نزدیکی بین وزن فلس و تغییرات دمای هوا در طی فصل رشد زعفران وجود داشته باشد، به طوری‌که مقدار این شاخص در طی ماه‌های سرد زمستان افزایش پیدا می‌کند (Fallahi & Mahmoodi, 2018a). فلس‌ها عامل حفاظت از بنه زعفران در مقابل عوامل فیزیکی و شیمیایی نامساعد هستند و حذف آن‌ها موجب کاهش رشد بنه‌های دختری و برگ‌ها می‌گردد (Sabet-Teimouri et al., 2010).



شکل ۱۳- روند تغییرات وزن فلس بنه‌های زعفران در طی فصل رشد، تحت تأثیر وزن بنه مادری و مدیریت تلفیقی و زمان‌بندی شدهٔ نهاده‌های زراعی در زعفران

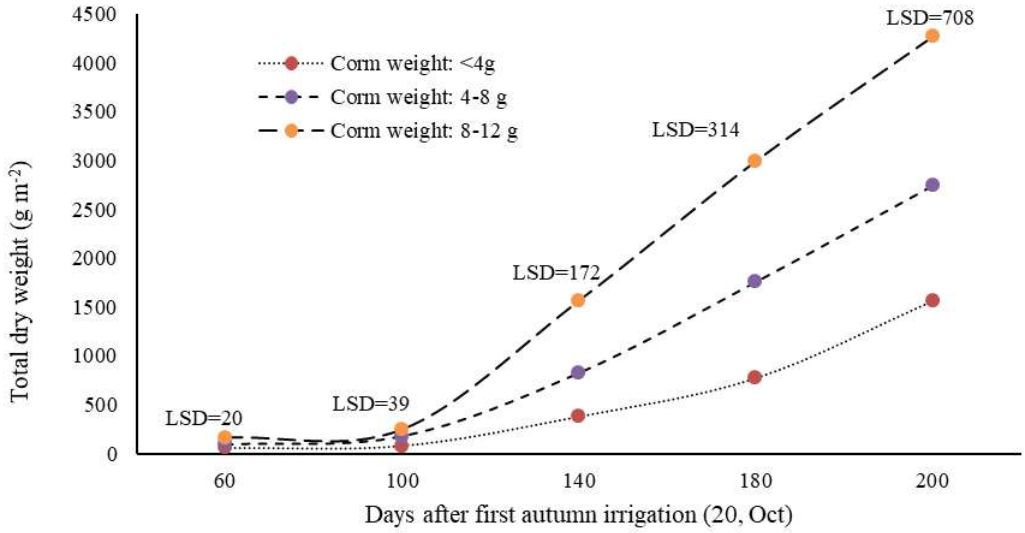
Figure 13- Changes in scale weight of saffron replacement corms during the growing season, under the influence of the mother corm weight and the integrated and time-scheduled inputs application.

وزن خشک کل گیاه (مجموع وزن ریشه، بنه‌های دختری، فلس و برگ) تنها از وزن بنه مادری در تمام تاریخ‌های نمونه‌برداری اثر معنی‌داری پذیرفت ($p\leq$۰/۰۱)، و حداکثر میزان آن نیز در شرایط کاشت بنه‌های مادری درشت به دست آمد. این نتایج با گزارش رضوانی مقدم (Rezvani Moghaddam, 2020) مبنی بر بالاتر بودن وزن خشک زعفران در طی فصل رشد در شرایط کاشت بنه‌های مادری درشت، مطابقت دارد. مقدار این شاخص در انتهای فصل رشد برای بنه‌های مادری ریز، متوسط و درشت به‌ترتیب ۱۵۶۱، ۲۷۴۰ و ۴۲۶۶ گرم در هر مترمربع بود. وزن خشک کل در طی دوره رشد رویشی زعفران روندی افزایشی داشت و بیشترین مقدار آن نیز در ۲۰ روز پایانی فصل رشد به دست آمد (شکل ۱۴). روند تغییرات این شاخص مشابه روند تغییرات وزن بنه‌های دختری (شکل ۱۰) در طی فصل رشد بود. از آنجا که بیشتر مواد فتوسنتزی زعفران در طی فصل رشد به بنه‌های دختری اختصاص پیدا می‌کند، وقوع این رخداد دور از انتظار نیست. در پژوهش مشابهی مقدار زیست‌توده تولیدی زعفران در ۹۰ روز اول رشد بسیار کم و بین ۰/۴ تا ۲ گرم در بوته بود که عمدتاً شامل وزن ریشه و برگ می‌شد، اما با آغاز بنه‌زایی و ذخیره‌سازی مواد فتوسنتزی در بنه‌های دختری زیست‌توده گیاه روند افزایشی قابل توجهی پیدا کرد و از حدود ۳/۳ گرم در هر بوته در اواسط بهمن‌ماه، به بیش از ۱۳/۸ گرم در هر بوته در اواسط اردیبهشت ماه رسید. در تحقیق مذکور بیان شد که مرحله افزایشِ آهسته وزن کل گیاه منطبق با دوره گسترش ریشه‌ها و برگ‌ها و نیز ایجاد آغازه‌های بنه می‌باشد، ولی با تسریع تجمع مواد فتوسنتزی در بنه‌های دختری میزان زیست‌توده کل روندی افزایشی در پیش می‌گیرد (Fallahi & Mahmoodi, 2018c). در گیاه زعفران پس از اینکه برگ‌ها و ریشه‌ها به حداکثر اندازه خود رسیدند، تشکیل و رشد بنه‌های دختری آغاز می‌گردد و توسعه آن‌ها عمدتاً بر فرآیند فتوسنتز متکی است (Renau-Morata et al., 2012). این یافته‌ها می‌تواند به یافتن بهترین زمان مصرف عناصر غذایی در زراعت زعفران کمک نماید. به نظر می‌رسد عناصر غذایی حداکثر بایستی تا اواخر بهمن یعنی تا شروع مرحله سریع افزایش وزن کل گیاه، در خاک مصرف شوند. از این زمان به بعد به‌تدریج قدرت جذب ریشه کم شده و از میزان سودمندی مصرف عناصر غذایی در خاک کاسته می‌شود (Fallahi & Mahmoodi, 2018c; Mollafilabi, 2014). نتایج عباسی (Abbasi, 2017) نیز روند افزایشی وزن خشک کل گیاه زعفران در طی فصل رشد را نشان داد و از این حیث تفاوت قابل توجهی بین دو رژیم انجام آبیاری با فواصل ۲۰ و ۴۰ روز مشاهده نشد.

سرعت رشد محصول و سرعت رشد نسبی

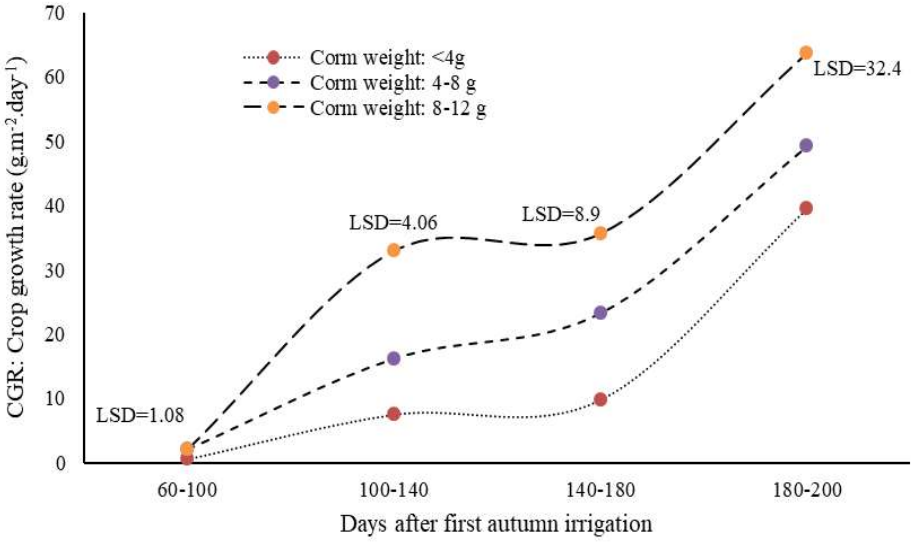
سرعت رشد محصول در حدفاصل نمونه‌برداری‌های اول تا چهارم تنها از وزن بنه مادری تأثیر معنی‌دار پذیرفت ($p\leq$۰/۰۱). بیشترین مقدار این شاخص در شرایط کاشت بنه‌های مادری درشت به دست آمد، ولی مدیریت زراعی تأثیر معنی‌داری بر آن نداشت. با توجه به اینکه بیشتر وزن خشک زعفران را بنه‌های دختری شامل می‌شوند، روند تغییرات سرعت رشد محصول (شکل ۱۵) شباهت زیادی با روند تغییرات سرعت رشد بنه (شکل ۱۲) در طی فصل رشد داشت. مقدار این شاخص از اوایل فصل رشد تا ۱۰ اسفند و مجدداً از ۲۰ فروردین ماه تا انتهای فصل رشد روند افزایشی سریعی داشت، اما در حدفاصل روزهای ۱۴۰ تا ۱۸۰ پس از رشد، سرعت افزایش آن آهسته بود (شکل ۱۵). رضوانی مقدم (Rezvani Moghaddam, 2020) گزارش کرد حداکثر سرعت رشد زعفران در شرایط کاشت بنه‌های مادری درشت و حدود ۱۸۰ روز پس از کاشت به دست آمد و

سپس کاهش یافت. یافته‌های عباسی (Abbasi, 2017) نشان داد که حداکثر میزان سرعت رشد محصول در بازه زمانی حدود ۲۰ اسفند تا ۲۰ فروردین‌ماه رخ می‌دهد. نتایج تحقیق فلاحی و محمودی (Fallahi & Mahmoodi, 2018c) نیز روند نسبتاً مشابهی را برای سرعت رشد محصول نشان داد به طوری که روند کلی تغییرات این شاخص در طی فصل رشد افزایشی بود. با این وجود سرعت رشد محصول در بیشتر تیمارهای آزمایشی دارای دو نقطهٔ اوج (۱۱۴ و ۱۵۷ روز پس از رشد) و یک نقطهٔ کاهشی (۱۳۵ روز پس از رشد) در فاصلهٔ بین نقاط اوج بود. در پژوهش مذکور این موضوع به تغییرات دماییِ محیط رشد گیاه در طی زمستان نسبت داده شد و بیان گردید که احتمالاً کاهش دمای هوا در اواسط زمستان موجب کاهش فعالیت‌های فتوسنتزی و در نتیجه کاهش سرعت رشد محصول شده است.



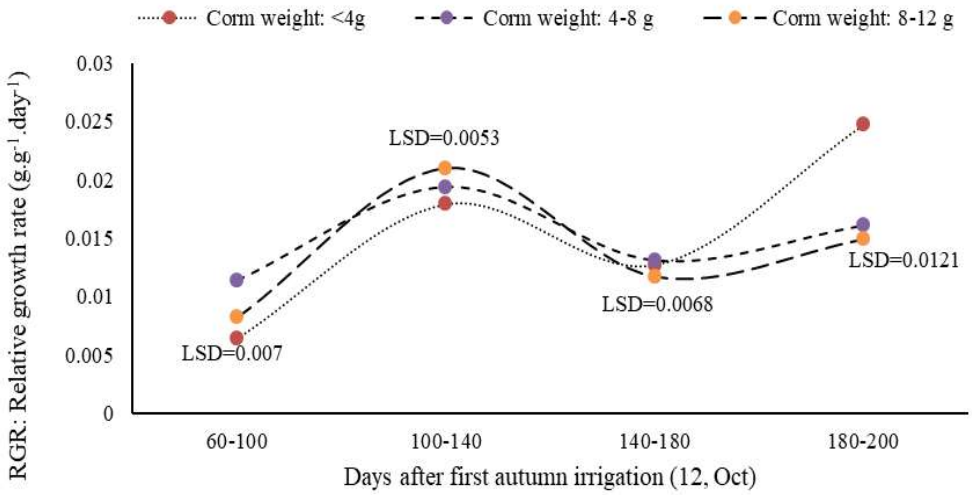
شکل ١٤- روند تغییرات وزن خشک کل (مجموع وزن برگ، بنه، فلس و ریشه) زعفران در طی فصل رشد، تحت تأثیر وزن بنه مادری
Figure 14- Changes in total weight (leaf, corm, scale, and root) of saffron during the growing season, under the influence of the mother corm weight.

در بازه زمانی که سرعت رشد محصول کند بود (شکل ۱۵)، سرعت رشد نسبی محصول یعنی مقدار افزایش به ازای وزن قبلی، کاهش پیدا کرد؛ در حالی که در ابتدا و انتهای فصل رشد که سرعت رشد محصول بالا بود، مقدار سرعت رشد نسبی نیز روند افزایشیِ قابل توجهی داشت (شکل ۱۶) هر چند که در بین تمامی اثرات ساده و متقابل تنها وزن بنه آن هم در حدفاصل نمونه‌برداری چهارم و پنجم بر این صفت اثر معنی‌داری داشت ($p\leq$۰/۰۵). در اواخر فصل رشد گیاه تفاوت در سرعت رشد نسبی محصول تحت تأثیر وزن بنه های مادری کاهش یافت تا اینکه در انتهای فصل رشد، سرعت رشد نسبی برای بنه‌های ریز، متوسط و درشت به‌ترتیب به ۰/۰۲۴، ۰/۰۱۶ و ۰/۰۱۴ گرم بر گرم رسید. این موضوع نیز نشان دهندهٔ آن است که کاشت بنه‌های مادری ریزتر در مزارع اختصاصی تولید بنه و خصوصاً در شرایط اعمال مدیریت زراعی مناسب، می‌تواند منجر به تولید بنه‌های دختری با وزن مطلوب شود.



شکل ۱۵- روند تغییرات سرعت رشد محصول تحت تأثیر اندازه بنه مادری در طی فصل رشد زعفران

Figure 15- Changes in crop growth rate (CGR) during the growing season of saffron under the influence of the mother corm weight.



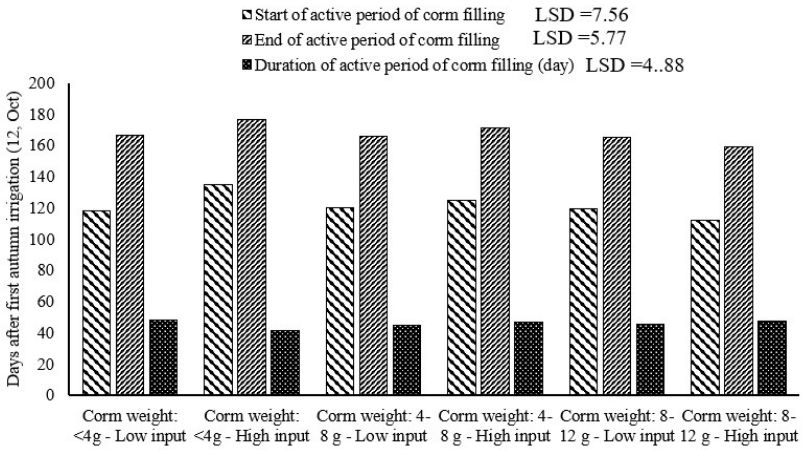
شکل ۱۶- روند تغییرات سرعت رشد نسبی تحت تأثیر اندازه بنه مادری در طی فصل رشد زعفران

Figure 16- Changes in relative growth rate (RGR) during the growing season of saffron, under the influence of the mother corm weight.

دوره فعال پر شدن بنه‌های دختری

زمان شروع دوره فعال پر شدن بنه‌های دختری زعفران تحت تأثیر معنی‌دار اثر متقابل مدیریت زراعی × وزن بنه ($p\leq$۰/۰۵) و زمان پایان آن تحت تأثیر وزن بنه مادری ($p\leq$۰/۰۵) قرار گرفت؛ اما طول این دوره از فاکتورهای آزمایشی تأثیر معنی‌داری نپذیرفت. زمان شروع این دوره برای بنه‌های مادری ریز، متوسط و درشت به ترتیب در حدود روزهای ۱۲۶، ۱۲۲ و ۱۱۵اُم پس از اولین آبیاری پاییزه و زمان پایان آن به-

ترتیب در روزهای ۱۷۱، ۱۶۸ و ۱۶۲اُم پس از آبیاری اول گیاه رخ داد و بر این اساس طول این دوره برای تمامی سطوح بنه‌های مادری حدود ۴۵ روز بود. به عبارتی دیگر، با کاهش وزن بنه مادری، دوره فعال پر شدن بنه‌های دختری دیرتر آغاز شد و از آن طرف دیرتر نیز به پایان رسید؛ این تغییرات در شکل ۱۷ قابل مشاهده است. در شرایط کاشت بنه های مادری ریز، اتکای بنه های دختری به ذخایر بنه مادری بسیار کمتر است و طبیعی است دوره فعال پر شدن بنه دیرتر شروع شود. در این شرایط از یک طرف ذخایر بنه مادری نیاز بنه های دختری را فراهم نکرده و از طرفی با توجه به فصل سرد سال، شرایط محیطی برای تامین نیاز بنه های دختری از طریق فتوسنتز برگها به خوبی فراهم نیست و لذا دوره فعال پر شدن بنه ها، با تاخیر شروع می گردد. نتایج فلاحی و همکاران (Fallahi et al., 2018b) نشان داد دوره فعال پرشدن بنه‌های دختری زعفران در بازۀ زمانی ۱۲۵ تا ۱۸۰ روز پس از شروع رشد، قرار داشت. در پژوهشی اثر مدیریت‌های آبیاری و تغذیه‌ای در زراعت زعفران بررسی و گزارش شد که پایان دورۀ رشد فعال بنه در سال اول حدود ۱۹۰ روز پس از آغاز رشد و در سال دوم حدود ۱۸۰ روز پس از آغاز رشد گیاه اتفاق افتاد. ضمن اینکه مصرف کود آلی در شرایط کاهش فراهمی آب، در سال اول ۸ و در سال دوم ۱۰ روز طول دورۀ رشد فعال بنه را در مقایسه با تیمار عدم مصرف کود افزایش داد (Fallahi & Mahmoodi, 2018a).



شکل ۱۷- زمان آغاز، پایان و طول دوره فعال پر شدن بنه‌های دختری، تحت تأثیر اندازه بنه مادری و مدیریت تلفیقی و زمان‌بندی شدۀ نهاده‌های زراعی در زعفران

Figure 17- The time of start, end and duration of the active period of corm filling in saffron, under the influence of mother corm weight and the integrated and time-scheduled of inputs application.

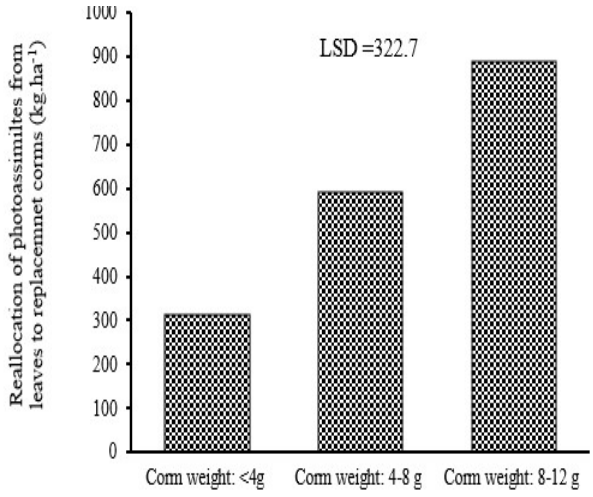
انتقال مجدد مواد فتوسنتزی

از بین اثرات اصلی و متقابل فاکتورهای آزمایشی، فقط وزن بنه مادری اثر معنی‌داری بر میزان انتقال مجدد مواد فتوسنتزی از برگ‌ها به بنه‌های دختری زعفران داشت ($p\leq$۰/۰۱). بر اساس نتایج مقایسه میانگین میزان انتقال مجدد مواد در انتهای فصل رشد گیاه در تیمار استفاده از بنه‌های مادری درشت ۸۹۰، برای بنه‌های متوسط ۵۹۰ و در مورد بنه‌های مادری ریز ۳۱۳ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۱۸). مطابق شکل ۳، کاشت بنه‌های مادری درشت در مقایسه با بنه‌های مادری ریز موجب توسعه بیشتر اندام هوایی گیاه (۷۶ گرم در مقایسه با ۲۳۸ گرم در مترمربع در ۱۴۰ روز پس از اولین آبیاری پاییزه) و در نتیجه افزایش ذخایر غذایی در برگها شده است. بنابراین، در انتهای فصل رشد با

انتقال این مواد از برگها به بنه های دختری مقدار کل انتقال مجدد مواد در شرایط کاشت بنه های مادری درشت افزایش پیدا کرده است. در تحقیق مشابهی میزان انتقال مجدد فوتوآسیمیلات‌ها از برگ‌ها به بنه‌های دختری زعفران در انتهای فصل رشد حدود ۵۳۰ کیلوگرم در هکتار گزارش شد (Fallahi et al., 2018b).

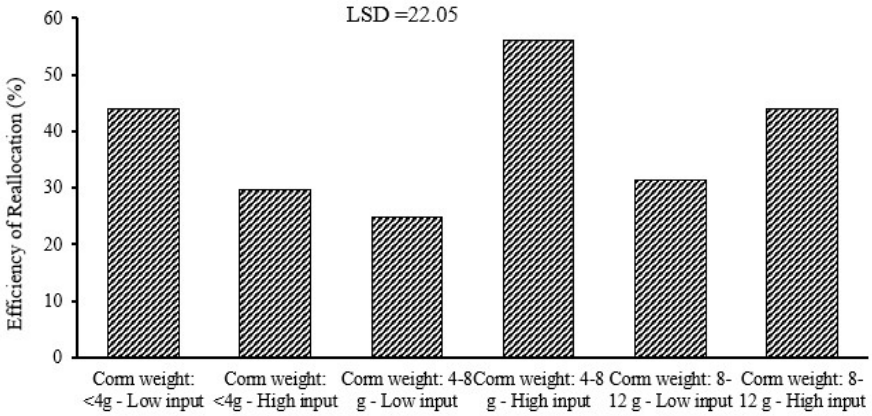
اثر متقابل وزن بنه مادری × مدیریت زراعی بر کارایی انتقال مجدد مواد فتوسنتزی معنی‌دار بود ($p\leq$۰/۰۵). بیشترین مقدار این صفت با ۵۶ درصد در تیمار کاشت بنه‌های مادری متوسط تحت عملیات زراعی فشرده به دست آمد (شکل ۱۹). در تحقیقی بر روی زعفران بیشترین میزان انتقال و کارایی انتقال مواد فتوسنتزی در گیاهانی مشاهده شد که با کود حیوانی تغذیه شده و با فواصل هر چهار هفته یک‌بار (در مقایسه با فواصل دو هفته) آبیاری شده بودند (Fallahi & Mahmoodi, 2018a).

موضوع روابط بین منبع و مخازن مواد فتوسنتزی و انتقال مجدد مواد در طی رشد رویشی زعفران کمتر مورد توجه پژوهش‌های علمی قرار گرفته است. رناموراتا و همکاران (Renau-Morata et al., 2012) بیان داشتند که برگ‌ها مهم‌ترین منبع تولید مواد آلی در زعفران هستند، به طوری که رشد بنه‌های دختری به‌عنوان مهم‌ترین مخزن در ابتدا به فتوسنتز برگ‌ها وابسته است (حدود ۹۰ درصد). نتایج آن‌ها نشان داد که رشد بنه‌های دختری از طریق محدودیت در تولید فتوآسیمیلات‌ها محدود نمی‌شود، در عوض ظرفیت مخزن محدود کنندهٔ رشد بود، زیرا افزایش زیست‌تودهٔ گیاه قبل از وقوع پیری کامل برگ‌ها دچار محدودیت شد.



شکل ۱۸- تأثیر اندازه بنه مادری بر میزان انتقال مجدد مواد فتوسنتزی از برگ‌ها به بنه‌های دختری در زعفران

Figure 18- The influence of mother corm weight on the reallocation of photoassimilates from leaves to replacement corms of saffron.



شکل ۱۹- تأثیر اندازه بنه مادری و مدیریت تلفیقی و زمان‌بندی شدهٔ نهاده‌های زراعی بر کارایی انتقال مجدد مواد فتوسنتزی از برگ‌ها به بنه‌های دختری در زعفران

Figure 19- The influence of mother corm weight and the integrated and time-scheduled application of inputs on the reallocation efficiency of photoassimilates from leaves to replacement corms of saffron.

با این وجود، نتایج فلاحی و محمودی (Fallahi & Mahmoodi, 2018a) بیانگر وجود محدودیت منبع بود، زیرا بنه‌های دختری در اواخر فصل رشد گیاه روند افزایش وزن سریعی را داشتند و در این مرحله بر خلاف نتایج رناموراتا و همکاران (Renau-Morata et al., 2012) وزن برگ‌ها به شدت کاهش یافت. از این رو، وقوع انتقال مجدد نشان می‌دهد که ظرفیت بنه‌های دختری محدود کنندهٔ رشد گیاه نبوده است. آنها تأکید کردند، با توجه به اینکه در پژوهش رناموراتا و همکاران (Renau-Morata et al., 2012) وزن بنه‌های دختری بین ۱۰ تا ۵۵ گرم و در پژوهش مذکور حدود ۶ گرم بود، احتمالاً محدودیت مخزن زمانی به‌وقوع می‌پیوند که وزن بنه‌های دختری خیلی بزرگ می‌شود.

نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان داد که در طی اولین فصل رشد گیاه زعفران، بالاترین مقادیر وزن ریشه، وزن برگ، تعداد و وزن بنه‌های دختری، میانگین وزن بنه، سرعت رشد بنه، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی، میزان و کارایی انتقال مجدد مواد فتوسنتزی در شرایط کاشت بنه‌های مادری درشت حاصل شد. وزن خشک ریشه تا حدود ۱۱۰روز و وزن خشک برگ تا حدود ۱۴۰ روز پس از آغاز فصل رشد افزایش یافت و سپس کاهش پیدا کرد. سرعت بنه‌زایی از روز ۱۴۰اُم پس از اولین آبیاری پاییزه تسریع شد و همزمان متوسط وزن بنه نیز افزایش یافت. سرعت رشد بنه در یک ماه انتهاییِ فصل اول رشد بسیار بالا بود و همین موضوع بر سرعت رشد محصول نیز اثرگذار بود. این تحقیق نشان داد کاشت بنه‌های مادری درشت بنه‌زایی گیاه را تحریک کرده و در اثر آن متوسط وزن بنه‌های دختری در قیاس با متوسط وزن بنه‌های مادری کشت شده کاهش پیدا می‌کند. این در حالی است که کاشت بنه‌های مادری ریز، تعداد کمتری بنهٔ دختری تولید کرده و متوسط وزن بنه‌های دختری در مقایسه با متوسط وزن بنه‌های مادری اولیه بهبود می‌یابد. همچنین، دو ماه پایانی فصل رشد گیاه به‌عنوان دوره‌ای کلیدی در جهت افزایش وزن بنه‌های دختری زعفران شناسایی شد که با اعمال مدیریت مناسب در این بازهٔ زمانی می‌توان به درشت شدن بنه‌های دختری و در نتیجه بهبود گلدهی آن‌ها در فصل آتی رشد کمک نمود.

تشکر و قدردانی

این تحقیق در قالب طرح پژوهشی و با استفاده از اعتبارات پژوهشی پژوهشکده زعفران، دانشگاه تربت حیدریه انجام شده است که بدینوسیله تشکر و قدردانی می‌شود. بخشی از این پژوهش در دانشکده کشاورزی سرایان، دانشگاه بیرجند به انجام رسیده است که بدینوسیله قدردانی می‌گردد.

منابع

Abbasi, A. (2017). Effect of mycorrhizal inoculation and humic acid application on growth of saffron (*Crocus sativus* L.) replacement corms under two Irrigation regimes. MSc Thesis, University of Zabol. (In Persian with English Abstract).

Aghhavani-Shajari, M., Rezvani Moghaddam, P., Koocheki, A., Fallahi, H. R., & Taherpour Kalantari, R. (2015). Evaluation of the effects of soil texture on yield and growth of saffron (*Crocus sativus* L.). *Saffron Agronomy & Technology, 2* (4), 311-322. (In Persian with English Abstract).

Amirshekari, H., Sorooshzadeh, A., Modaress Sanavy, A. M., & Jalali Javaran, M. (2008). Effects of root-zone temperature, corm size, and gibberellin on vegetative growth of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Agricultural Science & Natural Resources, 14* (5), 1-8. (In Persian with English Abstract).

Askary, M., Behdani, M. A., Mollaei, H., & Fallahi, H. R. (2023). Evaluation of the effects of organic and conventional cultivation practices on phytochemical and anti-cancer activities of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Agrcultural Science & Technology, 25* (1), 139-154.

Azizi, E., Jahani Kondori, M., & Divan, R. (2013). The effect of soil physiochemical characteristics and field age on agronomic traits of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Agroecology, 5* (2), 134-142.

Behdani, M. A., & Fallahi, H. R. (2015). Saffron: Technical Knowledge Based on Research Approaches. University of Birjand Press, Birjand, Iran. [In Persian].

Behdani, M. A., Jami Al-ahmadi, M., & Fallahi, H. R. (2016). Biomass partitioning during the life cycle of saffron (*Crocus sativus* L.) using regression models. *Journal of Crop Sciences & Biotechnology, 19* (1), 71-76.

Fallahi, H. R., Zamani, G., Mehrabani, M., Aghhavani-Shajari, M., & Samadzadeh, A. (2016). Influence of superabsorbent polymer rates on growth of saffron replacement corms. *Journal of Crop Science & Biotechology, 19* (1), 77-84.

Fallahi, H. R., Aghhavani Shajari, M., Sahabi, H., & Feizi, H. (2017). Mother corm weight and soil amendment improves the vegetative and reproductive growth of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Medicinal & Spice Plants, 22* (3), 110-114.

Fallahi, H. R., & Mahmoodi, S. (2018a). Impact of water availability and fertilization management on saffron (*Crocus sativus* L.) biomass allocation. *Journal of Horticulture & Postharvest Research, 1* (2), 131-146.

Fallahi, H. R., & Mahmoodi, S. (2018b). Influence of organic and chemical fertilization on growth and flowering of saffron under two irrigation regimes. *Saffron Agronomy & Technology, 6* (2), 147- 166. (In Persian with English Abstract).

Fallahi, H. R., & Mahmoodi, S. (2018c). Evaluation of the impacts of water availability and nutritional management on some physiological indices and saffron replacement

corms growth. Final report of research project, University of Birjand. (In Persian with English Abstract).

Fallahi, H. R., Aghhavani Shajari, M., Sahabi, H., & Feizi, H. (2018a). Posibility of increasing the weight of saffron corm through integrated and timed management of agricultural inputs. Final Report of Research Project, Saffron Inistitu, University of Torbat Heydarieh. (In Persian with English Abstract).

Fallahi, H. R., Aghhavani-Shajari, M., Hammami, H., Hashemi, S. S., Zarei, E., Kadkhodaei Barkook, R., & Mohammadi, B. (2018b). Allocation of photoassimilates in different parts of saffron during growing season. 7th National Congress of Medicinal Plants. 12-14 May, Shiraz. p. 98.

Feizi, H., Seyyedi, S. M., & Sahabi, H. (2015). Effect of corm planting density, organic and chemical fertilizers on formation and phosphorus uptake of saffron (*Crocus sativus* L.) replacement corms during phonological stages. *Saffron Agronomy & Technology, 2* (4), 289- 301. (In Persian with English Abstract).

Gholami, M., Kafi, M., & Khazaei, H. R. (2017). Study of the relations of sink and source in saffron by means of correlation coefficients under different irrigation and fertilization levels. *Saffron Agronomy & Technology, 5* (3), 195- 210. (In Persian with English Abstract).

Hassanzadeh Aval, F., Rezvani Moghaddam, P., Bannayan aval, B., & Khorasani, R. (2013). Effects of maternal corm weight and different levels of cow manure on corm and flower yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Saffron Agronomy & Technology, 1* (1), 22-39.

Hokmalipour, S., & Seyyed Sharifi, R. (2016). Effect of Seed Inoculation with plant growth promoting rhizobactria on dry matter remobilization of spring barley at different levels of nitrogen and phosphorus fertilizers. *Iranian Journal of soil Research, 29* (4), 407-426. (In Persian with English Abstract).

IMA (Iran Ministry of Agriculture). (2023). Agricultural Statistics Report of Year 2022, Volume 3: Horticultural and Greenhoyse Products, p. 401. (In Persian).

Khavari, A. (2013). Effects of planting methods and corm weight on yield of saffron (*Crocus sativus* L.) in Qaenat region. MSc. Thesis, University of Birjand. (In Persian with English Abstract).

Khorramdel, S., Gheshm, R., Amin Ghafori, A., & Esmaielpour, B. (2014). Evaluation of soil texture and superabsorbent polymer impacts on agronomical characteristics and yield of saffron. *Journal of Saffron Research, 1* (2), 120-135. (In Persian with English Abstract).

Koocheki, A., Fallahi, H. R., Amiri, M. B., & Ehyaei, H. R. (2016a). Effects of humic acid application and mother corm weight on yield and growth of Saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Agroecology, 7* (4), 425-442. (In Persian with English Abstract).

Koocheki, A., Rezvani Moghaddam, P., Fallahi, H. R., & Aghhavani Shajari, M. (2016b). The study of saffron (*Crocus sativus* L.) replacement corms growth in response to planting date, irrigation management and companion crops. *Saffron Agronomy & Technology, 4* (1), 3-18. (In Persian with English Abstract).

Koocheki, A., & Seyyedi, S. M. (2015). Phonological stages and formation of replacement corms of saffron (*Crocus sativus* L.) during growing period. *Journal of Saffron Research*, *3* (2), 134-135. (In Persian with English Abstract).

Lopez-Corcoles, H., Brasa-Ramos, A., Montero-García, F., Romero-Valverde, M., & Montero-Riquelme, F. (2015). Phenological growth stages of saffron plant (*Crocus sativus* L.) according to the BBCH Scale. *Spanish Journal of Agricultural Research*, *13* (3), 1-7.

Molina, R. V., Valero, M., Navarro, Y., Guardiola, J. L., & Garcia-Luice, A. (2005). Temperature

effects on flower formation in saffron (*Crocus sativus* L.). *Scientia Horticulture, 103*, 361-379.

Mollafilabi, A. (2014). Effect of new cropping technologies on growth characteristics, yield, yield components of flower and corm criteria of saffron (*Crocus sativus* L.). Ph.D. Dessertation, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian with Englsih Abstract).

Mosafery Zyaaldiny, H., Alizadeh, A., & Rezvani Moghaddam, P. (2021). Effect of irrigation regimes on crop water use efficiency of saffron (Case study: the Bakharz region of Khorasan Razavi, Iran). *Saffron Agronomy & Technology*, *8* (4), 497-510. (In Persian with Englsih Abstract).

Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Boroumand Rezazadeh, Z., & Tabrizi, L. (2008). Effects of corm size and storage period on allocation of assimilates in different parts of saffron plant (*Crocus sativus* L.). *Iranian Journal of Field Crops Journal, 5* (1), 1-12. (In Persian with Englsih Abstract).

Renau-Morata, B., Nebauer, S., Sanchez, R., & Molina, R. (2012). Effect of corm size, water stress and cultivation conditions on photosynthesis and biomass partitioning during the vegetative growth of saffron (*Crocus sativus* L.). *Industrial Crops & Products, 39*, 40-46.

Rezvani Moghaddam, P., Koocheki, A., Molafilabi, A., & Seyyedi, S.M. (2013). The effects of different levels of applied wheat straw in different dates on saffron (*Crocus sativus* L.) daughter corms and flower initiation criteria in the second year. *Saffron Agronomy & Technology, 1* (1), 55- 70. (In Persian with English Abstract).

Rezvani Moghaddam, P. (2020). Ecophysiology of Saffron (pp: 119-137). In: Saffron: Science, Technology and Health (Edited by: Koocheki, A., Khajeh-Hosseini, M). Elsevier.

Sabet-Teimouri, M., Kafi, M., Avarseji, Z., & Orooji, K. (2010). Effect of drought stress, corm size and corm tunic on morphoecophysiological characteristics of saffron (*Crocus sativus* L.) in greenhouse conditions. *Journal of Agroecology, 2* (2), 323-334. (In Persian with English Abstract).