



Changes of Some Growth Indices and Yield of Saffron (*Crocus sativus* L.) in Different Altitudes

Abbas Jalali¹, Faezeh Zaefarian^{2*}, Benjamin Torabi³ and Rahmat Abbasi⁴

Article type:

Research Article

Article history:

Submitted: 2 May 2022

Revised: 12 July 2022

Accepted: 18 September 2022

Available Online: 12 September 2022

How to cite this article:

Jalali, A., Zaefarian, F., Torabi, B., Abbasi, R. 2022. Changes of Some Growth Indices and Yield of Saffron (*Crocus sativus* L.) in Different Altitudes. *Saffron Agronomy & Technology*, 10(3): 195-213.

DOI: 10.22048/jsat.2022.340439.1460

Abstract

Saffron can be cultivated in many regions of the world with different climates. However, the Mediterranean climate with warm and dry summers is the most suitable climate for growing saffron. The present study was conducted to evaluate some indicators of saffron growth in 2019-2020 in four regions with different altitudes above sea level in Sari, Iran. These regions include Sari plain (level with sea level), Sarkat (350 meters above sea level), Resket (900 meters above sea level), and Margav (1350 meters above sea level). These experiments were performed in a randomized complete block design with three replications. The treatment included corm size in three weight groups: small (4 ± 2 g), medium (10 ± 2 g), and large (15 ± 2 g) and; measured traits include leaf area index, cumulative dry matter, growth rate, relative growth rate, and saffron yield. The results showed that the saffron leaf area development trend in all studied regions has a non-linear trend and follows a logistic-peak function. Based on the results, a significant difference was observed between the leaf area development trend among different sizes of mother corm in all regions, and the trend of leaf area index changes during the growing season was higher for larger corms than for smaller corms. The changes in dry matter accumulation also had a sigmoidal trend in all experiment regions. Total dry matter changes were higher for larger corms. Although the trend of changes in crop growth rate in higher altitude regions was lower; the rate of growth rate fluctuation or the difference between the minimum and maximum growth rates during the season in the two regions was less than the lower regions. The growth trend of saffron in four regions showed that it grows during the season in the region with higher altitudes above sea level, and following more vegetative growth and more dry matter allocation to the storage organ, a larger corm is produced, and the potential to increase the yield of dried saffron flowers and stigmas will increase next year.

Keywords: Corm size, Crop growth rate, Leaf area index, Total dry matter.

1- PhD Student of Crop Ecology, Department of Agronomy, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

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

3 - Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

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



Corresponding author: fa.zaefarian@sanru.ac.ir

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



مقاله پژوهشی

تغییرات برخی از شاخص‌های رشدی و عملکرد زعفران (*Crocus sativus* L.) در ارتفاعات مختلف از

سطح دریا

عباس جلالی^۱، فائزه زعفریان^{۲*}، بنیامین ترابی^۳ و رحمت عباسی^۴

تاریخ دریافت: ۱۲ اردیبهشت ۱۴۰۱

تاریخ بازنگری: ۲۱ تیر ۱۴۰۱

تاریخ پذیرش: ۲۷ شهریور ۱۴۰۱

جلالی، ع.، زعفریان، ف.، ترابی، ب.، و عباسی، ر. ۱۴۰۱. تغییرات برخی از شاخص‌های رشدی و عملکرد زعفران (*Crocus sativus* L.) در ارتفاعات مختلف از سطح دریا. زراعت و فناوری زعفران، ۱۰(۳): ۱۹۵-۲۱۳.

چکیده

زعفران در بسیاری از مناطق جهان با اقلیم‌های مختلف کشت می‌شود. اما بهترین اقلیم برای رشد آن آب و هوای مدیترانه‌ای با تابستان خشک می‌باشد. مطالعه حاضر به منظور ارزیابی برخی شاخص‌های رشد زعفران در سال ۹۹-۱۳۹۸ در چهار منطقه با ارتفاع متفاوت از سطح دریا در شهرستان ساری انجام شد. این مناطق شامل دشت ساری (هم‌تراز با سطح دریا)، سرکت (۳۵۰ متر بالاتر از سطح دریا)، رسکت (۹۰۰ متر بالاتر از سطح دریا) و مرگاو (۱۳۵۰ متر بالاتر از سطح دریا) می‌باشد. آزمایش حاضر در هر منطقه در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمار آزمایش شامل اندازه بنه در سه گروه وزنی ریز (۲±۴ گرم)، متوسط (۲±۱۰ گرم) و درشت (۲±۱۵ گرم) و صفات اندازه‌گیری شده شامل شاخص سطح برگ، ماده خشک تجمعی، سرعت رشد، سرعت نسبی رشد و عملکرد زعفران بود. نتایج نشان داد که روند توسعه سطح برگ زعفران در تمامی مناطق تحت مطالعه روندی غیرخطی داشته و از تابعی لگستیک-پیک پیروی می‌کند. بر اساس نتایج، تفاوت قابل توجهی بین روند توسعه سطح برگ در میان اندازه‌های مختلف بنه مادری در همه مناطق مشاهده شد و روند تغییرات شاخص سطح برگ طی فصل رشد برای بنه درشت‌تر نسبت به بنه‌های ریزتر از میزان بالاتری برخوردار بود. روند تغییرات تجمع ماده خشک نیز در تمامی مناطق مورد آزمایش از یک روند سیگموئیدی برخوردار بود. بنه درشت میزان تجمع ماده خشک بالاتری در طی فصل رشد نشان داد. اگر چه روند تغییرات سرعت رشد زعفران در مناطق با ارتفاع بالاتر از سطح پایین‌تری برخوردار بود؛ اما میزان نوسان سرعت رشد و یا عبارتی اختلاف بین حداقل و حداکثر سرعت رشد طی فصل در دو منطقه مرتفع‌تر نسبت به مناطق پست‌تر کمتر بود. روند رشد زعفران در چهار منطقه نشان داد که در مناطق با ارتفاع بیشتر از سطح دریا طول فصل رشد بیشتر می‌شود و بدنبال رشد رویشی بیشتر و تخصیص ماده خشک بیشتر به اندام ذخیره‌ای، بنه بزرگتری تولید و پتانسیل افزایش عملکرد گل و کلاله خشک زعفران در سال بعد افزایش می‌یابد.

کلمات کلیدی: اندازه بنه، تجمع ماده خشک، سرعت رشد گیاه، شاخص سطح برگ.

۱- دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

۲- دانشیار گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

۳- دانشیار گروه زراعت، دانشکده تولیدات گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۴- استادیار گروه زراعت، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

*-نویسنده مسئول: fa.zaefarian@sanru.ac.ir

مقدمه

آب و هوای یک منطقه تحت تأثیر عوامل مختلف داخلی و خارجی قرار دارد. برخی از عوامل خارجی شامل میزان تابش خورشیدی، باده‌ها و جریان‌های جوی شدید و عوامل داخلی وابسته به خود منطقه مانند ارتفاع، پستی و بلندی، عرض جغرافیایی و فاصله تا دریا می‌باشد. زعفران در بسیاری از مناطق جهان با اقلیم‌های مختلف کشت می‌شود. اما بهترین اقلیم برای رشد آن آب و هوای مدیترانه‌ای با تابستان خشک می‌باشد (Rezvani-Moghaddam, 2020). زعفران از دیدگاه گیاهشناسی، گیاهی یک ساله محسوب می‌گردد که بر پایه رشد بنه به عنوان اندام‌های زیرزمینی رشد و نمو یافته و در شرایط زراعی می‌تواند تا چندین سال مورد بهره‌برداری قرار گیرد. بنه‌های مادری رشد رویشی - زایشی داشته و بعد از مرحله گلدهی، بنه‌های دختری را تولید می‌کند (Koocheki & Khajeh-Hosseini, 2020) مراحل رشدی با القای تقسیمات سلولی در مریستم‌ها و نمو بنه‌های جدید یا بنه‌های دختری شروع می‌شود. به دنبال رشد بنه‌های دختری که حاصل آغاز رشد جوانه‌های اصلی یا جانبی روی بنه مادری می‌باشند، بنه‌های مادری تحلیل می‌روند. هر بنه دختری در آغاز فصل رشد بعدی به عنوان بنه مادری رشد و تکثیر می‌یابد و این چرخه مجدداً تکرار می‌شود. بدلیل عقیم بودن گل، این گیاه از طریق بنه‌های مادری تکثیر می‌شود (Khorramdel et al., 2021). کوچکی و سیدی (Koocheki & Seyyedi, 2015) در پژوهشی با بررسی فنولوژی و روند تشکیل بنه‌های دختری زعفران، مراحل تشکیل بنه‌های دختری را به سه دوره تقسیم کردند: در مرحله اول با پایان گلدهی مریستم‌های موجود بر روی بنه‌های مادری فعالیت خود را آغاز کرده و تشکیل بنه‌های دختری آغاز می‌شود. رشد و نمو اندام‌های ظاهر شده از بنه‌های مادری زعفران در این مرحله اساساً وابسته به اندوخته‌های موجود در بنه‌های مادری می‌باشد. مرحله دوم

مرحله میانی رشد بنه‌های دختری است که در آن اندازه بنه‌های دختری بر روی بنه‌های مادری افزایش می‌یابد و بنه‌های دختری که تازه در این مرحله تشکیل می‌شوند از نظر اندازه کوچکتر از بنه‌های تشکیل شده در مرحله قبل می‌باشند و در پایان مرحله نهایی بنه‌های دختری رشد می‌کنند؛ به طوری که رشد اندام‌های هوایی به حداکثر مقدار خود می‌رسد و ۵۱ تا ۸۱ درصد از مجموع وزن بنه‌ها، مربوط به بنه‌های دختری تازه تولید شده است. چنین به نظر می‌رسد که کاشت بنه‌های بزرگتر به دلیل اندوخته غذایی بیشتر و در نتیجه رشد بهتر باعث افزایش وزن بنه می‌شود. علاوه بر این، افزایش توسعه سیم‌ریش‌های گیاه با بنه‌های درشت‌تر می‌تواند به دلیل جذب رطوبت خاک بیشتر، نقش مؤثری در بهبود تولید اندام‌های فتوسنتزی در سال‌های بعدی داشته باشد (Amirshakari et al., 2008). شواهد علمی متعدد بر وجود رابطه مستقیم قوی و معنی‌دار بین وزن بنه‌های کشت شده و عملکرد زعفران تأکید دارد (Zakiaghl et al., 2020).

تجزیه و تحلیل رشد، روش با ارزشی در بررسی کمی رشد و نمو و تولید گیاهان زراعی به شمار می‌رود. شاخص‌های رشد جهت توجیه و تفسیر واکنش گیاه نسبت به شرایط محیطی به کار می‌روند و شناخت بهتری را از انتقال مواد فتوسنتزی در گیاه نشان می‌دهند (Sarmadnia & Kocheiki, 1996). معلم بنه‌نگی و همکاران (Moallem-banhangi et al., 2018) در تحقیق خود نشان دادند که روند توسعه سطح برگ در زعفران روندی غیرخطی است و از تابعی سیگموئیدی پیروی می‌کند و سرعت رشد زعفران در آغاز دوره‌ی رشد رویشی احتمالاً به دلیل استفاده بیشتر از ذخایر بنه مادری با کاهش نسبی همراه بوده و از ۱۲۱ روز پس از کاشت تا حدود ۱۸۱ روز پس از کاشت روندی افزایشی پیدا کرده و در نهایت در اواخر دوره رشد رویشی روندی کاهش‌ی به خود می‌گیرد. همچنین محققین دیگری در تحقیق خود نشان دادند که مجموع طول برگ زعفران در متر مربع با

۱۳۵۰ متر بالاتر از سطح دریا، طی سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ و در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. به جهت ترسیم دقیق‌تر روند تغییرات شاخص‌ها سعی شد بنه‌های با وزن تقریبی یکسان در یک گروه قرار گیرند و بر این اساس تیمار آزمایش شامل سه گروه وزنی ریز (4 ± 2 گرم)، متوسط (10 ± 2 گرم) و درشت (15 ± 2 گرم) بود. بنه‌های مورد نیاز آزمایش از منطقه تربت حیدریه در خراسان رضوی تهیه شد. مزارع مورد نظر، پس از نمونه‌گیری خاک جهت آنالیز فیزیکی شیمیایی از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر (جدول ۱)، در شهریور ماه شخم و تسطیح و سپس در تاریخ ۲۵ شهریور ماه در کرت‌هایی به ابعاد ۲×۳ متر و فواصل ۰/۵ متر کشت انجام شد. عمق کشت ۱۵ سانتی‌متر، فاصله ردیف ۲۵ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (Behdani & Fallahi, 2015). آمار هواشناسی برای سال مورد نظر از ایستگاه هواشناسی ساری تهیه گردید (شکل ۱).

به منظور تعیین برخی شاخص‌های رشدی، نمونه‌برداری از مزرعه پس از آغاز گلدهی در آبان ماه تا زمان زرد شدن کامل برگ‌ها حدوداً در اواسط اردیبهشت ماه، حداقل هر ماه یک بار انجام شد. زمان وقوع مراحل فنولوژیکی مهم نیز ثبت گردید (جدول ۲). در هر نمونه‌گیری از هر کرت ۳ بوته به طور تصادفی از خاک خارج و به آزمایشگاه منتقل شد. صفات رویشی اندازه‌گیری شده طی دوره رشد شامل طول برگ‌ها، وزن خشک کل بوته شامل اندام هوایی و زمینی بود. به منظور برآورد عملکرد بنه‌های دختری، در اوایل خرداد ماه، بنه‌ها از سطحی معادل m^2 برداشت شده و پس از ارزیابی تعداد بنه‌های دختری تولید شده وزن تر و خشک آنها نیز تعیین می‌گردد. همچنین صفات زیستی اندازه‌گیری شده در پایان گلدهی (آبان ماه سال بعد) شامل عملکرد تر گل و وزن خشک کلاله زعفران در واحد سطح بود.

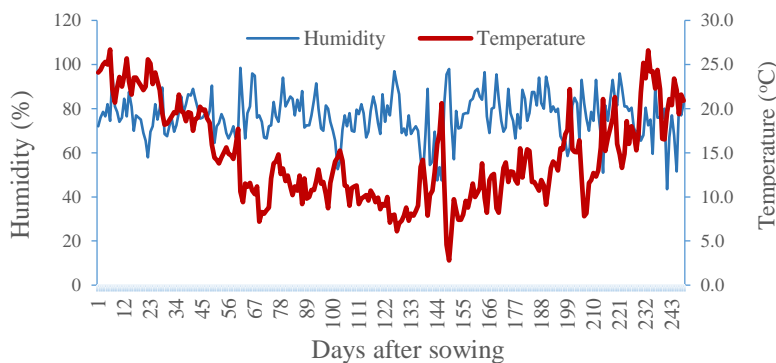
افزایش وزن بنه از ۴ به ۸ گرم، ۱۰۶ درصد در سال اول و ۱۳ درصد در سال دوم افزایش می‌یابد (Sharifi et al., 2021). امروزه به دلیل ارزش افزوده بالای تولید محصول زعفران، کشت و تولید آن در استان مازندران همچون بسیاری از مناطق کشور بویژه در مناطق بیلاقی و اراضی شیب‌دار استان مازندران مورد توجه قرار گرفته است. در حال حاضر بر طبق گزارشات در سال‌های اخیر بیش از ۴۰ هکتار از اراضی بالادست این استان زیر کشت زعفران قرار گرفته است (Agricultural Jihad of Mazandaran Province, 2019). لذا تحقیقات پایه و کاربردی در خصوص ارزیابی رشد و توصیه جهت کشت این محصول در مناطق مختلف استان ضروری می‌باشد. چرا که شناخت مراحل رشد و نمو این گیاه در هر منطقه، به مدیران و محققان امر کمک می‌کند تا بر اساس آن تمهیدات مدیریتی لازم جهت افزایش کارایی و مدیریت زراعی این گیاه ارزشمند را در این منطقه و سایر مناطق استان به کار ببرند. این تحقیق با هدف بررسی روند تغییرات برخی شاخص‌های رشدی و عملکرد بنه‌هایی با وزن متفاوت زعفران با در مناطق با ارتفاعات متفاوت از سطح دریا، در شهرستان ساری انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر جهت بررسی روند تغییرات شاخص‌های فیزیولوژی رشد و برآورد عملکرد بنه و گل زعفران در چهار منطقه با ارتفاعاتی متفاوت از سطح دریا شامل دشت ساری (عرض جغرافیایی ۳۶ درجه، $39/431$ دقیقه و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و $4/169$ دقیقه) هم‌تراز با سطح دریا، روستای سرکت (۳۶ درجه، $24/751$ دقیقه و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و $9/519$ دقیقه) با ارتفاع ۳۵۰ متر بالاتر از سطح دریا، روستای رسکت (۳۶ درجه و $9/598$ دقیقه و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و $11/513$ دقیقه) ۹۰۰ متر بالاتر از سطح دریا و روستای مرگاو (۳۶ درجه و $11/710$ دقیقه و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و $11/710$ دقیقه)

جدول ۱- آنالیز خاک مزارع تحت کشت در مناطق مختلف آزمایش شهرستان ساری
Table 1- Soil analysis of cultivated farms in different experiment regions of Sari

منطقه Region	شاخص واکنش pH	هدایت الکتریکی EC*10 ⁻³ (ds.m ⁻¹)	ماده آلی O.M %	کربن آلی O.C %	نیترژن کل N %	فسفر P (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم K (mg.kg ⁻¹)	بافت خاک		
								شن % Sand	سیلت % Silt	رس % Clay
ساری Sari	7.5	0.8	2.6	1.5	0.1	12.7	170.3	لومی شنی Sandy loam		
								52	30	18
سرکت Sarkat	7.8	0.9	1.8	1.1	0.1	11.4	103.2	لومی شنی Sandy loam		
								58	34	8
رسکت Resket	7.3	1.2	2.4	1.4	0.1	34.0	343.4	لومی شنی Sandy loam		
								60	40	0
مرگاو Margav	6.8	0.3	2.6	1.1	0.1	59.9	228.0	لومی Loam		
								45	34	21



شکل ۱- تغییرات دما و رطوبت نسبی طی فصل رشد زعفران در شهر ساری
Figure 1- Trend of temperature and humidity during saffron growing season in Sari.

که در آن LAI: شاخص سطح برگ، A سطح نمونه‌گیری و LA سطح برگ می‌باشد. مقادیر شاخص سطح برگ روزانه با برازش تابع لگ استیک پیک (معادله ۳) به مقایسه LAI اندازه‌گیری شده میزان (Y) تعیین شد (Tsubo et al., 2005).

$$y = a + b \times 4 \times (\exp(-(x-c)/d)) / (1 + \exp(-(x-c)/d))^2 \quad (3)$$

که در آن، a: عرض از مبدا، b: حداکثر LAI، c: زمان رسیدن به حداکثر LAI، d: نقطه عطف منحنی که در آن رشد سطح برگ وارد مرحله خطی می‌شود و x: زمان بر حسب روز پس از کاشت است.

میزان سطح برگ بر اساس طول برگ و با استفاده از معادله ۱ محاسبه گردید (Kumar, 2009):

$$LA = 192.33e^{(L)0.0037} \quad (1)$$

در این رابطه LA نشان دهنده سطح برگ که در آن L طول برگ بر حسب میلی‌متر می‌باشد. جهت تعیین وزن خشک اندام‌های هوایی و زمینی، پس از برداشت، اندام‌های گیاه به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار می‌گیرند. همچنین برای اندازه‌گیری شاخص‌های رشدی از فرمول‌های زیر استفاده می‌گردد:

$$LAI = LA/A \quad (2)$$

(جدول ۳). بنه‌های با وزن بیشتر، میزان شاخص سطح برگ بالاتری را داشتند. بر اساس تابع برازش شده بالاترین میزان شاخص سطح برگ (۰/۶۴) مربوط به بنه با وزن ۱۵ گرم بود که در ۲۲۵ روز پس از کاشت بدست آمد (جدول ۳). نتایج نشان داد که روند توسعه سطح برگ و افزایش شاخص سطح برگ تا ۱۱۶ روز پس از کاشت از یک رشد کند و بطئی برخوردار است که احتمالاً دلیل آن تخصیص اندوخته بنه مادری برای رشد زایشی می‌باشد. اما پس از آن در اواخر فصل پاییز با کاهش دما و رسیدن دما به حد مطلوب برای رشد رویشی (بین ۱۷-۱۰ درجه سانتی‌گراد) (شکل ۱-D) سرعت رشد و توسعه سطح برگ افزایش می‌یابد. بهدانی و فلاحی (Behdani & Fallahi, 2015) دمای مطلوب برای شروع رویش گیاه زعفران و فرآیند زایشی و رویشی را دمای ۱۷ درجه سانتی‌گراد و در اواخر مرحله رویشی دمای مطلوب برای افزایش اندازه بنه را ۱۰ درجه سانتی‌گراد گزارش کردند. مرحله رشد سریع تا ۱۸۰ روز پس از کاشت ادامه می‌یابد و در ادامه با اتمام فصل سرما و شروع فصل بهار و در نتیجه افزایش تدریجی دما هوا از سرعت رشد و توسعه سطح برگ کاسته شده و در نهایت سطح برگ در ۲۱۵ و ۲۰۸، ۲۵۳، روز پس از کاشت به ترتیب در بنه ریز، متوسط و درشت، به حداکثر خود می‌رسد (جدول ۳ و شکل ۲-D)؛ که در این مرحله با شروع زرد شدن برگ‌ها رشد و توسعه سطح برگ به حداکثر و به عبارتی پایان می‌یابد. احتمالاً بالا بودن وزن اولیه بنه مادری و بدنبال آن تقویت قدرت رویشی گیاه سبب شده است که بنه درشت و متوسط در زمان کمتری به حداکثر میزان شاخص سطح برگ نسبت به بنه ریز برسند. معلم بنه‌نگی و همکاران (Moallem-banhangi et al., 2018) بیان کردند که روند توسعه سطح برگ زعفران، مانند اکثر گیاهان زراعی دیگر، روندی غیرخطی داشته و از تابعی سیگموئیدی پیروی می‌کند و حداکثر افزایش شاخص سطح برگ در بازه زمانی ۹۰ تا ۱۵۰ روز پس از کاشت بود که مقارن با حداکثر رشد رویشی زعفران بود. آنها

به منظور بیان و توصیف تغییرات ماده خشک نسبت به زمان، معادله سیگموئیدی (معادله ۴) برای داده‌های وزن خشک تجمعی (TDM) برازش داده شد. با مشتق‌گیری از رابطه ذکر شده، سرعت رشد نسبی (RGR) (معادله ۵) بدست آمد و سپس از حاصلضرب وزن خشک تجمعی (TDM) در معادله ۶، سرعت رشد گیاه زراعی (CGR) بدست آمد (Karim-Majani, 2008).

$$TDM = a / (1 + \exp(-b(t-m))) \quad (4)$$

$$RGR = b(1 - (TDM/a)) \quad (5)$$

$$CGR = b * TDM(1 - (TDM/a)) \quad (6)$$

که t: زمان بر حسب روز؛ TDM: زیست توده تجمعی گیاه در زمان t؛ a: بالاترین وزن خشک تجمعی گیاه؛ b: شیب افزایش ماده خشک؛ و m: زمانی است که گیاه بالاترین سرعت رشد یا افزایش ماده خشک را داشته باشد. RGR و CGR، به ترتیب سرعت رشد گیاه و سرعت رشد نسبی می‌باشند. به منظور برآورد عملکرد بنه‌های دختری در پایان رشد رویشی در اردیبهشت ماه، از سطحی معادل ۰/۲ m² بنه‌ها برداشت شده و پس از ارزیابی تعداد بنه‌های دختری تولید شده، وزن تر و خشک آنها و در نهایت عملکرد بنه نیز تعیین شد. در نهایت تجزیه و تحلیل داده‌ها، رسم شکل‌ها و برازش مدل‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.0، Excel 2016 و Sigma Plot 12.0 و مقایسه میانگین داده‌ها با کمک آزمون LSD انجام شد.

نتایج و بحث

روند تغییرات شاخص سطح برگ (LAI)

دشت ساری: در این منطقه ۳۷ روز پس از کاشت خروج اولین جوانه‌ها از خاک آغاز گردید و پس از حدود ۳ هفته رشد زایشی و وقوع پدیده گلدهی اواسط آبانماه اولین نمونه‌برداری از گیاه جهت اندازه‌گیری شاخص سطح برگ انجام گردید (جدول ۲). روند تغییرات شاخص سطح برگ برای هر سه اندازه بنه در این منطقه با تابع لوج ستیک-پیک بهترین برازش را نشان داد

همچنین حداکثر میزان شاخص سطح برگ زعفران را در ۲۱۰ روز پس از کاشت گزارش کردند. کوچکی و سیدی (Koocheki & Seyyedi, 2015) نیز بیان کردند که رشد برگ‌های سبز زعفران در مرحله میانی رشد بنه‌های دختر، یعنی از اواخر آذرماه تا اواخر دی ماه به حداکثر مقدار خود می‌رسد.

جدول ۲- تاریخ وقوع برخی وقایع مهم نمو مرفولوژیکی زعفران در مناطق مختلف ساری سال ۹۹-۹۸

Table 2- Date of occurrence of some important morphological development events of saffron in different regions of Sari, 2019-20

منطقه Region	تاریخ سبز شدن Date of emergence	تاریخ آغاز رشد رویشی (رشد برگ) Date of onset of vegetative growth (Leaf growth)	تاریخ گلدهی Flowering date	پایان گلدهی The end of flowering	شروع زرد شدن برگ The leaves begin to turn yellow	زرد شدن کامل برگ‌ها (شروع دوره خواب) Complete yellowing of leaves (Starting of dormancy period)	طول دوره رشد Growth period
دشت ساری Sari	۲ آبان ماه 24 OCT.	همزمان با رشد زایشی Simultaneously with reproductive growth	۲۲ آبان ماه 13 NOV.	۱۵ آذر ماه 6 DEC.	۲ فروردین 22 MAR.	۲۵ فروردین 14 APR.	173
سرکت Sarkat	۲۵ مهر ماه 17 OCT.	کمی با تأخیر نسبت به رشد زایشی Slightly delayed compared to reproductive growth	۱۷ آبان ماه 8 NOV.	۱۲ آذر ماه 3 DEC.	۱۰ فروردین 30 MAR.	۳۰ فروردین 19 APR.	185
رسکت Resket	۱۵ مهر ماه 7 OCT.	کمی با تأخیر نسبت به رشد زایشی Slightly delayed compared to reproductive growth	۲۲ مهر ماه 14 OCT.	۲۰ آبان ماه 11 NOV.	۱۸ فروردین 7 APR.	۱۰ اردیبهشت 30 APR.	206
مرگاو Margav	۱۰ مهر ماه 2 OCT.	کمی با تأخیر نسبت به رشد زایشی Slightly delayed compared to reproductive growth	۱۹ مهر ماه 11 OCT.	۱۵ آبان ماه 6 NOV.	۲۸ فروردین 17 APR.	۱۵ اردیبهشت 5 MAY.	216

منطقه سرکت

روند تغییرات شاخص سطح برگ برای هر سه اندازه بنه در این منطقه نیز مشابه منطقه دشت بود (شکل ۱-S). بر طبق نتایج آزمایش در ۳۱ روز پس از کاشت و در اواخر مهر ماه سبز شدن گیاه و خروج جوانه از خاک در این منطقه آغاز و بطور همزمان رشد رویشی و رشد زایشی آغاز گردید و پس از حدود ۳ هفته گلدهی به اتمام رسید و رشد رویشی با سرعت بالاتری ادامه یافت (جدول ۲). حداکثر سرعت افزایش شاخص سطح برگ در بازه زمانی ۹۰ تا ۲۰۰ روز پس از کاشت بود که مقارن با حداکثر رشد رویشی زعفران می‌باشد (شکل ۲-S).

در زعفران برخلاف سایر گیاهان رشد رویشی پس از رشد زایشی اتفاق می‌افتد که رشد رویشی مصادف است با کاهش طول روز، کاهش دمای محیط و همچنین کاهش شدت تابش خورشید در طول فصول پاییز و زمستان می‌باشد و لذا امکان استفاده گیاه برای جذب انرژی خورشیدی روز به روز کاهش

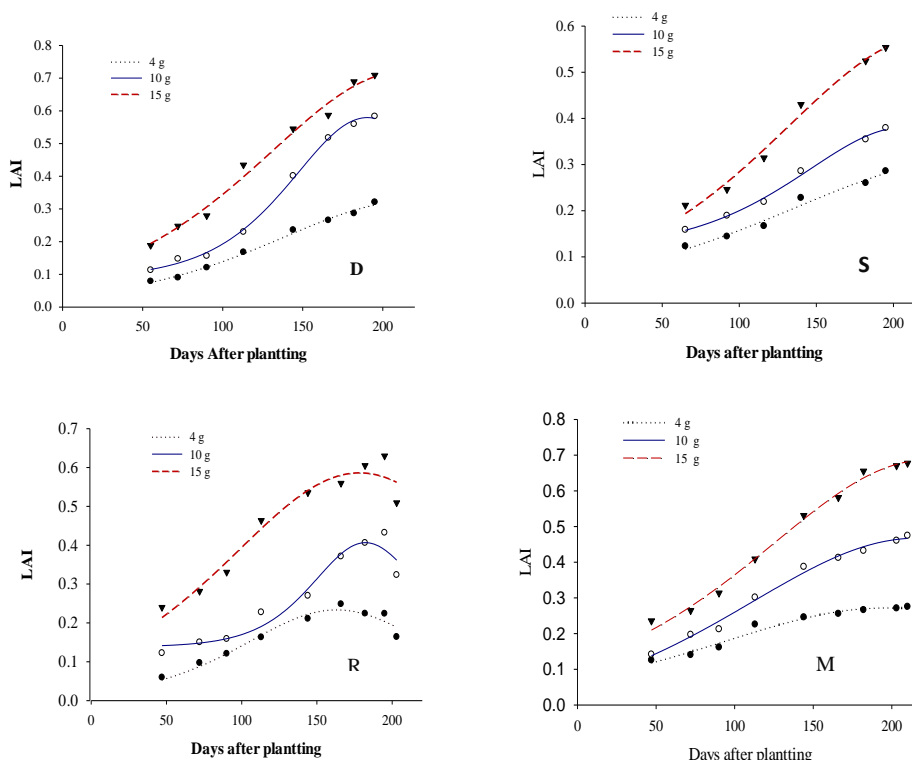
می‌یابد. از آنجائیکه حداکثر سطح برگ گیاه بر حداکثر تابش‌های خورشیدی منطبق نمی‌باشد شرایط مطلوب برای بهره‌وری بیشتر از انرژی خورشیدی در گیاه وجود ندارد، در نتیجه ایجاد و توسعه سطح برگ مناسب در کانوپی گیاهی بلافاصله پس از برداشت گل‌ها و قبل از فرا رسیدن دماهای بسیار سرد می‌تواند به تولید ماده خشک بیشتر و انتقال آنها به بنه‌ها منجر گشته و سبب تولید بنه‌های بزرگتر شوند که در سال بعد از پتانسیل بیشتری جهت رشد و تولید گل برخوردار خواهند بود. کوچکی و سیدی (Koocheki & Seyyedi, 2015) بیان کردند که رشد برگ‌های سبز در مرحله میانی رشد بنه‌های دختر، یعنی از اواخر آذرماه تا اواخر دی‌ماه به حداکثر مقدار خود می‌رسد. حداکثر شاخص سطح برگ (۰/۶۲) در این منطقه مربوط به بنه مادری درشت بود (جدول ۳).

منطقه رسکت

روند تغییرات شاخص سطح برگ برای هر سه اندازه بنه

شد (جدول ۲) و در اواسط رشد زایشی آغاز و از سرعت کندی برخوردار بود که این امر احتمالاً به دلیل نوسانات بیشتر دمایی در مهر ماه و القاء دمایی مناسب برای گلدهی پیش از رشد رویشی در این گیاه در این منطقه می‌تواند اتفاق افتاده باشد.

کاشته شده در این منطقه نیز مشابه مناطق دیگر بود و تابع لوچستیک - پیک بهترین برازش را با ضریب همبستگی بالای ۰/۹۴ درصد نشان داد (جدول ۳). در این منطقه مرحله رشد رویشی نسبت به دو منطقه با ارتفاع پایین‌تر، کمی با تأخیر آغاز



شکل ۲ - تغییرات شاخص سطح برگ زعفران در اندازه‌های مختلف بنه در مناطق مختلف ساری با ارتفاع متفاوت از سطح دریا شامل D: دشت ساری (همتراز با سطح دریا)، S: سرکت (۳۵۰ متر بالاتر از سطح دریا)، R: رسکت (۹۰۰ متر بالاتر از سطح دریا) و M: مرگاو (۱۳۵۰ متر بالاتر از سطح دریا)

Figure 2- Trend of changes of leaf area index in different sizes of corm in different levels of the sea in Sari region: D: Sari (sea level), S: Sarkat (350 m above sea level), R: Resket (900 above sea level), M: Margav (1350 m above sea level).

شاخص سطح برگ به حداکثر میزان خود (به ترتیب برابر ۰/۲، ۰/۴ و ۰/۶) رسید (شکل ۲-۳ و جدول ۳) و در نهایت مرحله پایانی که با زرد شدن برگ‌ها و کاهش سطح برگ، میزان سطح برگ به حداقل خود رسید (شکل ۲-۳). منطقه مرگاو: خروج اولین جوانه بنه زعفران از خاک در تاریخ ۱۰ مهر ماه و زرد شدن کامل برگ‌های گیاه در ۱۵ اردیبهشت موجب شد که این منطقه در بین سایر مناطق مورد مطالعه بیشترین طول دوره رشد را به خود اختصاص دهد (جدول ۲).

به طوری که با القای دمایی مناسب و تحریک جوانه‌های زایشی گیاه، گلدهی تسریع یافته و موجب تأخیر و یا کاهش در سرعت رشد رویشی و برگ‌ها می‌گردد (Behdani & Fallahi, 2015). شاخص سطح برگ در این منطقه نیز شامل چهار مرحله بود. مرحله رشد کند که تا حدود ۹۰ روز پس از کاشت ادامه داشت و مرحله رشد سریع از حدود ۹۰ تا ۱۶۰ روز پس از کاشت بود و مرحله سوم در ۱۶۲، ۱۸۲ و ۱۷۸ روز پس از کاشت به ترتیب مربوط به بنه‌های ریز و متوسط و درشت که در این مرحله

جدول ۳- ضرایب رابطه (۳) برای شاخص سطح برگ و سه اندازه مختلف بنه زعفران در مناطق مختلف ساری

Table 3- Coefficients of equation (3) for leaf area index and three different sizes of saffron corm in different regions of Sari

Eq.(3) $LAI = (a+b)*4*(EXP(-(x-c)/d)/((1+EXP(-(x-c)/d)))^2$

منطقه Region		a ±SE	b ±SE	c ±SE	d ±SE	R ²
ساری Sari	4	0.12 ±0.0021	0.195 ±0.026	253.56 ±0.001	87.461 ±0.0002	0.97
	10	0.11 ±0.047	0.271 ±0.07	208.504 ± 28.76	47.167 ±4.343	0.99
	15	0.06 ±0.034	0.64 ±0.045	215.097 ±0.002	69.9 ±0.0003	0.98
سرکت Sarkat	4	0.125 ±0.013	0.2 ± 0.018	218.82 ±0.0001	60.458 ±0.0001	0.99
	10	0.086 ±0.018	0.494 ±0.02	190.439 ±3.85	32.336 ± 3.132	0.99
	15	0.011 ± 0.043	0.621 ± 0.06	214.05 ±0.0003	62.463 ± 0.0005	0.98
رسکت Resket	4	0.08 ±0.01	0.165 ±0.04	162.84 ±0.001	42.639 ±0.0001	0.95
	10	0.138 ±0.02	0.439 ±0.03	182.266 ±5.199	23.868 ±1.3	0.95
	15	0.057 ±0.004	0.643 ±0.012	178.19 ±0.0003	60.114 ± 0.005	0.94
مرگاو Margav	4	0.099 ±0.02	0.174 ±0.031	196.04 ±0.0004	76.316 ±0.0005	0.97
	10	0.059 ±0.160	0.527 ±0.069	216.17±10.1	78.711±7.78	0.99
	15	0.007 ±0.0001	0.693 ±0.002	222.74 ±12.25	73.243 ±5.69	0.99

a: عرض از مبدا، b: حداکثر LAI، c: زمان رسیدن به حداکثر LAI، d: نقطه عطف منحنی که در آن سطح برگ وارد مرحله خطی می شود، x: زمان بر حسب روز پس از کاشت.

a: Width of origin, b: Maximum LAI, c: Time to reach the maximum LAI, d: The turning point of the curve at which the leaf area enters the linear stage, X: Time on days after planting.

مرحله به دلیل زرد شدن برگ‌ها شاخص سطح برگ روندی کاهشی پیدا کرد و در نهایت در اواسط اردیبهشت ماه حدود ۲۰۰ روز پس از کاشت (با پایان یافتن مرحله رویشی، برگ‌ها کاملاً خشک شده و شاخص سطح برگ به صفر رسید (شکل ۲-۳)). حداکثر سرعت افزایش شاخص سطح برگ در بازه زمانی حدود ۹۰ تا ۲۰۰ روز پس از کشت بود که مقارن با حداکثر رشد رویشی زعفران می‌باشد (شکل ۱-۴). بر اساس نتایج حداکثر میزان شاخص سطح برگ در بنه ریز (۰/۲)، بنه متوسط (۰/۵) در بنه درشت (۰/۷) بود که این میزان به ترتیب در ۱۹۶، ۲۱۶ و ۲۲۲ روز بعد از کاشت حاصل شد (جدول ۳).

تجمع ماده خشک

دشت ساری

تغییرات تجمع ماده خشک در بین بنه‌های مختلف در این منطقه از یک روند سیگموئیدی برخوردار بود (نموار ۳). به طوری که ضریب همبستگی برای بنه‌های متوسط و درشت ۰/۹۷ در صد و برای بنه ریز ۰/۹۶ در صد محاسبه گردید (جدول

زمان گلدهی زعفران بسته به اقلیم و متوسط دمای حداقل و حداکثر منطقه مورد مطالعه بسیار متفاوت می‌باشد. در مکان‌هایی با ارتفاع بالاتر از سطح دریا و میانگین دمای کمتر، معمولاً زمان گلدهی زود هنگام و در اوایل پاییز می‌باشد. با کم شدن ارتفاع از سطح دریا و بالا رفتن متوسط دمای هوا، زمان گلدهی به نیمه دوم پاییز تغییر می‌یابد. معمولاً ظهور گل‌ها تحت تأثیر درجه حرارت پایین‌تر می‌باشد (Koocheki et al., 2010). میزان این دما برای القای گلدهی دمای کمتر از ۱۷ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است (Behdani & Fallahi, 2015). تغییرات شاخص سطح برگ در این منطقه نیز مشابه مناطق دیگر بود (شکل ۲-۴) و تابع لوج‌ستیک - پیک بهترین برازش (بیش از ۹۷ در صد) برای بیان روند تغییرات شاخص سطح برگ زعفران نشان داد (جدول ۳). در این منطقه نیز مشابه منطقه رسکت مرحله رشد رویشی کمی با تأخیر آغاز شد و در اوایل فصل رویش از رشد کندی برخوردار بود. با پایان یافتن مرحله گلدهی و تسریع در دوره رویشی گیاه (۹۰ روز بعد از کاشت)، شاخص سطح برگ در ابتدا با روند خطی افزایش یافت و بعد از این

خشک تجمعی (بیش از $R^2=97\%$) نشان داد (جدول ۴). بیشترین میزان تجمع ماده خشک برای بنه‌های ریز، متوسط و درشت به ترتیب معادل $181/6$ ، $329/8$ و $523/9$ گرم در روز در مدت ۱۸۵ روز دوره رویش بدست آمد (جدول ۲ و ۴). در بین سه اندازه بنه، کمترین زمان رسیدن به حداکثر سرعت افزایش ماده خشک مربوط به بنه درشت به میزان ۹۵ روز بود و بیشترین زمان رسیدن به حداکثر سرعت تجمع ماده خشک مربوط به بنه ریز معادل ۱۳۰ روز بدست آمد. به نظر می‌رسد بنه‌های بزرگ‌تر با اندوخته‌ی غذایی بیش‌تر شرایط بهتری را در طول فصل برای حمایت از رشد و تولید بنه‌های دختری فراهم می‌کنند که این امر افزایش بیش‌تر ماده خشک در این بنه‌ها را بدنبال دارد.

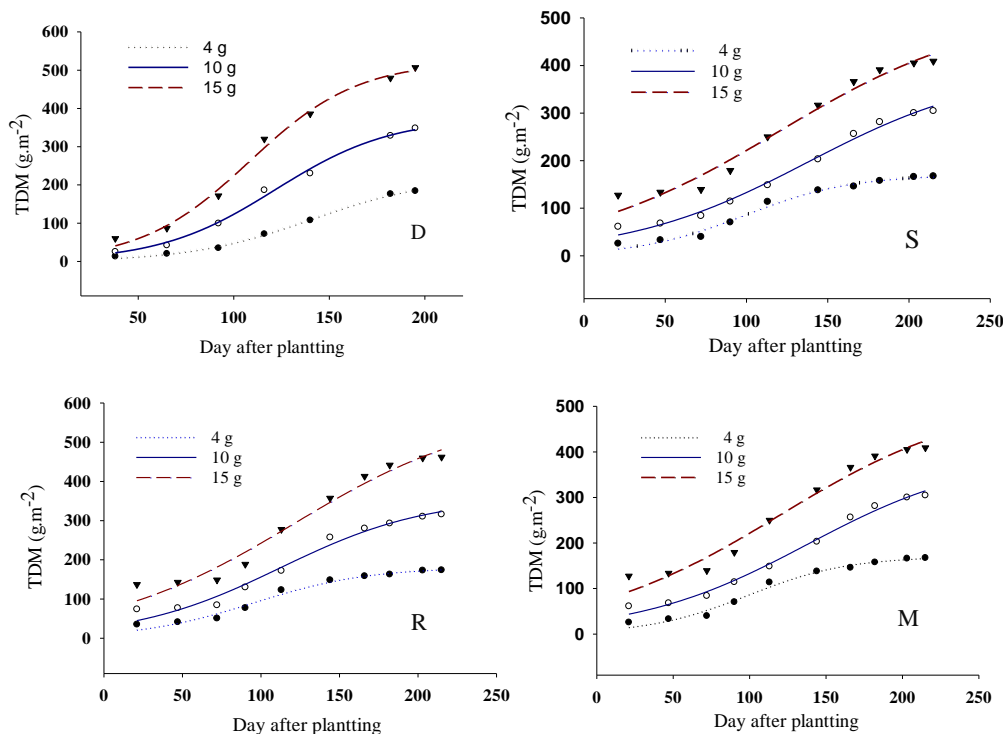
رسکت

در این منطقه نیز مشابه دو منطقه دیگر تجمع ماده خشک از یک تابع سیگموئیدی تبعیت کرد (جدول ۴). روند تجمع ماده خشک در طول فصل رشد دارای سه مرحله بود، مرحله اول، فاز نمائی که در آن سرعت تجمع ماده خشک تا ۱۰۰ روز پس از کاشت به کندی صورت گرفت. در ابتدای فصل رشد به دلیل پایین بودن سطح برگ گیاه و از طرفی شروع رشد زایشی و تخصیص میزانی از ذخیره بنه به اندام‌های زایشی برای تشکیل گل سرعت افزایش سطح برگ کاهش می‌یابد. این عوامل احتمالاً موجب کندی روند تجمع ماده خشک در مراحل ابتدایی فصل رشد می‌شود. اما پس از این مرحله تجمع ماده خشک تا حدود ۱۸۰ روز پس از کاشت (همزمان با افزایش رشد رویشی گیاه) با سرعت بیشتری افزایش یافت و دارای رشد خطی بود؛ که این امر می‌تواند با توسعه بیشتر سطح برگ و افزایش توان فتوسنتزی و انتقال آن به اندام‌های ذخیره در این مرحله ارتباط مستقیمی داشته باشد. در مرحله سوم از ۱۸۰ روز پس از کاشت تغییرات ماده خشک تا پایان رشد رویشی گیاه که در آن ماده خشک به حداکثر مقدار خود می‌رسید به آرامی و با سرعت کم افزایش یافت.

۴). بین اندازه‌های مختلف بنه از نظر تجمع ماده خشک اختلاف قابل ملاحظه‌ای مشاهده شد. به طوری که در روزهای ابتدایی رشد تا ۹۲ روز بعد از کاشت این اختلاف کمتر و پس از آن با سرعت گرفتن روند تجمع ماده خشک اختلاف بیشتری مشاهده شد (شکل ۳). اما زمان رسیدن به حداکثر سرعت تجمع ماده خشک در بین سه اندازه بنه متفاوت بود به طوری که برای بنه‌های ریز، متوسط و درشت به ترتیب در ۱۴۰، ۱۲۱ و ۱۰۸ روز پس از کاشت اتفاق افتاد. بالاترین میزان تجمع ماده خشک مربوط به بنه درشت به میزان ۵۱۴ گرم در روز می‌باشد. کوتاه بودن دوره رشد مؤثر در منطقه دشت باعث گردید که در بین سه اندازه بنه، گیاهی سریع‌تر به حداکثر سرعت تجمع ماده خشک برسد که زودتر به حداکثر شاخص سطح برگ رسیده باشد تا بتواند حداکثر استفاده از دوره رشد را داشته باشد. بر اساس گزارش سایر محققین، در مراحل اولیه رشد، ظهور اندام‌های مختلف از بنه مادری و رشد و نمو آن‌ها، با میزان اندوخته موجود در بنه‌های مادری رابطه مستقیمی دارد (Amirshakari et al., 2008; Renau-morata et al., 2012). بنابراین بنه درشت به دلیل اندوخته بالا توانست در زمان کمتری به حداکثر سرعت تولید ماده خشک برسد که نتیجه آن تولید بالاترین میزان ماده خشک را منجر شد. تقسیم سلولی و به دنبال آن رشد برگ‌ها در بنه‌های بزرگ‌تر نسبت به بنه‌های کوچک‌تر کمی زودتر اتفاق می‌افتد. توسعه و ارتفاع بیشتر برگ‌ها، امکان استفاده بیشتر از شرایط محیطی و افزایش تولید مواد فتوسنتزی را به دنبال دارد؛ که در نهایت موجب ایجاد بنه‌های خواهری بزرگ‌تر در انتهای فصل رشد نیز می‌گردد (Behdani & Fallahi, 2015; Molina et al., 2010).

منطقه سرکت

تغییرات تجمع ماده خشک برای هر سه اندازه بنه در منطقه سرکت نیز مشابه منطقه دشت ساری بود (شکل ۲-S). در این منطقه نیز تابع سیگموئیدی ۱ بهترین برازش را به داده‌های ماده



شکل ۳- تجمع ماده خشک (TDM) زعفران در اندازه‌های مختلف بنه در مناطق با ارتفاع متفاوت از سطح دریا شهرستان ساری، شامل D: دشت ساری (همتراز با سطح دریا)، S: سرکت (۳۵۰ متر)، R: رسکت (۹۰۰ متر) و M: مرگاو (۱۳۵۰ متر)

Figure 3- Total dry matter (TDM) of saffron in different sizes of corm in different altitudes of sea level in Sari, D: Sari (sea level), S: Sarkat (350 m above sea level), R: Resket (900 above sea level), M: Margav (1350 m above sea level).

جدول ۴- ضرایب رابطه (۴) برای ماده خشک تجمعی (TDM) و سه اندازه مختلف بنه زعفران در مناطق مختلف ساری

Table 4- Coefficients of equation (4) for Total dry matter and three different sizes of saffron corm in different regions of Sari

		TDM=a/(1+EXP(-b*(t-m)))			
		a±SE	b±SE	m±SE	R ²
ساری Sari	4	178.574±16.414	0.031±0.004	140.74±6.717	0.96
	10	315.895±13.059	0.033±0.003	121.849±3.302	0.97
	15	514.3±12.462	0.035±0.002	108.204±2.311	0.97
سرکت Sarkat	4	181.645±8.91	0.027±0.004	130.758±6.566	0.98
	10	329.792±26.78	0.021±0.004	112.452±11.728	0.97
	15	523.932±21.861	0.016±0.003	95.002±6.252	0.97
رسکت Resket	4	230.481±3.014	0.03±0.002	137.86±6.4	0.99
	10	394.195±18.308	0.018±0.001	110.81±2.15	0.98
	15	538.89±27.123	0.016±0.004	95.48±8.352	0.97
مرگاو Margav	4	238.367±11.781	0.034±0.004	124.52±5.718	0.92
	10	354.21±11.778	0.033±0.003	107.315±3.849	0.94
	15	572.726±19.703	0.03±0.003	91.065±4.004	0.95

t: زمان بر حسب روز؛ TDM: زیست توده تجمعی گیاه در زمان t؛ a: بالاترین وزن خشک تجمعی گیاه؛ b: شیب افزایش ماده خشک؛ و m: زمانی است که گیاه بالاترین سرعت رشد یا افزایش ماده خشک را داشته باشد.

t: Time in days, TDM: Total dry matter at time t, a: The highest Total dry matter, b: the slope of Total dry matter increasing, m: when the plant has the highest growth rate or increase in dry matter.

ماده خشک بیشتر در طی فصل رشد شده است. طبق گزارش نصیری (Nasiri, 2020) بخش اعظم اندوخته بنه‌ها در زعفران ناشی از فعالیت فتوسنتزی برگ‌ها و انتقال آسیمیلات‌ها در طول دوره رشد برگ‌ها است.

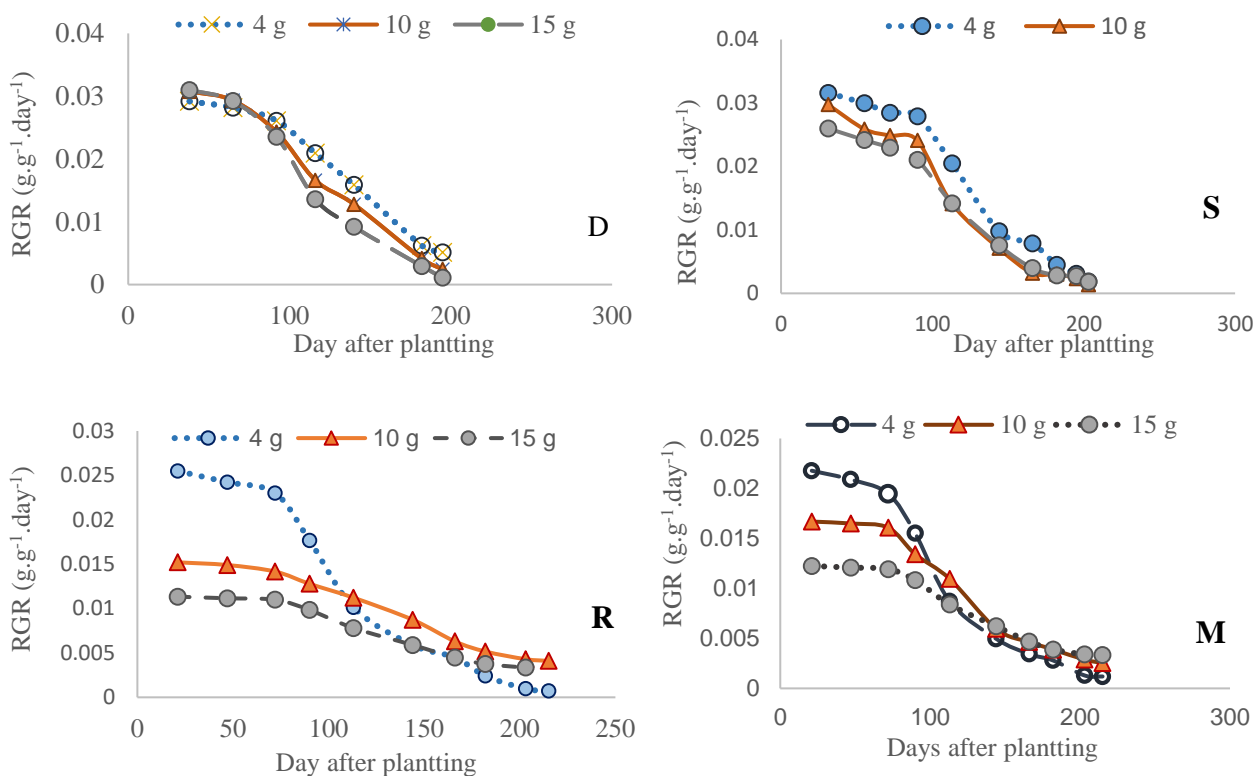
سرعت رشد نسبی (RGR)

سرعت رشد نسبی بیان‌کننده میزان افزایش وزن خشک گیاه، نسبت به وزن خشک اولیه آن در واحد زمان می‌باشد. سرعت نسبی رشد زعفران در همه مناطق، در تمامی مراحل رشد تقریباً روند کاهشی مشابهی داشت که البته شیب این کاهش در مراحل مختلف متفاوت بود و بسته به مرحله رویشی و سرعت انباشت مواد بصورت اندوخته در بنه‌های دختری، متفاوت بود (شکل ۴). به طوری که در ابتدای فصل رویش یعنی از ابتدای رویش تا ۱۰۰ روز پس از کاشت، همزمان با مرحله‌ی اول رشد رویشی است، در این مرحله همزمان با آغاز رشد برگ‌ها رشد بنه‌های دختری نیز آغاز می‌شود، اما سرعت رشد برگ‌ها بسیار بیشتر از سرعت افزایش وزن بنه‌های دختری می‌باشد (Koocheki & Seyyedi, 2015). بنابراین RGR با یک شیب کمتر کاهش می‌یابد. اما در مرحله دوم که از حدود ۱۰۰ تا ۱۸۰ روز بعد از کاشت را شامل می‌گردد، همزمان با مرحله افزایش سریع سطح برگ و تجمع ماده خشک در گیاه می‌باشد؛ لذا از آنجا که سهم اصلی تجمع ماده خشک در این مرحله مربوط به بافت‌های تنفس‌کننده یعنی بنه‌های دختری جوان می‌باشد؛ این امر موجب کاهش بیشتر سرعت نسبی رشد می‌گردد. در مرحله سوم از حدود ۱۸۰ روز بعد از کاشت با توجه به رسیدن بنه به حداکثر وزن خشک و از طرفی تحلیل کامل بنه مادری سرعت نسبی رشد با شتاب کمتری کاهش می‌یابد (شکل ۴).

احتمالاً رسیدن بنه‌های دختری به حداکثر وزن خود و از طرفی عدم اتکای برگ‌ها و بنه‌های دختری به خاک به دلیل تحلیل بنه مادری و تحلیل تدریجی ریشه‌ها (Koocheki & Seyyedi, 2015)، پیر شدن برگ‌ها، و افزایش میزان تنفس نسبت به فتوسنتز در برگ‌های پیر و از طرفی تنها مسیر افزایش وزن بنه‌ها می‌تواند انتقال مجدد فراورده‌های فتوسنتزی از برگ‌ها باشد که سرعت این فرآیند نیز به کندی صورت می‌گیرد (شکل ۲-R). این روند تغییرات در مورد ماده خشک تجمعی زعفران و نیز اکثر محصولات تایید شده است (Shariatmadari, 2018). همچنین روند تغییرات تجمع ماده خشک برای سه اندازه بنه کاشته شده نشان داد که بنه با وزن بیشتر بالاترین میزان ماده خشک تجمعی (۵۳۸/۹ گرم در روز) در مدت دوره رشد معادل ۲۰۶ روز پس از کاشت را دارد. محقق دیگری بیان کرد که بنه مادری با وزن بیشتر به دلیل ایجاد تعداد بنه دختری بیشتر با وزن بالاتر، میزان تجمع ماده خشک بالاتری را موجب می‌گردد (Esmi et al., 2019).

منطقه مرگاو

روند تغییرات میزان تجمع ماده خشک در این منطقه مشابه مناطق دیگر و بخصوص منطقه رسکت بود و از تابع سیگموئیدی تبعیت کرد (شکل ۲). با این تفاوت که به دلیل افزایش طول دوره رشد زعفران در این منطقه و بدنبال آن افزایش سطح برگ، میزان تجمع ماده خشک در این منطقه نسبت به مناطق دیگر بخصوص مناطق با ارتفاع کمتر، افزایش بیشتری داشت (جدول ۴). بیشترین تجمع ماده خشک مربوط به بنه درشت با میزانی معادل ۵۷۲ گرم در روز بود (جدول ۴). طول دوره رشد بیشتر در این منطقه و بدنبال آن افزایش شاخص سطح برگ موجب تولید



شکل ۴- سرعت رشد نسبی (RGR) زعفران در اندازه‌های مختلف بنه در مناطق با ارتفاع متفاوت از سطح دریا شهرستان ساری شامل: D: دشت ساری (همتراز با سطح دریا)، S: سرکت (۳۵۰ متر بالاتر از سطح دریا)، R: رسکت (۹۰۰ متر بالاتر از سطح دریا)، M: مرگاو (۱۳۵۰ متر بالاتر از سطح دریا)

Figure 4- Relative Growth Rate of saffron in different sizes of corm in regions with different altitudes of Sari, including D: Sari (sea level), S: Sarkat (350 m above sea level), R: Resket (900 above sea level), M: Margav (1350 m above sea level).

کاهش می‌یابد.

سرعت رشد گیاه (CGR)

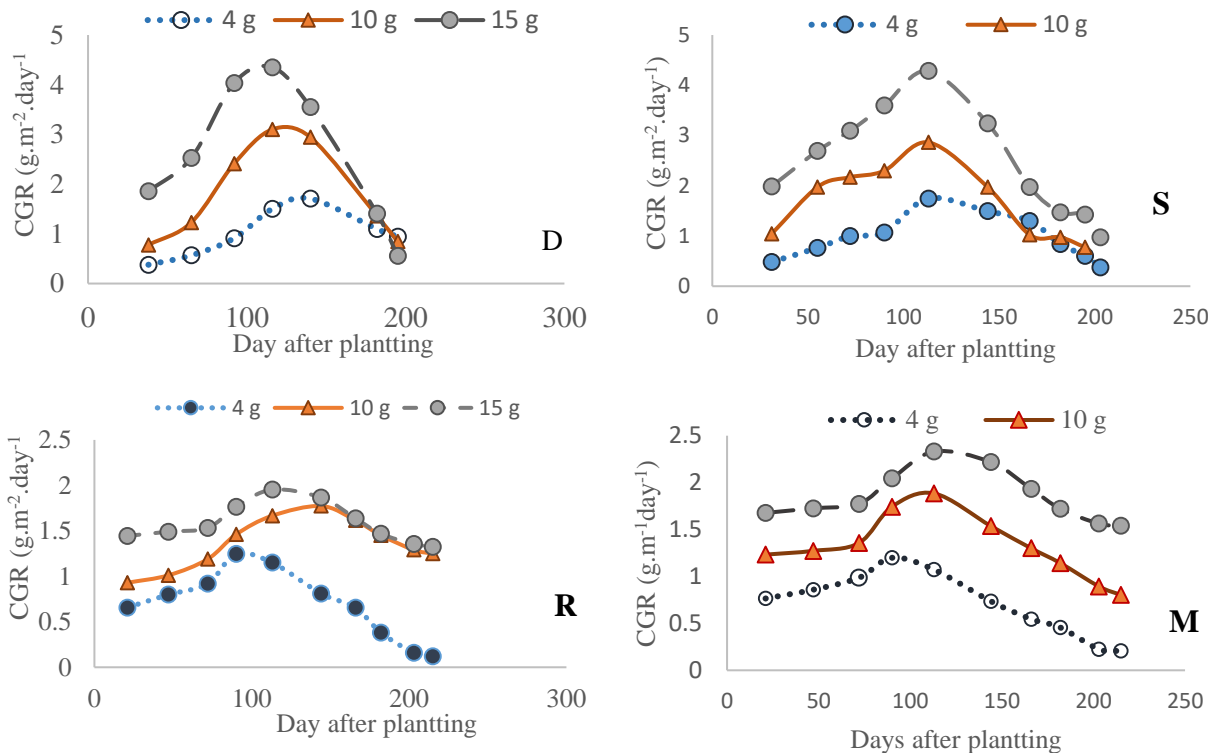
منطقه دشت ساری

تغییرات سرعت رشد زعفران در طول فصل رشد در مناطق مختلف تقریباً روندی مشابه را نشان داد (شکل ۵). همان‌طور که مشاهده می‌شود سرعت رشد زعفران در آغاز دوره‌ی رشد رویشی احتمالاً به دلیل استفاده بیشتر از ذخایر بنه مادری از سرعت پایین‌تری برخوردار بود و از حدود ۷۰ روز پس از کاشت تا حدود ۱۲۰ روز پس از کاشت سرعت رشد بطور نمایی و با شیب تندی افزایش داشت تا به حداکثر میزان خود رسید و پس از حدود ۱۲۰ روز روندی کاهش‌ی به خود می‌گیرد. به نظر می‌رسد با توجه به سطح برگ کمی که در اوایل مرحله رشد رویشی

به دلیل ایجاد رقابت بین گیاهان برای کسب آب و مواد غذایی و دریافت نور، در سایه قرار گرفتن برگ‌های پایینی بوته و کاهش توانایی فتوسنتزی آنها، سرعت تجمع ماده خشک نسبت به ماده خشک اولیه نقصان می‌یابد و این امر باعث کاهش سرعت رشد نسبی گیاه می‌شود (Moallem-banhangi, 2016). در هر چهار منطقه، سرعت رشد نسبی در بنه‌های درشت نسبت به بنه‌های ریز پایین‌تر بود که دلیل این امر احتمالاً به این علت است که بنه‌های درشت علیرغم سرعت رشد برگ بالاتر و تجمع ماده خشک بیشتر در طی فصل رشد، به دلیل تولید تعداد بنه دختری بیشتر و اختصاص سهم بالاتری از تولید به ذخیره در بنه‌های جدید، این امر موجب کاهش نسبت بافت‌های فتوسنتز کننده به تنفس کننده می‌گردد و در نتیجه سرعت رشد نسبی

می‌رسد و سرعت رشد گیاه روندی افزایشی به خود می‌گیرد. در اواخر دی‌ماه یعنی از حدود ۱۲۰ روز پس از کاشت به بعد سرعت رشد گیاه بدلیل اتمام اندوخته بینه مادری کاهش یافته و با تحلیل ریشه‌ها کاهش سرعت به حداقل خود می‌رسد.

وجود دارد؛ بیشتر انرژی مورد نیاز برای تشکیل بینه‌های دختر، از تحلیل بینه‌های مادری به دست می‌آید. لذا سرعت رشد محصول در این مرحله از شیب افزایشی کمی برخوردار می‌شود. با ادامه رشد رویشی و افزایش رشد برگ‌های گیاه و همزمان با رشد بینه‌های دختر، رشد اندام‌های هوایی به حداکثر میزان خود



شکل ۵- سرعت رشد زعفران (CGR) در اندازه‌های مختلف بینه در مناطق با ارتفاع متفاوت از سطح دریا شهرستان ساری، شامل D: دشت ساری (همتراز با سطح دریا)، S: سرکت (۳۵۰ متر بالاتر از سطح دریا)، R: رسکت (۹۰۰ متر بالاتر از سطح دریا)، M: مرگاو (۱۳۵۰ متر بالاتر از سطح دریا)

Figure 5- Crop Growth Rate (CGR) of saffron in different sizes of corm in regions with different altitudes from Sari, including D: Sari (sea level), S: Sarkat (350 m above sea level), R: Resket (900 above sea level), M: Margav (1350 m above sea level).

در تمامی مراحل رشد نسبت به بینه‌های ریزتر برخوردار بود؛ که این امر به دلیل اندوخته بالای بینه مادری که منجر به تقویت جوانه‌ها و در نتیجه بالا بردن توان گیاه در رسیدن به حداکثر سرعت رشد و تولید ماده خشک مرتبط می‌باشد (Shariatmadari, 2018).

منطقه سرکت

روند تغییرات سرعت رشد گیاه در این منطقه نیز مشابه

در نهایت ۲۰۰ روز پس از کاشت با گرم شدن هوا و آغاز دوره رکود گیاه، سرعت رشد گیاه به حداقل ممکن می‌رسد. علت کاهش سرعت رشد محصول در انتهای دوره رشد زعفران را می‌توان به سایه‌اندازی، کاهش نفوذ نور و ریزش برگ‌های مسن نسبت داد (Esmi, 2018).

بیشترین میزان سرعت رشد در این منطقه در ۱۲۰ روز پس از کاشت بدست آمد. بینه با اندازه بزرگتر از سرعت رشد بالاتری

منطقه دشت از سه مرحله برخوردار بود. در این منطقه نیز اختلاف معنی‌داری بین سرعت رشد بنه‌های با اندازه‌های مختلف مشاهده شد و بنه با وزن بالاتر از سرعت رشد بالاتری در تمامی مراحل رشد برخوردار بود (شکل ۵- s). در فاصله زمانی اواخر آبان ماه تا اواخر آذر ماه (حدود ۶۰ تا ۹۰ روز پس از کاشت)، همزمان با آغاز رشد رویشی گیاه، تشکیل بنه‌های دخترتری از بنه‌های مادری نیز آغاز می‌شود. تشکیل بنه‌های دخترتری با فعال شدن مریستم‌های موجود بر روی بنه‌های مادری ایجاد می‌گردد، فعالیت این مریستم‌ها بعد از فرایند گلدهی اتفاق می‌افتد و با تقسیم سلولی، نخستین بنه‌های دخترتری در سطح بنه مادری ظاهر می‌شوند (Koocheki & Seyyedi, 2015) که در این زمان بنه‌های مادری شروع به تحلیل رفتن می‌کنند، که به همین دلیل افزایش سرعت رشد با شیب کندتری صورت می‌گیرد. از اواخر دی ماه تا اواخر اسفند ماه همزمان با مرحله نهایی رشد بنه‌های دخترتری، رشد اندام‌های هوایی به حداکثر میزان خود می‌رسد. در این مرحله طول بلندترین برگ‌های تشکیل شده ۷۱ تا ۴۱ سانتی‌متر می‌باشد، پوشینه‌ها در سطح بنه‌های دخترتری شکل می‌گیرند و بنه‌های دخترتری تشکیل شده به صورت یک توده‌ی متراکم به هم چسبیده در آمده و در حدود ۱۱ تا ۳۱ درصد از وزن کل بنه‌ها را به خود اختصاص می‌دهند (Behdani & Fallahi, 2015).

منطقه رسکت و مرگاو

در این دو منطقه نیز روند تغییرات سرعت رشد مشابه مناطق دیگر مشاهده شد. اما با این تفاوت که میزان سرعت رشد از نوسان کمتری در طول رشد برخوردار بود. اگر چه در مقایسه، سرعت رشد در این دو منطقه نسبت به دو منطقه با ارتفاع پایین‌تر کمتر بود اما سرعت رشد در تمام فصل رشد از یک پایداری نسبی برخوردار بود و روند کاهشی آن نیز با یک شیب ملایم و کندی اتفاق افتاد (شکل ۵).

در این مناطق، احتمالاً اختلاف ارتفاع نسبت به دو منطقه

دیگر موجب کاهش زود هنگام دمای هوا در پاییز و اختلاف بیشتر دمای شب و روز (به علت ارتفاع از سطح دریا و فاصله از دریا) و نهایتاً موجب تأمین و القای دمای مناسب برای بنه‌ها در ابتدای فصل رویش و ظهور گل‌ها در مهر شد. تأمین دمای مناسب برای القای گلدهی و تحریک جوانه‌های زایشی منجر به شروع زودتر رشد زایشی و گلدهی حتی پیش از مرحله رویشی می‌شود. هر چند مصرف ذخیره بنه مادری جهت رشد زایشی و تولید اندام گل بیشتر موجب می‌شود تا میزان قابل توجهی از ذخیره بنه در این مرحله مصرف گردد و توان بالقوه بنه برای تقویت جوانه‌های رویشی کمتر و در نتیجه سرعت رشد رویشی با شتاب کمتری صورت گیرد، احتمالاً با توجه به اختلاف ارتفاع این منطقه نسبت به مناطق دیگر و احتمالاً میانگین دمای روزانه کمتر نسبت به مناطق پایین‌تر، سبب شده تا دمای مطلوب برای رشد رویشی (دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد) نیز حتی تا ماه‌های ابتدایی بهار ادامه یابد و این امر موجب تخفیف در کاهش سرعت رشد گیاه شده و روند کاهشی آن در انتهای فصل رشد با شیب کمتری اتفاق می‌افتد. در واقع طولانی بودن طول فصل رشد و روند یکنواخت سرعت رشد طی فصل رشد و به عبارتی عدم وجود اختلاف زیاد بین حداکثر سرعت رشد و حداقل سرعت رشد بر اساس شکل ۵، احتمالاً به دلیل دمای مناسب، تولید ماده خشک را در این مناطق جبران نموده و موجب افزایش وزن بنه‌های دخترتری می‌گردد.

نتایج تحقیقات روی ارتباط داده‌های هواشناسی و عملکرد و سطح زیر کشت گیاهان زراعی نشان می‌دهد که تغییرات دما و بارندگی بر میانگین و واریانس عملکرد گیاهان زراعی اثر می‌گذارد (Hosseini et al., 2004). دما عامل اصلی تنظیم مکانیزم گلدهی در زعفران است و بر این اساس بر عملکرد آن نیز تأثیر بسیار زیادی دارد (Koocheki et al., 2010; Molina et al., 2004; Molina et al., 2005).

جدول ۵- تجزیه واریانس برخی صفات مربوط به عملکرد گل و کلاله زعفران با اندازه‌های مختلف بنه مادری در مناطق مختلف
Table 5- Analysis of variance of some traits of flower and stigma yields with different sizes of mother corm in different regions

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد بنه Corm yield (g.m ⁻²)	تعداد بنه Number of corm (no.m ⁻²)	عملکرد گل تر Fresh flowers yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد کلاله خشک Stigma dry yield (kg.ha ⁻¹)
دشت ساری Sari	تکرار Block	1128.5 ^{ns}	102.9 ^{ns}	1876.7 ^{ns}	0.01 ^{ns}
	اندازه بنه Corm size	240103 ^{**}	19000 ^{**}	663418 ^{**}	16.58 ^{**}
	خطا Erorre	2537.3	238.8	1635.5	0.042
	کل Total	120616 ^{**}	9551.7 ^{**}	332647 ^{**}	8.3 ^{**}
	ضریب تغییرات	6.3	4.7	9.4	8.6
	C.V. (%)				
سرکت Sarkat	تکرار Block	59.2 ^{ns}	229.02 ^{ns}	73.2 ^{ns}	0.07 ^{ns}
	اندازه بنه Corm size	20937 ^{**}	20696.9 ^{**}	720338.2 ^{**}	25.47 ^{**}
	خطا Erorre	141.74	15.73	29.620	0.0538
	کل Total	104714.7 ^{**}	10462.9 ^{**}	360205.7 ^{**}	12.7 ^{**}
	ضریب تغییرات	1.4	2.4	1.2	8
	C.V. (%)				
رسکت Resket	تکرار Block	555.4 ^{ns}	49.3 ^{ns}	19.1 ^{ns}	0.1 ^{ns}
	اندازه بنه Corm size	356244.5 ^{**}	19469.5 ^{**}	911602.9 ^{**}	100.64 ^{**}
	خطا Erorre	189.6	71.2	53.2	0.04
	کل Total	178399.9 ^{**}	9759.4 ^{**}	455811 ^{**}	50.4 ^{**}
	ضریب تغییرات	1.5	5	1.5	3.8
	C.V. (%)				
مرگاو Margav	تکرار Block	25 ^{ns}	17.3 ^{ns}	120.8 ^{ns}	0.02 ^{ns}
	اندازه بنه Corm size	291536.7 ^{**}	23129.3 ^{**}	1129628 ^{**}	124.255 ^{**}
	خطا Erorre	74.4	90.3	33.6	0.03
	کل Total	145780.8 ^{**}	11573.1 ^{**}	564874.5 ^{**}	62.1 ^{**}
	ضریب تغییرات	4.9	5.2	1.1	3
	C.V. (%)				

ns, ** به ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد.
ns, **: represent non-significant and significant at 5% and 1% levels, respectively.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر وزن بنه مادری بر عملکرد گل و بنه زعفران در مناطق مختلف شهرستان ساری
Table 6- Means comparison of maternal corm size on flower and corm yield in different regions of Sari

منطقه Region	اندازه بنه Corm size	عملکرد بنه در متر مربع به گرم Corm yield (g.m ⁻²)	تعداد د بنه در متر مربع Number of corm (per m ²)	عملکرد گل تر در هکتار Fresh flowers yield (kg.ha ⁻¹)	کلاله خشک کیلوگرم در هکتار Stigma dry yield (kg.ha ⁻¹)
دشت	4±2 g	501 ^c	84.8 ^c	16.35 ^c	0.13 ^c
ساری	10±2 g	843.2 ^b	164.3 ^b	330.4 ^b	2.23 ^b
Sari	15±2 g	1062.3 ^a	244 ^a	941.1 ^a	4.8 ^a
سرکت	4±2 g	562.5 ^c	82.5 ^c	18.7 ^c	0.19 ^c
Sarkat	10±2 g	933.7 ^b	160.8 ^b	344.93 ^b	2.5 ^b
	15±2 g	1073.6 ^a	248.5 ^a	982.16 ^a	5.9 ^a
رسکت	4±2 g	543.20 ^c	89.5 ^c	21.567 ^c	0.28 ^c
Resket	10±2 g	1056 ^b	164.7 ^b	350.9 ^b	3.6 ^b
	15±2 g	1198 ^a	250.5 ^a	1097.4 ^a	11.6 ^a
مرگاو	4±2 g	606.3 ^c	103.7 ^c	24.89 ^c	0.33 ^c
Margav	10±2 g	1056.3 ^b	168.0 ^b	359.22 ^b	3.68 ^b
	15±2 g	1204.9 ^a	277.4 ^a	1214.7 ^a	12.77 ^a

• میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

- Mean followed by similar letters in each column are not significantly different at 5% level, according to the Duncan test.

بررسی عملکرد بنه و گل در مناطق مختلف

بر اساس نتایج اندازه بنه زعفران کشت شده تأثیر معنی‌داری (در سطح ۱ درصد) بر عملکرد و تعداد بنه، عملکرد تر گل و عملکرد خشک کلاله در واحد سطح در مناطق مختلف داشت (جدول ۵). بنه مادری با اندازه بزرگتر میزان عملکرد بنه بیشتر و تعداد بنه بیشتری را در واحد سطح را نشان داد (جدول ۶). نتایج تحقیقات برخی محققین نشان می‌دهد که بنه‌های مادری با وزن بالاتر تعداد گل بیشتری را تولید می‌کنند. به عبارتی دیگر، در سال اول عملکرد گل زعفران با میزان ذخیره مواد غذایی در بنه ارتباط مستقیمی دارد و سطح حاصلخیزی و فراهمی عناصر غذایی خاک از اهمیت چندانی برخوردار نیست (Koocheki & Seyyedi, 2015; Khajeh-Hosseini, 2020). به طوری که معمولاً در سال اول کاشت بنه‌های با وزن کمتر از چهار گرم، گل تولید نمی‌کنند (Mollafilabi, 2004). اندازه بنه نقش بسیار تعیین‌کننده‌ای در توان گلدهی بنه زعفران دارد و چنانچه اندازه بنه زعفران به یک اندازه مشخصی نرسد، بنه فقط رشد رویشی داشته و برگ تولید می‌کند (Esmi et al., 2019).

(Alipoor-Miandehi et al., 2014). از این رو، این محققین

توصیه می‌کنند جهت حداکثر گلدهی مزرعه زعفران انتخاب بنه با وزن مناسب صورت گیرد.

بنابراین انتظار می‌رود با توجه به عملکرد بالای بنه در هر چهار منطقه، عملکرد گل نیز به همان نسبت بطور یکسان افزایش یابد. اما در عملکرد گل در واحد سطح بین مناطق مختلف اختلاف قابل توجهی مشاهده شد (جدول ۶) به طوری که در کشت بنه درشت در دو منطقه رسکت و مرگاو (با ارتفاع بالای ۹۰۰ متر از سطح دریا) عملکرد کلاله خشک تا حدود دو برابر نسبت به دو منطقه دیگر بدست آمد. با توجه به اینکه عملکرد بنه و تعداد آن در واحد سطح در هر چهار منطقه تقریباً برابر بود، به احتمال قوی این کاهش عملکرد ناشی از تأثیر اختلاف ارتفاع از سطح دریا و فاصله از دریا صورت گرفته است، که منجر به تأمین دمای مناسب برای رشد زایشی و القاء گلدهی شده است (Sahabi & Moallem Banhangi, 2022).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد که روند توسعه سطح برگ زعفران، روندی غیرخطی داشته و از تابعی سیگموئیدی پیروی می‌کند. با پایان یافتن مرحله گلدهی و آغاز دوره رویشی گیاه، شاخص سطح برگ در ابتدا با روند خطی شروع به افزایش می‌کند و بعد از این مرحله به دلیل زرد شدن برگ‌ها، شاخص سطح برگ روند کاهشی پیدا کرد و در نهایت با شروع فصل گرما (بهار) و با پایان یافتن مرحله رویشی برگ‌ها کاملاً خشک شده و شاخص سطح برگ به صفر می‌رسد. تفاوت قابل توجهی بین روند توسعه سطح برگ بین اندازه‌های مختلف بنه مادری مشاهده شد.

روند تغییرات تجمع ماده خشک در تمامی مناطق مورد آزمایش نیز از یک روند سیگموئیدی برخوردار بود. در همه مناطق، بنه با اندازه بزرگتر از نظر تجمع ماده خشک در سطح بالاتری قرار داشت. روند کاهشی سرعت نسبی رشد هر چهار منطقه مشابه بود. این شاخص در ابتدا با شیب کمی کاهش یافت ولی با بالا رفتن میزان ذخیره در بنه‌های دخترتری در اواخر پاییز (افزایش بافت‌های تنفس‌کننده)، روند کاهشی با سرعت و شتاب بیشتری اتفاق افتاد. بنه ریزتر به دلیل تخصیص ذخیره و فرآورده فتوسنتزی کمتر به اندام‌های تنفس‌کننده (اندام زایشی و تعداد کمتر بنه‌های دخترتری) از سرعت رشد نسبی بالاتری برخوردار بود. سرعت رشد زعفران در مناطق با ارتفاع بیشتر از میزان کمتر اما دوام بیشتر در طی فصل رشد نسبت به مناطق کم ارتفاع‌تر را نشان داد. نتایج نشان داد که در مناطق با ارتفاع بالاتر از سطح دریا طول مدت فصل رشد گیاه بیشتر و در نتیجه افزایش طول فصل رویشی، بنه درشت‌تر حاصل می‌گردد و بدنبال آن عملکرد

منابع

Agricultural Jihad of Mazandaran Province. 2019. Available at Web site <https://jkmaz.ir>.
Alipoor-Miandehi, Z., Mahmoodi, S., Behdani, M.A., and Sayyari, M.H. 2014. Effect of manure,

bio-and chemical fertilizers and corm size on saffron (*Crocus sativus* L.) yield and yield components. Journal of Saffron Research 1 (2): 73-84. (In Persian with English Summary).

- Amirshkari, H., Sorooshzadeh, A., Modaress Sanavy, A.M., and Jalali Javaran, M. 2008. Study of effects of root temperature, corm size, and gibberellin on underground organs of saffron (*Crocus sativus* L.). Iranian Journal of Biology 19 (1): 5-18. (In Persian with English Summary).
- Behdani, M.A., and Fallahi, H.R. 2015. Saffron (*Crocus sativus* L.): Technical Knowledge Based on Research Approaches. University of Birjand Publication, Birjand, Iran. (In Persian).
- Esmi, R. 2018. Physiological and morphological study of saffron corm and flower in response to irrigation methods, different corm size and cow manure. Ph.D. Dissertation. Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary).
- Esmi, R., Rezvani-Moghaddam, P., Koocheki, A., and Ahmadian, A. 2019. Effects of mother corm weight and cow manure on saffron flower and corm yield. Saffron Agronomy and Technology 6 (4): 445-460. (In Persian with English Summary).
- Hosseini, M., Sadeghiand, B., and Aghamiri, S.A. 2004. Influence of foliar fertilization on yield of saffron (*Crocus sativus* L.). Acta Horticulturae 650: 195-200.
- Karim-Majani, H. 2008. Ecophysiological aspects of the competition between weeds *Xanthium strumarium* L. and *Datura stramonium* L. with corn (*Zea mays* L.). Ph.D. Dissertation. Faculty of Agriculture, Tehran University, Iran. (In Persian with English Summary).
- Khorramdel, S., Moallem-Banhangi, F., and Shabahang, J. 2021. Optimization of spraying cow manure and leaf with Dalfard rates on flower and corm yield of saffron (*Crocus sativus* L.) using a central composite design. Saffron Agronomy and Technology 9 (1): 3-27. (In Persian with English Summary).
- Koocheki, A., and Khajeh-Hosseini, M. 2020. Saffron Science, Technology and Health. 1st Edition Woodhead Publishing.
- Koocheki, A., and Seyyedi, S.M. 2015. Phonological stages and formation of replacement corms of saffron (*Crocus sativus* L.) during growing period (Review). Journal of Saffron Research 3: 134-154. (In Persian with English Summary).
- Koocheki, A., Seyyedi, S.M., and Jamshid-Eyni, M. 2014. Effect of irrigation levels and high corm density on growth and phosphorus uptake of daughter corms of saffron (*Crocus sativus* L.). Iranian Journal of Crop Sciences 16 (3): 222-235. (In Persian).
- Kumar, K. 2009. Calibration and validation of regression model for non-destructive leaf area estimation of saffron (*Crocus sativus* L.). Scientia Horticulturae 122: 142-145.
- Moallem-banhangi, F. 2016. Effects of different amounts of corms and planting depths of corms on flower and corm yield of saffron (*Crocus sativus* L.). MSc. Thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary).
- Moallem-banhangi, F., Rezvani-Moghaddam, P., Asadi, G.A., and Khorramdel, S. 2018. Study of some growth indices of saffron (*Crocus sativus* L.) in different amounts of corm and cultivation depths. Fifth National Conference on Saffron. Iran, Torbat Heydariyeh, 14-15 November 2018. pp. 20-26. (In Persian).
- Molina, R.V., Renau-Morata, B., Nebauer, S.G., García-Luis, A., and Guardiola, J.L. 2010. Greenhouse saffron culture- temperature effects on flower emergence and vegetative growth of the plants. Acta Horticulturae 850: 91-94.
- Molina, R.V., Valero, M., Navarro, Y., Garcia Luis, A., and Guardiola, J.L. 2004. Temperature effects on flower formation in saffron (*Crocus sativus* L.). Scientia Horticulture 103: 361-379.
- Mollafilabi, A. 2004. Experimental findings of production and echo physiological aspects of saffron (*Crocus sativus* L.). Acta Horticulturae

- 650: 195-200.
- Mollafilabi, A., Koocheki, A., Rezvani Moghaddam, P., and Nassiri-Mahallati, M. 2014. Effect of plant density and corm weight on yield and yield components of saffron (*Crocus sativus* L.) under soil, hydroponic and plastic tunnel cultivation. *Saffron Agronomy and Technology* 1 (2): 14-28. (In Persian with English Summary).
- Nasiri, M. 2020. Advances in modeling saffron growth and development at different scales. In Koocheki, A. and Khajeh-Hosseini, M. *Saffron: Science, Technology and Health, Ecophysiology of saffron*, Chapter 9, p. 139-167.
- Rezvani-Moghaddam, P. 2020. Ecophysiology of saffron. In Koocheki, A. and Khajeh-Hosseini, M. *Saffron: Science, Technology and Health, Ecophysiology of saffron*, Chapter 8, p. 119-135.
- Renau-Morata, B., Nebauer, S.G, Sánchez, M., and Molina, R.V. 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 and Products* 39: 40-46.
- Sahabi, H., and Moallem Banhangi, F. 2022. Evaluation the impact climatic parameters on flowering behavior and yield of Saffron (*Crocus sativus* L.) in Razavi and Southern Khorasan Provinces, *Saffron Agronomy and Technology* 9 (4): 357-373.
- Sarmadnia, Gh., and Kocheiki, A. 1996. *Crops Physiology*. Mashhad Jihad Daneshgahi Press. Sixth Edition, 467p (In Persian).
- Shariatmadari, Z. 2018. Physiological and morphological study of saffron corm and flower in response to different irrigation frequency, corm size, organic and NPK fertilizers. Ph.D. Dissertation. Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary).
- Sharifi, H., Nabipour, Z., and Tavakkoli Kakhki, H.R. 2021. Evaluation the effect of compensatory behavior of planting density, mother corm weight and planting depth on vegetative characteristics and yield of saffron (*Crocus sativus* L.). *Saffron Agronomy and Technology* 9 (3): 227-248. (In Persian with English Summary).
- Tsubo, M., Walker, S., and Ogindo, H.O. 2005. A simulation model of cereal-legume intercropping systems for semi-arid regions I. Model development. *Field Crops Research* 93: 10-22.
- Zakiaghl, M., Khorramdel, S., Koocheki, A., Nabati, J., Nezami, A., Mirshamsi Kachki, A., Mollafilabi, A., Rezvani Moghaddam, P., and Nassiri Mahallati, M. 2021. Criteria for production of standard pathogen free saffron corms. *Saffron Agronomy and Technology* 9 (2): 121-141.