فنولوژی و روند تشکیل بنه‌های دختری زعفران (*Crocus sativus* L.) در طی دوره رشد

علیرضا کوچکی[1*] و سید محمد سیدی[2]

۱- استاد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

*- نویسنده مسئول: E-mail: akooch@um.ac.ir

کوچکی، ع.، و سیدی، س.م.، ۱۳۹۴. فنولوژی و روند تشکیل بنه‌های دختری زعفران (*Crocus sativus* L.) در طی دوره رشد. نشریه پژوهش‌های زعفران. ۳(۲): ۱۵۴-۱۳۴.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۳/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۴/۱۴

چکیده

زعفران (*Crocus sativus* L.) گیاهی چندساله و ژئوفیت- تریپلوئید بوده که می‌تواند تا ۸ الی ۱۰ سال به دوره زندگی خود ادامه دهد. در طول هر فصل زراعی، زعفران مراحل رشد را پس از گل‌دهی، با تولید بنه‌های دختری از بنه مادری طی می‌کند. در طی دوره رشد، بنه‌های جدید عموماً در روی بنه‌های قدیمی‌تر تشکیل می‌شوند؛ به طوری‌که تراکم گیاه افزایش می‌یابد. بر این اساس، تعداد گل و نیز عملکرد کلاله خشک زعفران در سال اول پایین بوده و در سال‌های پنجم تا ششم پس از کاشت، به حداکثر مقدار خود می‌رسد. عملکرد کلاله زعفران اساساً وابسته به شرایط آب و هوایی و نیز بستر کشت در طی دوره تشکیل بنه‌های دختری می‌باشد. در این ارتباط، بیشتر پژوهش‌های انجام شده پیرامون توسعه عملیات زراعی جدید و مناسبی است که بتواند منجر به افزایش سود اقتصادی و عملکرد زعفران شود. در این مقاله ابتدا فنولوژی زعفران بر اساس رفتار بنه‌های مادری – دختری زعفران توصیف و بررسی شده و مروری بر عوامل مؤثر بر رفتار بنه‌های دختری زعفران در هر یک از مراحل فنولوژی گیاه صورت گرفته است.

واژه‌های کلیدی: بنه مادری، دوره رکود، سیستم ریشه، گل‌دهی

مقدمه

زعفران (*Crocus sativus* L.) گیاهی است که بیشتر در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران رویش دارد (Sepaskhah & Kamgar-Haghighi, 2009). با این‌وجود، بر اساس آمارهای موجود (Ministry of Agriculture Jihad, 2011)، زعفران در ۲۰ استان کشور ایران تولید می‌گردد (جدول ۱).

جدول ۱- تولید زعفران به تفکیک استان‌های کشور در سال ۱۳۹۰ (Ministry of Agriculture Jihad, 2011)

Table 1- Saffron production in the province of Iran in 2011 (Ministry of Agriculture Jihad, 2011)

استان Province	سطح زیر کشت (هکتار) Area of cultivation (ha)		تولید (کیلوگرم) Production (kg)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار) Yield ($kg.ha^{-1}$)
	بارور Fertilized	غیربارور Un fertilized		
آذربایجان شرقی East Azerbaijan	84.05	18.7	452.5	5.3
اردبیل Ardabil	5.21	10.42	6.18	101
اصفهان Esfahan	455.9	43.9	2637.9	5.7
تهران Tehran	44.05	3	127.3	2.8
چهارمحال و بختیاری Chaharmahal and Bakhtiari	40.43	7.5	127.05	3.1
خراسان جنوبی South Khorasan	12411	579	46877	3.7
خراسان رضوی Razavi Khorasan	57275	-	195515	3.4
خراسان شمالی North Khorasan	363	92.5	1585.5	4.3
زنجان Zanjan	12.22	2.86	36.89	3
سمنان Semnan	67	5	250	3.7
فارس Frars	350.15	25.2	1677.22	4.7
قزوین Qazvin	14.6	-	23.9	1.6
قم Qom	4	-	4	1
کرمان Kerman	282	30	1203	4.2
کرمانشاه Kermanshah	4.5	1	18.95	4.2
گلستان Golestan	50	22	345	6.9

لرستان Lorestan	14.611	20.15	37.03	2.5
مرکزی Markazi	60.2	16.8	203.4	3.3
همدان Hamedan	32.15	5.9	125.6	3.9
یزد Yazd	592	73	2807	4.7
جمع کل Total	**72162.07**	**956.93**	**254060.39**	-

به طور کلی، می‌توان اظهار نمود که بجز در استان‌های شمالی کشور، در سایر استان‌های ایران امکان کشت این گیاه وجود دارد. سطح زیر کشت، کل تولید و متوسط عملکرد زعفران در کشور به ترتیب ۷۳۱۱۹ هکتار، ۲۵۴/۱ تن و ۳/۵ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (جدول ۱).

در بین استان‌های کشور، خراسان جنوبی، شمالی و فارس بیشترین سهم از تولید زعفران را به خود اختصاص داده‌اند. از سوی دیگر، استان‌هان گلستان و قم به ترتیب با تولیدی معادل ۶/۹ و یک کیلوگرم در هکتار، دارای بیشترین و کمترین پتانسیل از نظر تولید زعفران در واحد سطح می‌باشند (جدول ۱).

روند رو به رشد سهم صادرات زعفران از کل صادرات غیرنفتی کشور، ارزآوری قابل توجه، ایجاد درآمد و اشتغال‌زایی برای جامعه روستایی و نیز کارایی اقتصادی بالاتر نسبت به دیگر گیاهان در الگوی کشت (Moayedi Shahraki et al., 2010; Aghaei & Rezagholizadeh, 2011)، لزوم توجه به افزایش تولید پایدار این گیاه را بیش از پیش خاطر نشان می‌سازد.

دوره رشد گیاه

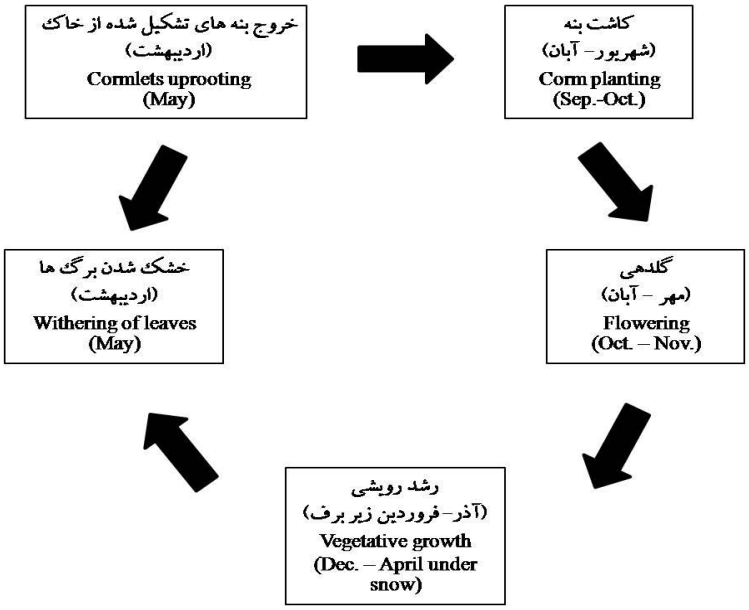
زعفران گیاهی چندساله و ژئوفیت- تریپلوئید[1] است که می‌تواند بسته به شرایط آب و هوای منطقه کشت شده تا ۸ الی ۱۰ سال به روند تولیدی خود ادامه دهد. با این‌وجود، زعفران در برخی از مناطق دنیا به ویژه در ایتالیا به عنوان گیاهی یک ساله مورد کشت و کار قرار می‌گیرد (Kumar et al., 2009). بنه که از نظر گیاهشناسی، ساقه زیرزمینی[2] به شمار می‌رود اندام مورد استفاده جهت تکثیر گیاه می‌باشد. در طول هر فصل زراعی، زعفران مراحل رشدی خود را پس از گل‌دهی، با تولید بنه‌های جدید (بنه دختری[3]) روی بنه قدیمی (بنه مادری[4]) طی می‌کند (Kafi, 2002; Gresta et al., 2008)؛ به طوری‌که در طی دوره رشد چند ساله گیاه، تراکم بنه‌ها در خاک بیش از پیش افزایش می‌یابد. دوره تولید زعفران در ایران تا ۱۰ سال برآورد شده است. به طور معمول عملکرد گیاه در سال اول پایین بوده؛ اما در سال‌های چهارم تا ششم این عملکرد به حداکثر مقدار خود می‌رسد و سپس به دلیل تشکیل افزایش تراکم بنه‌های دختری مجدداً رو به کاهش می‌گذارد (Khazaei et al., 2013).

بر اساس رشد اندام‌های هوایی، مراحل فنولوژیکی زعفران شامل سه مرحله رشد زایشی[5]، رشد رویشی[6] و مرحله رکود[7] می‌باشد (Kafi, 2002; Kumar et al., 2009). که این مراحل در شکل ۱ ارائه شده است. با این‌وجود، تغییرات فیزیولوژیکی بوته زعفران اساساً در زیر سطح خاک انجام می‌شود و بر خلاف گیاهان بذری، بنه گیاه در زیر سطح خاک تشکیل می‌شود (Kafi, 2002; Kumar et al., 2009). از این‌رو، مطالعه مراحل فنولوژیکی گیاه بر اساس تشکیل و تکامل اندام‌های زیر زمینی می‌تواند مفهوم دقیق‌تری را از تغییرات رشدی گیاه در طی فصل رشد ارائه دهد.

1- Triploid geophyte

2- Underground stem
3- Replacement (daughter) corm
4- Mother corm
5- Generative phase (stage)
6- Vegetative phase
7- Dormant phase

در این مقاله ضمن مطالعه مراحل فنولوژی گیاه بر اساس رشد اندام‌های زیر زمینی، عوامل مؤثر بر روند تشکیل این اندام‌ها نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد. لازم به توضیح است که زمان شروع و پایان هر یک از مراحل فنولوژی زعفران بر اساس اقلیم نیمه خشک مشهد ارائه شده و در سایر مناطق تحت کشت زعفران که دارای اقلیم متفاوتی هستند، این زمان‌ها می‌تواند تا حدودی متفاوت باشد.



شکل ۱- مراحل رشدی زعفران در کشمیر هندوستان (Kumar et al., 2009)

Fig. 1- Growth stages of saffron in Kashmir, India (Kumar et al., 2009)

فنولوژی زعفران در سال اول

۱- مرحله رکود (اواخر اردیبهشت تا اواخر مهر)

وجود اختلالات سیتولوژیکی که اکثراً به صورت ژنوم تریپلوئیدی ظاهر می‌شود و همچنین مکانیسم‌های خود ناسازگاری که باعث ممانعت از خویش‌آمیزی می‌شوند، عوامل ایجاد پدیده عقیمی در زعفران می‌باشند (Bagheri & Vessal, 2003). لذا تکثیر این گیاه به صورت رویشی و از طریق بنه‌های آن انجام می‌شود (Kafi, 2002; Gresta et al., 2008). توالی رشد و نمو زعفران در مرحله رکود خود شامل چهار مرحله می‌باشد:

مرحله اول) دوره خواب (اواخر اردیبهشت تا اواسط الی اواخر تیر)، مرحله دوم) بنیان گذاری و تمایز برگ‌ها (اواخر تیر تا اواخر مرداد)، مرحله سوم) تمایز طرح‌های اولیه اندام‌های گل درون جوانه (اواخر مرداد تا اوایل شهریور) و سپس کامل شدن اندام‌های گل (تا اواخر شهریور) و در نهایت، مرحله چهارم) رشد سریع برگ‌ها و اندام‌های گل درون جوانه (اواخر شهریور تا اواخر مهر) (Koul & Farooq, 1982, Ebrahimzadeh et al., 1997; Abrishamchi, 2003). به بیانی دیگر، از اواخر اردیبهشت تا ۱۶ تیرماه، دوره خواب زعفران شامل خواب حقیقی و ظاهری می‌باشد. تا اواسط تیر ماه، بافت مریستمی نوک جوانه بنه دارای فعالیت بسیار جزئی است (خواب حقیقی). سپس تا ۱۰ مرداد مراحل تکوین و تمایزیابی اندام‌های رویشی و بعد از آن مراحل تکوین و تمایز اندام‌های زایشی (خواب ظاهری) تا ۲۵ مرداد انجام می‌شود (Sadeghi et al., 2003b). از این‌رو، القای گل‌دهی زعفران در درجه حرارت‌های بالا اتفاق می‌افتد (Koocheki et al., 2010).

مراحل رشد و نمو گیاه زعفران متأثر از عوامل محیطی و فیزیولوژی بنه می‌باشد که در بین عوامل محیطی، نقش درجه

حرارت و دامنه حرارتی در طول دوره رشد و نمو از اهمیت بسیار ویژه‌ای برخوردار است (Gresta et al., 2009; Koocheki et al., 2010). زعفران در فصل گرما به خواب می‌رود و مراحل رشد و نمو ظاهری آن در فصل سرما اتفاق می‌افتد (Amirshekari et al., 2007). با این‌وجود، از عوامل مهم کاهش عملکرد زعفران، وقوع درجه حرارت بیش از حد در تابستان بوده که می‌تواند بر القاء گلدهی در مرداد ماه تأثیر منفی داشته باشد (Sadeghi, 2008). مولینا و همکاران (Molina et al., 2005) ضمن آنکه گل‌انگیزی و عملکرد گل زعفران را در ارتباط مستقیم با درجه حرارت محیط دانستند، اظهار داشتند که وقوع دماهای بالاتر و یا پایین‌تر از حد بهینه می‌تواند القای گل‌دهی زعفران تحت تأثیر قرار دهد.

با در نظر گرفتن تأثیر مثبت کاربرد مالچ‌های گیاهی در تعدیل درجه حرارت محیط خاک (Foroughifar & Pour Kasmani, 2002; Monzon et al., 2006; Koocheki et al., 2007b)، مدیریت صحیح بقایای گیاهی در زراعت زعفران می‌تواند در تسریع گل‌دهی و نیز افزایش عملکرد گل در این گیاه مؤثر باشد. در این ارتباط گزارش شده است که پخش مالچ کلش در مهرماه می‌تواند منجر به افزایش معنی‌دار تعداد گل در متر مربع و نیز عملکرد گل‌تر و خشک زعفران (به ترتیب تا ۴۶، ۶۱ و ۶۵ درصد) شود (Rezvani Moghaddam et al., 2013b). مشابه نقش مالچ‌های گیاهی، کشت مخلوط زعفران با گیاهانی مانند مرزنجوش (*Origanum vulgare*) می‌تواند منجر به افزایش تولید گل شود که این افزایش به دلیل سایه-اندازی و در نتیجه خنک شدن دمای سطح خاک عنوان شده است (Koocheki et al., 2013).

کشت زعفران در طی دوره خواب حقیقی گیاه به عنوان یکی از اولین برنامه‌ها در مدیریت به زراعی زعفران، عامل مؤثری در افزایش تحریک گل‌دهی در این گیاه به شمار می‌رود (Sadeghi et al., 2003b; Rostami & Mohammadi, 2013). در این دوره، بنه زعفران تحت تأثیر هورمون‌های بازدارنده دارای خواب حقیقی یا کامل است (Koul & Farooq, 1982; Kumar et al., 2009) که این امر امکان جابه‌جایی و کاشت مجدد بنه را ایجاد می‌کند. با عبور از این مرحله، اگرچه بنه زعفران ظاهراً در خواب می‌باشد، اما تحت تأثیر هورمون‌های رشد دارای فعالیت گسترده از نظر تمایز بافت‌ها بوده و نسبت به جابه‌جایی دارای حساسیت زیادی است (Sadeghi et al., 2003 b).

علاوه بر تاریخ کاشت، عمق مناسب کاشت نیز نقش مؤثری در افزایش گلدهی و رشد بنه‌های دختری زعفران در طی دوره رشد چندساله گیاه دارد (Naderi Darbaghshahi et al., 2009). به طور کلی، در شرایط استفاده از بنه‌هایی با اندازه ۸ تا ۱۰ گرم، عمق کاشت توصیه شده معادل بین ۱۰ تا ۱۵ سانتی متر می باشد (Koocheki et al., 2011 b). با کاهش یا افزایش وزن بنه‌های مادری جهت کاشت، عمق کاشت می‌تواند به ترتیب کمتر یا بیش از عمق توصیه شده در نظر گرفته شود.

آبیاری تابستانه به عنوان اولین آبیاری زعفران به ویژه در اواسط مرداد ماه عامل مؤثری در افزایش تحریک گل‌دهی زعفران در مرحله رکود به شمار می‌رود (Rezvani Moghaddam et al., 2013a). این افزایش اساساً تحت تأثیر تکوین و تمایز اندام‌های زایشی می‌باشد. به عبارتی دیگر، از آن‌جا که تکوین و تمایز اندام‌های گل در مریستم جوانه بنه زعفران از دهم مرداد ماه شروع می‌شود، از این‌رو، رطوبت خاک می‌تواند در شکل‌گیری هر چه بهتر این فرآیندها مؤثر باشد (Sadeghi et al., 1997; 2003a).

۲- دوره گل‌دهی (اواخر مهر تا اواخر آبان)

دوره شکوفایی برگ‌ها و گل‌ها از اواخر مهر تا اواخر آبان می‌باشد. همان‌طور که ذکر گردید، پس از القای گل‌دهی که در درجه حرارت‌های بالا رخ می‌دهد، ظهور گل‌ها تحت تأثیر درجه حرارت پایین‌تر می‌باشد (Koocheki et al., 2010). بسته به شرایط آب و هوایی منطقه مورد کشت، ظهور گل می‌تواند قبل، همزمان و یا پس از خروج برگ‌ها از غلاف ساقه اتفاق افتد. عموماً گرمی هوا سبب می‌شود تا ظهور گل‌های زعفران اندکی پس از تولید اولین برگ‌ها آغاز گردد (شکل ۲). در این مرحله به دلیل آن که عمده انرژی گیاه صرف تولید گل و تولید نخستین برگ‌ها و خروج آن‌ها از غلاف می‌شود، بنه‌های دختری معمولاً تشکیل نمی‌گردد.

شکل ۲- تشکیل گل و اولین برگ‌ها در زعفران

Fig. 2- Formation of flower and leaves in saffron

با افزایش اندازه بنه‌های مادری، تعداد گل تولید شده در بنه افزایش می‌یابد. به عبارتی دیگر، در کنار تعدیل درجه حرارت (Molina et al., 2004, 2005; Koocheki et al., 2010) و **آبیاری** (Sepaskhah et al., 2008; Azizi-Zohan et al., 2009; Mohammad Abadi et al., 2011)، عملکرد گل زعفران در سال اول (سال کاشت) در ارتباط مستقیم با میزان اندوخته غذایی در بنه بوده (Nassiri Mahallati et al., 2007) و سطح حاصلخیزی و فراهمی عناصر غذایی خاک از اهمیت چندانی برخوردار نیست (Rezvani Moghaddam et al., 2013a)؛ به طوری‌که معمولاً در سال اول (سال کاشت)، بنه‌هایی با وزن کمتر از چهار گرم، تولید گل نمی‌کنند (Koocheki et al., 2014a; 2014c). از این‌رو، انتخاب بنه‌های مادری با وزن مناسب جهت حداکثر گلدهی حائز اهمیت می‌باشد. مشابه مرحله اول، مدیریت مالچ‌های گیاهی به منظور تعدیل درجه حرارت خاک، از جمله راهکارها در تسریع گل‌دهی و نیز افزایش تعداد و عملکرد گل زعفران می‌باشد (شکل ۳).

شکل ۳- گل‌دهی زعفران تحت شرایط کاربرد بستر کاه و کلش گندم

Fig. 3- Saffron flowering by applying the wheat straw mulch

همچنین بهبود ساختار فیزیکی و افزایش محتوی نسبی رطوبت خاک در نتیجه کاربرد مالچ‌های گیاهی (Foroughifar & Pour Kasmani, 2002; Limon-Ortega et al., 2008; Danga & Wakindiki, 2009) می‌تواند نقش مؤثری در تسهیل گل‌دهی زعفران داشته باشد. طبق نتایج شباهنگ و همکاران (Shabahang et al., 2013) کاربرد بقایای گیاهی به دلیل حفظ رطوبت خاک باعث افزایش آماس سلولی شده در نتیجه منجر به بهبود سرعت گل‌دهی و عملکرد گل می‌شود. از سوی دیگر، با توجه به این‌که کشت زعفران در مناطق نیمه‌خشک کشور مانند استان‌های خراسان و کرمان صورت

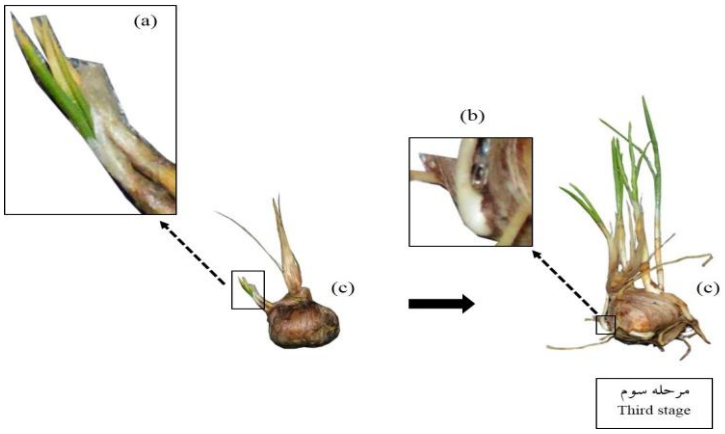
می‌گیرد (Azizi-Zohan et al., 2009) و نیز با توجه به این که فراهمی مواد آلی و عناصر غذایی از مهم‌ترین عوامل در کنترل تغییرات عملکرد زعفران می‌باشند (Behdani et al., 2006; Nehvi et al., 2010)، کاربرد صحیح بقایای گیاهی در مناطق نیمه‌خشک می‌تواند با تأثیر مستقیم بر میزان ماده آلی خاک، منجر به افزایش عملکرد گل و در نهایت، افزایش پایداری تولید زعفران شود (Rezvani Moghaddam et al., 2013b).

زمان آبیاری نیز نقش بسیار مهمی در افزایش عملکرد گل زعفران دارد (Sepaskhah et al., 2008; Azizi-Zohan et al., 2009; Sepaskhah & Kamgar-Haghighi, 2009). گل‌دهی زعفران با رسیدن دمای هوا به ۱۲ درجه سانتی‌گراد اتفاق افتاده و از سوی دیگر، ۲ تا ۳ هفته پس از آبیاری، گل‌دهی به وقوع می‌پیوندد. از این‌رو، اولین آبیاری بایستی زمانی انجام شود که پس از آن زعفران قابل برداشت باشد (Alizadeh et al., 2009).

تاریخ گل‌دهی و زمان انجام اولین آبیاری زعفران بسته به اقلیم و دمای منطقه مورد مطالعه بسیار متفاوت می‌باشد. در مکان‌هایی با ارتفاع بالاتر از سطح دریا و میانگین دمای کمتر، معمولاً تاریخ گل‌دهی و زمان آبیاری زود هنگام و در اوایل پائیز می‌باشد. با کم شدن ارتفاع و بالا رفتن دمای هوا تاریخ گل‌دهی و زمان انجام اولین آبیاری به اواسط و حتی به اواخر پائیز منتقل می‌شوند (Alizadeh et al., 2009). عامل مهم دیگر جهت افزایش گل‌دهی، انبارداری و به عبارتی شرایط نگهداری بنه‌ها پیش از کاشت می‌باشد. الگوی مناسب در این ارتباط کاشت بنه‌ها بلافاصله پس از خروج از خاک بوده تا ضمن ادامه دوره رکود، بنه‌ها فرصت کافی جهت استقرار در مکان جدید را داشته باشند؛ به طوری‌که انبارداری این بنه‌ها عموماً منجر به کاهش توانایی گل‌دهی در بنه‌ها و نیز تولید برگ می‌شود (Sadeghi et al., 2003b; Nassiri et al., 2007). به بیان دیگر، در شرایط نگهداری بنه‌ها در انبار، نیاز بنه‌ها به دمای پایین جهت رشد جوانه‌ها زودتر تأمین می‌شود. فعال شدن تعداد زیادتر جوانه‌ها پیش از کشت، تأثیر سوء بر مراحل بعدی رشد می‌گذارد. آسیب دیدن جوانه‌ها در طی کشت، عدم توانایی بنه در تأمین مواد غذایی برای رشد تمامی جوانه‌ها، ایجاد رقابت شدید بین جوانه‌ها، مصرف شدن مواد غذایی برای فعال شدن و رشد جوانه‌های غیرمؤثری که در حالت طبیعی نقشی در مراحل بعدی رشد ندارند و نیز کاهش سهم تخصیص مواد غذایی به بنه‌های دختری و برگ‌های گیاه، از جمله دلایل کاهش این عملکرد می‌باشد (Molina et al., 2005; Nassiri et al., 2007).

۳- تشکیل و آغاز رشد بنه‌های دختری (اواخر آبان تا اواخر آذر)

در هر بنه مادری، تعدادی جوانه یا محل مریستمی وجود دارد که با فعال شدن این مریستم‌ها، تشکیل بنه‌های دختری آغاز می‌شود (Kafi, 2002; Tavakkoli et al., 2014). فعالیت این مریستم‌ها پس از فرآیند گل‌دهی اتفاق می‌افتد و با تقسیم سلولی، نخستین بنه‌های دختری در سطح بنه مادری ظاهر می‌شوند (شکل ۴).



شکل ۴- فرآیند تشکیل نخستین ساقه (a) و بنه‌های دختری (b) در سطح بنه مادری (c) زعفران

Fig. 4- Formation of first shoot (a) and replacement corm (b) above its mother corm (c) of saffron

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. طبق نتایج رنائو-موراتا و همکاران (Renau-Morata et al., 2012) تشکیل نخستین بنه‌های دختری از اواسط نوامبر (اواخر آبان) بوده و همزمان با تشکیل بنه‌های دختری تحلیل بنه مادری زعفران نیز آغاز می‌شود. بنه‌های دختری معمولاً در بخش بالایی بنه مادری تشکیل می‌گردند (Kafi, 2002). با این‌وجود، بسته به شرایط محیطی و خصوصیات بنه مادری، این بنه‌ها می‌توانند در سایر بخش‌های بنه مادری نیز تشکیل شوند. در این مرحله هر یک از بنه‌های دختری تشکیل شده، به طور میانگین دارای دو برگ (۹-۷ سانتی‌متر) می‌باشند (شکل ۲). حداقل درجه حرارت لازم برای ریشه دهی و طویل شدن برگ‌ها ۱۰ درجه سانتی‌گراد بوده و دامنه دمایی مطلوب بین ۱۰ تا ۱۵ درجه-سانتی‌گراد می‌باشد (Rahmati, 2003). درجه حرارت مناسب برای تولید بنه نیز ۱۰ درجه سانتی‌گراد بوده که سبب افزایش تخصیص مواد فتوسنتزی جهت تولید و رشد بنه‌های دختری می‌شود (Amirshekari et al., 2007).

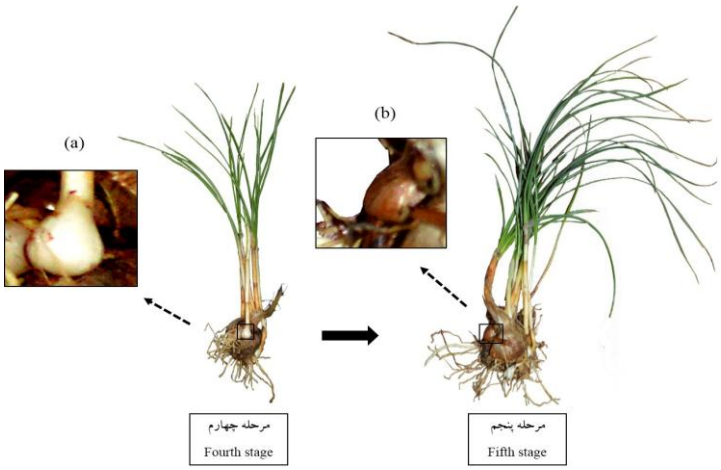
تغذیه متعادل عناصر غذایی به ویژه نیتروژن ضمن تحریک رشد رویشی، سبب می‌شود تا تعداد بیشتری از جوانه‌های موجود در بنه مادری فعال شوند (Chaji et al., 2013). با این-وجود، تحریک تعداد زیادی جوانه سبب رقابت شدید برای رشد می‌شود (Pandey & Srivastava, 2003; Tavakkoli et al., 2014). در شرایط وجود جوانه‌های زیاد، حذف جوانه‌های اضافی و نامطلوب سبب می‌شود تا بنه‌های بزرگ‌تری در سال اول کشت زعفران تولید شود و در نتیجه در سال دوم، تعداد گل و وزن کلاله گل زعفران افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، جوانه اصلی نسبت به جوانه‌های جانبی دارای توان بیشتری در تولید بنه‌های دختری است و نباید جوانه اصلی جهت حذف شدن انتخاب گردد. به طور کلی، در بنه‌های با وزن ۸-۶ گرم، بهترین تعداد جوانه جهت تولید بنه‌های بزرگ و مناسب، چهار عدد (سه جوانه جانبی+ جوانه اصلی) گزارش شده است (Tavakkoli et al., 2014).

پس از برداشت گل و ظهور برگ‌ها در آبان ماه، انجام یک مرحله آبیاری جهت تشکیل و رشد بهتر بنه‌های دختری توصیه شده است (Rezvani Moghaddam et al., 2013a). علاوه بر این، رشد و نمو اندام‌های ظاهر شده از بنه‌های مادری زعفران در این مرحله (و مراحل اولیه) اساساً وابسته به اندوخته موجود در بنه‌های مادری می‌باشد (Amirshekari et al., 2007; Renau-Morata et al., 2012). بسته به اندازه بنه مادری، تعداد بنه‌های دختری در سال اول می‌تواند از یک تا دو بنه (بنه مادری با وزن کمتر از چهار گرم) تا نه بنه دختری (در بنه‌های با وزن در حدود ۱۲ گرم) متفاوت باشد. در بنه-های مادری با وزن پایین که در اصلاح بنه‌های مادری کوچک یا ریز نامیده می‌شوند (Koocheki et al., 2014 a; 2014c)، به دلیل داشتن اندوخته غذایی کمتر، تعداد ریشه کمتری تولید شده و به تبع آن استقرار و تشکیل نخستین بنه‌های دختری معمولاً با تأخیر اتفاق می‌افتد (Koocheki et al., 2007 a; Gresta et al., 2008; Renau-Morata et al., 2012). همچنین

در بنه‌های بزرگ‌تر، تقسیم سلولی و به دنبال آن رشد برگ‌ها زودتر انجام می‌شود که این امر امکان استفاده از منابع محیطی و نیز افزایش مواد فتوسنتزی را بیش از پیش فراهم می‌کند (Molina et al., 2005). در این ارتباط ثابت تیموری و همکاران (Sabet Teimouri et al., 2010) نیز افزایش معنی‌دار وزن خشک ریشه و نیز وزن خشک بنه‌های زعفران را در نتیجه کاشت بنه‌های ۸-۶ گرم در مقایسه با بنه‌های ۴-۲ گرم و نیز ۶-۴ گرم مشاهده نمودند. این محققین همچنین اظهار داشتند که با افزایش اندازه بنه، توان جذب و نیز میزان عناصر غذایی در بنه بیشتر شده و در نهایت، زمینه لازم برای انتقال بیشتر مواد به سلول‌های برگ را فراهم می‌کند. تراکم پایین و یا بیش از حد کاشت بنه‌های مادری (Koocheki et al., 2014b) و عوامل بیماری‌زا به ویژه قارچ‌های عامل پوسیدگی بنه ناشی از فعالیت *Fusarium solani*، *F. oxysporum* و *Sclerotium rolfsii* (Sud et al., 1999; Kalha et al., 2007; Husaini et al., 2010) از جمله عوامل موثر بر تشکیل و رشد بنه‌های دختری در این مرحله و نیز طی فصل رشد هستند.

۴- مرحله میانی رشد بنه‌های دختری (اواخر آذر تا اواخر دی)

در این دوره نیز بنه‌های دختری در سطح بنه مادری تشکیل می‌شوند؛ اما سرعت تشکیل این بنه‌ها معمولاً کمتر از مرحله قبل می‌باشد. به دلیل تفاوت بین بنه‌های دختری تشکیل شده در این مرحله با بنه‌های تشکیل شده در مراحل قبلی، بنه‌های دختری تشکیل شده کوچک‌تر از بنه‌های تشکیل شده در ابتدای فصل می‌باشند. اندازه بنه‌های دختری در سطح بنه مادری افزایش یافته و رشد برگ‌های سبز بیشتر افزایش می‌یابد (شکل ۵).



شکل ۵- مرحله چهارم و پنجم تشکیل بنه‌های دختری زعفران

a: بنه دختری در مرحله چهارم؛ b: بنه دختری در مرحله پنجم (مرحله پایانی) رشد. در این مرحله پوشینه‌های بنه دختری تقریباً شکل می‌گیرد.

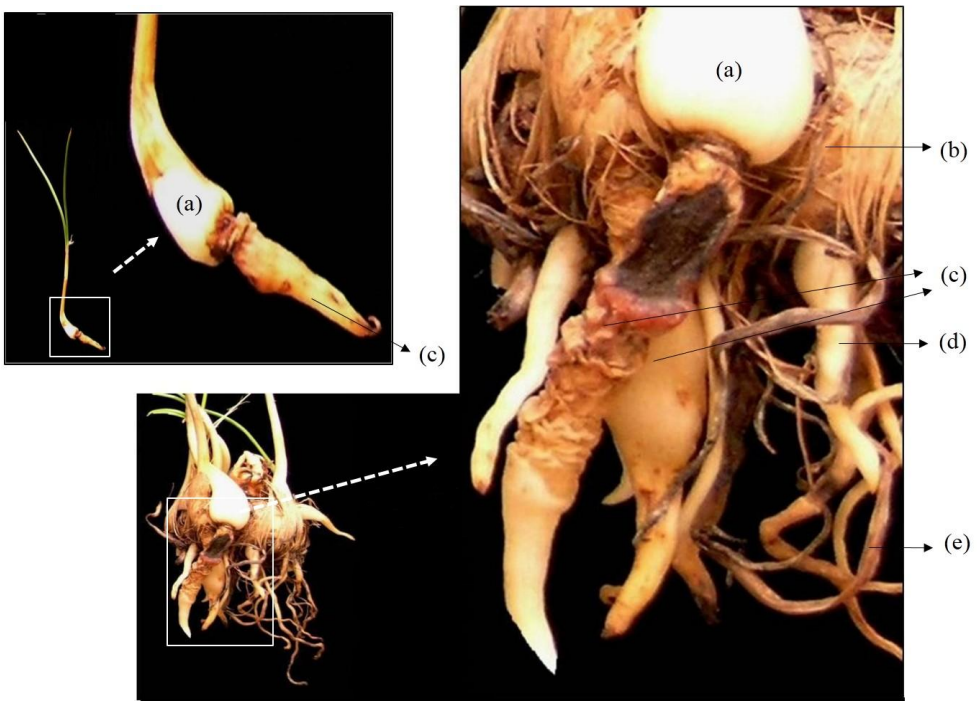
Fig. 5- Fourth and fifth stages of replacement corms formation of saffron

a: Replacement corm in the fourth stage; b: Replacement corm in the fourth stage. In this stage, tunics of corms aproximately are formed.

طول برگ‌های تشکیل شده می‌تواند از ۱۲ تا ۲۰ سانتی‌متر متفاوت باشد. بنه مادری در این مرحله نسبت به مرحله قبل رو به تحلیل بیشتری گذاشت؛ به طوری‌که وزن بنه‌های دختری تشکیل شده بین ۱۰ تا ۳۰ درصد بنه مادری است.

رشد و تکمیل ریشه‌های جاذب[1]، رابط[2] و جاذب- رابط[3] نیز در این مرحله بیش از پیش گسترش می‌یابد (شکل ۶).

1- Absorbing (fibrous) roots
2- Contractile roots
3- Contractile absorbing roots



شکل ۶- رشد و توسعه سیستم ریشه‌ای زعفران در مرحله چهارم

a: گیاهچه زعفران دارای یک بنه جدید در حال تشکیل روی بنه مادری؛ b: بنه مادری؛ c: ریشه رابط؛ d: ریشه‌های جاذب- رابط؛ e: ریشه‌های جاذب

در زعفران سه نوع ریشه شامل ریشه‌های جاذب، رابط و نیز جاذب- رابط وجود دارد که این سه نوع ریشه از نظر ساختار و کارکرد متفاوت می‌باشند.

Fig. 6- The growth and development of saffron roots system in the fourth stage

a: A saffron seedling with a new replacement corm above the mother corm; b: Mother corm; c: Contractile roots; d: Contractile absorbing roots; e: Absorbing roots (fibrous)

Saffron corms produce three types of roots: absorbing roots (fibrous), contractile roots and contractile – absorbing roots which are different in structure and function.

ریشه‌های جاذب تولید شده از قاعده بنه مستقیم و نازک (با قطری معادل یک میلی‌متر) بوده و در جذب آب و مواد غذایی نقش دارند. ریشه‌های رابط شبیه اندام غده‌ای شکل، بزرگ و سفید رنگ بوده و با عمل کششی، باعث نفوذ بیشتر بنه به سمت خاک می‌شوند؛ به طوری‌که بنه در عمق و موقعیت مناسبی از خاک قرار می‌گیرد. ریشه‌های جاذب- رابط نیز نازک‌تر از ریشه‌های رابط بوده و پس از تشکیل ریشه‌های رابط ایجاد می‌شوند (Kumar et al., 2008).

علاوه بر عوامل ذکر شده در مرحله سوم، شرایط نامطلوب خاک از نظر فراهمی متعادل عناصر غذایی (Rezvani et al., 2013a) و رقابت علف‌های هرز (Shabahang et al., 2013) می‌تواند در این مرحله و نیز مراحل بعدی رشد، سبب کاهش رشد عملکرد زعفران شود. از جمله راهکارهای تأمین عناصر غذایی می‌توان به کاربرد کودهای آلی مانند کود دامی (Hassanzadeh Aval et al., 2013; Teimori et al., 2013; Koocheki et al., 2014a; Koocheki et al., 2014b) و کمپوست بستر قارچ (Rezvani et al., 2013b)، کاربرد تلفیقی کودهای آلی و شیمیایی (Amiri, 2008)، کودهای بیولوژیک مانند باکتری‌های *باسیلوس* و *سودوموناس* (Rasouli et al., 2013) و

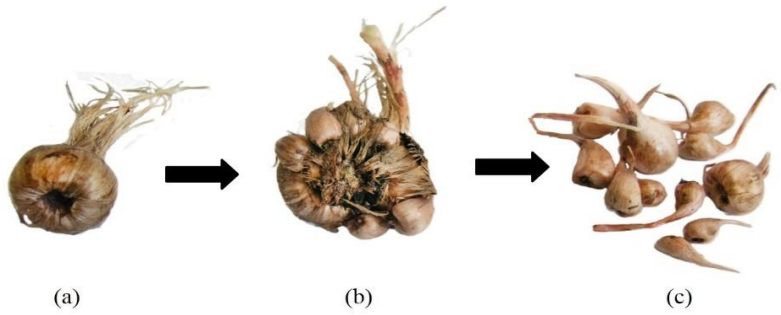
یا کود بیولوژیک نیتروکسین (Omidi et al., 2009)، دلفارد به عنوان کود اختصاصی زعفران (Koocheki et al., 2011a; Rezvani Moghaddam et al., 2013a)، محلول‌پاشی و تغذیه برگی (Hosseini et al., 2003, Koocheki et al., 2014c)، کاربرد بقایای گیاهی (Rezvani Moghaddam et al., 2013b; Shabahang et al., 2013) و کشت گیاهان پوششی (Shabahang et al., 2013) اشاره نمود. انجام یک نوبت آبیاری بعد از وجین علف‌های هرز زمستانه در اواخر آذر نیز در این مرحله توصیه شده است (Rezvani Moghaddam et al., 2013a).

۵- مرحله نهایی رشد بنه‌های دختری (اواخر دی تا اواخر فروردین)

در این مرحله رشد اندام‌های هوایی به حداکثر مقدار خود می‌رسد. طول بلندترین برگ‌های تشکیل شده ۲۵ تا ۴۰ سانتی‌متر می‌باشد. با این‌وجود، بنه‌هایی که دیرتر تشکیل شده‌اند دارای برگ‌های به نسبت کوتاه‌تری می‌باشند. پوشینه-ها در سطح بنه‌های دختری که در مراحل ابتدایی شکل گرفته‌اند، تقریباً تشکیل می‌شود (شکل ۵). بنه‌های دختری تشکیل شده به صورت یک توده به هم چسبیده در آمده و در حدود ۵۰ تا ۸۰ درصد از وزن کل بنه‌ها را به خود اختصاص می‌دهند. در این مرحله، دو آبیاری در اواخر اسفند و سرانجام در اواسط فروردین ماه نقش مؤثری در تکمیل رشد بنه‌های دختری دارد (Rezvani Moghaddam et al., 2013a).

۶- تحلیل رشد ریشه و آغاز دوره رکود (اواخر فروردین تا اواخر اردیبهشت)

در این مرحله برگ‌های تشکیل شده در سطح خاک شروع به خشک شدن نموده و ریشه‌های تشکیل شده در طی فصل نیز رو به تحلیل می‌روند. بنه‌های دختری تشکیل شده به آسانی قابل تفکیک از یک‌دیگر می‌باشند و می‌توانند به طور مستقل و به عنوان یک بنه مادری در فصل جدید (سال دوم) به فعالیت خود ادامه دهند (شکل ۷).



شکل ۷- مراحل تشکیل بنه‌های دختری زعفران در سال اول

a: بنه مادری در زمان کاشت (وزن: ۱۱/۹۳ گرم)؛ b: بنه مادری در پایان دوره رشد در سال اول، c: ۹ بنه دختری تشکیل شده زعفران (میانگین وزن هر بنه دختری ۱/۷۱ گرم)

Fig. 7- Steps of replacement corms production in this experiment (koocheki et al., 2014 c)

a: Mother corm in planting time (11.93 g); b: Mother corm in end of the first growing season; c: 9 Replacement corms of saffron (average weight per replacement corms: 1.71 g)

بر اساس یافته‌های کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2014 a)، با افزایش اندازه بنه‌های مادری، درصد تشکیل بنه-های دختری با وزن ۴-۰/۱ گرم کاهش و درصد تشکیل بنه-های ۸-۴/۱ گرم و نیز بیش از ۸ گرم رو به افزایش می‌گذارد. این محققین همچنین اظهار داشتند که در نتیجه کاشت بنه مادری (در اندازه‌های ۴-۰/۰۱، ۸-۴/۱، ۱۲-۸/۱ و بیش از ۱۲ گرم) بیشتر بنه‌های دختری (تا ۷۰/۵ درصد) در پایان سال اول (سال کاشت) دارای وزنی کمتر از چهار گرم بودند؛ به طوری‌که بنه‌های دختری با وزن ۸-۴/۱ و بیش از ۸ گرم، به ترتیب ۲۴/۸ و ۴/۸ درصد کل بنه‌های دختری را به خود اختصاص دادند (جدول ۲).

جدول ۲- مقایسه شاخص‌های مربوط به تعداد و عملکرد بنه‌های دختری زعفران در واکنش به تیمارهای آزمایش در سال اول (کوچکی و همکاران، ۲۰۱۴ الف)

Table 2- Comparison of number and yield of saffron replacement corms under experimental treatments in the first year (Koocheki et al., 2014a)

عملکرد بنه‌های دختری (گرم در متر مربع) Yield of replacement corm ($g.m^{-2}$)				تعداد بنه‌های دختری (در متر مربع) Number of replacement corm (m^2)				تیمارها Treatments
عملکرد کل Total yield	بیش از ۸ گرم More than 8 g	۴/۱ تا ۸ گرم 4.1–8 g	۴ گرم و کمتر 4 g and lower	تعداد کل Total Number	بیش از ۸ گرم More than 8 g	۴/۱ تا ۸ گرم 4.1–8 g	۴ گرم و کمتر 4 g and lower	
								اندازه بنه مادری (گرم) Mother corm size (g)
265.11 d	30.58 (11.3%) d	100.54 (37.3%) d	134.00 (51.4%) d	105.7 d	2.78 (2.6%) d	18.33 (17.5%) d	84.56 (79.9%) c *	۴ و کمتر از آن 4 and lower
441.24 c	62.37 (13.9%) c	189.43(43.8%) c	189.44 (42.4%) c	129.7 c	6.44 (4.9%) c	33.22 (25.4%) c	90.00 (69.7%) bc	۴/۱ تا ۸ 4.1 – 8
572.25 b	86.95 (15.3%) b	222.42 (39.1%) b	262.88 (45.6%) b	144.8 b	8.78 (6.9%) b	39.22 (27.0%) b	96.78 (66.7%) b	۸/۱ تا ۱۲ 8.1 – 12
814.43 a	105.31 (12.9%) a	351.65 (43.2%) a	357.47 (43.9%) a	204.0 a	9.8889 (4.8%) a	59.78 (29.3%) a	134.33 (65.9%) a	بیش از ۱۲ More than 12
								منابع کود Fertilizer sources
571.62 a	90.42 (15.8%) a	230.57 (40.7%) a	250.63 (43.5%) a	152.1 a	9.17 (6.0%) a	42.83 (27.5%) a	100.08 (66.6%) a	دامی Manure
508.09 b	74.21 (14.4%) b	227.96 (45.4%) a	205.92 (40.3%) a	148.2 ab	7.08 (4.7%) b	39.83 (25.9%) a	101.25 (69.4%) a	شیمیایی Chemical
490.06 b	49.27 (9.9%) c	189.50 (36.5%) b	251.29 (53.6%) a	137.8 b	4.67 (3.3%) c	30.25 (21.0%) b	102.92 (75.7%) a	شاهد Control

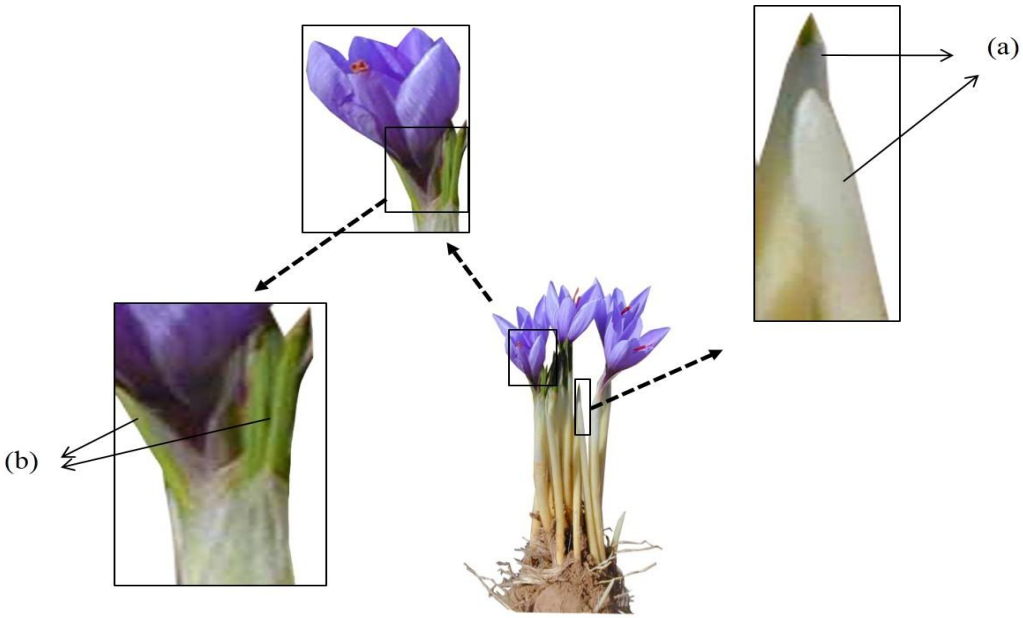
* در هر ستون و برای هر عامل، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر مبنای آزمون دانکن در سطح پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

* In each column and for each factor, means followed by at least one letter in common are not significantly different at 5% probability level using Duncan's Multiple Rang test.

رضوانی‌مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2013a) نیز بیان نمودند که مصرف کودهای آلی و یا زیستی در سال‌های ابتدایی پس از کاشت بنه، به جای افزایش اندازه بنه، منجر به افزایش تعداد بنه‌های دختری در خاک می‌شود. تشکیل بنه‌های دختری در سال‌های ابتدایی رشد برای کاشت چندان مناسب نمی‌باشد. از این‌رو، می‌توان اظهار داشت که در سال‌های ابتدایی رشد بنه، فراهمی بیشتر مواد آلی بیشتر تعداد بنه دختری در خاک را افزایش داده و اثر کمتری در افزایش وزن بنه‌های دختری دارد.

مراحل فنولوژی زعفران در سال‌های بعدی رشد

دوره رکود در سال دوم مشابه سال اول می‌باشد. با این تفاوت که در سال دوم، بنه‌های دختری در سال اول وارد مرحله رکود می‌شوند. در واقع هر بنه دختری در پایان دوره رشد در سال اول، در سال دوم به تنهایی یک بنه مادری تلقی می‌شود. زمان شروع و پایان گل‌دهی زعفران نیز در سال دوم نیز مشابه سال اول می‌باشد؛ با این‌حال، با توجه به افزایش تراکم بنه‌ها در خاک، تعداد گل تولید شده نسبت به سال اول افزایش می‌یابد (شکل ۸).



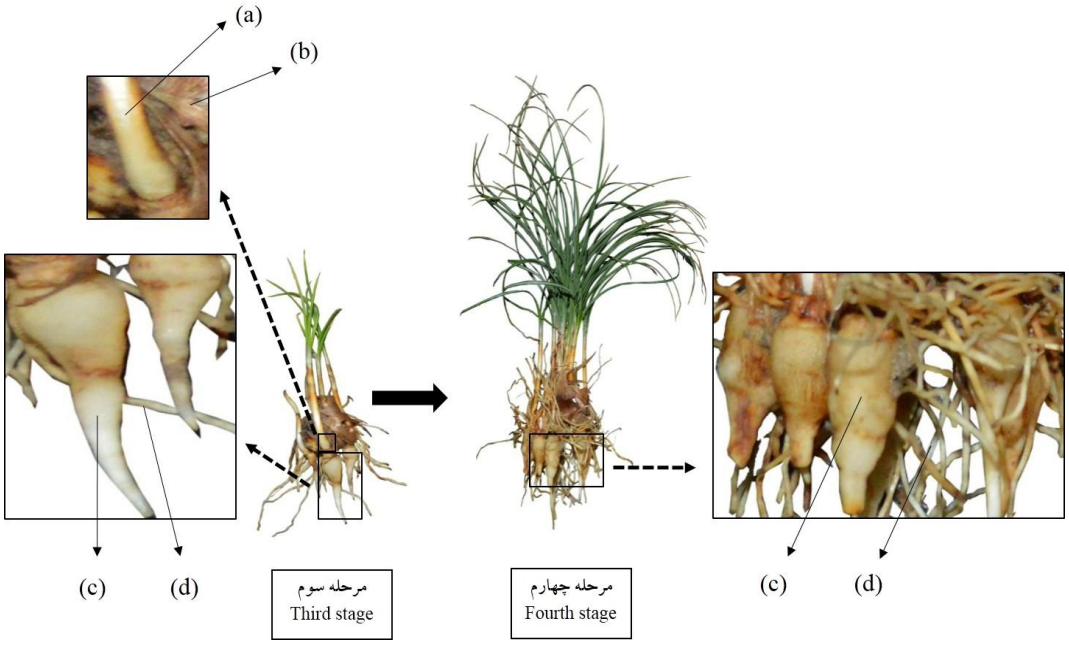
شکل ۸- گل‌دهی زعفران در سال دوم

a: آغازش رشد ساقه و b: آغازش رشد برگ‌های اولیه

Fig. 8- Saffron flowering in the second year

a: Shoot initiation and b: First leaves initiation

همچنین بنه‌های مادری با وزن پایین (کمتر از چهار گرم) در سال دوم نسبت به سال اول توانایی بیشتری در تولید گل دارند که به دلیل فرصت بیشتر برای استقرار این بنه‌ها در خاک و نیز طی شدن کامل دوره رکود می‌باشد که در نهایت منجر به تحریک بیشتر گل‌انگیزی می‌گردد (Koocheki et al., 2014 a). با گذشت مرحله گل‌دهی زعفران در سال دوم، تولید بنه‌های دختری آغاز می‌شود. این مرحله نیز مشابه سال قبل می‌باشد. با این‌حال، بر خلاف سال اول، بنه مادری دارای سیستم ریشه‌های جاذب و به ویژه ریشه‌های رابط گسترده‌تری نسبت به دوره مشابه در سال قبل بوده و به همین دلیل اندام‌های هوایی بیشتری را نسبت به سال قبل تولید می‌کند (شکل ۹).



شکل ۹- فرآیند تشکیل بنه‌های دختری در سطح بنه مادری زعفران در سال دوم

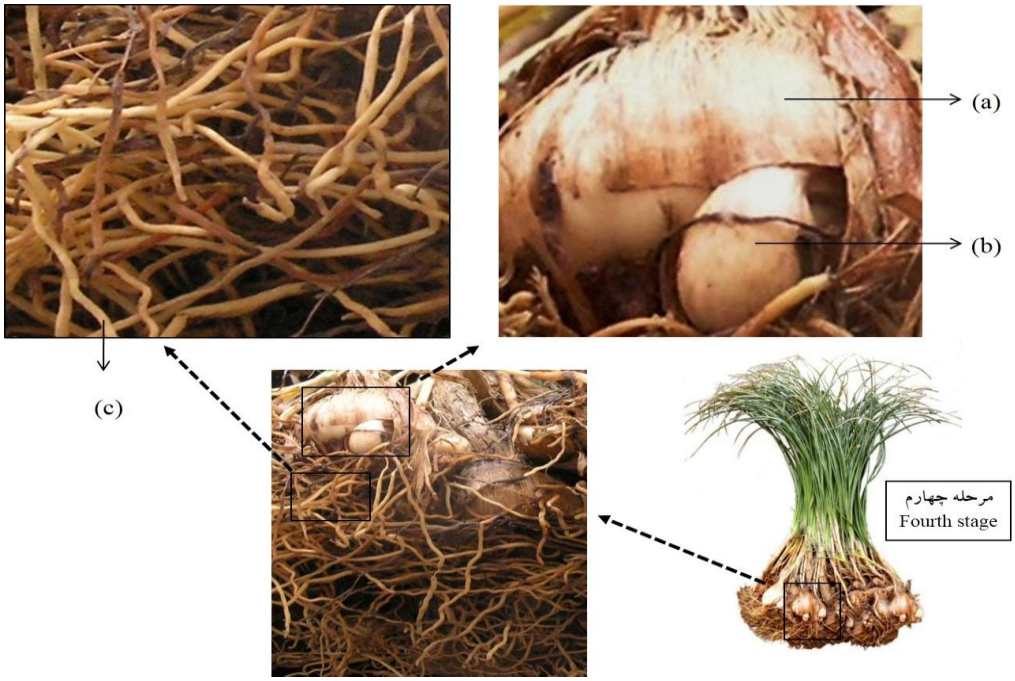
a: آغازش رشد بنه دختری؛ b: بنه مادری؛ c: ریشه‌های رابط؛ d: ریشه‌های جاذب

Fig. 9- Formation of replacement corm above the mother corm in the second year

a: Initial growth of replacement corm; b: Mother corm; c: Contractile roots; d: Absorbing roots

بنه‌های مادری در سال دوم به صورت توده متراکمی در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند و از منطقه بالایی این توده، تشکیل بنه-های دختری آغاز می‌شود. همان‌طور که ذکر گردید، در پایان سال اول در حدود ۷۰ درصد بنه‌های دختری دارای وزنی کمتر از چهار گرم می‌باشند. با توجه به تقسیم شدن بنه مادری در سال اول و تولید بنه‌های مادری ریزتر در سال دوم و همچنین به دلیل افزایش تراکم بنه‌های مادری در خاک، تشکیل بنه‌های دختری به ازای هر بنه مادری در مراحل اولیه، میانی و پایانی رشد زعفران در سال دوم معمولاً کمتر از سال اول می‌باشد.

در سال سوم و به ویژه در سال‌های بعدی، به دلیل افزایش تشکیل و رشد بیشتر بنه‌های دختری، این بنه‌ها همرا با بنه-های مادری به صورت یک توده بسیار متراکم و فشرده مشاهده می‌شوند؛ به طوری‌که تشخیص بنه‌های دختری از بنه مادری نسبت به سال‌های اولیه تقریباً به دشواری امکان پذیر می‌باشد. در اواسط دوره رشد در سال سوم، سیستم ریشه‌های جاذب بنه‌های دختری و مادری زعفران نیز نسبت به سال‌های اولیه بسیار پیچیده‌تر شده و شدیداً گسترش می‌یابد (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- مرحله چهارم رشد زعفران در سال سوم

a: بنه مادری؛ b: بنه دختری در حال رشد روی بنه مادری؛ c: ریشه‌های جاذب

Fig. 10- Saffron plant in the fifth stage (third year)

a: Replacement corm is growing on mother corm; b: Mother corm; c: Absorbing roots

بر اساس یافته‌های خزاعی و همکاران (Khazaei et al., 2013) تعداد بنه‌های زعفران در سال‌های پنجم و ششم پس از کاشت به طور معنی‌دار افزایش و سپس تا سال دهم کاهش یافت. این محققین دلیل کاهش تعداد بنه‌های زعفران را ناشی از افزایش تراکم و در نتیجه تشدید رقابت بین بنه‌ها در جذب آب و مواد غذایی مورد نیاز برای رشد و همچنین نامساعدتر شدن شرایط فیزیکی و شیمیایی خاک دانستند.

به طور کلی، تراکم حدود ۵۰ بوته در متر مربع به صورت ردیفی، تراکم توصیه شده برای کشت زعفران می‌باشد (Kafi, 2002). با این‌وجود، به دلیل دوره رویشی چند ساله گیاه زعفران، تحلیل بنه مادری و تشکیل بنه‌های دختری ریز (کمتر از چهار گرم) در سال اول کشت (Kafi, 2002; Rezvani Moghaddam et al., 2013a) و در نتیجه پایین بودن عملکرد زعفران در سال‌های ابتدایی دوره رشد، کشت این گیاه در تراکم پایین و رایج ممکن است در سال‌های اولیه چندان از لحاظ اقتصادی توجیه‌پذیر نباشد. از این‌رو، الگوی کشت پرتراکم زعفران به عنوان راهی جهت جبران کاهش عملکرد در سال‌های ابتدایی معرفی شده است (Koocheki et al., 2011b). این الگوی کشت تا تراکمی معادل ۴۰۰ بنه در متر مربع (وزن هر بنه معادل ۴ تا ۸ گرم) نیز گزارش شده است (Koocheki et al., 2014). در این راستا کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2012) اظهار نمودند که در طی سه سال اجرای آزمایش، با اجرای تراکم بالای کاشت (از چهار به ۱۲ تن بنه در هکتار)، تعداد گل در واحد سطح، عملکرد گل و نیز عملکرد کلاله زعفران به طور معنی‌داری افزایش یافت. همچنین با توجه به آن‌که مزارع زعفران با عمر بالای شش تا هفت سال دچار کاهش عملکرد می‌شوند، الگوی کشت پر تراکم می‌تواند ضمن جبران عملکرد پایین در سال‌های ابتدایی کشت، در کاهش طول دوره بهره‌برداری از مزارع زعفران به سه تا چهار سال نیز مؤثر باشد (Koocheki et al., 2012; 2014).

در طی دوره رشد چندساله زعفران، میزان آب آبیاری مورد نیاز گیاه با محاسبه تبخیر- تعرق یا نیاز آبی گیاه انجام می‌شود تا شرایط برای رشد مناسب بنه‌های دختری و در

نهایت، افزایش عملکرد اقتصادی زعفران فراهم آید (Kafi, 2002; Keykha Moghaddam et al., 2013). تبخیر- تعرق گیاه زعفران در سال اول ۵۲۳ میلی‌متر بوده و در سال دوم به ۶۴۰ میلی‌متر می‌رسد (Yarami et al., 2011).

علاوه بر این، نیاز آبی بر اساس ضریب گیاهی (Kc) در مراحل ابتدایی، میانی و انتهایی رشد در سال اول و دوم به ترتیب ۰/۴۵-۰/۴۱، ۱/۰۵-۰/۹۳ و ۰/۳۱-۰/۲۹ تعیین شده است (Yarami et al., 2011). مقدار تبخیر- تعرق زعفران در سال سوم و چهارم نیز به ترتیب ۷۲۶ و ۷۸۳ میلی‌متر برآورد شده است (Keykhamoghadam et al., 2013). افزایش تبخیر- تعرق زعفران در هر سال نسبت به سال قبل به علت ازدیاد بنه‌های گیاه و در نتیجه افزایش پوشش گیاهی در سطح خاک می‌باشد (Yarami et al., 2011).

زعفران گیاهی سازگار به اقلیم خشک و نیمه‌خشک می‌باشد (Sepaskhah & Kamgar-Haghighi, 2009). رشد بنه‌های دختری زعفران وابسته به تعداد دفعات آبیاری نسبتاً محدود در طی فصل رشد (سه تا شش مرحله) می‌باشد. همانطور که قبلاً نیز بیان گردید، بسته به اقلیم مورد مطالعه اولین آبیاری در مرداد ماه (آبیاری تابستانه) بوده و سپس پنج مرحله دیگر به ترتیب در اواسط مهر ماه (به منظور تسهیل در گل‌دهی)، پس از برداشت گل و ظهور برگ‌ها در آبان ماه، بعد از وجین علف‌های هرز زمستانه در اواخر آذر، در اواخر اسفند و سرانجام در اواسط فروردین ماه (به منظور تکمیل رشد بنه‌ها) توصیه شده است (Rezvani Moghaddam et al., 2013a). به طور کلی، انطباق بخش عمده دوره رشد در فصل سرد و مرطوب سال و تقویم آبیاری مناسب اقلیم خشک و نیمه خشک (پاییز و زمستان) و همچنین برخی خصوصیات ظاهری مانند برگ‌های باریک و ضخیم، از جمله این دلایل سازگاری در نظر گرفته می‌شود (Alizadeh et al., 2009; Koocheki et al., 2009).

نتیجه‌گیری

به طور کلی، فنولوژی زعفران بر اساس رشد اندام‌های زیر زمینی در سال اول دارای شش مرحله می‌باشد که شامل مرحله رکود (اواخر اردیبهشت تا اواخر مهر)، دوره گل‌دهی (اواخر مهر تا اواخر آبان)، تشکیل و آغاز رشد بنه‌های دختری (اواخر آبان تا اواخر آذر)، مرحله میانی رشد بنه‌های دختری (اواخر آذر تا اواخر دی)، مرحله نهایی رشد بنه‌های دختری (اواخر دی تا اواخر فروردین) و در پایان تحلیل رشد ریشه و آغاز دوره رکود (اواخر فروردین تا اواخر اردیبهشت) می‌باشد. در سال‌های بعد نیز مراحل فنولوژی رشد مشابه سال اول می‌باشد. با این‌وجود، هر بنه دختری تشکیل شده در انتهای دوره رشد در سال اول، در سال دوم یک بنه مادری تلقی شده و به این ترتیب، چرخه زندگی گیاه تا حدود ۱۰ سال ادامه می‌یابد. مرحله رکود زعفران اساساً تحت تأثیر وقوع درجه حرارت بالا جهت القای گل‌دهی و نیز درجه حرارت پایین جهت ظهور گل‌ها بوده که در کنار آن، برخی عوامل به زراعی مانند انتخاب بنه مادری با وزن مناسب، تاریخ و عمق کاشت بنه و نیز آبیاری عامل مهمی بر فرآیند گل‌دهی می‌باشند. همچنین پس از گل‌دهی و تشکیل بنه‌های دختری، رشد این بنه‌ها به طور محسوسی تحت تأثیر فراهمی آب و عناصر غذایی خاک می‌باشد. در سال‌های ابتدایی دوره رشد، فراهمی عناصر غذایی بیشتر منجر به افزایش تعداد بنه‌های دختری شده و در سال‌های بعد منجر به افزایش وزن آن‌ها می‌شود.

منابع

Abrishamchi, P., 2003. Investigation about some biochemical changes related to breaking of dormancy and flower formation in *Crocus sativus* L. The 3rd National Symposium on Saffron. 2-3 December, Mashhad, Iran. [In Persian].

Aghaei, M., Rezagholizadeh, M., 2011. Iran's comparative advantage in production of saffron. J. Agric. Eco. Dev. 25, 121–132. [In Persian with English Summary].

Agriculture Jihad., 2011. Ministry of Agriculture Jihad, Department of Planning and Economy. First volume: Crops. 130 pp.

Alizadeh, A., Sayari, N., Ahmadian, J., Mohamadian, A., 2009. Study for zoning the most appropriate time of irrigation of saffron (*Crocus sativus*) in Khorasan Razavi, North

and Southern provinces. J. Water Soil. 23, 109–118. [In Persian with English Summary].

Amiri, M.E., 2008. Impact of animal manures and chemical fertilizers on yield components of saffron (*Crocus sativus* L.). Americ. Eur. J. Agric. Environ. Sci. 4, 274–279.

Amirshekari, H., Sorooshzadeh, A., Modarress Sanavy, A., Jalali Javaran, M., 2007. Study of effects of root temperature, corm size, and gibberellin on underground organs of saffron (*Crocus sativus* L.). Iran. J. Biol. 19, 5–18. [In Persian with English Summary].

Azizi-Zohan, A.A., Kamgar-Haghighi, A.A., Sepaskhah, A.R., 2009. Saffron (*Crocus sativus* L.) production as influenced by rainfall, irrigation method and intervals. Arch. Agron. Soil Sci. 55, 547–555.

Bagheri, A., Vessal, S., 2003. Saffron improvement in Iran, breakthroughs and barriers. The 3rd National Symposium on Saffron. 2-3 December, Mashhad, Iran. [In Persian].

Behdani, M.A., Koocheki, A., Nassiri, M., Rezvani Moghaddam, P., 2006. Evaluation of quantitative relationships between saffron yield and nutrition (on farm trial). Iran. J. Field Crop Res. 3, 1–14. [In Persian with English Summary].

Chaji, N., Khorassani, R., Astaraei, A.R., Lakzian, A., 2013. Effect of phosphorous and nitrogen on vegetative growth and production of daughter corms of saffron. J. Saffron Res. 1, 1–12. [In Persian with English Summary].

Danga, B.O., Wakindiki, I.I.C., 2009. Effect of placement of straw mulch on soil conservation, nutrient accumulation, and wheat yield in a humid Kenyan highland. J. Tropic. Agric. 47, 30–36.

Ebrahimzadeh, H., Abrishamchi, P., Noori-Daloii, M.R., 1997. Quantitative and qualitative changes in the shoot apical meristem of saffron (*Crocus sativus* L.) during the period of growth and development. J. Sci. Iran 8, 10–17. [in Persian with English Summary].

Foroughifar, H., Pour Kasmani, M.E., 2002. Soil Science and Management. Ferdowsi University of Mashhad Press, Iran. 336 pp. [In Persian].

Gresta, F., Avola, G., Lombardoa, G.M., Siracusa, L., Ruberto, G., 2009. Analysis of flowering, stigma yield and qualitative traits of saffron (*Crocus sativus* L.) as affected by environmental conditions. Hortic. Sci. 119, 320–324.

Gresta, F., Lombardo, G.M., Siracusa, L., Ruberto, G., 2008. Effect of mother corm dimension and sowing time on stigma yield, daughter corms and qualitative aspects of saffron (*Crocus sativus* L.) in a Mediterranean environment. J. Sci. Food Agric. 88, 1144–1150.

Hassanzadeh Aval, F., Rezvani Moghaddam, P., Bannayan Aval, M., 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 Agron. Technol. 1, 22–39. [In Persian with English Summary].

Hosseini, M., Sadeghi, B., Aghamiri, S.A., 2003. Infloence of foliar fertilization on yield of saffron (*Crocus sativus* L.). 3rd National Symposium on Saffron. 2-3 December, Mashhad, Iran. [In Persian].

Husaini, A.M., Hassan, B., Ghani, M.Y., Teixeira, J.A., Kirmani, N.A., 2010. Saffron (*Crucus sativus* Kashmirianus) cultivation in Kashmir: Practices and problems. Func. Plant Sci. Biotechnol. 4, 108–115. [In Persian].

Kafi, M., 2002. Saffron: Production and Processing. Ferdowsi University of Mashhad Press, Mashhad, Iran. 276 pp. [In Persian].

Kalha, C.S., Gupta, V., Gupta, D., 2007. First report of sclerotial rot of saffron caused by *Sclerotium rolfsii* in India. Plant Dis. 9, 1203–1206.

Keykha Moghaddam, P., Kamgar Haghighi, A., Sepaskhah, A., Zand Parsa, S., 2013. Determination of single and dual crop coefficients and potential evapotranspiration of developed saffron. J. Agric. Meteorol. 1, 1–9. [In Persian with English Summary].

Khazaei, M., Monfared, M., Kamgar Haghighi, A.A., Sepaskhah, A.R., 2013. The trend of change for weight and number of saffron corms as affected by irrigation frequency and method in different years. J. Saffron Res. 1, 48–56. [In Persian with English Summary].

Koocheki, A., Tabrizi, L., Jahani, M., Mohammad Abadi, A.A., 2012. An evaluation of the effect of saffron (*Crocus sativus* L.) corm planting rate and pattern on the crop's performance. Iran. J. Hortic. Sci. 42, 379-391. [In Persian with English Summary].

Koocheki, A., Ganjeali, A., Abbassi, F., 2007a. The effect of duration and condition of incubation, weight of mother corms and photoperiod on corm and shoot characteristics of saffron plant (*Crocus sativus* L.). Iran. J. Field Crop Res. 4, 315–331. [In Persian with English Summary].

Koocheki, A., Gholami, A., Mahvadi Damghani, A., Tabrizi, L., 2007b. Organic Field Crop Handbook (Translated). Ferdowsi University of Mashhad Press, Iran. 385 pp. [in Persian].

Koocheki, A., Jahani, M., Tabrizi, L., Mohammad Abadi, A.A., 2011a. Investigation on the Effect of biofertilizer, chemical fertilizer and plant density on yield and corm criteria of saffron (*Crocus sativus* L.). J. Water Soil 25, 196–206. [In Persian with English Summary].

Koocheki, A., Jamshid Eyni, M., Seyyedi, S.M., 2014a. The effects of mother corm size, manure and chemical fertilizers on replacement corm criteria and yield of saffron (*Crocus sativus* L.). J. Saffron Res. 2, 34–46. [In Persian with English Summary].

Koocheki, A., Najibnia, S., Gani, B., 2009. Evaluation of saffron yield (*Crocus sativus* L.) in intercropping with cereals, pulses and medicinal plants. Iran. J. Field Crop Res. 7, 173–182. [In Persian with English Summary].

Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Alizadeh, A., Ganjali, A., 2010. Modelling the impact of climate change on flowering behaviour of Saffron (*Crocus sativus* L.). Iran. J. Field Crop Res. 7, 583–594. [In Persian with English Summary].

Koocheki, A., Rezvani Moghaddam, P., Molafilabi, A., Seyyedi, S.M., 2014b. The effects of high corm density and manure on agronomic characteristics and corms behavior of saffron (*Crocus sativus* L.) in the second year. J. Saffron Res. 1, 144–155. [In Persian with English Summary].

Koocheki, A., Seyyedi, S.M., Azizi, H., Shahriyari, R., 2014c. The effects of mother corm size, organic fertilizers and micronutrient foliar application on corm yield and phosphorus uptake of saffron (*Crocus sativus* L.). Saffron Agron. Technol. 2, 3–16. [In Persian with English Summary].

Koocheki, A., Shabahang, J., Khorramdel, S., Azimi, R., 2013. The effect of irrigation intervals and intercropped majoram (*Origanum vulgare*) with saffron (*Crocus sativus* L.) on possible cooling effect of corms for climate change adaptation. Iran. J. Field Crop Res. 11, 390–400. [In Persian with English Summary].

Koocheki, A., Siahmarguee, A., Azizi, G., Jahani, M., 2011b. The effect of high density and depth of planting on agronomic characteristic of saffron (*Crocus sativus* L.) and corms behavior. J. Agroecol. 3, 36–49. [In Persian with English Summary].

Koul, K.K., Farooq, S., 1982. Growth and differentiation in the shoot apical meristem

of saffron plant (*Crocus sativus* L.). J. Ind. Bot. Soc. 63, 153–160.

Kumar, R., Singh, V., Devi, K., Sharma, M., Singh, M.K., Ahuja, P.S., 2009. State of art of saffron (*Crocus sativus* L.) agronomy: A comprehensive review. Food Rev. Int. 25, 44–85.

Limon-Ortega, A., Govaerts, B., Sayre, K.D., 2008. Straw management, crop rotation, and nitrogen source effect on wheat grain yield and nitrogen use efficiency. Eur. J. Agron. 29, 21–28.

Moayedi Shahraki, E., Jami Al-Ahmadi, M., Behdani, M.A., 2010. Study of energy efficiency of saffron (*Crocus sativus* L.) in Southern Khorasan. J. Agroecol. 2, 55–62. [In Persian with English Summary].

Mohammad Abadi, A.A., Rezvani Moghaddam, P., Fallahi, J., 2011. Effects of planting pattern and the first irrigation date on growth and yield of saffron (*Crocus sativus* L.). J. Agroecol. 3, 84–93. [In Persian with English Summary].

Molina, R.V., García-Luis, A., Coll, V., Ferrer, C., Valero, M., Navarro, Y., Guardiola, J.L., 2004. Flower formation in the saffron Crocus (*Crocus sativus* L.). The role of temperature. Acta Hortic. 650 (First International Symposium on Saffron Biology and Biotechnology), 39–48.

Molina, R.V., Valero, M., Navarro, Y., Guardiola, J.L., Garcia-Luis, A., 2005. Temperature effects on flower formation in saffron (*Crocus sativus* L.). Sci. Hortic. 103, 361–379.

Monzon, J.P., Sadras, V.O., Andrade, F.H., 2006. Fallow soil evaporation and water storage as affected by stubble in sub-humid (Argentina) and semi-arid (Australia) environments. Field Crop Res. 98, 83–90.

Naderi Darbaghshahi, M.R., Khajebashi, S.M., Banitaba, S.A., Dehdashti, S.M., 2009. Effects of planting method, density and depth on yield and production period of saffron (*Crocus sativus* L.) in Isfahan region. Seed Plant 24, 643–657. [In Persian with English Summary].

Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Boroumand Rezazadeh, Z., Tabrizi, L., 2007. Effects of corm size and storage period on allocation of assimilates in different parts of saffron plant (*Crocus sativus* L.). Iran. J. Field Crop Res. 5, 155–166. [In Persian with English Summary].

Nehvi, F.A., Lone, A.A., Khan, M.A., Maghdoomi, M.I., 2010. Comparative study on effect of nutrient management on growth and yield of saffron under temperate conditions of Keshmir. Acta Hortic. 850 (Third International Symposium on Saffron: Forthcoming Challenges in Cultivation, Research and Economics, 31 January 2010, Krokos, Kozani, Greece), pp. 165–170.

Omidi, H., Naghdibadi, H.A., Golzad, A., Torabi, H., Fotoukian, M.H., 2009. The effect of chemical and bio-fertilizer source of nitrogen on qualitative and quantitative yield of saffron (*Crocus sativus* L.). J. Medic. Plant 8, 98–109.

Pandey, A., Srivastava, J., 2003. A note on the effect of size of corm on the sprouting and flowering of saffron. J. Sci. Hortic. 85, 211–221.

Rahmati, A., 2003. The roles of environmental factors on production, productivity, and quality of saffron. The 3rd National Symposium on Saffron. 2-3 December, Mashhad, Iran. [In Persian].

Rasouli, Z., Maleki Farahani, S., Besharati, H., 2013. Some vegetative characteristics of saffron (*Crocus sativus* L.) as affected by various fertilizers. Iran. J. Soil Res. 27, 35–46. [In Persian with English Summary].

Renau-Morata, B., Nebauer, S.G., Sánchez, M., 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.). Ind. Crop Prod. 39, 40–46.

Rezvani Moghaddam, P., Koocheki, A., Molafilabi, A., Seyyedi, S.M., 2013a. Effect of biological and chemical fertilizers on replacement corm and flower yield of saffron (*Crocus sativus* L.). Iran. J. Crop Sci. 15, 234–246. [In Persian with English Summary].

Rezvani Moghaddam, P., Koocheki, A., Molafilabi, A., Seyyedi, S.M., 2013b. 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 Agron. Technol. 1, 55–70. [In Persian with English Summary].

Rostami, M., Mohammadi, H., 2013. Effects of planting date and corm density on growth and yield of saffron (*Crocus sativus* L.) under Malayer climatic conditions. J. Agroecol. 5, 27–38. [In Persian with English Summary].

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. J. Agroecol. 2, 323–334. [In Persian with English Summary].

Sadeghi, B., 2008. Sustainable cropping of saffron in Iran. Research Report. Research Institute for Food Science and Technology, Razavi Korasan. [In Persian].

Sadeghi, B., Aghamiri, A., Negari, K., 1997. Effect of summer irrigation on increasing saffron (*Crocus sativus* L.) yield. Iranian Research Organization for Science & Technology (I.R.O.S.T.). [In Persian].

Sadeghi, B., Aghamiri, A., Negari, K., 2003a. Effect of summer irrigation on saffron flowering. 3rd National Symposium on Saffron. 2–3 December, Mashhad, Iran. [In Persian].

Sadeghi, B., Negari, K., Hatami, M., 2003b. Effect of planting date on saffron flowering. 3rd National Symposium on Saffron. 2–3 December, Mashhad, Iran. [In Persian].

Sepaskhah, A.R., Dehbozorgi, F., Kamgar-Haghighi, A.A., 2008. Optimal irrigation water and saffron corm planting intensity under two cultivation practices in a semi-arid region. Biosyst. Engin. 101, 452–462.

Sepaskhah, A.R., Kamgar-Haghighi, A.A., 2009. Saffron irrigation regime. Int. J. Plant Prod. 3, 1–16.

Shabahang, J., Khorramdel, S., Amin Ghafori, A., Gheshm, R., 2013. Effects on management of crop residues and cover crop planting on density and population of weeds and agronomical characteristics of saffron (*Crocus sativus* L.). J. Saffron Res. 1, 57–72. [In Persian with English Summary].

Sud, A.K., Paul, Y.S., Thakur, B.R., 1999. Corm rot of saffron and its management. J. Mycol. Plant Pathol. 29, 380–382.

Tavakkoli, A., Sorooshzade, A., Ghorbani Javid, M., 2014. Effect of buds removing and corm size on growth characteristics and yield of saffron (*Crocus sativus* L.). Saffron Agron. Technol. 1, 69–84. [In Persian with English Summary].

Teimori, S., Behdani, M.A., Ghaderi, M.G., Sadeghi, B., 2013. Investigation on the effect of organic and chemical fertilizers on morphological and agronomic of saffron (*Crocus sativus* L.) corm criteria. J. Saffron Res. 1, 36–47. [In Persian with English Summary].

Yarami, N., Kamgar-Haghighi, A.A., Sepaskhah, A.R., Zand-Parsa, S., 2011. Determination of the potential evapotranspiration and crop coefficient for saffron using a water-balance lysimeter. Arch. Agron. Soil Sci. 57, 727–740.

Phonological stages and formation of replacement corms of saffron (*Crocus sativus* L.) during growing period

Alireza Koocheki[1*] and Seyyed Mohammad Seyyedi[2]

1- Professor, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

2- PhD Student in Crop Ecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

*- Corresponding author E-mail: akooch@um.ac.ir

Koocheki, A., and 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): 134-154.

Submitted: 25-05-2014
Accepted: 05-07-2015

Abstract

Saffron (*Crocus sativus* L.) is a perennial and triploid- geophyte crop which can be maintained up to 8–10 years. During each season, saffron propagates exclusively by replacement corms produced from the mother corm after blooming. The new corms are formed above the old ones, so the crop density increases more and more. Therefore, the flower number and dry stigma yield of saffron are relatively low in the first year and increases to maximum in the fifth to sixth year after planting. The stigma yield of saffron largely depends on weather and soil conditions during replacement corms formation. Research activities have been conducted to developing the appropriate and new agronomic technologies can result in economic levels of production and improve the crop yield. The objective of this review article is to describe and discuss the phonological stages of saffron based on mother- replacement corms behaviors. In addition, relevant literature related to main factors affected the replacement corms behavior is reviewed.

Keywords: Dormancy stage, Flowering, Mother corm, Root systems