

Study Flowering and Effect of Various Hand Pollination Methods on Fertility of some Native *Salvia* Species of Iran

Gh. Esmaili¹, M. Azizi^{2*}, H. Aroiee², J. Vaezi³

- 1- Royesh Yakhte Neko Co (Royanak), Mahhalat City, Markazi Province, Iran
 - 2- Department of Horticulture Science and Landscape Architecture, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
 - 3- Department of Biology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
- (*- Corresponding author's Email: azizi@um.ac.ir)

Received: 14 May 2019
Revised: 15 February 2023
Accepted: 10 March 2021
Available Online: 10 March 2021

How to cite this article:

Esmaili, Gh., Azizi, M., Aroiee, H., & Vaezi, J. (2026). Study flowering and effect of various hand pollination methods on fertility of some native *Salvia* species of Iran. *Journal of Horticultural Science*, 39(4), 583-595. (In Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jhs.2021.61510.0>

Introduction

The genus *Salvia* L. (Lamiaceae) is one of the most interesting plant genera with a variety of annual, biennial, perennial and shrub forms. According to recent reports, there are 61 species of *Salvia* genus in Iran, among which 18 species are endemic. The use of *Salvia* species dates back to ancient times, and they are now being used for different purposes such as antimicrobial, anthelmintic, anti-inflammatory, tonic, carminative, digestive, Alzheimer's disease, antispasmodic as well as for traditional medicines and food industries. Compared to crop plants, the breeding programs of medicinal plants are still in nascent stages due to high biological and biochemical variations. Since breeding programs, especially in medicinal plants, are expensive, suitable mating can help reduce the costs of breeding programs. Understanding the flowering biology, reproductive systems and pollination mechanism is essential to management and protection of ecosystems and mating programs. Despite the high diversity of *Salvia* genus in Iran, there is a paucity of studies on reproductive biology.

Materials and Methods

seeds of seven *Salvia* species including *S. virgata* (with four accessions), *S. frigida*, *S. nemorosa*, *S. atropatana*, *S. macrosiphon*, *S. sclarea*, and *S. syriaca* were collected from different geographical regions. The seeds were treated by various methods such as washing, cold treatment (stratification), scarification (sand and sulfuric acid), Gibberellic acid (GA₃) and KNO₃ to enhance germination. The seedlings were produced at the greenhouse and after growing as high as 15 cm or reaching the 10-leaf stage, the seedlings were transferred to the farm. Plants phenology and flowering duration were recorded in the second year. Furthermore, some flower characteristics and pollinator were monitored. The Various pollination treatments were designed to investigate the breeding system of *Salvia* species including open pollination, spontaneous autogamy, geitonogamy, xenogamy, apomixis, and control. The self-incompatibility index (ISI) was calculated for each species in different pollination treatment.

Results and Discussion

The germination study exhibited that washing seeds for 24 h and applying 250 ppm GA₃ exerted the highest effect on seed germination. The seedlings in early growth stages required medium to high porosity (high permeability to water and air) like natural habitat, but they were sensitive to dry and high EC at these stages. The phenology studies were shown *Salvia virgata* (all accessions) and *S. nemorosa* flowered three months after



Authors retain the copyright. This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

<https://doi.org/10.22067/jhs.2021.61510.0>

cultivation and other species flowered in the second year. The results showed that all species had long flowering periods ranging from 15 (*S. atropatana*) to 41 days (*S. virgata*). Increased flowering period led to the enhancement of flower over-lapping and the sharing of the pollen among different plants or species. Two species including *S. atropatana* and *S. syriaca* had heterostyly flowers (long-styled morph). The staminal-lever-mechanism was observed in all species. The results of manual pollination indicated that open pollination provided the best treatment with the highest average of seed set (73.63%) in all species. *Salvia virgata* (A_1) with a seed set of 90.3% was the best species, and *S. syriaca* with a seed set of 51.5% demonstrated the poorest performance in open pollination system. The seed set in the xenogamy treatment of different species and accessions was in the range of 10.2 (*S. syriaca*) to 32.5% (*S. frigida*). It was observed that seed set among different species in geitonogamy and spontaneous autogamy varied widely from 2.60 - 17.30% and 2.98 - 12.18%, respectively. In treatments with a wide variety of pollen sources, the fruit set was higher, indicating that the pollen limitation triggered low seed set.

Conclusion

Salvia species in the present study have a high potential for cultivation as medicinal and ornamental due to suitable adaptability and long flowering period. *Salvia* species were relatively self-incompatible that intention to the out-crossing and breeders can use in breeding programs as a valuable characteristic. The self-incompatible and specific structure in flower and pollination are the reasons for the diversity of this taxa.

Keywords: Flower biology, Heterostyly, Open pollination, Self-incompatibility

مطالعه گل‌دهی و تأثیر روش‌های مختلف گرده‌افشانی دستی در باروری برخی از گونه‌های

سالویا (*Salvia ssp.*) بومی ایرانقاسم اسماعیلی^۱ - مجید عزیزی^{۲*} - حسین آروئی^۲ - جمیل واعظی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۲۰

مقدمه

از پیش‌نیازهای هر برنامه اصلاحی، آشنایی با جزئیات گرده‌افشانی و باروری در گیاه می‌باشد. در پژوهش پیش رو، مراحل فنولوژیکی و برخی از خصوصیات گل و همچنین فرآیند باروری گل تحت تأثیر تیمارهای مختلف گرده‌افشانی دستی در شرایط کشت‌شده برخی از گونه‌های سالویا مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که تمام گونه‌ها دارای دوره گل‌دهی طولانی بین ۱۵ روز برای گونه *S. atropatana* و تا ۴۱ روز برای گونه *S. virgata* می‌باشند. گرده‌افشانی گل‌ها اغلب توسط زنبورها و مگس‌ها صورت می‌گیرد که نشان‌دهنده دگرگشی گونه‌ها می‌باشد. کمترین نرخ سازگاری در گونه‌های *S. atropatana* (۱۶/۶ درصد) و *S. syriaca* (۲۵ درصد) مشاهده شد. گونه *S. virgata* بیشترین میزان سازگاری (۹۱ درصد) را در شرایط آب‌وهوایی مشهد نشان داد. دو گونه *S. atropatana* و *S. syriaca* با فاصله ۷/۱ و ۵/۲ میلی‌متری بین نوک پرچم تا سطح کلاله دارای گل‌های هترواستیل بودند. نتایج گرده‌افشانی دستی نشان داد که بیشترین درصد تشکیل بذر در تمام گونه‌ها با میانگین ۷۳/۶۳ درصد از طریق گرده‌افشانی آزاد حاصل گردید. تشکیل بذر در تیمار اتوگامی خودبه‌خودی به شدت پایین و بین ۳ تا ۱۲/۲ درصد بود. تشکیل بذر در تیمار ژینوگامی در محدوده بین ۱۰/۲ درصد برای گونه *S. syriaca* و ۳۲/۵ درصد برای گونه *S. frigida* بود. گونه‌های مورد مطالعه دارای ناسازگاری نسبی یا شدید بودند که از عوامل دگرگشی در این گونه‌ها می‌باشد. نتایج نشان داد که تیمارهای با امکان دسترسی به منابع دانه گرده متنوع، موفقیت بیشتری در تشکیل بذر داشتند.

واژه‌های کلیدی: زیست‌شناسی گل، خودناسازگاری، گرده‌افشانی آزاد، هترواستیلی

مقدمه

جنس سالویا با بیش از ۱۰۰۰ گونه در سرتاسر جهان، بزرگ‌ترین جنس خانواده لابیاسه می‌باشد (Claßen-Bockhoff et al., 2003). در این جنس، گونه‌ها به شکل‌های رویشی یک‌ساله، دوساله، چندساله و درختچه‌ای وجود دارند. طبق آخرین گزارش‌ها، ۶۱ گونه از این جنس در ایران رویش دارد که ۱۸ گونه آن بومی می‌باشند (Jamzad, 2013). استفاده از گونه‌های سالویا به‌خصوص در درمان به زمان‌های بسیار دور برمی‌گردد و امروزه نیز با اهداف مختلفی مانند ضدباکتری و التهاب، درمان سرماخوردگی، مشکلات گوارشی، درمان بیماری

آلزایمر و به‌عنوان آنتی‌اکسیدان در مصارف دارویی و غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Bahadori et al., 2017).

در دهه‌های اخیر، اصلاح گیاهان دارویی به دلیل تنوع زیست‌شناسی و بیوشیمیایی است. اصلاح گیاهان دارویی به دلیل تنوع زیست‌شناسی و بیوشیمیایی در مقایسه با محصولات رایج، هنوز در مراحل اولیه می‌باشد (Jorge et al., 2015). از آنجایی که برنامه‌های اصلاحی، به‌خصوص در گیاهان دارویی همراه با هزینه‌های بالا می‌باشند، بنابراین آشنایی با زیست‌شناسی گل‌دهی و انتخاب سیستم تلاقی مناسب باعث کاهش این هزینه‌ها می‌گردد (Evans et al., 2003; Nautiyal et al., 2009; Nebot et al., 2016). علاوه بر آن، درک عمیق نقش گرده‌افشانی و سیستم‌های گل‌دهی گیاهان در امنیت غذایی انسان‌ها و حیوانات، فرآیند تکامل گونه‌ها و حفاظت از گونه‌های در خطر انقراض می‌تواند باعث بازنگری در اهمیت آن شود (Campos et al., 2009; Gan et al., 2013).

۱- شرکت رویش یاخته نکو (رویانک)، شهر محلات، استان مرکزی، ایران
۲- گروه علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۳- گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(*) نویسنده مسئول: (Email: azizi@um.ac.ir)

اگرچه برخی از گونه‌های زیرجنس *Audibertia* فاقد این سازوکار هستند (Ott et al., 2016). نقش سایر گرده‌افشان‌ها مثل پرندگان نیز در برخی از گونه‌های این جنس گزارش شده است (Sanchez et al., 2002). این تنوع در گرده‌افشان‌ها، یکی از عوامل تنوع درون و بین گونه‌ای در این جنس می‌باشد. سازوکارهای مختلفی از جمله کلیستوگامی، ژینوگامی، ژینوگامی و آپومیکسی در تشکیل بذر گونه‌های سالویا گزارش شده است (Barrett et al., 2000; Jamzad, 2013)، اگرچه برخی معتقدند که بیشتر گونه‌های سالویا خودسازگار می‌باشند (ZhenQiao et al., 2009). دیگوگامی^۱، هرکوگامی^۲، ژینوداشیسی^۳ و خودناسازگاری از جمله عواملی هستند که دگرگشتی را در این جنس تسریع می‌کنند (Navarro, 1997; Takano, 2013).

تاکنون در مطالعات متعدد، جنبه‌های مختلف زیست‌شناسی گل‌دهی جنس سالویا شرح داده شده است که شامل بوم‌شناسی گرده‌افشانی در گونه‌های *Salvia verbenaca* L. (Navarro, 1997)، *Salvia brandegeei* Munz (Barrett et al., 2000)، *Salvia splendens* (Miyajima, 2001)، *Salvia nipponica* (Miyake & Sakai, 2005) و *Salvia haenkei* (Claßen-Bockhoff, 2006)، سازوکارهای انتقال دانه گرده (Wester & Claßen-Bockhoff, 2007)، تولید بذر در گونه *Salvia splendens* (Sanchez et al., 2002) و سیستم اصلاحی در گونه *S. smyrnaea* (Subaşı & G`üvensen, 2011) شرح داده شده است. علی‌رغم تنوع بالای این جنس در ایران، خلأ مطالعاتی فراوانی در زمینه زیست‌شناسی تولید مثلی این جنس و بسیاری از جنس‌های گیاهان دارویی وجود دارد.

در این پژوهش، بذر هفت گونه سالویا شامل *S. syriaca*، *S. S. macrosiphon*، *S. nemorosa*، *S. virgata*، *S. frigida* و *S. atropatana* از رویشگاه‌های طبیعی جمع‌آوری شدند. تمام گونه‌های مورد اشاره، تنوع زیادی از نظر خصوصیات ریخت‌شناختی، بیوشیمیایی و گرده‌افشانی دارند. بسیاری از این گونه‌ها به‌دلیل مشکلاتی مثل خشکسالی و چرای دام، نیاز به حفاظت و اهلی‌سازی دارند. در این پژوهش، زیست‌شناسی گل‌دهی و سیستم تولیدمثلی گونه‌های فوق در شرایط مزرعه‌ای مورد مطالعه قرار گرفت.

در گیاهان گلدار، سیستم‌های باروری متنوع گرده‌افشانی از دگرگشتی اختیاری تا دگرگشتی اجباری وجود دارد (Qu & Widrlechner, 2011). این تنوع تحت تأثیر برخی عوامل از جمله ساختار گل، شرایط محیطی، حضور یا عدم حضور گرده‌افشان‌ها و غیره می‌باشد (Castro et al., 2008a). بنابراین لازم است که مطالعات جامعی در مورد اثرات عوامل بوم‌شناختی بر زیست‌شناسی گل‌دهی، گرده‌افشان‌ها و برهم‌کنش گیاه، شرایط محیطی و گرده‌افشان‌ها صورت گیرد (Harder & Johnson, 2009). بنابراین علاوه بر ساختار گل از نظر زمان (همزمانی دانه گرده و مادگی) و مکان (ریخت‌شناسی گل و ساختار گل‌آذین)، حضور گرده‌افشان‌ها تأثیر مهمی در انتخاب سیستم تلاقی دارد (Castro et al., 2008b; Dudash & Fenster, 2001)، چراکه هرگونه کاهش در جمعیت گرده‌افشان‌ها به‌طور مستقیم باعث کاهش کمیت و کیفیت نتاج و تسریع خودگشتی در گونه‌های خودسازگار می‌گردد (Rodríguez-Pérez, 2005).

با توجه به تنوع در مدل‌های تولیدمثلی در گیاهان گلدار مثل دیگوگامی، تک و دو پایگی، هترواستیلی، خودناسازگاری و نرعیسمی، درک عمیق آن‌ها منجر به گزینش بهترین سیستم اصلاحی می‌گردد (Gaudeul & Till-Bottraud, 2004). هر یک از راهبردهای تولیدمثلی دارای مزایا و معایبی می‌باشند (Wright et al., 2013)، به‌عنوان مثال، خودگشتی منجر به تشکیل بذر در عدم حضور گرده‌افشان‌ها و حتی در شرایط محیطی نامساعد می‌گردد (Cursach & Rita, 2012; Jorge et al., 2015). این گیاهان به‌دلیل هموزیگوس بودن، فاقد ژن‌های کشنده می‌باشند و در مقابل خودگشتی مقاوم می‌باشند. از طرف دیگر، این گیاهان به‌دلیل عدم جریان‌ژنی، مقاومت پایین‌تری نسبت به شرایط محیطی متنوع دارند (Charlesworth, 2006; Kalisz & Vogler, 2003; Pannell & Barrett, 1998).

بسیاری از گونه‌های سالویا دارای گل‌های جذاب، نکتار فراوان و دوره گل‌دهی طولانی هستند (Silva et al., 2005). بنابراین زنبورها و مگس‌ها از عمده گرده‌افشان‌های این جنس می‌باشند (Celep et al., 2014). گونه‌های سالویا دارای سیستم گرده‌افشانی منحصربه‌فرد با نام Staminal-Lever-Mechanism می‌باشند که در آن به‌دلیل ساختار اهرم‌مانند پرچم‌های گل و خروج نوک کلاله از کاسه گل، در زمان فعالیت حشرات جهت جمع‌آوری شهد، منجر به حرکت روبه‌پایین پرچم‌ها و تماس با سطح پشتی حشرات می‌گردد. این سازوکار به‌نوعی یک سازگاری محیطی برای این جنس محسوب می‌گردد (Claßen-Bockhoff et al., 2004; Will et al., 2015; Will & Claßen-Bockhoff, 2017; Şenol et al., 2017).

1- Dichogamy

2- Hercogamy

3- Gynodioecious

مواد روش‌ها

مواد گیاهی و منطقه مورد مطالعه

این مطالعه در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد طی دو سال ۹۵ و ۹۶ اجرا گردید. ارتفاع مزرعه ۱۰۳۹ متر از سطح دریا می‌باشد. بذر هفت گونه سالویا از مناطق رویشگاهی مختلف جمع‌آوری شده و نمونه‌های گیاهی در هرباریوم پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی شناسایی شدند (جدول ۱).

جوانه‌زنی بذور و تولید دانها

بذر تمامی گونه‌ها به روش‌های مختلف مانند شست‌وشو با آب روان، سرمادهی مرطوب، خراش‌دهی و اسیدجیبرلیک تیمار شدند.

جدول ۱- مشخصات محل جمع‌آوری گونه‌های سالویا

Table 1- The collected sites characteristics of *Salvia* species.

گونه Species	محل جمع‌آوری Collected location	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude	ارتفاع محل جمع‌آوری Altitude (m)
<i>S. virgata</i> (A ₁)	Khorasan-e-Shomali-Darkesh	37°26'31''	56°45'08''	1239
<i>S. virgata</i> (A ₂)	Fars-Eghelid	30°30'45''	52°43'51''	2559
<i>S. virgata</i> (A ₃)	Isfahan-Fereydan	33°08'45''	50°16'22''	2360
<i>S. virgata</i> (A ₄)	Isfahan-Afous	33°00'14''	50°00'42''	2557
<i>S. frigida</i>	Azarbayijan-Targara	37°12'54''	44°51'33''	1995
<i>S. nemorosa</i>	Isfahan-Buin-e-Meyandasht	33°01'00''	50°20'16''	2330
<i>S. atropatana</i>	Khorasan-e-Shomali-Lojali	37°43'18''	57°54'42''	1723
<i>S. macrosiphon</i>	Khorasan-e-Razavi-Kalatenaderi	36°36'35''	59°54'54''	1821
<i>S. sclarea</i>	Khorasan-e-Shomali-Reein	37°23'11''	57°23'07''	1889
<i>S. syriaca</i>	Isfahan-Buin-e-Meyandasht	33°01'00''	50°20'16''	2699

فنولوژی گونه و ریخت‌شناسی گل

چرخه زندگی گونه‌ها در سال دوم شامل مرحله رزت، دوره گل‌دهی تا تشکیل بذر و خشک شدن بوته‌ها یادداشت شد. از هر گونه، حداقل ۱۰ گل از گیاهان مختلف انتخاب و زمان باز شدن و ریزش گل‌ها به‌صورت روزانه ثبت گردید. تصویر میکروسکوپی با بزرگنمایی ۱۰x از گل‌های هر گونه تهیه شد. برخی از خصوصیات گل از قبیل طول پرچم و مادگی و فاصله بین نوک پرچم تا سطح کلالة توسط بینوکولار اندازه‌گیری گردید. همچنین گرده‌افشان‌های گل با بازدید گل‌ها در ساعات مختلف روز شناسایی گردید.

سیستم اصلاحی

برای مطالعه سیستم اصلاحی گونه‌های مختلف سالویا، تیمارهای مختلف گرده‌افشانی براساس روش گان و همکاران (Gan et al., 2013) و دافنی (Dafni, 1992) در طی بهار و تابستان سال ۱۳۹۶ اعمال گردید. بدین منظور، گل‌ها پیش از باز شدن در بوته‌های انتخاب‌شده به‌وسیله پارچه‌های مناسب که مانع ورود گرده‌افشان‌ها به

سپس بذرها به پتری‌دیش و ژرمیناتور با شرایط نوری ۱۶/۸ و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند. روند جوانه‌زنی در یک دوره ۲۰ روزه مورد مطالعه قرار گرفت. در ادامه، بهترین تیمار جوانه‌زنی انتخاب و مجدداً بذور تیمار شده و به گلخانه با محیط کشت‌های مختلف مثل خاک، خاکبرگ، ماسه با نسبت‌های مختلف و پیت ماس، کوکوپیت و پرلیت با نسبت‌های مختلف منتقل گردید. دانها‌های با ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر یا در مرحله ۱۰ برگی به زمین اصلی منتقل شدند. برای هر گونه، سه کرت با ابعاد ۱/۵ × ۱/۵ و تعداد ۱۲ گیاهچه کشت گردید. آبیاری غرقابی و سایر عملیات از جمله وجین علف‌های هرز در موارد لازم صورت گرفت.

آن شوند، پوشانده شدند. برای گرده‌افشانی دستی پوشش روی گل‌ها برداشته و تیمارهای زیر اعمال گردید: ۱- برای اتوگامی خودبه‌خودی، گل‌ها مجدداً بدون اخته‌کردن پوشانده شدند، ۲- برای بررسی امکان وجود آپومیکیسی در گونه‌های مورد مطالعه، ابتدا گل‌ها پیش از گرده‌افشانی به‌وسیله پنس و لوپ اخته و مجدداً پوشانده شدند، ۳- برای ژیتنوگامی، گل‌ها ابتدا اخته شده و در ادامه با گرده‌هایی که از گل‌های همان گیاه تهیه شده بودند تلاقی داده و مجدداً پوشانده شدند، ۴- ژینوگامی، در این تیمار گل‌ها اخته شده و به‌وسیله گرده حاصل از گیاه دیگر از همان گونه تلاقی و پوشانده شدند، ۵- گرده‌افشانی آزاد، بدون هیچ‌گونه محدودیت اجازه گرده‌افشانی به گل‌ها به‌وسیله گرده‌افشان‌ها داده شد.

قبل از ریزش بذرها، همه آن‌ها جمع‌آوری شدند و برای هر گونه و تیمار، تعداد بذر سالم (دارای آلبومن و جنین) و بذره‌های پوک حاصل از هر گل ثبت گردید (در جنس سالویا گل‌ها چهار برجه‌ای بوده و هر گل پتانسیل تولید چهار بذر را دارا می‌باشد). علاوه‌بر آن شاخص

گل‌دهی نقش کلیدی در تعداد گرده‌افشان بازدیدکننده از گل و همچنین تشکیل بذر دارد (Castro et al., 2008a).

فنولوژی گونه‌ها و ریخت‌شناسی گل

روند فنولوژیکی گونه‌های مختلف در شکل ۱ ارائه شده است. تمام دانه‌ها در اوایل بهار به زمین اصلی انتقال داده شدند. دو گونه *S. nemorosa* و *S. virgata* سه ماه پس از انتقال به گل‌دهی رفتند، در صورتی که سایر گونه‌ها در سال دوم به گل رفتند. همان‌طور که در شکل ۱ مشخص است، تمام گونه‌ها نیازمند به تولید تعداد مشخصی برگ و طی مدت مشخص قبل از شروع گل‌دهی می‌باشند (۴۸ تا ۹۶ روز). تنوع وسیعی در طول دوره گل‌دهی گونه‌ها مشاهده شد. طولانی‌ترین (۴۱ روز) و کوتاه‌ترین (۱۵ روز) دوره گل‌دهی به ترتیب متعلق به دو گونه *S. virgata* و *S. atropatana* بود. افزایش دوره گل‌دهی منجر به افزایش شانس همزمانی باز شدن گل‌ها و در نهایت انتقال دانه گرده بین گیاهان و گونه‌های مختلف می‌گردد (Silva et al., 2005). فاصله بین نوک مادگی تا نوک پرچم‌ها بین صفر تا 0.33 ± 0.17 میلی‌متر بود (جدول ۲). به جز دو گونه *S. atropatana* و *S. syriaca*، در سایر گونه‌ها فاصله موجود بین نوک مادگی و نوک پرچم‌ها به دلیل بلوغ زودتر پرچم‌ها و آزادسازی دانه گرده قبل از بلوغ و رسیدن به حداکثر اندازه مادگی می‌باشد. به همین دلیل در برخی از مطالعات، گل‌دهی در سالوایاها به مراحل مختلف شامل باز شدن گل، مرحله نرینگی، مرحله دو جنسی و مرحله مادگی تقسیم‌بندی می‌شود (Ott et al., 2016).

تمام گونه‌ها دارای تعداد زیادی گل‌آذین در هر گیاه و هر گل‌آذین دارای تعداد زیادی گل‌آذین جانبی^۳ می‌باشد که در هرکدام بین سه تا هشت گل وجود داشت. گل‌ها دارای مادگی با خامه دوشاخه‌ای می‌باشد و تخمدان دارای چهار برچه می‌باشد. گل‌ها دارای دو لوپ و دارای رنگ‌های متنوع می‌باشند (جدول ۱، شکل ۲). دو گونه *S. frigida* و *S. atropatana* به ترتیب با سه و چهار ماه کمترین طول دوره زندگی را داشتند و دو گونه *S. virgate* و *S. sclarea* با شش ماه بلندترین دوره رشد و زندگی را در سال دوم داشتند.

در تمام گل‌های بالغ، مادگی به‌طور قابل توجهی از پوشش گل خارج شده بودند و پرچم‌ها محتوی مقدار بسیار زیادی دانه گرده بودند (شکل I-۲). فاصله بین نوک مادگی و نوک پرچم‌ها پس از باز شدن گل‌ها ایجاد می‌شود، بنابراین هترواستیلی واقعی نمی‌باشد.

خودناسازگاری^۱ براساس تقسیم تعداد بذر تشکیل‌شده در تیمار ژیتوگامی بر تعداد بذر تشکیل‌شده در تیمار ژنوگامی محاسبه گردید، بر این اساس اگر ISI بزرگ‌تر از یک باشد بیانگر خودسازگاری، اگر بین ۰/۲ و یک باشد بیانگر خودناسازگاری نسبی و اگر کمتر از ۰/۲ باشد بیانگر خودناسازگاری شدید گونه مذکور می‌باشد.

آنالیز آماری

میانگین و انحراف معیار داده‌ها با نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۳ محاسبه گردید. تشکیل بذر در گونه‌های مختلف در گرده‌افشانی دستی با نرم‌افزار جامپ (JMP.8) آنالیز و مقایسه میانگین‌ها به‌وسیله آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد انجام گرفت ($p=0.05$).

نتایج و بحث

جوانه‌زنی بذر و تولید دانه‌ها

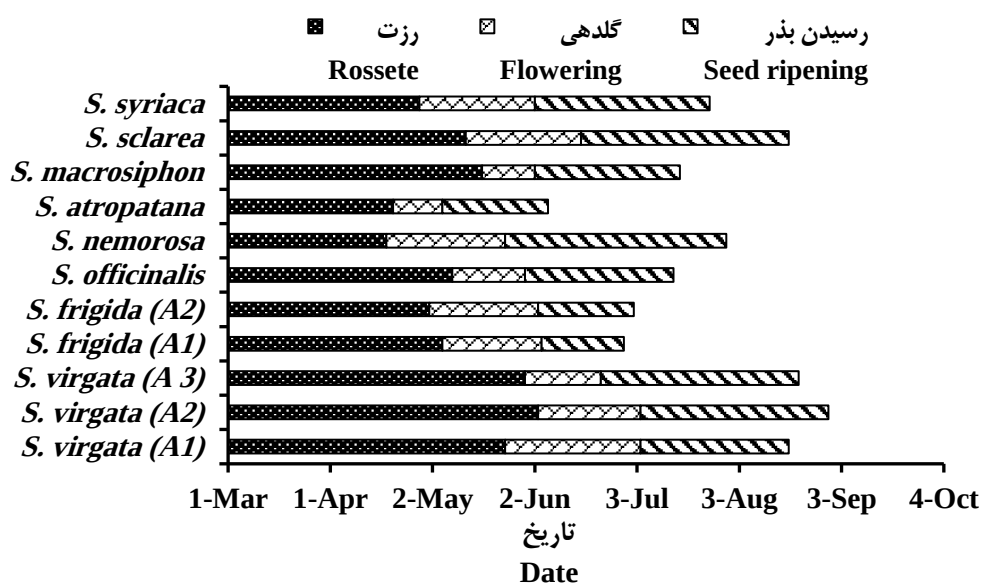
مطالعه جوانه‌زنی گونه‌های مختلف سالویا نشان داد که شست‌وشوی بذر با مدت ۲۴ ساعت و کاربرد اسیدجیبرلیک ۲۵۰ پی‌پی‌ام به مدت ۲۴ ساعت، بیشترین تأثیر را در افزایش جوانه‌زنی تمام گونه‌ها داشت (داده‌ها آورده نشده است). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که این گونه‌ها دارای ترکیبات بازدارنده جوانه‌زنی و همچنین خواب^۲ می‌باشند. اغلب گیاهان در طبیعت جهت حفظ بقاء، سیستم‌های خواب مختلف دارند و اغلب این دسته بذور دارای برخی از ترکیبات بازدارنده جوانه‌زنی هستند که با شست‌وشو از بین می‌روند. نقش مثبت اسیدجیبرلیک در این پژوهش احتمالاً به دلیل نیاز سرمایی بذر می‌باشد. شرایط محیطی و تعادل هورمونی بذر نقش کلیدی در جوانه‌زنی بذور دارند (۳۲).

کاربرد محیط کشت‌های مختلف در تولید دانه‌ها نشان داد که این گونه‌ها (به‌خصوص در مراحل اولیه رویش) نیاز به محیط کشت سبک و با نفوذپذیری بالا دارند، همانند محیط رویشگاه‌های طبیعی این گونه‌ها، همچنین به خشکی و EC بالا در این مرحله بسیار حساس می‌باشند. در این پژوهش، میزان سازگاری گونه‌های مختلف پس از انتقال به مزرعه در دوره زمانی ۱۶ ماهه مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۲). نتایج نشان داد که بیشترین سازگاری متعلق به گونه به‌میزان *S. virgata* (به‌میزان ۹۱/۶ درصد) و پس از آن گونه *S. nemorosa* (۸۳/۳ درصد) و کمترین سازگاری متعلق به گونه *S. atropatana* (۱۶/۶ درصد) می‌باشد. سازگاری گونه‌های مختلف به‌صورت قدرت رشد، تولید گل و بذور بارور تعریف شد. طول دوره

1- Self-Incompatibility Index

2- Dormancy

3- Verticillaster



شکل ۱- مقایسه مراحل فنولوژیکی مهم گونه‌های سالویا در سال دوم پس از انتقال دانه‌ها

Figure 1- Comparison of important phenology steps of *Salvia* species at second year life after seedling transplantation



شکل ۲- تصویر گل در گونه‌های مختلف سالویا

Figure 2- Flower pictures in various *Salvia* species

S. sclarea :H *S. macrosiphon* :G *S. nemorosa* :F *S. virgata*-A4 :E *S. virgata*-A3 :D *S. virgata*-A2 :C *S. virgata*-A1 :B *S. frigida* :A
 I: آزاد شدن دانه گرده پس از بلوغ بساک در گونه *S. nemorosa* (100x)
 A: *S. frigida*; B: *S. virgata* (A1); C: *S. virgata* (A2); D: *S. virgata* (A3); E: *S. virgata* (A4); F: *S. nemorosa*; G: *S. macrosiphon*; H: *S. sclarea*; I: The pollens release after anther maturation (100x, *S. nemorosa*)

اگرچه در دو گونه *S. syriaca* و *S. atropatana* فاصله ۷/۱ و ۵/۲ میلی‌متر بین نوک مادگی و نوک پرچم‌ها هترواستیلی مشاهده شد. در این پژوهش نرعیقیمی مشاهده نشد (جدول ۲). هرچند نیاز است که مطالعات گسترده‌تری در فصل گل‌دهی برای نتیجه‌گیری در مورد وضعیت جنسیت گل‌ها در این گونه‌ها انجام شود. نتایج مربوط به مشاهده گرده‌افشان‌ها نشان داد که زنبورها و مگس‌ها نقش عمده گرده‌افشانی و تشکیل بذر را در این گونه‌ها برعهده دارند. سایر حشرات مثل تعداد محدودی از گونه‌های پروانه‌ها و سوسک‌ها نیز مشاهده شدند، اما به نظر می‌رسید که سطح بدن این حشرات با پرچم‌ها و مادگی در تماس نبوده و بیشتر در جمع‌آوری دانه گرده یا شکار سایر حشرات نقش دارند.

به‌طور کلی، بیشتر گونه‌های سالویا به داشتن پرچم‌های متحرک و بازوی متحرک در پایه پرچم که باعث تماس بساک‌ها با سطح بدن حشرات می‌شود، شهرت دارند. این سازوکار در مطالعه حاضر نیز مشاهده شد، بدین صورت که با تلاش حشرات جهت نفوذ به داخل گل و جمع‌آوری شهد و با برخورد به بازویی که در قاعده پرچم‌ها وجود دارد باعث خم شدن پرچم‌ها به سمت پایین و تماس بساک با سطح پشتی حشرات می‌گردد (شکل ۳). سنول و همکاران (Şenol et al., 2017) تاکسون‌های مختلفی از حشرات مثل دوبرالان (Diptera) و Hymenoptera را برای گرده‌افشانی گونه *S. sclarea* معرفی کردند. اوتا و همکاران (Ott et al., 2016) در بررسی ساختار گل گونه *S. apiana* سیستم گرده‌افشانی اختصاصی برای این گونه معرفی کردند. در این گیاه، بیشترین مشاهده مربوط به زنبور عسل بود، اما زنبورهای بزرگ‌تر نقش مؤثرتری در گرده‌افشانی این گونه برعهده داشتند. بر طبق نتایج پژوهش‌های پیشین، گل‌های سالویا حشرات مختلفی را به سمت خود جلب می‌کنند که بیانگر منشأ^۱ هر گونه می‌باشد.

سیستم اصلاح

نتایج مربوط به تیمارهای مختلف گرده‌افشانی در جدول ۳ آورده شده است. نتایج آنالیز آماری داده‌ها نشان داد که اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ($p < 0.05$) بین تیمارهای مختلف گرده‌افشانی و گونه‌های سالویا وجود دارد. همان‌طور که مشخص است، بیشترین درصد تشکیل بذر برای همه گونه‌ها در گرده‌افشانی آزاد به دست آمد (بین ۵۱/۵ تا ۹۰/۸ درصد). مقایسه سایر تیمارها نشان داد که بیشترین درصد تشکیل بذر به‌ترتیب در تیمار ژینوگامی، ژیتنوگامی و اتوگامی خودبه‌خودی مشاهده شد. تشکیل بذر تیمار

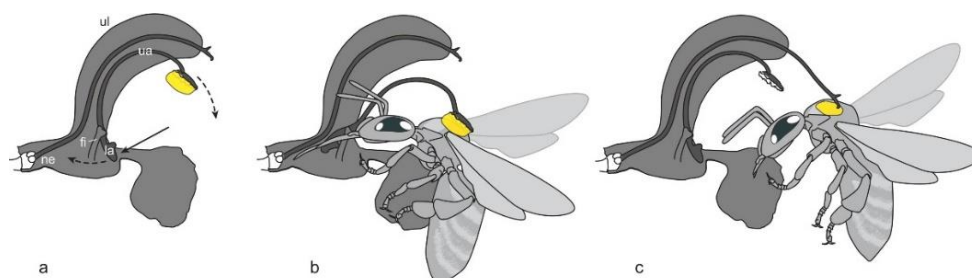
اتوگامی خودبه‌خودی بین ۲/۹۸ تا ۱۲/۲ درصد بود که نشان‌دهنده اهمیت گرده‌افشانی و احتمالاً خودناسازگاری در این گونه‌ها می‌باشد. در تیمار مربوط به بررسی آپومیکسی، هیچ‌گونه تشکیل بذر به‌جز در گونه *S. virgata* به‌میزان ۲/۸۹ درصد مشاهده نشد. البته برای نتیجه‌گیری قطعی درباره آن نیاز به مطالعات بیشتری می‌باشد. مقایسه تشکیل بذر در گونه‌های مختلف نشان داد که در سه ژنوتیپ شامل گونه *S. virgate* (جمعیت یک و دو) و گونه *S. macrosiphone* تشکیل بذر بیش از ۸۰ درصد بود. در این پژوهش، هیچ‌گونه همبستگی بین طول دوره گل‌دهی و تشکیل بذر مشاهده نشد، اما روشن است که با افزایش طول دوره گل‌دهی، شانس بازدید گل توسط گرده‌افشان‌ها و تشکیل بذر افزایش می‌یابد.

اگرچه در تمام گل‌ها، پتانسیل تشکیل چهار بذر در هر گل وجود دارد (چهار برجه)، اما این حالت تنها در تیمار گرده‌افشانی آزاد مشاهده شد و در سایر تیمارها بسیار کمتر از پتانسیل تئوری بود. بنابراین علاوه‌بر عامل گرده‌افشان سایر عوامل مثل ژنتیک گیاه و شرایط محیطی در گرده‌افشانی مؤثر و تشکیل بذر نقش دارند. در نتایج حاضر، تفاوت در بین جمعیت‌های مختلف یک گونه نیز مشاهده شد. بین جمعیت‌های مختلف گونه *S. virgata* بیشترین درصد تشکیل بذر در جمعیت یک و در تیمار گرده‌افشانی آزاد به دست آمد. بنابراین علی‌رغم کشت همه گونه و جمعیت‌ها در یک محل، شرایط جغرافیایی بر روی سیستم تلاقی و تکامل ساختار گل تأثیرگذار می‌باشد.

در پایان آزمایش گرده‌افشانی، شاخص خودناسازگار (ISI) برای همه گونه‌ها محاسبه شد (جدول ۳). نتایج نشان داد که این شاخص در گونه‌های مختلف متفاوت می‌باشد. بر این اساس، گونه‌های *S. virgata* (جمعیت سوم)، *S. frigida* و *S. nemorosa* خودناسازگاری شدید دارند ($ISI < 0.2$). بیشتر گونه‌ها نسبتاً خودناسازگاری می‌باشند. نکته قابل توجه، تفاوت این شاخص در جمعیت‌های مختلف یک گونه (گونه *S. virgata* و *S. frigida*) می‌باشد که نشان‌دهنده نقش کلیدی منابع گرده در باروری گل‌ها می‌باشد. به‌طور کلی، بیشترین درصد تشکیل بذر در شرایط گرده‌افشانی آزاد تولید شد.

مقایسه تیمار ژیتنوگامی و ژینوگامی نشان داد در شرایطی که دانه گرده از منابع دیگر (گیاه دیگر از همان گونه) تأمین گردد به‌خصوص در گونه‌های خودناسازگار، شاخص تشکیل بذر افزایش می‌یابد. بنابراین منشأ دانه گرده به‌طور معنی‌داری تشکیل بذر را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در پژوهش‌های پیشین، سطوح مختلفی از خودناسازگاری در گونه‌های سالویا گزارش شده است. در این مطالعه نیز تنوع در شاخص ISI مشاهده شد (جدول ۳). شاخص تشکیل بذر در تیمار

اتوگامی خودبه‌خودی بسیار پایین می‌باشد که احتمالاً به‌دلیل هترواستیلی از نوع دیکوگامی (بلوغ پرچم‌ها زودتر از مادگی اتفاق می‌افتد) در برخی از گونه‌ها می‌باشد و منجر به افزایش شانس دگرگشتی می‌گردد.



شکل ۳- سازوکار اختصاصی گرده‌افشانی دانه‌گرده در برخی از گونه‌های سالویا (Staminal-Lever-Mechanism)

Figure 3- Exclusive mechanism of pollination in some *Salvia* species. Longitudinal sections of flower

a: برش طولی گل شامل: نکتار (ne)، میله پرچم (fi)، بازوی پایینی پرچم (la)، بازوی بالای پرچم (ua) و لب بالای گل (ul); b: گرده‌افشان جهت جمع‌آوری نکتار، بازوی پایینی را به سمت پایین فشار می‌دهد که منجر به حرکت روبه‌پایین و تماس با سطح پشتی حشره می‌گردد و دانه‌های گرده در سطح بدن حشره قرار می‌گیرند؛ c: گرده‌افشان در بازدید از گل دیگر، دانه گرده موجود به کلاله گل جدید منتقل می‌شود.

a: Longitudinal section of a flower, including: Nectar (ne), Filament (fi), Lower lever arm (la), Upper lever arm (ua), Upper lip (ul); b: The pollinator has to push the lower lever arm backwards to reach the nectar. Thereby, the upper lever arms swing downwards and deposit pollen (black) on its body; c: The pollinator visits another flower, pollen may be transferred to the stigma.

(شکل اقتباس از Stöbbe et al., 2016)

(The figure adapted from Stöbbe et al., 2016)

جدول ۲- طول دوره گل‌دهی، سازگاری و شدت هترواستیلی در گونه‌های سالویا در شرایط آب‌وهوایی مشهد

Table 2- Flower duration, adaptation and heterostyly rate of different *Salvia* species at Mashhad weather condition

گونه Species	نرخ سازگاری پس از یک سال Ratio of adaptability after a year (%)	دوره گل‌دهی Flowering duration (Day)	تاریخ شروع گل‌دهی Date of start flowering	تاریخ اتمام گل‌دهی Date of end flowering	فاصله بین نوک پرچم تا سطح کلاله Distance between anther tip and stigma surface (mm)	طول پرچم Stamen length (mm)	طول مادگی Pistil length (mm)
<i>S. virgata</i> (A ₁)	65.0±5.7	40.7±2.5	30 April 2017	10 June 2017	2.5±0.08	11.1±0.2	16.1±0.2
<i>S. virgata</i> (A ₂)	91.0±2.4	30.7±2.9	16 May 2017	16 June 2017	2.4±0.12	11.1±0.2	18.0±0.5
<i>S. virgata</i> (A ₃)	65.3±2.5	22.7±2.5	8 May 2017	31 May 2017	2.1±0.21	12.0±0.3	17.9±0.3
<i>S. virgata</i> (A ₄)	74.7±2.1	26.0±2.2	10 May 2017	5 June 2017	2.1±0.08	12.0±0.2	17.2±0.3
<i>S. frigida</i>	32.3±2.1	32.7±2.6	8 May 2017	10 June 2017	2.0±0.26	10.0±0.2	16.0±0.2
<i>S. nemorosa</i>	83.3±3.9	35.0±2.4	22 April 2017	31 May 2017	1.1±0.08	9.1±0.2	24.9±0.5
<i>S. atropatana</i>	16.3±2.9	15.3±2.5	20 April 2017	5 May 2017	7.1±0.33	13.1±0.3	32.1±0.6
<i>S. macrosiphon</i>	33.3±1.2	15.7±0.5	20 May 2017	5 June 2017	0.5±0.05	11.0±0.3	28.1±0.2
<i>S. sclarea</i>	75.3±2.5	34.7±2.9	14 May 2017	18 June 2017	0.0±0.0	10.9±0.1	25.0±0.2
<i>S. syriaca</i>	25.0±4.1	35.3±1.2	26 April 2017	31 May 2017	5.2±0.37	9.0±0.3	20.9±0.5

* برابر با میانگین سه تکرار ± انحراف استاندارد.

* Values are means ± SE of three replicates.

جدول ۳- تأثیر تیمارهای مختلف گرده افشانی دستی بر تشکیل بذر در گونه‌های مختلف سالویا*

Table 2- The effect of different hand pollination treatment on *Salvia* seed set*

گونه Species	گرده افشانی آزاد Open pollination				اتوگامی خودبه خودی Spontaneous autogamy			
	تعداد گل تیمار شده Number of treated flowers	حداکثر بذر قابل تشکیل Max. seeds number	بذرهای کامل Full seeds (%)	بذرهای پوک Aborted seeds (%)	تعداد گل تیمار شده Number of treated flowers	حداکثر بذر قابل تشکیل Max. seeds number	بذرهای کامل Full seeds (%)	بذرهای پوک Aborted seeds (%)
<i>S. virgata</i> (A ₁)	38	152	90.3a*	5.9d	33	132	3.0d	1.5g
<i>S. virgata</i> (A ₂)	52	208	66.6d	6.8d	35	140	12.2a	2.8f
<i>S. virgata</i> (A ₃)	37	148	81.1b	9.4bc	70	280	6.8c	1.0g
<i>S. virgata</i> (A ₄)	20	80	66.5d	8.7c	57	228	12.1a	13.3a
<i>S. frigida</i>	37	148	75.7c	11.5b	55	220	9.1b	3.2ef
<i>S. nemorosa</i>	44	176	67.2d	17.0a	42	168	6.8c	4.6d
<i>S. atropatana</i>	28	112	76.9c	8.6c	32	128	4.3d	4.0de
<i>S. macrosiphon</i>	32	128	88.5a	5.9c	35	140	8.3b	10.7b
<i>S. sclarea</i>	42	168	75.5c	7.2cd	30	120	11.7a	7.5c
<i>S. syriaca</i>	55	220	51.5e	14.6a	42	168	3.4d	2.4f
گونه Species	ژیتوگامی Geitonogamy				ژینوگامی Xenogamy			
	تعداد گل تیمار شده Number of treated flowers	حداکثر بذر قابل تشکیل Max. seeds number	بذرهای کامل Full seeds (%)	بذرهای پوک Aborted seeds (%)	تعداد گل تیمار شده Number of treated flowers	حداکثر بذر قابل تشکیل Max. seeds number	بذرهای کامل Full seeds (%)	بذرهای پوک Aborted seeds (%)
<i>S. virgata</i> (A ₁)	22	88	17.3a	2.2f	22	88	26.8b	3.3c
<i>S. virgata</i> (A ₂)	15	60	17.2a	5.0c	15	60	17.7de	3.8b
<i>S. virgata</i> (A ₃)	31	124	2.6f	3.3d	26	104	24.0c	0.0g
<i>S. virgata</i> (A ₄)	24	96	15.2b	0.0g	24	96	23.3c	1.0f
<i>S. frigida</i>	15	60	3.2f	6.0b	15	60	32.5a	0.0g
<i>S. nemorosa</i>	25	100	2.6f	2.0f	25	100	14.5fg	1.5e
<i>S. atropatana</i>	36	144	13.5c	2.8e	20	80	15.3ef	2.7d
<i>S. macrosiphon</i>	40	160	11.2d	0.0g	28	112	18.2d	5.5a
<i>S. sclarea</i>	38	152	8.6e	0.0g	22	88	12.2gh	0.0g
<i>S. syriaca</i>	35	140	2.8f	7.6a	18	72	10.2h	2.5d
گونه Species	آپومیکیسی Apomixis				رفتار تولیدمثلی ISI Fertilization behavior			
	تعداد گل تیمار شده Number of treated flowers	حداکثر بذر قابل تشکیل Max. seeds number	بذرهای کامل Full seeds (%)	بذرهای پوک Aborted seeds (%)	ISI	رفتار تولیدمثلی Fertilization behavior		
<i>S. virgata</i> (A ₁)	22	88	0	0	0.65	Relatively self-incompatible		
<i>S. virgata</i> (A ₂)	16	64	0	0	0.99	Relatively self-incompatible		
<i>S. virgata</i> (A ₃)	26	104	0	0	0.11	Severely self-incompatible		
<i>S. virgata</i> (A ₄)	26	104	2.89	0	0.65	Relatively self-incompatible		
<i>S. frigida</i>	31	124	0	0	0.10	Severely self-incompatible		
<i>S. nemorosa</i>	27	108	0	0	0.18	Severely self-incompatible		
<i>S. atropatana</i>	24	100	0	0	0.91	Relatively self-incompatible		
<i>S. macrosiphon</i>	22	88	0	0	0.61	Relatively self-incompatible		
<i>S. sclarea</i>	30	120	0	0	0.71	Relatively self-incompatible		
<i>S. syriaca</i>	18	72	0	0	0.28	Relatively self-incompatible		

* اعداد با حروف مشترک دارای اختلاف معنی داری ($p = 0.05$) با استفاده از آزمون LSD نمی‌باشند.* Numbers followed by the same letters are not significantly different ($P < 0.05$) based on LSD test.

بارت و همکاران (Barrett et al., 2000) هترواستیلی را در گونه *S. brandegeei* گزارش کردند و اظهار داشتند که میزان آن به شرایط محیطی بستگی دارد. در مطالعه حاضر، دو گونه *S. atropatana* و *S. syriaca* دارای گل‌های هترواستیل از نوع پین^۲ بودند. بنابراین یکی از دلایل دگرگشتی در برخی از گونه‌های سالویا، حضور گل‌های هترواستیل می‌باشد. از آنجایی که هترواستیلی به نوعی عامل محدودکننده انتقال دانه گرده به کلاله همان گیاه می‌باشد بنابراین

گرده افشانی آزاد منجر به بازديد به تناوب گل توسط گرده افشان‌ها و در نهایت گرده افشانی و تشکیل بذر مؤثر می‌گردد. سنول و همکاران (Senol et al., 2017) نیز بهترین تیمار (۹۸ درصد تشکیل بذر) را برای گونه *S. sclarea*، گرده افشانی آزاد معرفی کردند. در ده‌های اخیر، گزارش‌های محدودی از هترواستیلی در خانواده نعناعیان ارائه شده است. بیشتر به این دلیل که تصور می‌شد، این پدیده تنها در خانواده‌های گیاهی با گل‌های زیگومورف^۱ رخ می‌دهد.

نمی‌تواند در نرخ تشکیل بذر گونه تأثیرگذار باشد. بررسی سطح خودسازگاری در گونه *Salvia verbenac* نشان داد که این گونه خودسازگار بوده و نیازی به حضور گرده‌افشان‌ها ندارد (Navarro, 1997)، اگرچه در مطالعه دیگر روی گونه *Salvia verbenaca* عنوان شد که این گونه نیز خودسازگار می‌باشد، اما عدم حضور گرده‌افشان‌ها مهم‌ترین محدودیت در تشکیل بذر آن می‌باشد (Ott et al., 2016).

نتیجه‌گیری

گل، اندامی است که تأثیر مستقیم در جذب گرده‌افشان‌ها دارد و ساختار آن به‌شدت باروری آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. گونه‌های مورد مطالعه، سازگاری خوبی در شرایط آب‌وهوایی مشهد نشان دادند و به‌جهت دوره گل‌دهی طولانی علاوه‌بر کاربرد به‌عنوان گیاه دارویی می‌توان از آن‌ها در فضای سبز نیز استفاده کرد. در پژوهش حاضر، کاهش تشکیل بذر در گل‌های پوشانده‌شده به‌دلیل عدم گرده‌افشانی مؤثر می‌باشد، بنابراین برای باروری مؤثر، حضور گرده‌افشان‌ها به‌خصوص در گونه‌های خودسازگار اهمیت حیاتی دارد. خودسازگاری و ساختار خاص گل در گونه‌های سالویا منجر به دگرگشتی و ایجاد تنوع درون و بین گونه‌ای می‌گردد. حضور گل‌های خودسازگار به‌عنوان یک وسیله ارزان در برنامه‌های اصلاحی برای جلوگیری از خودگشتی و حذف پس‌روی خویش‌آمیزی استفاده می‌شود. نتایج این پژوهش کمک به درک عمیق‌تر از فرآیند گرده‌افشانی گونه‌ها و باعث فراهم شدن راهبردهای مؤثر در حفظ ذخایر ژنتیکی و بهبود فرآیند تولید می‌گردد.

اهمیت گرده‌افشان‌ها در این گونه از گیاهان کلیدی می‌باشد. هرچند در ده‌های اخیر، عدم توجه به مسائل زیست‌محیطی منجر به تهدید برخی از این گرده‌افشان‌ها و به‌طور غیرمستقیم زادآوری گیاهان شده است (Miyajima, 2001). وجود فاصله مکانی بین پرچم‌ها و سطح دانه گرده در برخی از گونه‌های سالویا توسط سانچز و همکاران (Sanchez et al., 2002) نیز گزارش شده است. پدیده دیگری که تشکیل بذر را در برخی گونه‌های سالویا تحت تأثیر قرار می‌دهد، پروتاندری (فاصله زمانی بین بلوغ دانه گرده و پذیرش کلاله) می‌باشد. البته در برخی از گونه‌ها به‌دلیل تعداد زیاد گل، این فاصله زمانی در یک گل به‌وسیله سایر گل‌ها به شرط گرده‌افشانی مؤثر بی‌تأثیر می‌شود.

موفقیت تشکیل بذر در تیمارهای با تنوع دانه گرده نشان‌دهنده تأثیر محدودیت دانه گرده بر تشکیل بذر است و اینکه گرده‌افشانی در این گونه‌ها لازمه تولیدمثل مؤثر می‌باشد. در مطالعات قبلی نیز سطوح مختلفی از خودسازگاری در گونه‌های سالویا ارائه شده است. به‌عنوان مثال سوباسی و گونس (Subaşı & Güvensen, 2011) خودسازگاری نسبی را در گونه *Salvia smyrnaea* گزارش کردند یا گونه *Eriope blanchetii* متعلق به خانواده نعنائیان به‌عنوان گونه نسبتاً خودسازگار معرفی شده است. سنول و همکاران (Şenol et al., 2017) گونه *S. sclarea* را به‌عنوان گونه نسبتاً خودسازگار معرفی کردند (ISI = 0.49). در پژوهش مشابه دیگر بر روی گونه *Salvia splendens*، نرخ تشکیل بذر در گیاهان پوشانده‌شده (با محدودیت گرده‌افشانی) و گرده‌افشانی آزاد به‌ترتیب ۰/۷۶ و ۱/۳۰ بذر در هر گل گزارش شد (Miyajima, 1996). در گزارش دیگر، سانچز و همکاران (Sanchez et al., 2002) نتیجه گرفتند که منشأ دانه گرده

References

1. Bahadori, M.B., Dinparast, L., Zengin, G., Sarikurkcu, C., Bahadori, S., Asghari, B., & Movahhedine, N. (2017). Functional components, antidiabetic, anti-Alzheimer's disease, and antioxidant activities of *Salvia syriaca* L. *International Journal of Food Properties*, 20(8), 1761–1772. <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1218893>
2. Barrett, S.C.H., Wilken, D.H., & Cole, W.W. (2000). Heterostyly in the Lamiaceae: The case of *Salvia brandegeei*. *Plant Systematics and Evolution*, 223(3–4), 211–219. <https://doi.org/10.1007/BF00985280>
3. Campos, C.C., Duarte, J.F., Tristão, R.A., & Borém, D.M.C. (2009). Floral biology and breeding mechanisms of *Tibouchina heteromalla* Cogn. in rocky outcrops in the south of Minas Gerais. *Brazilian Journal of Ecology*, 8(2), 85–97.
4. Castro, S., Silveira, P., & Navarro, L. (2008a). How flower biology and breeding system affect the reproductive success of the narrow endemic *Polygala vayredae* Costa (Polygalaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society*, 157(1), 67–81. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2008.00784.x>
5. Castro, S., Silveira, P., & Navarro, L. (2008b). Effect of pollination on floral longevity and costs of delaying fertilization in the out-crossing *Polygala vayredae* Costa (Polygalaceae). *Annals of Botany*, 102(6), 1043–1048. <https://doi.org/10.1093/aob/mcn184>
6. Celep, F., Atalay, Z., Dikmen, F., Doğan, M., & Classen-Bockhoff, R. (2014). Flies as pollinators of melittophilous *Salvia* species (Lamiaceae). *American Journal of Botany*, 101(12), 2148–2159. <https://doi.org/10.3732/ajb.1400422>

7. Charlesworth, D. (2006). Evolution of Plant Breeding Systems. *Current Biology*, 16(17), R726–R735. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2006.07.068>
8. Claßen-Bockhoff, R., Wester, P., & Tweraser, E. (2003). The staminal lever mechanism in *Salvia* L. (Lamiaceae) - A review. *Plant Biology*, 5(1), 33–41. <https://doi.org/10.1055/s-2003-37973>
9. Claßen-Bockhoff, R., Speck, T., Tweraser, E., Wester, P., Thimm, S., & Reith, M. (2004). The staminal lever mechanism in *Salvia* L. (Lamiaceae): A key innovation for adaptive radiation? *Organisms Diversity and Evolution*, 4(3), 189–205. <https://doi.org/10.1016/j.ode.2004.01.004>
10. Cursach, J., & Rita, J. (2012). Reproductive biology of *Ranunculus weyleri* (Ranunculaceae), a narrowly endemic plant from the Balearic Islands with disjunct populations. *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 207(10): 726–735. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2012.07.004>
11. Dafni, A. (1992). Pollination Ecology: A Practical Approach. IRL Press at Oxford University Press, UK, 250 pp.
12. Dudash, M.R., & Fenster, C.B. (2001). The role of breeding system and inbreeding depression in the maintenance of an outcrossing mating strategy in *Silene virginica* (Caryophyllaceae). *American Journal of Botany*, 88(11), 1953–1959. <https://doi.org/10.2307/3558422>
13. Evans, M.E.K., Menges, E.S., & Gordon, D.R. (2003). Reproductive biology of three sympatric endangered plants endemic to Florida scrub. *Biological Conservation*, 111(2), 235–246. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(02\)00293-8](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(02)00293-8)
14. Gan, X., Cao, L., Zhang, X., & Li, H. (2013). Floral biology, breeding system and pollination ecology of an endangered tree *Tetracentron sinense* Oliv. (Trochodendraceae). *Botanical Studies*, 54(1), 50. <https://doi.org/10.1186/1999-3110-54-50>
15. Gaudeul, M., & Till-Bottraud, I. (2004). Reproductive ecology of the endangered alpine species *Eryngium alpinum* L. (Apiaceae): Phenology, gene dispersal and reproductive success. *Annals of Botany*, 93(6), 711–721. <https://doi.org/10.1093/aob/mch098>
16. Harder, L.D., & Johnson, S.D. (2009). Darwin's beautiful contrivances: Evolutionary and functional evidence for floral adaptation. *New Phytologist*, 183(3), 530–545. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.02914.x>
17. Jamzad, Z. (2013). A survey of Lamiaceae in the flora of Iran. *Rostaniha*, 14(1), 59–67. <https://doi.org/10.22092/botany.2013.101317>
18. Jorge, A., Loureiro, J., & Castro, S. (2015). Flower biology and breeding system of *Salvia sclareoides* Brot. (Lamiaceae). *Plant Systematics and Evolution*, 301(5), 1485–1497. <https://doi.org/10.1007/s00606-014-1169-7>
19. Kalisz, S., & Vogler, D.W. (2003). Benefits of autonomous selfing under unpredictable pollinator environments. *Ecology*, 84(11), 2928–2942. <https://doi.org/10.1890/02-0519>
20. Miyajima, D. (1996). Seed-producing system in *Salvias*. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 121(3), 419–422. <https://doi.org/10.21273/JASHS.121.3.419>
21. Miyajima, D. (2001). Floral variation and its effect on self-pollination in *Salvia splendens*. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 76(2), 187–194. <https://doi.org/10.1080/14620316.2001.11511349>
22. Miyake, Y.C., & Sakai, S. (2005). Effects of number of flowers per raceme and number of racemes per plant on bumblebee visits and female reproductive success in *Salvia nipponica* (Labiatae). *Ecological Research*, 20(4), 395–403. <https://doi.org/10.1007/s11284-004-0035-4>
23. Nautiyal, B.P., Nautiyal, M.C., Khanduri, V.P., & Rawat, N. (2009). Floral biology of *Aconitum heterophyllum* wall.: A critically endangered alpine medicinal plant of Himalaya, India. *Turkish Journal of Botany*, 33(1), 13–20. <https://doi.org/10.3906/bot-0805-8>
24. Navarro, L. (1997). Is the dichogamy of *Salvia verbenaca* (Lamiaceae) an effective barrier to self-fertilization? *Plant Systematics and Evolution*, 207(1–2), 111–117. <https://doi.org/10.1007/BF00985212>
25. Nebot, A., Cogoni, D., Fenu, G., & Bacchetta, G. (2016). Floral biology and breeding system of the narrow endemic *Dianthus morisianus* Vals. (Caryophyllaceae). *Flora*, 219, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2015.12.004>
26. Ott, D., Hühn, P., & Claßen-Bockhoff, R. (2016). *Salvia apiana* — A carpenter bee flower? *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 221, 82–91. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2015.12.008>
27. Pannell, J.R., & Barrett, S.C.H. (1998). Baker's Law Revisited: Reproductive Assurance in a Metapopulation. *Source: Evolution*, 52(3), 657–668. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.1998.tb03691.x>
28. Qu, L., & Widrlechner, M.P. (2011). Variation in the breeding system of *Prunella* variation in the breeding system. *HortScience*, 46(5), 688–692. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.5.688>
29. Rodríguez-Pérez, J. (2005). Breeding system, flower visitors and seedling survival of two endangered species of *Helianthemum* (Cistaceae). *Annals of Botany*, 95(7), 1229–1236. <https://doi.org/10.1093/aob/mci137>
30. Sanchez, L.A., Picado, A., Sommeijer, M.J., & Slaa, E.J. (2002). Floral biology, pollination ecology and seed production of the ornamental plant *Salvia splendens* Sello. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 77(4), 498–501. <https://doi.org/10.1080/14620316.2002.11511529>

31. Şenol, S.G., Eroğlu, V., Şentürk, O., Kaçmaz, F., & Avci, A.B. (2017). The pollination and reproduction success of *Salvia sclarea* Serdar. *Biological Diversity and Conservation*, 3, 130–135.
32. Silva, F.O., Da Viana, B.F., & Jacobi, C.M. (2005). Floral biology of *Eriope blanchetii* (Lamiaceae) in coastal sand dunes of NE Brazil. *Austral Ecology*, 30(3), 243–249. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2005.01443.x>
33. Stöbke, J., Schramme, J., & Claßen-Bockhoff, R. (2016). Training experiments with *Bombus terrestris* and *Apis mellifera* on artificial ‘*Salvia*’ flowers. *Flora*, 221, 92–99. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2015.12.007>
34. Subaşı, Ü., & Güvensen, A. (2011). Breeding systems and reproductive success on *Salvia smyrnaea*. *Turkish Journal of Botany*, 35, 681–687. <https://doi.org/10.3906/bot-1012-105>
35. Takano, A. (2013). Gynodioecy in *Salvia omerocalyx* Hayata (Lamiaceae). APG: *Acta Phytotaxonomica et Geobotanica*, 63(3), 149–153. <https://doi.org/10.18942/apg.kj00008609663>
36. Wester, P., & Claßen-Bockhoff, R. (2006). Hummingbird pollination in *Salvia haenkei* (Lamiaceae) lacking the typical lever mechanism. *Plant Systematics and Evolution*, 257(3–4), 133–146. <https://doi.org/10.1007/s00606-005-0366-9>
37. Wester, P., & Claßen-Bockhoff, R. (2007). Floral diversity and pollen transfer mechanisms in bird-pollinated *Salvia* species. *Annals of Botany*. Oxford University Press. pp. 401–421.
38. Will, M., Schmalz, N., & Claßen-Bockhoff, R. (2015). Towards a new classification of *Salvia* s.l.: (re)establishing the genus *Pleudia* Raf. *Turkish Journal of Botany*, 39(4), 693–707. <https://doi.org/10.3906/bot-1405-34>
39. Will, M., & Claßen-Bockhoff, R. (2017). Time to split *Salvia* s.l. (Lamiaceae) – New insights from Old World *Salvia* phylogeny. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 109, 33–58. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2016.12.041>
40. Wright, S.I., Kalisz, S., & Slotte, T. (2013). Evolutionary consequences of self-fertilization in plants. *Proceedings of the Royal Society B. Biological Sciences*, 280(1760), 20130133. <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.0133>
41. ZhenQiao, S., JianHua, W., HongGang, W., FuJuan, Z., & LiWu, H. (2009). Studies of the floral biology, breeding characters of *Salvia miltiorrhiza*. *Acta Horticulturae Sinica*, 36, 905–910.