

DOI: 10.22092/bot.j.iran.2025.368722.1427

بررسی ریزریخت‌شناسی گرده در آرایه‌های منتخب از جنس میخک (بخش *Fimbriati*) در ایران

دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۲۵ ===== بازنگری: ۱۴۰۴/۰۶/۲۴ ===== پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۶

نسرین عبدالله پور[✉]: دانشجوی دکتری گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران (abdollahpourn1990@gmail.com)
 مسعود رنجبر: استاد گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران

چکیده

جنس میخک (*Dianthus*) با حدود ۶۰۰ گونه، یکی از جنس‌های مهم میخکیان، در اروپا، آسیا و آفریقا پراکنده شده است. این مطالعه با هدف بررسی و شناسایی تنوع گرده‌ای ۱۴ آرایه از جنس میخک (بخش *Fimbriati*) در مناطق مختلف از کشور ایران انجام شد تا مشکلات موجود در شناسایی و طبقه‌بندی آرایه‌شناختی این گروه با داده‌های گرده‌ای روشن‌تر گردد. دانه‌های گرده با استفاده از میکروسکوپ نوری (LM) و میکروسکوپ الکترونی نگاره (SEM) مورد مطالعه قرار گرفتند. هجده ویژگی از گرده‌ها نظیر اندازه، شکل، تزیینات سطحی، نوع دریچه، تعداد و اندازه مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Past تحلیل و درخت‌های تبارشناختی ترسیم گردید. نتایج نشان داد *D. libanotis* و *D. orientalis* subsp. *gorganicus* با ویژگی‌های منحصر به فرد خود مانند اندازه فاصله منافذ (G) باعث جدا شدن *D. libanotis* و ویژگی‌های اندازه قطر بزرگ (B)، قطر کوچک (C) و تعداد منافذ (M) باعث جداسازی *D. orientalis* subsp. *gorganicus* از بقیه آرایه‌ها گردید. در مطالعه حاضر، ناهم‌شکلی گرده‌ای (heteromorphy) از لحاظ اندازه و شکل در دانه‌های گرده این جنس نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آنالیز PCA و clustering ویژگی‌های گرده‌شناسی در خوشه‌بندی آرایه‌های مطالعه شده با یکدیگر منطبق بوده و یکدیگر را تایید نمودند. همچنین، نتایج این بررسی نشان داد که قطر بزرگ، قطر کوچک، اندازه فاصله منافذ از هم و تعداد منافذ در گرده‌ها از مهم‌ترین متغیرها در تمایز آرایه‌های مورد بررسی از یکدیگر هستند. نتایج مطالعه حاضر در مورد دانه گرده در این جنس برای نخستین بار در ایران گزارش می‌شود.

واژه‌های کلیدی: دانه گرده، درخت تبارشناختی، ریزریخت‌شناسی، سیستماتیک، میخکیان

Pollen micromorphology of the selected taxa of the genus *Dianthus* (sect. *Fimbriati*) in Iran

Received: 16.08.2025 ===== Revised: 15.09.2025 ===== Accepted: 18.10.2025

Nasrin Abdollahpour[✉]: PhD Student, Department of Biology, Faculty of Science, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran (abdollahpourn1990@gmail.com)

Masoud Ranjbar: Prof., Department of Biology, Faculty of Science, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran

Summary

The genus *Dianthus* L. (Caryophyllaceae) with approximately 600 species, is one of the important genera of the family, distributed across Europe, Asia, and Africa. This study aimed to investigate and characterize the pollen diversity of 14 taxa of the genus *Dianthus* (sect. *Fimbriati*) from various regions of Iran, with the objective of providing further insight into taxonomic and identification challenges within this group based on palynological data. The pollen grains were studied using light microscopy (LM) and scanning electron microscopy (SEM). Eighteen pollen characteristics such as size, shape, surface ornamentation, type and number of apertures, and their dimensions were examined. The data were analyzed using Past software and phylogenetic trees were constructed. The results showed that, *D. libanotis* and *D. orientalis* subsp. *gorganicus* were distinguished by their unique features for instance the distance between the pores (G) separated *D. libanotis*, while the large polar diameter (B), small equatorial diameter (C), and number of pores (M) differentiated *D. orientalis* subsp. *Gorganicus* from other taxa. Pollen heteromorphism in both size and shape was reported here for the first time within the Caryophyllaceae. Results from PCA and clustering analyses of pollen characteristics were consistent and supported each others. The study also revealed that, polar diameter, equatorial diameter, distance between pores and number of pores are among the most significant variables for distinguishing of the studied taxa. This is the first comprehensive study on pollen grains of this genus in Iran.

Keywords: Caryophyllaceae, *Dianthus*, micromorphology, phylogenetic tree, pollen grain, systematics

مقدمه

ریزریخت‌شناسی دانه گرده در میخکیان می‌تواند نقش کلیدی در تفکیک سطوح آرایه‌شناختی داشته باشد که با مطالعات انجام شده روی جنس‌های ایرانی، این موضوع به خوبی نشان داده شده است. در جنس *Silene*، بررسی جامع گونه‌های ایرانی با میکروسکوپ نوری و میکروسکوپ الکترونی نگاره نشان داد که دانه‌های گرده بیشتر کروی، منفرد و پانتوپورات با تزیینات microechinate-microperforate هستند و صفات کمی مانند قطر دانه گرده، قطر منفذ و فاصله بین‌منفذی همراه با صفات کیفی در تحلیل‌های خوشه‌ای و PCA قدرت تفکیک بخش‌ها و گونه‌ها را افزایش می‌دهند (Ghahremaninejad et al. 2014, Keshavarzi et al. 2015). در بررسی دانه‌های گرده در ۴۰ آرایه از جنس *Gypsophila*، دانه‌های گرده pantoporate (پرمفد) مشتمل بر ۱۲ منفذ به شکل چندوجهی با گوشه‌های گرد (polyhedral rounded) دارای تزیینات سطحی microechinate-microporate بود. نتایج این بررسی نشان داد که از داده‌های گرده‌شناختی می‌توان در تفکیک برخی آرایه‌های نزدیک استفاده کرد (Nejad Falatoury et al. 2017).

در مطالعه ۲۰ گونه متعلق به جنس *Minuartia* در ایران، دو شکل مختلف گرده به صورت نیمه‌کروی (sub-spherical) و چندوجهی گرد (polyhedral) مشاهده شد که تعداد منفذها از ۱۰ تا ۲۴ متغیر بود و آرایش تزیینات سطح را بیشتر به حالت microechinate-punctate نشان داد (Mostafavi & Mehregan 2014). افزون بر این، بررسی گرده ۱۰ گونه از جنس *Saponaria* در ایران، نشان داد که دانه گرده گونه‌های این جنس از نوع polyporate و دارای سه شکل شبه‌کروی (peroblate)، چندوجهی گرد و کروی (spheroidal) بودند. ویژگی‌های گرده (شکل، اندازه، نوع تزیینات و ویژگی‌های منفذ) همراه با آنالیزهای چندمتغیره، ارزش تاکسونومیکی قابل توجهی درون جنس دارند (Dashti & Panahi 2021). در مطالعاتی که بر معرفی آرایه‌های جدید در جنس *Cerastium* تمرکز داشته‌اند، داده‌های گرده و بذر به عنوان صفات مکمل برای تشخیص و مقایسه به کار رفته‌اند، به طوری که اهمیت داده‌های گرده‌شناختی در فلور ایران را تأیید می‌کند (Poursakhi et al. 2013).

میخکیان (Caryophyllaceae) یکی از بزرگترین تیره‌های نهران‌دانگان، شامل ۱۰۰ جنس و ۳۰۰۰ گونه است (Hernández-Ledesma et al. 2015) که بیشتر آن‌ها گیاهانی علفی، یک‌ساله، چندساله و یا درختچه‌های کوچک هستند و در مراتع کوهستانی، دامنه‌های سنگی، تپه‌های شنی تثبیت شده، جنگل‌های سوزنی‌برگ، حاشیه رودخانه‌ها و چمنزارها رشد می‌کنند (Bittrich 1993). این تیره به طور گسترده در سرتاسر دنیا و بیشتر در مناطق معتدل و گرم معتدل نیمکره شمالی پراکنده شده است و مراکز تنوع آن در مناطق فلوریستیک مدیترانه‌ای و ایرانی-تورانی قرار دارد (Yang et al. 2024).

جنس میخک (*Dianthus L.*) با حدود ۶۰۰ گونه، یکی از جنس‌های مهم میخکیان، در اروپا، آسیا و آفریقا پراکنده شده ولی منطقه اصلی پراکنش آن مدیترانه است (Yang et al. 2021). بیشتر گونه‌های این جنس گیاهانی چندساله‌اند و گونه‌های یک‌ساله در آن نادر هستند (Casanova et al. 2004). اسدی (Assadi 1985) جنس میخک را در ایران مورد مطالعه قرار داد و ۳۳ گونه برای آن شناسایی کرد که ۹ گونه بومی کشور هستند. براساس مطالعات رشینگر (Rechinger 1988) در فلورا ایرانیکا، از ۴۳ گونه رویش یافته در فلات ایران از جنس مذکور، ۳۲ گونه در ایران یافت می‌شوند. پس از وی، گونه *D. pseudocrinitus* Behroozian & Joharchi به عنوان گونه جدید (Vaezi et al. 2014) و سپس *D. pendulus* Boiss. & C.I. Blanche نیز به عنوان گونه جدید از ایران گزارش گردید (Safikhani & Mahmoodi 2020). این جنس در فلورا ایرانیکا دارای پنج بخش (section) مشتمل بر *Armerium*، *Carthusiani*، *Fimbriati*، *Leiopetali* و *Verruculosi* است.

ویژگی‌های ریخت‌شناختی دانه‌های گرده در گونه‌های جنس میخکیان بیشتر به طور گسترده به عنوان ابزار منحصربه‌فرد رده‌بندی بررسی شده‌اند (McNeill & Bassett 1974, McNeill & Crompton 1978, Ghazanfar 1984, El-Ghazaly 1991, Moore et al. 1991, Ismail 1992, Taia 1994, Teleb 2004, Yildiz 2005, Perveen & Qasier 2006, Vural 2008, Ataşlar et al. 2009, Yildiz et al. 2010, Dashti 2013, Dashti et al. 2014, Ghahremaninejad et al. 2014, Mostafavi & Mehregan 2014, Firat & Yildiz 2016, Nejad Falatoury et al. 2017, Ulukus 2018, Ullah et al. 2019, Dashti & Panahi 2021, Mete et al. 2021).

روش بررسی

مطالعه حاضر، روی نمونه‌های هرباریومی دانشگاه بوعلی سینا، همدان (BASU) که قبلا از ۱۴ زیستگاه از استان‌های مختلف کشور در سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۴۰۱ جمع‌آوری شده بودند انجام گردید (جدول ۱). شناسایی آرایه‌ها به کمک کلیدهای شناسایی فلورا ایرانیکا و فلور ترکیه و مقایسه با نمونه‌های موجود در هرباریوم مذکور صورت گرفت. از هر آرایه، دانه‌های گرده نمونه‌های سه تا پنج جمعیت به کمک استریومیکروسکوپ مدل NSZ-405 جداسازی شد و گرده‌ها پس از استولیز به مدت دو الی سه دقیقه در اسید سولفوریک و اسید استیک (نسبت ۱:۹) توسط میکروسکوپ نوری (LM) مدل Olympus با بزرگنمایی $\times 100$ مورد مطالعه قرار گرفتند.

به منظور مطالعه میکروسکوپی الکترونی (SEM)، نمونه‌های گرده پس از قراردادن روی استاپ‌ها، با لایه نازکی از طلا و پلاتین به مدت ۳۰۰ ثانیه در محفظه خلاء پوشش داده شد و توسط میکروسکوپ الکترونی نگاره مدل MIRA3-TESCAN FEG-SEM تصویربرداری صورت گرفت. سپس، تصاویر تهیه شده با میکروسکوپ نوری (شکل ۷) و الکترونی نگاره (شکل ۶-۴) با نرم‌افزار ImageJ 1/5 برای بررسی ویژگی‌های گرده مانند اندازه قطر بزرگ و کوچک، اندازه اگزین، طول و قطر دانه‌ها، اندازه و تعداد منفذها (pores) و تزئینات سطح دانه‌ها مورد مطالعه و اندازه‌گیری قرار گرفتند (اندازه‌گیری ۱۸ ویژگی مختلف کمی و کیفی تعریف شده در ۳۰ تا ۱۰۰ دانه گرده) (جدول ۲). ویژگی‌های مورد بررسی پس از کدگذاری (جدول ۳)، توسط نرم‌افزار Past 5/1 (Hammer et al. 2001) در ابتدا استاندارد گردیده و سپس تحلیل (Principal Components Analysis) PCA (شکل ۹) و ترسیم درخت آرایه‌شناختی (جدول ۲) به روش UPMGA (شکل ۸) با معیار شباهت Euclidean انجام شد (Bidarlord & Vitek 2020). همچنین، نقشه پراکنش جنس میخک با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10.8 ترسیم گردید (شکل ۱).

مطالعات بسیاری تا کنون روی گرده جنس میخک در

دنیا انجام شده است (Chanda 1962, Punt & Hoen 1995, Yildiz 2001, Perveen & Qaiser 2006, Vural 2008, Sahreen et al. 2008, Dong & Guan 2008, Kizilpinar et al. 2010, Macukanovic-Jocic et al. 2015, Ullah et al. 2018, Cui et al. 2018, Karaismailoglu et al. 2019, Ahiskali et al. 2020, Mete et al. 2021).

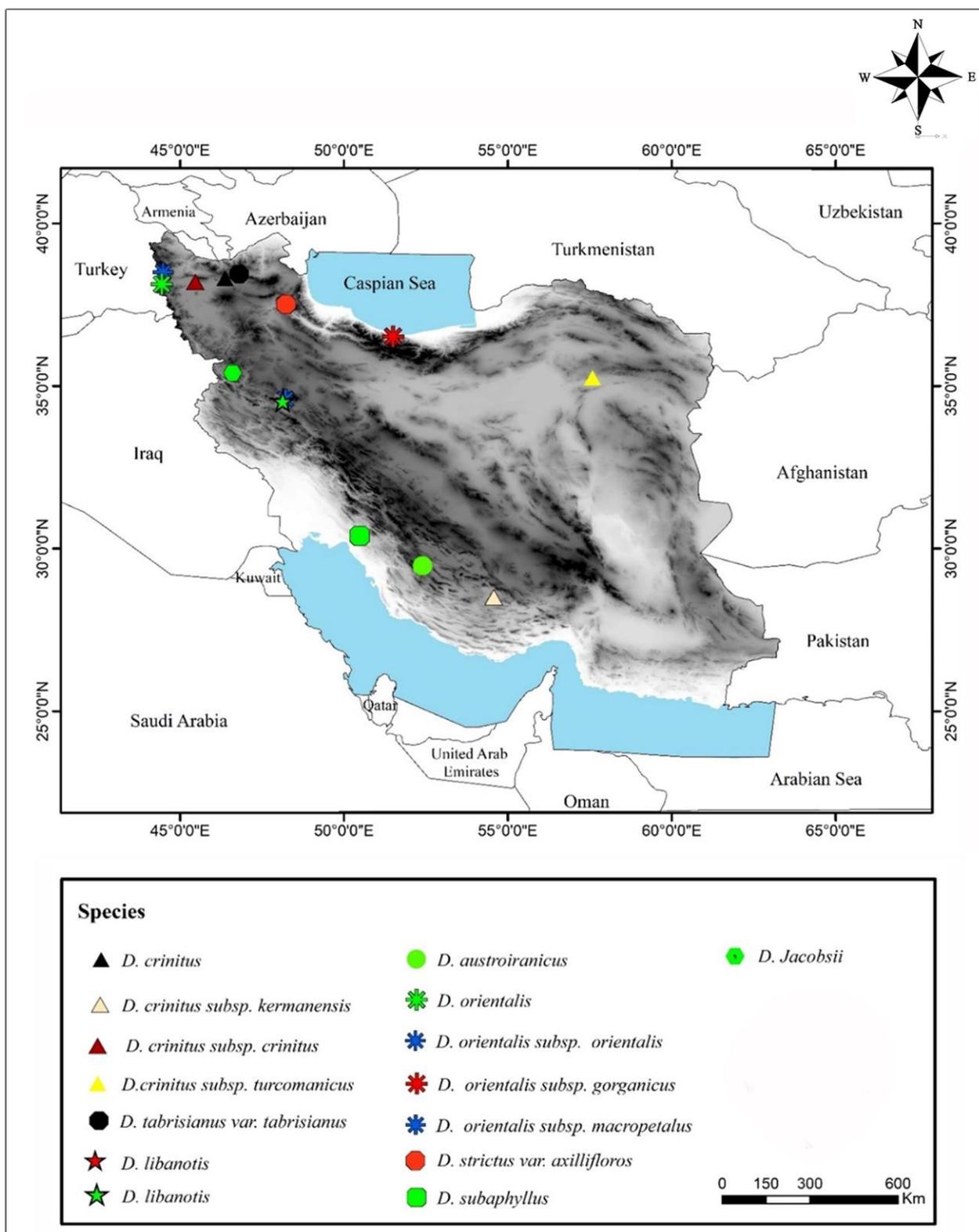
به طور کلی، دانه‌های گرده در جنس میخک به صورت شبکه‌ای یا دارای منافذ ریز (microperforate) هستند. تعداد منافذ (pore) در این دانه‌ها بین ۱۱ تا ۲۰ عدد متغیر بوده و معمولا بین ۱۱ تا ۱۶ عدد است (Yildiz 2001, Cui et al. 2018). اندازه این دانه‌ها بین ۲۰ تا ۵۰ میکرومتر است. ییلدیز (Yildiz 2001) نیز نشان داده است که تعداد کلی منافذ در گونه‌هایی که دارای درپوش خاردار (spinulate operculum) هستند، به طور گسترده‌ای از ۹ تا ۲۴ متغیرند. منافذ و تزئینات سطح خارجی دانه‌های گرده در جنس میخک ویژگی‌های خاصی دارند که به شناسایی آن‌ها کمک می‌کند. به طور کلی، دانه‌های گرده این جنس دارای منافذ متعدد، کروی (به صورت کشیده یا پهن) و دارای سطح خاردار یا زبر-نقطه‌دار هستند (Teleb et al. 2023, Macukanovic-Jocic et al. 2015).

جنس میخک به دلیل اهمیت بوم‌شناختی، اقتصادی، تنوع بالا و مشکلات طبقه‌بندی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. این جنس به دلیل دارا بودن بخش *Fimbriati* که بزرگترین بخش آن است، دارای گونه‌ها و آرایه‌های زیادی بوده که از لحاظ ریخت‌شناختی تفاوت اندکی با هم دارند. بنابراین، در تحقیق حاضر، بیشتر آرایه‌ها (۱۳ آرایه) از این بخش انتخاب گردید و یک آرایه نیز از بخش *Verruculosi* برای تطابق داده‌های ریخت‌شناسی با داده‌های گرده‌ای مورد بررسی قرار گرفت. مطالعه حاضر، علاوه بر شناسایی گونه‌ها، در رفع مشکلات آرایه‌شناختی و تعیین جایگاه دقیق تر آن‌ها، این گروه می‌تواند نقش مؤثری داشته باشد. به علاوه، این پژوهش با هدف تبارشناختی ویژگی‌های ریزریخت‌شناسی گرده برخی از آرایه‌های منتخب ایرانی جنس میخک برای نخستین بار در ایران و به منظور درک بهتر طبقه‌بندی این جنس انجام شده است.

جدول ۱-۱ - اطلاعات هرباریومی نمونه‌های استفاده شده جهت بررسی دانه گرده در آرایه‌های منتخب از جنس میخک (بخش *Fimbriati*) در ایران

Table 1. Herbarium data of samples used to examine pollen grains of selected taxa of the genus *Dianthus* (sect. *Fimbriati*) in Iran

No.	Taxon	Locality & related data along with voucher No. (BASU)*
1	<i>Dianthus austroiranicus</i> Lemperg	Fars Prov.: Shiraz to Isfahan, 2137 m; 29° 47' 24" N, 52° 4' 12" E; M. Ranjbar 43840
2	<i>D. crinitus</i> Sm.	E. Azarbaijan Prov.: Varzaqan, 1734 m; 38° 28' 31" N, 46° 37' 41" E; N. Abdollahpour 46016
3	<i>D. crinitus</i> subsp. <i>crinitus</i> Sm.	E. Azarbayejan Prov.: Marand, 1861 m; 38° 20' 24" N, 45° 46' 12" E; M. Ranjbar 34406
4	<i>D. crinitus</i> subsp. <i>kermanensis</i> Rech.f.	Fars Prov.: Darab, Lay Zangan, 1704 m; 28° 51' 0" N, 54° 57' 0" E; M. Ranjbar 32568
5	<i>D. crinitus</i> subsp. <i>turcomanicus</i> (Schischk.) Rech.f.	Khorasan Razavi Prov.: Bardaskan to Sabzevar, 1537 m; 35° 25' 12" N, 57° 58' 11" E; M. Ranjbar 42228
6	<i>D. jacobsii</i> Rech.f.	Kurdistan Prov.: Sanandaj to Marivan, 1821 m; 35° 40' 48" N, 46° 6' 35" E; M. Ranjbar 29222
7	<i>D. libanotis</i> Labill.	Hamedan Prov.: 20 km before Asadabad, 1972 m; 34° 54' 36" N, 48° 13' 11" E; M. Ranjbar 29255
8	<i>D. orientalis</i> Adams	W. Azarbayejan Prov.: Khoy, 1417 m; 38° 13' 48" N, 44° 44' 24" E; M. Ranjbar 34816
9	<i>D. orientalis</i> subsp. <i>gorganicus</i> Rech.f.	Mazandaran Prov.: Kelardasht, -29 m; 36° 52' 12" N, 51° 5' 24" E; M. Ranjbar 41786
10	<i>D. orientalis</i> subsp. <i>macropetalus</i> (Boiss.) Rech.f.	W. Azarbayejan Prov.: Urmia to Salmas; 38° 5' 24" N, 44° 48' 36" E; M. Ranjbar 42309
11	<i>D. orientalis</i> subsp. <i>orientalis</i>	Hamedan Prov.: Nahavand, 1714 m; 34° 6' 0" N, 48° 22' 48" E; M. Ranjbar 32222
12	<i>D. strictus</i> var. <i>axilliflorus</i> (Fenzl)	Ardebil Prov.: Khalkhal, 1633 m; 37° 52' 48" N, 48° 23' 24" E; M. Ranjbar 37283
13	<i>D. subaphyllus</i> (Lemperg) Rech.f.	Kohgiluyeh and Boyer Ahmad Prov.: Gachsaran, 1234 m; 30° 40' 12" N, 50° 48' 36" E; M. Ranjbar 41548
14	<i>D. tabrisianus</i> var. <i>tabrisianus</i>	E. Azarbayejan Prov.: Kharvana, 1038 m; 38° 44' 24" N, 46° 8' 59" E; M. Ranjbar 37291



شکل ۱- نقشه پراکنش آرایه‌های منتخب مطالعه شده از جنس میخک (بخش *Fimbriati*) در ایران.

Fig. 1. Distribution map of selected studied taxa of the genus *Dianthus* (sect. *Fimbriati*) in Iran.

مربوط به *D. strictus* var. *axilliflorus* بود. فاصله منافذ در محدوده ۸/۶۲ تا ۱۸/۴۱ میکرومتر بود و کمترین میزان در *D. tabrisianus* var. *tabrisianus* و بیشترین میزان در *D. libanotis* مشاهده شد که به طور متوسط دارای ۱ تا ۱۰ گرانول روی دهانه بودند. کمترین تعداد مربوط به آرایه‌های *D. libanotis*، *turcomanicus* *D. crinitus* subsp. و *D. subaphyllus* با ۵-۱ گرانول و بیشترین تعداد گرانول در آرایه *D. orientalis* subsp. *orientalis* با ۱۰-۴ گرانول مشاهده شد. تعداد منافذ به طور متوسط از ۱۴-۱۲ و ۲۴-۲۸ در گونه‌های مورد مطالعه متغیر بود و کمترین تعداد منافذ در آرایه‌های *D. crinitus* subsp. *crinitus*، *D. orientalis*، *D. tabrisianus* var. و *D. orientalis* subsp. *macropetalus* *D. orientalis* subsp. و بیشترین تعداد مربوط به *D. gorganicus* بود (جدول ۲ و شکل‌های ۴-۶).

- اگزین و تزیینات آن

ضخامت اگزین در آرایه‌های مورد مطالعه ۲/۰۳ تا ۳/۷ میکرومتر بود و بیشترین ضخامت مربوط به *D. crinitus* subsp. *turcomanicus* و کمترین ضخامت مربوط به *D. libanotis* بود. قطر دهانه منافذ در محدوده ۲/۶۲ تا ۴/۸۳ میکرومتر و ارتفاع دهانه ۱/۲۷ تا ۲/۷۳ میکرومتر بود که بیشترین مقدار قطر دهانه منافذ مربوط به *D. orientalis* subsp. *orientalis* و کمترین مقدار مربوط به آرایه‌های *D. crinitus* subsp. *turcomanicus* و *D. jacobsii* بود. بیشترین اندازه ارتفاع دهانه منافذ در *D. orientalis* و کمترین اندازه ارتفاع دهانه در *D. crinitus* subsp. *kermanensis* مشاهده شد. اندازه طول خارها ۰/۶۱ تا ۰/۹۶، عرض خارها ۰/۳۹ تا ۰/۶ و فاصله خارها از هم در سطح گرده ۲/۱۰ تا ۶/۰۶ میکرومتر برآورد شد. بیشترین اندازه طول خارها در *D. jacobsii* و کمترین اندازه در *D. crinitus* subsp. *kermanensis* و همچنین بیشترین اندازه عرض خارها در *D. orientalis* subsp. *gorganicus* و کمترین اندازه در *D. tabrisianus* var. *tabrisianus* تزیینات اگزین از نوع *microechinate-punctate*، *microechinate* و *microechinate-punctate-foveolate* بودند که نوع *microechinate-punctate-foveolate* فقط در *D. crinitus* subsp. *turcomanicus* و نوع *microechinate* در هفت آرایه به اسامی: *D. austroiranicus*، *D. crinitus*، *D. crinitus* subsp. *kermanensis*، *D. libanotis*، *D. orientalis*، *D. orientalis* subsp. *gorganicus* و *Microechinate-punctate* در شش آرایه به اسامی: *D. crinitus* subsp.

در تحقیق حاضر، دانه گرده در جنس میخک برای نخستین بار در ایران و همچنین مطالعه گسترده بعضی از آرایه‌ها شامل *D. austroiranicus*، *D. crinitus* subsp. *D. orientalis* subsp. *D. jacobsii* *kermanensis* و *D. orientalis* subsp. *macropetalus* *D. gorganicus* برای نخستین بار صورت گرفت.

نتایج این بررسی نشان داد، بیشتر آرایه‌های مورد مطالعه در این جنس، دارای دانه‌های گرده کروی (spheroidal) بودند و ناهم‌شکلی نیز در گرده این جنس مشاهده شد، ولی فقط گرده‌های با شکل‌های نرمال یا کروی مورد بررسی قرار گرفتند (شکل ۱). ویژگی‌های ریخت‌شناختی اصلی دانه گرده در آرایه‌های جنس میخک به تفصیل در جدول‌های ۱-۹ و شکل‌های ۹-۲ آرایه شده است.

- شکل و اندازه گرده

از آنجا که نسبت قطر بزرگ به قطر کوچک گرده در محدوده ۱/۰۲ تا ۱/۰۷ بود، در نتیجه همه دانه‌های گرده در تیپ‌بندی گرده‌ای ارتمن (براساس P/E) در گروه کروی-کشیده (prolate-spheroidal) قرار گرفتند. اندازه قطر بزرگ گرده ۳۲/۷۳ تا ۵۰/۵۴ میکرومتر و اندازه قطر کوچک گرده ۳۰/۴۶ تا ۴۸/۵۶ میکرومتر بودند. بزرگترین اندازه گرده مربوط به *D. orientalis* subsp. *gorganicus* و کوچکترین اندازه گرده مربوط به *D. orientalis* subsp. *macropetalus* بود و دانه‌های گرده طبق سیستم تیپ‌بندی گرده‌ای ارتمن براساس قطر بزرگ گرده یا همان P در دو گروه اندازه دانه گرده متوسط (ME) و اندازه دانه گرده بزرگ (LA) قرار گرفتند که همه آرایه‌ها به جز *D. orientalis* subsp. *gorganicus* در گروه متوسط قرار گرفتند و *D. orientalis* subsp. *gorganicus* در گروه گرده با اندازه بزرگ قرار گرفت (جدول ۲).

- ویژگی‌ها و اندازه منافذ

دانه‌های گرده دارای منافذ گرد بودند که به طور یکنواخت روی سطح توزیع شده (pantopolyporate) و دارای دهانه (operculum) بودند. دو نوع تزیینات منافذ برجسته (prominent) و فرورفته (sunken) در تصاویر SEM مشاهده شد که نوع آن در *D. crinitus* subsp. *kermanensis*، *D. orientalis* subsp. *gorganicus* و *D. orientalis* subsp. *macropetalus* از نوع فرورفته و در آرایه‌های دیگر از نوع برجسته بود. قطر منافذ از ۴ تا ۸/۵۴ میکرومتر متغیر بود و کمترین اندازه قطر منافذ مربوط به *D. tabrisianus* var. *tabrisianus* و بیشترین اندازه قطر منافذ

axilliflorus, *D. tabrisianus* var. *tabrisianus* *crinitus*, *D. jacobsii*, *D. orientalis* subsp. *macropetalus*,
D. orientalis subsp. *orientalis*, *D. strictus* var.
 (جدول ۲ و شکل‌های ۷-۴).

جدول ۲- ویژگی‌های کمی و کیفی دانه گرده در آرایه‌های منتخب از جنس میخک (بخش *Fimbriati*) در ایران

Table 2. Quantitative and qualitative characteristics studied in pollen grains of selected taxa of the genus *Dianthus* (sect. *Fimbriati*) in Iran

Taxon	PLD	ED	P/E)	ET	POD	ID	OD	OH	SL	SW	DBS
<i>Dianthus</i>	36.02	35.01	1.02±	2.69±	5.25±	11.66	2.92±	1.40±	0.78±	0.52±	6.06±
<i>austroranicus</i>	±1.49	±1.44	0.03	0.54	0.54	±1.76	0.62	0.43	0.13	0.09	3.34
<i>D. crinitus</i>	37.64	35.99	1.04±	2.61±	5.81±	13.73	3.55±	1.44±	0.74±	0.59±	3.20±
	±2.08	±2.16	0.02	0.43	0.31	±2.39	0.59	0.49	0.20	0.12	2.12
<i>D. crinitus</i> subsp.	41.91	39.18	1.07±	2.82±	5.49±	13.76	4.29±	2.30±	0.75±	0.51±	3.87±
<i>crinitus</i>	±1.18	±1.14	0.02	0.36	0.63	±3.09	0.93	0.71	0.17	0.14	2.89
<i>D. crinitus</i> subsp.	37.22	35.67	1.04±	2.23±	4.80±	11.65	3.14±	1.27±	0.61±	0.51±	4.05±
<i>kermanensis</i>	±1.66	±1.76	0.02	0.26	0.42	±2.98	0.62	0.17	0.14	0.10	3.01
<i>D. crinitus</i> subsp.	40.87	39.36	1.03±	3.7±0	4.05±	9.92±	2.62±	1.30±	0.91±	0.65±	5.40±
<i>turcomanicus</i>	±2.21	±1.47	0.01	.42	0.39	1.97	0.48	0.46	0.23	0.10	3.90
<i>D. jacobsii</i>	40.17	39.22	1.02±	2.12±	5.32±	11.85	2.62±	1.35±	0.96±	0.55±	5.05±
	±2.25	±2.05	0.01	0.44	0.48	±1.16	0.60	0.52	0.13	0.10	2.83
<i>D. libanotis</i>	42.33	41.44	1.02±	2.03±	8.26±	18.41	3.65±	1.72±	0.79±	0.59±	3.83±
	±1.86	±1.74	00	0.42	1.35	±3.5	0.88	0.56	0.16	0.08	1.90
<i>D. orientalis</i>	35.6±	33.78	1.05±	2.7±0	4.05±	9.86±	3.94±	2.73±	0.90±	0.59±	3.78±
	1.33	±1.62	0.03	.53	0.39	1.23	1.23	1.00	0.19	0.19	2.37
<i>D. orientalis</i> subsp.	50.54	48.56	1.04±	3.03±	6.67±	12.36	3.75±	2.00±	0.94±	0.66±	4.49±
<i>gorganicus</i>	±4.88	±4.98	0.02	0.6	1.06	±1.84	0.87	0.61	0.12	0.13	2.32
<i>D. orientalis</i> subsp.	32.73	30.46	1.07±	2.86±	4.65±	11.08	3.26±	1.51±	0.78±	0.54±	2.10±
<i>macropetalus</i>	±4.25	±1.92	0.11	0.44	0.26	±1.67	0.89	0.44	0.11	0.08	0.79
<i>D. orientalis</i> subsp.	36.77	35.5±	1.03±	2.55±	5.84±	10.46	4.83±	2.03±	0.75±	0.55±	2.63±
<i>orientalis</i>	±1.74	1.38	0.02	0.54	1.49	±1.19	0.4	0.81	0.15	0.11	0.73
<i>D. strictus</i> var.	42.53	41.49	1.02±	2.89±	8.54±	12.07	3.87±	1.84±	0.83±	0.61±	3.72±
<i>axilliflorus</i>	±1.53	±1.66	0.01	0.95	1.42	±1.36	1.10	0.56	0.12	0.08	1.74
<i>D. subaphyllus</i>	44.76	42.72	1.04±	2.88±	5.82±	13.92	3.59±	1.70±	0.67±	0.47±	4.87±
	±3.41	±3.1	0.03	0.63	1.33	±0.91	1.25	0.43	0.10	0.09	2.58
<i>D. tabrisianus</i> var.	33.42	32.34	1.03±	2.38±	4.00±	8.62±	3.05±	1.78±	0.66±	0.39±	3.64±
<i>tabrisianus</i>	±1.26	±1.81	0.03	0.49	0.26	1.11	0.87	0.54	0.14	0.06	2.49

Table 2 (contd)

جدول ۲ (ادامه)

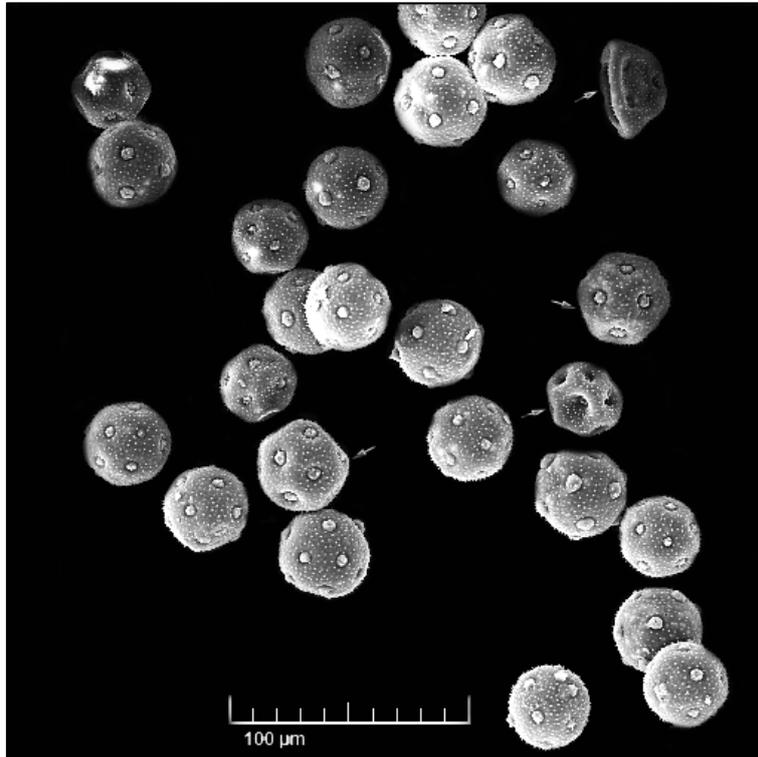
Taxon	PN	GPN	SN	OS	PNU	PS	OR	TPS	TPSH
<i>D. austroiranicus</i>	18–20	2–5	20	Granulate	0	Prominent	Microechinate	Medium	PRS
<i>D. crinitus</i>	14–16	2–6	15	Granulate	1	Prominent	Microechinate	Medium	PRS
<i>D. crinitus</i> subsp. <i>crinitus</i>	12–14	4–8	22	Psilate	5	Prominent	Microechinate-punctate	Medium	PRS
<i>D. crinitus</i> subsp. <i>kermanensis</i>	14–16	3–7	12	Psilate	0	Sunken	Microechinate	Medium	PRS
<i>D. crinitus</i> subsp. <i>urcomanicus</i>	16–18	1–5	10	Granulate	13	Prominent	Microechinate-punctate-foveolate	Medium	PRS
<i>D. jacobsii</i>	16–18	2–4	13	Psilate	1	Prominent	Microechinate-punctate	Medium	PRS
<i>D. libanotis</i>	14–16	1–5	10	Psilate	0	Prominent	Microechinate	Medium	PRS
<i>D. orientalis</i>	12–14	2–5	24	Psilate	0	Sunken	Microechinate	Large	PRS
<i>D. orientalis</i> subsp. <i>gorganicus</i>	24–28	2–4	12	Granulate	2	Sunken	Microechinate	Medium	PRS
<i>D. orientalis</i> subsp. <i>acropetalus</i>	12–14	3–5	24	Psilate	12	Sunken	Microechinate-punctate	Medium	PRS
<i>D. orientalis</i> subsp. <i>orientalis</i>	16–18	4–10	10	Psilate	3	Prominent	Microechinate-punctate	Medium	PRS
<i>D. strictus</i> var. <i>axilliflorus</i>	20–22	3–6	11	Psilate	5	Prominent	Microechinate-punctate	Medium	PRS
<i>D. subaphyllus</i>	14–16	1–5	18	Psilate	0	Prominent	Microechinate	Medium	PRS
<i>D. tabrisianus</i> var. <i>tabrisianus</i>	12–14	2–5	20	Granulate	10	Prominent	Microechinate-punctate	Medium	PRS

ویژگی‌ها: PLD (قطر بزرگ گرده)، ED (قطر کوچک گرده)، (P/E) (نسبت قطر بزرگ بر قطر کوچک گرده)، ET (ضخامت اگزین)، POD (قطر منفذ)، ID (فاصله بین منافذ)، OD (قطر درپوش منفذ)، OH (ارتفاع درپوش منفذ)، SL (طول اسپینول)، SW (عرض اسپینول)، DBS (فاصله بین اسپینول‌ها)، PN (تعداد منافذ)، GPN (تعداد گرانول‌ها روی درپوش)، SN (تعداد اسپینول‌ها در $10 \mu m^2$)، OS (تزیینات بین اسپینول‌ها)، PNU (تعداد پونکتوم در $10 \mu m^2$)، PS (وضعیت منافذ)، OR (تزیینات اگزین)، TPS (تیپ‌بندی ارتمن گرده‌ها براساس اندازه)، TPSH (تیپ‌بندی ارتمن گرده‌ها براساس P/E).
 Characteristics: PLD (polar axis of pollen), ED (equatorial diameter of pollen), P/E (ratio of polar to equatorial diameter of pollen), ET (exine thickness), POD (pore diameter), ID (inter-pore distance), OD (operculum diameter), OH (operculum height), SL (spinule length), SW (spinule width), DBS (distance between spinules), PN (number of pores), GPN (number of granules on operculum), SN (number of spinules per $10 \mu m^2$), OS (ornamentation between spinules), PNU (number of puncta per $10 \mu m^2$), PS (pore status), OR (exine ornamentation), TPS (Erdtman typing of pollen based on size), TPSH (Erdtman typing of pollen based on P/E ratio).

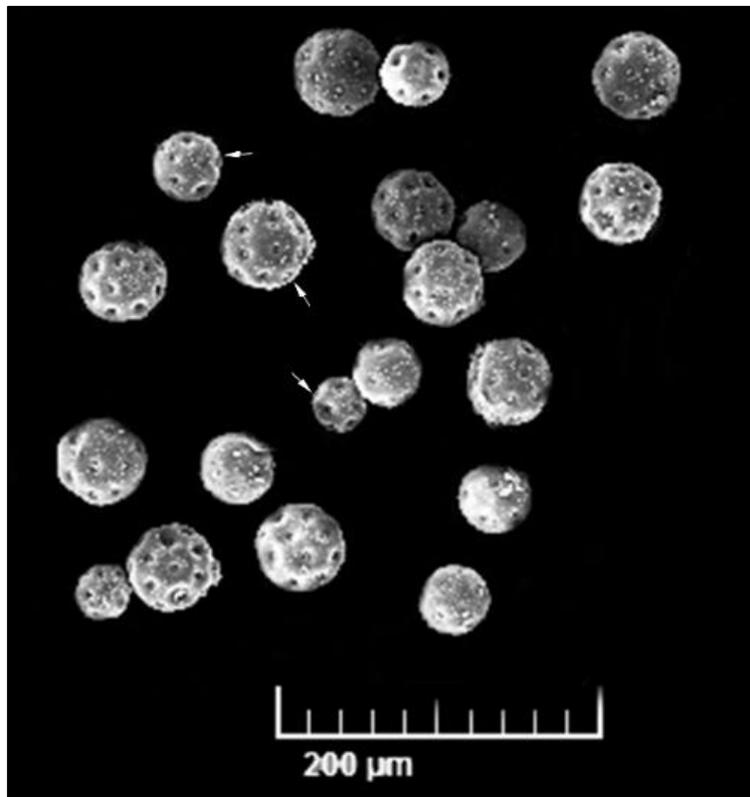
جدول ۳- کدگذاری ویژگی‌های گرده جنس میخک در آنالیز PCA

Table 3. Coding of the pollens characteristics in the genus *Dianthus* in PCA analysis

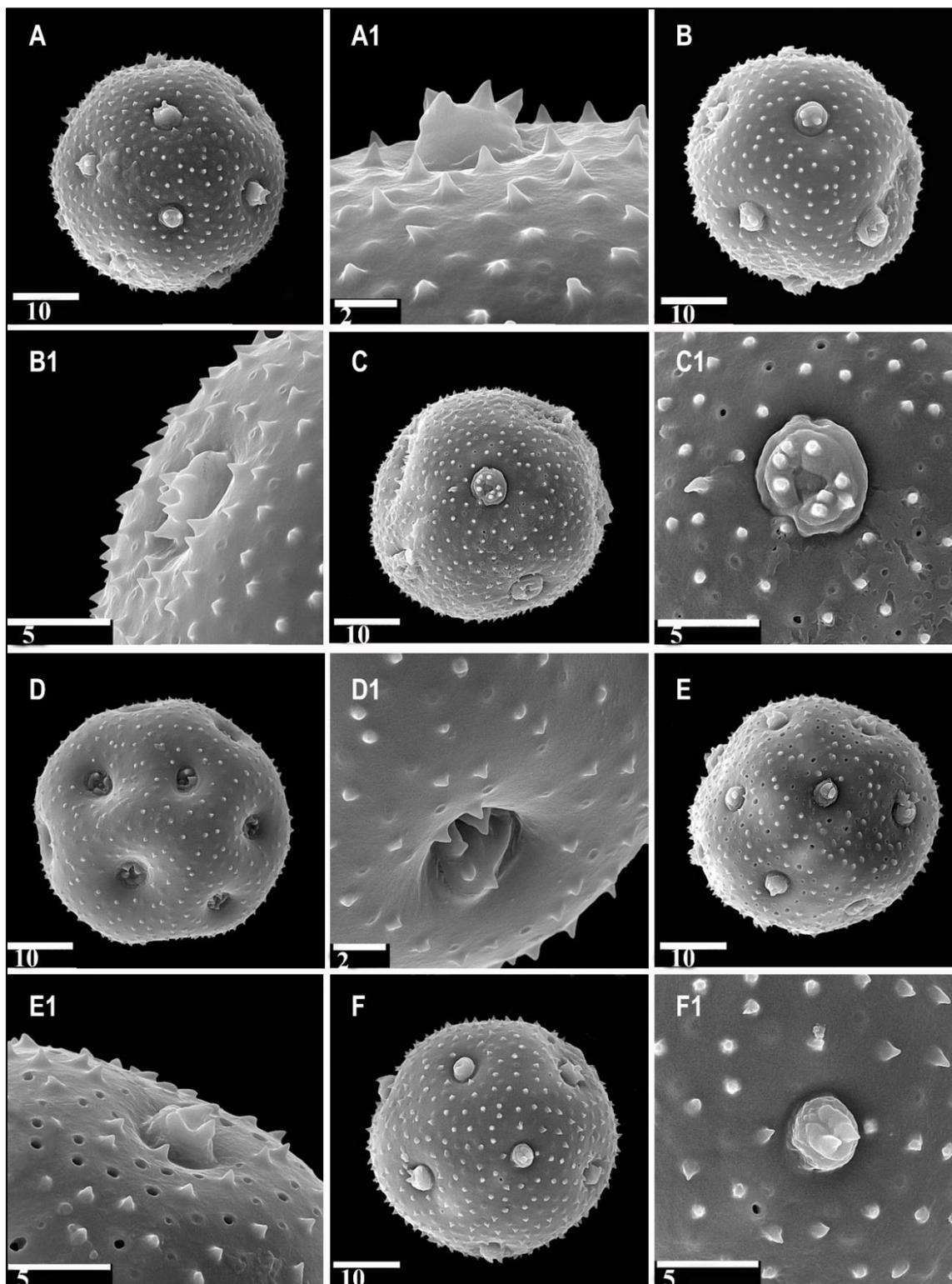
Characteristic	Code	Characteristic	Code	Characteristic	Code	Characteristic	Code
Pollen diameter in polar view (SEM) μm	A	Pollen diameter in equatorial view (SEM) μm	B	P/E-ratio	C	Exine thickness (LM) μm	D
Pore diameter (SEM) μm	E	Interporal distance	F	Operculum diameter (SEM) μm	G	Operculum height (SEM) μm	H
Spinule length	I	Spinule width	J	Diastance betwin spinules	K	Pore numbers (SEM)	L
Granul of pore numbers (SEM)	M	Spinule numbers (SEM)	N	Ornamentation between the spinules	O	Ornamentation	P
Punctum numbers	Q	Pore situation	S	-	-	-	-



شکل ۲- ناهم‌شکلی گرده‌ای مشاهده شده در *Dianthus orientalis* subsp. *orientalis*. فلش‌ها نشان‌دهنده انواع ناهم‌شکلی گرده‌ای است.
Fig. 2. Pollen heteromorphism observed in *D. orientalis* subsp. *orientalis*. Arrows indicate a variety of pollen heteromorphism.

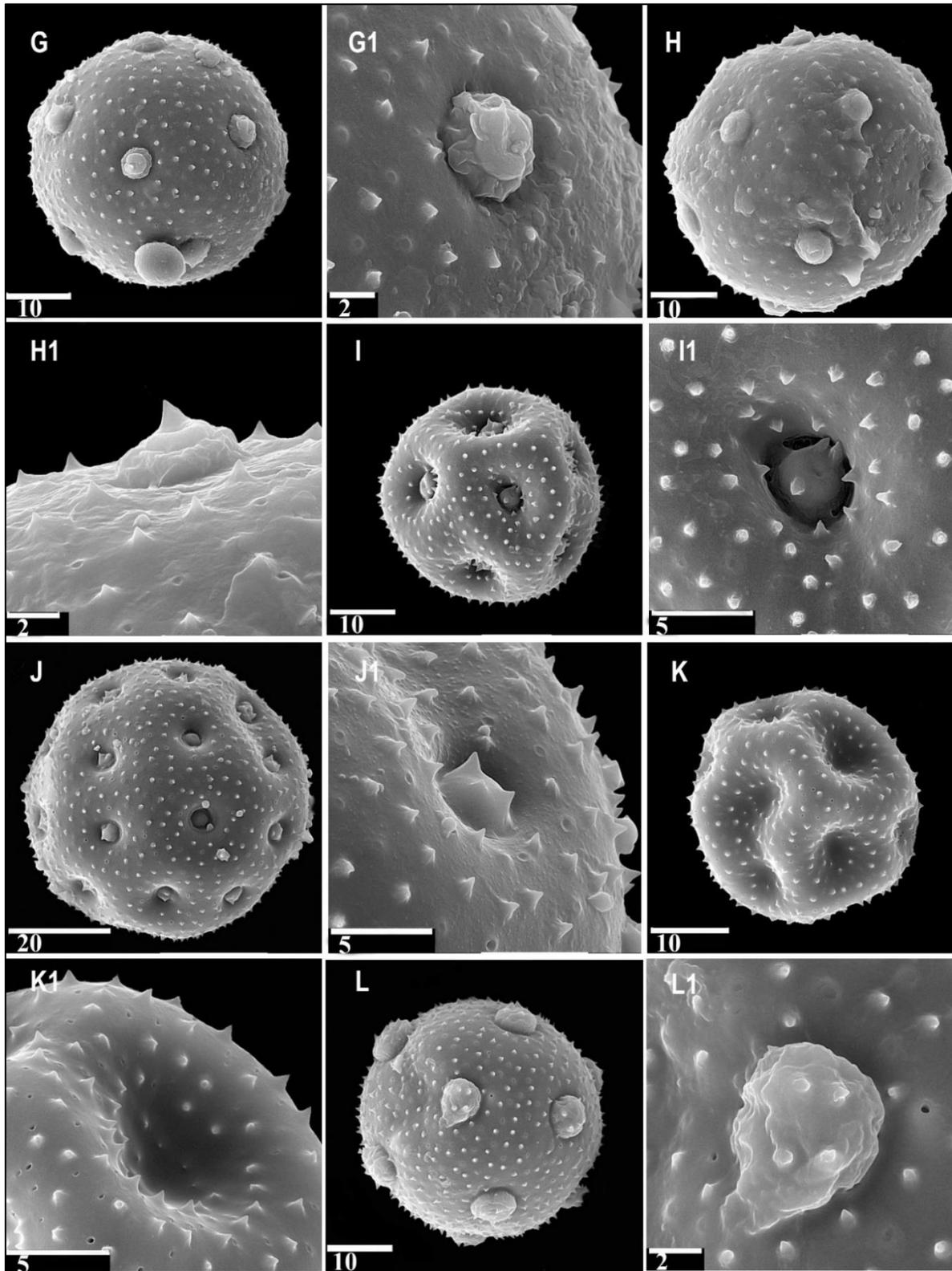


شکل ۳- ناهم‌شکلی گرده‌ای مشاهده شده در *Dianthus orientalis* subsp. *gorganicus*. فلش‌ها نشان‌دهنده انواع ناهم‌شکلی گرده‌ای از لحاظ اندازه است.
Fig. 3. Pollen heteromorphism observed in *Dianthus orientalis* subsp. *gorganicus*. Arrows represent a variety of pollen heteromorphism in size.



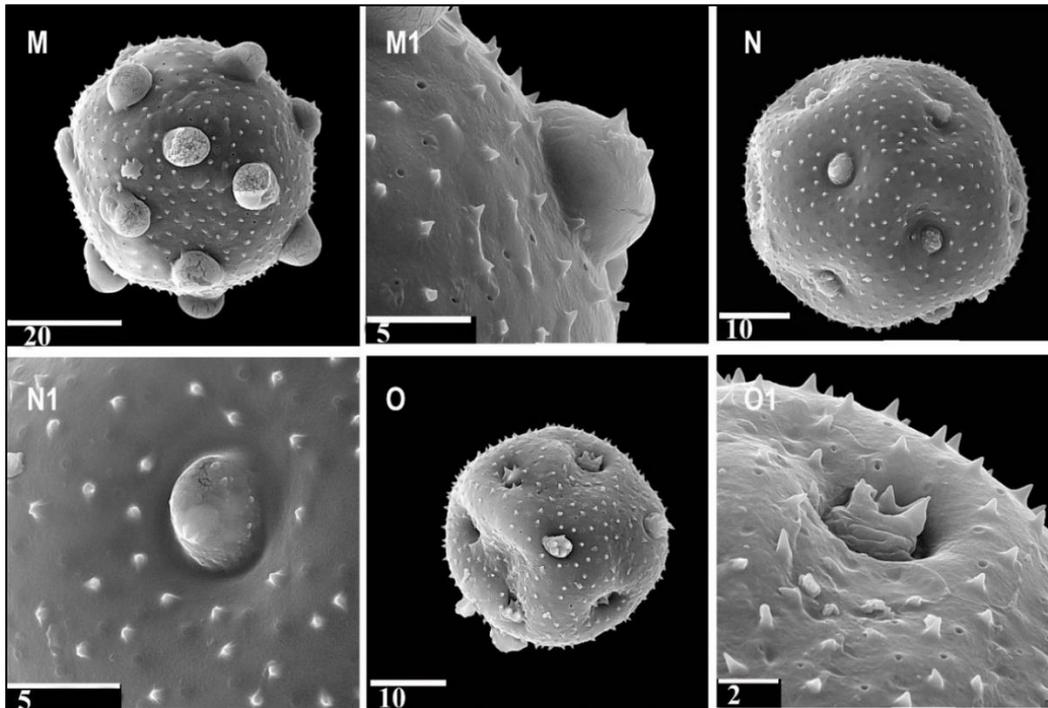
شکل ۴- تصاویر میکروسکوپ الکترونی نگاره دانه‌های گرده جنس میخک: A-A1. *D. austroiranicus*, B-B1. *D. crinitus*, C-C1. *D. crinitus* subsp. *crinitus*, D-D1. *D. crinitus* subsp. *kermanensis*, E-E1. *D. crinitus* subsp. *turcomanicus*, F-F1. *D. jacobsii* (مقیاس به میکرومتر).

Fig. 4. Scanning electron micrographs of pollen grains of the genus *Dianthus*: A-A1. *D. austroiranicus*, B-B1. *D. crinitus*, C-C1. *D. crinitus* subsp. *crinitus*, D-D1. *D. crinitus* subsp. *kermanensis*, E-E1. *D. crinitus* subsp. *turcomanicus*, F-F1. *D. jacobsii* (Bar in μm).



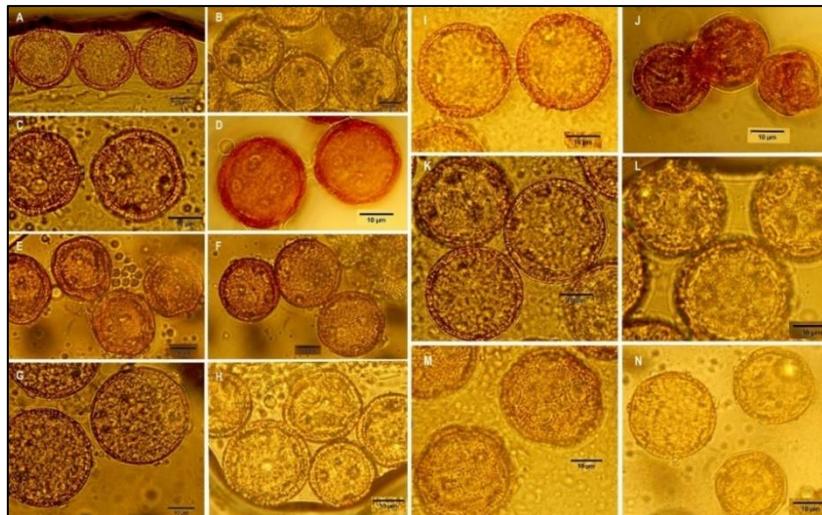
شکل ۵- تصاویر میکروسکوپ الکترونی نگاره دانه‌های گرده جنس میخک: G-H1. *D. libanotis* .I-I1. *D. orientalis* .J-J1. *D. orientalis* subsp. *gorganicus* .K-K1. *D. orientalis* subsp. *orientalis* .L-L1. *D. orientalis* subsp. *macropetalus* (مقیاس به میکرومتر).

Fig. 5. Scanning electron micrographs of pollen grains of the genus *Dianthus*: G-H1. *D. libanotis*, I-I1. *D. orientalis*, J-J1. *D. orientalis* subsp. *gorganicus*, K-K1. *D. orientalis* subsp. *orientalis*, L-L1. *D. orientalis* subsp. *macropetalus* (Bar in μm).



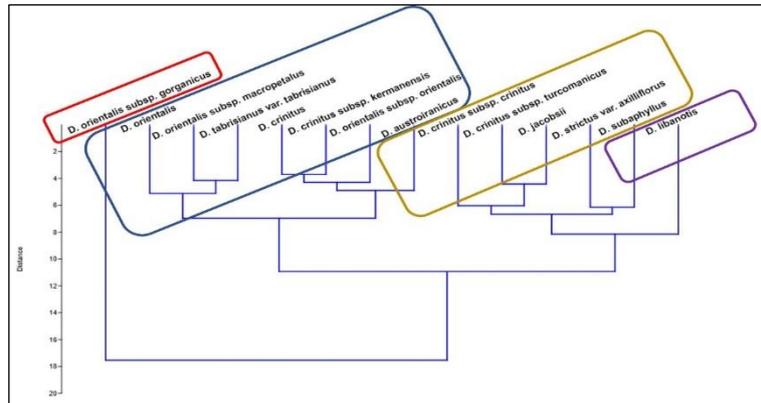
شکل ۶- تصاویر میکروسکوپ الکترونی نگاره دانه‌های گرده جنس میخک: M-M1. *D. strictus* var. *axilliflorus*. N-N1. *D. subaphyllus*. O-O1. *D. tabrisianus* var. *tabrisianus*. (مقیاس به میکرومتر).

Fig. 6. Scanning electron micrographs of pollen grains of the genus *Dianthus*: M-M1. *D. strictus* var. *axilliflorus*, N-N1. *D. subaphyllus*, O-O1. *D. tabrisianus* var. *tabrisianus* (Bar in μm).



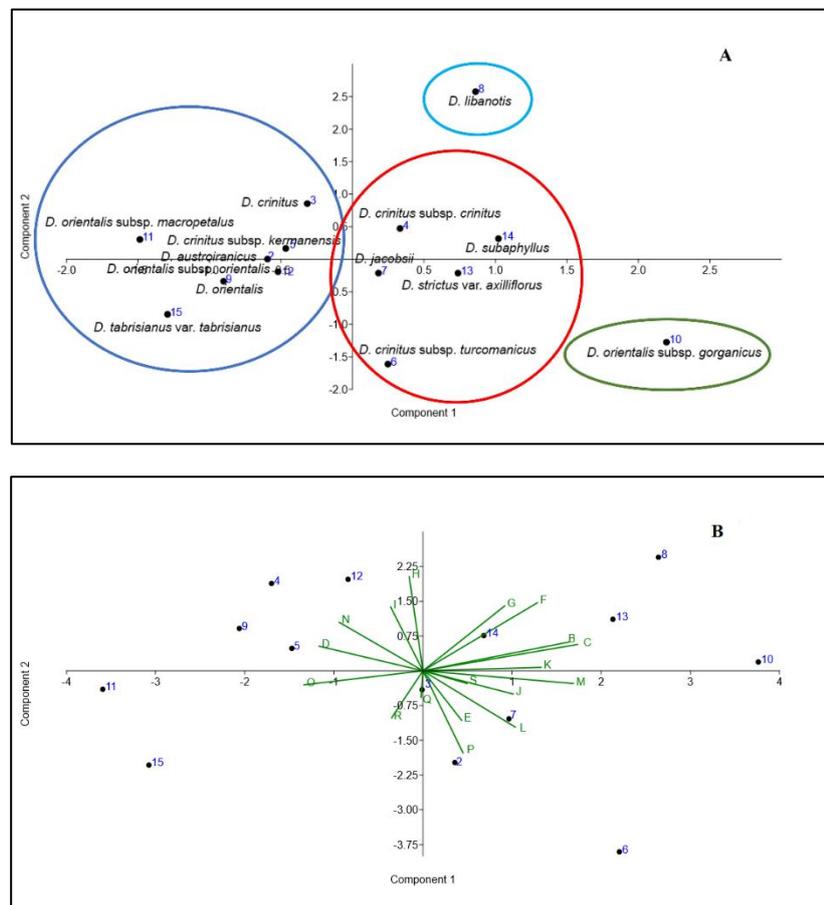
شکل ۷- تصاویر میکروسکوپ نوری دانه‌های گرده جنس میخک: A. *D. austroiranicus*. B. *D. crinitus*. C. *D. crinitus* subsp. *crinitus*. D. *D. crinitus* subsp. *kermanensis*. E. *D. crinitus* subsp. *turcomanicus*. F. *D. jacobsii*. G. *D. libanotis*. H. *D. orientalis*. I. *D. orientalis* subsp. *gorganicus*. J. *D. orientalis* subsp. *macropetalus*. K. *D. orientalis* subsp. *orientalis*. L. *D. strictus* var. *axilliflorus*. M. *D. subaphyllus*. N. *D. tabrisianus* var. *tabrisianus*.

Fig. 7. Light microscopic images of the pollen grains of the genus *Dianthus*: A. *D. austroiranicus*, B. *D. crinitus*, C. *D. crinitus* subsp. *crinitus*, D. *D. crinitus* subsp. *kermanensis*, E. *D. crinitus* subsp. *turcomanicus*, F. *D. jacobsii*, G. *D. libanotis*, H. *D. orientalis*, I. *D. orientalis* subsp. *gorganicus*, J. *D. orientalis* subsp. *macropetalus*, K. *D. orientalis* subsp. *orientalis*, L. *D. strictus* var. *axilliflorus*, M. *D. subaphyllus*, N. *D. tabrisianus* var. *tabrisianus*.



شکل ۸- درخت تبارشناختی جنس میخک براساس ویژگی‌های گرده مطالعه شده توسط میکروسکوپ نوری (LM) و میکروسکوپ الکترونی نگاره (SEM) با استفاده از نرم‌افزار Past.

Fig. 8. Genealogical tree of the genus *Dianthus* from the pollen traits examined by light microscopy (LM) and scanning electron microscopy (SEM) studies using Past software.



شکل ۹- آنالیز PCA ویژگی‌های مورد مطالعه در جنس میخک (A-B) ۱: *D. austroiranicus* ۲: *D. crinitus* ۳: *D. crinitus* ۴: *D. crinitus* subsp. *crinitus* ۵: *D. crinitus* subsp. *kermanensis* ۶: *D. crinitus* subsp. *turcomanicus* ۷: *D. jacobsii* ۸: *D. libanotis* ۹: *D. orientalis* ۱۰: *D. orientalis* subsp. *gorganicus* ۱۱: *D. orientalis* subsp. *macropetalus* ۱۲: *D. orientalis* subsp. *orientalis* ۱۳: *D. strictus* var. *axilliflorus* ۱۴: *D. subaphyllus* ۱۵: *D. tabrisianus* var. *tabrisianus*

Fig. 9. PCA analysis of the studied pollen traits in the genus *Dianthus* (A-B) 2: *D. austroiranicus* 3: *D. crinitus* 4: *D. crinitus* subsp. *crinitus* 5: *D. crinitus* subsp. *kermanensis* 6: *D. crinitus* subsp. *turcomanicus* 7: *D. jacobsii* 8: *D. libanotis* 9: *D. orientalis* 10: *D. orientalis* subsp. *gorganicus* 11: *D. orientalis* subsp. *macropetalus* 12: *D. orientalis* subsp. *orientalis* 13: *D. strictus* var. *axilliflorus* 14: *D. subaphyllus* 15: *D. tabrisianus* var. *tabrisianus*.

بسیار مشابه بودند، اما تجزیه و تحلیل چندمتغیره انجام شده ویژگی‌های کمی و کیفی متمایزی را شناسایی نمود که در تفکیک گونه‌ها یا گروه‌ها در بین آرایه‌های بررسی شده مفید بودند. نتایج نشان داد که گرده‌های هر ۱۴ آرایه مورد مطالعه دانه، دارای منافذ گرد بودند که به طور یکنواخت روی سطح توزیع شده بودند ریخت‌شناسی دانه گرده در میخکیان مطابقت دارد (Perveen & Qaiser 2006, Dong & Guan 2008, Mačukanović-Jocić et al. 2015, Cui et al. 2018, Mete et al. 2021, Ayaç et al. 2022, Teleb et al. 2023).

بیشتر ویژگی‌های دانه‌های گرده در آرایه‌های مورد مطالعه ثابت بودند و با نوع *D. superbus* که توسط پانت و هوان (Punt & Hoen 1995) توصیف شده و نیز نوع آن که توسط ییلدیز و مته و همکاران (Yildiz 2001, Mete et al. 2021) گزارش شده، مطابقت دارند. با این حال، ناهم‌شکلی گرده‌ای مشاهده شده در این مطالعه (شکل‌های ۲-۳)، ناهم‌شکلی در مطالعات پیشین (شکل‌های چندضلعی یا چندضلعی-کروی، کروی-تخت، کشیده-کروی، گرده‌های نیمه‌کروی و *periporate* یا *pantopoliporate* که در میخکیان گزارش شده را نیز تحت پوشش قرار داد Chanda 1962, Punt & Hoen 1995, Pinar & Oybak 1997, Yildiz 2001, Kizilpınar et al. 2010, Poyraz & Ataslar 2010, Mostafavi & Mehregan 2014, Ullah et al. 2018, Telebet et al. 2023) (شکل ۲). ناهم‌شکلی گرده یعنی تولید هم‌زمان بیش از یک تیپ ریختی از دانه گرده در یک فرد یا گونه، حاصل برهم‌کنش عوامل ژنتیکی، سیتولوژیک و محیطی است (Marcussen & Oxelman 2013, Lazaro-Nogal et al. 2020, Dilek et al. 2024). ناهم‌شکلی گرده مشاهده شده در بررسی حاضر که از لحاظ تفاوت در قطر دانه گرده بود، سه نوع گرده متفاوت و به وضوح از لحاظ اندازه یا قطر گرده در آرایه *D. orientalis* subsp. *gorganicus* مشاهده شد (شکل ۳). تعداد منافذ هم در این آرایه از ۲۴ تا ۲۸ متغیر بود، در حالی که در آرایه بسیار نزدیک به این آرایه *D. orientalis* subsp. *orientalis* تفاوت در اندازه و قطر گرده چندان متفاوت نبود ولی از لحاظ شکلی پنج شکل متفاوت از گرده در نمایش داده شد (شکل ۲) که تعداد منافذ هم از ۱۶ تا ۱۸ متغیر بود. ضخامت دیواره و تاشدگی‌های دیواره و نوع تزئینات نیز در آرایه *D. crinitus* subsp. *turcomanicus* متفاوت‌تر از بقیه و ضخامت دیواره ۳/۷ میکرومتر بود، در حالی که در بقیه آرایه‌های *D. crinitus* در محدوده ۲/۲ تا ۲/۸ میکرومتر و نوع تزئینات در آرایه *D. crinitus* subsp. *turcomanicus* حالت پیشرفته‌تری از نوع *microechinate-punctate-foveolate* نسبت به بقیه آرایه‌ها

براساس شکل ۴A، آرایه‌های مورد مطالعه در چهار خوشه به شرح زیر قرار گرفتند: *D. libanotis* و *D. orientalis* subsp. *gorganicus* هر کدام به تنهایی در خوشه‌های مستقل جدا شدند و آرایه‌های *D. crinitus* subsp. *crinitus*، *D. crinitus* subsp. *turcomanicus* var. *axilliflorus*، *D. subaphyllus* در یک خوشه و آرایه‌های *D. austroiranicus*، *D. orientalis*، *D. crinitus* subsp. *kermanensis*، *D. crinitus*، *D. tabrisianus* var. و *D. orientalis* subsp. *macropetalus* در خوشه دیگر قرار گرفتند.

براساس شکل ۴B ویژگی G (اندازه فاصله منافذ از هم) برای جداسازی *D. libanotis* و به ترتیب ویژگی‌های B (اندازه قطر بزرگ گرده)، C (قطر کوچک گرده) و M (تعداد منافذ) برای جداسازی *D. orientalis* subsp. *gorganicus* مناسب بودند. ویژگی C (قطر کوچک گرده)، ویژگی Q (نوع منافذ) و ویژگی S (نوع تزئینات اگزین) سه آرایه *D. crinitus* subsp. *crinitus*، *D. crinitus* subsp. *turcomanicus* و *D. jacobsii* را در یک خوشه قرار دادند. ویژگی E (ضخامت اگزین)، ویژگی P (نوع تزئینات بین اسپینول‌ها) و ویژگی S (نوع تزئینات اگزین) ویژگی‌های مناسبی برای جداسازی دو آرایه *D. strictus* var. و *D. subaphyllus axilliflorus* از سایر آرایه‌ها بود. ویژگی‌های C (قطر کوچک گرده) و SW (عرض اسپینول) باعث قرارگیری آرایه‌های *D. crinitus* subsp. *crinitus*، *D. austroiranicus*، *D. crinitus* subsp. *orientalis* و *D. orientalis* subsp. *orientalis* در یک خوشه و ویژگی‌های PN (تعداد منافذ) و SN (تعداد اسپینول) برای آرایه‌های *D. orientalis* subsp. *macropetalus*، *D. orientalis* و *D. tabrisianus* var. *tabrisianus* در یک خوشه دیگر شدند.

بحث

در میخکیان، شباهت‌های ریخت‌شناسی دانه گرده در آرایه‌ها به ویژگی‌های کلی دانه‌های گرده مانند قطبیت، تقارن و شکل آن‌ها مرتبط است. از سوی دیگر، ویژگی‌هایی مانند اندازه گرده، تعداد و موقعیت روزنه‌ها، الگوی برجستگی و ضخامت اگزین به دلیل تغییرات قابل توجه، دارای ارزش آرایه‌شناختی بوده و در تفکیک گونه‌ها مفید هستند (Arkan & Inceoglu 1992, Perveen & Qaiser 2006, Sahreen et al. 2008). در این مطالعه، از میکروسکوپ نوری (LM) و میکروسکوپ الکترونی نگاره (SEM) برای بررسی ویژگی‌های ریخت‌شناختی گرده آرایه‌های جنس میخک در ایران استفاده شد. اگرچه دانه‌های گرده آرایه‌های تیره میخک در این پژوهش از نظر ریخت‌شناسی

حاصل از زیرگونه‌های مختلف گونه‌های *D. orientalis* و *D. crinitus* مطابقت داشت، به نحوی که در آنالیز UPGMA به جای این که همه زیرگونه‌های این گونه‌ها در کنار هم قرار گیرند، در موقعیت‌های متفاوتی قرار گرفتند. پلی‌پلویدی در میخکیان گسترده بوده، به طوری که ۶۷ درصد گونه‌ها دیپلوئید، ۱۸/۷ درصد تتراپلوئید، ۶/۶ درصد هگزاپلوئید و ۷/۷ درصد مربوط به سیتوتیپ‌های مختلف است (Rodríguez-Parra et al. 2022). تنوع اندازه گرده نیز در زیرگونه‌های *D. orientalis* و *D. crinitus* در این بررسی مشاهده شد. در زیرگونه *D. orientalis* subsp. *gorganicus* به طور کامل مشهود سه نوع گرده از لحاظ اندازه مشاهده شد که احتمالاً مربوط به حالت دیپلوئیدی، تتراپلوئیدی و هگزاپلوئیدی در این زیرگونه است (شکل ۳). تنوع عدد کروموزومی و سطح پلوئیدی نیز در زیرگونه‌های این گونه‌ها گزارش شده است. عدد کروموزومی $2n=30$ با حالت دیپلوئید در مورد *D. orientalis* subsp. *nassireddini* و حالت تتراپلوئید در *D. orientalis* subsp. *obtusisquameus* گزارش شده است (Ghaffari 1987 & 2006). عدد کروموزومی گزارش شده از *D. crinitus* $4n=60$ با حالت تتراپلوئید در زیرگونه *D. crinitus* subsp. *turcomanicus* گزارش شده است (Jafari & Behroozian 2010).

تعداد منافذ در گونه‌های مطالعه شده بین ۱۴-۱۲ و ۲۸-۲۴ متغیر بود. کمترین تعداد منافذ مربوط به *D. crinitus* subsp. *crinitus*، *D. orientalis* subsp. *crinitus* و *D. tabrisianus* var. *tabrisianus* و بیشترین تعداد مربوط به *D. orientalis* subsp. *gorganicus* بود. در مطالعه ییلدیز (۲۰۰۱)، تعداد منافذ *D. crinitus* subsp. *crinitus* ۱۳ تا ۱۷ گزارش شده که این تعداد با نتایج این مطالعه مطابقت دارد. همچنین، تعداد منافذ در *D. crinitus* در بررسی آیتاچ و همکاران (Aytaç et al. 2022) $17/07 \pm 1/59$ نیز با نتایج بررسی حاضر همخوانی دارد، ولی در مطالعه مته و همکاران (۲۰۲۱) که تعداد منافذ 3 ± 20 گزارش شده، متفاوت است. همچنین، تعداد منافذ در آرایه‌های *D. orientalis* subsp. *orientalis* (3 ± 18) و *D. strictus* var. *axilliflorus* (3 ± 20) در مطالعه مته و همکاران (۲۰۲۱) با نتایج حاضر همخوانی دارد، ولی تعداد منافذ در آرایه‌های *D. tabrisianus* و *D. libanotis* که به ترتیب 3 ± 24 و 3 ± 20 توسط مته و همکاران (۲۰۲۱) گزارش شده، همخوانی ندارد.

نتایج به دست آمده از ناهم‌شکلی گرده‌ای در این بررسی هم حاصل برهم‌کنش عوامل ژنتیکی، سیتولوژیک و محیطی بود که به نظر می‌رسد تفاوت‌های بارز در داده‌های گرده‌ای در آرایه‌های بسیار نزدیک از این عوامل ناشی می‌شود. نتایج این بررسی با نتایج ناهم‌شکلی به دست آمده در دیگر تیره‌های گیاهی و همچنین ناهم‌شکلی‌های مشاهده شده در گرده برخی از جنس‌های دیگر میخکیان همخوانی دارد (McNeill & Crompton 1978, Dajoz et al. 1991, Dajoz & Till-Bottraud 1993, Ramsey & Schemske 1998, Imbert & Richards 2004, Katifori et al. 2010, Róis et al. 2012, Cohen et al. 2013, De Storme et al. 2013, Quamar et al. 2021).

گرده گونه‌های مطالعه شده از نظر اندازه $50/54 - 32/73$ میکرومتر) متفاوت بودند و در دو گروه متوسط و بزرگ قرار گرفتند. به طور کلی، گونه‌های بخش‌های *Verruculosi* Boiss. و *Fimbriati* Boiss. دارای گرده‌های بزرگتری بودند که با یافته‌های آخرین بررسی جامع دانه‌های گرده میخکیان توسط مته و همکاران (۲۰۲۱) مطابقت دارد. مطالعات پیشین روی دانه‌های گرده جنس میخک نشان داده‌اند که گرده‌های این جنس در گروه اندازه‌های کوچک یا متوسط قرار می‌گیرند (Yildiz 2001, Sahreen et al. 2008).

نتایج بررسی اندازه گرده‌های *D. crinitus* subsp. *crinitus* که توسط ییلدیز و مته و همکاران (Yildiz 2001, Mete et al. 2021) انجام شد، با نتایج مطالعه حاضر متفاوت بودند. اندازه گرده *D. crinitus* subsp. *crinitus* در مطالعه حاضر $41/91 \pm 1/18$ میکرومتر) بود ولی در بررسی ییلدیز و مته و همکاران (۲۰۰۱، ۲۰۲۱) به ترتیب دارای اندازه $35/57 \pm 3/57$ و $45/8$ میکرومتر و دارای اندازه گرده بزرگتری بودند. همچنین، اندازه گرده در آرایه‌های *D. tabrisianus*، *D. libanotis* و *D. orientalis* subsp. *orientalis* در مطالعه مته و همکاران (Mete et al. 2021) نیز بزرگتر از اندازه دانه‌های گرده در مطالعه حاضر بود ($42/9$ ، $54/8$ و $42/8$ میکرومتر) اما اندازه دانه گرده در بررسی مته و همکاران (۲۰۲۱) در آرایه *D. strictus* var. *axilliflorus* کاملاً با نتایج این پژوهش همخوانی داشت.

در گزارش‌های پیشین محققان در مورد همبستگی اندازه دانه گرده با سطح پلوئیدی اختلاف نظر وجود دارد، هرچند جدیدترین مطالعات حاکی از آن است که اندازه گرده به طور مثبت و معنی‌داری با سطح پلوئیدی همبستگی دارد و کمترین اندازه گرده مربوط به سطوح دیپلوئید و تتراپلوئید در محدوده میانی و سطح هگزاپلوئید بیشترین محدوده اندازه گرده را داشت (Möller 2018, Lekhapan et al. 2024). این یافته‌ها با نتایج

گزین غیرسوراخ‌دار، تعداد منافذ کم و فقدان اسپینول معمولاً به عنوان ویژگی‌های اولیه گرده شناخته می‌شوند (Van Campo 1966, Walker 1974a, 1974b, Takhtajan 1980, Mete et al. 2021). براساس ارزیابی‌های سیستماتیک، به نظر می‌رسد که تزیینات سطحی آرایه‌های منتخب جنس میخک در ایران از حالت غیرسوراخ‌دار به سوراخ‌دار و از آرایش ساده به پیچیده تکامل یافته است که با روندهای تکاملی مشاهده شده توسط واکر (Walker 1974a,b) همخوانی دارد. *D. crinitus* subsp. *turcomanicus* با آرایش *microechinate-punctate-foveolate* به عنوان پیشرفته‌ترین آرایه تعیین شد، در حالی که هفت آرایه با آرایش *microechinate* به عنوان ابتدایی‌ترین آرایه‌ها براساس این ویژگی در نظر گرفته شدند. براساس تعداد منافذ، شش گروه در میان آرایه‌های بررسی شده قابل تشخیص بودند که در این میان، سه آرایه با ۱۴-۱۲ منفذ به عنوان آرایه‌های ابتدایی‌تر شناسایی شدند. تحلیل‌های انجام شده نشان داد که هیچ رابطه‌ای بین آرایه‌های جنس میخک که براساس ریخت‌شناسی دانه گرده خوشه‌بندی شده‌اند و بخش‌هایی که بر پایه ریخت‌شناسی عمومی تعریف شده‌اند، وجود ندارد. با این حال، برخی خوشه‌ها تطابق یک‌به‌یک نشان‌دهنده یا رابطه‌ای میان آرایه‌ها را نشان دادند (شکل‌های ۸-۷). نتایج حاصل از این مطالعه تأیید می‌کند که برخی ویژگی‌های گرده مانند قطر بزرگ و کوچک، اندازه فاصله منافذ از هم، تعداد منافذ، ضخامت آگزین، نوع تزیینات بین اسپینول‌ها و نیز نوع تزیینات آگزین ویژگی‌های ارزشمندی بودند که می‌توانند به عنوان ویژگی‌های تشخیصی در رده‌بندی استفاده شوند. این نتایج با مطالعات گرده‌شناسی دیگر که روی جنس‌های مختلف میخکیان انجام شده، همخوانی دارند (Perveen & Qaiser 2006, Kaplan 2008, Ataşlar et al. 2009, Mostafavi & Mehregan 2014, Ullah et al. 2018, Mete et al. 2021, Teleb et al. 2023).

نتیجه‌گیری کلی

آرایه‌های جنس میخک بیشتر دارای دانه‌های گرده کروی یا به طور دقیق‌تر کروی-کشیده بودند و ناهم‌شکلی گرده‌ای نیز در آن‌ها مشاهده شد که از نظر ابعاد، تعداد و موقعیت منفذها، ساختار و تزیینات سطحی متنوع هستند. در میخکیان و به ویژه جنس میخک (بخش *Fimbriati*) ناهم‌شکلی گرده نه تنها بازتابی از تغییرات ریخت‌شناختی و ژنتیکی (پلی‌پلویدی)، بلکه سازه‌ای تطبیقی برای حفظ عملکرد هارمومگاتی در مواجهه با فشارهای محیطی به شمار می‌آید. نتایج این بررسی نشان داد که قطر بزرگ

سهرین و همکاران (Sahreen et al. 2008) ریخت‌شناسی گرده گونه‌های *D. crinitus* و *D. orientalis* را بررسی کرده و تعداد منافذ آن‌ها را به ترتیب ۱۰-۹ و ۹-۸ گزارش کردند. در مطالعه مته و همکاران (Mete et al. 2021) تعداد منافذ در این گونه‌ها 20 ± 3 و ۲۰-۱۶ ارزیابی شد و در مطالعه حاضر تعداد منافذ در این آرایه‌ها از ۱۸-۱۲ و ۲۸-۱۲ متغیر بود. در مورد قطر منافذ و فاصله بین آن‌ها و تعداد اسپینول روی دهانه منافذ در بررسی‌های مختلف گزارش‌ها متفاوت است. در آرایه‌های جنس میخک در مطالعه مته و همکاران (۲۰۲۱)، قطر منافذ در محدوده ۳/۳-۲/۲ میکرومتر و فاصله بین آن‌ها ۱۷-۸/۱ میکرومتر و دارای ۹-۴ گرانول روی دهانه منفذ بودند و در مطالعه کویی و همکاران (Cui et al. 2018) قطر منافذ ۶/۶۶-۳/۴۱ میکرومتر و فاصله بین آن‌ها ۱۳/۰۷-۹/۴۲ میکرومتر و دارای ۷-۳ گرانول روی دهانه منفذ بودند. در این بررسی، قطر منافذ ۴-۸/۵۴ میکرومتر و فاصله بین آن‌ها ۱۸/۴۱-۸/۶۲ میکرومتر و دارای ۱۰-۱ گرانول روی دهانه بودند. قطر منافذ گزارش شده برای گونه‌های میخک که در مطالعات ییلدیز (۲۰۰۱)، سهرین و همکاران (۲۰۰۸) و قزل‌پینار (Kizilpinar et al. 2010) گزارش شده‌اند، با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارند. در تمام گونه‌های گزارش شده از زیرتیره Caryophylloideae، دو نوع منفذ فرورفته و برجسته مشاهده شد که در پوش‌دار بود (operculate) و با اسپینول‌های ریز پوشیده شده بودند (Moore et al. 1991, Perveen & Qaiser 2006, Vural 2008, Cui et al. 2018, Ullah et al. 2018, Mete et al. 2021) که با یافته‌های این مطالعه نیز همخوانی دارد.

ضخامت آگزین در این مطالعه، از ۲/۰۳ تا ۳/۷ میکرومتر متغیر بود. نتایج مربوط به ضخامت آگزین در مطالعات پیشین با یافته‌های حاضر مطابقت دارد (Perveen & Qaiser 2006, Sahreen et al. 2008, Vural 2008, Kizilpinar et al. 2010, Aytaç et al. 2022, Mete et al. 2021, Ullah et al. 2018). در این مطالعه، سه نوع آرایش سطحی آگزین *microechinate* (در شش آرایه)، *microechinate-punctate* (در هفت آرایه) و *microechinate-punctate-foveolate* (در یک آرایه) مشاهده شد. همین تزیینات سطحی پیشتر نیز توسط محققان مختلف برای جنس میخک گزارش شده است (Punt & Hoen 1995, Dong & Guan 2009, Maćukanović, Kizilpinar et al. 2010, Ullah et al. 2018, Jocić et al. 2015, Cui et al. 2018, Mete et al. 2021, Ahiskali et al. 2020).

سپاسگزاری

از مدیریت و کارکنان محترم آزمایشگاه مرکزی دانشگاه تبریز (تبریز) بخش SEM که در تصویربرداری این بررسی و همچنین از زحمات سرکار خانم زهرا عبدالله پور که در تهیه نقشه پراکنش آرایه‌های مورد مطالعه در این پژوهش، نگارندگان مقاله را یاری کردند، سپاسگزاری و قدردانی می‌شود. پژوهش حاضر مستخرج از رساله دکتری نگارنده نخست به راهنمایی آقای دکتر مسعود رنجبر ارایه شده به دانشگاه بوعلی سینا است.

و کوچک گرده، اندازه فاصله منافذ، تعداد منافذ، ضخامت اگزین، نوع تزیینات بین اسپینول‌ها و نیز نوع تزیینات اگزین از مهم‌ترین ویژگی‌ها برای تمایز آرایه‌های مورد بررسی هستند. در نتیجه، این ویژگی‌های گرده‌ای در تفکیک آرایه‌های نزدیک به هم از نظر رده‌بندی مفید هستند.

با توجه به مطالب فوق، به نظر می‌رسد تحلیل‌های جمعیتی بیشتری برای مطالعه ناهم‌شکلی گرده و بررسی عوامل ایجادکننده آن‌ها در جنس میخک مورد نیاز باشد. به علاوه، مطالعات سیتولوژیکی دانه‌های گرده به همراه مطالعات ریخت‌شناسی می‌تواند به تشخیص جایگاه دقیق زیرگونه‌ها و وجود همبستگی میان اندازه گرده با سطح پلویدی کمک شایانی نماید.

References

- Ahiskali, M., Özerkan, M., Kaynak, G. & Yilmaz, Ö. 2020. Endemik *Dianthus goekayi* (Caryophyllaceae) Türünün Bazı Biyolojik Özellikleri Üzerine Bir Araştırma. Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi - C Yaşam Bilimleri Ve Biyoteknoloji 9(1): 56–63. DOI: 10.18036/estubtdc.524625.
- Arkan, O. & Inceoglu, A. 1992. Türkiye'nin bazı *Saponaria* L. taksonlarının pollen morfolojisi. Turkish Journal of Botany 16: 253–272.
- Assadi, M. 1985. The genus *Dianthus* L. (Caryophyllaceae) in Iran. Iranian Journal of Botany 3(1): 9–54. DOR: 20.1001.1.1029788.1364.3.1.2.2.
- Ataşlar, E., Erkara, İ.P. & Tokur, S. 2009. Pollen morphology of some *Gypsophila* L. (Caryophyllaceae) species and its taxonomic value. Turkish Journal of Botany 33(5): 335–351. DOI: 10.3906/bot-0810-19.
- Aytaç, Z., Kandemir, A., Ertuğrul, T., Fişne, A. & Ateş, M.A. 2022. *Dianthus berkayii* (Caryophyllaceae), a new species from Turkey. Turkish Journal of Botany 46: 260–270. DOI: 10.3906/bot-2112-43.
- Bidarlord, M. & Vitek, E. 2020. Palynological study of some species of *Anthemis* genus and its systematic implications. Rostaniha 21(2): 278–291. DOI: 10.22092/BOTANY.2021.352043.1223.
- Bittrich, V. 1993. Caryophyllaceae. Pp. 206–236. In: Kubitzki, K., Rohwer, J.G. & Bittrich, V. (eds), The Families and Genera of Vascular Plants, Flowering Plants, Dicotyledons, Magnoliid, Hamamelid and Caryophyllid Families. Vol. 2. Berlin, Germany.
- Boissier, E. (ed.). 1867. Flora Orientalis. Vol. 1: 479–516. Geneva & Basel: H. Georg.
- Casanova, E., Valdés, A.E., Fernández, B., Moysset, L. & Trillas, M.I. 2004. Level and immunolocalization of endogenous cytokinins in thidiazuron-induced shoot organogenesis in carnation. Plant Physiology 161: 95–104. DOI: 10.1078/0176-1617-00957.
- Chanda, S. 1962. On the pollen morphology of some Scandinavian Caryophyllaceae. Grana 3(3): 67–89. DOI: 10.1080/00173136209429105.
- Cohen, J.I. 2013. A phylogenetic analysis of morphological and molecular characters in Boraginaceae, including the evolutionary origins of heterostyly and pollen pore variation. Cladistics 29(1): 1–31.
- Cui, X., Wang, M., Gu, L. & Liu, J. 2018. Pollen morphology of Chinese Caryophyllaceae and its systematic significance. Palynology 43(4): 574–584. DOI: 10.1080/01916122.2018.1487888.
- Dashti, A. & Panahi, P. 2021. Pollen morphology of *Saponaria* L. (Caryophyllaceae) species and its

- taxonomic values. *Iranian Journal of Botany* 27(1): 42–52. DOI: 10.22092/ijb.2021.124344.
- Dajoz, I., Till-Bottraud, I., Gouyon, P.H. & Pichot, C. 1991. Pollen aperture heteromorphism and viability in *Viola*. *Evolutionary Trends in Plants* 5: 41–46. DOI: 10.1007/BF00985276.
- Dajoz, I. & Till-Bottraud, I. 1993. The evolution of pollen heteromorphism in *Viola*: A phylogenetic approach. *Plant Systematics and Evolution* 187: 51–64.
- Dequan, L. & Turland, N.J. 2001. *Dianthus*. *Flora of China* 6: 102–107.
- De Storme, N. & Geelen, D. 2013. Sexual polyploidization in plants - cytological mechanisms and molecular regulation. *New Phytologist* 198(3): 670–684. DOI: 10.1111/nph.12184.
- Dilek, E., Ozdener-Kibar, T., Yildiz, M. & Toker, C. 2024. Phenotypic plasticity of pollen morphology in response to environmental variation in Fabaceae. *Genetic Resources and Crop Evolution*. DOI: 10.1007/s10722-024-02260-4.
- Dong, L. & Guan, X. 2009. Pollen morphology of eight species of *Dianthus* from Xinjiang. *Bulletin of Botanical Research* 29(6): 647–650. DOI: 10.7525/j.issn.1673-5102.2009.06.002.
- El-Ghazaly, G. 1991. *Pollen Flora of Qatar*. Scientific and Applied Research Center, University of Qatar. 432 pp.
- Erdtman, G. 1952. *Pollen Morphology and Plant Taxonomy - Angiosperms*. Almqvist and Wiksell, Stockholm. 539 pp. DOI: 10.1126/science.117.3030.86.
- Erdtman, G. 1960. The acetolysis method - a revised description. *Svensk Botanisk Tidskrift* 54: 516–564.
- Erdtman, G., Berglund, B. & Pragłowski, J. 1961. *An Introduction to a Scandinavian Pollen Flora*. Vol. 1. Almqvist and Wiksell, Stockholm. 92 pp.
- Firat, M. & Yildiz, K. 2016. *Silene miksensis* (Caryophyllaceae), a new species from eastern Anatolia. *Phytotaxa* 273(4): 283–292. DOI: 10.11646/phytotaxa.273.4.4.
- Ghaffari, S.M. 1987. IOPB chromosome number reports 96. *Taxon* 36: 659.
- Ghaffari, S.M. 2006. New or rare chromosome counts of some angiosperm species from Iran. *Iranian Journal of Botany* 11(2): 185–192.
- Ghahremaninejad, F., Pejhanmehr, M., Attar, F., Daneshian, J. & Nejati Edalatiyan, M. 2014. The importance of palynology in the taxonomy of genus *Silene*, based on pollen morphology. *Rostaniha* 15(2): 94–109. DOI: 10.22092/botany.2014.101234.
- Ghazanfar, S.A. 1984. Morphology of the genus *Silene* L. (Caryophyllaceae), section *Siphonomorpha* Oth. and *Auriculatae* (Boiss.) Schischk. *New Phytologist* 98(4): 683–690. DOI: 10.1111/j.1469-8137.1984.tb04157.x.
- Greenberg, A.K. & Donoghue, M.J. 2011. Molecular systematics and character evolution in Caryophyllaceae. *Taxon* 60(6): 1637–1652. DOI: 10.1002/tax.606009.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T. & Ryan, P.D. 2001. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9 pp.
- Hernández-Ledesma, P., Berendsohn, W.G., Borsch, T., von Mering, S., Akhiani, H., Arias, S., Castañeda-Noa, I., Eggli, U., Eriksson, R., Flores-Olvera, H., Fuentes-Bazán, S., Kadereit, G., Klak, C., Korotkova, N., Nyffeler, R., Ocampo, G., Ochoterena, H., Oxelman, B., Rabeler, R.K., Sanchez, A., Schlumpberger, B.O. & Uotila, P. 2015. A taxonomic backbone for the global synthesis of species diversity in the angiosperm order Caryophyllales. *Willdenowia* 45(3): 281–383. DOI: 10.3372/wi.45.45301.
- Imbert, E. & Richards, C.L. 2004. Pollen and sperm heteromorphism: Convergence across kingdoms? *Journal of Evolutionary Biology* 17(4): 642–650. DOI: 10.1111/j.1420-9101.2004.00789.x.

- Ismail, S.R. 1992. A taxonomic study on family Caryophyllaceae. MSc thesis. Faculty of Science, Monofeya, Egypt.
- Jafari, A. & Behroozian, M. 2010. A cytotaxonomic study on *Dianthus* L. species in north-eastern Iran. *Asian Journal of Plant Sciences* 9(1): 58–62. DOI: 10.3923/ajps.2010.58.62.
- Kaplan, A. 2008. Pollen morphology of some *Paronychia* species (Caryophyllaceae) from Turkey. *Biologia* 63(1): 53.
- Karaismailoglu, M.C., Erez, M.E., Pinar, S.M., Fidan, M. & Eroglu, H. 2019. Morphological, anatomical, palynological and ecological data on the local endemic *Dianthus vanensis* (Caryophyllaceae) from Turkey. *Phytotaxa* 394(1): 71–78. DOI: 10.11646/phytotaxa.394.1.4.
- Katifori, E., Alben, S., Cerda, E., Nelson, D.R. & Dumais, J. 2010. Foldable structures and the mechanics of pollen grains. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107(17): 7635–7639. DOI: 10.1073/pnas.0911223107.
- Keshavarzi, M., Mahdavinjad, M., Sheidai, M. & Gholipour, A. 2015. Seed and pollen morphology of some *Silene* species (Caryophyllaceae) in Iran. *Phytologia Balcanica* 21(1): 7–12.
- Kizilpinar, I., Özüdogru, B., Özmen, E., Es, S. & Dogan, C. 2010. Morphological, palynological and ecological features of *Dianthus engleri* Hausskn. & Bormm. *Hacettepe Journal of Biology and Chemistry* 38(2): 139–147. DOI: 10.11646/phytotaxa.394.1.4.
- Lázaro-Nogal, A., Matesanz, S., Godoy, A., Pérez, T. & Gianoli, E. 2020. Ecotypic differentiation and phenotypic plasticity in Mediterranean shrub *Atriplex halimus*: insights into pollen heteromorphism. *Web Ecology* 20: 19–29. DOI: 10.5194/we-20-19-2020.
- Lekhapan, P., Anamthawat-Jónsson, K. & Chokchaichamnankit, P. 2024. The size of viable pollen is correlated with ploidy level, as evidenced by a polyploid series of *Ocimum* L. from Thailand. *Cytologia* 89(3): 225–234. DOI: 10.1508/cytologia.89.225.
- Marcussen, T. & Oxelman, B. 2013. Evolution of pollen morphology and heteromorphism in *Viola* sect. *Melanium*. *Acta Botanica Croatica* 72(1): 1–13. DOI: 10.2478/v10184-012-0010-1.
- Macukanovic-Jocic, M.P., Jaric, S.V. & Mladenovic, M.A. 2015. Palynomorphological study of *Dianthus petraeus* Waldst. et Kit. (Caryophyllaceae). *Archives of Biological Sciences* 67(3): 973–980. DOI: 10.2298/ABS150116060M.
- McNeill, J. & Bassett, I.J. 1974. Pollen morphology and the infrageneric classification of *Minuartia* (Caryophyllaceae). *Canadian Journal of Botany* 52(6): 1225–1231. DOI: 10.1139/b74-158.
- McNeill, J. & Crompton, C.W. 1978. Pollen dimorphism in *Silene alba* (Caryophyllaceae). *Canadian Journal of Botany* 56(10): 1280–1286.
- Mete, D., Sahina, A.A., Hamzaoglu, E. & Pinar, N.M. 2021. Pollen morphology applied to species delimitation of Turkish *Dianthus* L. (Caryophyllaceae). *Palynology* 45(4): 599–625. DOI: 10.1080/01916122.2021.1879304.
- Moore, P.D., Webb, J.A. & Collison, M.E. 1991. *Pollen Analysis*. Oxford, UK: Blackwell Scientific Publications.
- Mostafavi, G. & Mehregan, I. 2014. Pollen micro-morphology of the *Minuartia* species (Caryophyllaceae) in Iran. *International Journal of Modern Botany* 4(1): 8–21. DOI: 10.5923/j.ijmb.20140401.02.
- Möller, M. 2018. Nuclear DNA C-values are correlated with pollen size at tetraploid but not diploid level and linked to phylogenetic descent in *Streptocarpus* (Gesneriaceae). *South African Journal of Botany* 114: 323–344. DOI: 10.1016/j.sajb.2017.11.017.
- Nejad Falatoury, A., Ghahremaninejad, F. & Assadi, M. 2017. Palynological study of the genus *Gypsophila* in Iran. *Rostaniha* 18(1): 16–32

- (In Persian with English summary). DOI: 10.22092/botany.2017.113228.
- Perveen, A. & Qaiser, M. 2006. Pollen flora of Pakistan - LI - Caryophyllaceae. *Pakistan Journal of Botany* 38(4): 901.
- Poursakhi, K., Joharchi, M.R., Zarre, S. & Heubl, G. 2013. A new subspecies of the genus *Cerastium* L. from Iran, with notes on seed and pollen characters. *Iranian Journal of Botany* 19(2): 144–151. DOI: 10.22092/IJB.2013.2993.
- Punt, W. & Hoen, P.P. 1995. Caryophyllaceae. Review of Palaeobotany and Palynology 88(1–4): 83–272. DOI: 10.1016/0034-6667(95)00020-X.
- Quamar, M. F., Singh, A. & Dixit, S. 2021. Pollen heteromorphism in *Schleichera oleosa* (Sapindaceae): Implications of ploidy and ecology. *Acta Palaeobotanica* 61(2): 159–168. DOI: 10.35535/acpa-2021-0003.
- Ramsey, J. & Schemske, D.W. 1998. Pathways, mechanisms, and rates of polyploid formation in flowering plants. *Annual Review of Ecology and Systematics* 29: 467–501. DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.29.1.467.
- Rechinger, K.H. 1988. Caryophyllaceae, *Dianthus* L. Pp. 128–188. In: Rechinger K.H. (ed.), *Flora Iranica*, No. 163. Akademische Druck und Verlagsanstalt, Graz.
- Rodríguez-Parra, A., Picazo-Aragón, J. & Balao, F. 2022. Evaluation of reference genes in the polyploid complex *Dianthus broteri* (Caryophyllaceae) using qPCR. *Plants* 11: 518. DOI: 10.3390/plants11040518.
- Róis, A.S., Teixeira, G., Sharbel, T.F., Fuchs, J., Martins, S., Espírito-Santo, D. & Caperta, A.D. 2012. Male fertility versus sterility, cytotype, and DNA quantitative variation in seed production in diploid and tetraploid sea-lavenders (*Limonium* sp., Plumbaginaceae) reveal diversity in reproduction modes. *Sexual Plant Reproduction* 25(4): 305–318. DOI: 10.1007/s00497-012-0199-y.
- Safikhani, K. & Mahmoodi, M. 2020. New record of *Dianthus pendulus* (Caryophyllaceae) from Iran. *Iranian Journal of Botany* 26(1): 19–21. DOR: 20.1001.1.1029788.1399.26.1.4.3.
- Sahreen, S., Khan, M.A., Meo, A.A. & Jabeen, A. 2008. Studies on the pollen morphology of the genus *Dianthus* (Caryophyllaceae) from Pakistan. *Biological Diversity and Conservation* 1(1): 89–98.
- Taia, W.K. 1994. On the pollen morphology of some Egyptian Caryophyllaceae. *Journal of King Saud University* 6(2): 149–165.
- Takhtajan, A.L. 1980. Outline of the classification of flowering plants (Magnoliophyta). *The Botanical Review* 46(3): 225–359.
- Teleb, S.S. 2004. Taxonomical studies on some taxa of Caryophyllaceae based on palynological criteria. PhD thesis. Faculty of Science, Zagazig University, Egypt.
- Teleb, S.S., El-Mabrouk, R.M. & Eldemerdash, M.M. 2023. Comparative morphological structures of pollen grains of six taxa of Silenoideae, Caryophyllaceae. *The Egyptian Society of Experimental Biology* 19(1): 41–48. DOI: 10.5455/egyjebb.20230131123212.
- Till-Bottraud, I. 1999. Pollen heteromorphism: An adaptive bet-hedging strategy. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences. Series III* 322(1): 55–62. DOI: 10.1016/S0764-4469(00)88528-5.
- Ullah, F., Nasar Shah, S., Zaman, W., Zafar, M., Ahmad, M., Ayaz, A., Sohail, A. & Saqib, S. 2019. Using palynomorphological characteristics for the identification of species of Alsinoideae (Caryophyllaceae): a systematic approach. *Grana* 58(3): 174–184. DOI: 10.1016/J.FLORA.2018.02.003.
- Ullah, F., Zafar, M., Ahmad, M., Dilbar, S., Shah, S.N., Sohail, A., Zaman, W., Iqbal, M., Bahadur, S. & Tariq, A. 2018. Pollen morphology of sub-family Caryophylloideae (Caryophyllaceae) and its taxonomic significance. *Microscopy Research and Technique* 81(7): 704–715. DOI: 10.1002/jemt.23173.

- Vaezi, J., Behroozian, M., Memariani, F. & Joharchi, M.R. 2014. *Dianthus pseudocrinitus* (Caryophyllaceae), a new species from Northeast of Iran identified by morphological and molecular data. *Phytotaxa* 156(2): 59–73. DOI: 10.11646/phytotaxa.156.2.1.
- Vural, C. 2008. A new species of *Dianthus* (Caryophyllaceae) from Mount Erciyes, Central Anatolia, Turkey. *Botanical Journal of the Linnean Society* 158(1): 55–61. DOI: 10.1111/j.1095-8339.2008.00843.x.
- Walker, J.W. 1974a. Aperture evolution in the pollen of primitive angiosperms. *American Journal of Botany* 61(10): 1112–1137. DOI: 10.2307/2441929.
- Walker, J.W. 1974b. Evolution of exine structure in the pollen of primitive angiosperms. *American Journal of Botany* 61(8): 891–902. DOI: 10.2307/2441626.
- Yang, H.R., Wang, F., Yu, J., Huan, K., Zhang, H.C. & Fu, Z.H. 2021. An improved weighted index for the assessment of heavy metal pollution in soils in Zhejiang, China. *Environmental Research* 192: 110246.
- Yang, L., Zhu, Y. & Hua, Q. 2024. Comparative chloroplast genomics of Caryophyllaceae species: insights into sequence variations and phylogenetic evolution. *BMC Plant Biology* 24(1259): 1–23. DOI: 10.1186/s12870-024-05921-9.
- Yildiz, K. 2001. Pollen morphology of Caryophyllaceae species from Turkey. *Pakistan Journal of Botany* 33(4): 329–355.
- Yildiz, K. & Minareci, E. 2008. Morphological, anatomical, palynological and cytological investigation on *Silene urvillei* Schott. (Caryophyllaceae). *Journal of Applied Biological Sciences* 2(2): 41–46.
- Yildiz, K., Cirpici, A. & Dadandi, M.Y. 2010. Pollen morphology of *Silene* taxa (Caryophyllaceae) in four sections from Turkey. *Phytologia Balcanica* 16(1): 85–95.