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

**نسرین عبداله‌پور**✉: دانشجوی دکتری گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان ۳۸۶۹۵-۶۵۱۷۸، ایران (abdollahpourn1990@gmail.com)

**مسعود رنجبر**: استاد گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان ۳۸۶۹۵-۶۵۱۷۸، ایران

**چکیده**

جنس میخک 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 جدا شدن *D. orientalis* subsp. *gorganicus* از بقیه آرایه‌ها گردید. در مطالعه حاضر، ناهم‌شکلی‌گرده‌ای (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، قطرکوچک، 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

Not Final

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

**Nasrin Abdollahpour**✉**:** PhD Student, Department of Biology, Faculty of Science, Bu-Ali Sina University, Hamadan 65178-38695, Iran (abdollahpourn1990@gmail.com)

**Masoud Ranjbar:** Prof., Department of Biology, Faculty of Science, Bu-Ali Sina University, Hamadan 65178-38695, 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

میخکیان (Caryophyllaceae) یکی از بزرگترین تیره‌های نهان‌دانگان، شامل ۱۰۰ جنس و ۳۰۰۰ گونه است (Hernández-Ledesma *et al.* 2015) که بیشتر آن‌ها گیاهانی علفی، یک‌ساله، چندساله و یا درختچه‌های کوچک هستند که 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 نیمکره‌شمالی پراکنده شده و مراکز تنوع آن در مناطق فلوریستیکی مدیترانه‌ای و ایرانی-تورانی قرار دارد (Yang *et al.* 2024).

جنس میخک (*Dianthus* L.) با تقریبا ۶۰۰ گونه یکی از جنس‌های مهم میخکیان است که 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 (Asadi 1985) جنس میخک را در ایران مورد مطالعه قرار داد و ۳۳ گونه برای آن شناسایی کرد که نه 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 می‌شود. پس از وی، گونه *D. pseudocrinitus* Behroozian. & Joharchi به عنوان گونه جدید گزارش شد (Vaezi *et al.* 2014) و سپس *D. pendulus* Boiss. & C.I.Blanche نیز به عنوان رکورد جدید از ایران گزارش گردید (Safikhani & Mahmoodi 2020). این جنس در فلورا ایرانیکا دارای پنج بخش (section) مشتمل بر *Armerium*، *Fimbriati Dentati*، *Leiopetali*، *Verruculosi* و *Carthusiani* است.

ویژگی‌های ریخت‌شناختی دانه‌های گرده جنس‌های میخکیان به طور گسترده به عنوان ابزار منحصربه‌فرد رده‌بندی در این تیره بررسی شده‌اند (Moore *et al.* 1991، El-Ghazaly 1991، Ghazanfar 1984، McNeill & Crompton 1978، McNeill & Bassett 1974، 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، Ullah *et al.* 2019، Ulukus 2018، Dashti & Panahi 2021، Mete *et al.* 2021).

ریزریخت‌شناسی دانه گرده در میخکیان می‌تواند نقش کلیدی در تفکیک سطوح آرایه‌شناختی داشته باشد که 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 عموما کروی، منفرد و پانتوپورات با تزیینات microechinate-microperforate هستند و صفات کمّی مانند قطر دانه گرده، قطر منفذ و فاصله بین منفذی همراه با صفات کیفی در تحلیل‌های خوشه‌ای و PCA قدرت تفکیک بخش‌ها و گونه‌ها را افزایش می‌دهند (Ghahremaninejad *et al.* 2014, Kashavarzi *et al.* 2015). در بررسی دانه‌های گرده در ۴۰ آرایه از جنس *Gypsophila* دانه‌های گرده pantoporate (پرمنفذ) مشتمل بر ۱۲ منفذ به شکل چندوجهی با گوشه‌های گرد (rounded polyhedral) که تزیینات سطح آن‌ها 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 جنس *Minuartia* در ایران نیز روی ۲۰ گونه، دو شکل مختلف گرده به صورت نیمه-کروی (sub-spherical) و چندوجهی گرد (polyhederal) مشاهده شد که تعداد منفذها از ۱۰ تا ۲۴ متغیر بود و آرایش تزیینات سطح بیشتر حالت microechinate-punctate را نشان داد (Mostafavi & Mehregan 2014). افزون بر این، در 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 خصوصیات منفذ) همراه با آنالیزهای چندمتغیره، ارزش تاکسونومیکی قابل‌توجهی 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).

مطالعات بسیاری تا کنون روی گرده این جنس 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.* 2019، Karaismailoglu *et al.* 2020، Ahiskali *et al.* 2021، Mete *et al.* ). در کل، دانه‌های گرده در جنس میخک به صورت شبکه‌ای یا دارای منافذ ریز (microperforate) هستند. تعداد منافذ (pore) در این دانه‌ها بین

Not Final

۱۱ تا ۲۰ عدد متغیر بوده و معمولا بین ۱۱ تا ۱۶ عدد است (Yildiz 2001a, Cui *et al*. 2018). اندازه این دانه‌ها بین ۲۰ تا ۵۰ میکرومتر است. ییلدیز (Yildiz 2001b) 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 تزیینات 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 (Taleb *et al*. 2023, Macukanovic-Jocic *et al*. 2015).

جنس میخک به دلیل اهمیت بوم‌شناختی، اقتصادی، تنوع بالا، مشکلات طبقه‌بندی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. این آرایه‌ها به دلیل این که بخش *Fimbriati* بزرگترین بخش این جنس است دارای گونه‌ها و آرایه‌های زیادی هستند که از لحاظ ریخت‌شناختی تفاوت اندکی دارند. لذا در تحقیق حاضر، بیشتر آرایه‌ها (۱۳ آرایه) از این بخش انتخاب گردید و یک آرایه نیز از بخش *Verruculosi* تا تطابق داده‌های ریخت‌شناسی با داده‌های گرده‌ای مورد بررسی قرار گرفت. مطالعه حاضر می‌تواند علاوه بر شناسایی گونه‌ها، در رفع مشکلات آرایه‌شناختی و تعیین جایگاه آرایه‌شناختی دقیق‌تر این گروه 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.

## روش بررسی

مطالعه حاضر روی نمونه‌های هرباریومی دانشگاه بوعلی سینای همدان (BASU) که قبلا از ۱۴ زیستگاه از استان‌های مختلف کشور طی سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۴۰۱جمع‌آوری شده بودند انجام گردید (جدول‌های ۱ و ۲). شناسایی آرایه‌ها بر اساس 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 ۹:۱) توسط میکروسکوپ نوری (LM) مدل Olympus با بزرگنمایی ۱۰۰× مورد مطالعه قرار گرفتند. به منظور مطالعه میکروسکوپی الکترونی (SEM)، نمونه‌های گرده پس از قرارگیری 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 شدند. سپس تصاویر تهیه شده با میکروسکوپ نوری و الکترونی نگاره با نرم‌افزار Imagej 1/5v برای بررسی ویژگی‌های گرده مانند اندازه قطر بزرگ گرده، اندازه قطر کوچک گرده، اندازه اگزین دانه‌های گرده، طول و قطر دانه‌های گرده، اندازه و تعداد منفذها (pores) و تزیینات سطح دانه‌های گرده مورد مطالعه و اندازه‌گیری قرار گرفتند (اندازه‌گیری ۱۸ ویژگی مختلف کمّی و کیفی تعریف شده در ۳۰ الی ۱۰۰ دانه گرده). ویژگی‌های مورد بررسی پس از کدگذاری، توسط نرم‌افزار Past 5/1v (Hammer *et al*. 2001) در ابتدا استاندارد گردیده و سپس تحلیل PCA (Principal Components Analysis) و ترسیم درخت آرایه‌شناختی (جدول ۲) به روش UPMGA 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).

Not Final

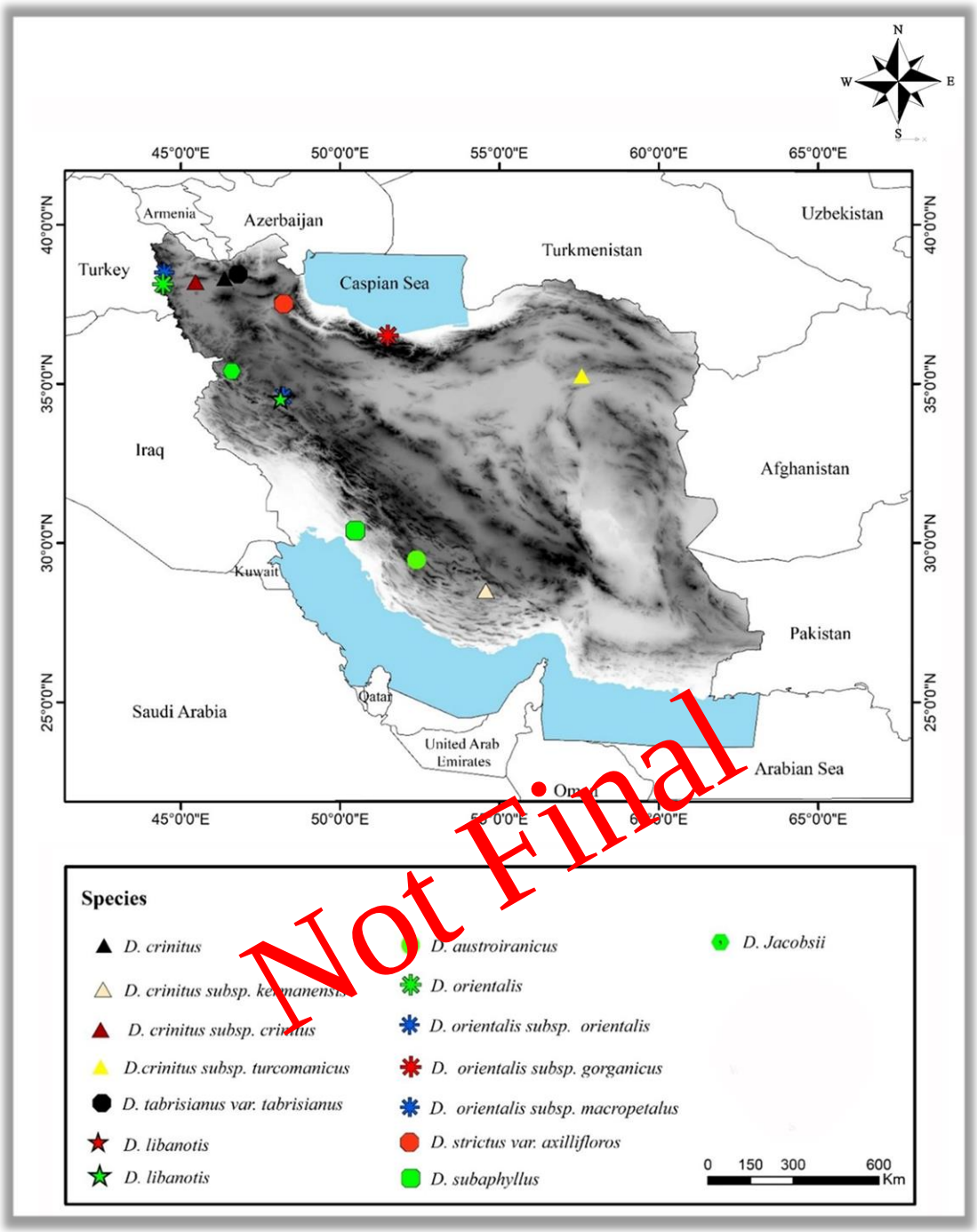
**جدول ۱**- اطلاعات هرباریومی نمونه‌های استفاده شده جهت بررسی دانه گرده در آرایه‌های منتخب از جنس میخک (بخش *Fimbriati*) در ایران

**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 | *Dianthus austroiranicus* Lemperg | Fars Prov.: Shiraz to Isfahan, 2137 m; 29° 47' 24" N, 52° 4' 12" E; M. Ranjbar 43840 |
| 2 | *D. crinitus* Sm. | E. Azerbaijan Prov.: Varzaqan, 1734 m; 38° 28' 31" N, 46° 37' 41" E; N. Abdollahpour 46016 |
| 3 | *D. crinitus* subsp. *crinitus* Sm. | E. Azarbayejan Prov.: Marand, 1861 m; 38° 20' 24" N, 45° 46' 12" E; M. Ranjbar 34406 |
| 4 | *D. crinitus* subsp. *kermanensis* Rech.f. | Fars Prov.: Darab, Lay Zangan, 1704 m; 28° 51' 0" N, 54° 57' 0" E; M. Ranjbar 32568 |
| 5 | *D. crinitus* subsp. *turcomanicus* (Schischk.) Rech.f. | Khorasan Razavi Prov.: Bardaskan to Sabzevar, 1537 m; 35° 25' 12" N, 57° 58' 11" E; M. Ranjbar 42228 |
| 6 | *D. jacobsii* Rech.f. | Kurdistan Prov.: Sanandaj to Marivan, 1821 m; 35° 40' 48" N, 46° 6' 35" E; M. Ranjbar 29222 |
| 7 | *D. libanotis* Labill. | Hamedan Prov.: 20 km before Asadabad, 1972 m; 34° 54' 36" N, 48° 13' 11" E; M. Ranjbar 29255 |
| 8 | *D. orientalis* Adams | W. Azarbayejan Prov.: Khoy, 1417 m; 38° 13' 48" N, 44° 44' 24" E; M. Ranjbar 34816 |
| 9 | *D. orientalis* subsp. *gorganicus* Rech.f. | Mazandaran Prov.: Kolardasht, -29 m; 36° 52' 12" N, 51° 5' 24" E; M. Ranjbar 41786 |
| 10 | *D. orientalis* subsp. *macropetalus* (Boiss.) Rech.f. | W. Azarbayejan Prov.: Urmia to Salmas; 38° 5' 24" N, 44° 48' 36" E; M. Ranjbar 42309 |
| 11 | *D. orientalis* subsp. *orientalis* | Hamedan Prov.: Nahavand, 1714 m; 34°6' 0" N, 48° 22' 48" E; M. Ranjbar 32222 |
| 12 | *D. strictus* var. *axilliflorus* (Fenzl) | Ardebil Prov.: Khalkhal, 1633 m; 37° 52' 48" N, 48° 23' 24" E; M. Ranjbar 37283 |
| 13 | *D. subaphyllus* (Lemperg) Rech.f. | Kohgiluyeh and Boyer Ahmad Prov.: Gachsaran, 1234 m; 30° 40' 12" N, 50° 48' 36" E; M. Ranjbar 41548 |
| 14 | *D. tabrisianus* var. *tabrisianus* | E. Azarbayejan Prov.: Kharvana, 1038 m; 38° 44' 24" N, 46° 8' 59" E; M. Ranjbar 37291 |

BASU*: Bu-Ali Sina University Herbarium (Hamedan, Iran)

Not Final




**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.

## نتیجه

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. *kermanensis*، *D. jacobsii*، *D. orientalis* subsp. *Gorganicus* و *D. orientalis* subsp. *macropetalus* 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 دانه گرده این جنس مشاهده شد، ولی فقط گرده‌های با شکل نرمال یا کروی مورد بررسی قرار گرفتند (شکل ۱). ویژگی‌های ریخت‌شناختی اصلی دانه گرده در آرایه‌های جنس میخک به تفصیل در جدول‌های ۹-۱ و شکل‌های ۹-۲ ارایه 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.

- 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*، *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 منفذ مربوط به *D. tabrisianus* var. *tabrisianus* و بیشترین اندازه قطر منفذ 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. crinitus* subsp. *turcomanicus*، *D. libanotis* 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 تا ۲۸-۲۴ در گونه‌های مورد مطالعه متغیر بود و کمترین تعداد منافذ در آرایه‌های *D. crinitus* subsp. *crinitus*، *D. orientalis*، *D. orientalis* subsp. *macropetalus* و *D. tabrisianus* var. *tabrisianus* و بیشترین تعداد مربوط به *D. orientalis* subsp. *gorganicus* بود.

- اگزین و تزیینات آن

ضخامت اگزین در آرایه‌های مورد مطالعه ۲/۰۳ تا ۳/۳ 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* به دست آمد. تزیینات اگزین از نوع microechinate، microechinate-punctate و microechinate-punctate-foveolate بودند که نوع microechinate-punctate-foveolate فقط در *D. crinitus* subsp. *turcomanicus* و نوع punctate-foveolate در هفت آرایه *D. austroiranicus*, *D. crinitus*, *D. crinitus* subsp. *kermanensis*, *D. libanotis*, *D. orientalis*, *D. orientalis* subsp. *gorganicus* و microechinate در شش آرایه *D. crinitus* subsp. *crinitus*, *D. jacobsii*, *D. orientalis* subsp. *macropetalus*, *D. orientalis* subsp. *orientalis*, *D. strictus* var. *axilliflorus*, *D. tabrisianus* var. *tabrisianus* مشاهده شد.

Not Final

**جدول ۲**- ویژگی‌های کمّی 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 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Dianthus austroiranicus* | 36.02 ±1.49 | 35.01 ±1.44 | 1.02± 0.03 | 2.69± 0.54 | 5.25± 0.54 | 11.66 ±1.76 | 2.92± 0.62 | 1.40± 0.43 | 0.78± 0.13 | 0.52± 0.09 | 6.06± 3.34 |
| *D. crinitus* | 37.64 ±2.08 | 35.99 ±2.16 | 1.04± 0.02 | 2.61± 0.43 | 5.81± 0.31 | 13.73 ±2.39 | 3.55± 0.59 | 1.44± 0.49 | 0.74± 0.20 | 0.59± 0.12 | 3.20± 2.12 |
| *D. crinitus* subsp. *crinitus* | 41.91 ±1.18 | 39.18 ±1.14 | 1.07± 0.02 | 2.82± 0.36 | 5.49± 0.63 | 13.76 ±3.09 | 4.29± 0.93 | 2.30± 0.71 | 0.75± 0.17 | 0.51± 0.14 | 3.87± 2.89 |
| *D. crinitus* subsp. *kermanensis* | 37.22 ±1.66 | 35.67 ±1.76 | 1.04± 0.02 | 2.23± 0.26 | 4.80± 0.42 | 11.65 ±2.98 | 3.14± 0.62 | 1.27± 0.17 | 0.61± 0.14 | 0.51± 0.10 | 4.05± 3.01 |
| *D. crinitus* subsp. *turcomanicus* | 40.87 ±2.21 | 39.36 ±1.47 | 1.03± 0.01 | 3.7±0 .42 | 4.05± 0.39 | 9.92± 1.97 | 2.62± 0.48 | 1.30± 0.46 | 0.91± 0.23 | 0.65± 0.10 | 5.40± 3.90 |
| *D. jacobsii* | 40.17 ±2.25 | 39.22 ±2.05 | 1.02± 0.01 | 2.12± 0.44 | 5.32± 0.48 | 11.85 ±1.16 | 2.62± 0.60 | 1.35± 0.52 | 0.96± 0.13 | 0.55± 0.10 | 5.05± 2.83 |
| *D. libanotis* | 42.33 ±1.86 | 41.44 ±1.74 | 1.02± 00 | 2.03± 0.42 | 8.26± 1.35 | 18.41 ±3.5 | 3.65± 0.88 | 1.72± 0.56 | 0.79± 0.16 | 0.59± 0.08 | 3.83± 1.90 |
| *D. orientalis* | 35.6± 1.33 | 33.78 ±1.62 | 1.05± 0.03 | 2.7±0 .53 | 4.05± 0.39 | 9.86± 1.23 | 3.94± 1.23 | 2.73± 1.00 | 0.90± 0.19 | 0.59± 0.19 | 3.78± 2.37 |
| *D. orientalis* subsp. *gorganicus* | 50.54 ±4.88 | 48.56 ±4.98 | 1.04± 0.02 | 3.03± 0.6 | 6.67± 1.06 | 12.36 ±1.84 | 3.75± 0.87 | 2.00± 0.61 | 0.94± 0.12 | 0.66± 0.13 | 4.49± 2.32 |
| *D. orientalis* subsp. *macropetalus* | 32.73 ±4.25 | 30.46 ±1.92 | 1.07± 0.11 | 2.86± 0.44 | 4.65± 0.26 | 11.08 ±1.67 | 3.2[illegible]± 0.89 | 1.51± 0.44 | 0.78± 0.11 | 0.54± 0.08 | 2.10± 0.79 |
| *D. orientalis* subsp. *orientalis* | 36.77 ±1.74 | 35.5± 1.38 | 1.03± 0.02 | 2.55± 0.54 | 5.84± 1.49 | 10.4[illegible] ±1.19 | 4.8[illegible]± 0.4 | 2.03± 0.81 | 0.75± 0.15 | 0.55± 0.11 | 2.63± 0.73 |
| *D. strictus* var. *axilliflorus* | 42.53 ±1.53 | 41.49 ±1.66 | 1.02± 0.01 | 2.89± 0.95 | 8.54± 1.42 | 12.67 ±1.36 | 3.87± 1.10 | 1.84± 0.56 | 0.83± 0.12 | 0.61± 0.08 | 3.72± 1.74 |
| *D. subaphyllus* | 44.76 ±3.41 | 42.72 ±3.1 | 1.04± 0.0[illegible] | 2.[illegible]8± .65 | 5.82± 1.33 | 13.92 ±0.91 | 3.59± 1.25 | 1.70± 0.43 | 0.67± 0.10 | 0.47± 0.09 | 4.87± 2.58 |
| *D. tabrisianus* var. *tabrisianus* | 33.42 ±1.26 | 32.[illegible]4 ±1.8[illegible] | [illegible]03± 0.03 | 2.38± 0.49 | 4.00± 0.26 | 8.62± 1.11 | 3.05± 0.87 | 1.78± 0.54 | 0.66± 0.14 | 0.39± 0.06 | 3.64± 2.49 |

Not Final

**Table 2 (contd)** **جدول ۲ (ادامه)**

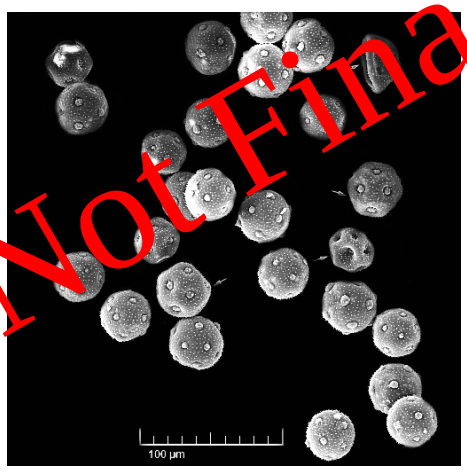
| Taxon | PN | GPN | SN | OS | PNU | PS | OR | TPS | TPSH |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *D. austroiranicus* | 18–20 | 2–5 | 20 | Granulate | 0 | Prominent | Microechinate | Medium | PRS |
| *D. crinitus* | 14–16 | 2–6 | 15 | Granulate | 1 | Prominent | Microechinate | Medium | PRS |
| *D. crinitus* subsp. *crinitus* | 12–14 | 4–8 | 22 | Psilate | 5 | Prominent | Microechinate-punctate | Medium | PRS |
| *D. crinitus* subsp. *kermanensis* | 14–16 | 3–7 | 12 | Psilate | 0 | Sunken | Microechinate | Medium | PRS |
| *D. crinitus* subsp. *turcomanicus* | 16–18 | 1–5 | 10 | Granulate | 13 | Prominent | Microechinate-punctate-foveolate | Medium | PRS |
| *D. jacobsii* | 16–18 | 2–4 | 13 | Psilate | 1 | Prominent | Microechinate-punctate | Medium | PRS |
| *D. libanotis* | 14–16 | 1–5 | 10 | Psilate | 0 | Prominent | Microechinate | Medium | PRS |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *D. orientalis* | 12–14 | 2–5 | 24 | Psilate | 0 | Sunken | Microechinate | Large | PRS |
| *D. orientalis* subsp. *gorganicus* | 24–28 | 2–4 | 12 | Granulate | 2 | Sunken | Microechinate | Medium | PRS |
| *D. orientalis* subsp. *macropetalus* | 12–14 | 3–5 | 24 | Psilate | 12 | Sunken | Microechinate-punctate | Medium | PRS |
| *D. orientalis* subsp. *orientalis* | 16–18 | 4–10 | 10 | Psilate | 3 | Prominent | Microechinate-punctate | Medium | PRS |
| *D. strictus* var. *axilliflorus* | 20–22 | 3–6 | 11 | Psilate | 5 | Prominent | Microechinate-punctate | Medium | PRS |
| *D. subaphyllus* | 14–16 | 1–5 | 18 | Psilate | 0 | Prominent | Microechinate | Medium | PRS |
| *D. tabrisianus* var. *tabrisianus* | 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 گرده 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 گرده‌ها)، TPSH (تیپ‌بندی ارتمن گرده‌ها براساس P/E).

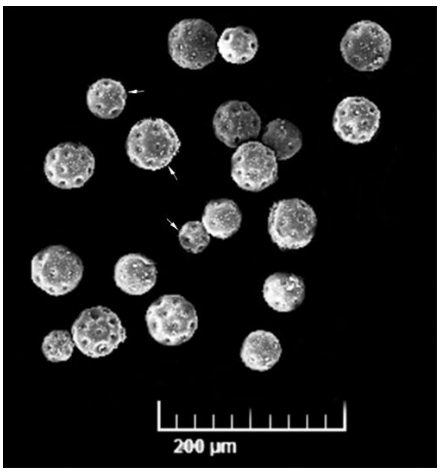
Characteristics: PLD (polar length diameter), ED (equatorial diameter), P/E (ratio of polar to equatorial diameter), ET (exine thickness), POD (pore diameter), ID (inter-pore distance), OD (operculum diameter), OH (operculum height), SL (spinule length), SW (spinule width), DBS (distance between spinules), PN (number of pores), GPN (number of granules on operculum), SN (number of spinules per 10 µm²), OS (ornamentation between spinules), PNU (number of puncta per 10 µm²), PS (pore status), OR (exine ornamentation), TPS (Erdtman typing of pollen based on size), TPSH (Erdtman typing of pollen based on P/E ratio).

Not Final




**شکل ۲**- ناهم‌شکلی گرده‌ای مشاهده شده در *Dianthus orientalis* subsp. *orientalis*. فلش‌ها نشان‌دهنده انواع ناهم‌شکلی گرده‌ای است.

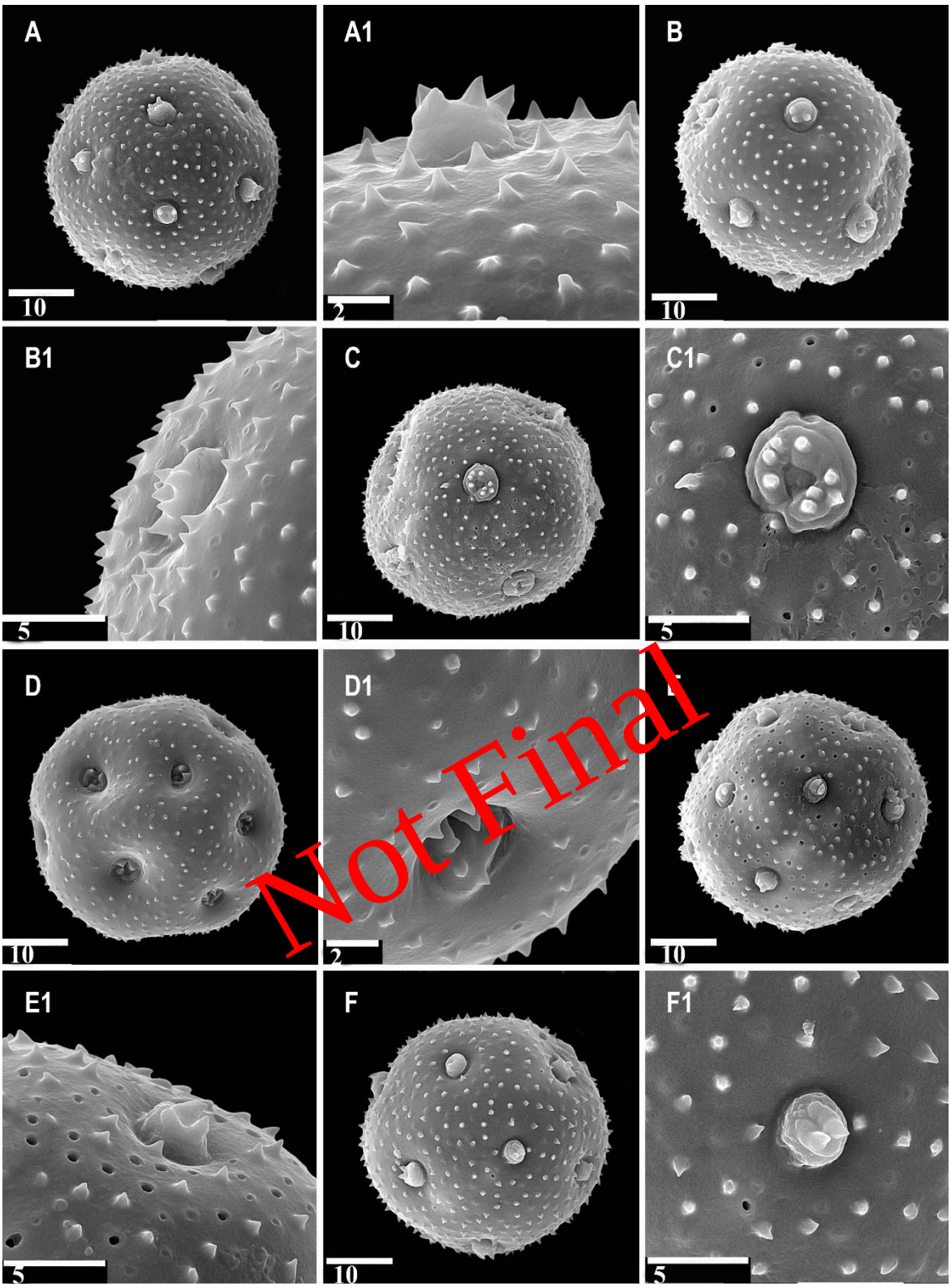
**Fig. 2.** Pollen heteromorphism observed in *D. orientalis* subsp. *orientalis*. Arrows indicate a variety of pollen heteromorphism.




**شکل ۳**- ناهم‌شکلی گرده‌ای مشاهده شده در *Dianthus orientalis* subsp. *gorganicus*. فلش‌ها نشان‌دهنده انواع ناهم‌شکلی گرده‌ای از لحاظ اندازه است.

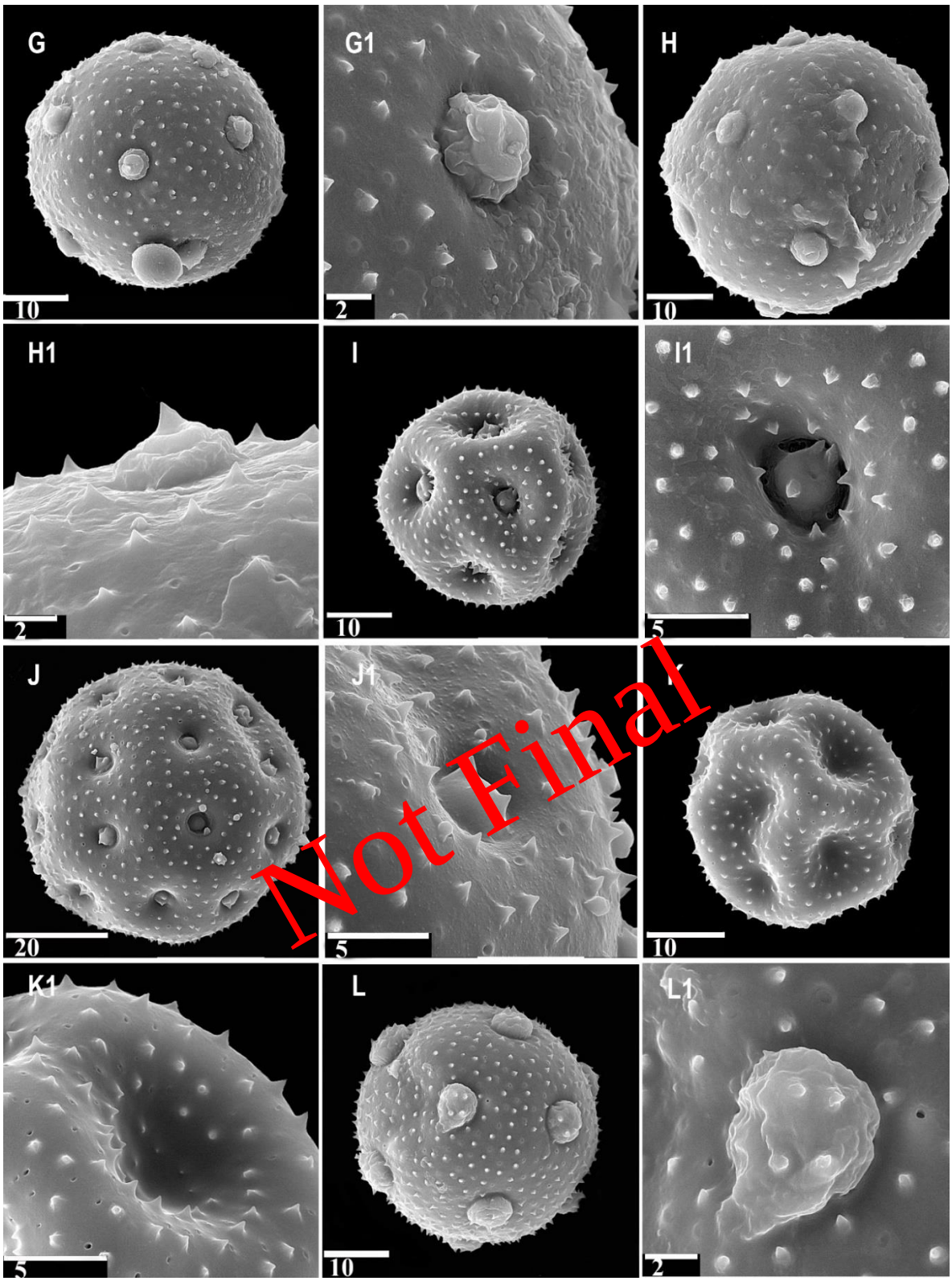
**Fig. 3.** Pollen heteromorphism observed in *Dianthus orientalis* subsp. *gorganicus.* Arrows represent a variety of pollen heteromorphism in size.

Not Final




**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).

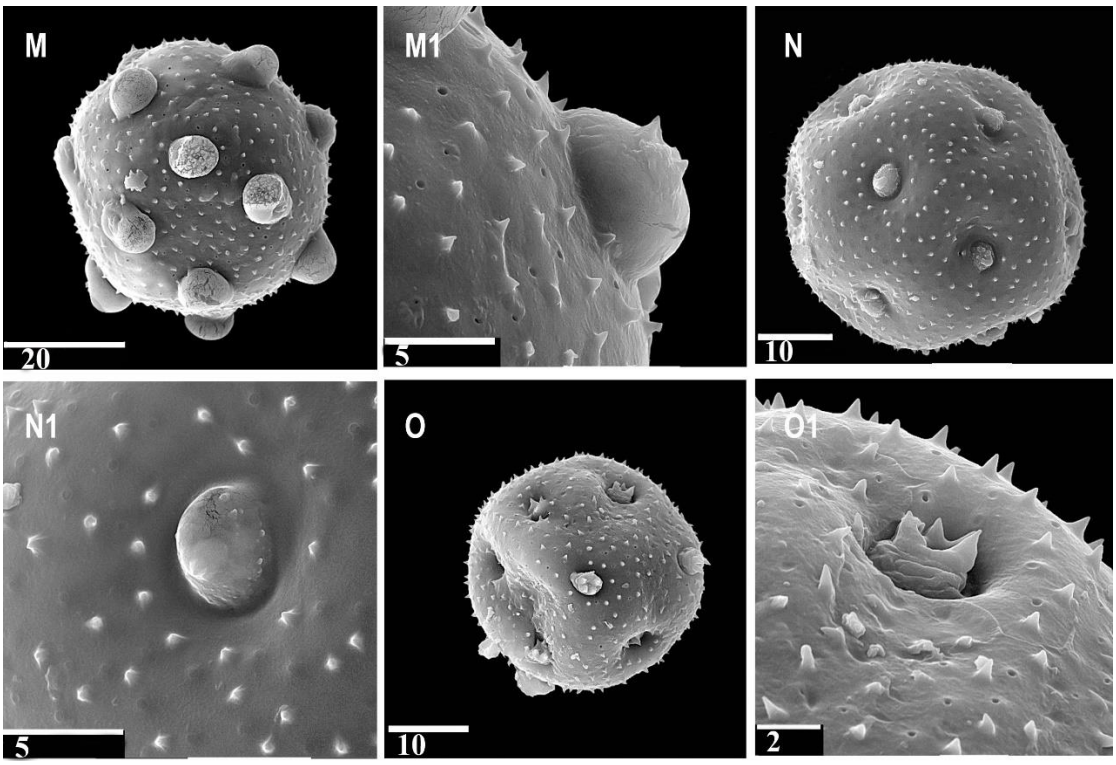
**Fig. 4.** Scanning electron microghraphs of pollen grains of the genus *Dianthus*: A-A1. *D. austroiranicus*, B-B1. *D. crinitus*, C-C1. *D. crini*tus subsp. *crinitus*, D-D1. *D. crinitus* subsp. *kermanensis*, E-E1. *D. crinitus* subsp. *turcomanicus*, F-F1. *D. jacobsii* (Bar in µm).




Not Final

**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).

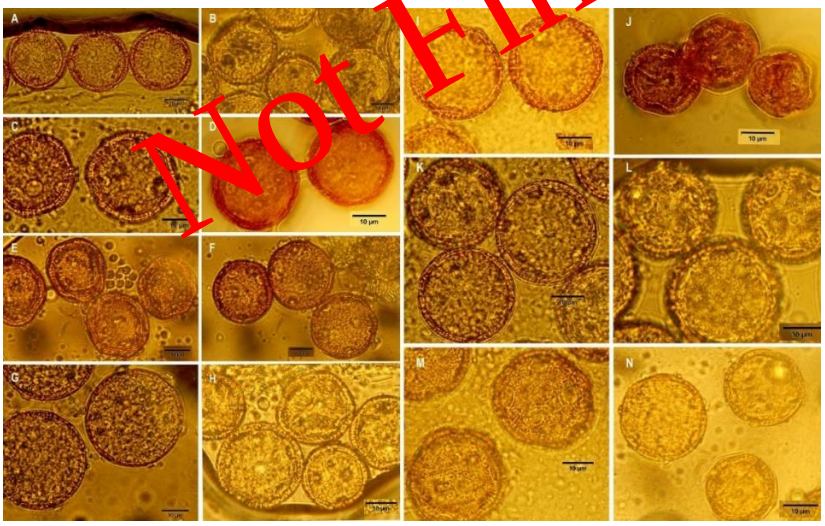
**Fig. 5.** Scanning electron microghraphs of pollen grains of the genus *Dianthus*: G-H1. *D. libanotis*, I-I1. *D. orientalis*, J-J1. *D. orientalis* subsp. *gorganicus*, K-K1. *D. orientalis* subsp. *orientalis*, L-L1. *D. orientalis* subsp. *macropetalus* (Bar in µm).




**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).

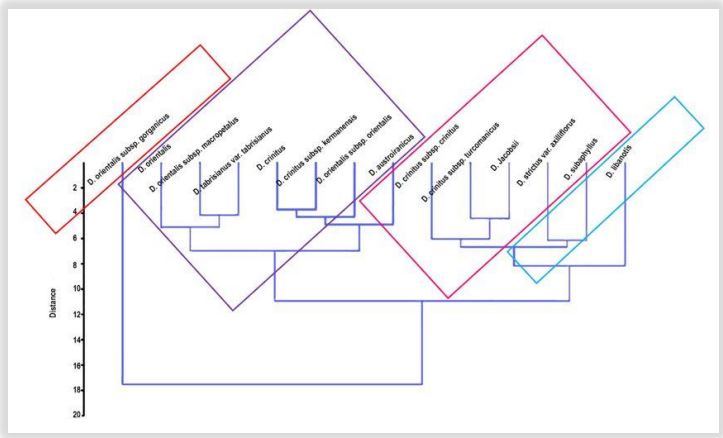
**Fig. 6.** Scanning electron microghraphs of pollen grains of the genus *Dianthus*: M-M1. *D. strictus* var. *axilliflorus*, N-N1. *D. subaphyllus*, O-O1. *D. tabrisianus* var. *tabrisianus* (Bar in µm).

Not Final



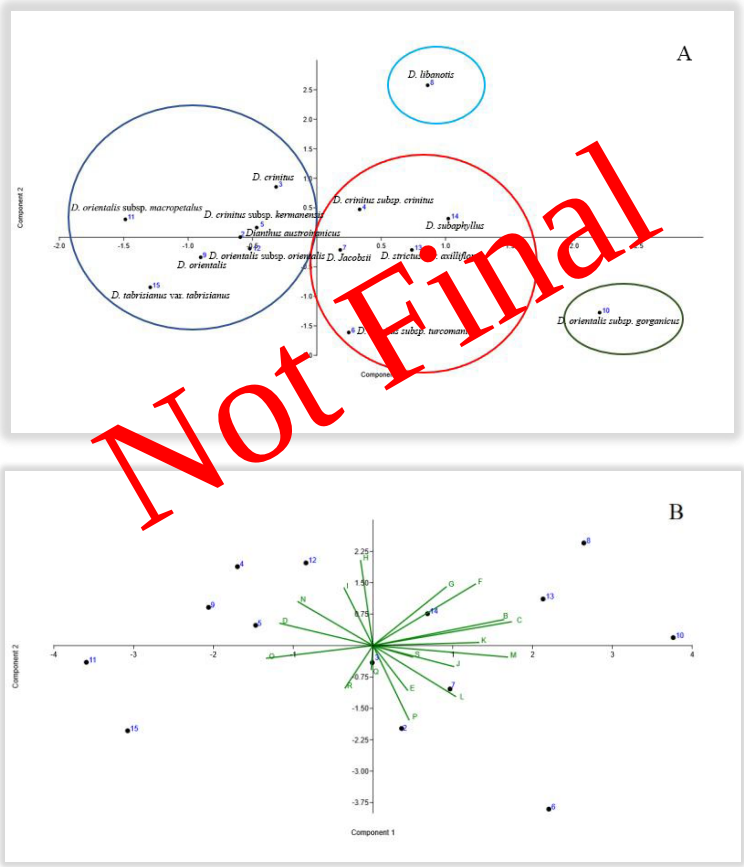
**شکل ۷**- تصاویر میکروسکوپ نوری دانه‌های گرده جنس میخک: A. *D. austroiranicus*، B. *D. crinitus*، C. *D. crinitus* subsp. *crinitus*، D. *D. crinitus* subsp. *kermanensis*، E. *D. crinitus* subsp. *turcomanicus*، F. *D. Jacobsii*، G. *D. libanotis*، H. *D. orientalis*، I. *D. orientalis* subsp. *gorganicus*، 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.




Not Final

**شکل ۹**- آنالیز PCA ویژگی‌های مورد مطالعه در جنس میخک (A-B) ۲: *D. austroiranicus* 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* subsp. *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*.

براساس شکل ۴A، آرایه‌های مورد مطالعه در چهار خوشه قرار گرفتند: *D. libanotis* و *D. orientalis* subsp. *gorganicus* هرکدام به تنهایی در خوشه‌های مستقل جدا شدند و آرایه‌های *D. crinitus* subsp. *crinitus*، *D. crinitus* subsp. *turcomanicus*، *D. jacobsii*، *D. strictus* var. *axilliflorus* و *D. subaphyllus* در یک خوشه و آرایه‌های *D. austroiranicus*، *D. crinitus*، *D. crinitus* subsp. *kermanensis*، *D. orientalis*، *D. orientalis* subsp. *macropetalus* و *D. tabrisianus var. tabrisianus* 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 تزیینات 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 تزیینات بین اسپینول‌ها) و ویژگی S (نوع تزیینات اگزین) ویژگی‌های مناسبی برای جداسازی دو آرایه *D. strictus* var. *axilliflorus*، *D. subaphyllus* از سایر آرایه‌ها بود. ویژگی‌های C (قطر کوچک گرده) و SW (عرض اسپینول) باعث قرارگیری آرایه‌های *D. austroiranicus*، *D. crinitus*، *D. crinitus* subsp. *kermanensis* و *D. orientalis* subsp. *orientalis* در یک خوشه و ویژگی‌های PN (تعداد منافذ) و SN (تعداد اسپینول) برای آرایه‌های *D. orientalis*، *D. orientalis* subsp. *macropetalus* و *D. tabrisianus* var. *tabrisianus* در یک خوشه دیگر شدند.

**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 | - | - | | - |

Not Final

## 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 بسیار مشابه بودند، اما تجزیه و تحلیل چندمتغیره انجام شده ویژگی‌های کمّی 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 (pantopolyporate) که با نتایج بیشتر مطالعات قبلی در مورد 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, Aytaç *et al*. 2022, Taleb *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، مته و همکاران (Yildiz 2001, Mete *et al*. 2021) گزارش شده، مطابقت

دارند. با این حال، ناهم‌شکلی مشاهده شده در این مطالعه، ناهم‌شکلی شکل‌های گرده 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, kIIzlpInar *et al*. 2010, Poyraz & Ataşlar 2010, Mostafavi & Mehregan 2014, Ullah *et al*. 2018, Teleb *et al*. 2023) (شکل۲). 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 این بررسی که هم از لحاظ تفاوت در قطر دانه گرده (به وضوح در شکل ۳) سه نوع گرده متفاوت از لحاظ اندازه یا قطر گرده در آرایه *D. orientalis* subsp. *gorganicus* مشاهده می‌شود. تعداد منافذ هم در این آرایه از ۲۴ تا ۲۸ متغیر است، در حالی که در آرایه بسیار نزدیک به این آرایه *D. orientalis* subsp. *orientalis* تفاوت در اندازه و قطر گرده چندان متفاوت نبوده ولی از لحاظ شکلی پنج شکل متفاوت از گرده در (شکل ۲) نمایش داده شده است که تعداد منافذ هم از ۱۶ تا ۱۸ متغیر می‌باشد. ضخامت دیواره و تاشدگی‌های دیواره و نوع تزیینات نیز در آرایه *D. crinitus* subsp. *turcomanicus* متفاوت‌تر از بقیه است ضخامت دیواره ۳/۷ میکرومتر است، در حالی که در بقیه آرایه‌های *D. crinitus* در محدوده ۲/۲ تا ۲/۸ میکرومتر و نوع تزیینات در *D. crinitus* subsp. *turcomanicus* حالت پیشرفته‌تری نسبت به بقیه آرایه‌ها داشت که از نوع Microechinate-punctate-foveolate است. 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 دست‌آمده در دیگر تیره‌های گیاهی و همچنین ناهم‌شکلی‌های مشاهده شده در 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 (۷۳/۵۴-۳۲/۵۰ میکرومتر) متفاوت بودند و در دو گروه متوسط و بزرگ قرار گرفتند. به طور کلی، گونه‌های بخش‌های *Verrucosi* 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 یلدیز، 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 (۴۱/۹۱±۱/۱۸ میکرومتر) بود ولی در بررسی یلدیز، مته و همکاران (۲۰۲۱، ۲۰۰۱) به ترتیب دارای اندازه ۴۵/۳۵±۳/۵۷ و ۴۵/۸ 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 (۴۲/۹، ۵۴/۸ و ۴۲/۸ میکرومتر) اما اندازه دانه گرده در مته و همکاران (۲۰۲۱) در آرایه *D. strictus* var. *axilliflorus* کاملا با نتایج این پژوهش همخوانی داشت.

در گزارش‌های قبلی محققان در مورد همبستگی اندازه دانه گرده با سطح پلوییدی اختلاف نظر وجود دارد، هرچند جدیدترین مطالعات حاکی از آن است که اندازه گرده به طور مثبت و معنی‌داری با سطح پلوییدی همبستگی دارد و کمترین اندازه گرده مربوط به سطوح دیپلویید و تتراپلویید در محدوده میانی و سطح هگزاپلویید بیشترین محدوده اندازه گرده را داشت ( Möller 2018, Lekhapan *et al*. 2024). این یافته‌ها با نتایج 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. پلی‌پلوییدی در میخکیان گسترده بوده، به طوری که ۶۷ درصد گونه‌ها دیپلویید، ۱۸/۷ درصد تتراپلویید، ۶/۶ درصد هگزاپلویید 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 کاملا مشهود سه نوع گرده از لحاظ اندازه مشاهده شد که احتمالا مربوط به حالت دیپلوییدی، تتراپلوییدی و هگزاپلوییدی در این زیرگونه است (شکل ۳). تنوع عدد کروموزومی و سطح پلوییدی نیز در زیرگونه‌های این گونه‌ها گزارش شده است. عدد کروموزومی 2n=30 با حالت دیپلویید در مورد *D. orientalis* subsp. *nassireddini* و حالت تتراپلویید در *D. orientalis* subsp. *obtusisquameus* گزارش شده است (Ghaffari 1987 & 2006). عدد

Not Final

کروموزومی گزارش شده از *D. crinitus* 4n=60 با حالت تتراپلویید در زیرگونه *D. crinitus* subsp. *turcomanicus* گزارش شده است (Jafari & Behroozian 2010).

تعداد منافذ در گونه‌های مطالعه شده بین ۱۴-۱۲ تا ۲۸-۲۴ متغیر بود. کمترین تعداد منافذ مربوط به *D. crinitus* subsp. *crinitus*، *D. orientalis* subsp. *macropetalus*، *D. orientalis* 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) نیز (۱۷/۰۷±۱/۵۹) با نتایج بررسی حاضر همخوانی دارد، ولی در مطالعه مته و همکاران (۲۰۲۱) که تعداد منافذ ۳±۲۰ گزارش شده، متفاوت است. همچنین، تعداد منافذ در آرایه‌های *D. orientalis* subsp. *orientalis* (۳±۱۸) و *D. strictus* var. *axilliflorus* (۳±۲۰) در مطالعه مته و همکاران (۲۰۲۱) با نتایج حاضر همخوانی دارد، ولی تعداد منافذ در آرایه‌های *D. tabrisianus* و *D. libanotis* که به ترتیب ۳±۲۴ و ۳±۲۰ توسط مته و همکاران (۲۰۲۱) گزارش شده، همخوانی ندارد.

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 ۳±۲۰و ۱۶-۲۰ 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 ۹/۳-۲/۲ 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 ۸/۵۴-۴ 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 قیزیل‌پینار (Kizilpinar *et al*. 2010) گزارش شده‌اند، با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارند. در تمام گونه‌های گزارش شده از زیرتیره Caryophyllodeae، دو نوع منفذ فرورفته و برجسته مشاهده شد که درپوش‌دار 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 اگزین در این مطالعه، از ۲/۰۳ تا ۳/۷ میکرومتر متغیر بود. نتایج مربوط به ضخامت اگزین در مطالعات پیشین با یافته‌های حاضر مطابقت دارد (Perveen & Qaiser 2006، Sahreen *et al*. 2008، Vural 2008، Kizilpinar *et al*. 2010، Ullah *et al*. 2018، Mete *et al*. 2021، Aytaç *et al*. 2022). در این مطالعه، سه نوع آرایش سطحی اگزین microechinate (در شش آرایه)، microechinate-punctate (در هفت آرایه) و microechinate-punctate-foveolate (در یک آرایه) مشاهده شد. همین تزیینات سطحی قبلا نیز توسط محققان مختلف برای جنس میخک گزارش شده است (Punt & Hoen 1995, Dong & Guan 2009, Kizilpinar *et al*. 2010، Mačukanović-Jocić *et al*. 2015, Cui *et al*. 2018، Ullah *et al*. 2018، Ahiskali *et al*. 2020، Mete *et al*. 2021).

اگزین غیرسوراخ‌دار، تعداد منافذ کم و فقدان spinule معمولا به عنوان ویژگی‌های اولیه گرده‌ها شناخته می‌شوند (Van Campo 1966, Walker1974a, 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 (Walker1974a, 1974b) 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 ۱۴-۱۲منفذ 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 نشان‌داده یا رابطه‌ای میان آرایه‌ها را نشان دادند (شکل‌های ۷ و ۸). نتایج حاصل از این مطالعه تأیید می‌کند که برخی ویژگی‌های گرده مانند قطر بزرگ گرده، قطر کوچک گرده، اندازه فاصله منافذ از هم، تعداد منافذ، ضخامت اگزین، نوع تزیینات بین اسپینول‌ها و نیز نوع تزیینات اگزین ویژگی‌های ارزشمندی بودند

Not Final

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 (پلی‌پلوییدی)، بلکه سازه‌ای تطبیقی برای حفظ عملکرد هارمومگاتی در مواجهه با فشارهای محیطی به شمار می‌آید. نتایج این بررسی نشان داد که قطر بزرگ 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.

به نظر می‌رسد تحلیل‌های جمعیتی بیشتری برای مطالعه ناهم‌شکلی دانه‌های گرده و بررسی عوامل ایجاد کننده 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 پلوییدی کمک شایانی نماید.


## 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 عبداله‌پور که در تهیه نقشه پراکنش آرایه‌های مورد مطالعه در این پژوهش اینجانب را یاری کردند، سپاسگزاری و قدردانی می‌گردد. پژوهش حاضر مستخرج از رساله دکتری نگارنده نخست به راهنمایی آقای دکتر مسعود رنجبر ارایه شده به دانشگاه بوعلی سینا می‌باشد.


Not Final

## 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 Caryophylleae 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. & Praglowski, 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* Otth. 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.

Not Final

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., Akhani, 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. 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., Mahdavinejad, M., Sheidai, M. & Gholipour, A. 2015. Seed and pollen morphology of some *Silene* species (Caryophyllaceae) in Iran. Phytologia Balcanica 21(1): 7–13.

Kizilpinar, I., Özüdogru, B., Özmen, E., Es, S. & Dogan, G. 2010. Morphological, palynological and ecological features of *Dianthus engleri* Hausskn. & Bornm. 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.

Not Final

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-Aragonés, 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. Ph.D. 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.

Not Final

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 subfamily 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.

Not Final