

# تحلیل مورفومتریک فوزولینیدهای پرمین زیرین: رویکردی نوین برای تعریف قابل اطمینان گونه‌های فوزولینید

سکینه عارفی فرد

دانشیار چینه نگاری و دیرینه‌شناسی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، لرستان

Email: arefi.s@lu.ac.ir

## چکیده

فونای فوزولینید مربوط به سازند خان در منطقه کلمرد، واقع در شرق ایران مرکزی، به سن ساکمارین پسین تا آرتینسکین آغازین، با استفاده از تکنیک‌های مورفومتریک مورد مطالعه قرار گرفته است تا قابلیت اطمینان توصیفات تاکسونومیک قبلی بررسی شود. فوزولینیدهای منطقه کلمرد در مطالعه قبلی به سه جنس (*Eoparafusulina*, *Perigondwania* و *Neodutkevitchia*) و «۲۰ گونه» تقسیم‌بندی شده‌اند. نتایج تحلیل‌های آرایش سنجی (Ordination analyses) (PCA و RDA) نشان می‌دهد که این جنس‌ها به خوبی قابل تمایز هستند، اما تنها تعداد کمی از گونه‌های پیش‌تر تعریف‌شده در جنس‌های *Eoparafusulina* و *Perigondwania* قابل شناسایی‌اند. این موضوع نشان می‌دهد که توصیفات تاکسونومیک و اندازه‌گیری‌های مربوط به عناصر ساختاری مختلف برخی از این گونه‌های فوزولینید، برای توجیه نام‌گذاری‌های جداگانه تاکسونومیک کافی نیستند. از آنجاکه فوزولینیدها فونای بسیار مهمی برای تفسیرهای زیست‌چینه‌ای و دیرینه‌زیست‌جغرافیایی در دوره پالئوزوئیک پسین محسوب می‌شوند، تعریف گونه‌ها بر اساس تحلیل کمی ساختارهای مورفولوژیکی آنها باید دقیق‌تر انجام شده و کیفیت تطابق‌های منطقه‌ای را بهبود بخشد.

**کلیدواژه‌ها:** تحلیل مورفومتریک، فوزولینید، تعریف گونه، پرمین زیرین، ایران مرکزی.

## Morphometric analysis of Early Permian: a new approach to defining fusulinid species reliably

Sakineh Arefifard

Associate Professor in Paleontology & Stratigraphy, Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Lorestan University, Khorramabad, Iran

Email: arefi.s@lu.ac.ir

## Abstract

Fusulinid fauna from the late Sakmarian–early Artinskian Khan Formation in the Kalmard area, east-central Iran, was studied using morphometric techniques to test the reliability of previous taxonomic descriptions. Fusulinids in the Kalmard area have been previously grouped into three genera (*Eoparafusulina*, *Perigondwania*, and *Neodutkevitchia*) and ‘20 species’. Results of ordination analyses (PCA and RDA) reveal that the genera are readily distinguished, whereas only a few species previously defined within the genera *Eoparafusulina* and *Perigondwania* are recognizable. This suggests that the taxonomic descriptions and measurements for different structural elements for some of these fusulinid species are not sufficient to justify erecting separate taxonomic names. Since fusulinids are really important fauna for biostratigraphic and palaeobiogeographic interpretation in the late Palaeozoic, defining species based on quantitative analysis of their morphological structures should be more accurate and improve the quality of regional correlations.

**Keywords:** Morphometric analysis; Fusulinid; Species definition, Lower Permian, Central Iran.

## مقدمه

فوزولیندها موجودات تک‌سلولی پیشرفته‌ای بودند که همزیست‌هایی را در خود حمل می‌کردند و در اواخر دوره پالئوزوئیک گسترش داشتند. فرض بر این است که بیشتر فوزولیندها همزیست‌های فتوسنتزکننده‌ای را در خود جای داده بودند که در بسیاری از روزن‌داران بزرگ زنده نیز یافت می‌شوند (Ross, 1982). این موضوع می‌تواند علت رشد سریع فوزولیندها، اندازه بسیار بزرگ تک‌سلولی آن‌ها (تا ۱۵ سانتی‌متر)، تکامل سریع و فراوانی آن‌ها در کمربندهای گرمسیری-زیرگرمسیری (تا عرض‌های جغرافیایی ۴۰-۴۵ درجه جنوب/شمال) را در محیط‌های کم‌عمق توضیح دهد (Belasky, 1996). بنابراین، آن‌ها ابزارهای مفیدی برای مطالعات بیواستراتیگرافی، زیست‌شناسی دیرین و محیط زیست دیرینه با دقت بالای زمانی و مکانی هستند. روش سنتی توصیف فوزولیندها اساساً بر پایه ساختارهای خارجی و داخلی آن‌ها استوار است. با این حال، بیشتر فوزولیندها از نظر ویژگی‌های داخلی بسیار پیچیده خود تفاوت قابل توجهی با یکدیگر دارند. اگرچه برای توصیف کامل یک نمونه فوزولیند نیاز به مقاطع برش‌خورده در جهات مختلف است، اما یک مقطع محوری که در امتداد محور پیچش و از طریق حجره اولیه (پرولوکولوس) برش داده می‌شود، بیشترین جزئیات ساختارهای داخلی را آشکار می‌کند.

در حالی که مفهوم و تعریف گونه توسط بسیاری از دیرین‌شناسان تأیید شده است (Mayr, 2000; Zou and Ge, 1995; Xu and Yang, 1987; Foote and Miller, 2007)، تقسیم‌بندی بیش از حد گونه‌های فوزولیند همواره مورد نگرانی پژوهشگران این حوزه بوده است (Sanderson and Verville, 1970; Feng et al., 1997). بدترین حالت زمانی است که در برخی از مقالات علمی، دو نام متفاوت برای یک گونه فوزولیند اختصاص داده شده است. به عنوان مثال، با وجود داشتن ویژگی‌های داخلی یکسان، *Eoparafusulina grozdilovae* که به عنوان یک گونه جدید توسط داویدوف و عارفی‌فرد (Davydov and Arefifard, 2007) از سازند خان در منطقه کلمرد معرفی شده، توسط لوون و گرگیجی (Leven and Gorgij, 2007) به عنوان *Eoparafusulina tchernyschewi* تعیین شده است. این موضوع اعتبار شناسایی گونه‌های فوزولیند را زیر سؤال می‌برد، زیرا معیارها و استانداردهای مربوط به تفاوت‌های مورفولوژیکی برای شناسایی گونه‌های فوزولیند هنوز به طور کامل تثبیت نشده‌اند. تحلیل مورفومتریک یکی از تکنیک‌های پرکاربرد برای تفکیک گروه‌های طبیعی در میان روزن‌داران، شناسایی بیوزون‌ها و بیوتوپ‌ها و روابط آن‌ها، و همچنین سازمان‌دهی مجموعه‌های ریزفسیل بر اساس شکل آن‌ها است (Rupp; Fujita et al., 2006; Mudie et al., 1984; Lagoe, 1979; Martínez-García et al., 2013; and Hohenegger, 2008).

با استفاده از تحلیل چندمتغیره، بورما (Burma, 1948) دریافت که *Triticites collus* و *Triticites caccus* اساساً یک گونه هستند، هرچند که به عنوان دو گونه متفاوت معرفی شده بودند. او همچنین نتیجه‌گیری کرد که کل طبقه‌بندی گونه‌های فوزولیند مورد بحث بوده و نیاز به بازبینی دارد. شایان ذکر است که این مشکل می‌تواند در سطح توصیف جنس فوزولیندها نیز مطرح شود. به عنوان مثال، تمام گونه‌های *Pseudofusulina* که توسط لوون (Leven, 1993) در منطقه کالاکتش، پامیر مرکزی توصیف شده‌اند، در مطالعه داویدوف و عارفی‌فرد (Davydov and Arefifard, 2007) به جنس *Perigondwania* نسبت داده شده‌اند. در مطالعه‌ای بر روی جنس *Schwagerina* از سازند ورفورد در شهرستان چیس، کانزاس، سندرسون و ورویل (Sanderson and Verville, 1970) دریافتند که به دلیل نبود داده‌های کمی برای برخی از تاکسون‌های فوزولیند، اعتبار چندین گونه به طور کلی زیر سؤال می‌رود.

همان‌طور که مشخص است، بررسی بصری به‌تنهایی برای تعیین تاکسونومی در هر دو سطح گونه و جنس کافی نیست و باید همراه با اندازه‌گیری‌های دقیق و متعدد و همچنین تحلیل‌های چندمتغیره باشد. هوانگ (Huang, 2011) تحلیل ترتیبی (PCA) را بر روی نمونه‌های *Eopolydiexodina* از یک لایه خاص در سازند شازیو مربوط به پرمین میانی، در غرب یونان، چین انجام داده است. این مطالعه نشان داد که نمونه‌های فوزولیند دارای تغییرات مورفولوژیکی منسجمی هستند و باید به یک گونه فوزولیند نسبت داده شوند. این مسائل برای یک ریزدیرینه

شناس تازه کار که می‌خواهد یاد بگیرد چگونه معیارهای قابل اعتمادی برای توصیف فوزولینیدها را تنظیم کند، بسیار پیچیده هستند. بنابراین، واضح است که اندیشیدن به تکنیک‌ها و روش‌های جدید برای حل مشکلات ذکر شده همراه با روش‌های سنتی توصیف فوزولینیدها یک ضرورت جدی است. هدف از این مطالعه آن است که بررسی شود آیا تاکسون‌های فوزولینید که پیش‌تر در منطقه مورد مطالعه توصیف شده‌اند، با استفاده از تحلیل مورفومتریک نیز قابل شناسایی هستند یا خیر.

منطقه مورد مطالعه در کلمرد که از بخشی از حوضه ایران مرکزی است واقع شده است. منطقه کلمرد، در غرب شهر طبس، در بلوک پشت‌بادام قرار دارد که توسط گسل‌های کلمرد و کوه‌بان (ادامه جنوبی گسل کلمرد) از بلوک طبس جدا شده است. نمونه‌های این مطالعه از چهار برش چینه‌شناسی شامل راهدار (۶۵ کیلومتری غرب شهر طبس)، حلوان (۸۰ کیلومتری شمال غرب شهر طبس)، گچال (۱۰۰ کیلومتری جنوب غرب شهر طبس) و مدبکی (۱۲ کیلومتری شمال غرب برش بخشی) جمع‌آوری شده‌اند.

## بحث

داده‌ها با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) و تحلیل افزونگی (RDA) مرتب‌سازی شدند تا روابط چندبعدی آن‌ها مشخص شده و بررسی شود که آیا تاکسون‌های فوزولینید تعریف‌شده قبلی در منطقه مورد مطالعه با استفاده از این روش‌ها قابل تمایز هستند یا خیر. تحلیل مؤلفه‌های اصلی بدلیل روشن کردن تنوع در یک مجموعه داده (در اینجا ساختارهای داخلی فوزولینیدها در منطقه مطالعه) مفید است (Abdi and Jolliffe, 2002; Williams, 2010) و تفاوت‌های مورفولوژیکی بین افراد فوزولینید را نشان می‌دهد (Zelditch et al., 2004). همچنین این روش برای درک پیوستگی تغییرات میان تاکسون‌ها بسیار کاربردی است (Hammer and Harper, 2006). عنوان مکملی برای نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی، از تحلیل افزونگی (RDA) که نسخه محدود شده PCA است، استفاده شد تا تغییرات در ویژگی‌های جنس‌ها و گونه‌های فوزولینید را به صورت ترکیبات خطی از متغیرهای توضیحی نشان دهد (Zurr et al., 2007) و مشخص کند که تاکسون‌های فوزولینید تعریف‌شده قبلی چگونه با این متغیرها مرتبط هستند. رویکردی که در این تحقیق اعمال شده، یک راه‌حل ممکن برای حل مشکل شناسایی فوزولینیدها، به‌ویژه در سطح گونه‌ها است. ویژگی‌های مورفولوژیکی خاص فوزولینیدهای موجود در منطقه مورد مطالعه به‌اندازه‌ای قابل توجه بودند که توانستند سه جنس فوزولینید (*Eoparafusulina*, *Perigondwania*, *Neodutkevichia*) را شناسایی کنند، همانطور که از طریق هر دو روش بررسی بصری و تحلیل‌های چندمتغیره مشخص شد. تحلیل چندمتغیره مشخص می‌کند که کدام ویژگی‌های مورفولوژیکی برای هر یک از این سه جنس بیشترین اهمیت را دارند و همچنین شباهت‌ها و تفاوت‌های آن‌ها را به وضوح نشان می‌دهد. استفاده از تحلیل مرتب‌سازی برای گونه‌های این سه جنس نشان داد که تغییرات در ویژگی‌های مورفولوژیکی آن‌ها به حدی نزدیک است که جداسازی تمام گونه‌های فوزولینید گزارش‌شده قبلی در منطقه مورد مطالعه غیرممکن است. به نظر می‌رسد که تمام نمونه‌های *Eoparafusulina* را می‌توان به سه گونه نسبت داد، دو گونه به نام‌های *E. pamirensis* و *E. isobella* و یک گونه دیگر که شامل باقی‌مانده گونه‌ها می‌شود و باید نام‌گذاری شود. در مورد *Perigondwania*، دو گونه قابل تمایز است، یکی به نام *P. aghanabatii* و دیگری که شامل تمام نمونه‌هایی است که به‌طور یکجا جمع‌آوری شده‌اند. اگرچه تمام چهار گونه گزارش‌شده قبلی *Neodutkevichia* در منطقه مورد مطالعه نیز در تحلیل‌های PCA و RDA به‌خوبی تفکیک شده‌اند، اما یک مشکل وجود دارد که نمی‌توان آن را در مورد تعداد نمونه‌ها برای این گونه‌ها برطرف کرد. تعداد نمونه‌ها برای هر یک از گونه‌های *N. snyderi* و *N. partoazari* تنها یکی است. برای شناسایی یک گونه جدید، بیش از یک نمونه لازم است تا ویژگی‌های مورفولوژیکی به‌دقت ارزیابی شوند و از هر گونه ابهام جلوگیری شود. بنابراین، صحت چهار گونه برای *Neodutkevichia* مشکوک است. شناسایی مورفگونه‌های فوزولینید با تغییرات مورفولوژیکی در سطح جمعیت بسیار مهم است (Huang, 2011).

## نتیجه‌گیری

- استفاده از تحلیل مورفومتریک (PCA و RDA) به‌طور قطعی سه جنس فوزولینید را در فضای مرتب‌سازی جدا کرد، همان‌طور که پیش‌تر با توصیف سنتی فوزولینیدها معرفی و توصیف شده بودند.
- توصیفات تاکسونومیک و اندازه‌گیری‌های عناصر ساختاری مختلف برای بیشتر گونه‌های فوزولینید که قبلاً در رسوبات پرمین زیرین در شرق ایران مرکزی گزارش شده‌اند، برای توجیه ایجاد نام‌های جدید گونه‌ها کافی نیست.
- از آنجا که فوزولینیدها فونا‌های ضروری برای تفسیر زیست‌چینه‌نگاری و دیرینه‌زیست‌جغرافیای در پالئوژئیک پسین هستند، تعریف گونه‌ها بر اساس تحلیل کمی ساختارهای مورفولوژیکی آن‌ها باید دقیق‌تر از روش‌های توصیفی سنتی باشد و کیفیت تطابق‌های منطقه‌ای را بهبود بخشد.

## منابع

- Belasky, P., 1996. Biogeography of Indo-Pacific larger foraminifera and scleractinian corals; a probabilistic approach to estimating taxonomic diversity, faunal similarity, and sampling bias. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 122(1-4): 119-141.
- Burma, B.H., 1948. Studies in quantitative paleontology. *Journal of Paleontology* 22: 725-761.
- Davydov, V.I. & Arefifard, S., 2007. Permian fusulinid fauna of Peri-Gondwanan affinity from the Kalmard region, east-central Iran and its significance for tectonics and paleogeography. *Palaeontologica Electronica* 10(2): 1-40.
- Foote, M. & Miller, A.I., 2007. Principles of Paleontology 3rd edition. Freeman and Company: New York; 356 p.
- Fujita, K., Shimoji, H. & Nagai, K., 2006. Paleoenvironmental interpretations of Quaternary reef deposits based on comparisons of 10 selected modern and fossil larger foraminifera from the Ryukyu Islands, Japan. *Island Arc* 15(4): 420-436.
- Hammer, Ø. & Harper, D.A.T., 2006. Paleontological Data Analysis. Blackwell: Oxford; 351 p.
- Huang, H., 2011. Fusulinid species determination based on population variation: an example from Eopolydiexodina. *Science China, Earth Science* 54(3): 380-387.
- Jolliffe, I.T., 2002. Principal Component Analysis 2nd edn. Springer-Verlag: New York; 518 p.
- Lagoe, M.B., 1979. Recent benthonic foraminiferal biofacies in the Arctic ocean. *Micropaleontology* 25(2): 214-224.
- Leven, E.J., 1993. Lower Permian fusulinids from Central Pamir. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia* 104(1): 1-42.
- Leven, E.J. & Gorgij, M.N. 2007. Fusulinids of the Khan Formation (Kalmard region, eastern Iran) and some problems of their paleobiogeography. *Russian Journal of Earth Sciences* 9: 1-10.
- Rupp, C. & Hohenegger, J., 2008. Paleocology of planktonic foraminifera from the Baden-Soos section (Middle Miocene, Badenian, Vienna Basin, Austria). *Geologica Carpathica* 59(5): 425-445.
- Sanderson, G.A. & Verville, G.J., 1970. Morphologic variability of genus *Schwagerina* in Permian Wreford Limestone of Kansas. *Paleontology* 13(2): 175-183.
- Xu, G.R. & Yang, W.P., 1987. The methodology of species identification in Paleontology (in Chinese). In: Mu, X.N. (ed) *New Techniques and Methods in Paleontological Study*, Science Press: Beijing: 77-86.
- Zelditch, M.L., Swiderski, D.L., Sheets, H.D. & Fink, W.L., 2004. Geometric Morphometrics for Biologists: A Primer. Elsevier Academic Press, New York and London; 437 p.
- Zou, X.Q. & Ge, C.D., 1995. Characteristics of continuous variation within a population and its application to species determination (in Chinese with English abstract). *Acta Micropalaeontologica Sinica* 12: 422-427.
- Zuur, A.K., Ieno, E.N. & Smith, G.M., 2007. Analysing Ecological Data. Springer: New York: 685 p.