

Research Article

The importance of Sporomorph EcoGroups and palynofacies in recognition of paleoenvironments and paleoecology of the Middle Jurassic strata of the central and eastern Alborz

Afsaneh Dehbozorgi^{1*}, Firoozeh Hashemi Yazdi², Freshteh Sajjadi³, Hossein Hashemi⁴

1-Department of Geology, Faculty of Science, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

2-Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

3- Faculty of Geology, College of Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran

4- Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

Keywords: *Dalichai Formation, Alborz, Sporomorph EcoGroups, Palynofacies, Paleoclimate.*

1-Introduction

The Middle Jurassic Dalichai Formation, which has a wide geographical distribution in north Iran, consists of well-bedded, light grey limestones and shales. This sequence is rich in mega- and microfossil faunas such as relatively affluent ammonites, spores, pollen grains, dinoflagellate cysts, belemnites, bivalves, brachiopods, echinoderms, sponges, bryozoans and foraminifera (e.g. Stöcklin, 1972; Nabavi and Seyed-Emami, 1977; Wheeler and Sarjeant, 1990; Schairer et al., 1991; Seyed-Emami et al., 1989, 1995, 1996; Ghasemi-Nejad et al., 2012; Dehbozorgi, 2013; Dehbozorgi et al., 2013; Mafi et al., 2014; Hashemi Yazdi, 2015; Dermanaki Farahani, 2016). Dalichai Formation at the Kanz and Talu stratigraphic sections consists of shales, marls, and marly limestones, and it disconformably overlies the Upper Triassic-lower Middle Jurassic Shemshak Formation and gradationally underlies the thick-bedded limestone of the Upper Jurassic Lar Formation. This study aims to interpret, based on Sporomorph EcoGroups, paleoenvironment and paleoclimate of the Dalichai Formation at the Kanz stratigraphic section (central Alborz) and Talu stratigraphic section (eastern Alborz). Several studies have been done based on this method, Sporomorph EcoGroups, on Dalichai Formation (Dehbozorgi, 2013; Hashemi Yazdi, 2015; Dermanaki Farahani, 2016; Hashemi Yazdi et al., 2017, 2020; Sajjadi et al., 2023).

2-Material and methods

Fifty-seven samples were collected from the Dalichai Formation in the Kanz and Talu stratigraphic sections for palynological analysis. All samples were prepared following standard palynological processing techniques (e.g., Phipps & Playford, 1984). Palynological processing involved the digestion of the samples in hydrochloric acid (10-50%) and hydrofluoric acid (ca. 40%) to dissolve the carbonates and silicates, respectively. Then, hot 50% HCl was used to dissolve silica-gel formed during hydrofluoric acid treatment. The solution was then neutralized and centrifuged in heavy liquid (ZnCl₂, specific gravity 1.9) for density separation. No oxidative or alkaline treatments were applied. Residues were sieved through a 20µm sieve and streaked with liquid Canada Balsam onto glass slides. All samples and slides were stored in the collection of the School of Geology, College of Sciences, Tehran University, Iran.

3-Results and discussions

Fifty-seven surface samples of the Dalichai Formation (central and eastern Alborz) are studied palynologically. All samples examined yield well-preserved, diverse palynofloras consisting predominantly of miospores, dinoflagellate cysts, foraminiferal test linings, fungal spores, acritarchs, and scolecodont occur as minor constituents. The Sporomorph EcoGroups (SEGs) model attempts to define Mesozoic

* Corresponding author: dehbozorgi@sci.ikiu.ac.ir

DOI: 10.22055/AAG.2023.44363.2389

Received: 2023-07-21

Accepted: 2023-09-20

palaeocommunities based on quantitative data from palynomorphs whose parent plants have known ecological preferences (e.g., Abbink et al., 2001; Abbink et al., 2004; Ruckwied et al., 2008; Kustatscher et al., 2010). This approach was used to describe palaeoenvironmental and paleoclimatic changes as reflected in the sediments of the Middle Jurassic Dalichai Formation at the Kanz stratigraphic section (central Alborz) and Talu stratigraphic section (eastern Alborz). Quantitative palynofacies analysis and inferred natural relationship of spores dispersal were used in addition to SEGs to achieve better interpretation.

Quantitative analysis of the Dalichai Formation sporomorphs at the Kanz and Talu stratigraphic sections leads to the identification of six Sporomorph EcoGroups:

1. Upland communities growing on higher terrains above the groundwater level
2. Lowland communities, regions such as plains, marshes, or swamps
3. River communities, periodically submerged in water
4. Pioneer regions that are unsteady and may have been recently affected by disturbances such as flooding
5. Coastal areas that are not submerged by the sea but are impacted by the vicinity of salt spray
6. Tidally-influenced communities that are periodically affected by tidal changes

The most frequently occurring Sporomorph Ecogroup at both stratigraphic sections was assigned to the Lowland SEG

At the Kanz stratigraphic section, from Sample 1 to Sample 23, a high percentage of phytoclast, a high percentage of the ratio of terrestrial to marine elements, the abundance of equidimensional palynomorphs, a high percentage of the ratios of Upland/Lowland and Lowland/Coastal+Tidally influenced SEGs, a very low percentage of Pioneer and River SEGs and also the low percentage of marine palynomorphs all indicate the low level of seawater. From sample 24 to sample 29, the water level is gradually rising, and the basin is witnessing a slight increase in depth. A slight increase in the amount of the blade-shaped palynomorphs supports this contention. The percent of marine palynomorphs reached their maximum value from Sample 30 to Sample 32, and the basin's depth has increased more compared to the previous stage. This event is shown by the decrease in the Lowland/Coastal + Tidally-influenced ratio and the increase in the Upland/Lowland ratio. This trend continues until the end of the stratigraphic section until the deposition of nodular limestones of the Upper Jurassic Lar Formation.

At the beginning of the Talu stratigraphic section, the Lowland SEG increased, while the Coastal+Tidally influenced and Upland SEGs decreased or were absent. In this part, the percentage of Pioneer and River SEGs is very low, indicating the low seawater level. This is evident from the higher amount of equidimensional palynomorph compared to the blade-shaped palynomorph, the higher percentage of terrestrial elements compared to marine components, and the higher percentage of phytoclasts. From the middle part of the studied section to the near end of the section, there is a gradual decrease in the ratio of Lowland/Coastal + Tidally-influenced SEGs, showing that the water level is rising with some fluctuations and confirming the short-term progress of the sea and the relative increase in the depth of the sedimentation basin. At the end of the studied section, the lack of Lowland SEG and the presence of Coastal + Tidally influenced SEGs indicate a relative increase in the depth of the sedimentation basin compared to the previous stage. The increase in blade-shaped palynomorphs, the decrease of terrestrial elements, and the increase in marine palynomorphs from the base to the end of the stratigraphic section also indicate a relative increase (however slight) in the depth of the sedimentary basin. Generally, a relatively shallow paleoenvironment is suggested for the Dalichai Formation at the Kanz and Talu stratigraphic sections, which witnessed rising sea levels and marine transgression.

Paleoclimatic reconstruction and recognizing climatic change can be achieved by analyzing relative frequency patterns of the "warmer/cooler" and "wetter/drier" elements within an SEG. Plants in lowland and coastal SEGs exhibit competitive strategies adapted to this habitat (Abbink et al., 2001). Therefore,

quantitatively important sporomorphs considered characteristic of these SEGs can be used to reconstruct paleoclimates (Abbink et al., 2001). The Relative frequency pattern of warmer/cooler and wetter/drier elements represents a wet \pm warm condition during the deposition of the Dalichai Formation at both stratigraphic sections. This general paleoclimate reconstruction is also supported by the predominant spore species known to have been produced by Pterophyta, representing a hot and humid paleoclimate.

4-Conclusion

The paleoenvironment and paleoclimatic changes of the Dalichai Formation in the central Alborz (Kanz stratigraphic section) and eastern Alborz (Talu stratigraphic section) were investigated using the Sporomorph EcoGroups model along with changes in the palynofacies elements. In both stratigraphic sections, Lowland SEG is the most abundant Sporomorph Ecogroup. The changes in the Upland/Lowland and Lowland/Coastal+Tidally influenced proxies indicate that the seawater level at the beginning of the formation was low, but gradually, towards the end of both stratigraphic sections, the sea level is rising and the basin is witnessing a slight increase in depth. The depth of the basin has increased more compared to the previous stage. It continues until the deposition of the nodular limestones of the Upper Jurassic Lar Formation, which is evident according to the diagrams of Sporomorph EcoGroups and changes in palynofacies elements. Evaluation of the relative abundance patterns of the warmer/cooler and wetter/drier parts within the sensitive SEGs to climate change indicates a wet \pm warm condition during the deposition of the Dalichai Formation at both stratigraphic sections. In addition, ferns were more abundant than the other parent plants of miospores in both stratigraphic sections, indicating a prevailing warm to semi-warm climate with high humidity during the deposition of the Dalichai Formation.

5-References

- Abbink, O., Targarona, J., Brinkhuis, H., Visscher, H., 2001. Late Jurassic to earliest Cretaceous palaeoclimatic evolution of the southern North Sea. *Global and Planetary Change* 30(3-4), 231-256. [https://doi.org/10.1016/S0921-8181\(01\)00101-1](https://doi.org/10.1016/S0921-8181(01)00101-1).
- Abbink, O.A., Van Konijnenburg-Van Cittert, J.H.A., Visscher, H., 2004a. A sporomorph ecogroup model for the Northwest European Jurassic-Lower Cretaceous: concepts and framework. *Netherlands Journal of Geosciences. Geologie en Mijnbouw* 83(1), 17-38. <https://doi.org/10.1017/S0016774600020436>.
- Dehbozorgi, A., 2013. Palynology and paleoecology of the Middle Jurassic (Dalichai and Baghamshah formations) east of Semnan (Jam area). Ph.D. thesis. University of Tehran, Iran (In Persian).
- Dehbozorgi, A., Sajjadi, F., Hashemi, H., 2013. Middle Jurassic palynomorphs of the Dalichai Formation, central Alborz Ranges, northeastern Iran: Paleoecological inferences. *Science China Earth Sciences* 56, 2107-2115. <https://doi.org/10.1007/s11430-013-4697-z>.
- Dermanaki Farahani, S., 2016. Palynology of Dalichai Formation in south-east (Guydagh Section) and north-west (Ahagh Section) of Maragheh. M.Sc. thesis. University of Tehran, Iran (In Persian).
- Ghasemi-Nejad, E., Sabbaghiyan, H., Mosaddegh, H., 2012. Paleobiogeographic implications of late Bajocian-late Callovian (Middle Jurassic) dinoflagellate cysts from the Central Alborz Mountain, northern Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 43, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2011.08.006>.
- Hashemi Yazdi, F., Bashiri, N., Sajjadi, F., 2020. Palynofacies and Sporomorph EcoGroups-based paleoecology implications for the Dalichai Formation, Andariyeh, central Alborz. *Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches* 36(1), 39-60. <https://doi.org/10.22108/jssr.2020.118759.1116>.
- Hashemi Yazdi, F., Dehbozorgi, A., Sajjadi, F., Hashemi, H., 2017. Palaeoenvironmental implications for the Dalichai Formation in two stratigraphic sections, Sharaf and Tapal (central and eastern Alborz Mountains) based on Sporomorph EcoGroups. *Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches* 33(3), 1-14. <https://doi.org/10.22108/jssr.2017.104681.1017>.
- Hashemi Yazdi, F., Sajjadi, F., Hashemi, H., 2015. Palaeoecology of the Middle Jurassic deposits in central and eastern Alborz. *Iranian Journal of Geology* 32(8), 3-17 (In Persian with English abstract).
- Kustatscher, E., Heunisch, C., Van Konijnenburg-Van Cittert, J.H.A., 2012. Taphonomical implications of the Ladinian megaflora and palynoflora of Thale (Germany). *Palaios* 27(11), 753-764. <https://doi.org/10.2110/palo.2011.p11-090r>.

- Mafi, A., Ghasemi-Nejad, E., Ashouri, A., Vahidi-Nia, M., 2014. Dinoflagellate cysts from the Upper Bajocian-Lower Oxfordian of the Dalichai Formation in Binalud Mountains (NE Iran): their biostratigraphical and biogeographical significance. *Arabian Journal of Geosciences* 7, 3683-3692. <https://doi.org/10.1007/s12517-013-0976-4>.
- Navidi Izad, N., 2013. Palynostratigraphy of the Dalichai Formation at Diktash section, northeast of Semnan. M.Sc. thesis, University of Tehran, Iran (In Persian).
- Phipps, D., Playford, G., 1984. Laboratory techniques for extraction of palynomorphs from sediments. *Department of Geology, University of Queensland, Papers* 11(1), 1-23.
- Ruckwied, K., Götz, A.E., Pálffy, J., Török, Á., 2008. Palynology of a terrestrial coal-bearing series across the Triassic/Jurassic boundary (MecsekMts, Hungary). *Central European Geology* 51(1), 1–15. <https://doi.org/10.1556/ceugeol.51.2008.1.1>.
- Sajjadi, F., Hashemi Yazdi, F., Hashemi, H., 2023. Palynostratigraphy and palaeoecology of the Dalichai Formation at the Yonjehzar stratigraphic section, northeastern Tehran, central Alborz. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences* 33(2), 128, 259-282. <https://doi.org/10.22071/gsj.2023.350092.2013>.
- Schairer, G., Seyed-Emami, K., Zeiss, A., 1991. Ammoniten aus der oberen Dalichai-Formation (Calloy) östlich von Semnan (SE-Alborz, Iran). *Mitteilungen der Bayerische Staatsammlung für Paläontologie Historische und Geologie* 31, 47-67. <https://biostor.org/reference/206456>
- Seyed-Emami, K., Schairer, G., Alavi-Naini, M., 1989. Ammoniten aus der unteren Dalichi - Formation (Unterbathon) östlich von Semnan (SE - Alborz, Iran), *Muncher Geowiss. Abhandlungen A* 15, 79-91.
- Seyed-Emami, K., Schairer, G., Zeiss, A., 1995. Ammoniten aus der Dalichai - Formation (Mittlerer bis Oberer Jura) und der Lar - Formation (Oberer Jura) N Emamzadeh - Hashem (Zentralalborz, Nordirn). *Mitteilungen der Bayerische Staatssammlung für Paläontologie und Historische Geologie* 35, 39-52.
- Seyed-Emami, K., Schairer, G., Behroozi, A., 1996. Ammoniten aus dem oberen Bajoc (Mittlerer Jura) des SE-Koppeh dagh und SE Alborz (NE-Iran). *Mitteilungen der Bayerische Staatssammlung für Paläontologie und Historische Geologie* 36, 87-106. <https://biostor.org/reference/206499>
- Stöcklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran; a review. *AAPG Bulletin* 52(7), 1229-1258. <https://doi.org/10.1306/5D25C4A5-16C1-11D7-8645000102C1865D>.
- Wheeler, J.W., Sarjeant, W.A.S., 1990. Jurassic and Cretaceous palynomorphs from the central Alborz Mountains, Iran. Their significance in biostratigraphy and palaeogeography. *Modern Geology* 14(4), 375.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Dehbozorgi, A., Hashemi Yazdi, F., Sajjadi, F., Hashemi, H., 2024. The importance of Sporomorph EcoGroups and palynofacies in recognition of paleoenvironments and paleoecology of the Middle Jurassic strata of the central and eastern Alborz. *Adv. Appl. Geol.* 14(1), 23-43.

DOI: 10.22055/AAG.2023.44363.2389

URL: https://aag.scu.ac.ir/article_18659.html

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers

اهمیت اکوگروه‌های اسپورومورفی و پالینوفاسیس در شناخت محیط‌های رسوبی و اقلیم دیرینه نهشته‌های ژوراسیک میانی البرز مرکزی و شرقی

افسانه ده بزرگی*

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)

فیروزه هاشمی یزدی

مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

فرشته سجادی

دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

حسین هاشمی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

* dehbozorgi@sci.ikiu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۹

چکیده

اسپورها و پولن‌ها (میوسپورها) در گروه‌هایی به نام اکوگروه‌های اسپورومورفی (Sporomorph EcoGroups) طبقه‌بندی شده‌اند. تغییر در تجمعات اسپورومورف‌ها منعکس کننده تغییر در ترکیب جوامع گیاهان والد آنها می‌باشد و تغییر در ترکیب جوامع ماکروفسیل‌های گیاهی نیز از تغییرات اقلیم دیرینه و محیط رسوبی دیرینه حکایت می‌کند. از آنجایی که میوسپورها با حفظ‌شدگی نسبتاً خوب در توالی‌های سازند دلیچای در برش‌های چینه‌شناسی کنز (البرز مرکزی) و طالو (البرز شرقی) وجود دارند، از این روش جهت تفسیر اقلیم و محیط دیرینه استفاده شده است. تجزیه و تحلیل کمی اکوگروه‌های اسپورومورفی معرف وجود اکوگروه اسپورومورفی سازگار با مناطق مرتفع، سازگار با مناطق پست، سازگار با مناطق رودخانه‌ای، سازگار با مناطق پیشگام، سازگار با مناطق ساحلی و سازگار با مناطق جزر و مدی در برش‌های چینه‌شناسی مورد مطالعه می‌باشد. فاکتورهای Upland/Lowland و Lowland/Coastal+Tidally influenced و تغییرات عناصر پالینوفاسیس در برش‌های چینه‌شناسی کنز و طالو مؤید پایین بودن سطح آب دریا در ابتدای تشکیل این سازند می‌باشد که به تدریج به طرف انتهای هر دو برش چینه‌شناسی سطح آب دریا در حال بالا آمدن بوده و حوضه شاهد افزایش جزئی در عمق می‌باشد. در انتهای برش، عمق حوضه افزایش بیشتری نسبت به مرحله قبل داشته و تا رسوبگذاری آهک‌های ضخیم لایه حاوی چرت سازند لار (ژوراسیک پسین) ادامه می‌یابد. الگوی فراوانی نسبی عناصر warmer/cooler و wetter/drier در توالی‌های مورد مطالعه، معرف آب و هوای گرم تا نیمه‌گرم و مرطوب در زمان نهشته‌شدن سازند دلیچای در برش‌های چینه‌شناسی کنز و طالو می‌باشد. فراوانی اسپورهای منتسب به سرخس‌ها در هر دو برش این نتیجه‌گیری را تایید می‌کند.

واژه‌های کلیدی: سازند دلیچای، البرز، گروه‌های اسپورومورفی، پالینوفاسیس، اقلیم دیرینه.

۱-مقدمه

توسط فسیل‌شناسان بسیاری از جهات مختلف مورد توجه قرار گرفته است. پالینومورف‌های متنوع با حفظ‌شدگی نسبتاً خوب شامل اسپورها، پولن‌ها، داینوفلاژله‌ها، آستر داخلی پوسته فرامینیفرها، اکریتارک‌ها، اسپور قارچ‌ها و اسکلوکودونت‌ها در نهشته‌های این سازند در برش‌های چینه‌شناسی کنز (البرز مرکزی) و طالو (البرز شرقی) وجود دارد. در این مطالعه به تفسیر اقلیم و محیط دیرینه سازند دلیچای، با استفاده از

سازند دلیچای شامل شیل، آهک و آهک رسی، از جمله نهشته‌های دریایی دوره ژوراسیک میانی است که در شمال ایران گسترش جغرافیایی وسیعی دارد. این سازند در تمام دامنه جنوبی رشته کوه البرز بین سازند آواری شمشک در پایین و سازند آهکی صخره ساز لار در بالا قرار گرفته است. سازند دلیچای به علت تغییرات ضخامت و رخنمون بسیار مناسب،

دارد و دسترسی به آن از طریق جاده اصلی سمنان - دامغان امکان پذیر است (شکل ۱). برش چینه‌شناسی طالو با عرض جغرافیایی $14^{\circ} 19' 36'' N$ و طول جغرافیایی $54^{\circ} 26' 16'' E$ در ۳ کیلومتر جاده دامغان - شاهرود و در ۸ کیلومتری شمال شرق دامغان قرار دارد. این برش چینه‌شناسی بعد از روستای طالق (به مسافت ۱۰ کیلومتر) به طرف معادن زغال‌سنگ البرز و مزرعه طالو، در مجاورت جاده کمی بعد از مزرعه طالو نمایان است (شکل ۱). این منطقه در تقسیم‌بندی زون‌های ساختری ایران، در زیرزون البرز شرقی قرار دارد (Aghanabati, 2004; Stöcklin, 1968). سازند دلیچای در برش چینه‌شناسی کنز با ضخامت ۲۹۲ متر و در برش چینه‌شناسی طالو با ضخامت ۱۵۳ متر عمدتاً متشکل از شیل، مارن و شیل آهکی می‌باشد (شکل ۲). در هر دو برش چینه‌شناسی این سازند به طور ناپیوسته روی سازند شمشک و به طور پیوسته در زیر سازند آهکی صخره‌ساز لار قرار دارد (شکل ۳).

۳- روش پژوهش

به منظور بررسی محیط رسوبی دیرینه و تغییرات اقلیم دیرینه سازند دلیچای در البرز مرکزی و شرقی، ۵۷ نمونه از برش‌های چینه‌شناسی کنز و طالو از افق‌های مناسب برداشت و عمل آماده‌سازی (Maceration) نمونه‌ها با استفاده از روش Phipps و Playford (۱۹۸۴) انجام گردید. در هر اسلاید اسپورها و پولن‌ها بعد از شناسایی بر اساس روش Abbink (۱۹۹۸) و Abbink و همکاران (۲۰۰۱ و ۲۰۰۴a) در اکوگروه‌های اسپورومورفی طبقه‌بندی و سپس شمارش شدند. سپس نمودارهای تغییرات آنها در هر گروه رسم و تغییرات اقلیم دیرینه و تغییرات سطح آب دریا تفسیر گردید. برای بازسازی آب و هوای دیرینه، پس از شناسایی میوسپورها و طبقه‌بندی آنها بر اساس گیاهان والد طبق منابع موجود در هر نمونه، فراوانی آنها محاسبه و سپس نمودار درصد فراوانی گروه‌های مختلف گیاهی ترسیم و مقایسه شد. در نهایت با توجه به داده‌های موجود در مورد شرایط محیط زندگی گیاهان امروزی، بازسازی آب و هوای دیرینه سازند دلیچای در برش‌های چینه‌شناسی کنز و طالو انجام شد. همچنین به منظور انجام مطالعات آماری مربوط به بازسازی محیط رسوبی دیرینه نیز در هر دو برش چینه‌شناسی مطالعه شده، ۱۵ میدان دید در ۳ اسلاید از هر نمونه به طور تصادفی انتخاب و مورد مطالعه قرار گرفت. سپس برای هر نمونه

اکوگروه‌های اسپورومورفی (Sporomorph EcoGroups: SEGs)، جوامع گیاهی مرتبط با آنها و پالینوفاسیس پرداخته شده است. در روش اکوگروه‌های اسپورومورفی تغییر در نوع گیاهان والد اسپورومورفها، حکایت از تغییر در شرایط اقلیمی دارد و تغییر در شرایط اقلیمی حکایت از تغییرات سطح آب دریا می‌کند (Abbink, 1998; Abbink et al., 2001, 2004a, b).

مطالعات چندی بر اساس این روش بر روی سازند دلیچای انجام شده است. Dehbozorgi (۲۰۱۳) بر اساس مدل اکوگروه‌های اسپورومورفی برای سازند دلیچای در دو برش چینه‌شناسی در البرز مرکزی محیط رسوبی دیرینه کم‌عمق و آب و هوای دیرینه گرم و مرطوب را پیشنهاد نمود. Hashemi Yazdi (۲۰۱۵) برای سازند دلیچای در سه برش چینه‌شناسی در البرز مرکزی و سه برش چینه‌شناسی در البرز شرقی بر اساس مدل اکوگروه‌های اسپورومورفی آب و هوای دیرینه گرم و مرطوب و محیط رسوبی دیرینه کم‌عمقی را پیشنهاد نمود که گاهی شاهد بالا آمدگی‌های کوتاه مدت سطح آب دریا بوده است. Dermanaki Farahani (۲۰۱۶) بر اساس این مدل برای سازند دلیچای در دو برش چینه‌شناسی در جنوب‌شرق و شمال‌غرب مراغه در البرز غربی آب و هوای دیرینه گرم تا نیمه‌گرم و مرطوب را گزارش نمود. به همین ترتیب Hashemi Yazdi و همکاران (۲۰۱۷) برای سازند دلیچای در دو برش چینه‌شناسی شرف (البرز مرکزی) و تپال البرز شرقی آب و هوای دیرینه گرم تا نیمه گرم و مرطوب و یک محیط دیرینه کم‌عمق که گاهی شاهد پیشروی کوتاه مدت دریا و بالا آمدگی سطح آب حوضه رسوبی بوده است را پیشنهاد نمودند. Bashiri (۲۰۱۹) و Hashemi Yazdi و همکاران (۲۰۲۰) نیز بر اساس این مدل برای سازند دلیچای در برش چینه‌شناسی اندریه (البرز مرکزی) محیط رسوبی دیرینه کم‌عمق و آب و هوای دیرینه گرم و مرطوب را پیشنهاد نمودند. Sajjadi و همکاران (۲۰۲۳) هم بر اساس این مدل برای سازند دلیچای در برش چینه‌شناسی یونجه‌زار در البرز مرکزی آب و هوای دیرینه گرم تا نیمه‌گرم و مرطوب را پیشنهاد نمودند.

۲- موقعیت جغرافیایی و راه‌های ارتباطی برش‌های چینه‌شناسی مورد مطالعه

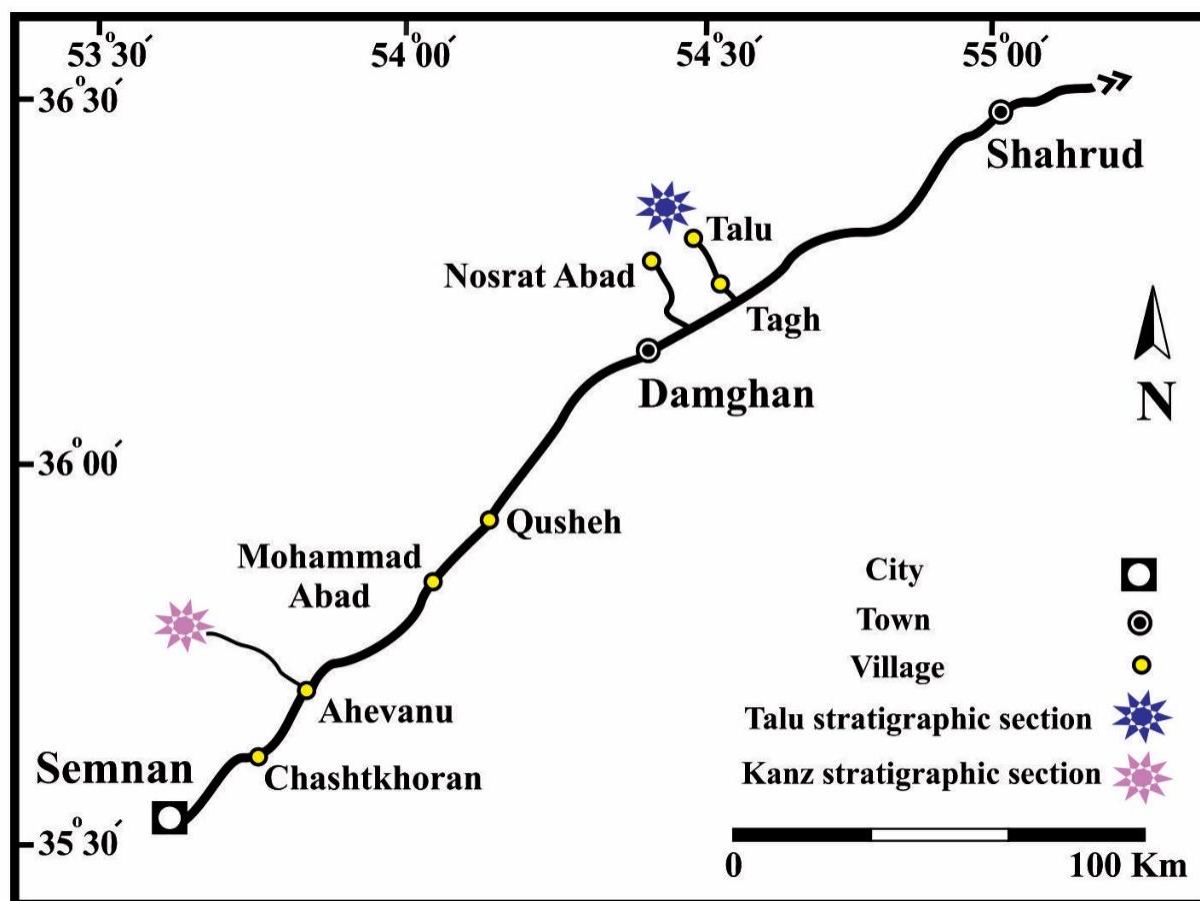
برش چینه‌شناسی کنز با عرض جغرافیایی $48^{\circ} 35' N$ و طول جغرافیایی $40^{\circ} 53' E$ در شمال سمنان (البرز مرکزی)، قرار

مدل بر اساس ارتباط بین یک گونه اسپور یا پولن با گیاه والد آن و نیازهای اکولوژیک آن گیاهان می‌باشد. بنابراین هر اکوگروه اسپورومورفی نشان دهنده یک جامعه گیاهی مشخصی است که منعکس کننده یک محیط اکولوژیکی خاصی می‌باشد. در این مدل شش اکوگروه اسپورومورفی معرف جوامع گیاهی خاصی شامل اکوگروه اسپورومورفی سازگار با مناطق مرتفع (Upland SEG) سازگار با مناطق پست و دشت‌ها (Lowland SEG)، سازگار با مناطق رودخانه‌ای (River SEG)، سازگار با مناطق پیشگام (Pioneer SEG)، سازگار با مناطق ساحلی (Coastal SEG) و سازگار با مناطق جزر و مدی (Tidally-influenced SEG)، معرفی شده است (شکل ۴).

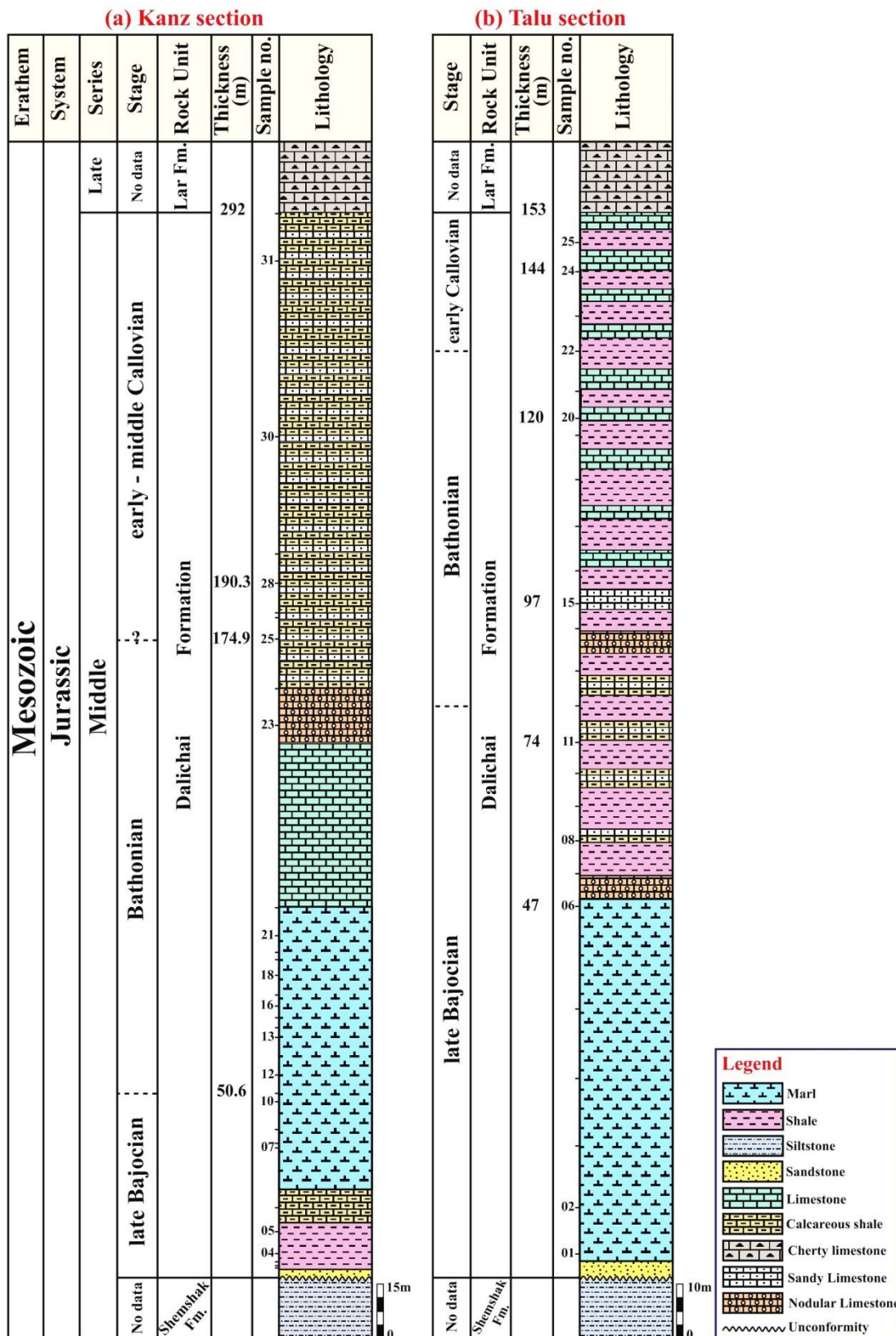
درصد فراوانی عناصر و فاکتورهای تفسیر محیطی محاسبه و نمودارهای مربوطه رسم شد.

۴- بحث

روش تجزیه و تحلیل کمی اسپورومورفی با استفاده از اکوگروه‌های اسپورومورفی توسط Abbink (۱۹۹۸) و Abbink و همکاران (۲۰۰۱ و ۲۰۰۴a) جهت تعیین شرایط اقلیمی ژوراسیک و کرتاسه پیشین اروپا ارائه شده است. محققین مختلفی از این روش برای بررسی تغییرات پوشش گیاهی و اقلیم دیرینه جوامع گیاهی تریاس نیز استفاده کردند (e.g., Kustatscher et al., 2012; Paterson et al., 2016; Baranyi et al., 2019; Li et al., 2020). شکل‌گیری این

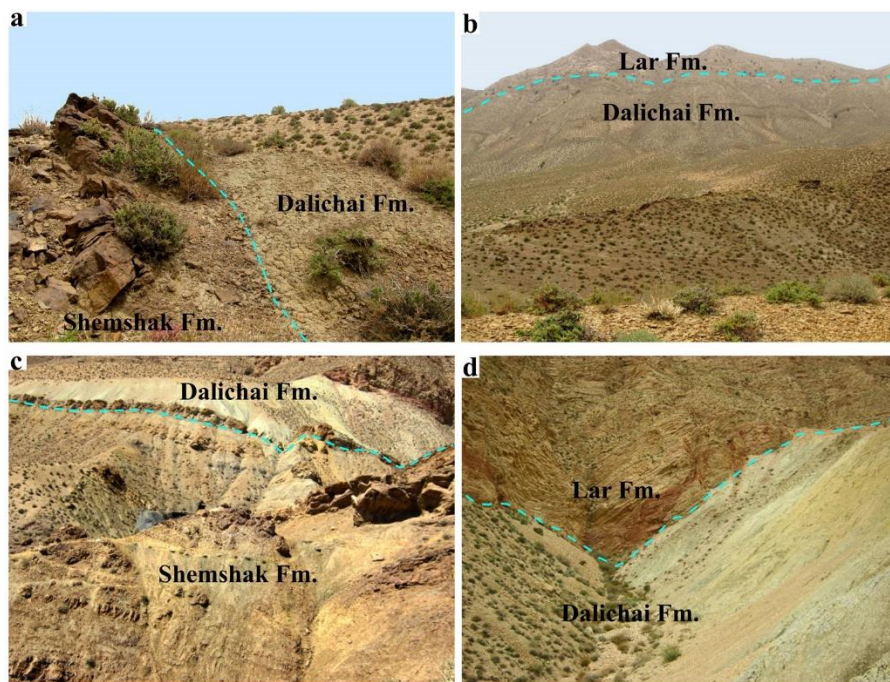


شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به سازند دلیچای در برش‌های چینه‌شناسی کنز و طالو.
Fig. 1. Location map of the Dalichai Formation, Kanz and Talu stratigraphic sections.



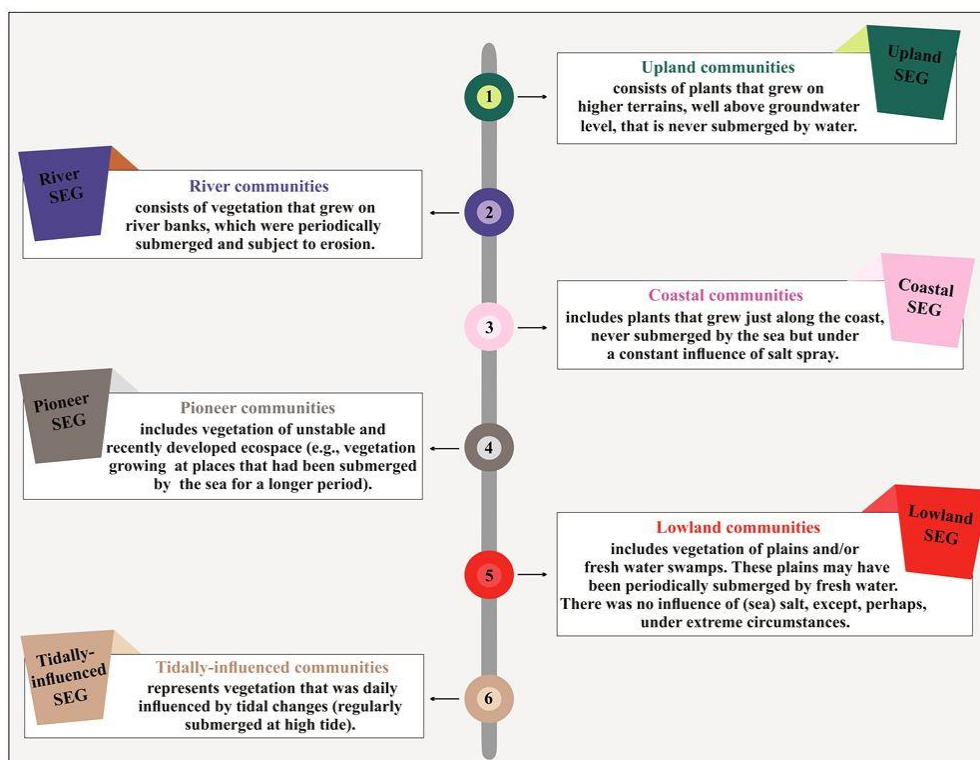
شکل ۲- ستون‌های چین‌شناسی سازند دلچای، (a) برش چین‌شناسی کنز و (b) برش چین‌شناسی طالو.

Fig. 2. Stratigraphic columns of the Dalichai Formation, (a) Kanz stratigraphic section, and (b) Talu stratigraphic section.



شکل ۳- نمایش مرزهای زیرین و بالایی سازند دلیچای در برش‌های چینه‌شناسی کنز (a, b) و طالو (c, d). (a) دید به طرف شرق، (b, c, d) دید به سمت شمال.

Fig. 3. Field views of lower and upper boundaries of the Dalichai Formation around Kanz (a, b) and Talu (c, d) localities. (a) views towards east, (b, c, d) view towards north.



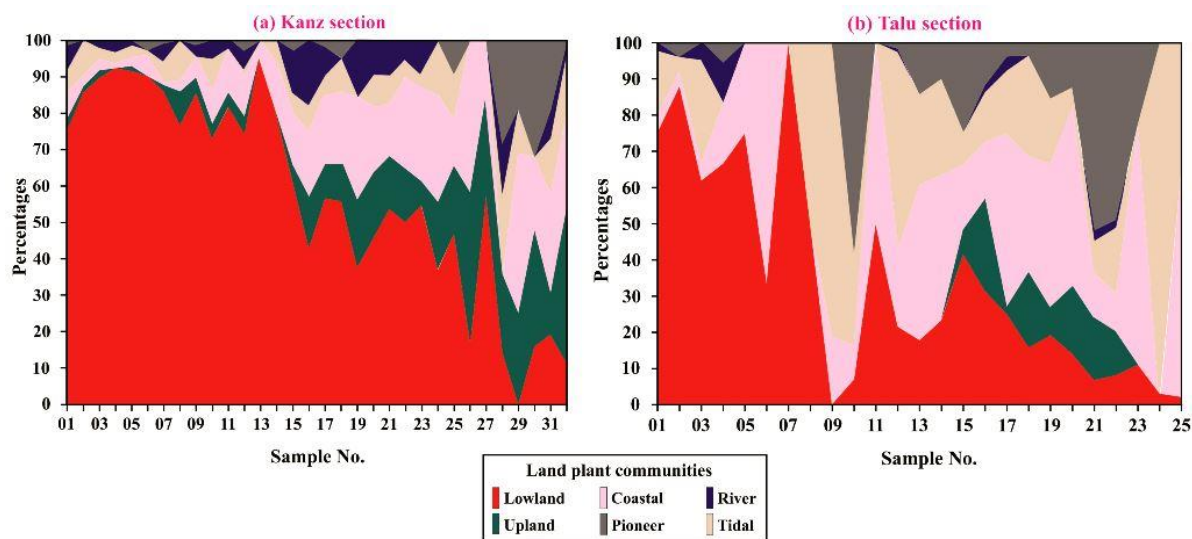
شکل ۴- انواع اکوگروه‌های اسپورومورفی (نقل از Abbink (۱۹۹۸) و Abbink و همکاران (۲۰۰۱، ۲۰۰۴a) با تغییرات جزئی)
Fig. 4. Different groups of the Sporomorph EcoGroups (Redrawn from Abbink, 1998; Abbink et al., 2001, 2004a).

پس از محاسبه درصد فراوانی اسپورومورف‌های مربوط به جوامع گیاهی ذکر شده، نمودارهای مربوط به آنها در هر دو برش چینه‌شناسی رسم شد (شکل ۵). در برش چینه‌شناسی کنز کمترین درصد فراوانی مربوط به اکوگروه اسپورومورفی سازگار با مناطق مناطق پیشگام و در برش چینه‌شناسی طالو کمترین درصد فراوانی مربوط به اکوگروه اسپورومورفی سازگار با مناطق رودخانه‌ای می‌باشد به صورتی که معمولاً از چند درصد تجاوز نکرده و گاهی اساساً حضور ندارد. غالب‌ترین اکوگروه در هر دو برش چینه‌شناسی مربوط به اکوگروه اسپورومورفی سازگار با مناطق پست و دشت‌ها می‌باشد.

طبق نظر Abbink (۱۹۹۸) معمولاً نسبت دادن یک گروه گیاهی تنها به یک جامعه گیاهی خاص مشکل است. بر این اساس وی بریوفیتا و اسپوره‌های سرخس‌ها مربوط به خانواده‌های اسمونداسه‌آ، شیزاسه‌آ، سیاتسه‌آ، دیکسونیاسه‌آ، دیپتریداسه‌آ و پتریداسه‌آ را هم به اکوگروه اسپورومورفی سازگار با مناطق پست و دشت‌ها و هم به اکوگروه اسپورومورفی سازگار با مناطق رودخانه‌ای منسوب می‌داند. با توجه به مدل Abbink (۱۹۹۸) و Abbink و همکاران (۲۰۰۴a) تمام اسپورومورف‌های موجود در هر دو برش چینه‌شناسی کنز و طالو شامل تمامی جوامع ذکر شده بوده که در اکوگروه‌های اسپورومورفی طبقه‌بندی شدند (جدول ۱).

جدول ۱- طبقه‌بندی اکوگروه‌های اسپورومورفی (Abbink, 1998; Abbink et al., 2004a) سازند دلیچای در برش‌های چینه‌شناسی کنز و طالو. Table 1. Classification of the Sporomorph EcoGroups (Abbink, 1998; Abbink et al., 2004a) of the Dalichai Formation, Kanz and Talu stratigraphic sections.

Upland		
<i>Platysaccus</i> <i>Podocarpidites</i>		
Lowland		
<i>Anapiculatisporites</i>	<i>Gleicheniidites</i>	<i>Ricciisporites</i>
<i>Biretisporites</i>	<i>Ischyosporites</i>	<i>Sellaspora</i>
<i>Chasmatosporites</i>	<i>Klukisporites</i>	<i>Striatella</i>
<i>Concavissimisporites</i>	<i>Kyrtomisporis</i>	<i>Todisporites</i>
<i>Contignisporites</i>	<i>Laevigatosporites</i>	<i>Toripustulatisporites</i>
<i>Convruccosisporites</i>	<i>Matonisporites</i>	<i>Trilites</i>
<i>Cyathidites</i>	<i>Murospora</i>	<i>Trilobosporites</i>
<i>Cycadopites</i>	<i>Osmundacidites</i>	<i>Velosporites</i>
<i>Deltoidospora</i>	<i>Perinopollenites</i>	<i>Verrucosisporites</i>
<i>Dictyophyllidites</i>	<i>Phlebopterisporites</i>	
Coastal		
<i>Aratrisporites</i>		<i>Callialasporites</i>
<i>Araucariacites</i>		<i>Classopollis</i>
River		
<i>Aequitriradites</i>		<i>Lycopodiacidites</i>
<i>Annulispora</i>		<i>Neoraistrickia</i>
<i>Camazonosporites</i>		<i>Perotrilites</i>
<i>Foveosporites</i>		<i>Polycingulatisporites</i>
<i>Limbosporites</i>		<i>Staplinisporites</i>
Pioneer		
<i>Cerebropollenites</i>		
Tidally-influenced		
<i>Alisporites</i>		
<i>Densoisporites</i>		
<i>Retitriletes</i>		



شکل ۵- نمودارهای تغییرات فراوانی نسبی اکوگروه‌های اسپورومورفی سازند دلیچای، (a) برش چینه‌شناسی کنز و (b) برش چینه‌شناسی طالو.
 Fig. 5. Diagram of relative abundance changes of the Sporomorph EcoGroups of the Dalichai Formation, (a) Kanz stratigraphic section, and (b) Talu stratigraphic section.

گیاهانی که شرایط محیطی گرم را ترجیح می‌دهند و سردادوست (cooler) شامل گیاهانی که شرایط محیطی سرد را ترجیح می‌دهند، طبقه‌بندی می‌شوند (Abbink et al., 2001, 2004a; Barrón et al., 2006, 2010; Galfetti et al., 2007; Hochuli and Vigran, 2010; Galloway et al., 2013; Bowman et al., 2014; Olivera et al., 2015; Wang et al., 2017). به منظور باز سازی آب و هوای گذشته، با توجه به اطلاعات موجود (Abbink et al., 2001; Barrón et al., 2006, 2010; Galfetti et al. 2007; Hochuli and Vigran, 2010; Galloway et al., 2013) در میان اکوگروه‌های ذکر شده، اکوگروه‌های سازگار با مناطق پست و دشت‌ها و اکوگروه‌های سازگار با مناطق ساحلی به واسطه استراتژی رقابتی که دارند حساسترین گروه به تغییرات اقلیمی بوده و تغییر در آنها منعکس کننده تغییرات آب و هوایی می‌باشد. در نتیجه اسپورومورف‌های مهم شاخص این اکوگروه‌ها به لحاظ حساستر بودن به تغییرات اقلیمی، در ۴ گروه ذکر شده طبقه‌بندی شده‌اند (جدول ۲). درصد فراوانی هر چهار گروه در برش‌های چینه‌شناسی مورد مطالعه محاسبه و نمودارهای اکولوژیکی مربوطه رسم شد (شکل ۶). همانطور که از نمودارها مشخص است، فراوانی میوسپورهای گرمادوست و رطوبت‌دوست در هر دو برش چینه‌شناسی معرف محیطی با آب و هوای گرم تا نیمه‌گرم و مرطوب در زمان نهشته شدن سازند دلیچای در البرز مرکزی و شرقی می‌باشد.

۴-۱- تاثیر تغییرات محیطی بر اکوگروه‌های

اسپورومورفی

نوع پوشش گیاهی معرفی شده توسط اکوگروه‌های اسپورومورفی توسط دو عامل مهم جغرافیا و اقلیم کنترل می‌شوند. بنابراین تغییرات در فراوانی نسبی اکوگروه‌های اسپورومورفی و ترکیب کمی آنها نشان دهنده تغییرات در جغرافیا یا اقلیم می‌باشد. نوسانات سطح آب دریا، فاکتور اصلی جغرافیایی است که مسبب تغییرات محیطی می‌باشد (Abbink et al., 2001, 2004a).

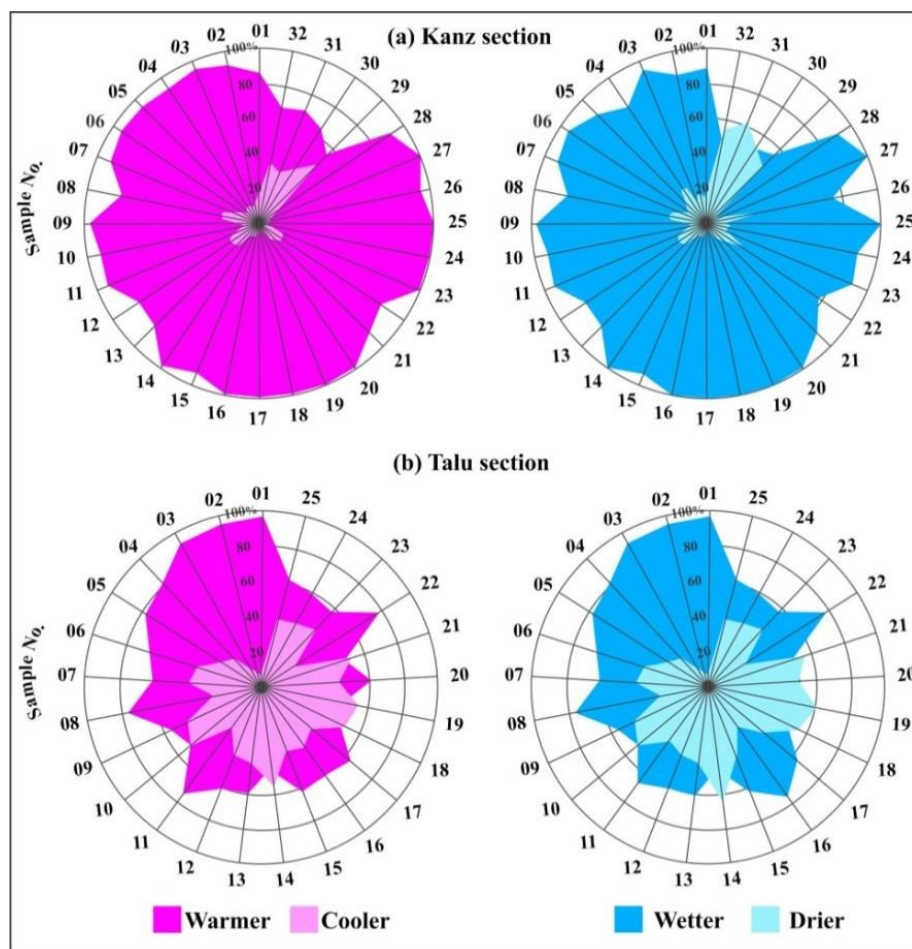
۴-۱-۱- تاثیر عامل تغییرات اقلیمی

تغییرات اقلیمی به طور قابل ملاحظه‌ای سبب تغییر در ترکیب و فراوانی جوامع اسپورومورفی می‌شوند (Abbink et al., 2001, 2004a). بر این اساس در این مطالعه اقلیم دیرینه به واسطه الگوی فراوانی نسبی عناصر wetter/drier و warmer/cooler در جوامع گیاهی انجام شده است. بر این اساس میوسپورها بر اساس تمایلات اکولوژیکی (محیط گرم یا سرد)، میزان نیازمندی به آب در گیاهان متفاوت و سازش آنها با محیط در چهار گروه رطوبت‌دوست (wetter) شامل گیاهانی که شرایط محیطی بسیار مرطوبی را ترجیح می‌دهند، خشکی‌دوست (drier) شامل گیاهانی که شرایط محیطی خشک را ترجیح می‌دهند، گرمادوست (warmer) شامل

جدول ۲- طبقه بندی اسپورومورف‌های مهم شاخص اکوگروه‌های گیاهی سازگار با مناطق پست و دشت‌ها و سازگار با مناطق ساحلی متأثر از تغییرات اقلیمی (Abbink, 1998; Abbink et al., 2004a).

Table 2. Quantitatively important sporomorph taxa of the Lowland and Coastal SEGs with their climate signal (Abbink, 1998; Abbink et al., 2004a).

Spore/Pollen genera	Ecological type
<i>Araucariacites</i>	Cooler/drier
<i>Callialasporites</i>	Cooler/drier
<i>Classopollis</i>	Warmer/drier
<i>Cyathidites</i>	Warmer/Wetter
<i>Dictyophyllidites</i>	Warmer/Wetter
<i>Gleicheniidites</i>	Warmer/Wetter
<i>Klukisporites</i>	Warmer/Wetter
<i>Todisporites</i>	Warmer/Wetter



شکل ۶- نمودارهای تغییرات اقلیم دیرینه سازند دلیچای، (a) برش چینه‌شناسی کنز و (b) برش چینه‌شناسی طالو.

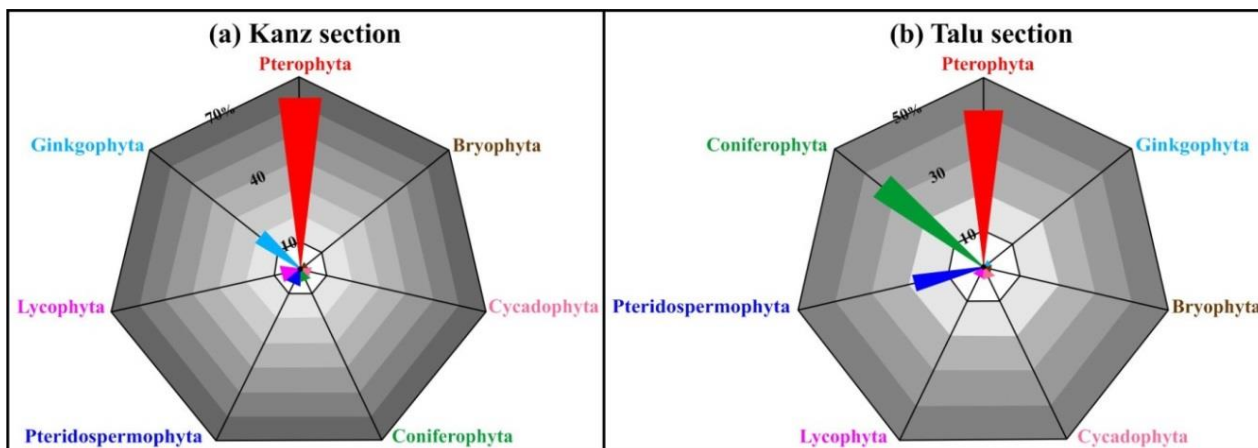
Fig. 6. Paleoclimate changes diagrams of the Dalichai Formation, (a) Kanz stratigraphic section, and (b) Talu stratigraphic section.

Bashiri و Mohammad Khani و Zarei (۲۰۱۹)، Afshar (۲۰۲۰)، Dehbozorgi و Senemari (۲۰۲۰) و Sajjadi و همکاران (۲۰۲۳)، اشاره نمود. ماکروفسیل‌های گیاهی گزارش شده از ژوراسیک شمال ایران متعلق به ژینکگوفیتا، مخروطیان، سرخس‌ها و پتریدواسپرموفیتا (Schweitzer and Kirchner, 1995, 1996, 1998, 2003; Schweitzer, 1997) این نتیجه‌گیری را تایید می‌کند.

۴-۱-۲- تاثیر عامل نوسانات سطح آب دریا

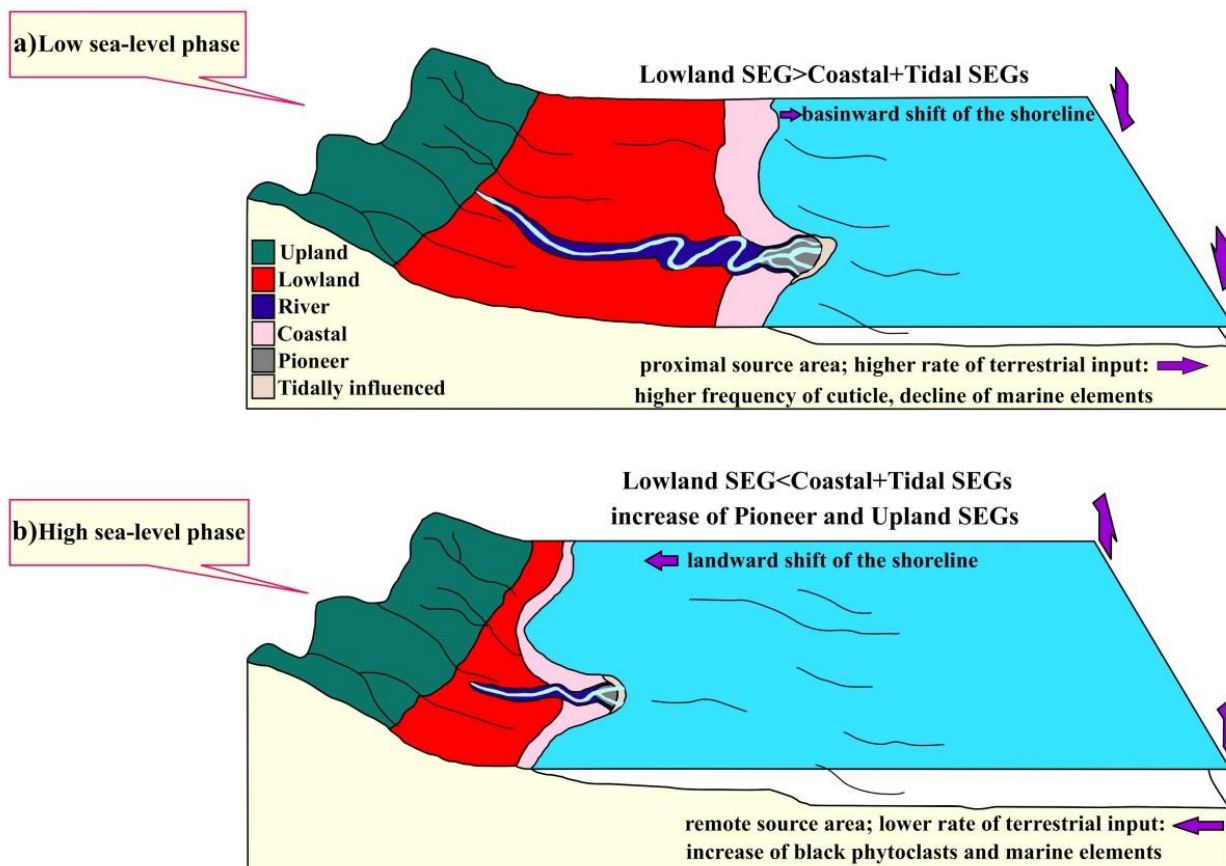
علت تغییرات در جوامع اسپورومورفی با توجه به شرایط نسبتاً ثابت اقلیمی در طول رسوبگذاری را می‌توان به تغییرات سطح آب نسبت داد. پیشروی یا پسروی آب دریا به طور مستقیم بر پوشش گیاهی منطقه و به تبع آن بر ترکیب پالینومورف‌ها تاثیر می‌گذارد (Abbink, 1998; Hermann et al., 2012). در طول پسروی، اکوگروه‌های اسپورومورفی سازگار با مناطق پست و دشت‌ها افزایش یافته در حالی که اکوگروه‌های اسپورومورفی سازگار با مناطق ساحلی - جزر و مدی کاهش می‌یابد (شکل ۸ قسمت a). در طول پیشروی، ساحل به سمت بالاتر رانده شده و اکوگروه اسپورومورفی سازگار با مناطق پست و دشت‌ها توسط اکوگروه‌های اسپورومورفی سازگار با مناطق ساحلی - جزر و مدی جایگزین می‌شود. از اینرو اکوگروه اسپورومورفی سازگار با مناطق پست و دشت‌ها کاهش و اکوگروه‌های اسپورومورفی سازگار با مناطق ساحلی - جزر و مدی افزایش در نسبت اکوگروه اسپورومورفی سازگار با مناطق مرتفع به اکوگروه سازگار با مناطق پست و دشت‌ها (Upland/Lowland) معرف بالا بودن سطح آب دریا و کاهش در آن معرف پایین بودن سطح آب دریا می‌باشد. همچنین افزایش در نسبت اکوگروه اسپورومورفی سازگار با مناطق پست و دشت‌ها به اکوگروه‌های اسپورومورفی سازگار با مناطق ساحلی - جزر و مدی (Lowland/Coastal+Tidally influenced) معرف پایین بودن سطح آب دریا و کاهش در آن نشان دهنده بالا بودن سطح آب دریا می‌باشد (Gedl and Ziaja, 2012).

اسپور و پولن‌های شناسایی شده از سازند دلیچای در برش چینه‌شناسی کنز، ۶۳ درصد منسوب به سرخس‌ها (Pterophyta)، ۱۹٪ ژینکگوفیتا (Ginkgophyta)، ۷٪ لیکوفیتا (Lycophyta)، ۵٪ پتریدواسپرموفیتا (Pteridospermophyta)، ۳٪ مخروطیان (Coniferophyta) و ۲٪ سیکادوفیتا (Cycadophyta) و ۱٪ بریوفیتا (Bryophyta) بودند. به همین ترتیب در برش چینه‌شناسی طالو ۴۱ درصد منسوب به سرخس‌ها، ۳۴٪ مخروطیان، ۱۹٪ پتریدواسپرموفیتا، ۲٪ سیکادوفیتا، ۲٪ لیکوفیتا، ۱٪ ژینکگوفیتا و ۱٪ بریوفیتا بودند (شکل ۷). فراوانی بالای سرخس‌ها در هر دو برش چینه‌شناسی مشهود است. در نتیجه سرخس‌ها در ترکیب پوشش گیاهی مناطق اطراف محیط تشکیل نهشته‌های سازند دلیچای در هر دو برش چینه‌شناسی غالب بوده و این موضوع نشان دهنده تشکیل نهشته‌های سازند دلیچای در محیط دریایی با آب و هوای گرم تا نیمه‌گرم و مرطوب در ژوراسیک میانی می‌باشد. سرخس‌های مزوزوئیک در شرایط نسبتاً گرم در محیط‌های مرطوب از مرداب‌های زغالی گرفته تا سواحل رودخانه‌ها رشد می‌کردند (Abbink et al., 2004a; Zhou et al., 2021; Michel et al., 2023). امروزه نیز سرخس‌ها به عنوان بخش مهمی از تنوع زیستی و پوشش گیاهی اکوسیستم‌های مناطق استوایی تا نیمه‌استوایی یافت شده و معرف آب و هوایی گرم و مرطوب می‌باشند (Vakhrameev, 1991; Jansson et al., 2008; Haque et al., 2016; Suissa et al., 2021). همچنین مطالعات پیشین سازند دلیچای بر اساس گیاهان والد در نواحی مختلف البرز بر وجود آب و هوایی گرم و مرطوب در زمان نهشته شدن این سازند دلالت می‌کند. از جمله این مطالعات می‌توان به Hashemi و Khaki (۲۰۰۹)، Sabbaghiyan (۲۰۰۹)، Yazdi (۲۰۰۹ و ۲۰۱۵)، Ghasemi-Nejad و همکاران (۲۰۱۲)، Dehbozorgi (۲۰۱۳)، Dehbozorgi و همکاران (۲۰۱۳)، Navidi Izad (۲۰۱۳)، Mafi و همکاران (۲۰۱۴)، Hashemi Yazdi و همکاران (۲۰۱۵، ۲۰۱۷، ۲۰۱۸) و Dermanaki Farahani (۲۰۲۰)، Sajjadi و Dermanaki Farahani (۲۰۱۶)، Arkani (۲۰۱۸).



شکل ۷- نمودارهای درصد فراوانی نسبی گیاهان والد میوسپوره‌های سازند دلیچای، (a) برش چینه‌شناسی کنز و (b) برش چینه‌شناسی طالو.

Fig. 7. Schematic representation of the relative abundance percentage of possible parent plants of miospores in the Dalichai Formation, (a) Kanz stratigraphic section, and (b) Talu stratigraphic section.



شکل ۸- نمایش توزیع مکانی اکوگروه‌های اسپورومورفی (SEGs). (a) پایین افتادگی سطح آب و (b) بالا آمدگی سطح آب (نقل از Abbink و همکاران (۲۰۰۴a, b) با تغییرات جزئی)

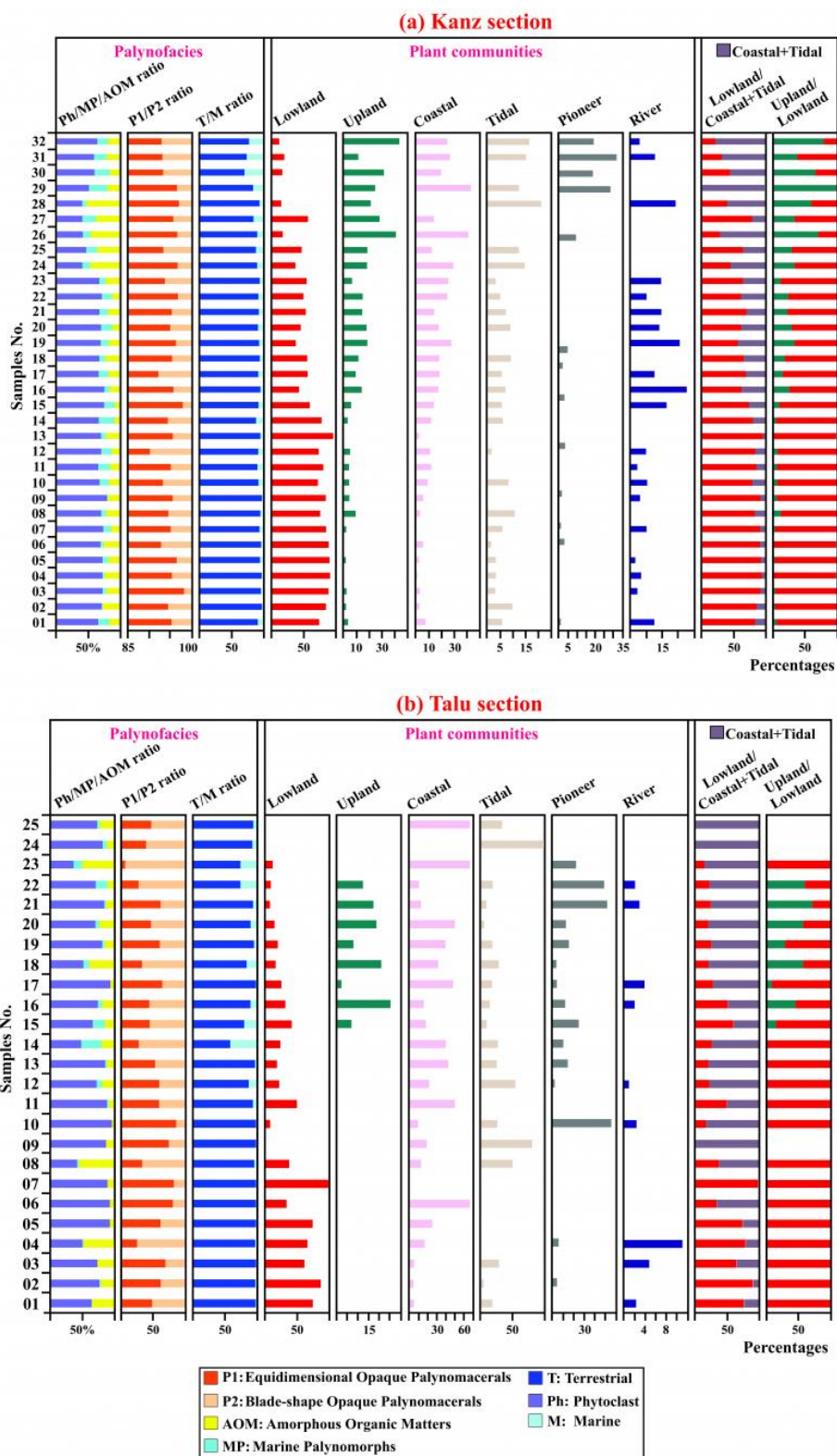
Fig. 8. Schematic representation of the spatial distribution of Sporomorph EcoGroups. (a) depicts the situation during a sea-level low, and (b) during a sea-level high (Redrawn from Abbink et al., 2004a, b).

آب در حال بالا آمدن بوده و حوضه شاهد افزایش عمق جزئی می‌باشد، زیرا بر مقدار پالینوماسرال‌های تیره و اجزاء تیغه‌ای شکل به طور جزئی افزوده شده است. از نمونه ۳۰ تا ۳۲ (۱۹۸/۳ تا ۲۹۲/۲ متری) درصد پالینومورف‌های دریایی به حداکثر مقدار خود (۱۷ تا ۲۴ درصد از کل عناصر اصلی) می‌رسد و عمق حوضه افزایش زیادی نسبت به مرحله قبل دارد. این موضوع با کاهش در نسبت Lowland/Coastal + Tidal و افزایش در نسبت Upland/Lowland نمایان است (شکل ۹ قسمت a). پیشروی دریا تا انتهای برش تا رسوبگذاری آهک‌های ضخیم لایه حاوی چرت مربوط به سازند لار ادامه می‌یابد.

در ابتدای برش چینه‌شناسی طالو اکوگروه Lowland افزایش یافته، اکوگروه‌های Coastal+Tidally influenced و Upland کاهش یافته یا حضور ندارند. در همین محدوده درصد اکوگروه‌های Pioneer و River بسیار پایین می‌باشد و این موارد حکایت از پایین بودن سطح آب دریا می‌نماید. این موضوع با بالاتر بودن میزان پالینوماسرال‌های اپک هم‌بعد نسبت به تیغه‌ای شکل، درصد بالای عناصر خشکی نسبت به دریایی و درصد بالای فیتوکلاست‌ها مشهود است. به تدریج از اواسط برش چینه‌شناسی مورد مطالعه تا نزدیک به انتهای برش کاهش در نسبت اکوگروه‌های Lowland/Coastal+Tidal مشاهده می‌گردد که نشان می‌دهد سطح آب با مقداری نوسان در حال بالا آمدن بوده و مؤید پیشروی‌های کوتاه مدت دریا و افزایش نسبی عمق حوضه رسوبگذاری می‌باشد، در انتهای برش نیز فقدان اکوگروه Lowland و وجود اکوگروه‌های Coastal+ Tidally influenced، بر افزایش نسبی عمق حوضه رسوبگذاری نسبت به مرحله قبل دلالت دارد. افزایش پالینوماسرال‌های اپک تیغه‌ای شکل، کاهش نسبی عناصر خشکی و افزایش نسبی پالینومورف‌های دریایی از قاعده به سمت انتهای برش چینه‌شناسی نیز بر افزایش نسبی عمق حوضه رسوبگذاری (هرچند اندک) دلالت دارد (شکل ۹ قسمت b). در مجموع یک محیط دیرینه نسبتاً کم‌عمق برای سازند دلیچای در برش‌های چینه‌شناسی کنز و طالو پیشنهاد می‌گردد که به مرور شاهد بالا آمدگی سطح آب و پیشروی دریا بوده است. تصاویر برخی از نمونه‌ها در هر اکوگروه اسپورومورفی در شکل ۱۰ آورده شده است.

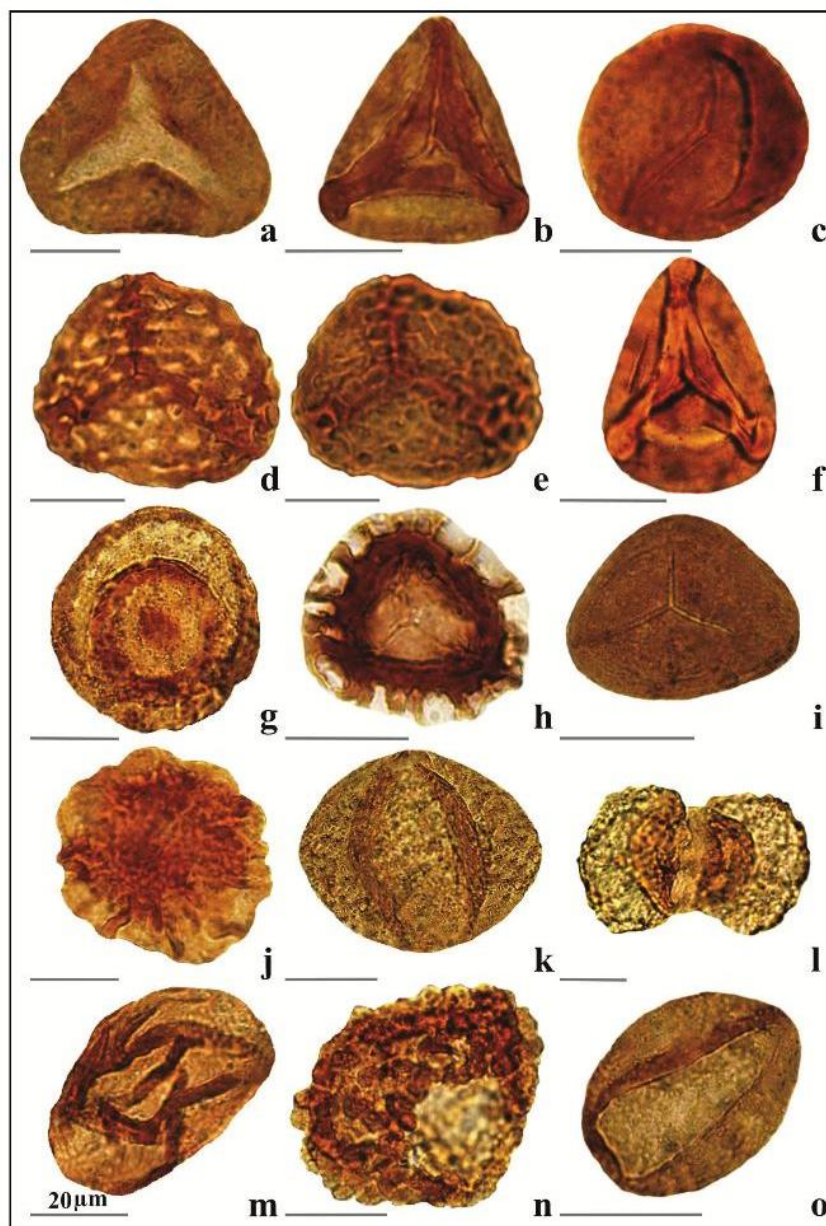
به منظور بررسی تغییرات سطح آب دریا در هر دو برش چینه‌شناسی کنز و طالو، نمودارهای فراوانی هر اکوگروه اسپورومورفی به تفکیک رسم شده است (شکل ۹). برای کسب نتیجه دقیق‌تر نمودارهای برخی فاکتورهای تفسیر محیطی از جمله فیتوکلاست (Phytoclast: PH)، پالینومورف‌های دریایی (Marine Palynomorphs: MP)، مواد ارگانیکی بی‌شکل (Amorphous Organic Matters: AOM)، نسبت پالینوماسرال‌های هم‌بعد (Equidimensional Opaque Palynomacerals: P1) به تیغه‌ای شکل (Blade-shaped Opaque Palynomacerals: P2) و نسبت عناصر خشکی (Terrestrial) به دریایی (Marine) نیز رسم گردید (شکل ۹). فیتوکلاست شامل ذراتی از قبیل اسپورها، پولن‌ها و قطعاتی از قبیل چوب سیاه و قهوه‌ای، کوتیکول، پوست درخت، خرده‌های برگ و ریشه گیاهان است که از محیط خشکی وارد حوضه رسوبگذاری می‌گردند (Tyson, 1995). پالینومورف‌های دریایی شامل داینوفلاژل‌ها، آستر داخلی پوسته فرامینیفرها، اکریتارک‌ها و اسکلوکودونت‌ها می‌باشند. مواد ارگانیکی بی‌شکل، مواد آلی فاقد ساختمان هستند که خصوصیات آنها متأثر از عواملی از قبیل منشا، محیط رسوبگذاری و درجه بلوغ حرارتی می‌باشد (Tyson, 1995; Batten, 1996). پالینوماسرال‌ها با شکل تیغه‌ای شناوری بهتری نسبت به پالینوماسرال‌های هم‌بعد داشته و نسبت آنها معرف روند پروکسیمال - دیستال محیط رسوبگذاری می‌باشد (Van der Zwan, 1990; Tyson, 1995). نسبت بالای فیتوکلاست‌ها، فقر پالینومورف‌های دریایی و نسبت بالای پالینوماسرال‌های هم‌بعد معرف پایین بودن سطح آب دریا می‌باشد (Gedl and Ziaja, 2012).

در برش چینه‌شناسی کنز در فاصله نمونه‌های ۱ تا ۲۳ (از قاعده برش تا ضخامت ۱۵۱/۱ متری) درصد بالای نسبت ورودی ماده خشکی ارگانیکی، درصد بالای نسبت عناصر خشکی به دریایی، فراوانی پالینوماسرال‌های هم‌بعد، درصد بالای نسبت اکوگروه Lowland در مقابل Upland و Coastal + Tidal، درصد بسیار پایین اسپورومورف‌های اکوگروه‌های Pioneer و River و همچنین درصد پایین پالینومورف‌های دریایی همگی حاکی از پایین بودن سطح آب دریا دارد. از نمونه شماره ۲۴ تا نمونه ۲۹ (ضخامت ۱۵۱/۱ تا ۱۹۸/۳ متری) به تدریج سطح



شکل ۹- نمودارهای تغییرات فراوانی نسبی اکوگروه‌های اسپورومورفی در مقایسه با تغییرات برخی عناصر پالینوفاسیس در سازند دلیچای، (a) برش چینه‌شناسی کنز و (b) برش چینه‌شناسی طالو.

Fig. 9. Diagrams of relative abundance changes of the Sporomorph EcoGroups compared to some palynofacies elements changes of the Dalichai Formation, (a) Kanz stratigraphic section, and (b) Talu stratigraphic section.



شکل ۱۰- تصاویر میکروسکوپی برخی از میوسپورها در اکوگروه‌های اسپورومورفی سازند دلیچای در برش‌های چینه‌شناسی کنز و طالو.

Fig. 10. Microscope images of some identified miospores of the Dalichai Formation, Kanz and Talu stratigraphic sections. (a) *Cyathidites australis* Couper, 1953; proximal focus, sample No. AD-K9, (b) *Dictyophyllidites mortonii* (de Jersey) Playford and Dettmann, 1965; proximal focus, sample No. AD-K10, (c) *Todisporites minor* Couper, 1958; proximal focus, sample No. AD-K3, (d) *Klukisporites variegatus* Couper, 1958; proximal focus, sample No. AD-K5, (e) *Klukisporites variegatus* Couper, 1958; distal focus, sample No. AD-K5, (f) *Gleicheniidites senonicus* Ross emend. Skarby, 1964; proximal focus, sample No. AD-K6, (g) *Annulisporea densata* de Jersey, 1959; distal focus, sample No. AD-K11, (h) *de Jersey de Jersey & Raine, 1990; median focus, sample No. AD-K10,* (i) *Densoisporites velatus* Weyland and Krieger emend. Krasnova, 1961; proximal focus, sample No. AD-K8, (j) *Callialasporites dampieri* (Balme) Sukh Dev, 1961; polar view, sample No. AD-K11, (k) *Alisporites similis* (Balme) Dettmann, 1963; median focus, sample No. AD-K22, (l) *Platysaccus queenslandi* de Jersey, 1962; distal focus, sample No. AD-K31, (m) *Araucariacites australis* Cookson ex Couper, 1953; median focus, sample No. AD-K10, (n) *Cerebropollenites macroverrucosus* (Thiergart) Schulz, 1967; median focus, sample No. AD-K31, and (o) *Chasmatosporites major* Nilsson, 1958; median focus, sample No. AD-K23.

۵- نتیجه گیری

وضعیت اقلیم دیرینه و تغییرات سطح آب دریا در سازند دلیچای در برش‌های چینه‌شناسی کنز (البرز مرکزی) و طالو (البرز شرقی) با استفاده از مدل اکوگروه‌های اسپورومورفی به همراه تغییرات عناصر پالینوفاسیس مورد بررسی قرار گرفتند. در برش‌های چینه‌شناسی مورد مطالعه فراوان‌ترین گروه مربوط به اکوگروه اسپورومورفی سازگار با مناطق پست و دشت‌ها می‌باشد. تغییر در دو فاکتور اکوگروه‌های اسپورومورفی Lowland/Coastal+Tidally و Upland/Lowland influenced حاکی از آن است که سطح آب دریا در ابتدای تشکیل این سازند در هر دو برش چینه‌شناسی پایین بوده، اما به تدریج به طرف انتهای هر دو برش چینه‌شناسی سطح آب دریا در حال بالا آمدن بوده و حوضه شاهد افزایش جزئی در عمق می‌باشد. عمق حوضه در انتهای برش‌های مورد مطالعه، افزایش بیشتری نسبت به مرحله قبل داشته که این موضوع طبق نمودارهای اکوگروه‌های اسپورومورفی و تغییر در عناصر پالینوفاسیس نمایان است. این روند افزایش عمق تا رسوبگذاری

آهک‌های ضخیم لایه حاوی چرت مربوط به سازند لار (ژوراسیک پسین) ادامه می‌یابد. الگوی فراوانی نسبی عناصر warmer/cooler و wetter/drier در توالی‌های مورد مطالعه، معرف آب و هوای گرم تا نیمه‌گرم و مرطوب در زمان نهشته‌شدن سازند دلیچای در برش‌های چینه‌شناسی کنز و طالو می‌باشد. در هر دو برش چینه‌شناسی اسپورهای مربوط به سرخس‌ها غالب می‌باشند. در برش چینه‌شناسی کنز میوسپورهای بریوفیتا و سیکادوفیتا و در برش چینه‌شناسی طالو میوسپورهای بریوفیتا، ژینکگوفیتا، سیکادوفیتا و لیکوفیتاکمترین مقدار را دارند. پولن‌های مربوط به مخروطیان و پتریدواسپرموفیتا در برش چینه‌شناسی طالو نسبت به برش چینه‌شناسی کنز درصد بیشتری را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین میوسپورهای متعلق به لیکوفیتا و ژینکگوفیتا در برش چینه‌شناسی کنز بیشتر از برش چینه‌شناسی طالو می‌باشند. فراوانی سرخس‌ها نسبت به سایر گیاهان والد میوسپورها در هر دو برش چینه‌شناسی نیز حکایت از غلبه آب و هوای گرم تا نیمه‌گرم با رطوبت بالا در زمان تشکیل نهشته‌های مورد مطالعه سازند دلیچای دارد.

مراجع

- Abbink, O.A., 1998. Palynological investigations in the Jurassic of the North Sea region. Ph.D thesis. University of Utrecht, Utrecht.
- Abbink, O., Targarona, J., Brinkhuis, H., Visscher, H., 2001. Late Jurassic to earliest Cretaceous palaeoclimatic evolution of the southern North Sea. *Global and Planetary Change* 30(3-4), 231-256. [https://doi.org/10.1016/S0921-8181\(01\)00101-1](https://doi.org/10.1016/S0921-8181(01)00101-1).
- Abbink, O.A., Van Konijnenburg-Van Cittert, J.H.A., Visscher, H., 2004a. A sporomorph ecogroup model for the Northwest European Jurassic-Lower Cretaceous: concepts and framework. *Netherlands Journal of Geosciences, Geologie en Mijnbouw* 83(1), 17-38. <https://doi.org/10.1017/S0016774600020436>.
- Abbink, O.A., Van Konijnenburg-Van Cittert, J.H.A., Van der Zwan, C.J., Visscher, H., 2004b. A sporomorph ecogroup model for the NW European Jurassic-Lower Cretaceous. *Netherlands Journal of Geosciences* 83(2), 81-92. <https://doi.org/10.1017/S0016774600020059>.
- Afshar, A., 2020. Palynostratigraphy of the upper part of the Shemshak Formation and the base of the Dalichai Formation (north of Neishabor). M.Sc. thesis, University of Tehran, Iran (In Persian).
- Aghanabati, A., 2004. Geology of Iran. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, p. 650 (In Persian).
- Arkani, A., 2018. Palynostratigraphy and paleoecology of the Dalichai Formation in Bar village (north of Neishabor) in order to prepare Triassic and Jurassic paleoecological map of Alborz and Koppeh Dagh. M.Sc. thesis, Faculty of Geology, College of Science, University of Tehran, Iran (In Persian).
- Bashiri, B., 2019. Palynology of the Dalichai Formation, Andariyeh stratigraphic section, northwestern Firuzkuh. M.Sc. thesis, University of Tehran, Iran (In Persian).
- Baranyi, V., Rostási, Á., Raucsik, B., Kürschner, W.M., 2019. Palynological and X-ray fluorescence (XRF) data of Carnian (Late Triassic) formations from western Hungary. *Data in brief* 23, 103858. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.103858>.

- Barrón, E., Gomez, J.J., Goy, A., Pieren, A.P., 2006. The Triassic - Jurassic boundary in Asturias (northern Spain): palynological characterisation and facies. *Review of palaeobotany and palynology* 138, 187-208. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2006.01.002>.
- Barrón, E., Ureta, S., Goy, A., Lassaletta, L., 2010. Palynology of the Toarcian - Aalenian Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP) at Fuentelsaz (Lower - Middle Jurassic, Iberian Range, Spain). *Review of Palaeobotany and Palynology* 162, 11-28.
- Batten, D.J., 1996. Upper Jurassic and Cretaceous miospores. Chapter 26A, Palynofacies and palaeoenvironmental interpretation. In: Jansonius, J., McGregor, D.C., (Eds.), *Palynology: Principles and Application*. American Association Stratigraphic Palynologists Foundation 3, pp. 1011-1064.
- Bowman, V.C., Francis, J.E., Askin, R.A., Riding, J.B., Swindles, G.T., 2014. Latest Cretaceous-earliest Paleogene vegetation and climate change at the high southern latitudes: palynological evidence from Seymour Island, Antarctic Peninsula. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 408, 26-47. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2014.04.018>.
- Dehbozorgi, A., 2013. Palynology and paleoecology of the Middle Jurassic (Dalichai and Baghamshah formations) east of Semnan (Jam area). Ph.D. thesis. University of Tehran, Iran (In Persian).
- Dehbozorgi, A., Sajjadi, F., Hashemi, H., 2013. Middle Jurassic palynomorphs of the Dalichai Formation, central Alborz Ranges, northeastern Iran: Paleocological inferences. *Science China Earth Sciences* 56, 2107-2115. <https://doi.org/10.1007/s11430-013-4697-z>.
- Dehbozorgi, A., Senemari, S., 2020. Palynostratigraphy, paleoclimate, and paleoenvironment of the Dalichai Formation in the Bashm stratigraphic section (Eastern Alborz). *Scientific Semiannual Journal of Sedimentary Facies* 13(1), 1-21. <https://doi.org/10.22067/sed.facies.v13i1.87380>.
- Dermanaki Farahani, S., 2016. Palynology of Dalichai Formation in south-east (Guydagh Section) and north-west (Ahagh Section) of Maragheh. M.Sc. thesis. University of Tehran, Iran (In Persian).
- Galfetti, T., Hochuli, P.A., Brayard, A., Bucher, H., Weissert, H., Vigran J.O., 2007. Smithian/Spathian boundary event: evidence for global climatic change in the wake of the end-Permian biotic crisis. *Geology* 35, 291-294. <https://doi.org/10.1130/G23117A.1>.
- Galloway, J.M., Sweet, A.R., Swindles, G.T., Dewing, K., Hadlari, T., Embry, A., Sanei, H., 2013. Middle Jurassic to Lower Cretaceous paleoclimate of Sverdrup Basin, Canadian Arctic Archipelago inferred from the palynostratigraphy. *Marine and Petroleum Geology* 44, 240-255. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2013.01.001>.
- Gedl, P., Ziaja, J., 2012. Palynofacies from Bathonian (Middle Jurassic) ore - bearing clays at Gnaszyn, Kraków - Silesia Homocline, Poland, with special emphasis on sporomorph eco-groups. *Acta Geologica Polonica* 62(3), 325-349. <https://doi.org/10.2478/v10263-012-0018-7>.
- Ghasemi-Nejad, E., Sabbaghiyan, H., Mosaddegh, H., 2012. Paleobiogeographic implications of late Bajocian-late Callovian (Middle Jurassic) dinoflagellate cysts from the Central Alborz Mountain, northern Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 43, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jseas.2011.08.006>.
- Haque, A.K.M.K., Khan, S.A., Uddin, S.N., Rahim, M.A. 2016. Taxonomic checklist of the pteridophytes of Rajkandi Reserve Forest, Moulvibazar, Bangladesh. *Jahangirnagar University Journal of Biological Sciences* 5(2), 27-40. <https://doi.org/10.3329/jujbs.v5i2.32528>.
- Hashemi Yazdi, F., 2009. Palynostratigraphy of the Dalichai Formation at the Blue section, north Semnan. M.Sc. thesis. University of Tehran, Iran (In Persian).
- Hashemi Yazdi, F., 2015. Palynology and palaeoecology of the Dalichai Formation in central-eastern Alborz Basin and the Hojedk Formation at the east-central Iran. Ph.D. thesis. University of Tehran, Iran (In Persian with English abstract).
- Hashemi Yazdi, F., Sajjadi, F., Hashemi, H., 2015. Palaeoecology of the Middle Jurassic deposits in central and eastern Alborz. *Iranian Journal of Geology* 32(8), 3-17 (In Persian).
- Hashemi Yazdi, F., Dehbozorgi, A., Sajjadi, F., Hashemi, H., 2017. Palaeoenvironmental implications for the Dalichai Formation in two stratigraphic sections, Sharaf and Tapal (central and eastern Alborz Mountains) based on Sporomorph EcoGroups. *Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches* 33(3), 1-14. <https://doi.org/10.22108/jssr.2017.104681.1017>.

- Hashemi Yazdi, F., Sajjadi, F., Hashemi, H., 2018. Palynostratigraphy of the Middle Jurassic strata of central and eastern Alborz. *Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches* 34(3), 21-36 (In Persian). <https://doi.org/10.22108/jssr.2018.109218.1039>.
- Hashemi Yazdi, F., Bashiri, N., sajjadi, F., 2020. Palynofacies and Sporomorph EcoGroups-based paleoecology implications for the Dalichai Formation, Andariyeh, central Alborz. *Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches* 36(1), 39-60. <https://doi.org/10.22108/jssr.2020.118759.1116>.
- Hermann, E., Hochuli, P.A., Bucher, H., Brühwiler, T., Hautmann, M., Ware, D., Weissert, H., Roohi, G., Yaseen, A., ur-Rehman, K., 2012. Climatic oscillations at the onset of the Mesozoic inferred from palynological records from the North Indian Margin. *Journal of the Geological Society* 169(2), 227-237. <https://doi.org/10.1144/0016-76492010-130>.
- Hochuli, P.A., Vigran, J.O., 2010. Climate variations in the Boreal Triassic- inferred from palynological records from the Barents Sea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 290, 20-42. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2009.08.013>.
- Jansson, I.M., McLoughlin, S., Vajda, V., Pole, M., 2008. An Early Jurassic flora from the Clarence-Moreton Basin, Australia. *Review of Palaeobotany and Palynology* 150, 5-21. <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2008.01.002>.
- Khaki, V., 2001. Palynostratigraphy of the Upper Jurassic sediments at Kuh-e- Sefid area, Soltaniyeh Mountains South - East Zanjan. M.Sc. thesis, Faculty of Geology, College of Science, University of Tehran, Iran (In Persian).
- Kustatscher, E., Heunisch, C., Van Konijnenburg-Van Cittert, J.H.A., 2012. Taphonomical implications of the Ladinian megaflora and palynoflora of Thale (Germany). *Palaios* 27(11), 753-764. <https://doi.org/10.2110/palo.2011.p11-090r>.
- Li, L., Wang, Y., Kürschner, W.M., Ruhl, M., Vajda, V., 2020. Palaeovegetation and palaeoclimate changes across the Triassic–Jurassic transition in the Sichuan Basin, China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 556, 109891. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2020.109891>.
- Mafi, A., Ghasemi-Nejad, E., Ashouri, A., Vahidi-Nia, M., 2014. Dinoflagellate cysts from the Upper Bajocian-Lower Oxfordian of the Dalichai Formation in Binalud Mountains (NE Iran): their biostratigraphical and biogeographical significance. *Arabian Journal of Geosciences* 7, 3683-3692. <https://doi.org/10.1007/s12517-013-0976-4>.
- Michel, J., Lehnert, M., Quandt, D., 2023. Elevation and cation exchange capacity determine diversity of ferns in a low-montane tropical rainforest in Ecuador. *Journal of Tropical Ecology* 39, E20. <https://doi.org/10.1017/S0266467423000081>.
- Mohammad Khani, Kh., Zarei, E., 2019. Palynostratigraphy of the Dalichai Formation in Darjazin section, North of Semnan. *Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches* 34(4), 21–38 (In Persian). <https://doi.org/10.22108/jssr.2019.112088.1062>.
- Navidi Izad, N., 2013. Palynostratigraphy of the Dalichai Formation at Diktash section, northeast of Semnan. M.Sc. thesis, University of Tehran, Iran (In Persian).
- Olivera, D.E., Zavattieri, A.M., Quattrocchio, M.E., 2015. The palynology of the Cañadón Asfalto Formation (Jurassic), Cerro Cóndor depocentre, Cañadón Asfalto Basin, Patagonia, Argentina: palaeoecology and palaeoclimate based on ecogroup analysis. *Palynology* 39(3), 362-386. <https://doi.org/10.1080/01916122.2014.988382>.
- Paterson, N.W., Mangerud, G., Mørk, A., 2016. Late Triassic (early Carnian) palynology of shallow stratigraphical core 7830/5-U-1, offshore Kong Karls Land, Norwegian Arctic. *Palynology* 41, 230-254. <https://doi.org/10.1080/01916122.2016.1163295>.
- Phipps, D., Playford, G., 1984. Laboratory techniques for extraction of palynomorphs from sediments. *Department of Geology, University of Queensland, Papers* 11(1), 1-23.
- Sabbaghiyan, H., 2009. Palynostratigraphy of the Dalichai Formation at Kuh-e-Rahband, South of Mahdishahr, Central Alborz, Iran. M.Sc. thesis, Faculty of Geology, College of Science, University of Tehran, Iran (In Persian).
- Sajjadi, F., Dermanaki Farahani, S., 2016. Palynostratigraphy and paleoecology of Middle Jurassic strata, southeastern Maragheh, according to terrestrial palynomorphs. *Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches* 33(2), 41-64 (In Persian). <https://doi.org/10.22108/jssr.2017.21622>.

- Sajjadi, F., Hashemi Yazdi, F., Hashemi, H., 2023. Palynostratigraphy and palaeoecology of the Dalichai Formation at the Yonjehzar stratigraphic section, northeastern Tehran, central Alborz. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences* 33(2), 128, 259-282. <https://doi.org/10.22071/gsj.2023.350092.2013>.
- Schweitzer, H.J., Kirchner, M., 1995. Die rhäto-jurassischen Floren des Iran und Afghanistans: 8. Ginkgophyta. *Palaeontographica, Abteilung B* 237(1-3), 1-58.
- Schweitzer, H.J., Kirchner, M., 1996. Die rhäto-jurassischen Floren des Iran und Afghanistans: 9. Coniferophyta. *Palaeontographica, Abteilung B* 238(4-6), 77-139.
- Schweitzer, H.J., 1997. Die Rhäto-Jurassischen Floren des Iran und Afganistans 4. Die ratische Zwitterblute *Irania hermaphroditica* nov. spec. und ihre Bedenirtrung für die Phylogenie du Angiospermen. *Palaeontographica, Abteilung B* 161, 98-145.
- Schweitzer, H.J., Kirchner, M., 1998. Die rhäto-jurassischen Floren des Iran und Afghanistans.11. Pteridospermophyta und Cycadophyta I. Cycadales. *Palaeontographica, Abteilung B* 248(1-3), 1-85.
- Schweitzer, H.J., Kirchner, M., 2003. Die rhäto-jurassischen Floren des Iran und Afghanistans: 13. Cycadophyta III. Bennettitales. *Palaeontographica, Abteilung B* 264(1-6), 1-166. <https://doi.org/10.1127/palb/264/2003/1>.
- Stöcklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran; a review. *AAPG Bulletin* 52(7), 1229-1258. <https://doi.org/10.1306/5D25C4A5-16C1-11D7-8645000102C1865D>.
- Suissa, J.S., Sundue, M.A., Testo, W.L., 2021. Mountains, climate and niche heterogeneity explain global patterns of fern diversity. *Journal of Biogeography* 48, 1296–1308. <https://doi.org/10.1111/jbi.14076>.
- Tyson, R.V., 1995. Sedimentary organic matter; organic facies and palynofacies. Chapman and Hall, London, p. 615. <https://doi.org/10.1007/978-94-011-0739-6>.
- Vakhrameev, V.A., 1991. Jurassic and Cretaceous floras and climates of the earth. Cambridge University Press, Cambridge, P. 318.
- Van der Zwan, C.J., 1990. Palynostratigraphy and Palynofacies reconstruction of the Upper Jurassic to lowermost Cretaceous of the Draugen Field, offshore Mid Norway. *Review of Palaeobotany and Palynology* 62, 157-186. [https://doi.org/10.1016/0034-6667\(90\)90021-A](https://doi.org/10.1016/0034-6667(90)90021-A).
- Wang, Ch., Zhang, M., Li, X., Wang, Y., 2017. Early Cretaceous Palynological Assemblages of the Shuangliao Fault Depression, Songliao Basin and their Geological Implications. *Acta geologica sinica (English Edition)* 9(6), 1949-1963. <https://doi.org/10.1111/1755-6724.13443>.
- Zhou, N., Xu, Y., Li, L., Lu, N., An, P., Popa, M.E., Kürschner, W.M., Zhang, X., Wang, Y., 2021. Pattern of vegetation turnover during the end-Triassic mass extinction: Trends of fern communities from South China with global context. *Global and Planetary Change* 205, 103585. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2021.103585>.