

زیست‌چینه‌نگاری سازند زیارت بر مبنای نانوفسیل‌های آهکی در برش توچال (البرز مرکزی)

مرضیه نطقیه مقدم*^۱ و سعیده سنماری^۲

۱- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران

۲- دانشیار گروه مهندسی معدن، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

نویسنده مسئول: notghi.m@pnu.ac.ir *

نوع مقاله: پژوهشی

پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۰

دریافت: ۱۴۰۲/۷/۲۷

چکیده

در این مطالعه زیست‌چینه‌نگاری سازند زیارت براساس نانوپلانکتون‌های آهکی در برش توچال (جنوب شرق تهران) بررسی شد. سازند زیارت در این برش در بالای کنگلومرای فجن و در زیر سازند کرج واقع شده است. ضخامت سازند در برش توچال با ۴ واحد سنگی، ۲۱۲ متر بوده و عمدتاً متشکل از سنگ‌آهک و مارن می‌باشد. در این مطالعه، بررسی ۱۰۵ نمونه آماده شده و نانوپلانکتون‌های آهکی منجر به شناسایی ۳۷ گونه متعلق به ۱۶ جنس شد. بر مبنای اولین و آخرین حضور گونه‌های نانوفسیلی شاخص و مجموعه فسیلی همراه نظیر *Tribrachiatus* *Nannotetrina fulgens* و *Discoaster sublodoensis*، *Tribrachiatus orthostylus*، *Discoaster lodoensis*، *contortus* زیست‌زون‌های NP9 تا NP15 و CNP11 تا CNE9 در سازند زیارت تعیین گردید. زیست‌زون‌های نانوفسیلی و جایگاه چینه‌شناسی آن‌ها موید سن پالئوسن پسین تا ائوسن میانی (تانتین تا لوتین) برای سازند زیارت در برش توچال است.

واژه‌های کلیدی: زیست‌زون، نانوفسیل‌های آهکی، زیارت، توچال، البرز

۱- پیشگفتار

محدود به زمین‌درز تتیس کهن می‌باشد که از برخورد صفحه قاره‌ای البرز با صفحه توران در تریاس پسین به وجود آمده است. در اثر کوهزایی اواخر کرتاسه، البرز شمالی در پالئوژن از آب بیرون بوده و فاقد رسوب است. در حالی که در البرز جنوبی توالی ستبری از رسوب‌های دریایی پالئوژن دیده می‌شود. گسترش جغرافیایی نهشته‌های پالئوژن و نئوژن محدود به البرز شمالی و جنوبی نیست و در البرز شرقی و مرکزی نیز گزارش شده است (آقنابتی، ۱۳۸۳). رسوبات دریایی این پهنه زمین‌ساختی مربوط به پالئوژنیک، مزوزوئیک و سنوزوئیک می‌باشد. به طور کلی رسوبات پالئوسن-ائوسن البرز از سازندهای کنگلومرای فجن، سازند آهکی زیارت، سازند توفی کرج و سازند کند تشکیل شده‌اند (آقنابتی، ۱۳۸۳). در این میان سازند زیارت که مدنظر پژوهش حاضر است، به داشتن سنگ‌آهک‌های نومولیت‌دار شناخته می‌شود و به طور معمول در فاصله چینه‌شناسی سازند فجن در زیر و سازند کرج در بالا قرار دارد. رسوبات سازند زیارت حاوی سنگواره‌های دریایی فراوانی است که موید تسلط شرایط دریایی در بخش‌هایی از حوضه رسوب‌گذاری سازند زیارت است. تاکنون بر روی این سازند مطالعات

پهنه رسوبی- ساختاری البرز شامل بلندی‌های شمال فلات ایران است که به شکل تاقدیسی مرکب در یک راستای عمومی شرقی- غربی، از آذربایجان تا خراسان ادامه دارد. بلندی‌های البرز بخشی از قسمت شمالی رشته‌کوه‌های آلپ- هیمالیا در آسیای غربی است که از شمال به بلوک فرورفته کاسپین و از جنوب در کنار پهنه ساختاری ایران مرکزی قرار دارد (علوی، ۱۹۹۶). از دیدگاه اشتوکلین (۱۹۷۴)، البرز یک ناودیس حاشیه‌ای از ایران مرکزی است و پی‌سنگ البرز نیز در تغییر شکل‌های آن درگیر بوده و نوعی زمین‌ساخت ستبر پوسسته بر این گستره از ایران حاکم است. پهنه‌رسوبی ساختاری البرز به عنوان بلوکی کشیده در پهنه پرتکاپوی زمین‌ساختی و متأثر از رخدادهای زمین‌شناختی در هر دو ابرقاره اوراسیا و گندوانا در حد میانی این دو قاره کهن، سیر تکوین خود را سپری کرده است (نظری و همکاران، ۱۳۸۶). به طور کلی پهنه البرز شامل بلندی‌هایی با درازای نزدیک به ۱۶۰۰ کیلومتر با راستای جغرافیایی شرقی- غربی است که در بخش مرکزی با خمیدگی به سوی جنوب تغییر جهت می‌دهد (علوی، ۱۹۹۱؛ ۱۹۹۶). از منظر زمین‌شناختی، مرز شمالی البرز

شده است. بر اساس مطالعات اشتوکلین (۱۹۷۴) نیز، ناحیه مورد مطالعه از نظر تقسیم‌بندی زمین‌شناسی ساختاری ایران متعلق به البرز مرکزی است. سازند زیارت در دامنه‌های جنوبی البرز در مناطقی مانند پل جاجرود، باغ کومیش، دربندک، شرق و جنوب شرق تهران و ... رخنمون دارد. برش توچال یکی از برش‌هایی است که سازند زیارت در آن با ضخامت ۲۱۲ متر از رخنمون مناسبی برخوردار می‌باشد. برش مذکور در ۳۶ کیلومتری جنوب شرق تهران واقع شده و مختصات جغرافیایی آن طول $۴۳^{\circ} ۵۱'$ شرقی و عرض $۱۰^{\circ} ۳۶'$ شمالی است (شکل ۱).

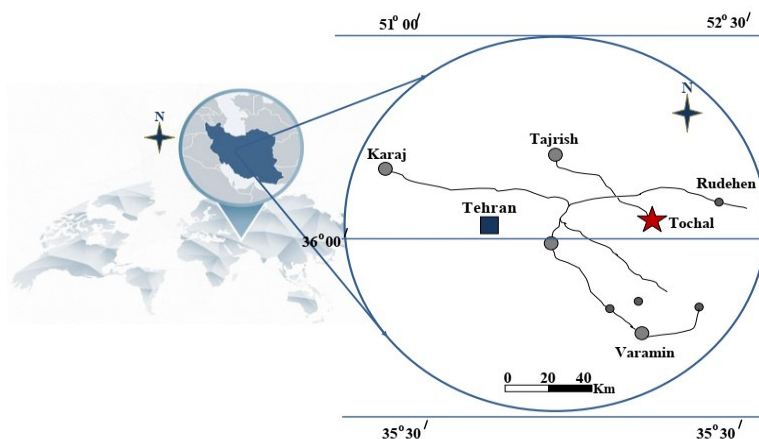
۳- روش مطالعه

جهت مطالعه نانوفسیل‌های سازند تعداد ۱۰۵ نمونه از توالی فوق برداشت شد. نمونه‌ها طبق روش اسمیر اسلاید (بون و یانگ، ۱۹۹۸) آماده‌سازی گردید و توسط میکروسکوپ نوری المپوس مدل BH2 در دو نور معمولی و پلاریزه تحت مطالعه قرار گرفت و نانوپلانکتون‌های آهکی موجود عکسبرداری شد. به منظور شناسایی گونه‌های نانوفسیلی از منابعی نظیر پرچ نیلسون (۱۹۸۵)، بارت (۱۹۹۸)، Nannotax data base (یانگ و همکاران، ۲۰۲۰) و جهت بررسی حفظ‌شدگی گونه‌ها از تقسیم‌بندی واتکینز (۲۰۰۷) استفاده شده است. مبنای تعیین سن و انجام مطالعات زیست‌چینه‌نگاری، زون‌بندی مارتینی (۱۹۷۱) و آگنینی و همکاران (۲۰۱۴) بوده و با استناد بر اولین حضور و آخرین حضور گونه‌های شاخص نانوفسیلی عنوان شده در زون‌بندی‌های مذکور و مجموعه نانوفسیل‌های همراه تعیین سن سازند انجام گرفت.

متعددی صورت گرفته که در برخی از آن‌ها به تفسیر شرایط رسوب‌گذاری سازند (برای مثال، خطیبی‌مهر و همکاران، ۱۳۸۷؛ آدابی و همکاران، ۱۳۹۰؛ خطیبی‌مهر و آدابی، ۲۰۱۳؛ مهاری، ۲۰۱۴؛ هادی و همکاران، ۲۰۲۱) و در برخی به مطالعات فسیل‌شناسی پرداخته شده است. مطالعات فسیل‌شناسی انجام شده غالباً بر مبنای فرامینفرها بوده (خلوصی، ۱۳۷۵؛ ملکی، ۱۳۸۰؛ خطیبی‌مهر و معلمی، ۱۳۸۸؛ علیمی و همکاران، ۱۳۸۹؛ خطیبی‌مهر و همکاران، ۲۰۰۸؛ گراوند و همکاران، ۲۰۱۳؛ خطیبی‌مهر و آدابی، ۲۰۱۳؛ هادی و همکاران، ۲۰۱۵ و ۲۰۱۹) و تنها گزارش نانوفسیلی سازند توسط نطقی‌مقدم و همکاران (۱۳۹۴) ارائه گردیده که در آن به بررسی سازند زیارت در برش مجن (شمال‌غرب شاهرود) پرداخته شده است. در پژوهش حاضر، به بررسی نانوپلانکتون‌های آهکی و تعیین زیست‌زون‌های نانوفسیلی سازند زیارت در برش چینه‌شناسی توچال پرداخته شده است.

۲- موقعیت جغرافیایی

برش توچال توسط دلنباخ (۱۹۶۴) به عنوان برش تیپ سازند زیارت انتخاب و معرفی شده و بر اساس تقسیم‌بندی نوگل‌سادات (۱۹۷۸) که بر پایه چینه‌نگاری زمین‌ساختاری زون‌ها انجام شده، منطقه مورد مطالعه در زون البرز قرار گرفته است. مطابق این تقسیم‌بندی حد جنوبی زون البرز از شرق به غرب در امتداد گسل‌های میامی، عطاری، سمنان، گرمسار و شمال تهران که مرز جدایش نهشته‌های البرز از ایران مرکزی است تعیین شده و مرز شرقی و غربی این زون به ترتیب با زون بینالود و گسل لاهیجان مشخص



شکل ۱. راه دسترسی و موقعیت برش چینه‌شناسی توچال

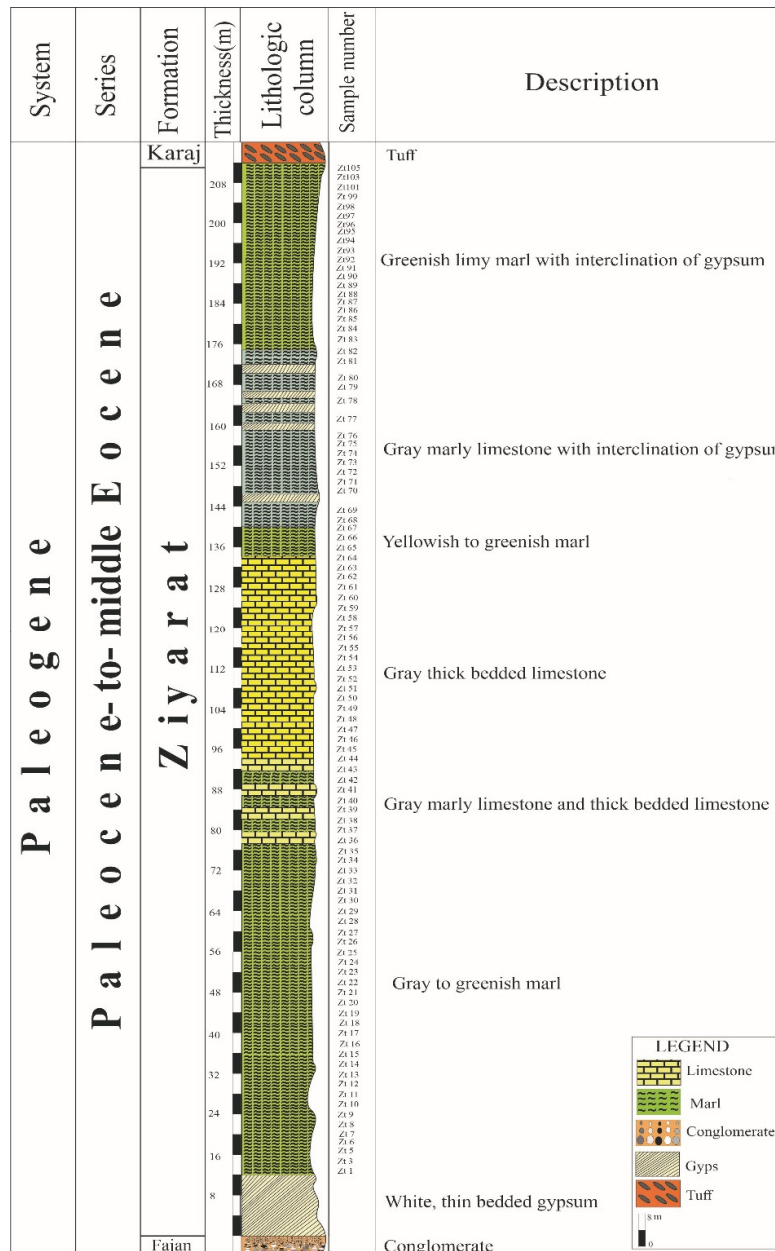
Fig. 1. The access road and location of Tochal stratigraphic section

۴- چینه‌نگاری سنگی سازند زیارت

سازند زیارت در برش توچال با ۲۱۲ متر ضخامت دارای ۴ بخش بوده و عمدتاً شامل سنگ‌آهک و مارن (شکل ۲) به شرح ذیل است:

سازند در ابتدا با یک واحد ژئوپرسی نازک لایه به ضخامت ۱۲ متر که بر روی سازند فجن قرار گرفته شروع می‌شود (بخش ۱) و در ادامه تا ضخامت ۷۷ متری، مارن‌های خاکستری رنگ مایل به سبز، نهشته شده است (بخش ۲). از ضخامت ۷۷ متری تا ۱۷۵ متری، سنگ‌آهک‌های

متوسط تا ضخیم لایه با میان لایه‌های مارن و ژئوپرس مشاهده و برداشت گردید (بخش ۳). در محدوده‌ی بین ضخامت ۱۷۵ متری تا ۲۱۲ متری از قاعده سازند، مارن‌های نازک لایه با میان لایه‌های ژئوپرس به ضخامت ۳۷ متر تشکیل شده است (بخش ۴). سطح بالایی سازند در برش توچال در زیر سازند کرج قرار دارد (شکل ۲). شایان ذکر است که ویژگی‌های سنگی برش الگو در همه جا پایدار نیست. به عنوان مثال بخش مارنی پابینی برش الگو در همه جا وجود ندارد.



شکل ۲. ستون چینه‌سنگی نهشته‌های مورد مطالعه در برش چینه‌شناسی توچال

Fig. 2. Lithostratigraphic column of the studied deposits in the Tochal stratigraphic section

۵- نتایج

۵-۱- نانوفسیل‌های آهکی

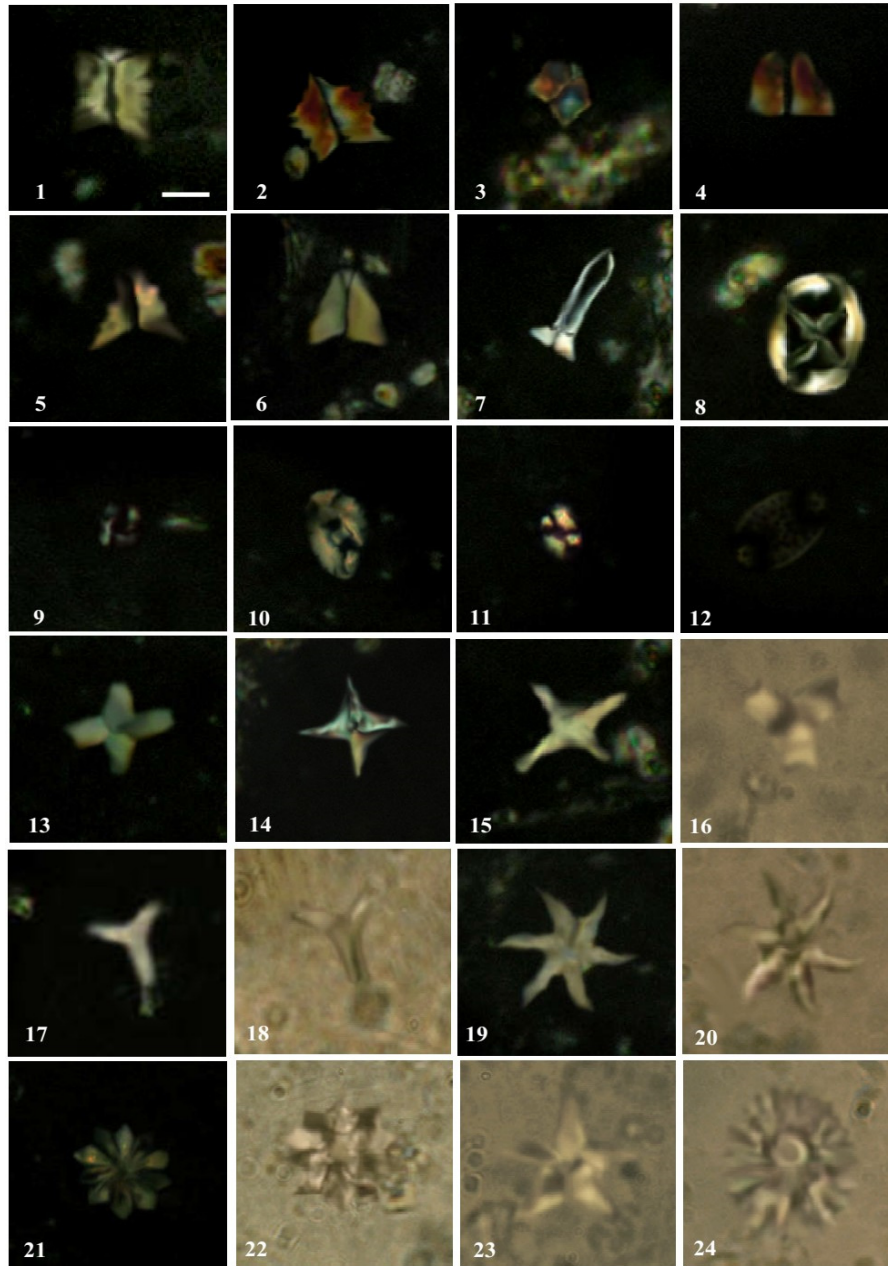
نانوفسیل‌های آهکی در تمام رسوبات مزوزوئیک و سنوزوئیک و به ویژه در رسوبات شیلی و مارنی که تحت تاثیر دیاژنز و دگرگونی شدید قرار نگرفته‌اند، به وفور یافت می‌شوند و در مشخص نمودن گسترش جغرافیایی سطحی و زیرسطحی واحدهای سنگی مختلف ایزاری کارآمد هستند. آن‌ها به دلیل تکامل سریع و گسترش جغرافیایی وسیع شاخص‌های سنی سودمندی جهت تعیین سن و تطابق رسوبات دریایی از ژوراسیک تا عهد حاضر می‌باشند (آگینی و همکاران، ۲۰۱۷). کوکولیتوفورها، به عنوان تولیدکنندگان اولیه و اصلی در دوران‌های مزوزوئیک، سنوزوئیک و اقیانوس‌های مدرن، قابل توجه هستند. این گروه میکروفسیلی مسئول تولید بیش از یک سوم کربنات دریایی در اقیانوس‌ها و تا ۲۰ درصد از تثبیت کربن در اقیانوس‌ها می‌باشند (پولتون و همکاران، ۲۰۱۷). علاوه بر این، در گذر زمان مانند گذر از پالئوسن به اتوسن و تغییرات دمایی این زمان (راش و همکاران، ۲۰۲۳) تغییراتی در مجموعه‌های نانوفسیلی شامل پیدایش گونه‌های جدید، مهاجرت به سمت عرض‌های جغرافیایی بالاتر، و جابجایی گونه‌ها مشاهده می‌شود (کاسم و همکاران، ۲۰۲۰). در این مطالعه جهت بررسی نانوفسیل‌های آهکی تعداد ۱۰۵ اسمیراسلاید از سازند زیارت در برش توچال آماده‌سازی و مطالعه شد. بررسی اسمیراسلایدها منجر به شناسایی تعداد ۳۷ گونه متعلق به ۱۶ جنس از نانوپلانکتون‌های آهکی در سازند زیارت شد (پلیت ۱ و شکل ۳). در میان گونه‌های شناسایی شده، گونه‌های متعلق به جنس *Chiasmolithus*، *Coccolithus* و *Discoaster* در بیشتر نمونه‌های مطالعه شده یافت می‌شوند. در مجموعه نانوفسیلی موجود گونه‌های آب گرم که در مناطق واقع در عرض‌های جغرافیایی پایین با مواد غذایی کم فراوان‌تر هستند مانند گونه‌های متعلق به جنس‌های *Discoaster*، *Sphenolithus*، *Coccolithus pelagicus* و *Reticulofenestra minutia* (برالوور، ۲۰۰۲؛ آرنی و وایز، ۲۰۰۳؛ هولکووا، ۲۰۰۵؛ وید و بون، ۲۰۰۶؛ بارتول، ۲۰۰۹؛ شچربینینا، ۲۰۱۰؛ ازدینووا، ۲۰۱۳؛ البسراوی، ۲۰۱۶؛ کالائزی و کوریک، ۲۰۱۷) مشاهده شد. علاوه بر آن از آن‌جا که چگونگی حفظ‌شدگی نانوفسیل‌های آهکی در شناسایی گونه‌ها اثرگذار است، لذا

بررسی آن از نکات بسیار مهم در مطالعات می‌باشد. در این میان، انحلال نیز یکی از عواملی است که بر حفظ‌شدگی نانوفسیل‌های آهکی موثر بوده و باعث افزایش میکربیت دیاژنتیکی، رشد بیش از حد و سیمان‌سازی می‌شود (ساگ و همکاران، ۲۰۱۹). مبتنی بر توضیحات و به دلیل اهمیت موارد ذکر شده، در این مطالعه حفظ‌شدگی گونه‌ها در هر نمونه با استناد بر تقسیم‌بندی واتکینز (۲۰۰۷) در سه وضعیت ضعیف، متوسط و خوب به شرح ذیل بررسی شد. بر این اساس، در مجموعه گونه‌های با حفظ‌شدگی ضعیف، آثار *etching* و یا رشد ثانویه در گونه‌ها شدید است به طوری که شناسایی گونه‌ها را با مشکل مواجه می‌سازد. در مجموعه گونه‌های با حفظ‌شدگی متوسط، معمولاً در گونه‌ها *etching* و یا رشد ثانویه مشاهده می‌شود ولی شناسایی آن‌ها مختل نمی‌شود. در مجموعه گونه‌های با حفظ‌شدگی خوب، به ندرت آثار رشد ثانویه و یا *etching* در گونه‌ها دیده می‌شود و مشکلی در شناسایی گونه‌ها نیست. علاوه بر آن منافذ، بازوها و سایر اجزای ناحیه مرکزی معمولاً حفظ شده است.

بررسی گونه‌های مختلف نانوفسیلی در نمونه‌های مطالعه شده از سازند زیارت در برش توچال و مشاهده کامل منافذ، پل‌ها و سایر ساختارهای ناحیه مرکزی در گونه‌هایی مانند *Helicosphaera*، *Pontosphaera multipora*، *seminulum* و *Chiasmolithus bidens* و نیز حفظ‌شدگی بسیار خوب بازوها در گونه‌های متعلق به جنس *Discoaster* مانند *Discoaster lodoensis* و *Discoaster barbadiensis* (پلیت ۱) در کنار مشاهده معدود مواردی از شکستگی و رشد ثانویه در گونه‌ها، نشان‌دهنده حفظ‌شدگی خوب مجموعه نانوفسیلی است.

۵-۲- زیست‌چینه‌نگاری

نانوپلانکتون‌های آهکی ایزاری مهم در مطالعات زیست‌چینه‌نگاری و بررسی تغییرات اقیانوس‌ها (یانگ و همکاران، ۲۰۰۳). در پژوهش کنونی جهت تعیین زیست‌زون‌های سازند به زون‌بندی‌های مارتینی (۱۹۷۱) و آگینی و همکاران (۲۰۱۴) استناد شده است. علامت اختصاری NP در زون‌بندی مارتینی (۱۹۷۱) بیانگر نانوپلانکتون‌های پالئوژن و علامت اختصاری CNP و CNE در زون‌بندی آگینی و همکاران (۲۰۱۴) به ترتیب بیانگر نانوفسیل‌های آهکی پالئوسن و اتوسن است. شرح زیست‌زون‌های تعیین‌شده در ادامه آورده شده است:



پلیت ۱. تصاویر برخی از نانوفسیل‌های آهکی شناسایی‌شده در سازند زیارت در برش چین‌شناسی توچال

Plate 1. Images of some identified calcareous nannofossils in the Ziyarat Formation in the Tochal stratigraphic section
 اسامی نانوفسیل‌های آهکی پلیت ۱: (Scale bar: 5µm). (علامت‌های اختصاری PNU محل نگهداری نمونه‌ها در آزمایشگاه زمین‌شناسی دانشگاه پیام‌نور استان خراسان جنوبی، Zt معرف سازند زیارت در برش توچال، XPL: Cross Polarized Light و PPL: Normal Light or Plain Polarized light است).

1: *Fasciculithus involutus* Bramlette & Sullivan, 1961; PNU. Zt6 (XPL); **2:** *Fasciculithus richardii* Perch-Nielsen, 1971; PNU. Zt8 (XPL); **3:** *Fasciculithus tympaniformis* Hay & Mohler in Hay et al., 1967; PNU. Zt16 (XPL); **4:** *Fasciculithus clinatus* Bukry, 1971; PNU. Zt4 (XPL); **5:** *Fasciculithus thomasi* Perch-Nielsen, 1971; PNU. Zt12 (XPL); **6:** *Fasciculithus alanii* Perch-Nielsen, 1971; PNU. Zt3 (XPL); **7:** *Rhabdosphaera gladius* Locker, 1967; PNU. Zt97 (XPL); **8:** *Chiasmolithus bidens* (Bramlette & Sullivan, 1961) Hay & Mohler, 1967; PNU. Zt14 (XPL); **9:** *Coccolithus pelagicus* (Wallich 1877) Schiller, 1930; PNU. Zt103 (XPL); **10:** *Helicosphaera seminulum* Bramlette & Sullivan, 1961; PNU. Zt92 (XPL); **11:** *Reticulofenestra minuta* Roth, 1970; PNU. Zt80 (XPL); **12:** *Pontosphaera multipora* (Kamptner, 1948 ex Deflandre in Deflandre & Fert, 1954) Roth, 1970; PNU. Zt72 (XPL); **13:** *Nannotetrina alata* (Martini, in Martini & Stradner 1960) Haq and Lohmann, 1976; PNU. Zt101 (XPL); **14:** *Nannotetrina fulgens* (Stradner, in Martini & Stradner 1960) Achuthan and Stradner, 1969; PNU. Zt104 (XPL); **15:** *Tribrachiatus bramlettei* (Bronnimann & Stradner, 1960); PNU. Zt30 (XPL); **16:** *Tibrachiatus contortus* (Stradner, 1958) Bukry, 1972; PNU. Zt27 (PPL); **17:** (XPL), **18:** (PPL): *Tibrachiatus orthostylus* Shamrai, 1963; PNU. Zt56; **19:** (XPL), **20:** (PPL): *Discoaster lodoensis* Bramlette & Riedel, 1954; PNU. Zt77; **21:** (XPL), **22:** (PPL): *Discoaster barbadiensis* Tan Sin Hok, 1927; PNU. Zt87; **23:** *Discoaster sublodoensis* Bramlette & Sullivan, 1961; PNU. Zt81 (XPL); **24:** *Discoaster multiradiatus* Bramlette & Riedel, 1954; PNU. Zt9 (XPL)

Tribrachiatus contortus را در بر می‌گیرد (هی، ۱۹۶۴؛ باکری، ۱۹۷۳) و سنی معادل ائوسن آغازی (ایپرزین) دارد. در صورتی که گونه‌ی *Tribrachiatus contortus* کمیاب باشد می‌توان از اولین حضور *Tribrachiatus orthostylus* که معمولاً در فاصله کوتاهی از آخرین حضور *Tribrachiatus contortus* واقع شده، جهت تعیین لبه بالایی زون استفاده کرد.

گونه‌های متعلق به جنس *Fasciculithus* تنها در پایین‌ترین بخش زون NP10 یافت می‌شوند و کاهش فراوانی و آخرین حضور آن‌ها معرف مرز پالئوسن-ائوسن است. زیست‌زون مذکور با زیست‌زون‌های CNE1 (از آخرین حضور *Fasciculithus richardii* تا آخرین حضور *Fasciculithus tympaniformis*)، CNE2 (از آخرین حضور *Fasciculithus tympaniformis* تا اولین حضور *Tribrachiatus orthostylus*) و بخش ابتدایی زون CNE3 (از اولین حضور *Tribrachiatus orthostylus* تا اولین حضور *Discoaster lodoensis*) از زون‌بندی آگنینی و همکاران (۲۰۱۴) مطابقت دارد.

شروع زون مذکور در مطالعات انجام شده بر مبنای اولین حضور *Tribrachiatus bramlettei* در نمونه شماره ۱۵ و در ۳۷ متری مطالعه شده تعیین گردید. در محدوده مورد مطالعه آخرین حضور *Tribrachiatus contortus* در نمونه‌ی شماره ۳۳ و در ۷۳ متری از قاعده سازند ثبت شد و جهت تعیین لبه بالایی زون مورد استفاده قرار گرفت. گونه‌های نانوفسیلی شناسایی شده در محدوده این زیست‌زون از حفظ‌شدگی نسبتاً خوبی برخوردارند. بر اساس شواهد نانوفسیلی موجود، زیست‌زون NP10 با ۳۸ متر ضخامت مشخص شد. همچنین در نمونه‌های مطالعه شده آخرین حضور *Fasciculithus richardii* در نمونه‌ی شماره ۱۴ و در ۳۵ متری از قاعده سازند، آخرین حضور *Fasciculithus tympaniformis* در نمونه‌ی شماره ۲۰ و در ۴۷ متری از قاعده سازند و اولین حضور گونه *Tribrachiatus orthostylus* در نمونه‌ی شماره ۳۲ و در ۷۱ متری از قاعده سازند مشاهده شد. مبتنی بر اولین حضور و آخرین حضور گونه‌های مذکور محدوده زون‌های CNE1 با ۱۲ متر ضخامت، CNE2 با ۲۲ متر ضخامت و ۴ متر ابتدایی زون CNE3 از زون‌بندی آگنینی و همکاران (۲۰۱۴) هم مشخص گردید.

***Discoaster multiradiatus* Zone (NP9)**

محدوده زیست‌زون مذکور از *Discoaster multiradiatus* تا *Discoaster diastypus* (براملت و سالیوان، ۱۹۶۱؛ باکری و براملت، ۱۹۷۰ و مارتینی، ۱۹۷۱) و سن آن پالئوسن پسین (تانتین) می‌باشد.

در این زون چندین گونه از *Rhombaster* و *Discoaster* ظاهر می‌شوند. همچنین گونه‌های جدیدی از *Zygodiscus* و *Neochiastozygus* ظاهر شده و جنس‌های *Lophodolithus*، *Conococcolithus*، *Campylosphaera* و *Helicosphaera* در زیست‌زون NP9 و *Rhombaster* در زیست‌زون NP9 و در انتهای پالئوسن دارای تنوع و فراوانی هستند. غالب گونه‌های متعلق به جنس *Fasciculithus* در نزدیکی مرز فراوانی پایینی فقط در پایین‌ترین بخش ائوسن حضور دارند که موید آغاز ایپرزین هستند. این زیست‌زون با زیست‌زون CNP11 از زون‌بندی آگنینی و همکاران (۲۰۱۴) مطابقت دارد. محدوده زیست‌زون مذکور از اولین حضور *Discoaster multiradiatus* تا آخرین حضور *Fasciculithus richardii* در این مطالعه در نمونه‌های مطالعه شده از واحد ژیبسی هیچ نانوفسیلی وجود نداشت و اولین حضور نانوفسیل‌ها با حفظ‌شدگی نسبتاً خوبی و مشخصاً گونه‌ی *Discoaster multiradiatus* در اولین نمونه مطالعه شده از واحد ماری مشاهده شد. ثبت گونه‌ی مذکور موید آغاز زیست‌زون‌های NP9 و CNP11 است. در ادامه اولین حضور *Tribrachiatus bramlettei* در نمونه‌ی شماره ۱۵ و در ۳۷ متری از قاعده سازند و آخرین حضور *Fasciculithus richardii* در نمونه‌ی شماره ۱۴ و در ۳۵ متری از قاعده سازند ثبت گردید و منجر به معرفی زیست‌زون‌های NP9 و CNP11 با ضخامت ۲۳ متر به عنوان اولین زیست‌زون‌های ثبت شده در این مطالعه شد. شایان ذکر است سازند در برش توچال با یک واحد ژیبسی به ضخامت ۱۲ متر شروع می‌شود که فاقد نانوفسیل است. از این رو هیچ زون زیستی در این قسمت تعیین نشد.

***Tribrachiatus contortus* Zone NP10)**

این زون از اولین حضور *Tribrachiatus bramlettei* یا *Discoaster diastypus* تا آخرین حضور

حفظ‌شدگی نسبتاً خوب برخوردارند و در محدود مواردی آثار شکستگی جزئی دیده می‌شود.

***Discoaster lodoensis* Zone (NP13)**

محدوده زیست‌زون مذکور را برونیمین و استردنر (۱۹۶۰) و باکری (۱۹۷۳) از آخرین حضور *Tribrachiatus orthostylus* یا اولین حضور *Toweius crassus* تا اولین حضور *Discoaster sublodoensis* تعریف کرده‌اند. سن زیست‌زون NP13 ائوسن آغازین است.

آخرین حضور *Discoaster diastipus* در محدوده زون NP13 واقع شده است. ولی اولین حضور *Discoaster nonaradiatus* در بخش بالایی این زون رخ می‌دهد. علاوه بر آن دو گونه *Sphenolithus* و *Sphenolithus conspicus* و *Sphenolithus editus* نیز نزدیک قاعده NP13 جایی که *Sphenolithus orphanknollensis* ظاهر می‌شود، از بین می‌روند.

زیست‌زون NP13 با زیست‌زون CNE5 (از آخرین حضور *Discoaster Tribrachiatus orthostylus* تا اولین حضور *Discoaster sublodoensis*) از زون‌بندی آگنینی و همکاران (۲۰۱۴) مطابقت دارد. در نمونه‌های مطالعه شده آخرین حضور *Tribrachiatus orthostylus* در نمونه‌ی شماره ۵۹ و در ۱۲۶ متری از قاعده سازند به همراه اولین حضور گونه *Discoaster sublodoensis* در نمونه‌ی شماره ۷۸ و در ۱۶۴ متری از قاعده سازند تعیین کننده محدوده زون NP13 و CNE5 با ضخامت ۳۶ متر است. نانوفسیل‌های موجود در گستره‌ی این زیست‌زون حفظ‌شدگی خوبی دارند.

***Discoaster sublodoensis* Zone (NP14)**

زیست‌زون NP14 از اولین حضور *Discoaster sublodoensis* تا اولین حضور *Nannotetrina fulgens* و یا آخرین حضور *Rhabdosphaera inflata* تعریف شده است (باکری، ۱۹۷۳؛ هی، ۱۹۶۴) و سن آن ائوسن میانی است. راس این زیست‌زون گاهی به وسیله اولین ظهور گونه‌هایی از جنس *Nannotetrina* مثل *Nannotetrina fulgens* تعیین می‌شود. حضور *Rhabdosphaera inflata* سایر گونه‌های *Nannotetrina* و *Sphenolithus furcatolithoides* در بخش بالایی NP14 مشاهده شده است. اوبری (۱۹۸۳) اولین حضور *Discoaster bifax* را مقارن با زیست‌زون NP14 معرفی کرده است.

زیست‌زون NP14 با زیست‌زون‌های CNE6 (از اولین حضور *Discoaster sublodoensis* تا آخرین حضور

***Discoaster Binodosos* Zone (NP11)**

زیست‌زون NP11 از آخرین حضور *Tribrachiatus contortus* تا اولین حضور *Discoaster lodoensis* تعریف شده است (موهلر و هی در هی و همکاران، ۱۹۶۷) و سن آن ائوسن آغازین است.

زیست‌زون NP11 با زیست‌زون CNE3 (از اولین حضور *Discoaster Tribrachiatus orthostylus* تا اولین حضور *Discoaster lodoensis*) از زون‌بندی آگنینی و همکاران (۲۰۱۴) مطابقت دارد. مرز پایینی زیست‌زون مطابق شرحی که در بالا آورده شد تعیین گردید. در ادامه اولین ظهور گونه *Discoaster lodoensis* در نمونه‌ی شماره ۴۲ و در ۹۱ متری از قاعده سازند نشانگر مرز بالایی زون است. ضخامت زیست‌زون NP11 در برش مورد مطالعه ۱۶ متر می‌باشد. نانوفسیل‌های آهکی این زیست‌زون از حفظ‌شدگی خوبی برخوردارند. همچنین مبتنی بر شواهد نانوفسیلی ذکر شده، ادامه زیست‌زون CNE3 با ضخامت ۱۶ متر تیز تعیین شد. با توجه به این که ۴ متر ابتدای این زیست‌زون مطابق با انتهای زیست‌زون NP10 است، در مجموع ضخامت زیست‌زون CNE3، ۲۰ متر می‌باشد.

***Tribrachiatus orthostylus* Zone (NP12)**

زیست‌زون NP12 از اولین حضور *Discoaster lodoensis* تا آخرین حضور *Tribrachiatus orthostylus* و یا اولین حضور *Toweius crassus* تعریف شده (باکری، ۱۹۷۳؛ برونیمین و استردنر، ۱۹۶۰) و سن آن ائوسن آغازین در نظر گرفته شده است.

آخرین حضور *Tribrachiatus orthostylus* در برخی مقاطع با اولین حضور *Nannotetrina* مطابقت دارد. حضور *Rhabdosphaera truncata* و *Discoaster kuepperi* نیز نزدیک به اولین حضور *Discoaster lodoensis* رخ می‌دهد. همچنین گونه *Imperiaster obscure* در محدوده این زیست‌زون و یا در ابتدای زون NP13 از بین می‌رود. این زون با زیست‌زون CNE4 (از اولین حضور *Discoaster lodoensis* تا آخرین حضور *Tribrachiatus orthostylus*) از زون‌بندی آگنینی و همکاران (۲۰۱۴) مطابقت دارد.

در این مطالعه مبتنی بر ثبت شواهد نانوفسیلی شاخص لبه پایینی و بالایی زون در نمونه‌های ۴۲ (در ۹۱ متری از قاعده سازند) و ۵۹ (در ۱۲۶ متری از قاعده سازند) زون NP12 و CNE4 با ضخامت ۳۷ متر تعیین گردید. گونه‌های نانوفسیلی شناسایی شده در محدوده این زیست‌زون از

cuniculus تا آخرین حضور *Chiasmolithus gigas* و بخش ابتدایی CNE12 (از آخرین حضور *Chiasmolithus gigas* تا اولین حضور *Reticulofenestra umbilicus*) از زون‌بندی آگنینی و همکاران (۲۰۱۴) مطابقت دارد. در مطالعات کنونی بر مبنای ثبت اولین حضور *Nannotetrina fulgens* در نمونه‌ی شماره ۹۹، لبه پایینی زون تعیین گردید ولی از آنجا که گونه‌ی شاخص مرز بالایی زون در نمونه‌های مطالعه شده دیده نشد، تعیین لبه بالایی این زیست‌زون امکان‌پذیر نمی‌باشد. از این رو زیست‌زون مذکور با وجود مجموعه نانوفسیلی دارای حفظ‌شدگی خوب، ۹ متر انتهایی سازند را در برش توچال در بر می‌گیرد. علاوه بر آن اولین حضور گونه‌ی *Nannotetrina alata* در نمونه‌ی شماره ۹۹ مشخص کننده لبه پایینی زون CNE9 از زون‌بندی آگنینی و همکاران (۲۰۱۴) با ضخامت ۹ متر است. لکن از آنجا که شاخص‌های نانوفسیلی مانند *Sphenolithus cuniculus*، *Chiasmolithus gigas* و *Reticulofenestra umbilicus* در نمونه‌های مورد بررسی دیده نشد، لذا تعیین سایر زیست‌زون‌های زون‌بندی آگنینی و همکاران (۲۰۱۴) میسر نگردید.

۶- بحث

سازند زیارت در برش چینه‌شناسی توچال با زیست‌زون NP9 آغاز می‌گردد و با زیست‌زون NP15 پایان می‌یابد. بررسی پراکندگی نانوفسیل‌های آهکی در برش مورد مطالعه نشانگر ثبت اولین حضور گونه *Discoaster multiradiatus* در اولین نمونه از واحد مارتی به عنوان حادثه معرف شروع زیست‌زون NP9 و اولین حضور گونه *Tribrachiatus bramlettei* مویید انتهایی این زون و آغاز زیست‌زون NP10 از ۳۷ متری از قاعده سازند است. آخرین حضور *Tribrachiatus contortus* در ۷۳ متری از قاعده سازند نشان‌دهنده پایان زیست‌زون NP10 و آغاز زیست‌زون NP11 است. بدنبال حوادث نانوفسیلی ذکر شده، اولین ظهور گونه *Discoaster lodoensis* در ۹۱ متری از قاعده سازند ثبت شد که معرف انتهای زیست‌زون NP11 و آغاز زیست‌زون NP12 است. حادثه نانوفسیلی بعدی در ۱۲۶ متری از قاعده سازند با آخرین حضور *Tribrachiatus orthostylus* مشخص شد و بر این اساس پایان زیست‌زون NP12 و آغاز زیست‌زون NP13 تعیین گردید. بررسی پراکندگی نانوفسیل‌ها بیانگر ثبت اولین

CNE7، (*lodoensis*) (از آخرین حضور *Discoaster lodoensis* تا اولین حضور *Nannoterina cristata*) و CNE8 (از اولین حضور *Nannoterina cristata* تا اولین حضور *Nannotetrina alata*) از زون‌بندی آگنینی و همکاران (۲۰۱۴) مطابقت دارد. در این مطالعه اولین حضور *Discoaster sublodoensis* و *Nannotetrina fulgens* به ترتیب در نمونه‌های ۷۸ و ۹۹ ثبت شد. بر این اساس محدوده زیست‌زون NP14 از ۱۶۲ متری قاعده سازند تا ۲۰۳ متری بوده و نشانگر ضخامت ۴۱ متری برای زیست‌زون مذکور است. ویژگی‌های ظاهری گونه‌های نانوفسیلی موجود گویای حفظ‌شدگی خوب آن‌ها در محدوده‌ی این زیست‌زون است. همچنین براساس اولین حضور *Discoaster sublodoensis* در نمونه شماره ۷۸ و آخرین حضور *Discoaster lodoensis* در نمونه شماره ۸۲ زیست‌زون CNE6 با ضخامت ۱۰ متر از زون‌بندی آگنینی و همکاران (۲۰۱۴) تعیین شد. در این مطالعه به دلیل عدم شناسایی گونه‌ی *Nannoterina cristata* تعیین مرز زیست‌زون‌های CNE7 و CNE8 از زون‌بندی مذکور امکان‌پذیر نیست. ولی با عنایت به اولین حضور گونه‌ی *Nannotetrina alata* در نمونه‌ی شماره ۹۹، مرز بالایی زیست‌زون CNE8 تعیین گردید. مجموع ضخامت زیست‌زون‌های CNE7 و CNE8 در این برش ۳۱ متر می‌باشد.

Nannotetrina fulgens Zone (NP15)

زیست‌زون NP15 از اولین حضور *Nannotetrina fulgens* یا آخرین حضور *Rhabdosphaera inflata* تا آخرین حضور *Rhabdolithus glandius* تعریف شده است (هی در هی و همکاران، ۱۹۶۷؛ مارتینی، ۱۹۷۰؛ باکری، ۱۹۷۳) و سن آن ائوسن میانی (لوتتین) می‌باشد.

جنس *Nannotetrina* در تجمعات با حفظ‌شدگی بسیار ضعیف نیز قابل تشخیص بوده و به عنوان شاخص زون مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین اولین حضور *Nannotetrina* می‌تواند به عنوان مرز NP14/NP15 در نمونه‌های دارای حفظ‌شدگی ضعیف نیز مورد استفاده قرار گیرد. این زیست‌زون با زیست‌زون‌های CNE9 (از اولین حضور *Nannotetrina alata* تا اولین حضور *Chiasmolithus gigas*)، CNE10 (از اولین حضور *Sphenolithus cuniculus*) تا اولین حضور *Sphenolithus cuniculus*، CNE11 (از اولین حضور

معادل با CNE9. براساس مطالعات زیست‌چینه‌نگاری انجام شده، سن پالتوسن پسین تا ائوسن میانی (تانتین تا لوتتین) برای سازند زیارت در برش توچال پیشنهاد می‌شود.

References

- Adabi, M. H., Zohdi, A., Ghobishavi, A., and Amiri-Bakhtiyar, H (2008) Applications of Nummulitids and other larger benthic foraminifera in depositional environment and sequence stratigraphy; an example from the Eocene deposits in Zagros Basin, SW Iran. *Facies*, 54 (4): 499–512. <http://dx.doi.org/10.1007/s10347-008-0151-7>.
- Adabi, M. H., Khatibi Mehr, M., Moallemi, A., Sadeghi, A., and Salehi, M. A (2009) Diagenesis and geochemistry of the Ziarat Formation in the Type Section, Tochal, Alborz. *Geosciences*, 19: 153- 164.
- Aghanbati, A (2004) *Geology of Iran*. Geological Survey of Iran, 606 p. (in Persian)
- Agnini, C., Fornaciari, E., Raffi, I., Catanzariti, R., Pälke, H., Backman, and J., Rio, D (2014) Biozonation and biochronology of Paleogene calcareous nannofossils from low and middle latitudes. *Newsletters on Stratigraphy*, 47 (2): 131–181.
- Agnini, C., Monechi, S., and Raffi, I (2017) Calcareous nannofossil biostratigraphy: historical background and application in Cenozoic chronostratigraphy. *Lethaia*, 50: 447–463. <https://doi.org/10.1111/let.12218>.
- Alavi, M (1991) Sedimentary and structural characteristics of the Paleoc-Tethys remnants in northeastern Iran. *Geological society of America Bulletin*, 103: 983-992.
- Alavi, M (1996) Tectonostratigraphic synthesis and structural style of the Alborz mountains in northern Iran. *Journal of Geodynamics*, 21 (1): 1-33. [http://dx.doi.org/10.1016/0264-3707\(95\)00009-7](http://dx.doi.org/10.1016/0264-3707(95)00009-7).
- Albasrawi, W. A (2016) *Early Miocene Quantitative Calcareous Nannofossil Biostratigraphy from the Tropical Atlantic*. Dissertations and Theses in Earth and Atmospheric Sciences, University of Nebraska, 1- 7://digitalcommons.unl.edu/geoscidiss/89.
- Alimi, N., Sajjadi, F., and Partoazer, H (2010) Biostratigraphy, biofacies and sedimentary environment of the lower Eocene strata in the northwest of Shahroud. *Iranian Journal of Geology*, 21-3.
- Arney, J. E., and Wise, S. W (2003) Paleocene-Eocene nannofossil biostratigraphy of ODP Leg 183, Kerguelen Plateau. In: *Proceeding of ODP, Science Results*, 183 (Fery FA, Coffin MF, Wallace PJ, Quilty PG eds.), College station, TX.
- حضور گونه *Discoaster sublodoensis* در ۱۶۴ متری از قاعده سازند است که خود دال بر پایان زیستزون NP13 و آغاز زیستزون NP14 می‌باشد. اولین حضور *Nannotetrina fulgens* از دیگر رخدادهای زیستی نانوفسیلی است که پایان‌بخش زیستزون NP14 و آغاز زیستزون NP15 بوده و در این مطالعه در در ۲۰۵ متری از قاعده سازند ثبت گردید. از ضخامت ۲۰۵ متری سازند تا انتهای سازند اولین و یا آخرین حضور گونه شاخص نانوفسیلی مشاهده نشد. لذا ۷ متر انتهای سازند به عنوان شروع زیستزون NP15 در نظر گرفته شده است (شکل ۳). بر این اساس سن سازند در این برش از پالتوسن پسین (تانتین) تا ائوسن میانی (لوتتین) است. همچنین مطالعات نانوفسیلی انجام شده و تنوع و فراوانی بالای نانوفسیل‌ها، نشانگر محیطی مناسب از نظر وفور مواد غذایی، دمای بالای محیط و شرایط مناسب حوضه رسوبی البرز جهت زیست نانوفسیل‌های آهکی در زمان نهشته‌شدن سازند زیارت در برش توچال است.

۷- نتیجه‌گیری

سازند زیارت توالی رسوبی مربوط به آب‌های گرم و کم عمق با سن پالتوسن فوقانی تا ائوسن میانی است که بر روی کنگلومرای فجن و در زیر سیلتستون‌های توفی سازند کرج قرار می‌گیرد. به دنبال بررسی سازند زیارت در برش توچال بر اساس نانوفسیل‌های آهکی تعداد ۱۶ جنس و ۳۷ گونه نانوفسیلی شناسایی گردید. طی مطالعات زیست‌چینه‌نگاری در برش مذکور، از قاعده تا راس برش هفت زیستزون (NP9 تا NP15) بر پایه الگوی زون‌بندی زیستی مارتینی (۱۹۷۱) و ده زیستزون (CNP11 تا CNE9) براساس زون‌بندی آگنینی و همکاران (۲۰۱۴) مشخص شد. زیستزون‌های تعیین شده عبارتند از: ۱) *Discoaster multiradiatus* Zone (NP9) معادل با *Tribrachiatus contortus* Zone (CNP11، ۲) معادل با CNE1، CNE2 و بخش ابتدایی CNE3، ۳) *Discoaster Binodosos* Zone (NP11) معادل با ادامه زیستزون CNE3، ۴) *Tribrachiatus orthstylus* Zone (NP12) معادل با CNE4، ۵) *Discoaster Lodoensis* Zone (NP13) معادل با CNE5، ۶) *Discoaster sublodoensis* Zone (NP14) معادل با CNE6، CNE7 و CNE8 و ۷) *Nannotetrina Fulgens* Zone (NP15)

- paleoenvironmental implications. *All Earth*, 33: 66-87.
- Hay, W. W (1964) The use of the electron microscope in the study of fossils. *Annu Rep Smithsonian Inst*, 1963: 409-415. <https://www.researchgate.net/publication/291316787>.
- Hay, W. W., Mohler, H. P., Roth, P. H., Schmidt, R. R., and Boudreaux, J. E (1967) Calcareous nannoplankton zonation of the Cenozoic of the Gulf Coast and Caribbean- Antillean area, and transoceanic correlation. *Trans, Golf Coast Association Geology Society*, 17: 428-480.
- Holcova, K (2005) Quantitative calcareous nannoplankton biostratigraphy of the Oligocene/Miocene boundary interval in the northern part of the Buda Basin (Central Paratethys). *Geological Quarterly*, 49 (3): 263-274.
- Kallanxhi, M. E., and Coric, S (2017) Calcareous nanofossils from Oligocene-middle Miocene sediments from the Albanian- Thessalian basin (Albania): biostratigraphy and paleoecological implications. 16 th International Nannoplankton Association Meeting. Athens, Greece, 91p. <https://www.researchgate.net/publication/320069101>.
- Kasem, A. M., Sherwood, W., Faris, M., Farouk, Sh., Zahran, E (2020) Upper Paleocene-lower Eocene calcareous nanofossil stratigraphy at the Misheiti section, Central Sinai, Egypt. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 29: 242-256. doi:10.3906/yer-1812-13.
- Khatibi Mehr, M., Adabi, M. H., Lotfpour, M., and Moalemi, A (2008) Reconstruction of paleoenvironments of Ziyarat Formation, based on large benthic foraminifera (Upper Palaeocene- Middle Eocene). *Iranian Journal of Geology*, 2 (7): 25-38 (in Persian).
- Khatibi Mehr, M., and Adabi, M. H (2013) Microfacies and geochemical evidence for original aragonite mineralogy of a foraminifera-dominated carbonate ramp system in the late Paleocene to Middle Eocene, Alborz basin, Iran. *Carbonates and Evaporites*, 29: 155-175. doi:10.1007/s13146-013-0163-4.
- Khatibimehr, M., and Moalemi, A (2008) Comparison of sedimentation history of Jahrom (Zagores) and Ziyarat (Alborz) formations based on benthic foraminifera. *Iranian Geology Quarterly*, 9 (3): 102-87 (in Persian).
- Kholousi, M. R (1996) Microbiostratigraphy and sedimentary environment of Ziyarat formation in Type section, southeast of Tehran and Gowij (east of Tehran, southeast of Tehran and southwest of Firouzkuh), Tarbiat Moallem University, 114 p. (in persian).
- Mahari, R (2014) Facies and sedimentary environments of Ziarat Formation in the southeast of Azarbaijan, Iran. *Indian Journal of*
- Bartol, M (2009) Middle Miocene calcareous nanofossils of NE Slovenia (Western Central Paratethys). Zalozba ZRC/ZRC publishing, 284 p.
- Bown, P. R., and Young, J. R (1998) Techniques, In: Bown, P. R. (Eds.), *Calcareous Nannofossil Biostratigraphy*. Chapman and Hall, London, 16- 28. <https://doi.org/10.1007/978-94-011-4902-02>.
- Bralower, T. J (2002) Evidence of surface water oligotrophy during the Paleocene-Eocene Thermal maximum: nanofossil assemblage data from ocean drilling program site 690, Maud Rise, Weddell Sea. *paleoceanography*, 17 (2): 1-13. <https://doi.org/10.1029/2001PA000662>.
- Bramlette, M. N., and Sullivan, F. R (1961) Coccolithophorids and related nannoplankton of the early Tertiary in California. *Micropaleontology*, 7: 129-174.
- Bronnimann, P., and Stradner, H (1960) Die foraminiferen –und discoasteridenzonen von kuba und ihreinterkontinentale correlation. *Erdoel-Z*, 76: 364-369.
- Bukty, D (1973) Low latitude coccolith biostratigraphic zonation. Initial Report, Deep Sea DrillingProject, 15: 685-703.
- Bukty, D., and Bramlette, M. N (1970) Coccolith age determination, leg 3, Initial Report, Deep Sea DrillingProject, 3: 589-611.
- Bukry, D (1973) Coccolith stratigraphy Eastern Equatorial Pacific, Leg 16 DSDP. Initial Report DSDP, 16: 611-653.
- Burnett, J. A (1998) Upper Cretaceous. In Bown P. R (Ed.), *Calcareous nanofossil biostratigraphy* (132-99). London: Chapman and Hall.
- Dellenbach, J (1964) Contributions a' L'etude geologique de la region situee a' L' est de Tehran (Iran). Ph.D. Diss., Faculty of Sciences, university of Strasbourg (France), 117.
- Gravand, R., Hamdi, B., and Roozbahani, P (2013) Benthonic foraminiferal assemblages, microfacies analysis and sedimentary model of Ziyarat Formation, Someah –E- Pain Area (Central Iran Province, NW Iran). *International research journal of applied and basic sciences*, 4 (10): 3158-3165.
- Hadi, M., Mosaddegh, H., and Abbassi, N (2015) Biostratigraphic interpretation and systematics of Some Alveolina species assemblages in the Ziarat Formation from Soltanieh Mountains (Western Alborz). *Geosciences*, 24: 39-44. doi:10.22071/GSJ.2015.42254.
- Hadi, M., Salehi, A., Nasiri, Y., and Mosaddegh, H (2019) Sokolowia horizon of the Ziarat Formation (Eastern Alborz, Iran): biostratigraphic and paleogeographic implications. *Acta Paleontologica Romaniaae*, 15: 15-27. doi:10.35463/j.apr.2019.02.02.
- Hadi, M., Sarkar, S., Vahidinia, M., and Bayet-Goll, A (2021) Microfacies analysis of Eocene Ziarat Formation (eastern Alborz zone, NE Iran) and

- Basin, France). *Sedimentology*, 66(7): 2976–3007. doi:10.1111/sed.12618.
- Shcherbinina, E (2010) Response of early Paleogene nannofossils to periodically increased nutrient availability in the NE Peri-Tethys. EGU General assembly, Vienna, 13597.
- Stocklin, J (1974) Northern Iran: Alborz Mountain, Mesozoic-Cenozoic Orogenic Belt, data for Orogenic Studies. Geology Society London.
- Wade, B. S., and Bown, P. R (2006) Calcareous nannofossils in extreme environments: The Messinian Salinity Crisis, Polemi basin, Cyprus. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 233: 271–286. doi:10.1016/j.palaeo.2005.10.007.
- Watkins, D. K (2007) Quantitative analysis of the calcareous nannofossil assemblages from CIROS-1, Victoria Land Basin, Antarctica. *Journal of Nannoplankton Research*, 29 (2): 130-137.
- Wright, V. P (1986) Facies sequences on a carbonate ramp: the Carboniferous limestone of South Wales. *Sedimentology*, 33: 221–241.
- Young, J. R., Geisen, M., Cros, L., Kleijne, A., Sprengel, C., Probert, I., and Ostergaard, J. B (2003) A guide to extant coccolithophore taxonomy. *Journal of Nannoplankton Research Special Issue*, 1: 1–125. <https://www.researchgate.net/publication/284778794>.
- Young, J. R., Bown, P. R., and Lees, J. A (2020) Nannotax3 website. International nannoplankton association. Retrieved from <http://www.mikrotax.org/Nannotax3>.
- Fundamental and Applied Life Sciences, 4: 140-145.
- Maleki, M (2010) Microbiostratigraphy of Ziyarat formation in Kamard region. Tarbiat Moalem University, 88 p. (in persian).
- Martini, E (1970) Standard Palaeogene calcareous nannoplankton zonation. *Nature*, 226: 560-561. <https://doi.org/10.1038/226560a0>.
- Martini, E (1971) Standard Tertiary and Quaternary Calcareous Nannoplankton Zonation. In: Farniacci, A. (Ed.), *Proceedings, 2th International Conference on Planktonic Microfossils*. Rome, Italy. *Edizioni Tecnoscienza*, 2: 739-785.
- Nazari, H., Ritz, J. F., and Oghbeei, Sh (2006) New insight to paleogeography and structural evolution of the Alborz in Tethysid. *Geosciences*, 16 (64): 38-53. <https://doi.org/10.22071/gsj.2008.58213> (in Persian).
- Nogole Sadat, M. A. A (1978) Les zone de décrochement et les virgations structurales en Iran. Consequences des resultants de l'analyse structurale de la region de Qom. These university, scientifique et medicate de Grenoble, 201 p.
- Notghi Moghaddam, M., Hadavi, F., Bodaghi, F., and Oftadeh, S (2014) Calcareous nannofossils of Ziyarat Formation in Mojen section (Northwest of Shahroud). The 9th conference of the Iranian Paleontology Association. Mashhad, 129-135 (in Persian).
- Ozdinova, S (2013) Oligocene nannofossils from the Paleogene basins of the western Carpathian. *Mineralia slovacica*, 41(4): 534- 545.
- Perch-Nielsen, K (1985) Plankton Stratigraphy “Cenozoic Calcareous Nannofossils”, In: Bolli, H. M., Saunders, J. B., and Perch-Nielsen, K (Eds.), *Plankton Stratigraphy*. Cambridge University Press, 427–554.
- Poulton, A. J., Holligan, P. M., Charalampopoulou, A., and Adey, T. A (2017) Coccolithophore ecology in the tropical and subtropical Atlantic Ocean: New perspectives from the Atlantic meridional transect (AMT) program. *Progress in Oceanography*, 158: 150–170. doi:10.1016/j.pocean.2017.01.003
- Rush, W. D., Self-Trail, J., Zhang, Y., Sluijs, A., Brinkhuis, H., Zachos, J., Ogg, J, Robinson, M (2023) Assessing environmental change associated with early Eocene hyperthermals in the Atlantic Coastal Plain, USA. EGU sphere.
- Saïag, J., Collin, P. Y., Sizun, J. P., Herbst, F., Fay-Gomord, O., and Smith, C. C (2019) Classifying chalk microtextures: Sedimentology versus diagenetic origin (Cenomanian-Santonian, Paris

Biostratigraphy of the Ziyarat Formation based on calcareous nannofossil in the Tochal section (Central Alborz)

M. Notghi Moghaddam^{1*} and S. Senemari²

1- Assoc. Prof., Dept. of Geology, Payame Noor University, Tehran, Iran

2- Assoc. Prof., of Mining Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

* notghi.m@pnu.ac.ir

Received: 2023.10.19 Accepted: 2023.12.31

Abstract

In this study, biostratigraphy of the the Ziyarat Formation was investigated based on calcareous nanoplankton in the Tochal section (southeast of Tehran). In this section the Ziyarat Formation conformably overlies the Fajan conglomerate and is overlain the Karaj Formation. The thickness of the formation in Tochal section with four rock units is 212 meters and it mainly consists of limestone, and marl. In this study, investigation of 105 prepared samples and calcareous nanoplanktons has led to the identification of 37 species belonging to 16 genera. Based on the first and last occurrences of nannofossil species and assemblage species such as *Discoaster sublodoensis*, *Nannotetrina fulgens*, *Tribrachiatus orthostylus*, *Discoaster lodoensis* and *Tribrachiatus contortus* the NP9-NP15 and CNP11-CNE9 biozones in the Ziyarat Fformation were determined. The nannofossil biozones and their stratigraphic location indicate the age of the late Paleocene - middle Eocene (Thanetian- Lutetian) for the Ziyarat Formation in the Tochal section.

Keywords: Biozone, Calcareous nannofossils, Ziyarat, Tochal, Alborz

Introduction

The Ziyarat formation is a carbonate sequence, located in the north of Tochal Village (south-east of Tehran). The Ziyarat formation mainly consists of marl and limestones with a total thickness of 212 m conformably overlies the Fajan conglomerate and are overlain by greenish tuffaceous siltstone of the Karaj Formation. In this research biostratigraphy of the Ziyarat Formation based on calcareous nannofossils were investigated. Several studies have been carried out by other researchers on Ziyarat formation. Some previous biostratigraphic studies base on foraminifera and reconstruction of depositional environment of Ziyarat formation includes: Khatibimehr et al., (2008), Maleki (2010), Alimi et al., (2010), Gravand et al., (2013), Khatibimehr and Adabi (2013), Hadi et al., (2021). Whereas, previous calcareous nannofossils study on this formation was done by Notghi Moghaddam et al., (2014) in the Mojen section.

The aim of this study is to determine the calcareous nannofossil assemblages, discuss the possibility of applying the standard

zonation, and age determination of the Ziyarat formation in the studeid section.

Material and methods

For nannofossil studies, a total of 105 samples were obtained. Samples were prepared following the standard smear slide technique (Bown and Young, 1998) and were studied under crossed polarized light and the plane polarized light of Olympus microscope. All calcareous nannofossil specimens were identified by using the taxonomic schemes of Perch- Nielsen (1985) and Bown and Young (1998). For biostratigraphic analysis references of Martini (1971) and Agnini et al. (2014) have been applied.

Results and discussions

As a result of this study, thirty-seven species belonging to sixteen genera were recorded in these strata. Structures of the central area in many species indicate that the preservation of the nannofossil assemblages is good at the studied section, and many nannofossil species have been recognized. The most important identified species are species belong to *Coccolithus*, *Chiasmolithus* and *Discoaster*

that are present in most of samples. In the present study, the standard nannofossil zonation of Martini (1971) was applied. According to marker species of nannofossils 7 calcareous nannofossil biozones were recognized, ranging in age from late Paleocene to middle Eocene.

The identified biozones are as follows:

Discoaster multiradiatus zone (NP9) equivalent to CNP11: The *Discoaster multiradiatus* zone is identified from the FO of *Discoaster multiradiatus* to the FO of *Tribrachiatus bramlettei* or FO *Discoaster diastypus*. The age of this zone is the late Paleocene. The thickness of this zone in the studied section is 23 m.

Tribrachiatus contortus zone (NP10) equivalent to CNE1, CNE2 and the beginning part of CNE3: The *Tribrachiatus contortus* Zone is identified from the FO of *Tribrachiatus bramlettei* or FO *Discoaster diastypus* to the LO of the *Tribrachiatus contortus*. The age of this zone is the early Eocene. The thickness of this zone in the studied section is 38 m.

Discoaster binodosos Zone (NP11) equivalent to CNE3: The *Discoaster binodosos* Zone is identified from the LO of the *Tribrachiatus contortus* to FO of the *Discoaster lodoensis*. The age of this zone is the early Eocene. The thickness of this zone in the studied section is 16 m.

Tribrachiatus orthostylus Zone (NP12) equivalent to CNE4: The *Tribrachiatus orthostylus* is identified from the FO of the *Discoaster lodoensis* to LO of the *Tribrachiatus orthostylus* or FO of the *Toweius crassus*. The age of this zone is the early

Eocene. The thickness of this zone in the studied section is 37 m.

Discoaster lodoensis Zone (NP13) equivalent to CNE5: The *Discoaster lodoensis* Zone is identified from the LO of the *Tribrachiatus orthostylus* or FO of the *Toweius crassus* to FO of the *Discoaster sublodoensis*. The age of this zone is the early Eocene. The thickness of this zone in the studied section is 36 m.

Discoaster sublodoensis Zone (NP14) equivalent to CNE6, CNE7 and CNE8: The *Discoaster sublodoensis* Zone is identified from the FO of the *Discoaster sublodoensis* to FO of the *Nannotetrina fulgens* or LO of the *Rhabdosphaera inflata*. The age of this zone is the middle Eocene. The thickness of this zone in the studied section is 41m.

Nannotetrina fulgens Zone (NP15) equivalent to CNE9, CNE10, CNE11 and the beginning part of CNE12: The *Nannotetrina fulgens* Zone is identified from the FO of the *Nannotetrina fulgens* or LO of the *Rhabdosphaera inflata* to LO of the *Rhabdolithus glandius*. The age of this zone is the middle Eocene. The thickness of this zone in the studied deposits is not determined.

Conclusion

Based on index nannofossil species and assemblages species the NP9-NP15 of Martini (1971) and CNP11-CNE9 of Agnini et al. (2014) biozonation in the the Ziyarat formation were determined that indicate the age of the late Paleocene - middle Eocene (Thanetian-Lutetian) for the Ziyarat formation in the Tochal section.