

الأدلة الرسوبية والأحيائية والمعدنية على حدث فقدان الأوكسجين المحيطي -2 لتكوين كولنيري (التوروني المبكر) في شمال شرقي العراق

صفوان فتحي اللهيبي علي إسماعيل الجبوري فلاح عبد المعماري

قسم علوم الأرض

كلية العلوم

جامعة الموصل

تاريخ الاستلام 2020/9/20 ، تاريخ القبول 2020/11/21

الملخص

درس تكوين كولنيري (التوروني المبكر) في ثلاثة مقاطع سطحية (أزمير وديجلة ودوكان) شمال شرقي العراق. إذ تميزت صُخوره في مقطعي ديجلة ودوكان بلونها الأسود إلى الرمادي التي تتألف من سحنة الحجر الجيري والحجر الجيري المارلي، بينما تميزت صخوره في مقطع أزمير بسيادة الحجر الجيري المارلي والمارل المترقق بالوانها الرمادية الفاتحة إلى المُحمرة فضلاً عن وجود بعض الطبقات التي تحتوي أحياناً على بقايا الأسماك وقد إتسمت بلونها الرمادي الذي يعكس المحتوى القليل جداً للكربون العضوي الكلي. تبين من خلال التحليل السحني الدقيق لصخور التكوين إن هذه الصخور تتألف من ثلاث سحنات دقيقة تضم سحنة الحجر الجيري الطيني والحجر الجيري الواكي والحجر الجيري المرصوص. تُشير الوفرة العالية وسيادة المنخربات الطافية القزمية (الهتروهيلكس) وفتاتات الأصداف النحيفة (الفلمنت) لاسيما في سحنة الحجر الجيري المرصوص إلى حدث إنحراف الهتروهيلكس (Heterohelix shift) وحدث الفلمنت (Filaments event) على التوالي. فضلاً عن وجود بقايا الأسماك وإحلال البايرايت محل الراديولاريا وإستطالة الحجرات للمنخربات الطافية ومعدن الكلوكونايت، وتدل هذه المعطيات بمجملها على حدوث الترسيب ضمن الظروف البيئية المفقدة للأوكسجين والتي قد تكون مرتبطة عالمياً مع حدث فقدان الأوكسجين المحيطي-2 العالمي عند الحد الفاصل بين السينوماني-التوروني.

الكلمات الدالة: تكوين كولنيري، حدث فقدان الأوكسجين المحيطي-2، التوروني المبكر.

Sedimentological, Paleontological and Mineralogical Evidences for Oceanic Anoxic Event-2 (OAE-2) in the Gulneri Formation (Early Turonian), Northeastern Iraq

Safwan Fathi Al-Lhaebi Ali Ismail Al-Jubory Falah Abed Al-Miamary

Geology Department

College of Science

University of Mosul

ABSTRACT

In the current work, the Gulneri Formation (Early Turonian) is studied in three surface sections (Degala, Dokan, and Azmir) from northeastern Iraq. The formation is characterized by grey to black color limestone and marly limestone in the Degala and

Dokan sections, whereas in Azmir section, fissile marl and marly limestone with pale to reddish color are dominated in addition to few beds, which occasionally contain fish remains, with distinct gray color reflecting the very few amount of total organic carbon in these beds. Microfacies analysis revealed that the formation consists of three microfacies: mudstone, wackestone and packstone. The predominance of dwarfish planktonic foraminifera (*Heterohelix*) and thin shell filaments particularly in packstone microfacies represent *Heterohelix* shift event and filament event respectively. In addition to these events, fish remains, radiolarian pyritization, planktonic foraminiferal chambers elongation and glauconite are all refer to anoxic environmental conditions that may have been coincided with the Global Cenomanian-Turonian Oceanic Anoxic Event (OAE-2).

Keywords: Gulneri Formation, oceanic anoxic event-2 (OAE-2), Early Turonian.

المقدمة

يستخدم حدث فقدان الأوكسجين المحيطي (Oceanic Anoxic Event) لوصف الظواهر التي تتميز بترسبات تبدو ذات إنتشار عالمي ضمن التتابعات اللحية لعمر الأبتيان-الألبان والسينوماني-التوروني التي تحتوي على مادة عضوية تصل نسبتها إلى أكثر من 1% وتكون على هيئة سجل أسود (black shale) (Schlanger and Jenkyns, 1976). ويطلق على الحدث الذي يضم الفترة الزمنية الواقعة بين السينوماني-التوروني (Cenomanian-Turonian) بحدث فقدان الأوكسجين المحيطي-2 (OAE-2) ويعرف بحد C/T الذي يُعد مثلاً نموذجياً لأحداث فقدان الأوكسجين في دهر الحياة المتوسطة وذلك بسبب الإنتشار الواسع للترسبات الغنية بالكربون العضوي على مقياس عالمي (Kolonic et al., 2005; Smrzka et al., 2017). وقد أدى هذا الحدث إلى حصول اضطرابات كبيرة وسريعة بغاز ثنائي أوكسيد الكربون الجوي ومحيطات العصر الطباشيري (Ifrim, 2015; Kuypers et al., 1999). وقد قُدرت الفترة الزمنية (duration) لهذا الحدث إعتماًداً على الطباقية الحياتية بفترة نصف مليون سنة (0.5 Ma) في تونس (Caron et al., 1999) وفي إيسنبورن، إنكلترا (Paul et al., 1999) وكذلك في تسعة مقاطع عالمية لحوض محيط الأطلسي ومحيط التثيس (Arthur et al., 1988).

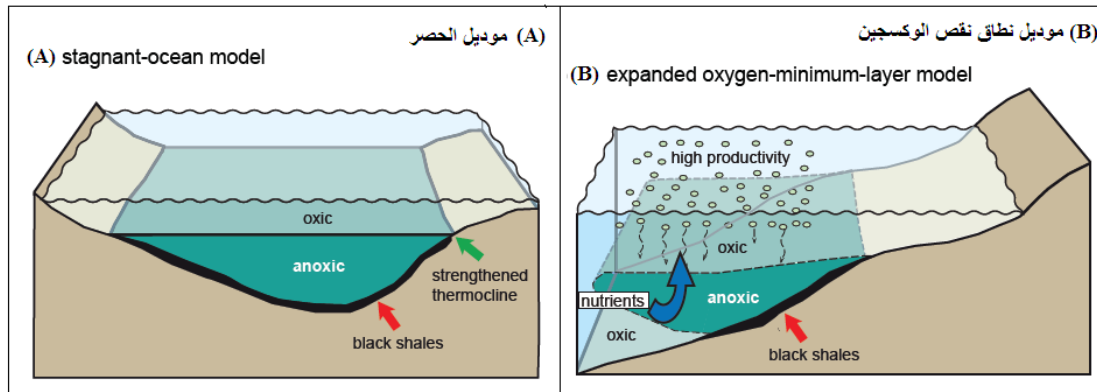
يعد هذا الحدث (OAE-2) واحداً من أهم أحداث فقدان الأوكسجين المحيطي الذي تم توثيقه في تاريخ الأرض ويتوافق هذا الحدث مع الشذوذ الموجب لنظير الكربون $\delta^{13}C$ (Schlanger and Jenkyns, 1976). ويطلق على هذا الحدث في جنوب أوروبا بمستوى بونارلي (Bonarelli level) (Arthur and Premoli-Silva, 1982) ويطلق عليه في جنوب شرق فرنسا بمستوى ثوميل (Thomel Level) (Crumière, 1990) (in Takashima et al., 2009).

يتميز هذا الحدث بصورة عامة بالتقدم البحري العالمي والإرتفاع السريع لمنسوب سطح البحر، إذ وصل منسوب مستوى سطح البحر إلى أعلى مستوياته خلال فترة السينوماني-التوروني (95-80 Ma) (Tyson and Pearson, 1991; Keller and Pardo, 2004). وكذلك تميز هذا الحدث بقصر الفترة الزمنية وبقلة نسبة الترسيب والترسبات المتصفحة (laminated deposits) وندرة الأحياء القاعية (Sousa, 2010; Sousa et al., 2011).

يُعد تكوين المناطق النارية الكبيرة (Large igneous provinces) لاسيما (Caribbean Plateau) و (Ontong Java) و (Madagascar Plateaus) التي بدأت بالتطور خلال فترة السينوماني-التوروني مؤشراً قوياً لبداية إنطلاق حدث فقدان الأوكسجين-2 (Snow et al., 2005; Kuroda et al., 2007; Turgeon and Creaser, 2008).

وتتفرد فترة السينوماني-التوروني عن باقي الفترات الزمنية بكونها فترة دفيئة جداً (Pucéat et al., 2003) وذلك لإرتفاع نسبة غاز ثنائي أوكسيد الكربون CO₂ في الغلاف الجوي بنسبة تصل الى أكثر من أربعة مرات عن الوقت الحالي (Bernier, 2001). فضلاً عن حدوث الإنغمار للعديد من المنصات الكربوناتية خلال دهر الحياة المتوسطة. وقد سُخِصت الترسبات الغنية بالكربون العضوي تحت ظروف (dysoxic) و (anoxic) عند حدود السينوماني-التوروني في العديد من المواقع القارية حول العالم وكذلك في البحار العميقة (Schlanger and Jenkyns, 1976; Jenkyns, 1980; Hasegawa, 1997; Sageman et al., 1998; Sugarman et al., 1999).

توجد آراء عديدة وجدال واسع حول طبيعة الظروف التي أدت الى ترسيب السجيل الأسود سيما في فترة السينوماني-التوروني، وكذلك حول طبيعة الحفظ العالي للمادة العضوية فيما إذا كان سببهُ يعود إلى تأثير نقص الأوكسجين للمياه العميقة او يعود سببه الى الانتاجية العالية (Stein, 1990). ولقد إفترض الباحث نفسه أنموذجين متطرفين لبيئتين لتوضيح وجود السجيل الأسود خلال فترات أحداث فقدان الأوكسجين (OAEs)، وهما موديل الحصر أو الحفظ (Stagnation or Preservation model) وموديل نطاق نقص الأوكسجين أو الإنتاجية (Productivity model) (الشكل 1).



الشكل 1: موديلات ترسيب السجيل الأسود A-موديل الحصر، B-موديل نطاق نقص الأوكسجين. عن (Stein, 1990) محور من قبل (Takashima et al., 2006).

ويشمل البحث الحالي إجراء دراسة تفصيلية للطبيعة الصخرية والسحنية من خلال الوصف الحقلي والدراسة البتروغرافية ودراسة السحنات الصخرية والدقيقة لصخور التكوين. وتهدف الدراسة الى إستنباط الأدلة الرسوبية والأحيائية والمعدنية التي تدل على ظروف فقدان الأوكسجين المحيطي أثناء فترة ترسيب التكوين.

الوضع الجيولوجي وموقع منطقة الدراسة

وصف (Bellen et al., 1959) تكوين كولنيري السجيلي لأول في نطاق الطيات العالية قرب موقع سد دوكان في منطقة السليمانية شمال شرقي العراق. وتتألف صخور التكوين من السجيل الجيري ذي الطبقات الرقيقة

السوداء اللون التي تحتوي على معدني الكلوكونايت والكولوفين في جزئه السفلي وحدد عمر التكوين بالتوروني المبكر. يتراوح سمك التكوين بين 1.1-1.2 متر، ويمثل سطحاً التماس السفلي مع تكوين دوكان والعلوي مع تكوين كوميتان سطحي عدم توافق (Buday, 1980). يدل المحتوى العالي للمواد القيرية والمتحجرات القزمية (Dwarf fossils) على ترسيب التكوين في ظروف بيئة سامة (Euxinic) (Jassim and Goff, 2006).

ويعد (Karim et al., 2013) أول من سجل مكافئ تكوين كولنيري (Equivalent of Gulneri Formation) عند الحد الفاصل بين السينوماني-التوروني في شمال شرقي السليمانية عند طيتي أزمير (Azmir) وكوجة أو كوزا (Goizha) بين تكويني بالامبو وكوميتان. وقد أشاروا إلى أن هذه الصخور تمتلك صفات صخرية تختلف عن الصفات الصخرية لتكوين كولنيري من حيث خلوها من السجيل الأسود الذي يعود إلى تكوين كولنيري حسب (Bellen et al., 1959). وقد تم تسمية المقطع المذكور بمقطع أزمير في الدراسة الحالية.

وكما درس (Karim and Khanaqa, 2017) الطباقية والتركيبية للجزء الشمالي الشرقي لطية بيرا مكرون في منطقة السليمانية شمال شرقي العراق، وحددا عمر تكوين كولنيري اعتماداً على متحجرات النانو بالسينوماني المتأخر-التوروني المبكر، وقد أشاروا إلى إمكانية استخدام تكوين كولنيري الذي يمتد سمكه بين 2-4 متر كطبقة دالة لتمييز تكوين بالامبو بضمنه تكوين دوكان عن تكوين كوميتان حقلياً بسبب صخارته المتميزة.

وقد أشار (Al-Sagri, 2015) إلى أن تكوين كولنيري يكون مناظراً لأحداث فقدان الأوكسجين العالمية (OAE-2) من خلال الشذوذ الموجب لنظير الكربون العضوي ومحتوى الكربون العضوي الكلي العالي وخصائص ومكونات المادة العضوية من خلال استخدام تقنية تقييم الصخور للإنحلال الحراري (Rock-Eval pyrolysis)، وقد أشار إلى ضرورة تحديد أو حصر عمر التكوين بالسينوماني المتأخر-التوروني المبكر (Latest Cenomanian-Early Turonian).

تم تحديد وإعتماد عمر تكوين كولنيري في الدراسة الحالية بالتوروني المبكر (Early Turonian) باستخدام متحجرات النانو الكلسية (Al-Lhaebi et al., 2020).

ويعد تكوين كولنيري واحداً من التكوينات التي ترسبت ضمن الأحداث التكتونية الرئيسية للصفحة العربية ("Tectonic Megasequence" AP.9) (Al-Sharhan and Nairn, 1988) التي تُعد فترة مهمة وذلك بسبب وجود الهيدروكربونات في الخزانات النفطية الكربوناتية في عُمان والإمارات العربية المتحدة وقطر والكويت وإيران والعراق (Hollis and Sharp, 2011).

ومن المظاهر المهمة خلال فترة الطباشيري الأوسط هي موقع القارات القديمة، إذ تجمعت الكتل القارية في قارتين عظيمتين هما قارة لوراسيا (Laurasia) وقارة كوندوانا (Gondwana) وكان محيط التيشس آنذاك يقع في خطوط العرض الدنيا ويتوسع نحو الجهة الشرقية مما أدى إلى حصر الإتصال الشمالي-الجنوبي بين الأحواض المحيطية (Giorgioni, 2012)، وكذلك أدى إلى جعل التيارات المحيطية العالمية أن تكون باتجاهات متوازية وقريبة من خط الاستواء (Barron and Peterson, 1989; Föllmi and Delamette, 1991; Poulsen et al., 1998).

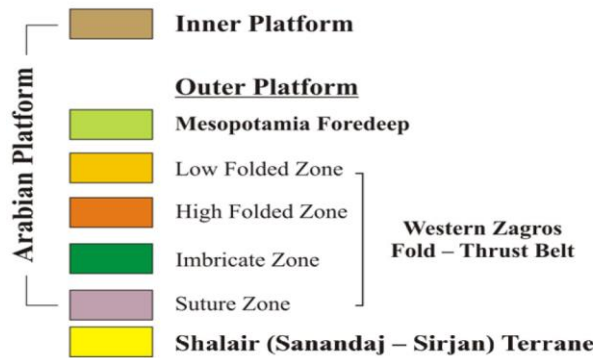
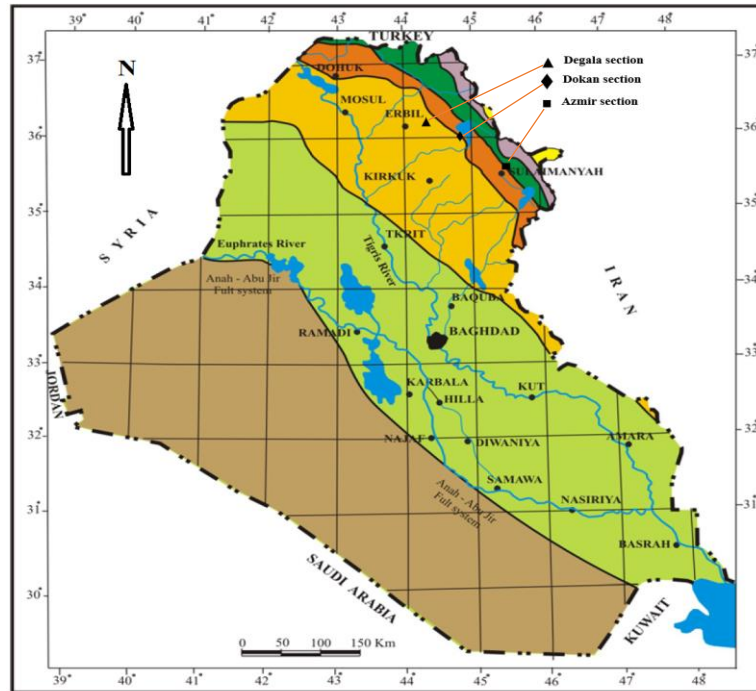
اشتملت الدراسة الحالية على ثلاثة مقاطع سطحية لتكوين كولنيري في شمال شرقي العراق، يقع مقطعان منها في محافظة السليمانية وهما مقطعا أزمير ودوكان ويقع المقطع الثالث (مقطع دجلة) في محافظة أربيل. وتقع جميع المقاطع المدروسة من الناحية التكتونية ضمن نطاقي الطيات الواطئة والعالية (Low and High Folded).

(Zones) في الاتجاه الغربي لحزام زاكروس (Zagros Fold-Thrust belt) (الشكل 2). وفيما يلي وصف مواقع تلك المقاطع:

مقطع ديجله Degala section: يقع هذا المقطع على بعد 36 كيلومترا شمال شرقي مدينة أربيل بين قرية ديجله وقرية علياوا في الجناح الجنوبي لطية بينا باوي (Bina-Bawi Anticline) المحدبة عند خط طول 44° ($26' 23''E$) وخط عرض ($36^{\circ} 12' 43'' N$).

مقطع دوكان Dokan section: يقع هذا المقطع في طية كوسرت المحدبة (Kosrat Anticline) عند خط طول ($44^{\circ} 26' 23''E$) وخط عرض ($36^{\circ} 12' 43'' N$).

مقطع أزمير Azmir section: يقع هذا المقطع عند تقاطع الطريق الذي يتجه إلى سفح تلة سلنتة ري (Salta Re hill) التي تعود إلى مجموعة تلال نوكردان (Naugirdan) ويبعد حوالي 3.5 كيلومترا شمال شرقي مدينة السليمانية عند الجنوب الغربي لسفح جبل أزمير وعند خط طول ($45^{\circ} 28' 08.73'' E$) وخط عرض ($35^{\circ} 36' 13.84'' N$).



الشكل 2: خارطة العراق التكتونية تبين مواقع مقاطع الدراسة عن (Jassim and Goff, 2006) محورة من قبل (Fouad, 2015).

طرائق العمل

تم جمع (100) نموذجاً صخرياً من المنكشفات الصخرية لمقاطع أزمير وديجلة ودوكان لتكوين كولنييري وتم عمل الشرائح الصخرية الرقيقة في دائرة المسح الجيولوجي العراقية في بغداد، لدراسة مكوناتها السحنية. وأُستخدِم تصنيف (Dunham, 1962) في وصف وتحديد السحنات الدقيقة.

النتائج

السحنات الصخرية

تم تقسيم صخور التكوين إلى عدد من السحنات الصخرية (Lithofacies) اعتماداً على الصفات الكيميائية والفيزيائية سيما للصخور التي تخلو أو تشح فيها المتحجرات. إذ إعتد على نسبة كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ في صخور التكوين طبقاً لعدد من الباحثين (Sanchez-Hernandez and Maurrasse, 2014; Cotillon and Rio, 1984). إذ تتراوح هذه النسبة في السجيل (Shale) أو الصخور الوحلية (Mudstone) بين (0%–10%)، بينما تتراوح نسبتها في الصخور الوحلية الجيرية أو السجيل الجيري (calcareous mudrock/calcareous shale) بين (10%–30%) وتكون نسبتها في صخور المارل (marlstone) بين (30%–60%)، بينما تتراوح نسبتها في صخور الحجر الجيري المارلي (marly-limestone) بين (60%–80%)، وتكون نسبتها في الحجر الجيري (limestone) أكثر من 80%. وقد شملت سحنة الحجر الجيري (Limestone lithofacies) وسحنة الحجر الجيري المارلي (Marly limestone lithofacies) وسحنة المارل (Marl lithofacies) التي تضم سحنتي المارل الأحمر المترققة (Laminated red marl lithofacies) وسحنة المارل الأسود المترققة (Laminated black marl lithofacies) وسحنة السجيل الجيري (Calcareous shale lithofacies).

الوصف الحقلي لمقاطع الدراسة

تتألف صخور التكوين في مقطع أزمير الذي يبلغ سمكه (6.55) متراً من تعاقب الصخور المترققة (من الأسفل نحو الأعلى) من الحجر الجيري المارلي أسود اللون إلى رمادي فاتح (اللوحة A-1، B)، ومن ثم تتبعها طبقة مترققة من المارل الأحمر تليها طبقة من الحجر الجيري المارلي الوردية اللون التي تحتوي على بقايا قشور الأسماك (اللوحة C-1). ومن ثم تتغير إلى طبقة من صخور المارل الحمراء اللون تعقبها طبقة من الحجر الجيري المارلي الرمادية إلى حمراء اللون تحتوي على بقايا قشور الأسماك. يلي هذه الطبقة تعاقب من الحجر الجيري المارلي والمارل الأسود، يليه تعاقب من المارل الأحمر والمارل الأصفر ومن ثم تليه طبقة من الحجر الجيري المارلي ذي لون أحمر فاتح يليها تعاقب من الحجر الجيري المارلي والمارل الأصفر يليه تعاقب من المارل الأصفر والرمادي. يلي هذا التعاقب طبقة من السجيل الجيري رمادية اللون ويليه تعاقب من المارل الأحمر والحجر الجيري المارلي المترقق البني اللون، ومن ثم تعقبها طبقة من المارل ذي لون رمادي فاتح تليها طبقة مترققة من المارل رمادية اللون وتعاقب من الحجر الجيري المارلي الرمادي اللون الفاتح إلى الداكن يحتوي على بقايا قشور الأسماك. وتختتم تتابعات صخور التكوين بطبقة من الحجر الجيري ووردية اللون وبعدها يظهر تكوين كوميتان الذي يتألف من المارل ذي اللون الرمادي الفاتح.

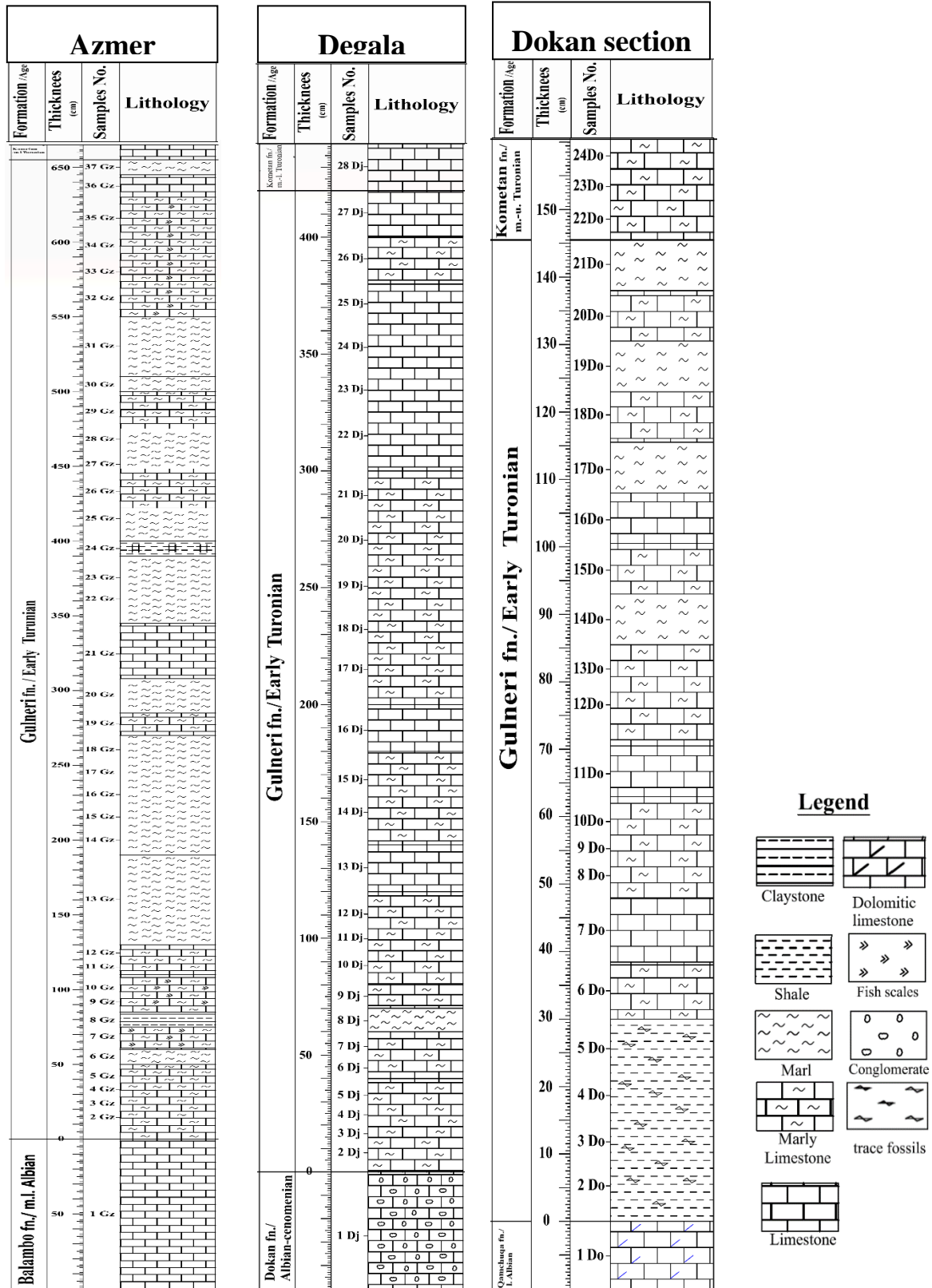
بينما تميزت صخور التكوين في مقطع دجلة الذي يبلغ سمكه 4.2 مترا بلونها الأسود الغني بالمادة العضوية إذ تتألف أولى الطبقات من الحجر الجيري المارلي الأسود (اللوحة D-1) والرمادية اللون تليها طبقة من الحجر الجيري المارلي المتصفحة الرمادية اللون (اللوحة E-1) تعقبها طبقة من المارل بلون رمادي تليها طبقات مترققة من الحجر الجيري المارلي رمادية وسوداء اللون تعقبها طبقة من الحجر الجيري الأسود يليها تعاقب من الحجر الجيري والحجر الجيري المارلي بلون اسود الى رمادي. يلي هذا التعاقب طبقة من الحجر الجيري الأسود ومن ثم يليها تعاقب من الحجر الجيري المارلي الأسود إلى الرمادي يليه الحجر الجيري المترقق الأسود اللون يعقبه الحجر الجيري المارلي الأسود ومن ثم يليه تعاقب من الحجر الجيري الرمادي الفاتح اللون. وتختتم هذه التتابعات في هذا المقطع بتعاقب من الحجر الجيري المارلي الأسود اللون مع الحجر الجيري ذي اللون الرمادي الفاتح.

أما مقطع دوكان الذي يكون يسلك (1.46) مترا فيحد تكوين كولنييري من الأسفل تكوين قمجوقة ومن الأعلى تكوين كوميتان فتمتاز صخوره بصلابتها. وتتألف أولى الطبقات لصخور التكوين في هذا المقطع من طبقتين من المارل الأسود اللون المتصفحة تليها طبقتان من المارل المتصفح على التوالي ومن ثم تليها طبقة من الحجر الجيري الأسود تعقبها طبقة من الحجر الجيري المارلي، ومن ثم تليها طبقات متعاقبة من الحجر الجيري الأسود والحجر الجيري المارلي والمارل الأسود. إذ تميزت هذه الطبقات بإحتوائها على حفر الأحياء (Burrows) التي تكون أفقية إلى مائلة ويبلغ قطرها تقريبا 1cm. وتختتم التعاقبات لصخور التكوين في هذا المقطع بطبقة من الحجر الجيري المارلي تحتوي على الكلوكونايت (اللوحة F-1)، لاحظ أيضاً الشكل (3).

السحنات الدقيقة

تم تمييز ثلاث سحنات أساسية وهي سحنة الحجر الجيري الطيني وسحنة الحجر الجيري الواكي وسحنة الحجر الجيري المرصوص وهي قسمت بدورها إلى عدة سحنات ثانوية. وقد تميزت السحنات الدقيقة بإحتوائها على الحبيبات الهيكلية التي تضم المنخربات الطافية القزمية من جنس الهيتروهلوكس (*Heterohelix*) الشائعة (اللوحة C-2) في سحنة الحجر الجيري المرصوص.

وقد لوحظ وجود فتاتات الاصداف النحيفة (Filaments) بهيئة منفردة إذ بلغ معدل طولها 5 مليمترا ومعدل سمكها 0.5 مليمترا، وتظهر في سحنات الحجر الجيري الواكي والحجر الجيري المرصوص في مقطع دجلة (اللوحة E-2). وتم تمييز المنخربات الطافية ذات الحجرات الطولية والتي قد تكون عائدة الى جنس الهيدبركلا في سحنة الحجر الجيري الطيني في مقطع أزم (اللوحة A-2) وفي سحنة الحجر الجيري الواكي في مقطع دجلة (اللوحة B-2).



الشكل 3: الأعمدة الرسوبية لمقاطع أزمير وديجلة ودوكان.

وقد لوحظ وجود وفرة نسبية عالية للراديوالاريا في مقطع أزمير مقارنة مع مقطعي دوكان وديجلة. إذ إن السحنات الدقيقة الغنية بالراديوالاريا المتمثلة بسحنتي الحجر الجيري الطيني والواكي كانت موجودة فقط في مقطع أزمير. وقد تأثرت الراديوالاريا بعملية تكون الباييريت سيما في مقطع أزمير، إذ تكون بشكل إحلال لعناصر البنية الهيكلية السليكاتية الأصلية للراديوالاريا تظهر التفاصيل الدقيقة للزخرفة (اللوحة G-2) في مقطع أزمير.

وقد لوحظ وجود الترقق المجهري بين سحنة الحجر الجيري الطيني وسحنة الحجر الجيري الواكي (اللوحة E-2) فضلا عن تشخيص بقايا عظام السمك الفوسفاتية (اللوحة F-2). كذلك تم تشخيص معدن الكلوكونايت ضمن سحنة الحجر الجيري المرصوص الحاوية على الكلوكونايت الذي تميز بلونه الأخضر الغامق إلى الأخضر الفاتح (اللوحة H-2) في الجزء العلوي من تكوين كولنييري في مقطع دوكان.

المناقشة

الأدلة على حدث نقصان الأوكسجين المحيطي-2

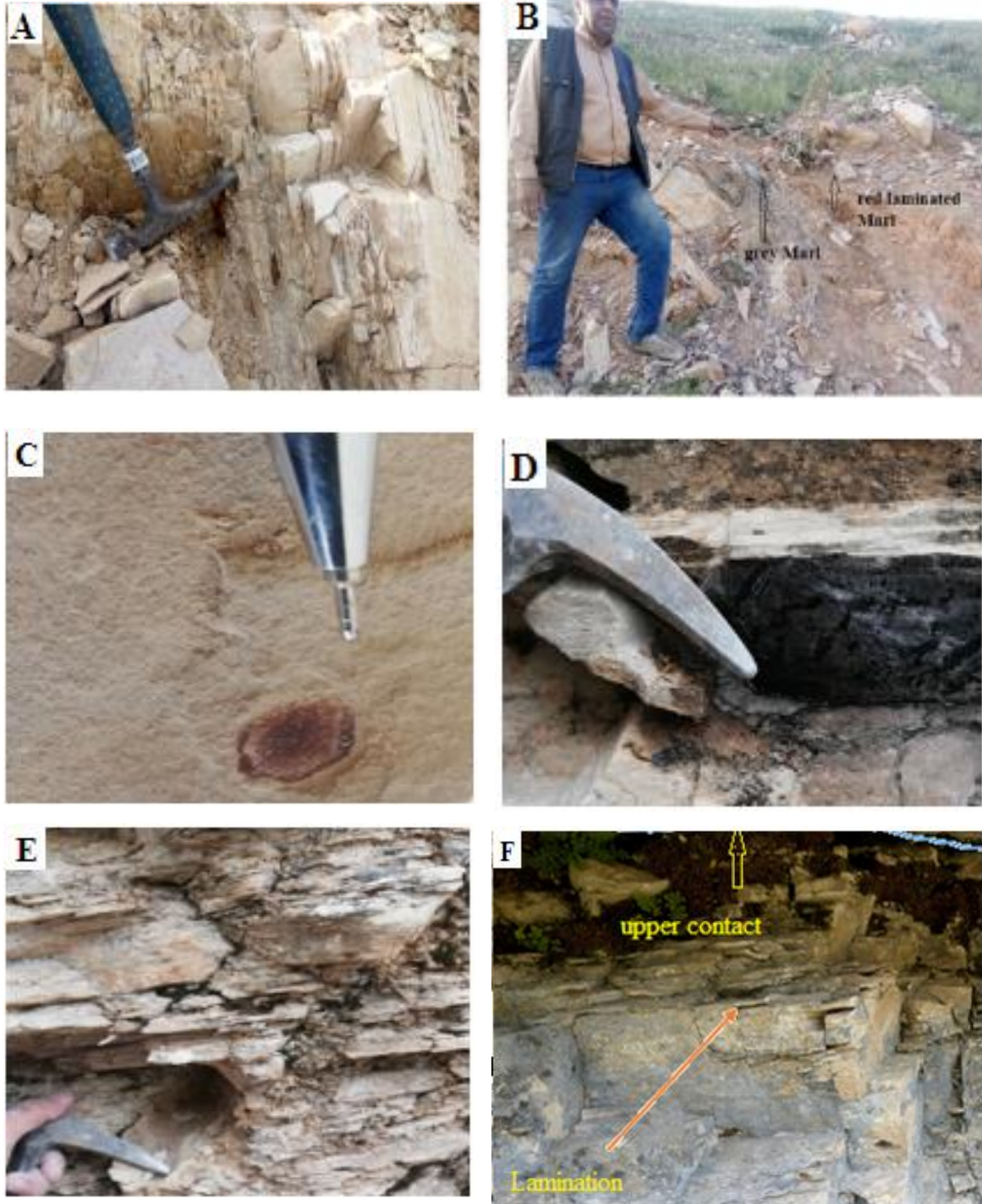
الأدلة الحقلية Field evidences:

يمكن إستنتاج الظروف الأختزالية القديمة للتعاقيات الرسوبية من خلال الملاحظات الحقلية، إذ إفتراض (Wu et al., 1994 in Liao et al., 2019a) إن الترسبات التي تتكون تحت ظروف فقدان الأوكسجين تتألف بصورة أساسية من التراكيب المترققة (lamellar structures) أي إنها تحتوي على الترققات (laminations) التي تكون ألوانها داكنة وذات محتوى عالٍ من الكربون العضوي الكلي وتفتقد إلى الأحياء القاعية والتعكرات الحياتية، بيد انها تحتوي على وفرة من السليكا أو الأحياء الغنية بالفسفور التي تترافق مع ظروف التيارات الصاعدة (Liao et al., 2019b; Quijano et al., 2012).

تشير الأدلة الحقلية التي تمثلت بوجود اللون الأسود الداكن إلى الرمادي وكذلك خاصية الترقق والتصفح (اللوحة F E, B, A-1) إلى البيئة المفتقدة للأوكسجين التي تترافق مع فقدان الأحياء القاعية والتعكرات الحياتية. كذلك يشير وجود بقايا عظام الأسماك الفوسفاتية (اللوحة F-2) وزعانف وقشور الأسماك (اللوحة C-1) إلى الظروف المفتقدة للأوكسجين. ويشير التورق الموجود في المارل الأحمر المترسب في ظروف بيئية مفتقدة للأوكسجين و/أو سامة إلى أن الترسبات الغنية بالمادة العضوية السوداء ربما قد تحولت إلى اللون الأحمر بسبب العمليات التحويرية نتيجة أكسدة وتحطم الباييريت (Gertsch et al., 2008).

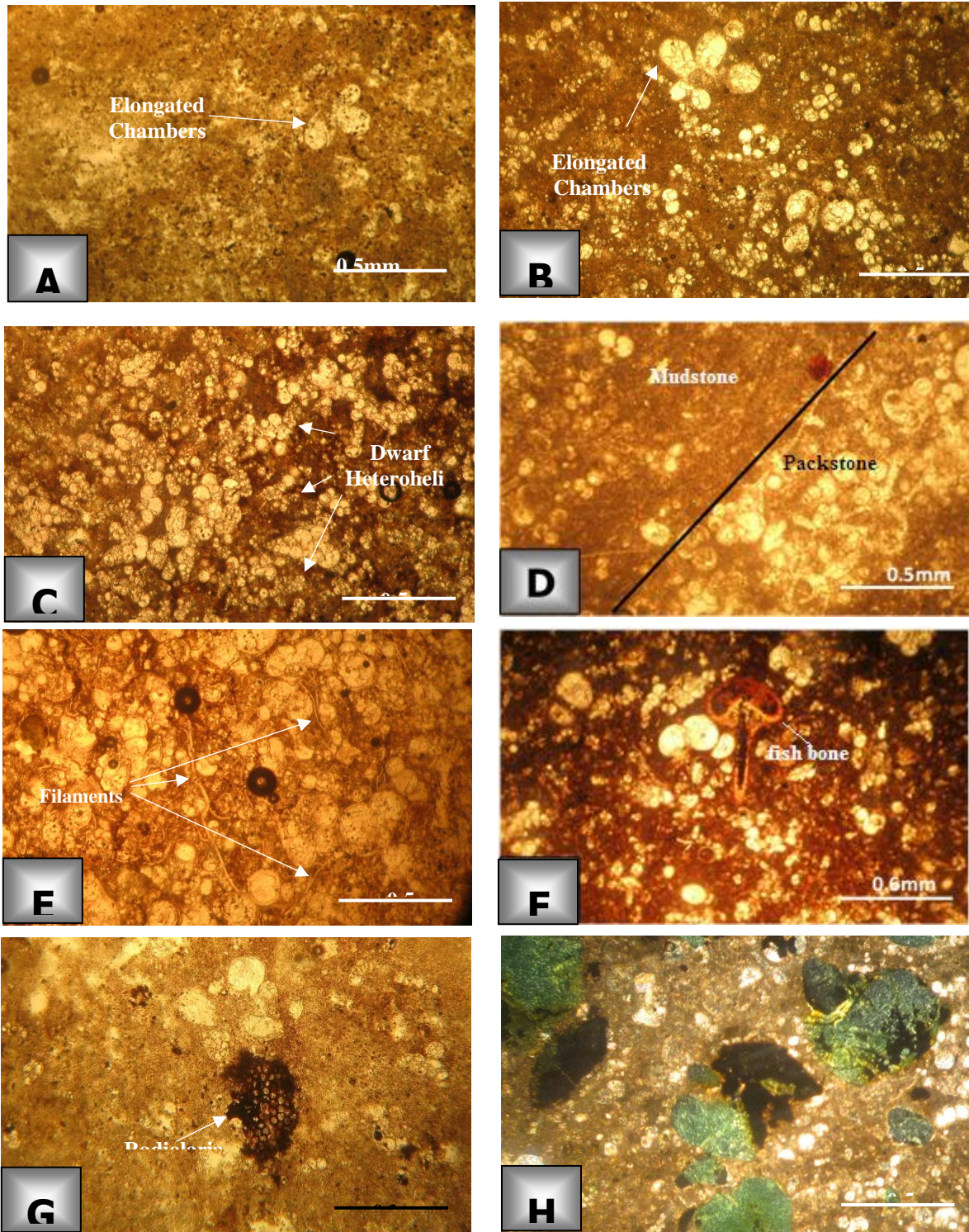
لا يرتبط وجود الترسبات الحمراء او المحمرة دائما بالمحتوى الأوكسجيني العالي في المياه القاعية، إذ لا يترسب الطين الاحمر في المحيطات الحالية مثل شمالي المحيط الأطلسي رغماً عن وجود الظروف الأوكسجينية ولذلك لا بد من عوامل إضافية أخرى لترسيب الطبقات الحمراء (Wang et al., 2005). ويُحتمل أن يكون سبب وجود اللون الأحمر في سحنة المارل المترققة في مقطع أزمير هو العمليات التحويرية المبكرة للرواسب الغنية بالمادة العضوية أو أن هذه الرواسب لم تتكون فيها المادة العضوية خلال عمليات الترسيب.

اللوحة (1)



اللوحة 1: صور حقلية لتكوين كولنييري A: التورق والتصفح لصخور المارل الوردية اللون في مقطع أزمير، B: تعاقب المارل الأحمر المتصفح والمارل الرمادي في مقطع أزمير، C: بقايا قشور الأسماك في صخور الحجر الجيري المارلي الوردية اللون في مقطع أزمير، D: الحجر الجيري المارلي الأسود الغني بالمواد العضوية في مقطع ديجلة، E: التصفح في الحجر الجيري المارلي في مقطع ديجلة، F: حد التماس العلوي لصخور التكوين مع تكوين كوميتان وظاهرة التصفح الواضح لصخور التكوين في مقطع دوكان.

(2) اللوحة



اللوحة (2) الصور مأخوذة تحت المجهر المستقطب، A: المنخربات الطافية ذات الحجرات الطولية في سحنة الحجر الجيري الطيني، B: المنخربات الطافية ذات الحجرات الطولية في سحنة الحجر الجيري الواكي، C: المنخربات الطافية من جنس الهيتروهلوكس القزمية ضمن سحنة الحجر المرصوص، D: الترقق بين سحنتي الحجر الجيري الطيني وسحنة الحجر الجيري الواكي، E: الاصداف الرقيقة المنعزلة (filaments)، F: بقايا عظام الأسماك الفوسفاتية، G: إحلال البايرايت محل الراديولاريا، H: حبيبات معدن الكلوكونايت .

الأدلة الحياتية Paleontological evidences

1. حدث الفلمنت Filaments event

تم تشخيص فتاتات الأصداف النحيفة في سحنات الحجر الجيري الواكي والحجر الجيري المرصوص لصخور التكوين في مقطع ديجلة. وتكون هذه الأصداف على هيئة خيوط (stringers) أو اهداب (filaments) رفيعة من الكالسايت يكون سُمكها أقل من (5) ملي مايكرون (اللوحة E-2). وتمثل هذه الأصداف في الدراسة الحالية على الأرجح حدث الفلمنت (filaments event). وقد تم توثيق هذه الاصداف عند الحد الزمني الفاصل بين السينوماني والتوروني، ويتم تشخيصها (filaments) عادة عن طريق دراسة الشرائح الرقيقة لنحافة أصدافها (Denne et al., 2014)، وهي تمثل مرحلة البرقة (larval stage) للمحاريات التي ربما تعود إلى (inoceramids) (Caron et al., 2006). وقد تم تشخيصها في عدد من المواقع لمحيط التيش عند الحد الفاصل بين السينوماني-التوروني (Negra et al., 2011; Caron et al., 2006). وقد أصبحت أفقاً طباقياً عالمياً يدعى (global filament event) وقد توثقت كوسيلة (proxy) مُحتملة للمتحجرات الدقيقة عند الحد الفاصل بين السينوماني-التوروني (Caron et al., 2006).

ويتميز هذا الحدث (filaments event) بقمة أو ذروة تراكم الأصداف النحيفة (filamentous allochems) بنسبة تتراوح بين (30%-40%) (Núñez-Useche et al., 2016). وتدل السحنات الغنية بهذه الأصداف على القرب من الحد الزمني الفاصل بين السينوماني والتوروني (Negra et al., 2011). كما تدل وفرتها قرب هذا الحد على الإنتاجية العضوية العالية نتيجة التغير إلى الظروف المناخية الدافئة الذي أثر بدوره على دوران الكتل المائية. يفسر سبب الوفرة العالية لهذه الاصداف (filaments) عادة كنتيجة للموت الجماعي لليرقات الثنائية الصدفة الطافية ويدل أيضا على البيئة الغنية بالمغذيات (Bomou et al., 2013; Caron et al., 2006). وقد أشار (Negra et al., 2011) إلى أن تركيز هذه الأصداف والذي يُدعى بحدث الفلمنت (filaments event) يُمثل سجلاً للتقدم البحري وتطور الظروف البحرية الطبيعية بعد الفترة الطويلة لفقدان الأوكسجين.

2. إستطالة الحجرات Chambers elongation

تم تشخيص المنخربات الطافية ذات الحجرات الطولية شعاعية الشكل بنسب قليلة في بعض سحنات الحجر الجيري الطيني والحجر الجيري الواكي في مقطعي ازمر وديجلة (اللوحة A-2, B). وعادة ماتكون هذه المنخربات نادرة في سجل المتحجرات والمحيطات الحالية ولكنها لوحظت بالقرب من الترسبات الغنية بالمادة العضوية لأحداث فقدان الأوكسجين المحيطي (OAEs) (Coccioni et al., 2006, 2007). وتشير الإستطالة في الحجرات إلى وفرة المغذيات مع قلة الأوكسجين والتكيف إستجابة لظروف إستنزاف الأوكسجين في عمود المياه (Kalanat and Vaziri-Moghaddam, 2019). إذ تعمل الاستطالة على زيادة المساحة السطحية للصدفة التي تُحسن من تبادل الغازات (Coccioni and Luciani, 2004, 2005; Premoli Silva et al., 1999).

1. حدث إنحراف الهيتيروهلخس 'Heterohelix shift'

تميزت المنخربات الطافية الموجودة في سحنتي الحجر الجيري الواكي والحجر الجيري المرصوص لصخور المارل الجيرية والمارل المترققة الغنية بالمادة العضوية في مقطعي ديجلة ودوكان بوفره الهيتيروهلسيديا وسيادة جنس

الهيتروهلكس (*Heterohelix*) التي تميزت بأحجامها الناعمة جداً (تقزمها) (اللوحة C-2)، إذ تقتقد فيهما المنخربات ذات الأحجام الطبيعية التي يبلغ حجمها أكبر من 125 ملي مايكرون وكذلك الأحياء القاعية.

تُعد صفة التقزم (dwarfism) للمنخربات الطافية سمة شائعة خلال حدث فقدان الأوكسجين OAE-2 (Coccioni and Luciani, 2004, 2005; Macleod et al., 2000). إذ ترتبط قلة حجوم المنخربات الطافية عادة مع ظروف قلة الأوكسجين وأو ظروف التغذية (eutrophic conditions) (Coccioni and Luciani, 2004, 2005).

تكون المنخربات القزمية عادة مترافقة مع حدث إنحراف الهيتروهلكس (Heterohelix shift) ولذلك يمكن استخدام هيمنة جنس *Heterohelix* كدليل على ظروف الضغط البيئي مثل الدفء المناخي (Gebhardt et al., 2020) والمياه المفتقدة للأوكسجين (anoxic) أو نقص الأوكسجين (dysoxic) وقلة دوران المياه (Keller et al., 2000; Abramovich, 2009; Coccioni and Luciani, 2004; MacLeod et al., 2000). ويشير وجود المنخربات القزمية في مقطع دجلة ودوكان إلى وجود ظروف الضغط البيئي من حيث إرتفاع درجة الحرارة ونقص الأوكسجين وزيادة مستوى غاز ثنائي أوكسيد الكربون في الجو بينما يكون الوضع (الظروف الطبيعية) مغايراً في السحنات التي تمتلك أحجاماً طبيعية للمنخربات.

إن حدث إنحراف الهيتروهلكس (Heterohelix shift) هو الزيادة السريعة في الوفرة النسبية للهيتروهلسيدا (heterohelicids) (Leckie, 1985). وقد لوحظ هذا الحدث في وسط تونس (Nederbragt and Fiorentino, 1999). ويعد هذا الحدث حدثاً عالمياً تم توثيقه في أماكن مختلفة من العالم ويعكس إتساع نطاق نقص الأوكسجين (Keller et al., 2008). إن الهيتروهلكس هي من الأجناس التي تتحمل ظروف قلة الأوكسجين، إذ تعكس الزيادة في وفرتها عند الحد بين السينوماني-التوروني في عدة مقاطع مدروسة من العالم تعزيز أو إتساع نطاق نقص الأوكسجين (Keller and Pardo, 2004; Kroon and Nederbragt, 1990; Barrera and Keller, 1990; Leckie, 1987). ويشير وجود الأنواع القزمية إلى السمك الكبير جداً لنطاق فقدان الأوكسجين (Ifrim, 2006). وتكون الزيادة السريعة في وفرة (heterohelicids) مترافقة مع أفضل تكيف لهذه الأحياء مع التغيرات البيئية السريعة من حيث الحرارة والملوحة ومستوى التغذية التي تشير إلى إنخفاض الأوكسجين في عمود المياه (Reolid et al., 2015; Caron et al., 2006).

تدل الوفرة العالية للهيتروهلسيدا على البيئة الإنتهازية وقلة محتوى الأوكسجين (Coccioni and Luciani, 2004). وتدل المكونات الهيكلية والأرضية لهذه السحنات على الترسيب في ظروف هادئة وفي بيئة الرصيف العميق والبيئة الحوضية العميقة أو بما يسمى بالرف الخارجي (outer platform) (Flügel, 2010).

2. الراديولاريا *Radiolaria*

توجد السحنات الدقيقة الغنية بالراديولاريا بسحنتي الحجر الجيري الطيني والواكي فقط في مقطع ازمر (اللوحة G-2). وقد يعود سبب ذلك الى الإختلاف العمودي والاقفي لنطاق نقص الأوكسجين (Oxygen Minimum Zone "OMZ") المرتبط بالتيارات الصاعدة (upwelling) التي تكون أكثر برودة وأقل مُحْتوى من المادة العضوية في الإتجاه البعيد عن الساحل مُقارنة بالمنطقة القريبة من الساحل التي تمتاز بوفرة الكربونات والمادة

العضوية (Zhao et al., 2019). يدل وجود الراديولاريا عادة على فترات الإغناء بالمغذيات لمياه المحيطات وبالتالي يمكن إستخدامها كمؤشرات على زيادة عمق الماء وتحسن الإتصال مع المحيطات المفتوحة (Caron et al., 2006). وقد إقترح (Vaziri-Moghaddam and Kalanat, 2020; Kalanat and Vaziri-Moghaddam, 2019) إن الطبقات التي تكون شحيحة بالمادة العضوية والتي تتميز بالوفرة العالية للراديولاريا قد ترسبت تحت سطح المياه الغنية بالمغذيات (eutrophication) نتيجة التيارات البحرية الصاعدة وحدثت تهوية ملائمة عند القاع البحري. إذ تتطابق هذه المعطيات مع تكوين كولنيري في مقطع أزمير الذي يفسر وجوده الإتجاه البعيد عن الساحل أي بإتجاه البحر المفتوح. كذلك لوحظ في مقطع أزمير تأثير الراديولاريا بعملية تكوين الباييريت الذي يحل محل البنية الهيكلية السليكاتية الأصلية للراديولاريا. إذ تبدأ عملية تكوين الباييريت (pyritization) في الجزء العلوي من عمود المياه المفتقد للأوكسجين، ويمثل تجلس أو ترسيب (settling) هياكل الراديولاريا (الغنية بالمادة العضوية) مواقع تفكك (decomposition) المادة العضوية وتعزيز إختزال بكتريا الكبريت لإنتاج الكبريتيدات (Sawłowicz and Bąk, 1997).

3. وجود بقايا الأسماك Fish remains content

توجد بقايا قشور الأسماك في صخور المارل المتطبقة الحمراء اللون (اللوحة C-1) فضلاً عن وجود البقايا العظمية للأسماك في مقطعي ديجلة ودوكان (اللوحة F-2). تكون بقايا الأسماك في صخور التكوين في مقطع أزمير غير مترافقة مع المواد الفتاتية والأحياء القاعية والمواد القارية من بقايا النباتات والحشرات مما يدل على عمق ترسباته في هذا المقطع وبعده عن أية منطقة قارية، بينما يعتقد إن البقايا العظمية للأسماك الصغيرة الحجم في مقطعي ديجلة ودوكان قد نُقلت خلال العواصف البحرية القوية والأعاصير. (Karim and Khanaqa, 2017) ويعزى وجود بقايا الأسماك عادة الى الإنتاجية العالية في سطح المياه التي توفر بيئة ملائمة لمعيشة الأسماك وعند موتها تؤدي الظروف المفتقدة للأوكسجين عند القاع الى حفظ بقاياها العظمية. إذ أن الظروف المفتقدة للأوكسجين تكون عادة مناسبة لحفظ بقايا الأسماك (Leckie et al., 1992)

الأدلة المعدنية Mineralogical evidences

لوحظ وجود معدن الكلوكونايت في بعض نماذج تكوين كولنيري لاسيما في الجزء العلوي منه في مقطع دوكان والذي يشير إلى التوقف أو البطء في عملية الترسيب. ويُحتمل أن تمثل هذه الطبقة سطح إنغمار (drowning surface)، إذ ذكر (Nielsen and Schovsbo, 2011) ان سطح الانغمار يمتاز على الاغلب بوجود الكلوكونايت والفوسفات اللذان يدل وجودهما على التكثف (condensation) وقللة معدل الترسيب (Amorosi, 1995). ويترافق الكلوكونايت بصورة عامة مع ترسبات التقدم البحري والمقاطع المكثفة (Amorosi, 1995, 1997). ويعد الكلوكونايت ناتجاً عن العمليات البحرية مكانية النشأة (marine authigenesis). وتشير حبيبات الكلوكونايت التي يكون لونها أخضراً غامقاً إلى فاتح وتمتلك أحجاماً مختلفة ويحتوي بعضها على الشقوق على الأغلب إلى عدم تأثرها بعمليات النقل إلى مسافات بعيدة (Lopez- Quiros et al., 2019)، ويُمكن إستخدام اللون الأخضر للكلوكونايت أيضاً كدليل على ظروف الأوكسدة والإختزال، إذ يُشير اللون الأخضر للحبيبات إلى ظروف بيئية أقل أوكسجينية مقارنة باللون الأصفر (Fanning et al., 1989). وفي الدراسة الحالية لم يلاحظ

ترافق وجود هذا المعدن مع ظواهر الإنكشاف السطحي لإن تكوين كوميتان الذي يعتليه قد ترسب في بيئة لحيية حوضية عميقة.

الإستنتاجات

تبين من خلال الدراسة الحالية إن ترسبات التكوين كانت سوداء إلى رمادية اللون متطبقة ومرتققة وتفتقد إلى الأحياء القاعية والتعكرات الحياتية رغماً عن إمتلاك بعض الصخور في مقطع أزمر ألوانا فاتحة إلى مُحمرة، ولكن وجود العديد من الظواهر الرسوبية والأحيائية والمعدنية تدل على ترسيب التكوين بشكل رئيس في ظروف بيئية مفتقدة للأوكسجين (Anoxic). إذ تمثلت هذه الظواهر بوجود الترققات والبقايا الفوسفاتية للأسماك والمنخربات الطولية الحجرات وإحلال الباييريات محل الراديولاريا فضلاً عن وجود المنخربات القرمية من جنس الهيتروهلوكس والأصداف النحيفة للمحاريات ومعدن الكلوكونايت لاسيما ضمن سحنات الحجر الجيري المرصوص. إذ تُشير السحنات المجهرية الغنية بالهتروهيلكس إلى حدث إنحراف الهيتروهلوكس (Heterohelix shift)، بينما تُشير السحنات المجهرية الغنية بالأصداف النحيفة إلى حدث الفلمنت (Filaments event). وتُشير هذه الظواهر بمجملها إلى إرتباطها مع حدث فقدان الأوكسجين المحيطي-2. لذلك يُمكن الإستنتاج إلى أن تكوين كولنيري يمثل حدث فقدان الأوكسجين العالمي-2 عند الحد الفاصل بين السينوماني-التوروني.

المصادر

- Al-Lhaebi, S.F., Al-Badrani, O.A., Al-Juboury, A.I. and Mahanipour, A., 2020. Paleoclimatic insights on the Cenomanian-Turonian oceanic anoxic event (OAE-2) from northern Iraq based on calcareous nannofossils and geochemical data. Iraqi Geological Journal, Vol. 53, pp. 68-86.
- Al-Sagri, K.E.A., 2015. Linking the Timing of Deposition and Organic Matter Richness of the Gulneri Formation of Northern Iraq to the Global Oceanic Anoxic Event 2 (OAE 2): Implications to better constrain the Depositional Models of Iraqi's Oil Source Beds and their Timing of Deposition. Iraqi Journal of Science, Vol. 56, No. 3A, pp. 2007-2023.
- Al-Sharhan, A.S. and Nairn, A.E.M., 1988. A review of the cretaceous formations in the Arabian Peninsula and gulf: part II. Mid-Cretaceous (Wasia group) stratigraphy and palaeogeography. Journal of Petroleum Geology, Vol. 11, pp. 89-112.
- Amorosi, A., 1995. Glaucony and sequence stratigraphy: a conceptual framework of distribution in siliciclastic sequences. J. Sediment. Res., Sect. B Stratigr. Glob. Stud., Vol. 65, pp. 419-425.
- Amorosi, A., 1997. Detecting compositional, spatial and temporal attributes of glaucony, a tool for provenance research. Sediment. Geol., Vol. 109, pp. 135-153.
- Arthur, M.A. and Premoli-Silva, I., 1982. Development of widespread organic carbon-rich strata in Mediterranean Tethys. In: Nature and Origin of Cretaceous Carbonrich Facies (Schlanger, S.O. and Cita, M.B., Eds.). Academic Press, London, pp. 7-54.

- Arthur, M.A., Dean, W. E. and Pratt, L. M., 1988. Geochemical and climatic effects of increased marine organic burial at the Cenomanian–Turonian boundary. *Nature*, Vol. 335, pp. 714-717.
- Barrera, E., Keller, G., 1990. Foraminiferal stable isotope evidence for gradual decrease of marine productivity and Cretaceous species survivorship in the earliest Danian. *Paleoceanography and Pleoclimatology*, Vol. 5, pp. 867–890.
- Barron E.J., Peterson, W. H., 1989. Model Simulation of the Cretaceous Ocean Circulation. *Science*, Vol. 244, pp. 684-686.
- Bellen, R.C. Van. Dunnington, H.V., Wetzel, R., Morton, D., 1959. *Lexique Stratigraphique International*, V.III: Asie, Fasc. 10 a, Iraq, 333p.
- Berner, R.A., 2001. Modeling atmospheric O₂ over Phanerozoic time. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 65, pp. 685–694.
- Bomou, B., Adatte, T., Tantawy, A.A., Mort, H., Fleitmann, D., Huang, Y. and Föllmi, K.B., 2013. The expression of the Cenomanian–Turonian oceanic anoxic event in Tibet. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Vol. 369, pp. 466–481.
- Buday, T., 1980. *The Regional Geology of Iraq*, Vol. 1, Stratigraphy and Palaeogeography, Dar Al-Kutub Publishing House. Mosul University. Mosul, Iraq, 445p.
- Caron, M., Dall’Agnolo, S., Accarie, H., Barrera, E., Kauffman, E. G., Amédéo, F. and Robaszynski, F. 2006. High-resolution stratigraphy of the Cenomanian–Turonian boundary interval at Pueblo (USA) and wadi Bahloul (Tunisia): stable isotope and bio-events correlation. *Geobios*, Vol. 39, pp. 171-200.
- Caron, M., Robaszynski, F., Amedeo, F., Baudin, F., Deconinck, J.F., Hochhuli, P., von Salis-Perch Nielsen, K. and Tribovillard, N., 1999. Estimation de la duree de l'evenement anoxique global au passage Cenomanien/Turonien; approche cyclostratigraphique dans la formation Bahloul en Tunisie centrale. *Bulletin de la Société géologique de France*, Vol. 170, pp. 145-160.
- Coccioni, R. and Luciani, V., 2004. Planktonic foraminifera and environmental changes across the Bonarelli Event (OAE-2, latest Cenomanian) in its type area: a high-resolution study from the Tethyan reference Bottaccione section (Gubbio, Central Italy). *Journal of Foraminiferal Research*, Vol. 34, pp. 109–129.
- Coccioni, R. and Luciani, V., 2005. Planktonic foraminifera across the Bonarelli Event (OAE-2, latest Cenomanian): the Italian record. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Vol. 224, pp. 167–185.
- Coccioni, R., Luciani, V. and Marsili, A., 2006. Cretaceous anoxic events and radially elongated chambered planktonic foraminifera: paleoecological and paleoceanographic implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Vol. 235, pp. 66–92.
- Coccioni, R., Premoli Silva, I., Marsili, A. and Verga, D., 2007. First radiation of Cretaceous planktonic foraminifera with radially elongate chambers at Angles

- (Southeastern France) and biostratigraphic implications. *Rev. Micropaleontology*, Vol. 50, pp. 215–224.
- Cotillon, P. and Rio, M., 1984. Cyclic sedimentation in the Cretaceous of Deep Sea Drilling Project sites 535 and 540 (Gulf of Mexico), 534 (Central Atlantic) and in the Vocontian Basin (France). *Init. Rep. DSDP*, Vol. 77, pp. 339-376.
- Denne, R.A., Hinote, R.E., Breyer, J. A., Kosanke, T. H., Lees, J. A., Engelhardt-Moore, N., Spaw, J. M. and Tur, N., 2014. The Cenomanian-Turonian Eagle Ford Group of South Texas: Insights on timing and paleoceanographic conditions from geochemistry and micropaleontologic analyses. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Vol. 413, pp. 2–28.
- Dunham, R.J., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional textures. In: Ham, W.E. (Ed.), *Classification of carbonate rocks a Symposium*. American Association of Petroleum Geologists, Memoir, Vol. 1, pp. 108–121.
- Fanning, D.S., Rabenhorst, M.C., May, L. and Wagner, D.P., 1989. Oxidation stage of iron in glauconite from oxidized and reduced zones of soil-geologic columns. *Clays and Clay Minerals*, Vol. 37, pp. 59–64.
- Flügel, E., 2010. *Microfacies of Carbonate Rocks*, Second edition, Springer Heidelberg, 1006p.
- Föllmi, K.B. and Delamette, M., 1991. Model simulation of Mid-Cretaceous ocean circulation: technical comments. *Science*, Vol. 251, pp. 94–95.
- Fouad, S.F.A., 2015. Tectonic map of Iraq, scale 1: 1000 000, 3rd edition. *Iraqi Bulletin of Geology and Mining*, Vol. 11, pp. 1-7.
- Gebhardt, H., Akande, S.O. and Adekeye, O.A., 2020. Cenomanian to Coniacian sea-level changes in the Lower Benue Trough (Nkalagu Area, Nigeria) and the Eastern Dahomey Basin: palaeontological and sedimentological evidence for eustasy and tectonism. *Geological Society, London, Special Publications*, Vol. 498, pp. 233-255.
- Gertsch, B., Keller, G., Adatte, T., Berner, Z., Kassab, A.S., Tantawy, A.A.A., El-Sabbagh, El. and Stueben, D., 2008. Cenomanian-Turonian transition in a shallow water sequence of the Sinai, Egypt. *International Journal of Earth Science*, Vol. 99, pp. 165-182.
- Giorgioni, M., 2012. Long-and short-term changes in Tethyan oceanography and in global carbon cycling during Albian-Cenomanian time. Ph.D. Thesis. ETH Zurich.
- Hasegawa, T., 1997. Cenomanian–Turonian carbon isotope events recorded in terrestrial organic matter from northern Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Vol. 130, pp. 251-273.
- Hollis, C. and Sharp, I., 2011. Albian–Cenomanian–Turonian carbonate siliciclastic systems of the Arabian plate: advances in diagenesis, structure and reservoir modeling, (EAGE/Geological Society of London). *Petroleum Geoscience*, Vol. 17, pp. 207–209.
- Ifrim, C., 2006. The Fossil Lagerstätte at Vallecillo, North-Eastern Mexico: Pelagic Plattenkalks related to Cenomanian–Turonian Boundary Anoxia. PhD (ix 151pp):

- Unpublished PhD thesis, University of Karlsruhe, <http://digbib.ubka.unikarlsruhe.de/volltexte/1000004528>
- Ifrim, C., 2015. Fluctuations of the oxygen minimum zone at the end of Oceanic Anoxic Event 2 in the Gulf of Mexico and the response of ammonites. *Swiss Journal of Palaeontology*, Vol. 134, pp. 217-225.
- Jassim, S.Z. and Goff J. C., 2006. *Geology of Iraq*. Published by Dolin, Prague and Moravian Museum, Berno. 341p.
- Jenkyns, H.C., 1980. Cretaceous anoxic events: from continents to oceans. *J. Geol. Soc.*, London, Vol. 137, pp. 171-188.
- Kalanat, B. and Vaziri-Moghaddam, H., 2019. The Cenomanian/Turonian boundary interval deep-sea deposits in the Zagros Basin (SW Iran): Bioevents, carbon isotope record and palaeoceanographic model. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Vol 533, 109238 <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2019.109238>
- Karim, K.H. and Khanaqa, P.A., 2017. Stratigraphy and Structure of the Southeastern Part of PiraMagroon Anticline, Sulaimani Area, Northeast Iraq. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, Vol. 154, pp. 27-39.
- Karim, K.H., Salih, A.O. and Ahmad, S.H., 2013. Stratigraphic Analysis of Azmir–Goizha Anticline by Nannofossils. *Journal of Zankoy Sulaimain (JZS)*, Part A, Vol. 15, pp. 103-124.
- Keller, G. and Abramovich, S., 2009. Lilliput effect in late Maastrichtian planktic foraminifera: Response to environmental stress. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Vol. 284, pp. 47-62.
- Keller, G. and Pardo, A., 2004. Paleoecology of the Cenomanian-Turonian Stratotype Section (GSSP) at Pueblo, Colorado. *Marine Micropaleontology*, Vol. 51, pp. 95-128.
- Keller, G., Tantawy, A.A., Berner, Z., Adatte, T., Chellai, E.H. and Stueben, D., 2008. Oceanic events and biotic effects of the Cenomanian–Turonian anoxic event, Tarfaya Basin, Morocco. *Cretaceous Research*, Vol. 29, pp. 976-994.
- Kolonis, S., Wagner, T., Forster, A., Sinninghe Damsté, J.S., Walsworth-Bell, B., Erba, E., Turgeon, S., Brumsack, H.-J., Chellai, E.H., Tsikos, H., Kuhnt, W. and Kuypers, M.M., 2005. Black Shale deposition on the NW African Shelf during the Cenomanian/ Turonian Oceanic Anoxic Event: climate coupling and global organic carbon burial. *Paleoceanography*, Vol. 20. PA1006, doi: 10.1029/2003PA000950.
- Kroon, D. and Nederbragt, A. J., 1990. Ecology and paleoecology of triserial planktic foraminifera. *Marine Micropaleontology*, Vol. 16, pp. 25–38.
- Kuroda, J., Ogawa, N.O., Tanimizu, M., Coffin, M.F., Tokuyama, H., Kitazato, H. and Ohkouchi, N., 2007. Contemporaneous massive subaerial volcanism and Late Cretaceous oceanic anoxic event 2. *Earth Planet. Sci. Lett.*, Vol. 256, pp. 211–223.
- Kuypers, M.M., Pancost, R.D. and Sinninghe Damsté, J.S., 1999. A large and abrupt fall in atmospheric CO₂ concentration during Cretaceous times. *Nature*, Vol. 399, pp. 342–344.

- Leckie, R.M., 1985. Foraminifera of the Cenomanian-Turonian boundary interval, Greenhorn Formation, Rock Canyon Anticline, Pueblo, Colorado. In Fine-grained deposits and biofacies of the Cretaceous Western Interior Seaway-evidence of cyclic sedimentary processes (eds. Pratt, L., Kauffman, E. & Zelt, F.), Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Field Trip Guidebook, Vol. 4, pp.139–150.
- Leckie, R.M., 1987. Paleocology of mid-Cretaceous planktonic foraminifera: a comparison of open ocean and epicontinental sea assemblages. *Micropaleontology*, Vol. 33, pp. 164–176.
- Leckie, D.A., Singh, C., Bloch, J., Wilson, M., Wall, J., 1992. An anoxic event at the Albian –Cenomanian boundary: the Fish Scale Marker Bed, northern Alberta, Canada. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Vol. 92, pp. 139–166.
- Liao, Z.W., Hu, W.X., Cao, J., Wang, X.L. and Hu, Z.Y., 2019a. Petrologic and geochemical evidence for the formation of organic-rich siliceous rocks of the Late Permian Dalong Formation, Lower Yangtze region, southern China. *Marine and Petroleum Geology*, Vol. 103, pp. 41–54.
- Liao, Z. W., Hu, W.X., Fu, X.G. and Hu, Z.Y., 2019b. Geochemistry of upper Permian siliceous rocks from the Lower Yangtze region, southeastern China: implications for the origin of chert and Permian ocean chemistry. *Petroleum Science*, Vol. 16, pp. 252-266.
- Lopez-Quiros, A., Escutia, C., Sanchez-Navas, A., Nieto, F., Garcia-Casco, A., Martin-Algarra, A., Evangelinos, D. and Salabarnada, A., 2019. Glaucony authigenesis, maturity and alteration in the Weddell Sea: an indicator of paleoenvironmental conditions before the onset of Antarctic glaciation. *Sci. Rep.* Vol. 9, pp. 1–12.
- Macleod, N., Ortiz, N., Fefferman, N., Clyde, W., Schuller, C. and Maclean, J., 2000. Phenotypic response of Foraminifera to episodes of global environment change. In: Culver, S.J., Rawson, P. (Eds.), *Biotic Response to Global Change: The Last 145 Million Years*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 51–78
- Nederbragt, A.J. and Fiorentino, A., 1999. Stratigraphy and palaeoceanography of the Cenomanian–Turonian Boundary Event in Oued Mellegue, north-western Tunisia. *Cretaceous Research*, Vol. 20, pp. 47–62.
- Negra, M.H., Zagrarni, M.F., Hanini, A. and Strasser, A., 2011. The filament event near the Cenomanian–Turonian boundary in Tunisia: filament origin and environmental signification. *Bulletin. Société Géologique de France*, Vol. 182, pp. 507–519.
- Nielsen, A.T., Schovsbo, N.H., 2011. The Lower Cambrian of Scandinavia: Depositional environment, sequence stratigraphy and palaeogeography. *Earth-Sci. Rev.* vol.107, pp.207–310.
- Núñez-Useche, F., Canet, C., Barragán, R. and Alfonso, P., 2016. Bioevents and redox conditions around the Cenomanian-Turonian anoxic event in Central Mexico: *Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology*, Vol. 449, pp. 205-226.

- Paul, C.R.C., Lamolda, M.A., Mitchell, S.F., Vaziri, M.R., Gorostidi, A. and Marshall, J.D., 1999. The Cenomanian–Turonian boundary at Eastbourne (Sussex, UK): a proposed European reference section. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Vol. 150, pp. 83–121.
- Poulsen C.J., Seidov D., Barron, E.J. and Peterson, W.H., 1998. The impact of paleogeographic evolution on the surface oceanic circulation and the marine environment within the mid-Cretaceous Tethys: *Paleoceanography*, Vol. 13, pp. 546-559.
- Premoli Silva, I., Erba, E., Salvini, G., Locatelli, C. and Verga, D., 1999. Biotic changes in Cretaceous oceanic anoxic events of the Tethys. *Journal of Foraminiferal Research*, Vol. 29, pp. 352–370.
- Puc at, E., Lecuyer, C., Sheppard, S.M.F., Dromart, G., Reboulet, S. and Grandjean, P., 2003. Thermal evolution of Cretaceous Tethyan marine waters inferred from oxygen isotope composition of fish tooth enamels. *Paleoceanography*, Vol. 18, pp. 1–12.
- Quijano, M.L., Castro, J.M., Pancost, R.D., de Gea, G.A., Najarro, M., Aguado, Rosales, I. and Martín-Chivelet, J., 2012. Organic geochemistry, stable isotopes, and facies analysis of the Early Aptian OAE– New records from Spain (Western Tethys). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Vol. 365, pp. 276–293.
- Reolid, M., Sánchez-Qui n nez, C.A., Alegret, L. and Molina, E., 2015. Palaeoenvironmental turnover across the Cenomanian-Turonian transition in Oued Bahloul, Tunisia: foraminifera and proxies geochemical. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Vol. 417, pp. 491–510.
- Sageman, B.B., Rich, J., Arthur, M.A., Dean, W.E., Savrda, C.E. and Bralower, T. J., 1998. Multiple Milankovitch cycles in the Bridge Creek Limestone (Cenomanian–Turonian), Western Interior Basin. *SEPM, Concepts in Sedimentology and Paleontology*, Vol. 6, pp.153–171.
- Sanchez-Hernandez, Y. and Maurrasse, F.J.M., 2014. Geochemical characterization and redox signals from the latest Barremian to the earliest Aptian in a restricted marine basin: El Pui section, Organya Basin, south-central Pyrenees. *Chem. Geol.*, Vol. 372, pp. 12-31.
- Saw owicz, Z. and B k M., 1997. Pyritization of Radiolaria in anoxic water column, anoxic deposits of the Cenomanian/Turonian Boundary in the Pieniny Klippen Belt, Poland. *Mineral. Slovaca*, Vol. 29, pp. 273-274
- Schlanger, S.O. and Jenkyns, H.C., 1976. Cretaceous anoxic events: causes and consequences. *Geol. Mijnb.*, Vol. 55, pp. 179–184.
- Smrzka, D., Zwicker, J., Kolonic, S., Birgel, D., Little, C.T.S., Marzouk, A.M., Chellai, E.H., Wagner, T. and Peckmann, J., 2017. Methane seepage in a Cretaceous greenhouse world recorded by an unusual carbonate deposit from the Tarfaya Basin, Morocco. *The Depositional Record*, Vol. 3, pp. 4–37
- Snow, L.J., Duncan, R.A. and Bralower, T.J., 2005. Trace element abundances in the Rock Canyon Anticline, Pueblo, Colorado, marine sedimentary section and their

- re-relationship to Caribbean plateau construction and ocean anoxic event 2. *Paleoceanography* 20, PA3005. , doi: 10.1029/ 2004PA001093.
- Soua, M., 2010. Productivity and bottom water redox conditions at the Cenomanian–Turonian Oceanic Anoxic Event in the southern Tethyan margin, Tunisia. *Rev. méditerranéenne de l'environnement*, Vol. 4, pp. 653–664.
- Soua, M., Zaghib-Turki, D., Ben Jemia, H., Smaoui, J. and Boukadi, A., 2011. Geochemical record of the Cenomanian–Turonian anoxic event in Tunisia: is it correlative and isochronous to the biotic signal? *Acta Geol. Sinica-English Ed.*, Vol. 85, pp. 1310–1335.
- Stein, R., 1990. Organic carbon content/sedimentation rate relationship and its paleoenvironmental significance for marine sediments. *Geo-Marine Letters*, Vol. 10, pp. 37–44.
- Sugarman, P.J., Miller, K.G., Olsson, R.K., Browning, J.V., Wright, J.D., De Romero, L.M., White, T.S., Muller, F.L. and Uptegrove, J., 1999. The Cenomanian/Turonian carbon burial event, Bass River, NJ, USA: Geochemical, paleoecological, and sea-level changes. *Journal of Foraminiferal Research*, Vol. 29, pp. 438–452.
- Takashima, R., Nishi, H., Hayashi, K., Okada, H., Kawahata, H., Yamanaka, T., Fernando, A.G., and Mampuku, M., 2009. Litho-, bio- and chemostratigraphy across the Cenomanian-Turonian boundary (OAE-2) in the Vocontian Basin of southeastern France. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Vol. 272, pp. 61-74.
- Takashima, R., Nishi, H., Huber, B.T. and Leckie, R.M., 2006. Greenhouse world and the Mesozoic ocean. *Oceanography*, Vol. 19, pp. 82-92.
- Turgeon, S.C. and Creaser, R.A., 2008. Cretaceous oceanic anoxic event 2 triggered by a massive magmatic episode. *Nature*, Vol. 454, pp. 323–326.
- Tyson, R.V. and Pearson, T.H., 1991. Modern and ancient continental shelf anoxia: an overview. In: Tyson, R.V., Pearson, T.H. (Eds.), *Modern and Ancient Continental Shelf Anoxia*. *Geol. Soc. Spec. Publ.*, Vol. 58, pp. 1–26.
- Vaziri-Moghaddam H., and Kalanat, B., 2020. Oxygen level, primary productivity, and water turbulence during the OAE-2 interval of Zagros Basin (SW Iran): Benthic foraminiferal variations in the carbonate microfacies. *Gondwana Research*, Vol. 83, pp.1-15.
- Wang, C.S., Hu, X.M., Sarti, M., Scott, R.W. and Li, X.H., 2005. Upper Cretaceous oceanic red beds in southern Tibet: a major change from anoxic to oxic, deep-sea environments. *Cretaceous Research*, Vol. 26, pp. 21–32.
- Zhao, S.-Z., Li, Y., Min, H.-J., Wang, T., Nie, Z., Zhao, Z.-Z., Qi, J.-Z., Wang, J.-C. and Wu, J.-P., 2019. Development of Upwelling during the Sedimentary Period of the Organic-Rich Shales in the Wufeng and Longmaxi Formations of the Upper Yangtze Region and Its Impact on Organic Matter Enrichment. *J. Mar. Sci. Eng.*, Vol. 7, pp. 99. <https://doi.org/10.3390/jmse7040099>.