

دراسة بيوستراتيغرافية وبالويكولوجية لرسوبات الإيوسين في القسم الجنوبي الغربي من السلسلة التدمرية (جبل زبيدة)، سورية

سامر محمد كنجو¹

¹ أستاذ مساعد، قسم الجيولوجيا، كلية العلوم، جامعة دمشق.

samer.kenjo@damascusuniversity.edu.sy

الملخص

أجريت دراسة بيوستراتيغرافية وكمية باستخدام أنواع النانوفوسيل الكلسية لرسوبات الإيوسين في مقطع الصفا في الجزء الجنوبي الغربي من السلسلة التدمرية، بهدف تحديد أعمارها بدقة واستقصاء التغيرات الإيكولوجية القديمة التي ميزت عصر الإيوسين. تميزت هذه الرسوبات بوجود تسعة أحداث بيولوجية تضمنت ثمانية أحداث ظهور أخير للأنواع: (*Praeprinsius*) *Discoaster kupperi*, *tenuiculus*, *Neochiastozygus perfectus* *Sphinolithus stellatus*, *Neochiastozygus Cribrocentrum reticulatum*, *Chiasomalithus grandis*, *Chiasomalithus solitus*, *modestus*، وظهر أول وحيد للنوع *Cribrocentrum reticulatum*. قادت عملية الترابط البيوستراتيغرافي مع الحوض الغربي للمتوسط لتحديد حصول عدم توافق في أحداث ظهور واختفاء بعض الأنواع (*Cribrocentrum reticulatum*)، وغياب النطاق NNTe10 نتيجة عدم تسجيل ظهور الأنواع الدالة التي تميزه وهي *Sphinolithus furcatolithaides*, *Helicosphera comacta*, *Helicosphera reticulate*, *Blackites gladius* أظهرت معالجة البيانات الكمية الرياضية لتغيرات النسب المئوية لأنواع النانوفوسيل الكلسية الدالة مناخيا، لكون مياه البحر كانت أكثر برودة خلال الإيوسين مع ملاحظة اتجاه عام للتبريد باتجاه الحد بين الإيوسين الأوسط/الأعلى. استخدمت طريقة تحاليل المكونات الأساسية لتحديد العوامل البيئية الأساسية التي ميزت فترة الإيوسين مشيرة لوجود عاملين أساسيين، العامل الأول والمرتبطة بتغيرات مستوى مياه البحر، في حين يوافق العامل الثاني تغيرات درجة حرارة مياه البحر.

تاريخ الإيداع: 2024/01/02

تاريخ الموافقة: 2024/01/24



حقوق النشر: جامعة دمشق -

سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق

النشر بموجب الترخيص

CC BY-NC-SA 04

الكلمات المفتاحية: إيوسين، النانوفوسيل الكلسية، بيوستراتيغرافيا، بالويكولوجية، مقطع

الصفا

Biostratigraphic and paleoecological study of Eocene sediments in the southwestern part of the Palmyra chain (Jabal Zubaydah), Syria

Samer Mohammad Kenjo¹

¹ Assistant professor in department of geology/Faculty of sciences/ Damascus university. samer.kenjo@damascusuniversity.edu.sy

Abstract

A quantitative and biostratigraphical study is prepared by using the calcareous nannofossils for the sediments of Eocene in Safa section in the southern west part of Palmyra chain to identify their ages and investigate the paleo-ecological changes characterized the Eocene sediments. Nine bioevents are identified in these sediments (the last occurrence (LO) of eight species: *Praeprinsius tenuiculus*, *Neochiastozygus perfectus*, *Discoaster kupperi*, *Cribozentrum reticulatum*, *Sphinolithus stellatus*, *Neochiastozygus modestus*, *Chiasomalithus grandis*, *Chiasomalithus solitus*, and the first occurrence (FO) of *Cribozentrum reticulatum*. The biostratigraphical correlation with the western Mediterranean basin gave the presence of diachronism in the bioevents of appearance and disappearance of some species like *Cribozentrum reticulatum*, the absence of NNTe10 biozone cause the absence of its index species (*Sphinolithus furcatolithaides*, *Helicosphera comacta*, *Helicosphera reticulate*, *Blackites gladius*) in Safa section. The retreat of mathematic quantitative data of percentage changes of climatic index species of calcareous nannofossils indicate that the seawater was colder during the Eocene with general cooling trend toward the middle/upper Eocene boundary. The principal components analysis method was used to determine the essential environmental factors that characterized the Eocene period, indicating the presence of two primary factors. The first factor is related to changes in sea water level, while the second factor corresponds to changes in sea water temperature.

Received :2024/01/02

Accepted:2024/01/24



Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA

Key words: Eocene, Calcareous nannofossils, Biostratigraphy, Paleoecological, Safa section

1. مقدمة:

يتميز دور الباليوجين عالميا بكونه فترة تغيرات مناخية، تمثلت بالانتقال من فترة دافئة باتجاه مرحلة جليدية تراكمت مع امتداد واضح للجليد في المنطقة القطبية (Zachos et al., 2001).

يبدأ عصر الإيوسين بحدث مناخي مهم تجلى بالارتفاع السريع بدرجة حرارة مياه المحيطات على حده الأسفل مع الباليوسين، لتهيمن فترة من درجة الحرارة العالية خلال القسم الأدنى من الإيوسين والممتد بين 55-50 مليون سنة حسب دراسة (Zachos et al., 2001). أدت هذه الاضطرابات والتغيرات في البحار القديمة لصعوبة إنشاء نطاقات متكاملة لرسوبات الإيوسين عالميا (Okada and Bukry, 1980; Martini, 1971).

يبدأ النظام البيئي بالتغير باتجاه أعلى الإيوسين مع اتجاه عام بتناقص واضح في درجة الحرارة لتسيطر فترة جليدية في المنطقة القطبية الجنوبية على الحد بين الإيوسين والأوليغوسين منذ حوالي 34 مليون سنة (Lear et al., 2000; Zachos et al., 2001; Miller et al., 2009).

بالمقابل أشارت العديد من الدراسات العالمية لكون مقدار الانخفاض الأعلى في درجة الحرارة خلال الإيوسين الأوسط بلغ حوالي 7 درجات مئوية (Zachos et al., 2001; Miller et al., 1987).

أشارت مجموعة من الدراسات استنادا لتحاليل النظائر الثابتة للأوكسجين لتتناقص واضح في قيم النسبة النظائرية له في العديد من المواقع العالمية ترافق مع حصول شواذ حراري كبير تمثل بارتفاع درجة الحرارة 4 درجات مئوية حوالي 41 مليون سنة (Bohaty and Zachos, 2009, 2003).

حديثا استخدمت مستحاثات النانوفوسيل الكلسية في دراسة التغيرات البيولوجية القديمة لمياه المحيطات خلال الإيوسين وأظهرت أهمية تطبيقاتها في تحديد تغيرات درجة حرارة المياه السطحية والمتوسطة العمق للمحيطات (Wei and Wise, 1990a; Wei et al., 1992; Bralower, 2002; Persico and Villa, 2004; Villa and Persico, 2006). أظهرت الدراسات الحديثة هيمنة فترة حارة على الحد الأدنى للإيوسين مع تزايد واضح في مستوى ماء البحر (Wang et al., 2023; Villegas et al., 2023).

تم تحديد أربعة نطاقات تميز الإيوسين في سيناء بمصر مع ملاحظة حصول عدم توافق في ظهور بعض أحداث النانوفوسيل الكلسية (Shama, 2022).

حاليا يتم استخدام أنواع النانوفوسيل الكلسية كأهم معيار في الدراسات المناخية القديمة وتحديد أعمار رسوبات الثلاثي بشكل عام والإيوسين بشكل خاص (Wang et al., 2023; Villegas et al., 2023).

Shahzad et al., 2023; Pige te al., 2023; Mahmoud et al., 2023; Mandur et al., 2022; Meesaoud et al., 2023 في سوريا، تم إجراء العديد من الدراسات السابقة والتي تركزت بشكل أساسي على الوصف الستراتيغرافي لتوضعات الباليوجين والذي تم تقسيمه للعديد من التشكيلات استنادا للتغيرات السحنية واختلاف المحتوى المستحاثي ضمنها (المذكرة الإيضاحية لرقعة زبيدة، 2011). أظهرت أولى الخرائط الجيولوجية توضعات تحوي على النموليت أعطتها عمر جيولوجي يعود للباليوجين في السلسلة التدمرية (Dubertret, 1933).

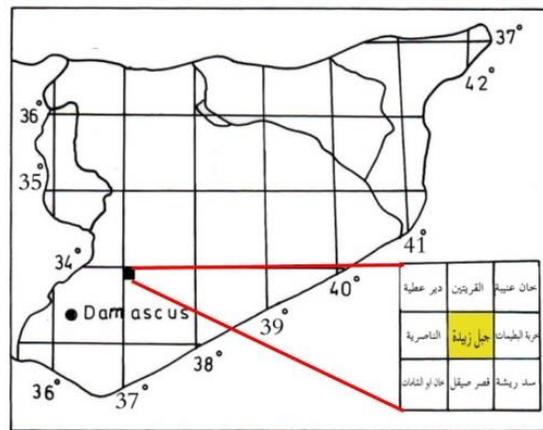
محليا قسمت رسوبات الباليوجين في السلسلة التدمرية إلى تشكيلتين (الأراك/إيوسين اسفل/، الأبيض) ولثلاث تحت تشكيلات (تحت تشكيلة الباردة/باليوسين- إيوسين أسفل/، وتحت تشكيلتي الأبيض الموافقتين مجال زمني يمتد اعتبارا من أسفل الإيوسين الأعلى حتى أعلى الأوليغوسين).

أظهرت دراسة ترسيبية وبيوستراتيغرافية لرسوبات الباليوجين لكون الثغرة الستراتيغرافية أكثر أهمية في نهوض حلب مقارنة مع القسم الشمالي الغربي من السلسلة التدمرية الشمالية، وتم تحديد نطاقات النانوفوسيل الكلسية من النطاق NP6 حتى نطاق NP20/NP19 المميزة لرسوبات الباليوجين في منطقتي الدراسة السابقتين (يزبك، 2023).

تفتقر رسوبات الباليوجين (الإيوسين) لدراسات بيئية معمقة باستخدام النانوفوسل الكلسية في السلسلة التدمرية، حيث اعتمد على دراسة بعض أنواع المنخربات لتحديد أعمار التشكيلات المختلفة وبعض العينات الجهرية كصفحيات الغلاصم وعضديات الأرجل، وأهملت الدراسات البيئية القديمة، وبالتالي ستركز هذه الدراسات على إجراء دراسة كمية رياضية لأنواع الكوكوليتات التي تميز الفترة المدروسة والتي استخدمت عالمياً تغيرات غزاراتها كمعيار لإعادة بناء التغيرات البيئية القديمة وتحديد التغيرات المناخية القديمة التي وسمت الفترة المدروسة، وبناء نطاقات حيوية باستخدام النانوفوسل الكلسية أكثر دقة والتي تميز رسوبات الإيوسين.

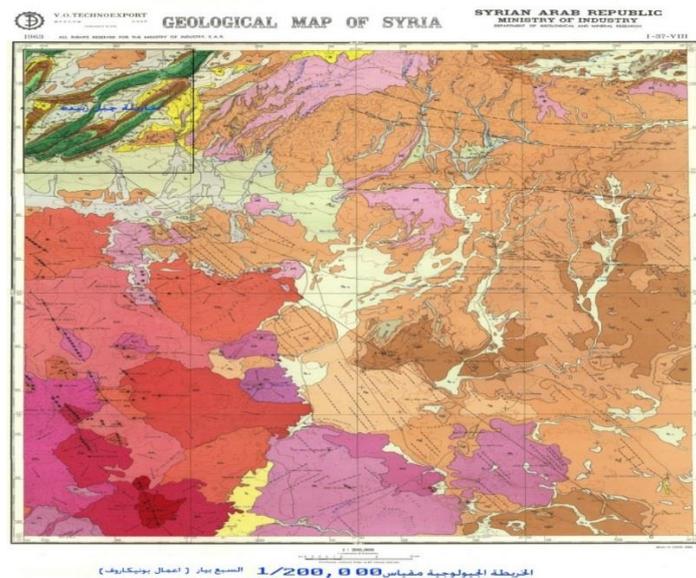
2. الموقع الجغرافي والوصف الجيولوجي:

يقع مقطع الدراسة (مقطع الصفا) في جبل زبيدة في القسم الجنوبي الغربي من السلسلة التدمرية ضمن رقعة جبل زبيدة والتي يحدها من الشمال القريتين، ومن الشمال الغربي رقعة دير عطية (الشكل. 1).



الشكل. 1. موقع جبل زبيدة في سوريا (المذكرة الإيضاحية لرقعة جبل زبيدة، 2011).

يتميز جبل زبيدة باحتوائه على تشكيلة واسعة من الرسوبات التي تعود لأعمار مختلفة تبدأ اعتباراً من الجوراسي حتى الأوليغوسين حيث استخدمت مجموعة المنخربات في تحديد أعمار هذه الرسوبات (الشكل. 2).



الشكل. 2. تنوع أعمار التشكيلات الرسوبية في رقعة جبل زبيدة حسب يونيكاروف (يشير اللون البني لتوضعات الباليوجين، الأصفر لتوضعات النيوجين، اللون الأخضر للكريتاسي).

بنيويا، تمثل المنطقة المدروسة سلسلة من المحدثات غير المتناظرة، ذات اتجاه شمال شرق/جنوب غرب تشكلت نتيجة قوى ضغط أفقية ضمن المراحل المختلفة من تطورها البنيوي.

تم اختيار مقطع الصفا والواقع وفق الإحداثيات التالية:

N33 46° 30,2°

E37 03° 40,9°

يبدأ المقطع بتناوبات من طبقات كلسية غضارية مع مستويات مارنية تتخللها مستويات من الصوان، ويستمر هذا التتابع الستراتيغرافي حتى ارتفاع 40 م.

يمكن ملاحظة وجود تقارب في ظهور المستويات الصوانية في القسم الأسفل من المقطع، لتصبح أكثر تباعدا اعتبارا من الارتفاع 29م.

يعلوها سماكة من الحجر الكلسي المدلمت تصل حتى 13م تقريبا، لتتحول لتوضعات مارنية وبسماكة حوالي 25 م وتصبح التوضعات المارنية أكثر غنى بالحوار.

تتغير السحنة تدريجيا باتجاه أعلى المقطع لتصبح أكثر غنى بكاربونات الكالسيوم متحولة من تتابعات كلسية غضارية هشة مع توضعات مارنية بيضاء إلى توضعات من الحجر الكلسي القاسي بسماكة حوالي 38م والحاوي على تبلورات واضحة من الكالسييت. تم اختيار ثمانية عينات للدراسة البيوستراتيغرافية والكمية والتي تغطي كامل المقطع، والاعتماد على معيار التغير السحني بين الطبقات المختلفة بحيث تم أخذ عينة واحدة من كل طبقة تتميز بسحنة واحدة محددة. حضرت الشرائح المجهرية وفق عمل تقني في المخبر تضمن تحويل كل عينة إلى بودرة والتي تم مزجها بماء مقطر، ليتم لاحقا خض المحتوى حتى يصبح متجانس. تم سحب قطرة من هذا المحتوى وفرشها على شريحة مجهرية ثم تم إلصاق سائرة زجاجية فوقه.

تم دراسة العينات باستخدام مجهر استقطابي من طراز Olympus BX51 وباستخدام عدسة جسمية غاطسة تكبير 100X.

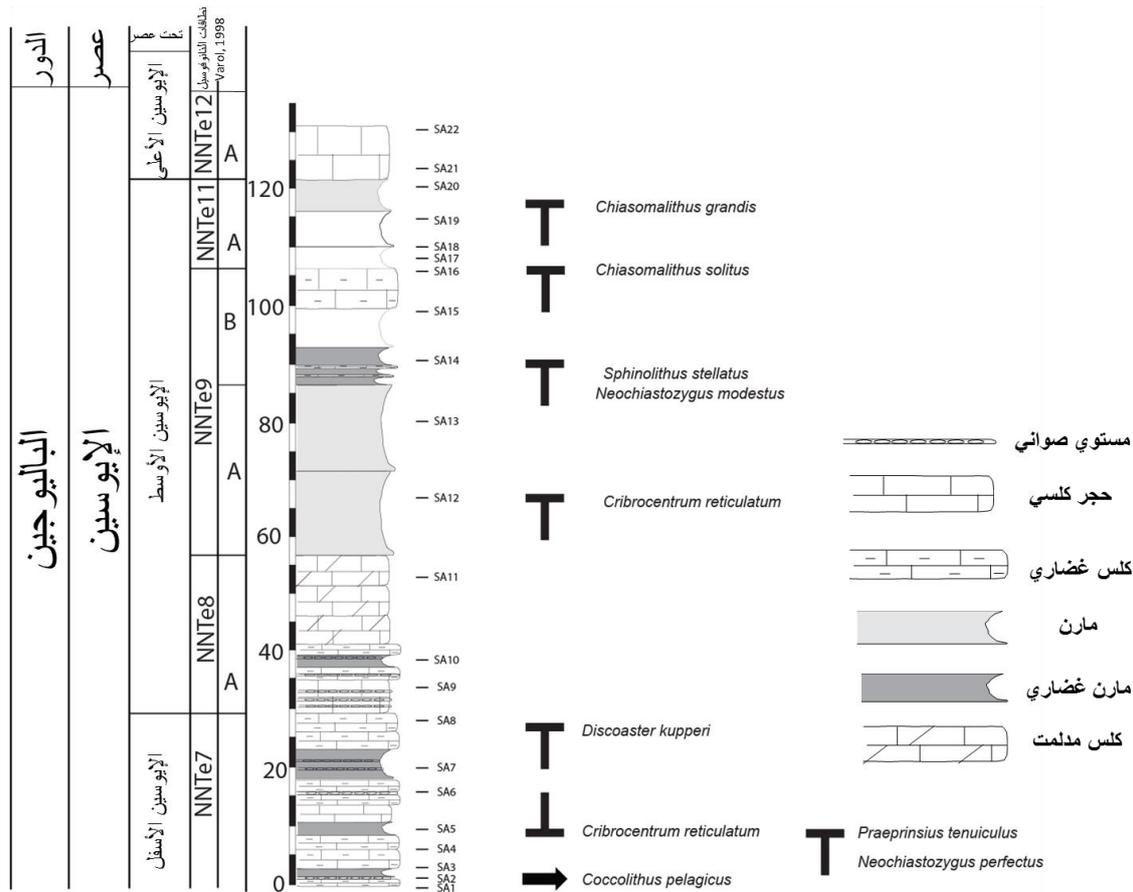
3. النتائج والمناقشة:

1.3. الدراسة البيوستراتيغرافية:

أظهرت الدراسة التفصيلية للشرائح المجهرية المحضرة اعتبارا من عينات تغطي كامل المقطع الستراتيغرافي المدروس، وجود تسعة أحداث بيولوجية جيولوجية تتمثل بالظهور الأول للنوع *Cribozentrum reticulatum* في الطبقة SA5، بالمقابل تم تحديد الظهور الأخير لثمانية أنواع دالة بيوستراتيغرافيا وهي: النوعين *Praeprinsius tenuiculus*, *Neochiastozygus perfectus*، والنوع *Discoaster kupperi* في الطبقة SA8 على ارتفاع حوالي 29م، والنوع *Cribozentrum reticulatum* في الطبقة SA12 على ارتفاع حوالي 72م، وشهدت الطبقة SA14 تسجيل حدثين مرتبطين بالظهور الأخير (LO) للنوعين *Sphinolithus stellatus*, *Neochiastozygus modestus* على ارتفاع حوالي 94، في حين تميزت قمة المقطع بتسجيل الظهور الأخير للنوعين *Chiasomalithus grandis*, *Chiasomalithus solitus* في الطبقتين SA16 على ارتفاع 106 م SA20 على ارتفاع 122 م على التوالي (الشكل. 3).

تظهر عملية المقارنة البيوستراتيغرافية مع الدراسة المرجعية العالمية لنطاقات النانوفوسيل الكلسية الحيوية المميزة لعصر الإيوسين والتي اعتمدت من قبل (Varol في Bown et al., 1998) لكون الظهور الأخير للنوع *Discoaster kupperi* قد استخدم لتحديد الحد بين الإيوسين الأدنى والأوسط الموافق للسطح الفاصل بين الطبقتين SA9/SA8 على ارتفاع 29 م (الشكل. 3).

يوافق السطح السفلي للنطاق NNTe8 الحد بين الإيوسين الأدنى والأوسط (الشكل. 3).



الشكل. 3. أحداث الظهور الأول والأخير لأنواع النانوفوسيل الكلسية في مقطع الصفا.

يمثل الظهور الأول للنوع *Cribrocentrum reticulatum* والظهور الأخير للنوعين الدالين *Praeprinsius tenuiculus*, *Neochiastozygus perfectus* أحداث تميز النطاق الحيوي NNTe7 المحدد من قبل Varol اعتمادا على عملية الترابط البيوستراتيغرافية المنجزة في الحوض المتوسطي (Bown et al., 1998). تم تحديد الحد الأدنى للنطاق NNTe8 أسفل الظهور الأول للنوع *Discoaster kupperi* استنادا للمقارنة البيوستراتيغرافية حسب Varol في (Bown et al., 1998)، بالمقابل سجل ظهور النوع *Coccolithus pelagicus* اعتبارا من أسفل المقطع. يتضمن النطاق الحيوي NNTe9 وجود مجموعة من الأحداث التي تميزه وهي الظهور الأخير للأنواع: *Sphinolithus stellatus*, *Neochiastozygus modestus* بالمقابل تم تحديد الحد الأدنى للنطاق NNTe11 بالظهور الأخير للنوع *Chiasomalithus solitus* على ارتفاع 102م. يغيب النطاق NNTe10 نتيجة عدم تسجيل ظهور الأنواع الدالة التي تميزه وهي *Sphinolithus furcatolithaides*, *Blackites gladius*، ونوعه الدال الأكثر أهمية *Helicosphera comacta*, *Helicosphera reticulate*، يوافق قمة المقطع النطاق NNTe12 حيث يحدد الظهور الأخير للنوع *Chiasomalithus grandis* الحد الأدنى لهذا النطاق والحد الأدنى للإيوسين الأعلى أعلى الطبقة SA20 (الشكل. 3).

2.3. الترابط البيوستراتيغرافي:

أجريت عملية الترابط البيوستراتيغرافي مع نطاقات Varol, 1998 و Martini, 1971 في الحوض الغربي من المتوسط بهدف تحديد تغيرات النطاقات البيوستراتيغرافية ضمن مقياس جيولوجي أكثر شمولا، حيث أظهرت وجود اختلافات واضحة تمثلت بغياب تحت النطاق NNTe8B في مقطع الصفا، وبالتالي يوافق زمنيا تحت النطاق NNTe8A في هذه الدراسة تحت النطاقين NNTe8

A,B عند Varol ويوافق المجال الزمني الممتد من القسم العلوي للنطاق NP14 حتى منتصف النطاق NP15 عند Martini, 1971 (الشكل. 4).

يقابل المجال الزمني الممتد أسفل الظهور الأخير للنوع *Sphinolithus stellatus* حتى الظهور الأخير للنوع *Chiasomalithus solitus* والمقابل لتحت النطاق NNTe9B في مقطع الصفا (هذه الدراسة) تحت النطاق NNTe9B وكامل النطاق NNTe10 المحدد بين الحدثين السابقين في الحوض الغربي للمتوسط حسب Varol، كما يوافق كامل النطاق NP16 والنصف العلوي من النطاق NP15 حسب Martini, 1971 (الشكل. 4).

يغيب النوع الدال *Blackites gladius* المستخدم لتحديد النطاق NNTe10 من قبل Varol, 1998 في مقطع الصفا، والمرتبط ربما بتغيرات ترسيبية بيئية في القسم الجنوبي من السلسلة التدمرية أدت لانحلال هياكله الكلسية الهشة في الرسوبات العائدة للإيوسين. تم تحديد تحت نطاق واحد NNTe11A (الموافق لكامل النطاق NNTe11) في مقطع الصفا بين حدثي الظهور الأخير للنوعين *Chiasomalithus solitus* و *Chiasomalithus grandis* وللذين يحددان زمنياً تحت النطاقين NNTe11A, B في غرب المتوسط (Varol) في Bown et al., 1998 (الشكل. 4).

الطور	عصر	تحت عصر	الإيوسين الأعلى		الإيوسين الأوسط		الإيوسين الأسفل		Martini, 1971		Varol, 1998 in Bown et al., 1998																
			NNTe12	A	NNTe11	B	NNTe9	A	NNTe8	NP14	NNTe7	NP20	B	NP19	A	NP18	B	NP17	A	NP16	B	NP15	A	NP14	B	NP13	A
الباليوجين	الإيوسين	الإيوسين الأعلى	NNTe12	A	NNTe11	B	NNTe9	A	NNTe8	NP14	NNTe7	NP20	B	NP19	A	NP18	B	NP17	A	NP16	B	NP15	A	NP14	B	NP13	A
			NNTe11	A	NNTe11	B	NNTe9	A	NNTe8	NP14	NNTe7	NP20	B	NP19	A	NP18	B	NP17	A	NP16	B	NP15	A	NP14	B	NP13	A
			NNTe11	A	NNTe11	B	NNTe9	A	NNTe8	NP14	NNTe7	NP20	B	NP19	A	NP18	B	NP17	A	NP16	B	NP15	A	NP14	B	NP13	A
			NNTe11	A	NNTe11	B	NNTe9	A	NNTe8	NP14	NNTe7	NP20	B	NP19	A	NP18	B	NP17	A	NP16	B	NP15	A	NP14	B	NP13	A
			NNTe11	A	NNTe11	B	NNTe9	A	NNTe8	NP14	NNTe7	NP20	B	NP19	A	NP18	B	NP17	A	NP16	B	NP15	A	NP14	B	NP13	A
			NNTe11	A	NNTe11	B	NNTe9	A	NNTe8	NP14	NNTe7	NP20	B	NP19	A	NP18	B	NP17	A	NP16	B	NP15	A	NP14	B	NP13	A
			NNTe11	A	NNTe11	B	NNTe9	A	NNTe8	NP14	NNTe7	NP20	B	NP19	A	NP18	B	NP17	A	NP16	B	NP15	A	NP14	B	NP13	A
			NNTe11	A	NNTe11	B	NNTe9	A	NNTe8	NP14	NNTe7	NP20	B	NP19	A	NP18	B	NP17	A	NP16	B	NP15	A	NP14	B	NP13	A
			NNTe11	A	NNTe11	B	NNTe9	A	NNTe8	NP14	NNTe7	NP20	B	NP19	A	NP18	B	NP17	A	NP16	B	NP15	A	NP14	B	NP13	A
			NNTe11	A	NNTe11	B	NNTe9	A	NNTe8	NP14	NNTe7	NP20	B	NP19	A	NP18	B	NP17	A	NP16	B	NP15	A	NP14	B	NP13	A
			NNTe11	A	NNTe11	B	NNTe9	A	NNTe8	NP14	NNTe7	NP20	B	NP19	A	NP18	B	NP17	A	NP16	B	NP15	A	NP14	B	NP13	A
			NNTe11	A	NNTe11	B	NNTe9	A	NNTe8	NP14	NNTe7	NP20	B	NP19	A	NP18	B	NP17	A	NP16	B	NP15	A	NP14	B	NP13	A

الشكل. 4. الترابط البيوستراتيغرافي بين نطاقات النانوفوسيل الكلسية في مقطع الصفا مع نطاقات Varol ونطاقات Martini, 1971

بالمجمل واستناداً لعملية الترابط البيوستراتيغرافي مع نطاقات Varol ونطاقات Martini, 1971 توافق النطاقات الثلاثة NNTe11, NNTe9, NNTe8 في مقطع الصفا الإيوسين الأوسط.

يحدد النطاق NNTe12 في قمة مقطع الصفا تحت نطاق واحد NNTe12A والذي يوافق بيوستراتيغرافيا تحت نطاقين NNTe12 A, B في الحوض الغربي للمتوسط، حيث اعتبر النطاق NNTe12 موافقا للقسم السفلي من الإيوسين الأعلى (الشكل. 4). في النهاية، ساعدت عملية المقارنة البيوستراتيغرافية بملاحظة ظهور مبكر للنوع *Criboecentrum reticulatum* خلال الإيوسين الأسفل في مقطع الصفا مقارنة مع الحوض الغربي للمتوسط والذي لوحظ ظهوره الأول في منتصف الإيوسين الأوسط. يفسر عدم توافق ظهور هذا النوع باختلاف في الشروط البيئية بين شرق المتوسط وغربه خلال الإيوسين وبالتالي هيمنة شروط بيئية ترسيبية محلية ضمن مقياس جيولوجي صغير.

3.3. الدراسة الكمية:

تم في هذه الدراسة حساب النسبة المئوية لعدد الأفراد على مستوى الجنس مقارنة مع العدد الكلي للأفراد التي تم إحصائها في كل عينة مدروسة.

تغيرات الغزارة النسبية

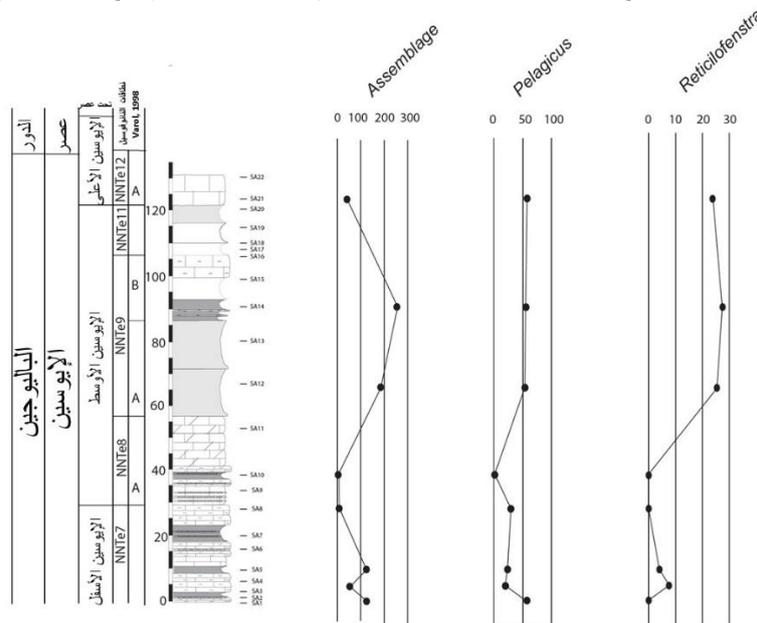
أعطت معالجة البيانات كميًا منحنيات تظهر تغيرات النسب المئوية للنوع *Coccolithus pelagicus* وأنواع الجنس *Reticulofenstra* في مقطع الصفا.

تساعد عملية المقارنة بين التغيرات المختلفة في فهم أفضل للشروط التي كانت سائدة خلال الفترة المدروسة.

تتراوح قيم النسبة المئوية لأفراد الجنس *Reticulofenstra* بين 0-9% أسفل المقطع (أعلى الإيوسين الأسفل)، لتتناقص تدريجياً حتى القيمة 0 في العينة SA10 ضمن النطاق NNTe8 أسفل الإيوسين الأوسط (الشكل. 5).

تبدأ قيم النسبة المئوية للجنس السابق بالتزايد لتصل حتى القيمة 27% في الطبقة SA14 الموافقة لتحت النطاق NNTe9B في القسم العلوي من الإيوسين الأوسط (الشكل. 5).

تتناقص النسبة بشكل طفيف أعلى المقطع الموافقة للنطاق NNTe12 (الإيوسين الأعلى) مع قيمة حوالي 24%.



الشكل. 5. تغيرات الغزارة الكلية لأفراد النانوفوسيل الكلسية، والنسبة المئوية للنوع *Coccolithus pelagicus* وأنواع الجنس

Reticulofenstra في مقطع الصفا.

أما النوع *Coccolithus pelagicus*، فيتميز بتناقص في نسبه المئوية من 50% حتى 0% اعتباراً من أعلى الإيوسين الأسفل والقسم السفلي من الإيوسين الأوسط (الشكل. 5).

تزداد قيم النسبة المئوية اعتباراً من النطاق NNTe8 لتبلغ قيمة 52% في قمة المقطع الموافق للنطاق NNTe12 في القسم الأدنى من الإيوسين الأعلى (الشكل. 5).

يوافق تغير عدد الأفراد الكلي لجميع أنواع النانوفوسيل الكلسية التي تم تحديدها في عينات مقطع الصفا، تناقص في عددها الكلي خلال المجال الزمني الممتد بين أعلى الإيوسين الأسفل والقسم السفلي من الإيوسين الأوسط (الشكل. 5)، لتزداد بشكل واضح لتبلغ حوالي 250 فرد في الطبقة SA14 في النطاق NNTe9 خلال الإيوسين الأوسط.

تتناقص الغزارة بشكل تدريجي خلال القسم الأعلى من الإيوسين الأوسط باتجاه الحد بين الإيوسين الأوسط والأعلى والموافق للنطاق NNTe11، لتصل حتى 50 فرد أسفل النطاق NNTe12 في قمة المقطع (الشكل. 5).

ترتبط العديد من الدراسات المرجعية العالمية تزايد الغزارة النسبية للنوع *Coccolithus pelagicus* مع تناقص في درجة حرارة مياه البحر حيث اعتبر كنوع مميز للمياه الباردة Di Stefano et al., 2015; Baldassini et al., 2013; Bonnet et al., 2010; Ziveri et al., 2004.

يمكن ملاحظة نسب مئوية من مرتبة تفوق 50% للنوع *Coccolithus pelagicus* في حين لم تتجاوز نسب أفراد الجنس *Reticulofenstra* نسبة 27% (الشكل. 5).

تشير مقارنة النسب السابقة لكون مياه البحر كانت تميل للتبرد باتجاه الحد بين الإيوسين الأوسط/الأعلى مع اتجاه عام لتزايد طفيف في نسب النوع *Coccolithus pelagicus* وتناقص في قيم أفراد الجنس *Reticulofenstra*.

تميزت الطبقة SA14 بأكثر قيمة من الغزارة الكلية لأفراد النانوفوسيل والموافقة لتوضعات غضارية والتي يمكن تفسيره مع تزايد في قيم الإمداد الغذائي القادم من اليابسة.

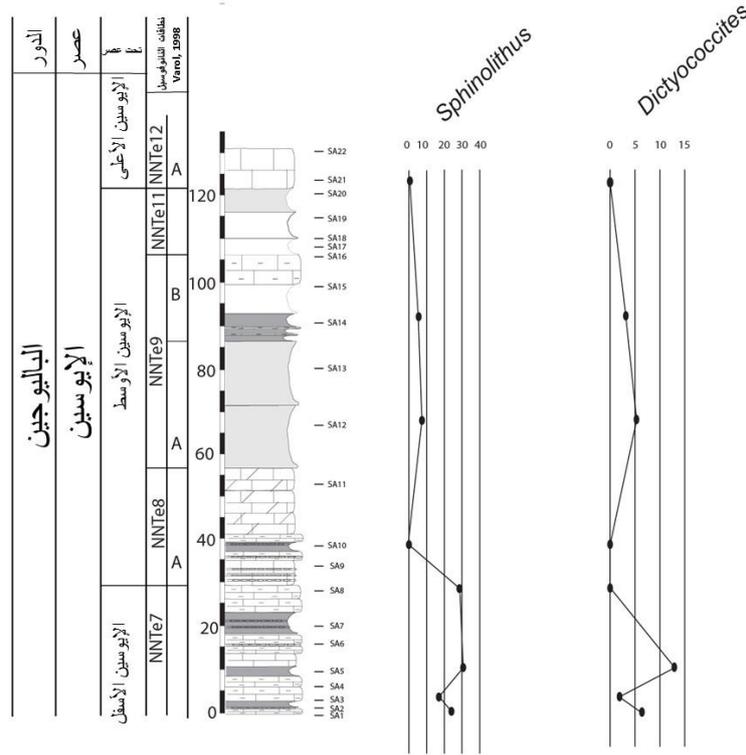
يوافق النطاق NNTe12 المؤلف من توضعات الحجر الكلسي تناقص واضح في غزارة النانوفوسيل والمتعلق ببيئة تشكله الضحلة التي تمثل بيئة غير مناسبة لتكاثر وتواجد أنواع النانوفوسيل الكلسية ضمن مياه البحر، مع ملاحظة حصول تناقص واضح في الإمداد من المغذيات.

يعتبر الجنس *Sphinolitus* من المعايير المهمة التي استخدمت في التطبيقات المناخية القديمة، حيث تتغير قيمه بين 20-30% مع بعض الاستثناءات أسفل المقطع المقابل للإيوسين الأسفل.

تتناقص قيمه اعتباراً من العينة SA8 تدريجياً خلال الإيوسين الأوسط والأعلى لتصل حتى 0 أسفل النطاق NNTe12 (الشكل. 6).

تتراوح قيم النسبة المئوية لأنواع الجنس *Dictyococcites* بين 0-5% في كامل المقطع باستثناء العينة SA5 والتي تصل بين 10-15% أعلى الإيوسين الأسفل.

تختفي أنواع الجنس *Dictyococcites* في المجال الستراتيغرافي الممتد بين الطبقتين SA10/SA8 وتزداد حتى 5% في الطبقة SA12 ضمن تحت النطاق NNTe9A في القسم السفلي من الإيوسين الأوسط. يوافق القسم الأعلى من الإيوسين الأوسط/أسفل الإيوسين الأعلى تناقص تدريجي في غزارة هذا الجنس حتى يختفي أسفل النطاق NNTe12.



الشكل 6. تغيرات النسب المئوية لأنواع الجنس *Sphinolithus*, *Dictyococcites* في مقطع الصفا.

4.3. دراسة المكونات الأساسية:

تساعد تحاليل المكونات الأساسية في تحديد العوامل الأساسية التي هيمنت خلال فترة الدراسة من خلال معالجة بيانات تغيرات النسب المئوية لأنواع والأجناس الدالة بيئياً باستخدام برنامج PAST الإحصائي.

أشارت المعالجة السابقة لوجود قيم موجبة توافق النوع *Coccolithus pelagicus* بحوالي 10 بالنسبة لمحور Y الذي يمثل العامل الثاني، بالمقابل تم ملاحظة قيم سالبة لأنواع الجنس *Reticulofenstra* وبحوالي -12 بالنسبة لنفس المحور (الشكل 7).

يعتبر النوع *Coccolithus pelagicus* أحد أنواع المياه الباردة (Di Stefano et al., 2015; Baldassini et al., 2013; Bonnet et al., 2010)، وبالتالي تقابل قيمه الموجبة قيم سالبة معاكسة لها بالنسبة لأنواع الجنس *Reticulofenstra* والذي اعتبر نوع مياه دافئة. تفسر هذه النتيجة المنطقية بالنسبة لقيم المحور Y بكون العامل الثاني المسيطر والمؤثر بشكل أساسي على تغيرات الغزارة النسبية لأنواع النانوفوسيل في مقطع الصفا يوافق تغيرات درجة حرارة مياه البحر، مع الإشارة بكون المياه كانت أكثر برودة خلال الإيوسين والذي تم تأكيده سابقاً.

يوافق المحور X قيم متعاكسة للجنسين *Sphinolithus* و *Reticulofenstra* وقيم موجبة تتراوح بين 0-20 بالنسبة للجنس الأول، وقيم سالبة تتراوح حوالي -5 بالنسبة للجنس الثاني (الشكل 7).

تشير العديد من الدراسات الدولية لكون أنواع الجنسين *Sphinolithus* و *Reticulofenstra* تمثل أنواع مياه دافئة

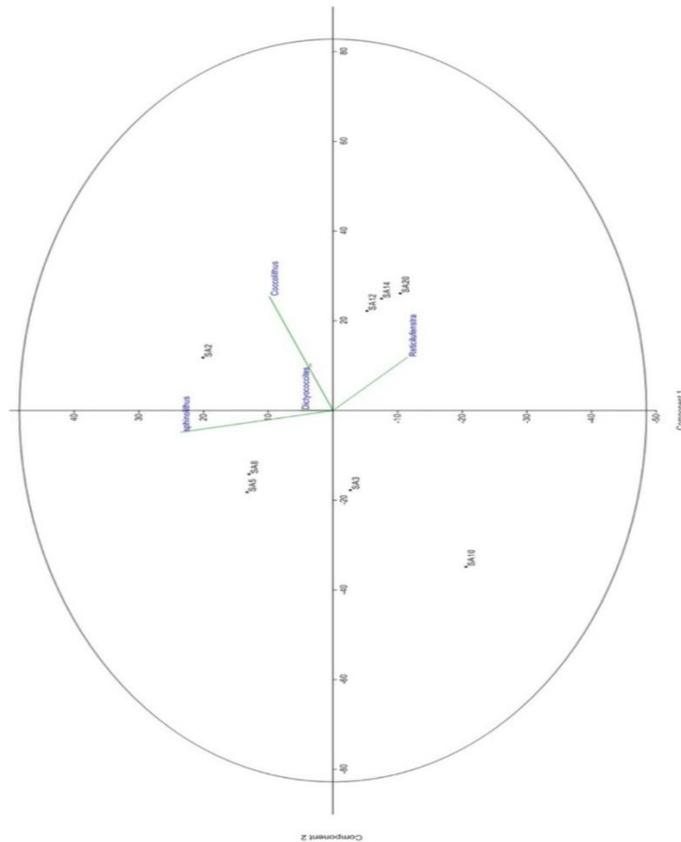
(Haq and Lehmann, 1976; Persico and Villa, 2004; Gibbs et al., 2005, 2006)،

واستناداً لكون القيم السابقة متناقضة مما يشير لوجود عامل آخر لعب دوراً أساسياً في هذه النتيجة.

ترتبط العديد من الدراسات بين الغزارة العالية لأنواع الجنس *Reticulofenstra* مع شروط بيئة عالية الإنتاجية الحيوية والمرتبطة مع

بحر مفتوح ذو ملوحة نظامية (Flores et al., 2014; Ziveri et al., 2004)

وبالتالي يمكن اعتماداً على المناقشة السابقة وتفسير النتائج تأكيد كون العامل الأول يمثل تغيرات في مستوى ماء البحر.



الشكل 7. تحاليل المكونات الأساسية لأنواع النانوفوسيل الكلسية في مقطع الصفا.

4. الاستنتاجات والتوصيات:

- تضمن هذا البحث دراسة بيوستراتيغرافية وكمية باستخدام أنواع النانوفوسيل الكلسية لرسوبات الإيوسين في مقطع الصفا في الجزء الجنوبي من السلسلة التدمرية وقد أعطى مجموعة من النتائج المهمة:
- تحديد تسعة أحداث بيولوجية تضمنت ثمانية أحداث ظهور أخير لأنواع دالة بيوستراتيغرافيا لرسوبات الإيوسين وهي: *Cribozentrum reticulatum*, *Discoaster kupperi*, *Praeprinsius tenuiculus*, *Neochiastozygus perfectus*, *Chiasomalithus grandis*, *Chiasomalithus Sphinolithus stellatus*, *Neochiastozygus modestus*, *solitus*, والظهور الأول للنوع *Cribozentrum reticulatum*.
- تم تحديد وجود خمسة نطاقات (NNTe12, NNTe11, NNTe9, NNTe8, NNTe7) وخمسة تحت نطاقات في رسوبات مقطع الصفا الإيوسينية.
- يغيب النطاق NNTe10 نتيجة عدم تسجيل ظهور الأنواع الدالة التي تميزه وهي *Sphinolithus furcatolithaides*, *Blackites gladius* ونوعه الدال الأكثر أهمية *Helicosphaera comacta*, *Helicosphaera reticulate*.
- ساعدت عملية المقارنة البيوستراتيغرافية بملاحظة ظهور مبكر للنوع *Cribozentrum reticulatum* خلال الإيوسين الأسفل في مقطع الصفا مقارنة مع الحوض الغربي للمتوسط والذي لوحظ ظهوره الأول في منتصف الإيوسين الأوسط.
- أظهرت عملية الإحصاء الكلي لعدد أفراد جميع أنواع النانوفوسيل الكلسية في عينات مقطع الصفا، تناقصها خلال المجال الزمني الممتد بين أعلى الإيوسين الأسفل والقسم السفلي من الإيوسين الأوسط لتزداد بشكل واضح خلال منتصف الإيوسين الأوسط، قبل أن تتناقص الغزارة بشكل تدريجي باتجاه الحد بين الإيوسين الأوسط والأعلى.

- تشير الدراسة الكمية الرياضية لتغيرات النسب المئوية لأنواع النانوفوسيل الكلسية الدالة مناخيا، لكون مياه البحر كانت أكثر برودة خلال الإيوسين مع ملاحظة اتجاه عام للتبريد باتجاه الحد بين الإيوسين الأوسط/الأعلى مترافق مع تزايد طفيف في نسب النوع *Coccolithus pelagicus* وتناقص في قيم أفراد الجنس *Reticulofenestra*.
- استخدمت طريقة تحاليل المكونات الأساسية لتحديد العوامل البيئية الأساسية التي ميزت فترة الإيوسين في منطقة الدراسة وأثرت بشكل واضح على تغيرات الغزارة النسبية لأنواع النانوفوسيل الكلسية، والتي حددت وجود عاملين أساسيين، العامل الأول والمرتبط بتغيرات مستوى ماء البحر، في حين يوافق العامل الثاني تغيرات درجة حرارة مياه البحر.
- يمثل هذا البحث خطوة من سلسلة خطوات علمية تهدف لدراسة أعمق وأشمل لرسوبات الإيوسين، وبالخلاصة يوصي هذا البحث بما يلي:
 - بإجراء دراسة ترسيبية مفصلة لرسوبات الإيوسين بهدف تقسيمها إلى تشيلات دقيقة ومقارنتها مع نطاقات هذا العمل.
 - القيام بدراسة جيوكيميائية لرسوبات هذا المقطع.
 - إجراء دراسة ميكروبيالوجية للمنخرات بهدف إجراء ترابط بيوستراتيغرافي مدمج أكثر تمثيلا ودقة مع نطاقات النانوفوسيل الكلسية.
- تحديد خصائص القطبية المغناطيسية في مقطع الدراسة.

5. المراجع:

1. خراطة، ع. 2011. الخارطة الجيولوجية السورية مقياس 1/50000. المذكرة الإيضاحية لرقعة جبل زبيدة في القسم الجنوبي الغربي من السلسلة التدمرية.
2. يزبك، خ، م. 2023. دراسة ستراتيغرافية وبيوستراتيغرافية لسخور الباليوسين والإيوسين في شمال غرب السلسلة التدمرية الشمالية وجنوب غرب نهوض حلب، سورية. مجلة جامعة البعث للعلوم الأساسية. المجلد 45، العدد 1.
3. Baldassini, N., Mazzei, R., Foresi, L.M., Riforgiato, F., Salvatorini, G., 2013. Calcareous plankton biostratigraphy of the Maltese Lower Globigerina Limestone member. *Acta Geol. Pol.* 63 (1), 105–135.
4. Bohaty, S.M., Zachos, J.C., 2003. Significant Southern Ocean warming event in the late middle Eocene. *Geology* 31, 1017–1020. <https://doi.org/10.1130/G19800.1>.
5. Bohaty, S.M., Zachos, J.C., Florindo, F., Delaney, M.L., 2009. Coupled greenhouse warming and deep-sea acidification in the middle Eocene. *Paleoceanography* 24, PA2207. <https://doi.org/10.1029/2008PA001676>.
6. Bonnet, S., De Vernal, A., Hillaire-Marcel, C., Radi, T., Husum, K., 2010. Variability of seasurface temperature and sea-ice cover in the Fram Strait over the last two millennia. *Mar. Micropaleontol.* 74, 59–74.
7. Bown, P.R. (Ed.), 1998. *Calcareous nannoplankton Biostratigraphy*. British Micropaleontological Society Publication Series. Kluwer Academic Publishers, 314 pp.
8. Bralower, T.J., 2002. Evidence of surface water oligotrophy during the Paleocene–Eocene thermal maximum: nanofossil assemblage data from OceanDrilling Program Site 690, Maud Rise, Weddel Sea. *Paleoceanography* 17, 13.1–13.13.
9. Di Stefano, A., Foresi, L.M., Incarbona, A., Sprovieri, M., Vallefucio, M., Iorio, M., Pelosi, N., Di Stefano, E., Sangiorgi, P., Budillon, F., 2015. Mediterranean coccolith ecobiostratigraphy since the penultimate Glacial (the last 145,000 years) and ecobioevent traceability. *Mar. Micropaleontol.* 115, 24–38.
10. Dubertret, L. 1933. La carte géologique au millionième de la Syrie et du Liban. *Rév. Géogr. Phys. Géol. Dynam.*, 6 (4): 267–318.
11. Flores, J.A., Sierro, F.J., Filippelli, G.M., Bárcena, M.Á., Pérez-Folgado, M., Vázquez, A., Utrilla, R., 2005. Surface water dynamics and phytoplankton communities during deposition of cyclic late Messinian sapropel sequences in the western Mediterranean. *Mar. Micropaleontol.* 56 (1), 50–79.
12. Gibbs, S., Shackleton, N.J., Young, J., 2004. Orbitally forced climate signals in mid-Pliocene nanofossil assemblages. *Mar. Micropaleontol.* 51, 39–56.
13. Gibbs, S.J., Bralower, T.J., Bown, P.R., Zachos, J.C., Bybell, L.M., 2006. Shelf and open-ocean calcareous phytoplankton assemblages across the Paleocene–Eocene Thermal Maximum: implications for global productivity gradients. *Geology* 34, 233–236.
14. Haq, B.U., Lohmann, G.P., 1976. Early Cenozoic calcareous nannoplankton biogeography of the Atlantic Ocean. *Mar. Micropaleontol.* 1, 119–194.
15. Lear, C.H., Elderfield, H., Wilson, P.A., 2000. Cenozoic deep-sea temperatures and global ice volumes from Mg/Ca in benthic foraminiferal calcite. *Science* 287, 269–272.
16. Mahmoud, A., Zhang, Ch., Tantawy, A. A., Lai, M., Emam, A., Khozyem, H., 2023. Changes in calcareous nanofossil assemblages linked to dramatic climate change over the Paleocene–Eocene Thermal Maximum in the Taramsa Section, Central Nile Valley, Egypt. *Marine Micropaleontology*. Volume 180, April 2023, 102221.
17. Mandur, M. M., Hewaidy, A. G. A., Farouk, Sh., El Agroudy, I., 2022. Implications of calcareous nanofossil biostratigraphy, biochronology, paleoecology, and sequence stratigraphy of the Paleocene–Eocene of the Wadi Qena, Egypt. *Journal of African Earth Sciences* Volume 193, September 2022, 104594.

18. Messaoud, J. H., Thibault, N., Aljahdali, M. H., Yaich, Ch., 2023. Middle Eocene to early Oligocene biostratigraphy in the SW Neo-Tethys (Tunisia): Large-scale correlations using calcareous nannofossil events and paleoceanographic implications. *Journal of African Earth Sciences* Volume 198, February 2023, 104805.
19. Martini, E., 1971. Standard Tertiary and Quaternary calcareous nannoplankton zonation. In: Farinacci, A. (Ed.), *Proc. 2nd Int. Conf. Planktonic Microfossils* Roma, 2, pp. 739–785.
20. Miller, K.G., Wright, J.D., Katz, M.E., Wade, B.S., Browning, J.V., Cramer, B.S., Rosenthal, Y., 2009. Climate threshold at the Eocene–Oligocene transition: Antarctic ice sheet influence on ocean circulation. In: Koeberl, C., Montanari, A. (Eds.), *The Late Eocene Earth—Hothouse, Icehouse, and Impacts: Geological Society of America Special Paper*, 452, pp. 169–178. doi:10.1130/2009.2452(11).
21. Okada, H., Bukry, D., 1980. Supplementary modification and introduction of code numbers to the low latitude coccolith biostratigraphic zonation (Bukry 1973, 1975). *Mar. Micropaleontol.* 5, 321–325.
22. Persico, D., Villa, G., 2004. Eocene–Oligocene calcareous nannofossils from Maud Rise and Kerguelen Plateau /Antarctica): paleoecological and paleoceanographic implications. *Mar. Micropaleontol.* 52, 153–179.
23. Pige, N., Suan, G., Buiron, E., Vincent, J.L., Mehira, A., Arnauld Vinçon-Laugier, A.V., Mattioli, M., 2023. Microfossil fragmentation across the Paleocene-Eocene transition at ODP Site 1209 (North Pacific): Implication for reconstructing nannofossil fluxes. *Marine Micropaleontology*. Volume 179, March 2023, 102213.
24. Shahzad, A., Khan, J., Hanif, M., Baumgartner-Mora, C., Sarfraz, Y., Ahmed, Kh. Sh., Tayyib Riaz, M., Baumgartner, P.O., Munir, M. H., Wazir, A., 2023. Eocene nannofossils and paleoenvironmental reconstruction of the Kuldana Formation in Yadgar area, Muzaffarabad, northern Pakistan. *Palaeoworld*. In Press.
25. Shama, A.M., 2022. Calcareous nannofossil biostratigraphy of the Eocene succession in West Central Sinai, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*. Volume 194, October 2022, 104609.
26. Villegas, V. A., Agudelo, E. L. B., Vallejo-Hincapié, F., Aubry, M-P., Pardo-Trujillo, A., 2023. Late Eocene to Early Miocene calcareous nannofossil biostratigraphy from the ANH-San Jacinto- 1 well: Stratigraphic implications for the Sinú-San Jacinto basin in the Caribbean region of Colombia. *Journal of South American Earth Sciences* Volume 128, August 2023, 104470.
27. Villa, G., Persico, D., 2006. Late Oligocene climatic changes: evidence from calcareous nannofossils at Kerguelen Plateau Site 748 (Southern Ocean). *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 231, 110–119.
28. Wang, X., Xi, D., Mattioli, M., Wang, G., Wan, X., 2023. Middle Paleocene-early Eocene inter-regional correlations and palaeoclimatic changes in eastern Tethys Sea: Calcareous nannofossil evidence for Paleocene-Eocene Thermal Maximum (PETM) and sea-level change from the western Tarim Basin, NW China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. Volume 626, 15 September 2023, 111672.
29. Wei, W., Wise Jr., S.W., 1990a. Biogeographic gradients of middle Eocene– Oligocene calcareous nannoplankton in the South Atlantic Ocean. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 79, 29–61.
30. Wei, W., Villa, G., Wise Jr., S.W., 1992. Paleoceanographic implications of Eocene–Oligocene calcareous nannofossils from Sites 711 and 748 in the Indian Ocean. In: Wise Jr., S.W., Schlich, R., et al. (Eds.), *Proc. ODP. Sci. Results*, vol. 120, pp. 979–999.
31. Zachos, J.C., Pagani, M., Sloan, L., Thomas, E., Billups, K., 2001. Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to Present. *Science* 292, 686–693.
32. Ziveri, P., Baumann, K.H., Böckel, B., Bollman, J., Young, J.R., 2004. Present day coccolithophore biogeography in the Atlantic Ocean. In: Thierstein, H.R., Young, J.R. (Eds.), *Coccolithophores: From Molecular Processes to Global Impact* Springer- Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 403–428.