

التقييم الجيوكيميائي للمادة العضوية ضمن توضعات الترياسي الأسفل واختبار اعتمادية مجموعة من العناصر الأثر كمعاملات في الدراسات الجيوكيميائية النفطية حالة الدراسة: حقل جهار

وعد محمود محمد مصطفى¹، بشار حسن بغداددي²

¹طالبة دراسات عليا /دكتوراه/، قسم الجيولوجيا، كلية العلوم، جامعة دمشق.

mwd47930@damascusuniversity.edu.sy

²أستاذ مساعد في قسم الجيولوجيا، كلية العلوم، جامعة دمشق.

Bashar.baghdadi@damascusuniversity.edu.sy

الملخص

تم إجراء دراسة على توضعات عائدة للترياسي الأسفل في حقل جهار في سورية. كان الهدف هو تقييم خصائصها من خلال تطبيقات الجيوكيمياء العضوية واللاعضوية. فتبين أن المحتوى الكلي للكربون العضوي (TOC) في التشكيلة، من 4 إلى 8%، ما يؤشر لمحتوى عالي من المادة العضوية. وأظهرت النتائج أن الكيروجين من النمط الثاني. تم تحديد البيئة الترسيبية لتكون بحرية. علاوةً على ذلك، أُجري تحليل الخصائص البيولوجية باستخدام الكروماتوغراف الغازي ومطياف الكتلة، من خلال ذلك فُسرَت مخططات الكروماتوغرام للترينانات والستيرانات، وتبين أن المادة العضوية آتية من الأشنيات والبلانكتون. تلاها إجراء اختبار جوي على العناصر الأثر (V, Cr, Co, Ni, Sr) لمعرفة ما إذا كان من الممكن استخدامها كمتتبعات في الدراسات البترولية. وتحري توافق نتائجها مع المعطيات الجيوكيميائية العضوية التقليدية. تم اختبار العلاقة بين هذه العناصر والعلاقة بين الصخور المصدر والنفط المتولد. كما أُجريت دراسة لسلوك هذه العناصر في عينات الصخور والبيتوم، وقورنت مع عينات النفط من نفس الحقل. وقد ساعد هذا في فهم العلاقة بين الصخور الأم والمادة العضوية. كما ساعد في تحديد المصدر وظروف الترسيب ضمن الصخر. تُمكن هذه المعلومات أيضًا في فهم كيف هو سلوك النفط في مسارات الهجرة. في الدراسة الجيوكيميائية اللاعضوية، ووجد أن V و Cr و Ni و Co موثوقة وقابلة للتطبيق في عمليات الترابط نفط-صخر أم. ومع ذلك، لا يمكن الاعتماد على سلوك السترونسيوم وحده وإن عوامل أخرى يجب أخذها بعين الاعتبار.

تاريخ الإيداع: 2023/11/22

تاريخ الموافقة: 2024/01/07



حقوق النشر: جامعة دمشق -

سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق

النشر بموجب الترخيص

CC BY-NC-SA 04

الكلمات المفتاحية: جيوكيمياء، حقل جهار، عناصر أثر، كروماتوغرافيا، ترابط

Geochemical evaluation of organic matter From Lower Triassic deposits and testing the reliability of a group of trace elements as parameters in petroleum geochemical studies. Case study: Jhar field

Waad Mahmoud Mohamed Moustafa¹, Bashar Hasan Baghdadi²

1 PhD Student. Department of Geology, Faculty of Sciences, Damascus University. mwd47930@damascusuniversity.edu.sy

2 Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Damascus University. bashar.baghdadi@damascusuniversity.edu.sy

Abstract

A study on the Lower Triassic deposits in the Jhar field in Syria was conducted. The goal was to evaluate their properties throughout the organic and inorganic geochemistry applications. The formation's total organic carbon (TOC) content was determined, the values ranged from 4 to 8%, showing a high amount of organic matter. The kerogen type was identified as type II. The depositional environment was determined to be marine. Furthermore, the biological properties using gas chromatography and mass spectrometry were analyzed. This was done by interpreting chromatograms for terpanes and steranes. The organic matter came from algae and plankton. A feasibility test on trace elements (V, Cr, Ni, Co, Sr) to see if they could be used as tracers in petroleum studies was conducted. It was also looked at how well their results matched traditional organic geochemical data. The correlation between these elements and the relationship between source rock and generated oil was tested; how these elements behaved in both rock and bitumen was also studied, the oil samples from the same field were compared. This helped understand the relationship between source rock and organic matter. It also helped determine the source and depositional conditions within the rock. This information also helps understand how the oil behaves in migration pathways. In an inorganic geochemical study, V, Cr, Ni, and Co were found to be reliable and applicable for oil-source correlations. However, strontium's behavior cannot be relied upon alone and other factors should be considered.

Keywords: Geochemistry, Jhar field, Trace elements, Chromatography, Correlation.

Received :2023/11/22

Accepted:2024/01/07



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

1- مقدمة

إن تطبيق مفاهيم الجيوكيمياء عموماً العضوية منها أو اللاعضوية على التشكيلات النفطية بهدف ربط النفوط بمصدرها وكشف مسارات هجرتها، وبالتالي التنبؤ بوجود خزانات نفطية جديدة، يعتبر من العلوم الحديثة نسبياً حيث طبق في الولايات المتحدة الأمريكية لأول مرة بحسب U. S. Geological Survey عام 2017 (Bradley et al, 2017)، تم خلالها التنبؤ بمستقبل اقتصادي باهر اعتماداً على معطيات الجيوكيمياء اللاعضوية في الاستكشاف، لتصبح بعدها الصين رائدة عالمياً في مجال الكشف عن الأحواض التراكبية والخزانات ذات النفوط المختلطة باستخدام تكامل المعايير الجيوكيميائية العضوية واللاعضوية (Guo et al,2020; Niu et al,2022).

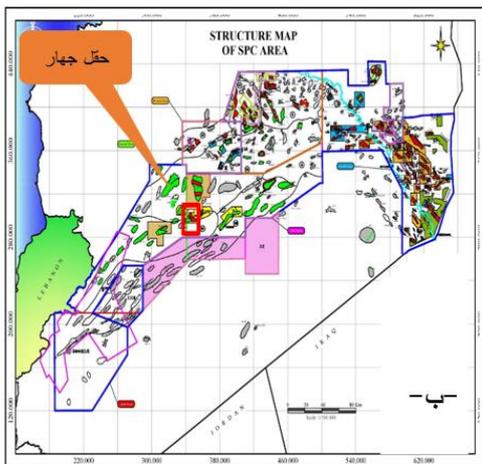
يُعتبر هذا البحث الأول من نوعه في غرب آسيا فيما يخص تقييم واختبار فاعلية استخدام مجموعة من العناصر الأثر كمعايير في عمليات الترابطات بين النفوط ومصادرها أو بين الصخور المولدة فيما بينها.

2- الدراسات السابقة

إن الدراسات الجيوكيميائية المنفذة على تشكيلية الأمانوس شيل في منطقة الدراسة بشكل خاص وفي سورية بشكل عام ضحلة وغير تفصيلية، حيث اقتصرت على ما قامت به الشركة السورية للنفط، وشركات عقود الخدمة التي اهتمت بتحديد حدود الخزانات وتوجيه عمليات الحفر، ولم تنطرق لدراسة الصخور المولدة (الشركة السورية للنفط، تقارير داخلية غير منشورة)، أما الدراسات الأكاديمية التي اهتمت بدراسة التشكيلات دراسات تفصيلية ضمن حوض الدو لم تكن جيوكيميائية من جهة ولم تنطرق لتشكيلية الأمانوس شيل من جهة أخرى، إلا أنه يجب أن نذكر ما قام به غيره، (2009)، من تقييم لدور تشكيلية الأمانوس شيل في توليد المواد الهيدروكربونية لكن ضمن تحت نطاق الطي التدمري الشمالي. وأيضاً في عام (2014)، قام اسماعيل، م. بنشر مقالة حول تقييم التشكيلات الجيولوجية الهامة نفطياً في حوض الدو ككل من وجهة نظر ميكروبايونتولوجية.

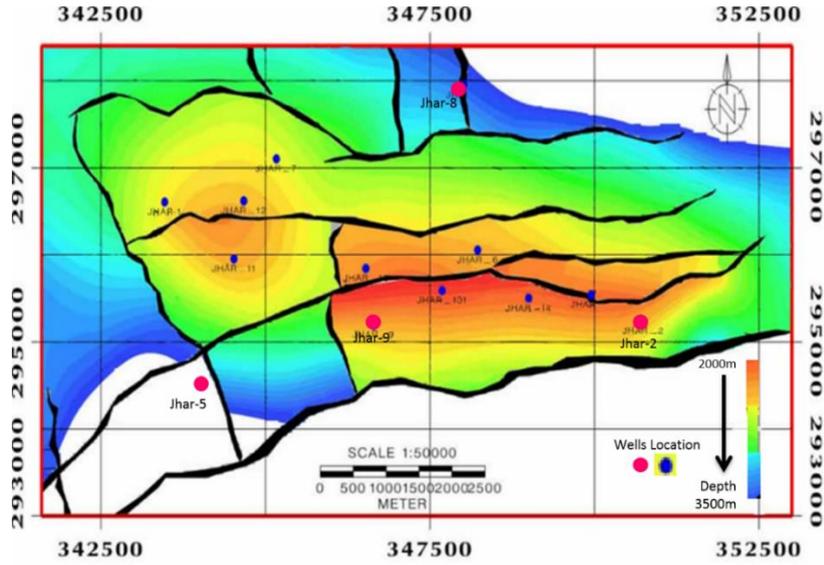
3- منطقة الدراسة

يقع حقل جهار في الجزء الشمالي الشرقي من حوض الدو ويمثل الحد الفاصل بين حوض الدو وتحت نطاق الطي التدمري الشمالي، ضمن نطاق الطي التدمري كوحدة من الوحدات البنوية الرئيسية في سورية الفاصل بين الجزء الثابت والمتحرك نسبياً من السطحة العربية، وبحسب التقسيمات المعتمدة من قبل الشركات النفطية فإن حقل جهار يقع على الحد الفاصل بين بلوك أبو رياح وبلوك التدمرية (حيث يقع الجزء الاعظمي منه) (الشكل 1).



الشكل 1: موقع حقل جهار في سورية (الخريطة أ)، وضمن تقسيمات الشركات النفطية (ب). (SPC.2020) ويظهر فيها بلوك أبو رياح وبلوك التدمرية.

تخترق الحقل مجموعة من الصدوع والفوالق العادية والعكسية على شكل شبكة (الشكل 2).

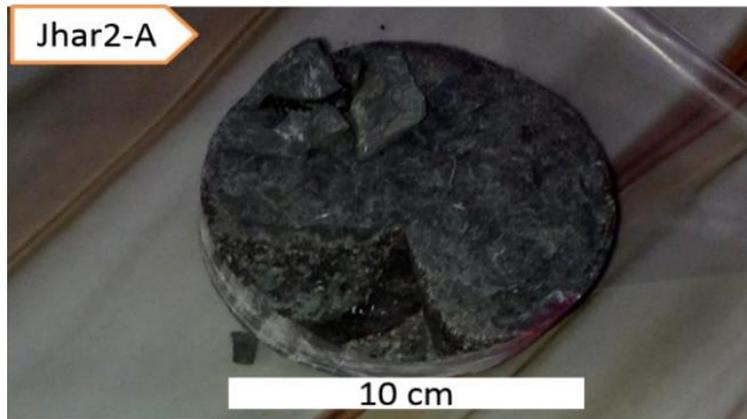


- 26
 27 الشكل 2: خريطة توضح امتداد وإحداثيات حقل جهار وشبكة الفوالق التي تخترقه (SPC, 2021). تشير النقاط الزرقاء للآبار المحفورة ضمن الحقل
 28 والنقاط الحمراء للآبار التي تم العمل عليها في هذه الدراسة.
 29 ويقع على بعد حوالي 55 كم غرب مدينة تدمر حيث تتكشف فيه توضعات عائدة للميوسين (توضعات كونغولوميرا وحجر رملي
 30 وجص وغضار) وهو تركيب منتج للغاز والنفط من كل من تشكيلة الكوراشينا دولوميت والأمانوس ساند (تشكيلتين خازنتين)، في
 31 حين تعتبر تشكيلة الأمانوس شيل التشكيلة المولدة الأكثر أهمية فإن تشكيلة الشيرانيش بالمقابل المكونة من الحجر الكلسي والمارل
 32 في هذا الحقل عديمة القدرة التوليدية. (Dubertret, 1966; SPC,2021; معطي، 1998).
 33 أجريت هذه الدراسة على توضعات الترياسي الأسفل الممثلة بتشكيلة الأمانوس شيل وهي من أهم التشكيلات المولدة للنفط والغاز في
 34 سورية (مولدة للنفط فقط في منطقة الدراسة)، (الشكل 3)، وتبلغ ثخانتها في حقل جهار 10 ± 145 م بينما يبلغ متوسط ثخانتها في
 35 سورية عموماً 250 م مؤلفة من مستويات من الشيل الأسود مع تناوبات رقيقة من الحجر الكلسي (الصورة 1)، متماثلة الخصائص
 36 البتروغرافية على امتداد الحقل (SPC,2021).

العمر	التشكيلة	التركيب المعرفي	السمك م	الرمز	الرمز	الرمز
Quaternary	Bakhtary		1000			
Tertiary	Pliocene	Upper Fars				
	Miocene	Lower Fars A		700		
		Jariba		125		
		Dibbane		250		
		Euphrates		200		
	Oligocene	Chilou		500		
	Eocene	Jadlala		600		
	Paleocene	Kermav		600		
		Shiranish		1600		
	Cretaceous	Upper	Camparian		700	
Santonian				150		
Coniacian				1200		
Lower		Turonian		500		
		Cenomanian		1800		
		Haramoun		700		
Triassic	Upper	Sarjelu		150		
		Adana/Muss		150		
		Adaya		300		
		Bulma		400		
		K. Arhydrite		800		
	Middle	K. Dolomite		250		
		Amanous Shale		750		
		Jariba		1200		
		Tanf		750		
		Affendi		1000		
Ordovician	Swab		1000?			
	Khanasser		1500?			
	Basink		750			
Cambrian	Buj		150			
	Zabuk		?			

37
38

الشكل 3: العمود الليثوستراتغرافي في سورية (AlSharhan and Nairn, 1997). يشير المستطيل الأسود للتشكيلة المدروسة.



39
40

الصورة 1: صورة لعينة لبابيه مأخوذة من حقل جهار.

41

4-مبررات الدراسة

42 إن تشكيلة الأمانوس شيل في حقل جهار على أهميتها لم يسبق وأن خضعت لدراسة جيوكيميائية وتقييم قدراتها التوليدية والعمليات
43 المشمولة ضمناً لتوليد النفط والغاز كما نكر أعلاه. وإن إجراء تقييم جيوكيميائي (عضوي ولا عضوي) لتشكيلة الأمانوس شيل في
44 حقل جهار هام من منظورين، الأول: إن موقع الحقل يمثل الطرف الشمالي الشرقي لحوض الدو، وإن فهم الخصائص الجيوكيميائية
45 للتشكيلة المدروسة في هذا الموقع سيضع اللبنة الأولى في إعداد قاعدة بيانات هامة يتم البناء عليها في دراسات لاحقة في عمليات
46 اقتفاء مسارات الهجرة للنفوط المولدة من هذه التشكيلة إن أمكن والإسهام في عمليات الربط المعقدة صخر أم - صخر أم، وكذلك
47 ربط نفط - صخر أم من خلال استنتاج المعاملات القابلة للاستخدام بعمليات الربط تلك. والثاني: تعتبر التشكيلة المدروسة (الأمانوس

48 شيل) العائدة للترياسي الأسفل من أهم التشكيلات المولدة في سورية وإن إجراء تقييم لها في هذا الحقل يعتبر هاماً من وجهة نظر
49 اقتصادية.

5- أهداف الدراسة

- 51 1- تقييم محتوى التشكيلة من الكربون العضوي الكلي TOC اعتماداً على اختبارات RockEval.
- 52 2- تقييم القدرة التوليدية للتشكيلة اعتماداً على محتواها من البيتوم.
- 53 3- تحديد بيئة الترسيب والمنشأ الحيوي للمادة العضوية اعتماداً على معاملات الكروماتوغراف الغازية والمطياف الكتلي.
- 54 4- دراسة خصائص العناصر الأثر: فاناديوم V، كروم Cr، كوبالت Co، نيكل Ni، سترونيوم Sr ودراستها ضمن البيتوم المفصول
55 مخبرياً من نفس العينات الصخرية وضمن النفوط المُنتجة من الحقل بهدف اختبار هذه العناصر في أهليتها لأن تظهر أنماطاً
56 أو بصمات مميزة ومتسقة في كل من عينات الصخر الأم والنفط. بحيث يتم اعتماد هذه العناصر في إنشاء علاقة بين الصخور
57 الأم والنفط، مما يساعد في عمليات الكشف والترابط. وإمكانية تكامل هذه المعطيات مع البيانات الجيوكيميائية الأخرى
58 كالعوامل الحيوية (Biomarkers) لتعزيز التفسيرات والترابطات التي يتم إجراؤها. وإن من شأن ذلك التكامل أن يعزز دقة
59 الترابطات صخر أم- نفط، وصخر أم - صخر أم سواءً في الدراسة الحالية أو الدراسات المستقبلية اللاحقة. ويشكل ذلك نقلة
60 نوعية في الدراسات النفطية في غرب آسيا لم يسبق وأن تم التطرق إليها.

6- مواد وطرائق الدراسة

- 62 تقوم هذه الدراسة فقط على الآبار التي توفر لها عينات لبابيه، فتاتية، ونفطية، وبالتالي فإن عينات فتاتية ولبابية تم أخذها من
63 بئري 5 Jhar- , 2 Jhar- وعينات نفطية تم أخذها من 9- Jhar , 8- Jhar , 2- Jhar (الجدول 1).
- 64 الجدول 1: العينات المستخدمة في الدراسة مع الرموز والأعماق والتركيب الليثولوجي لكل منها.

Well	Sample	Depth (m)	Lithology
Jhar-2	A	3330	Limestone+shale
	B	3350	Shale
	C	3400	Shale
Jhar-5	D	3200	Shale
	E	3250	Shale
	F	3300	Shale
Jhar9-Oil			Oil
Jhar2-Oil			Oil
jhar8-Oil			Oil

تشير الرموز A, B, C وترتيبها إلى عينات الشيل المأخوذة من البئر Jhar-2 بالتوافق
مع زيادة العمق، وتشير الرموز D, E, F وترتيبها إلى عينات الشيل المأخوذة من البئر
76 Jhar-5 بالتوافق مع زيادة العمق.
77

- 78
- 79 1- تم إجراء تقييم للمحتوى الكلي للكربون العضوي TOC و TMAX باستخدام Rock Eval - 6 ضمن المجال الحراري من 0-
80 600C° (SPC الشركة السورية للنفط).

- 81 2- تم فصل البيتوم من العينات الصخرية مخبرياً (مخبر الجيوكيمياء التحليلية، جامعة دمشق) باستخدام محل ثلاثي مؤلف من
 82 (تولين 70% + استون 15% + كحول 15%) بالتسخين حتى درجة حرارة المحل، حيث اخذ جزء من العينة الصخرية وطحنت
 83 ونخلت بمناخل أبعاد فتحاتها 0.16 الى 0.063 مم، أخذ وزن 5 غ من العينة ثم تم استخلاص البيتوم ووضعه على ساترات موزونة
 84 وحسبت نسبته بال wt% (وزناً بالمئة).
- 85 3- تم فصل البارافين باستخدام الكروماتوغرافية السائلة حتى 265° وهي الدرجة النهائية لعمود الفصل (الشركة العامة لمصفاة
 86 حمص).
- 87 4- أجري اختبار للبصمة الكروماتوغرافية الغازية للقطفة البارافينية المشبعة المستخلصة باستخدام الكروماتوغرافيا السائلة للعينة
 88 Jhar-5E باعتبارها نوعية وممثلة لخصائص التشكيلة باستخدام Chromatec-BP5/30M-300C° (الشركة العامة لمصفاة
 89 حمص).
- 90 5- تم تحديد محتوى كل من العينات الصخرية والبيتوم المستخلص والنفط من العناصر الأثر (V, Cr, Co, Ni, Sr) باستخدام
 91 جهاز الامتصاص الذري NOVA 400 بالطريقة السائلة (الشركة العامة لمصفاة حمص).
- 92 6- تم تحديد الارتباط الخطي لمحتوى العناصر الأثر اعتماداً على علاقة بيرسون.

8- النتائج والمناقشة:

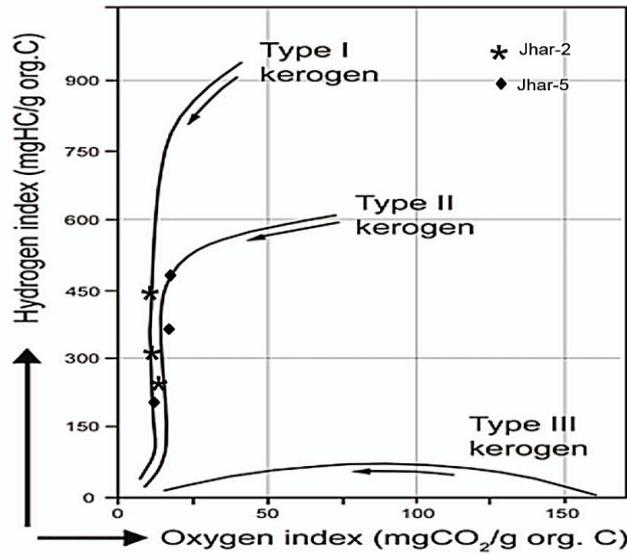
1- تقييم الصخر استناداً لمعاملات Rock Eval:

- 95 يُعد تقدير إجمالي الكربون العضوي (TOC) مهماً في تقييم الصخور المولدة لأنه يوفر معلومات حول كمية المادة العضوية الموجودة
 96 في الصخر والتي هي مصدر الهيدروكربون الذي يمكن توليده وطرده من ذلك الصخر. يمكن استخدام تقدير TOC للمساعدة في
 97 تحديد درجة النضج الحراري للصخور المصدر. ويمكن تقدير درجة النضج الحراري بناءً على محتوى الكربون العضوي الكلي من
 98 خلال ربطه بمعايير جيوكيميائية أخرى ومن ثم إجراء المزيد من عمليات التقييم لإمكانات الصخر المولد (AL-Ameri and Al-
 99 Obaydi, 2011). تم تحديد قيم TOC في العينات المدروسة وإجراء اختبارات تقدير القدرة التوليدية للصخر باستخدام جهاز Rock
 100 Eval، وتم حساب قيم المعاملات الموافقة S1، S2، OI (Oxygen Index)، و HI (Hydrogen Index) (الجدول 2).

الجدول 2: نتائج اختبار العينات المدروسة باستخدام Rock Eval.

Well	Sample	TOC	TMAX	S1	S2	OI	HI
Jhar-2	A	6	435	0.83	18.7	8	311
	B	8	440	0.95	36	12	450
	C	7	447	0.28	14.5	14	207
Jhar-5	D	4	435	0.6	11.1	9	277
	E	8	435	1.16	30.4	17	380
	F	7.5	441	1.25	34.8	11	464

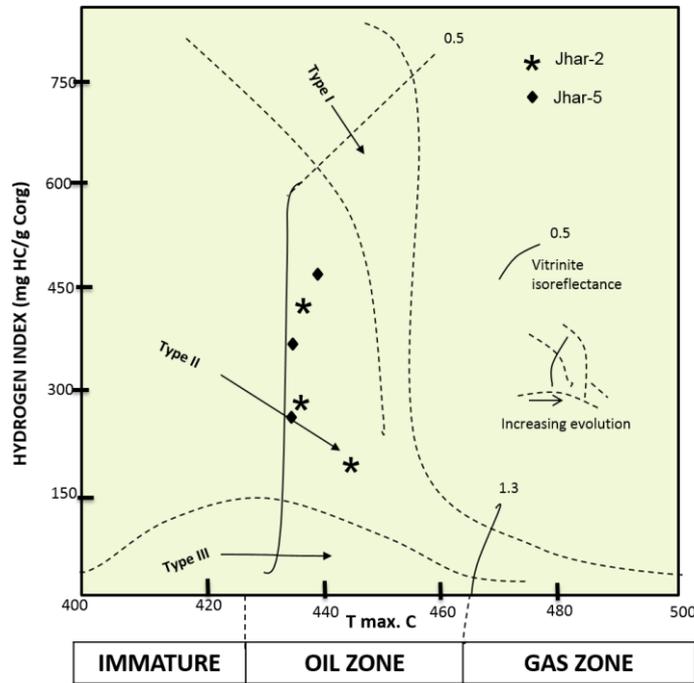
- 102 عادةً ما يتم استخدام مخططات فان كريفلن لإظهار العلاقة بين النسب الذرية لكل من الهيدروجين والأوكسجين إلى كربون، تم إسقاط
 103 قيم كل من دليل الهيدروجين H/C ودليل الأوكسجين O/C في مخطط فان كريفلين (الشكل 4) لكل من العينات المدروسة، ونتيجةً
 104 للمرحلة المتقدمة من النضج الذي أبدته العينات فإنها تركزت على المخطط في موقع متقدم بالنسبة لنمط الكيروجين الذي من
 105 المفترض أن تشير إليه، وبالتالي فإن موقع تركز تلك العينات ضمن المخطط لم تشر بشكل واضح ومباشر لنمط الكيروجين الذي
 106 من المفترض أنها تنتمي إليه خصوصاً وأن قيم معامل الأوكسجين OI أظهرت انخفاضاً في كافة العينات ما جعل مواقع العينات
 107 على المخطط تحرف بأكملها باتجاه مجال النضج مبتعدةً عن نمط الكيروجين الذي من المفترض أن تشير إليه.



109

110 الشكل 4: مخطط فان كريفلن يُظهر العلاقة بين دليل الهيدروجين ودليل الأوكسجين في حقل جهار. لاحظ انحراف العينات لتقع بمجملها ضمن مجال
111 النضج المتداخل بين النمطين I و II.

112 ويهدف التغلب على تلك الإشكالية كان لا بد من اللجوء لطريقة إظهار أو لمخطط يسمح بتحديد نمط الكيروجين بالربط مع
113 معاملات النضج ولكن مع تحييد للنسبة O/C واستخدام معامل آخر يحقق الهدف المنشود، ولقد تم الإسقاط ضمن مخطط Tmax
114 بالعلاقة مع معامل الهيدروجين HI (الشكل 5). ويظهر من الشكل أن الكيروجين في العينات المدروسة ينتمي وبوضوح إلى النمط
115 الثاني ويقع ضمن المجال الناضج حيث تتراوح قيم T_{MAX} بين 435 و 445 درجة مئوية.

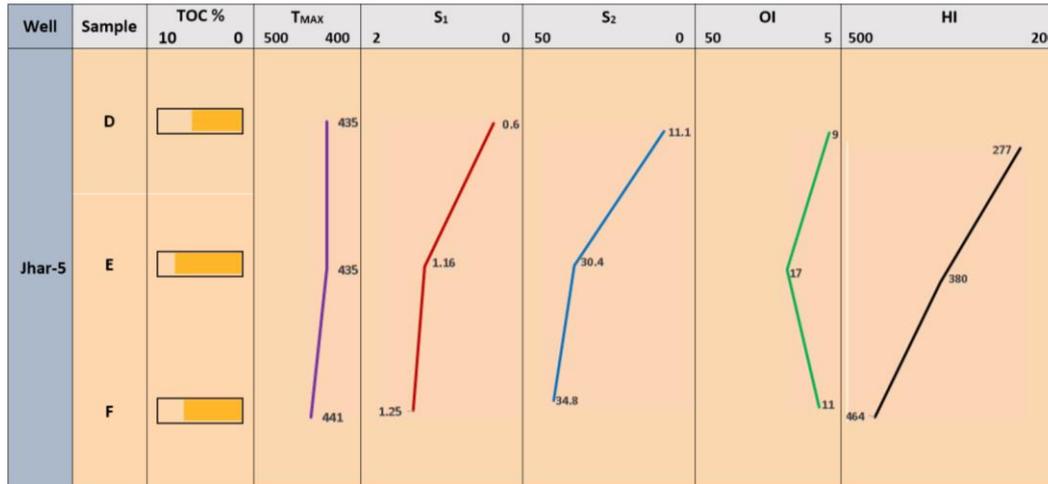
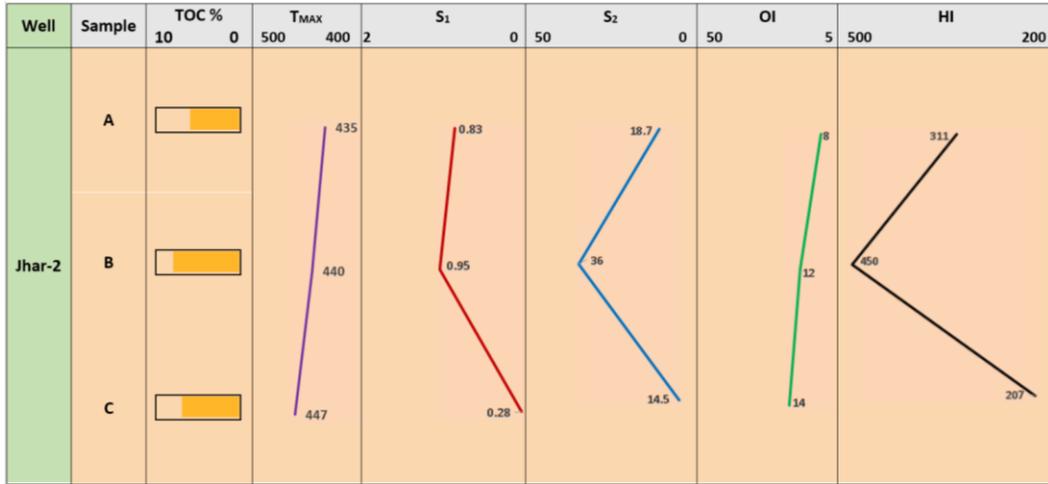


116

117 الشكل 5: نمط الكيروجين ودرجة النضج في حقل جهار بالاعتماد على العلاقة بين T_{MAX} و HI (AL-Ameri and Al-Obaydi, 2011).

118 عادةً ما يُستخدم كل من مؤشر الهيدروجين (HI) ومؤشر الأوكسجين (OI) لتصنيف ظروف الأكسدة والإرجاع لترسب المواد
119 العضوية (AL-Ameri and Al-Obaydi, 2011). تشير القيم الأعلى لـ HI إلى ظروف أكثر إرجاعية، وعلى العكس من ذلك،
120 في البيئة المؤكسدة تميل المادة العضوية إلى أن تكون ذات نسبة O/C أعلى بسبب سيطرة العوامل المؤكسدة (Peters et al,)

121 (2005). بالتالي، فإذا كان HI مرتفعاً وOI منخفضاً، فهذا يشير إلى أن المادة العضوية قد تم ترسيبها في ظل ظروف مرجعة،
 122 وعلى العكس من ذلك، إذا كان HI منخفضاً وOI مرتفعاً، فهذا يشير إلى أن المادة العضوية قد تم ترسيبها تحت ظروف مؤكسدة.
 123 في الشكل (6)، تم إدراج نتائج تحليل Rock Eval لعينات الصخر الأم المأخوذة من البئرين Jhar-2 و Jhar-5 بالربط مع
 124 الليتولوجيا و TOC ونمط الكيروجين.



125 الشكل 6: نتائج معاملات جهاز Rock Eval في حقل جهار للعينات المدروسة في كل من البئر Jhar-2 و Jhar-5. لاحظ القيم المرتفعة للكربون
 126 العضوي الكلي التي تقابل ارتفاع كبير في قيم S₂ ودليل الهيدروجين بالمقارنة مع قيم منخفضة جداً لدليل الأوكسجين.
 127
 128

129 حيث يمكن من خلال الشكل أن نستقرئ ببساطة ارتفاع قيم معامل الهيدروجين HI وتراوحته وسطياً من 300 إلى 400 mg/g
 130 في حين أن قيم معامل الأوكسجين OI لم تتجاوز 20 mg/g (الشكل 6). وهي الحالة التي توافقت المنشأ البحري
 131 للمادة العضوية. وذلك لأن المواد العضوية بحرية المنشأ عادة ما تكون ذات نسبة H/C أعلى من المواد العضوية قارية المنشأ بسبب
 132 وجود المزيد من المجموعات الوظيفية المحتوية على الأوكسجين مثل الأحماض الكربوكسيلية والإسترات. بالإضافة إلى ذلك، تميل
 133 المواد العضوية البحرية إلى الترسب في بيئات خالية من الأوكسجين، مما قد يؤدي إلى ارتفاع قيم Tmax بسبب نقص العوامل
 134 المؤكسدة التي قد تؤدي إلى تحطيم المادة العضوية في أثناء التكسير الحراري (Freeman et al. 2001). يمكن كذلك من الشكل
 135 (6)، أن نلاحظ أن القيم المرتفعة لـ S₂ تتوافق مع قيم عالية من HI ويقابل ذلك قيم منخفضة لـ OI، إن ذلك من شأنه أن يشير
 136 عموماً على مادة عضوية ذات قدرة مرتفعة على توليد الهيدروكربون (Magoon and Dow 1994, Moldowan et al, 2008)،
 137 وبالتالي فهي تؤثر لصخر أم جيد لتوليد الهيدروكربون أثناء النضج الحراري.

138

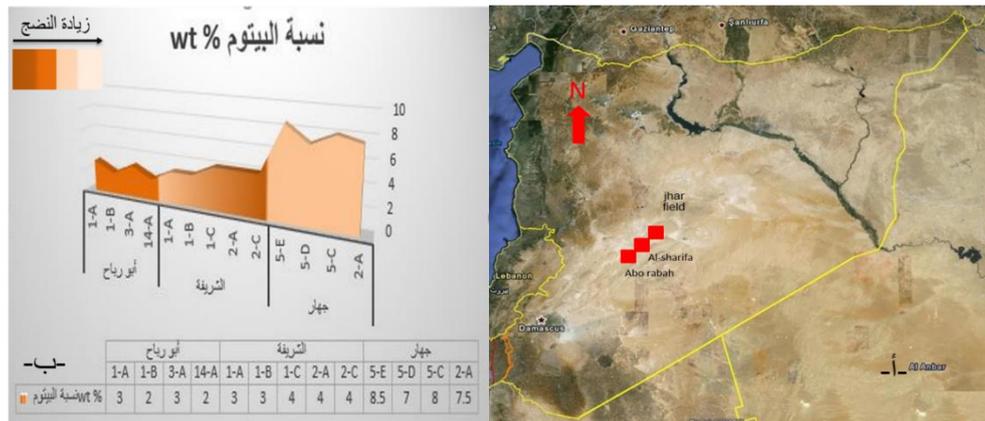
2- فصل المستخلصات ونتائج الكروماتوغرافية

139 كما هو معلوم فإن مستخلصات البيتوم هي عينات من النفط الخام تم فصلها إلى مكوناتها الفردية باستخدام تقنية الفصل
140 الكروماتوغرافي. من شأن ذلك أن يوفر معلومات قيمة حول تركيب وخصائص النفط الخام، تعد مستخلصات البيتوم وتقنيات التحليل
141 اللوني أدوات مهمة لفهم تكوين وخصائص النفط الخام، ويمكن أن توفر رؤى قيمة حول أصله واستخداماته المحتملة.

142

• النسبة المئوية للبيتوم

143 إنه من خلال دراسة النسب المئوية للمستخلصات البيتومية يمكن تقييم جودة وكمية الهيدروكربون الحاضر في الصخر المولد كما أن تحليل
144 البيتوم المستخلص إلى مركباته يساعد في تحديد الصخور المولدة ذات القدرة التوليدية العالية (Peters and Moldwan, 1993)
145 تم استخلاص وحساب نسب البيتوم في العينات المدروسة، وقد تراوحت نسبة البيتوم في حقل جهار بين 7 إلى 8.5 wt%
146 للعينات A,C,D,E. ولدى مقارنة هذه القيم بحقلي الشريفة وأبو رياح المجاورين لها (نتائج غير منشورة بعد¹) على امتداد محور
147 حوض الدو فإن هذه القيم أعلى بمقدار الضعف تقريباً حيث تراوحت القيم فيهما ما بين 2 إلى 4 wt% (الشكل 7) على الرغم من
148 أن قيم TOC في هذين الحقلين (الشريفة وأبو رياح) هي 6 و 7% على التوالي، وبالتالي يمكن استنتاج أنه بالاتجاه من الجنوب
149 الغربي نحو الشمال الشرقي ضمن الحوض تزداد القدرة التوليدية لتشكيلة الأمانوس شيل علماً أنها ضمن المجال الجيد جداً وفقاً لقيم
150 TOC في الحقول الثلاثة السابقة (Jarvie, 1991).



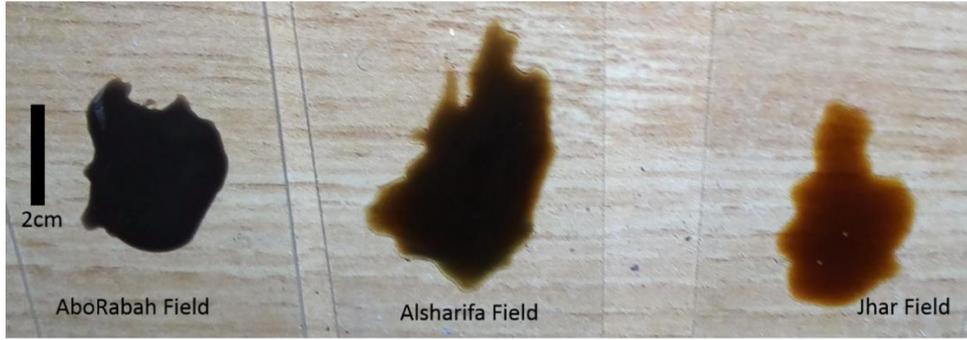
151

152 الشكل 7: مقارنة المحتوى النسبي للبيتوم ولون المستخلص البيتومي لتشكيلة الأمانوس شيل في حقول جهار، الشريفة، أبو رياح. (أ) موقع الحقول
153 بالنسبة لبعضها، (ب) المحتوى النسبي من البيتوم. لاحظ مدى تقدم نضج البيتوم في حقل جهار بالنسبة للحقول المجاورة.

154

155 من ناحية أخرى، فإن دراسة المستخلص البيتومي من الحقول السابقة من حيث اللون أظهرت وجود تدرج لوني للبيتوم (الصورة 2)،
156 حيث يزداد اللون قتامةً باتجاه الجنوب الغربي (حقل أبو رياح)، وعلى نحو معاكس فهو يصبح ذو تدرجات فاتحة باتجاه حقل جهار
157 مما يعتبر مؤشراً لزيادة درجة النضج من جهة ولاختلاف التركيب الكيميائي من جهة أخرى. ويجدر التنويه أن اللون المدروس هنا
158 هو لون المستخلص البيتومي وليس لون المادة العضوية الأم، بالتالي فإن الدرجة اللونية هنا لا تعكس نضجاً أعلى بزيادة القتامة،
159 بل تعكس نضجاً أعلى وتركيباً كيميائياً بمكونات أكثر خفة كلما كان المستخلص البيتومي أفتح لوناً.

¹ تحاليل أولية قيد الإنجاز لبحث آخر يقوم به الباحث حالياً



الصورة 2: البيتوم المستخلص من حقول أبو رباح، الشريفة، جهار. لاحظ الاختلاف اللوني بين البيتوم المستخلص من الحقول الثلاثة.

• تحليل البارافينات في المستخلص البيتومي

160 ويهدف فهم تركيب وخصائص البيتوم المستخلص من العينات المدروسة، فإن تحليل البارافينات في مستخلص البيتوم تحليلاً
161 كروماتوغرافياً ودراسته يشكل أداة مهمة من شأنها تقديم رؤى قيمة حول تركيب وخصائص البيتوم المدروس. وبالإضافة إلى أنها
162 يمكن أن توفر نظرة ثاقبة للعمليات الجيولوجية التي أدت إلى تكوين النفط الخام وللظروف المسيطرة آنذاك.
163 بعد استخلاص البيتوم من الصخر تم اخذ البارافين المستخلص من العينة Jhar-5E واختبارها باستخدام الكروماتوغرافيا الغازية GC-
164 GCMS191M/Z-GCMS217M/Z كانت النتائج على النحو الآتي (الجدول، 3).
165
166
167
168 الجدول 3: القيم الرقمية لبارامترات GC-GCMS191M/Z-GCMS217M/Z في العينات المدروسة في حقل جهار.

معاملات الكروماتوغرافية الغازية ومطياف الكتلة															
GC	No:	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	TAR	OEP	CPI		
	Jhar 5-E	0.71	0.32	0.28	0.36	0.95	1.27	0.78	0.92	0.35	0.41	0.89	0.95	14.59	28.38
GC-MS191M/Z	No:	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9					
	Jhar 5-E	<1	0.73	0.42	0.48	0.03	4.85	0.21	0.64	0.39					
GC-MS217M/Z	No:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	Jhar 5-E	33.8	23.8	42.3	35	22	41	0.54	0.49	0.6	0.17	1.8	55.94	14.59	28.38

K1=Pr/Phy
K2=Pr+Phy/ n C17 + n C18
K3=Pr/n C 17
K4= Phy/ n C18
K5= n C18 + n C20/ 2n C19
K6= n C13 + n C14 + n C15/ n C25 + n C26 + n C27
K7=1/K6
K8=2 n C29/ n C28 +n C30
K9=n C31/ n C19

T1=C26/C25
T2=TS/TM
T3=TS/TS+TM
T4=29 °β/30 °β
T5=30 G/30 °β
T6=C35 22S,22R/ From C31 to C35 22S,22R
T7=C34/C35 (22S,22R)
T8=C31 (22S/22S+22R)
T9 = C31/C30 hopane

1: C₂₇ % Steranes [C₂₇ or C₂₈ or C₂₉ (αα +ββ +βα + αβ)] / [C₂₇ + C₂₈ +C₂₉ (αα +ββ +βα + αβ)] X 100 . or
2: C₂₈ % Steranes [C₂₇ + C₂₈ +C₂₉ (αα +ββ +βα + αβ)] / [C₂₇ or C₂₈ or C₂₉ (n + iso + rea)] / [C₂₇ +C₂₈ +C₂₉ (n + iso + rea)] x 100
3: C₂₉ % Steranes
4+ 5+6: (regular steranes)
[C₂₇ or C₂₈ or C₂₉ (αα +ββ)] / [C₂₇ + C₂₈ +C₂₉ (αα +ββ)] x 100
7: C₂₈ / C₂₉ regular steranes
8: steranes index C₂₉ (αα) : 20S / 20S + 20R .
9: steranes index C₂₉ (αα , ββ 5 R) : ββ/ββ +αα or iso / iso + normal
10: diasteranes / regular steranes
11: Regular Steranes / 17 α – Hopanes : C₂₇ , C₂₈ , C₂₉ ααα (20S +20R) and αββ (20S + 20 R) / C₂₉ – C₂₅ including 22S + 22R from C₃₁ – C₃₅ homohopanes .
12: Iso Steranes
13: rearranged steranes
14: normal steranes

TAR= n C27 + n C29 + n C31 / n C15 + n C17 + n C19
CPI=1/2 {(En C17 to n C31)/(En C16 to n C30) + (En C17 to n C31)/(En C18 to n C32)}
OEP= Odd/Even

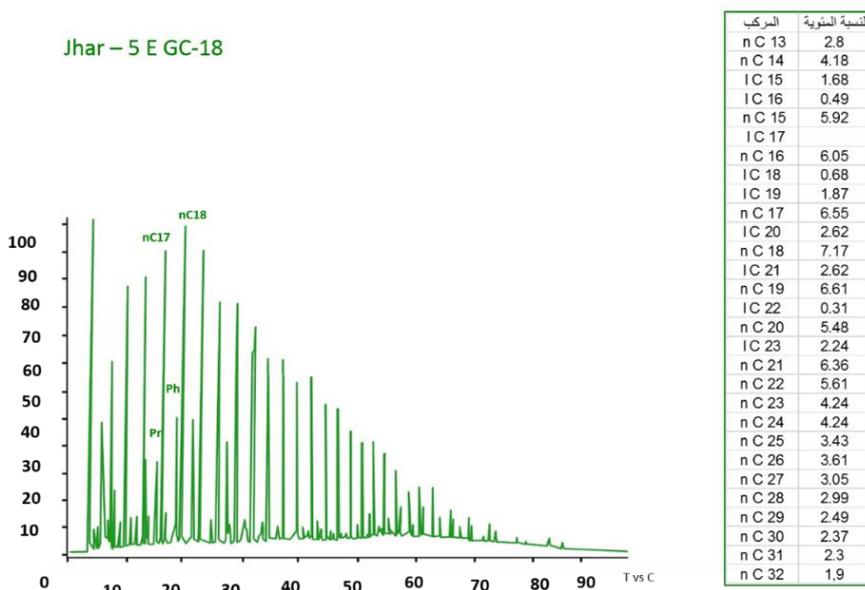
• الكروماتوغرام

169 عادةً ما يتم عرض مخرجات الكروماتوغراف على شكل مخطط كروماتوغرام، وتمثل كل قمة (بيك) في الكروماتوغرام مركباً مختلفاً
170 من البارافين، وتتوافق المساحة الموجودة أسفل كل قمة مع كمية هذا المركب الموجود في العينة (Engel and Macko, 1993).
171 تم تحويل المعطيات الواردة في الجدول 3 إلى مخططات كروماتوغرام (الاشكال 8، 10، 11)، وتمت دراستها من حيث شكل تلك
172 المخططات وحسابات قيم معاملات معينة كالفيتان والبريستاتان وما يمكن ان تؤثر له تلك المعطيات. فشكل الكروماتوغرام يمكن أن
173 يزودنا بمعطيات حول الخصائص الكيميائية للمكونات التي تم فصلها، كما أن تشكيل بعض البيكات ظاهرة السنام "hump" كثيراً
174 ما يؤشر لتآكل حيوي (Volkman, 1986).
175
176

177
178
179
180
181
182

شكل الكروماتوغرام

من خلال الشكل العام للدياگرام (الشكل 8) يلاحظ غياب ظاهرة السنام "Hump" ما يؤشر لغياب عمليات الأكسدة كون وجوده يشير لوجود مركبات معقدة في المزيج الخاضع للتحليل كمعقدات غير قابلة للانحلال UMCS أو وجود إيزوميرات أو مركبات ذات وزن جزيئي أعلى تتشكل خلال عمليات الأكسدة للمادة العضوية (Engel and Macko, 1993) ويمكن القول أن المادة العضوية ناضجة من خلال الانتقال التدريجي للمركبات nC18-nC25، وإن الازدياد في طول السلسلة يشير لدرجة أعلى من الكربنة أو للتحويل الحراري للمادة العضوية خلال الزمن (Peters et al, 2005).



183

184

الشكل 8: الكروماتوغرافيا الغازية للقطعة البارافينية المشبعة في حقل جهار. لاحظ وجود سيطرة للألكانات الخفيفة على الثقيلة ووجود نهوض واحد في

185

قمم البيكات مما يشير إلى وسط بحري ومادة عضوية ناضجة ويمكن ملاحظة الانخفاض التدريجي للألكانات nC2-nC18

186

• النسبة بريستانان 1 فيتان (Pr/Phy)

187

عادةً ما يتم الاستقادة من مخطط الكروماتوغرام للبارافينات في حساب النسبة بريستانان إلى فيتان Pr/Phy في الكروماتوغرام. ومن

188

ثم استخدامها في الكشف مصدر المادة العضوية. وإن نسبة أقل من الواحد عادةً ما تشير إلى سيطرة الفيتان والذي غالباً ما يرتبط

189

بمصدر بحري أو مائي. أما نسبة أكبر من الواحد فعادةً ما تشير إلى سيطرة البريستانان، والذي غالباً ما يرتبط بمصدر قاري أو نباتات

190

عليا (Peters et al, 2005; Volkman, 1986). وقد بينت قيم Pr/Phy 0.71 أي اقل من 0.8 مما يشير إلى وسط مرجع

191

وترسيب بحري.

192

• Pr/nC17، Phy/nC18 و TAR

193

على نحو مماثل فإن لحساب نسبة كل من البريستانان إلى مرافقه Pr/nC17 والفيتان لمرافقه Phy/nC18 تطبيقات في فهم نضج

194

ومصدر المادة العضوية. كلتا النسبتين معاً غالباً ما يستخدمان من أجل فهم مدى نضج المادة العضوية، حيث أن النسب الأعلى

195

عادةً ما تشير إلى مادة عضوية ذات درجة نضج أعلى (Peters et al, 2005). وإن تفسير هذه المعطيات يمكن أن يزودنا

196

بمعلومات حول مصدر المادة العضوية.

197

وعادةً ما ترتبط النسبة المنخفضة من Pr/nC17 (بشكل منفرد)، بمادة عضوية أكثر نضجاً لأن البريستانان هو مركب من

198

الإيزوبرونويدات التي تتناقص نسبها تدريجياً مع زيادة النضج. في حين أن النسبة Phy/nC18 غالباً ما ترتبط بمادة عضوية أكثر

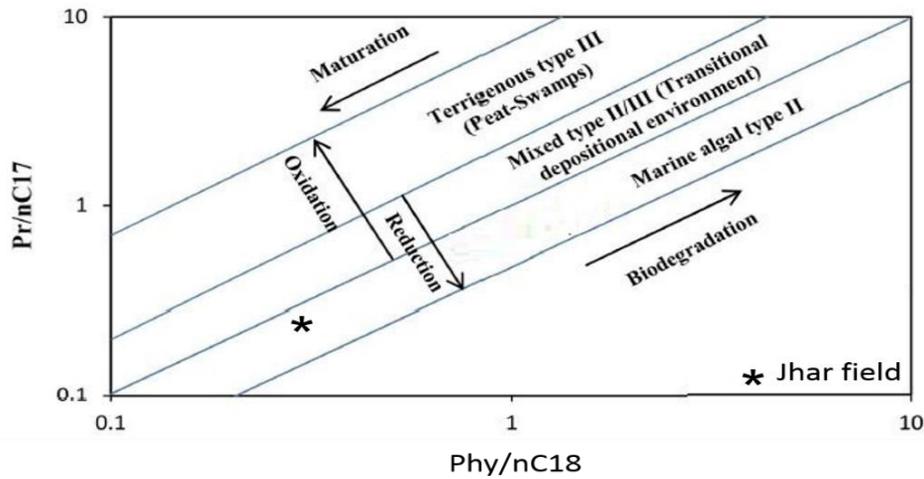
199

نضجاً لأن الفيتان غالباً ما يتشكل في أوساط أكثر إرجاعية وأكثر نضجاً (Brassell et al, 1986; volkman et Maxwell,)

200

وقد تبين من حساب النسبة pr/nC17 أنها تساوي 0.28 والنسبة phy/nC18 تساوي 0.36 (1996; Huang et al, 1992).

201 ومن ثم الإسقاط ضمن مخطط العلاقة Pr/nC17 بدلالة Phy/nC18 (الشكل 9) أن الكبروجين من النمط الثاني ذات درجة النضج
202 المتقدمة بحسب ما يشير المخطط.



203 الشكل 9: مخطط العلاقة بين البريستان - فيتان بالنسبة إلى مرافقيهما في حقل جهار، يلاحظ وقوع القيمة ضمن مجال الوسط البحري ذو النمط الثاني
204 للكبروجين ضمن القطاع الأكثر نضجاً من المخطط (لاحظ السهم العلوي الذي يشير إلى جهة زيادة النضج، والسهم السفلي الذي يشير لعمليات التآكل
205 (الحيوي)

206 • نسبة المكونات ذات الأصل القاري إلى المكونات ذات الأصل البحري TAR
207 بهدف تقييم المنشأ والأصل للمادة العضوية المدوسة فيما إذا كان قاري أم بحري أم مختلط فقد تم إجراء حساب للنسبة TAR والتي
208 تحسب من المعادلة التالية:

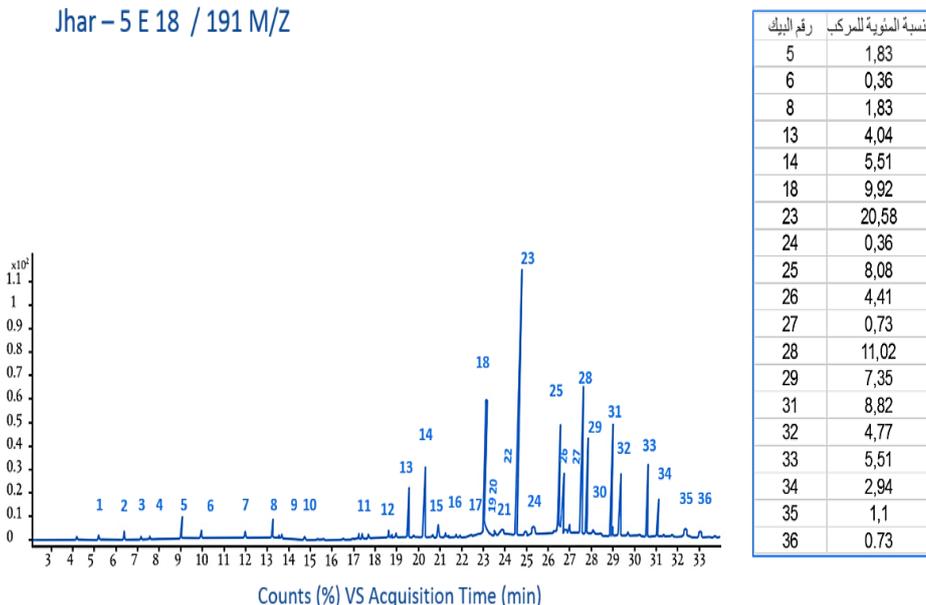
209
$$\text{TAR} = \frac{n C_{27} + n C_{29} + n C_{31}}{n C_{15} + n C_{17} + n C_{19}}$$

210 (Peters et al, 2005)، وقد كانت النتيجة تساوي 0.41، أي سيطرة المكونات ذات المنشأ البحري على المادة العضوية. ومن خلال ربط هذه
211 القيمة بالقيم المحسوبة لكل من Pr/nC17 و Phy/nC18 وكذلك بموقع العينة في الشكل (9)، يمكن اعتبار هذه القيمة دليل على
212 وسط بحري مفتوح (غير مقيد على أقل تقدير)، ومادة عضوية سابروبيلية، وإن قيمة TAR 0.41 (بالكاد أعلى من القيمة 0.4)
213 وهي تؤشر بدورها إلى أن المادة العضوية ناضجة (Peters et al, 2005)، بالنتيجة، فإن المادة العضوية الناضجة تتوضع نموذجياً
214 في بيئة منخفضة الأوكسجين تحفز النشاط الميكروبي في تفكيك المادة العضوية. علاوةً على ذلك فإن هذه المادة العضوية الناضجة
215 بحرية المنشأ المترسبة في وسط منخفض المحتوى الأوكسجيني تتوافق مع خصائص السابروبييل وهذا ما سيتم التثبت منه من خلال
216 دراسة وتفسير التريانات والستيرانات (Volkman, 2003).

217 • دراسة التريانات بكروماتوغراف الكتلوي عند نسبة الكتلة للشحنة تساوي 191 (GCMS 191M/Z)
218 تقدم دراسة التريانات معلومات هامة عن النضج والتركيب الليثولوجي للصخر الام وعمليات الدياجينيز، ويقدم المركبين التريانيين
219 Trisnorphane (Ts) و Tetrakisnorphane (Tm) معلومات دقيقة تستخدم عادة لفهم نضج المادة العضوية لأن هذه المركبات
220 تشق من البكتريا التي عاشت في البيئات البحرية وتصبح أكثر استقراراً مع مرور الزمن بنضج المادة العضوية.
221 كلما كانت النسبة Ts/Tm أعلى فإنها تؤشر لمادة عضوية أكثر نضجاً. وذلك لأن Ts أكثر ثباتاً مقارنةً بـ Tm ويتم حفظه تفضيلاً خلال
222 النضج. وإن Ts/Tm يمكن إذاً أن يتم استخدامها من أجل تصنيف المادة العضوية إلى درجات نضج عدة. (غير ناضجة: Ts/Tm > 3.0 >
223 1.0، ناضجة بشكل طفيف: Ts/Tm = 2.0 - 1.0، ناضجة: Ts/Tm = 3.0 - 2.0، فوق ناضجة: Ts/Tm > 3.0).
224 من الشكل (10)، والجدول (3)، نستنتج أن نسبة TS\TM = 0.73، لتؤكد أن المادة العضوية أقرب ما تكون للناضجة حيث تعتبر
225 القيمة 0.2 بداية للتوليد وهي بالتالي تؤشر لتقدم عملية النضج الحراري، أما نسبة TS\TS+TM البالغة 0.42 تشير الى صخر ام
226 ذو تركيب كلسي غضاري حيث تتراوح هذه القيم عادة بين الصفر للحجر الكلسي والواحد بالنسبة للحجر الغضاري، وعند اجراء
227

228 مقارنة الايبيميرات الحيوية (Tm) مع الايبيميرات الجيولوجية (Ts) يُلاحظ سيطرة واضحة للحوية منها مما يشير الى ضعف تأثر
229 التشكيلة الأم الحاوية على المادة العضوية بعمليات التحول اللاحق (Stonik and Kolesnikova, 2021).

Jhar – 5 E 18 / 191 M/Z



230

231

الشكل 10: التريانات المقاسة في القطعة البارافينية المشبعة في حقل جهاز عند الشحنة 191M/Z.

232

• دراسة الستيرانات بالكروماتوغراف الكتلي عند نسبة الكتلة للشحنة تساوي 217 (M/Z 217GCMS)

233

تعتبر الستيرانات علامات حيوية (Biomarker) يمكن استخدامها في اقتفاء مصدر وظروف ترسيب المادة العضوية. حيث يمكن

234

للمستيرانات أن تقدم معلومات هامة بما يخص المنشأ الحيوي للمادة العضوية بالإضافة لعمليات النضج والتآكل البكتيري. من خلال

235

معطيات الجدول (3)، ومخطط الكروماتوغرام (الشكل 11)، الخاص بالستيرانات ومن خلال إسقاط قيم $C_{27}5\alpha 20R$ ، $C_{28}5\alpha 20R$ ،

236

$C_{29}5\alpha 20R$ في المخطط الموافق (الشكل 12)، فإن التركيب الموافق للعينة المدروسة يقع ضمن قطاع مشترك بين ثلاثة حقول

237

مكوناتها تؤكد بأن تركيب المادة العضوية مكون بصورة رئيسة من بلانكتون وبشكل أقل أشنيات وبكتريا (حيث استبعد مشاركة

238

النباتات القارية في تشكيل المادة العضوية أعلاه لانقضاء وجود أي مؤشر لبيئات قارية حسب المعاملات المدروسة)، وكذلك من خلال

239

إسقاط النسب المئوية C_{27} ، C_{28} ، C_{29} في المخطط الموافق (الشكل 13) يتبين أن المادة العضوية المدروسة ذات منشأ بحري دون

240

أدنى التباس. نستنتج من هذه المعطيات جميعها أن المادة العضوية في التشكيلة المدروسة تعود في أصلها بصورة رئيسة للأشنيات

241

والبلانكتون (سابروبيالية) في وسط بحري مفتوح كون الأوساط البحرية المغلقة ستعطي معامل ملوحة أعلى وتركيز أكبر لمركبات

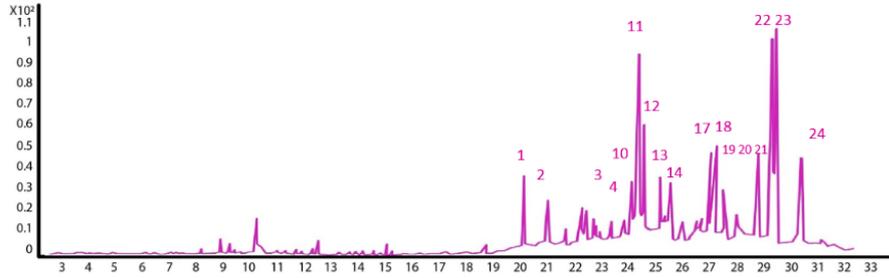
242

C_{24} Terpanes التي تعود بأصلها بشكل أساسي للبكتريا التي تنشط في الأوساط المغلقة ذات الطاقة الهائلة ضمن صخور كربوناتية

243

أو متبخرات وهنا تراكيزها منخفضة دون الحد الأدنى للقياس (الشكل 10) (Peters et al, 2005; السيد بكور، 2010).

Jhar 5E - 18/ 217 M/Z

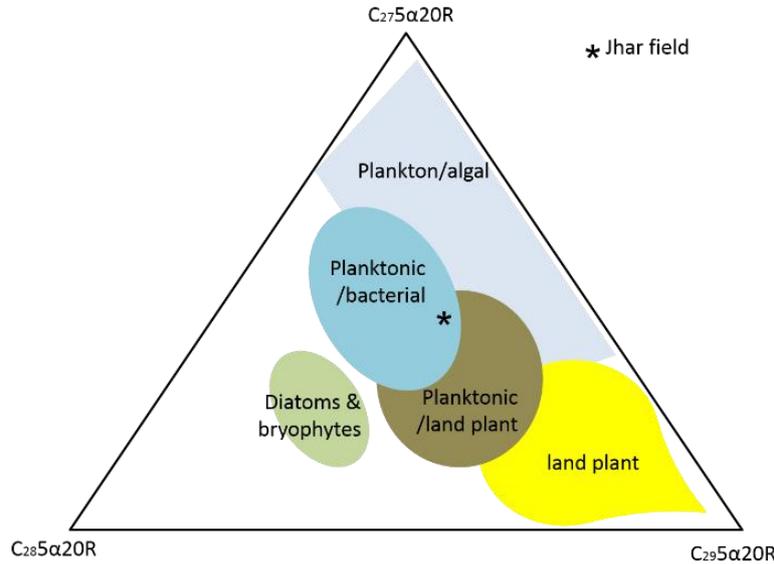


رقم البيك	النسبة المئوية للمركب
1	5.76
2	4.52
3	2.26
4	2.05
10	4.32
11	13.58
12	7.81
13	4.32
14	1.02
17	6.58
18	6.37
19	3.7
20	1.85
21	6.99
22	13.37
23	8.23
24	7.2

Counts (%) VS Acquisition Time (min)

244
245

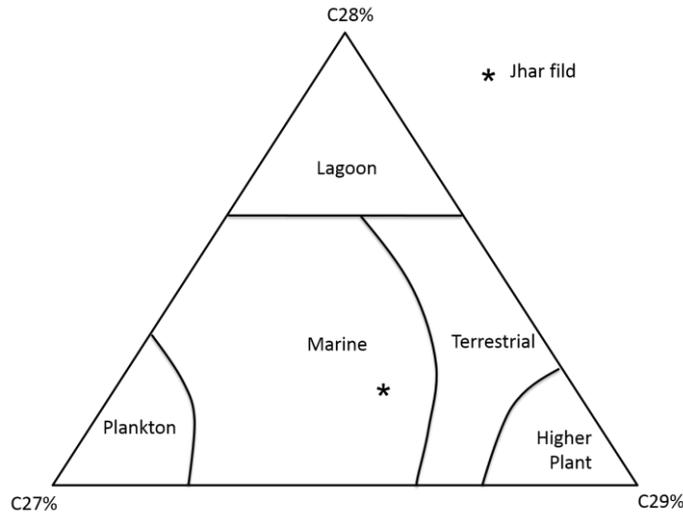
الشكل 11: الستيرانات المقاسة في القطة البارافينية المشبعة في حقل جهار عند الشحنة 217M/Z.



246
247
248

الشكل 12: مخطط ثلاثي $C_{27}5\alpha 20R$ ، $C_{28}5\alpha 20R$ ، $C_{29}5\alpha 20R$ لمنشأ المادة العضوية (Elnady et al, 2018). لاحظ وقوع المأخوذة من حقل جهار استناداً لنتائج اختبار الستيرانات ضمن قطاع مشترك بين ثلاثة مجالات حيوية.

249 من ناحية أخرى، إن دراسة الدياستيرانات، وهي نوع من الستيرانات التي تولدها الأشنيات المقاومة للتأكل الحيوي وغالباً ما تتواجد
250 في الصخور المولدة الكربوناتية، يمكن أن تزودنا بمعطيات حول تركيب الصخر المولد وبيئة ترسبه، وفي العينة المدروسة فإن نسبة
251 الدياستيرانات تساوي 0.17 (الجدول 3) وهو ما يؤشر إلى أن الصخر كربوناتي من حيث التركيب وربما مياه بيئة بحرية ضحلة
252 نسبياً (Mamaseni et al, 2019). أما دليل الستيران الذي يقيس نسبة الستيرانات المتأكلة إلى تلك غير المتأكلة، فيمكن أن
253 يزودنا بمعطيات حول خضوع المادة العضوية لتأكل حيوي من عدمه، فكلما ارتفعت النسبة كلما كان التفكك أو التآكل الحيوي أكبر،
254 وفي العينة المدروسة تبين أن دليل الستيرانات يساوي 0.49 وهي قيمة قريبة ولكنها أقل من النسبة 0.55 (الجدول 3)، وهي الحد
255 الذي تعتبر العينة فوقه متأكلة حيوياً، بالتالي فإن المادة العضوية ناضجة وغير متأكلة إلى طفيفة التعرض للتآكل الحيوي (Elnady
256 et al, 2018).



الشكل 13: مخطط ثلاثي C27%، C28%، C29% لأوساط ترسيب المادة العضوية (Mamaseni et al, 2019). لاحظ وقوع العينة المأخوذة من حقل جهاز في وسط الترسيب البحري استناداً لنتائج اختبار الستيرانات.

3- العناصر الأثر

من غير المشكوك به أهمية الجيوكيمياء العضوية في الدراسات النفطية، إلا أن الجيوكيمياء اللاعضوية كإدخال دراسة العناصر الأثر في دراسات ترابط صخر أم-نفط، وصخر أم-صخر أم أثبتت فعالية وحقق نتائج باهرة في تعزيز فهمنا لمنشأ النفط، مسارات الهجرة، اتصال الخزانات ببعضها، وعمليات التغير أو التبدل اللاحق (Peters and Molodwan, 1993; Hunt, 1996). لقد تم اختيار مجموعة من العناصر لإتمام هذه الدراسة، وإن هذا الاختيار لم يكن عشوائياً، فطبيعة الأهداف المنشودة في هذه الدراسة جعلت من اختيار عدد محدود ولكنه نوعي من العناصر هدفاً في هذه الدراسة لتجنب التوسع بشكل يفوق ما يستوعبه هذا البحث هنا ولسبب إضافي هو وضع العناصر المختارة ضمن اختبار لمدى قابلية اعتماد هذه العناصر في إكمال وإنجاز أهداف الدراسة هنا وقابليتها للتكامل مع المعطيات المحصول عليها من الدراسة الجيوكيميائية العضوية في حالة الدراسة هذه. وبناءً عليه فقد وقع الاختيار على العناصر التالية: الفاناديوم V، الكروم Cr، الكوبالت Co، النيكل Ni، السترونسيوم Sr، إن هذه العناصر ذات خصائص فريدة وذات سلوك جيوكيميائي نوعي، ونلخص أسباب اختيارنا لهذه العناصر بما يلي:

1. الفاناديوم والنيكل: هذه العناصر الأثر التي كثيراً ما ترتبط بالزيوت الثقيلة والنيكوم المشتق من صخور أم ذات درجات نضج متقدمة. وإن وجودهما ونسبهما يمكن أن تزودنا برؤى حول النضج الحراري للزيوت (Peters and Molodwan, 1993; Hunt, 1996).
2. الكروم: عادةً ما يبدي حركية نسبية منخفضة في أثناء هجرة النفط. يمكن أن يستخدم كبصمة لتحديد النفوط من نفس الصخر الأم أو الخزان (Molodwan et al, 1985; Peters and Molodwan, 1993; Hunt, 1996). علاوةً على ذلك، كثيراً ما يستخدم النيكل والكروم كمؤشرات للبيئة القديمة في دراسة الصخر المولد والمادة العضوية. (Meyers and Ishiwatari, 1993; Jiao et al, 2010; Liuet al, 2015; Filella and Bigham, 2018).
3. الكوبالت: نمط توزيعه ونسبه يمكن أن تساعد في تمييز الزيوت من مصادر مختلفة أو تحديد حوادث الخلط بين الزيوت (Peters and Molodwan, 1993; Hunt, 1996).
4. السترونسيوم: يمكن لتركيز السترونسيوم أن يزودنا بمعطيات حول الخصائص الجيوكيميائية للنفوط. فيمكن من تحليل تراكيز السترونسيوم بالربط مع عناصر أثر أخرى ومعاملات جيوكيميائية أن نحصل على رؤى فيما يخص تركيب الصخر الأم، بيئة الترسيب، واحتمالية الربط بين النفوط ومصادر متنوعة أو خزانات (Molodwan et al, 1985; Peters and Molodwan, 1993; Hunt, 1996).

283 سيقوم هذا البحث إذاً على الدراسة لعناصر V, Cr, Co, Ni, Sr ضمن ثلاث مواد وهي (الصخر الأم، البيتوم المستخلص من
284 الصخر ذاته ، النفط المنتج) ومقارنتها فيما بينها بهدف التأكد من فاعليتها في دراسة طرق الهجرة، وربط النفوط مع الصخر الأم
285 بالتكامل مع تحديد المؤشرات الحيوية، حيث تعتبر عمليات الربط نطف - صخر أم من أعقد عمليات الدراسة الجيوكيميائية.
286 يُظهر الجدول (4)، تراكيز العناصر المذكورة في كل من الصخر والبيتوم والنفط على التوالي، يضاف إليها متوسط تراكيزها ضمن
287 الشيل النموذجي.

288 الجدول 4: تراكيز العناصر ضمن الصخر والبيتوم المستخلص منه والنفط المنتج من حقل جهاز مقدره بال mg/g وتراكيزها ضمن الشيل عالمياً.

Bitumen	V	Cr	Co	Ni	Sr
Jhar 2A	0.00921	0.0193	0.0028	0.0012	0.021
Jhar 2B	0.00976	0.0189	0	0.00317	0.028
Jhar 2C	0.006	0	0	0.0009	0.0198
Jhar 5D	0.00854	0.021	0.0017	0.00128	0.02
Jhar 5E	0.00631	0.0097	0.0018	0.0025	0.0235
Jhar 5F	0.00639	0.006	0	0.00101	0.0247
Rock	V	Cr	Co	Ni	Sr
Jhar 2A	0.0101	0.0095	0.005	0.0027	0.0317
Jhar 2B	0.012	0.017	0.0004	0.0038	0.0302
Jhar 2C	0.0091	0.0029	0.0012	0.0023	0.0256
Jhar 5D	0.0102	0.0244	0.004	0.0035	0.0347
Jhar 5E	0.0097	0.0114	0.0035	0.0041	0.029
Jhar 5F	0.0088	0.0095	0.0001	0.0026	0.0288
Oil	V	Cr	Co	Ni	Sr
Jhar9-Oil	0.00851	0	0.0062	0.002	0.021
Jhar2-Oil	0.009	0	0.0023	0.0018	0.0361
Jhar8-Oil	0.00774	0	0.0039	0.0033	0.09
PAS/Shale*	130	90	19	68	380

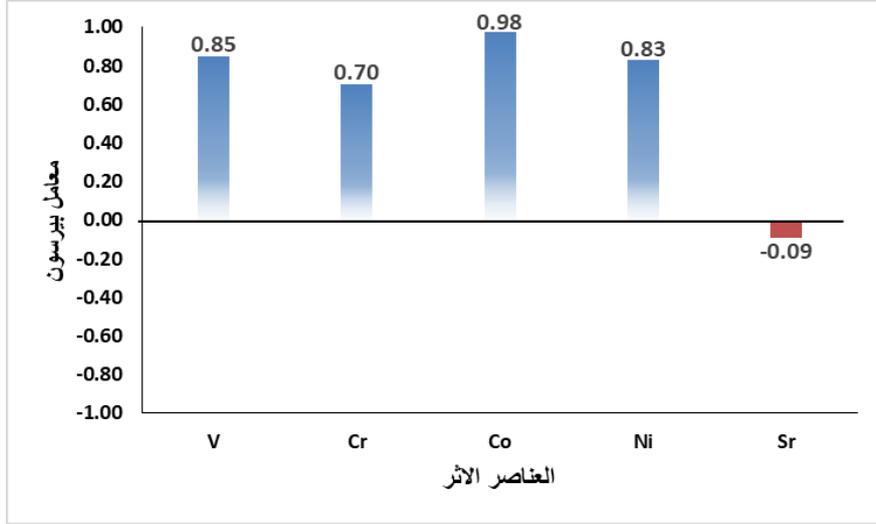
*متوسط تراكيز العناصر الأثر في الشيل عالمياً بحسب (Turekian and Wedopohl, 1981).

289 • معامل الارتباط
290 بهدف تقييم درجة ومتانة الارتباط بين المعاملات المختارة هنا (العناصر الأثر) وبين المواد الحاوية عليها (صخر أم، مادة عضوية،
291 نفط)، وإظهار قابلية هذه العناصر لاعتمادها كأدوات في تحقيق أهداف الدراسة الجيوكيميائية فقد تم اللجوء لاستخدام مقياس لقوة
292 واتجاه العلاقة الخطية بين هذه المتغيرات. هذا المعامل يدعى معامل بيرسون الخطي، المعروف أيضاً باسم معامل ارتباط بيرسون
293 r، تتراوح قيمة r لبيرسون من -1 إلى 1، حيث يشير -1 إلى علاقة خطية سلبية مثالية، ويشير 1 إلى علاقة خطية إيجابية مثالية،
294 ويشير 0 إلى عدم وجود علاقة خطية.

295 تم تطبيق علاقة بيرسون (Tribovillard et al, 2006) لدراسة معامل الارتباط بين كل من العناصر السابقة ضمن البيتوم مع
296 نظيراتها ضمن الصخر المولد (الشكل 19) وذلك حسب العلاقة:

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 + \sum(y_i - \bar{y})^2}}$$

297
298 حيث r معامل الترابط، x_i قيم المتغير في العينة x، \bar{x} متوسط قيم المتغير في العينة x، y_i قيم المتغير في العينة y، \bar{y} متوسط
299 قيم المتغير في العينة y.
300



الشكل 14: قيم معامل بيرسون للارتباط الخطي للعناصر الأثر. تشير الأعمدة الزرقاء لارتباط موجب، والعمراء لارتباط سالب.

301
302 من الشكل (14)، نستنتج أن كافة العناصر المدروسة تبدي ترابطاً خطياً موجباً وقوياً (> 0.5)، أي هناك علاقة حقيقية بين تراكيز
303 تلك العناصر في الصخر المولد وتراكيزها في المادة العضوية وهي ليست علاقة عشوائية بل إنها خاضعة لعوامل تحكمها و تسيطر
304 على سلوكها فيما بين هذين المكونين حيث أن زيادة تركيز عنصر في الصخر الأم مثلاً سيعني ارتفاع تركيز ذلك العنصر في
305 المادة العضوية، عدا السترونسيوم الذي يبدي سلوكاً جيوكيميائياً غير منتظماً ولا يمكن التنبؤ به مسبقاً حسبما يبدي (الشكل 14)،
306 حيث يبدي معامل ارتباط ذي قيمة سالبة وأقرب للصفر وتساوي -0.01 أي (< 0.5) أي أن الترابط الخطي بين تراكيز ذلك
307 العنصر بين الصخر الأم والمادة العضوية يكاد يكون معدوماً وهو سالب إن وجد (أي أن زيادة قيمته في وسط قد تعني تناقصه في
308 الوسط الآخر وبالعكس وذلك في حال كان هناك من ترابط)، وإن سلوكه سيكون محكوماً بعوامل أخرى غير الاقتران بين الصخر
309 الأم والمادة العضوية. بالتالي يمكن اعتماد كل من العناصر V, Cr, Co, Ni في دراسة العلاقة وإجراء الترابطات بحسب أهداف
310 الدراسة، أما السترونسيوم فإن تفسير سلوكه وتراكيزه سيكون حساساً لعوامل إضافية أخرى تتجاوز العلاقة المباشرة بين الصخر الأم
311 والمادة العضوية حيث يبدي هذا العنصر ميلاً ضعيفاً للارتباط بالمادة العضوية ويميل للارتباط بالمكون الفلزي (Zuo et al, 2020).

• نموذج توزع العناصر بالمقارنة مع متوسط تركيب الشيل النموذجي PAS

314 تم اجراء مقارنة لمتوسط تراكيز العناصر المدروسة لهذه العناصر (الشكل 15)، في كل من الصخر الأم، والبيتوم المحتوي ضمنه،
315 وكذلك النفط المتولد عنه فيما بينها من جهة، وقد تم وضع المحتوى المتوسط من تراكيز العناصر المدروسة في الشيل النموذجي
316 العالمي (PAS Post-Archean Average Shale) كمرجع للمقارنة من جهة أخرى. وتم استنتاج الآتي:
317 إن نموذج توزع العناصر في الصخر الأم المدروس يبدي تطابقاً مذهباً مع نموذج توزع العناصر ذاتها في الشيل النموذجي، يعني
318 ذلك أن الصخر الأم يشترك مع الشيل النموذجي بالعديد من الخصائص الجيوكيميائية والتركيب ويحمل نفس البصمة لنمط توزع
319 العناصر المدروسة ضمن الشيل النموذجي. إلا أن تراكيز العناصر الأثر في الصخر الأم أقل بمقدار 10 أضعاف من تلك الخاصة
320 بالشيل النموذجي العالمي، ويشير ذلك إلى عمليات افتقار أو تخفيف لهذه العناصر في الصخر المولد مقارنة بالشيل. إن هذا الافتقار
321 أو التخفيف يمكن أن يكون نتيجة لعوامل عديدة مثل مصدر الشيل نفسه، التجوية، الغسل، أو الإزالة الانتقائية لفلزات محددة أو
322 عناصر أثناء عمليات الدياجينيز أو التحول (Taylor and McLennan, 1985; Rudnick and Gao, 2003).
323 كما أن تماثل شكل النموذجين الذين يبديان سوياً غنى نسبياً بالسترونسيوم يتناقض بالانتقال نحو النيكل ليلبغ القيم الدنيا عند الكوبالت
324 ويعاود الارتفاع النسبي بالاتجاه نحو الكروم مع تزايد غير حاد صوب الفاناديوم يعني أن تركيب الصخر الأم من هذه العناصر
325 يظهر علاقة نسبية فيما بين تلك العناصر كتلك التي يبديها الشيل النموذجي، مع فارق واحد فقط هو الوفرة النسبية الأدنى من هذه
326 العناصر في الصخر الأم مقارنة بالشيل النموذجي، نتيجة التخفيف كما ذكرنا سابقاً، وقد بلغ ذلك الاختلاف في تراكيز العناصر

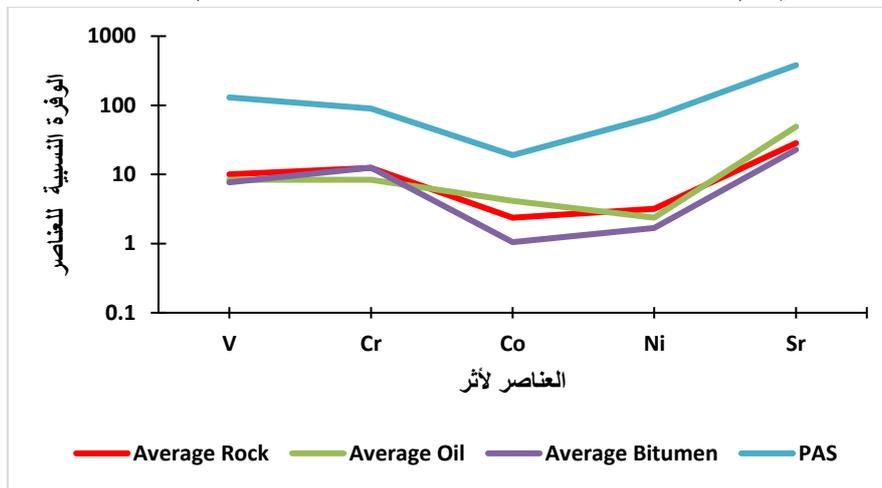
327 الأثر 10 أضعاف قيم أدنى في الصخر الأم. وهو أمر يمكن فهمه إذا ما أخذنا بالحسبان العوامل المذكورة سابقاً بالإضافة لحقيقة
328 توضع الصخر في بيئة مرجعة، حيث تكون وفرة وحركية بعض العناصر الأثر متأثرة بالتغيرات في شروط الأكسدة والإرجاع. فالبيئة
329 المرجعة خلال التوضع تحفز انحلالية أو حركية هذه العناصر، وستتواجد بشكلها المرجع الأكثر انحلالية والغني بالإلكترونات في
330 ظروف مرجعة، وهذا ما سيسمح بنقلها بسهولة أكبر اعتباراً من الصخر الأم إلى التشكيلات المحيطة من خلال الموائع أو المحاليل.
331 وستكون النتيجة هي التخفيف المتزايد (تراكيز أقل) في الصخر الأم مقارنة بمتوسط تراكيز الشيل (Canfield, 1998; Scott
332 and Lyons, 2012; Planavsky et al, 2012) وهذا التفسير يتسق مع النتائج السابقة التي تم الحصول عليها من تطبيقات
333 الجيوكيمياء العضوية على هذه التشكيلة، أي البيئة المرجعة المسيطرة على توضع التشكيلة.

• توزع العناصر الأثر في البيتوم والنفط

334 كذلك يظهر من الشكل (15) أن نموذج توزع العناصر في كل من المادة العضوية والصخر الأم يبدي تطابقاً كبيراً هو أيضاً، أي
335 يحملان نفس البصمة مع اختلاف بالوفرة النسبية للعناصر (أعلى نسبياً في الصخر الأم). إن هذا التطابق يمكن فهمه بأن منشأ
336 المادة العضوية مشترك مع الصخر الأم. وأن المادة العضوية قد لعبت دوراً في التحكم في توزع هذه العناصر في أثناء تشكل أو
337 تبدل الصخر الأم. بالتالي فإن نمط التوزع بقي متشابهاً ولكن تم تخفيفه في المادة العضوية، بالتالي فإن البصمة الترسيبية الأصلية
338 قد تم الحفاظ عليها. كما يؤشر ذلك إلى أن تركيب الصخر الأم كان متجانس نسبياً لذلك فإن كلا الطورين قد حافظ على نفس نمط
339 توزع وفرة العناصر الأثر الأصلية المكتسبة أثناء التوضع، وإن عمليات صغرى ما بعد ترسيبية مثل التراص أو الانضغاط أو إعادة
340 تحرك بعض العناصر تؤثر على مجمل التراكيز في الصخر والمادة العضوية على نحو متماثل من دون إحداث اضطراب في
341 نماذجهما النسبية (Algeo and Maynard, 2004; Algeo and Rowe, 2012; Tribouillard et al, 2012). من ناحية
342 أخرى، إن كلاً من الصخر الأم والمادة العضوية يبديان وفرة نسبية متقاربة للكروم والفاناديوم، وأكثر تباعداً لكل من السترونسيوم
343 والنيكل والكوبالت الذين يبديون تراكيزاً أقل مقارنة بالصخر الأم. بالتالي فالمادة العضوية تتصرف كوعاء مستوعب لعناصر أثر محددة
344 مسببةً الانقثار النسبي بها في الصخر المحيط وذلك لأن المادة العضوية تبدي ميلاً قوياً لبعض العناصر التي يمكن لها أن تدمص
345 عليها أو أن يتم إشراكها ضمن بنياتها ويتعزز ذلك في البيئة المرجعة (Turekian and Wedepohl, 1961).
346 إن الانقثار النسبي بتراكيز كل من Co و Ni و V في المادة العضوية يفسر بالنضح الحراري لتلك المادة وبتوليد الهيدروكربون حيث
347 أن هذه العناصر تنحو لأن تكون مرتبطة بالمادة العضوية في الصخر الأم، وبما أن المادة العضوية قد ولدت فعلاً هيدروكربون
348 بالتالي فإنه من الطبيعي أن تكون هذه العناصر قد هاجرت لاحقاً من الصخر الأم عبر المادة العضوية لتستقر في النفط المتولد،
349 وذلك يمكن التأكد منه من خلال قيم تراكيز هذه العناصر في النفط الذي يبدي هو بدوره نفس نمط التوزع من العناصر الأثر
350 المدروسة وتراكيز أعلى عموماً لكل من Co و V، إلا أن القيمة التراكيز من النيكل أدنى مما هي عليه في المادة العضوية (Hunt,
351 1996; Peters et al, 2005).

352 إن المحتوى المنخفض من Ni في النفط مقارنة بالمادة العضوية التي تولد عنها يمكن أن يؤشر إلى أن النيكل لا يبد ميلاً للارتباط
353 في الطور النفطي أثناء توليد الهيدروكربون والهجرة. وذلك يمكن أن يكون ناتجاً عن ميله المنخفض للمركبات العضوية (نتيجة الحجم
354 الشحنة الكبيرين لشاردة Ni فيميل للتفاعل مع المركبات اللاعضوية) فيتم الاحتفاظ به تقضيلاً في المتبقي من المادة العضوية ضمن
355 معقدات، أو إشراكه ضمن أطوار فلزية أخرى أثناء الهجرة (Peters et al, 2005). حيث غالباً ما يبدي النيكل ميلاً لأن يرتبط
356 بأطوار فلزية مثل البيريت والبنتلانديت والبيروتيت الغني بالحديد والنيكل (Tissot and Welte, 1984; Philp, 1985).
357 بالمقابل، فإن حركية كل من الكوبالت والفاناديوم أثناء نضح الصخر الأم وتوليد الهيدروكربون يمكن أن تحدث نتيجة عمليات عدة.
358 يرتبط كل من الكوبالت والفاناديوم عادةً بالمادة العضوية وبالأطوار الفلزية في الصخر المولد. وتعتمد حركيتهما على الظروف
359 المرجعة وتاريخ النضح الحراري للصخر. أثناء نضح الصخر فإن تحرر الحموض العضوية والعوامل الأخرى المسببة لتشكيل الشيلات
360 (بعمليات استخلاب أو تمخبل) ينتج عنها تحرك كل من الكوبالت والفاناديوم من الأطوار الفلزية. وفي الشروط المرجعة فإن كل من
361

362 الكوبالت والفاناديوم يمكن أن يتحرك وينتقل مبتعداً عن الصخر الأم لينتج عن ذلك الافتقار به في الصخر الأم، وهو الحاصل فعلاً،
 363 ما يؤكد على شدة إرجاعية الوسط ما يتوافق مع نتائج دراسة الـBiomarkers. وإنه بعد توليد النفط وأثناء الهجرة فإن الفاناديوم يمكن
 364 أن يتم دمجها تقضيلاً ضمن الطور الزيتي نتيجةً لميله للمركبات العضوية بعكس النيكل (Peters et al, 2005)، وهو ما تظهره
 365 الوفرة النسبية للفاناديوم في النفط مقارنةً بالصخر والمادة العضوية.
 366 فيما يخص السترونسيوم الذي أبدى قيمة ضعيفة سالبة للترابط الخطي كما ذكر سابقاً، فإن سلوك هذا العنصر عادةً ما يبدي ميلاً
 367 للطور الفلزي أكثر من الطور الهيدروكربوني، ويمكن ملاحظة ذلك من خلال مقارنة وفرة في كل من الصخر الأم والمادة العضوية
 368 حيث يبدو تركيزه متقارباً جداً في كل من هذين المادتين، أي أن المادة العضوية تحتوي من السترونسيوم قيمة قريبة جداً مما يحتويه
 369 الصخر الأم، إلا أن الطور النفطي المتولد يحتوي تركيزاً أعلى من هذا العنصر مقارنةً بكل من الصخر والمادة العضوية وهذا يؤشر
 370 إلى أنه قد تم الاغتناء بهذا العنصر أثناء هجرة النفط اعتباراً من الصخر الأم عبر مروره بصخور سمحت التفاعلات بين الموائع
 371 المهاجرة و فلزات حاملة للسترونسيوم في تلك الصخور باغتناء النفط بهذا العنصر (Zuo et al, 2020)، كالصخور الكربوناتية
 372 (كالكسيت، أراغونيت، دولوميت) وكذلك المتبخرات (جص، انهدريت، هاليت) والسيليكات (فلدسبار، ميكا، غضاريات).
 373 ننوه هنا إلى أن محتوى النفط من الكروم كان بنتيجة التحليل منخفضاً جداً ونعتقد أنه في مستوى حد الكشف (± 0.00001) للتقنية
 374 المستخدمة، لذلك إذا ما تم اعتبار قيم تركيزه في النفط صفرًا (وهي القيمة المساوية تقريباً لقيمة دقة القياس) لن يتأثر شكل نموذج توزيع
 375 العناصر في النفط وسيبقى مشابهاً لذلك الخاص بالمادة العضوية، إلا أن إعطاء قيم افتراضية منطقية للكروم في النفط سيجعل من رسم
 376 نموذج توزيع العناصر للنفط في المخطط اللوغاريتمي (الشكل 15) مغزى أو مدلول منطقي أكثر، وذلك من خلال اعتبار محتوى النفط من
 377 الكروم مشابهة لمحتواه من الفاناديوم (قريب من الصفر ومن مستوى حد الاكتشاف)، وذلك على أساس السلوك الجيوكيميائي المتقارب لكل
 378 من الكروم والفاناديوم فكلاهما عناصر انتقالية يشكلان معقدات ثابتة مع المواد العضوية والفلزات في الصخر الأم، وكلاهما أيضاً يبديان
 379 سلوكاً جيوكيميائياً متماثلاً في أثناء توليد الهيدروكربون والهجرة، مثل الاشرارك التقضيلى ضمن أطوار هيدروكربونية أو أن يتم أخذهما في
 380 الصلب المتبقي من المادة العضوية. (Tissot and Welte, 1984; Peters et al, 2005).



381 الشكل 15: نماذج توزيع العناصر الأثر المدروسة في كل من الصخر الأم (Rock)، البيتوم (Bitumen)، والنفط المتولد عنه (Oil). تم حساب القيم
 382 المتوسطة لكل من المواد الثلاث ومقارنتها بالتركيب الوسطي للشيل العالمي النموذجي (PAS). إن المحتوى من الكروم في النفط كان دون حد
 383 الاكتشاف لذلك وللحصول على نموذج التوزيع للعناصر في النفط تم اعتبار المحتوى من الكروم مشابهاً لذلك الخاص بالفاناديوم بناءً على التشابه في
 384 السلوك الجيوكيميائي للعنصرين.
 385 يمكن خلاصة الاستنتاج أن كل من V, Cr, Co, Ni, Sr تبدي نماذج توزيع متناظرة بين كل من الصخر الأم وبين المادة
 386 العضوية المترسبة فيه أي المنشأ الواحد وعدم التعرض للتخريب هو شرط محقق وبالتالي يمكن البناء على وفرة ونموذج توزيع العناصر
 387 في المادة العضوية كأساس للانطلاق في دراسة عمليات التطور اللاحق على المادة العضوية والنضج والتوليد لما أبدته هذه العناصر
 388

389 من مقاومة لعمليات التآكل والتخريب الحراري حيث أبدى نموذج توزع العناصر نفس الشكل في النفط مع فروقات بالوفرة النسبية
390 وبالتالي يمكن استخدام هذه العناصر في أثناء تقفي طرق الهجرة التي يسلكها النفط حيث أنه ما تبديه التفاوتات في وفرة هذه العناصر
391 بين المادة العضوية والنفط المتولد عنها ما هو إلا حصيلة تأثر هذه العناصر بعمليات حدثت بعد التوليد والطرود على مسار طريق
392 الهجرة وذلك بالعلاقة مع سلوكها الجيوكيميائي وهذا عامل مهم فيما يخص اقتفاءها وإجراء الترابطات المختلفة.

9- النتائج

- 393
- 394 1- إن توضعات الترياسي الأسفل في حقل جهار غنية جداً بالمادة العضوية بنتيجة اختبارات Rock Eval.
 - 395 2- إن توضعات التشكيلة المدروسة (الأمانوس شيل) ناضجة حرارياً ذات بيئة ترسيب بحرية وتنتمي لكروجين من النمط الثاني
396 (Type II Kerogen)، وهي ذات قدرة توليدية بالنظر لمحتوى التشكيلة العالي من البيتوم ووقوعها ضمن النافذه النفطية بنتائج
397 كل من Rock Eval , GC , GCMS.
 - 398 3- يعود منشأ المادة العضوية المدروسة لكل من الأشنيات والبلانكتون (سابروبيل) وفقاً لنتائج GCMS.
 - 399 4- يمكن اعتماد كل من V, Cr, Co, Ni كأدوات تقفي (tracer) في عمليات الربط في الدراسات النفطية.
 - 400 5- إن فعالية استخدام السترونسيوم كمؤشر في عمليات الربط صخر أم-صخر أم أو نفط-صخر أم يتبع لعوامل متعددة، بما في
401 ذلك التركيب الفلزّي والجيوكيميائي للصخر وبيئة الترسيب، ويجب أن يتم استخدامه جنباً إلى جنب مع أدوات تتبع أخرى
402 (Tracers) بالإضافة لمعطيات جيولوجية للحصول على فهم شامل للمنظومة المدروسة.
 - 403 6- إن التشكيلة المدروسة تبدي الخصائص النموذجية التي يبيدها الشيل النموذجي من حيث الخصائص الجيوكيميائية والتركيب
404 وتبدي نفس بصمة نمط نوزع العناصر التي يبيدها الشيل النموذجي مع تخفيف في الوفرة النسبية لتلك العناصر مقارنةً بالشيل
405 النموذجي.
 - 406 7- إن نموذج نمط توزع العناصر V, Cr, Co, Ni, Sr في كل من الصخر الأم والمادة العضوية فيه تبدي تطابقاً كبيراً بشكل
407 يشير لتاريخ منشأ مشترك وحفظ جيد للمادة العضوية وتجانس السلوك النسبي للعناصر في الاستجابة للتغيرات اللاحقة.
 - 408 8- البيئة المرجعة مسيطرة وبشكل حاسم على بيئة الترسيب من تطابق معطيات الجيوكيمياء العضوية واللاعضوية.
 - 409 9- إن سلوك كل من V, Co, Ni بين النفط والصخر الأم يؤكد على عملية نضج متقدمة ويتوافق ذلك مع نتائج معطيات المؤشرات
410 الحيوية (Biomarkers).

10- التوصيات

- 411
- 412 1- استكمال للدراسة الجيوكيميائية لمحتوى البيتوم من العناصر الأثر التي أبدت اعتمادية قوية في هذا المجال في الحقول المجاورة.
 - 413 2- توظيف نتائج هذا البحث في الحقول المجاورة وإجراء عمليات ترابط أفقي للتشكيلة ووضع تصور دقيق عن تطور الشروط
414 الترسيبية والجيوكيميائية لأوساط الترسيب اعتماداً على معايير حيوية ولاعضوية.
 - 415 3- تقفي طرق الهجرة التبعثرية للنفوط المنتجة من حقل جهار بالاعتماد على محتواها النسبي من العناصر الأثر والبحث عن
416 خزانات جديدة محتملة.

417
418
419

المراجع

- 420
421 - اسماعيل. م. (2014). تقييم التشكيلات الجيولوجية الهامة نفطيا في حوض الدو-سورية، مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات
422 العلمية - م 36 عدد 4-2014
- 423 - السيد بكور. أ. (2010). دراسة جيوكيميائية لنفط الترياسي في هضبة حلب، جامعة حلب، رسالة ماجستير.
- 424 - الشركة السورية للنفط (SPC)(2019-2021): تقارير داخلية غير منشورة حول حقل جهار.
- 425 - عبد الله ع. (2016). دراسة ترسيبية ودياجينية وخرنية لتشكيلة الشيرانيش العائدة للكريتاسي العلوي في حقول سازابا النفطية
426 في شمال شرق سورية، جامعة دمشق، رسالة دكتوراه.
- 427 - غبرة، عامر (2009). تقييم دور تشكيلة الأمانوس شيل (T1) في توليد المواد الهيدروكربونية البترولية في تحت ناق الطي
428 التدمري الشمالي مجلة جامعة دمشق للعلوم الأساسية 25 (1).
- 429 - معطي. م. (1998). الجيولوجيا التاريخية، كتاب، جامعة دمشق.
- 430 - Al-Ameri, Al-Obaydi, (2011). Cretaceous petroleum system of the khasib and Tannumu oil
431 reservoir, East Baghdad oil field, Iraq, Arabjgeosci. U: 915-935
- 432 - Algeo, T. J., and Maynard, J. B. (2004). Trace-element behavior and redox facies in core shales of
433 Upper Pennsylvanian Kansas-type cyclothems. Chemical geology, 206(3-4), 289-318.
- 434 - Algeo, T. J., and Rowe, H. (2012). Paleooceanographic applications of trace-metal concentration
435 data. Chemical geology, 324, 6-18.
- 436 - AlSharhan, A. S., and Narin, A. E. M, (1997). Sedimentary basins and petroleum geology of the
437 Middle East. Elsevier, p. 375-392.
- 438 - Bradley S. Van Gosen, Philip L, Verplanck, Robert R, Seal II, Keith R. Long, and Joseph Gambogi
439 (2017). Rare-Earth Elements, U.S. Geological Survey Professional Paper 1802, p 01-031.
- 440 - Brassell, S. C., Eglinton, G., Marlowe, I. T., Pflaumann, U., and Sarnthein, M. (1986). Molecular
441 stratigraphy: A new tool for climatic assessment. Nature, 320(6060), 129-133.
- 442 - Canfield, D. E. (1998). A new model for Proterozoic ocean chemistry. Nature, 396(6710), 450-453.
- 443 - Dubertret, L. (1966). Liban, Syria et bordure des Pays Voisins: I, tableau stratigraphique et carte
444 au millionième. Extrait de Notes et Memoire Moyen-Orient VIII, Muséum National d'Histoire
445 Naturelle, Paris.
- 446 - EL Nady, M., Ramadan, F., Hammad, M., Mosa, D., and Lotfy, N., (2018). Oil: source rock
447 correlations of Baraka oilfield, Komom basin, south Egypt: An implication from biomarkers
448 characteristic, Petroleum science and technology, Do 101080\109 16466. 2018 1465978.
- 449 - Engel, M. and Macko, S., (1993). Organic geochemistry: principles and applications, springer
450 science+business media, LLC, V 11 P862.
- 451 - Filella W. M and J. M. Bigham, (2018). Geochemistry of Cobalt" by Min Encyclopedia of
452 Geochemistry), pp. 1-13.
- 453 - Freeman K. H. (2001). Organic geochemistry of the Lower Toarcian Posidonia Shale: implications
454 for thermal maturity and paleoenvironmental reconstruction Organic Geochemistry, vol. 32, no. 5,
455 pp. 417-437.
- 456 - Guo, R., Zhao, Y., Wang, W., Hu, X., Zhou, X., Hao, L., Ma, X., Ma, D., Li, s., (2020). Application
457 of Rare- Earth Elements and Comparison to Molecular Markers in oil- source correlation of tight
458 oil: A case study of chang 7 of the upper triassic Yanchang formation in long dong Area, ordos
459 basin China, ACS omega, 5, 35, 22140-22156
- 460 - Huang, W., Meinschein, W. G., and Sassen, R. (1992). Sterols as ecological indicators.
461 Geochimica et Cosmochimica Acta, 56(11), 4033-4042
- 462 - Hunt, J.M. (1996). Petroleum Geochemistry and Geology. W.H. Freeman and Company.

- 463 – Jarive, D.M. (1991). Total organic carbon (TOC) Analysis in Merrill, RK, Ed treatise of petroleum
464 Geology. Hand back of petroleum Geology Source and Migration processes and Evaluation
465 Techniques, AAPG press, Tulsa, 113-118
- 466 – Jiao, W., Yang, H., Zhao, Y., Zhang, H., Zhou, y., Zhang, J., Xie, Q., (2010). Application of trace
467 elements in the study of oil – source correlation and hydrocarbon migration in the Tarim Basin,
468 China, school of Earth Sciences, Chaina university of petroleum (Beiyina), V28. N6 P.Pu 51-466
- 469 – Liu, X., Liang, D., Li, Z., and Wu, Y. (2015). Geochemical characteristics and depositional
470 environment of the Lower Cambrian Niutitang shale in the Upper Yangtze region, South China:
471 Implications for shale gas exploration. *Marine and Petroleum Geology*, 59, 33-46
- 472 – Magoon L. B. and Dow W. G. (1994). The petroleum system: from source to trap AAPG Memoir
473 60, 655 p.
- 474 – Mamaseni.W., Naqshabandi S., AL-Jaboury F., (2019). hydrocarbon generation potential of Chia
475 Gara formation in three selected wells, Northen Iraq, open geosciences, 11:77- 88 [https://doi. Org\](https://doi.org/10.1515/geo-2019-0007)
476 10. 1515\ geo – 2019 – 0007
- 477 – Meyers, P. A., and Ishiwatari, R. (1993). Lacustrine organic geochemistry—an overview of
478 indicators of organic matter sources and diagenesis in lake sediments. *Organic geochemistry*,
479 20(7), 867-900.
- 480 – Moldowan J. M. (2008). Organic geochemistry of the Bakken Formation, Saskatchewan, Canada:
481 II. Correlation of thermal maturity with petrophysical well-log responses and estimation of oil-in-
482 place AAPG Bulletin, vol. 92, no. 7, pp. 917-934.
- 483 – Moldowan J., Seifert, K., Gallegos, J, (1985). relationship between petroleum composition and
484 depositional environment of petroleum source rocks. *Petrol. Geol.Bull.* 69(8); 1255-1268
- 485 – Niu, Z., Meng, W., Wang, Y., Wang, Xu., Li, Z., Wang, J., Liu, H., Wang, Xi., (2022).
486 Characteristics of trace elements in crude oil in the east section of the south slope of Dongying
487 Sag and their application crude oil classification, Elsevier V209.
- 488 – Peters, E., Walters, C., and Moldowan, J., (2005). The biomarker guide, Biomarkers and Isotopes
489 in Petroleum Exploration and Earth History, 2d ed.:Cambridge University press,Cambridge, v. 2..
- 490 – Peters, K. E., and Moldowan, J. M. (1993). The biomarker guide: interpreting molecular fossils in
491 petroleum and ancient sediments (Vol. 1). Prentice Hall.
- 492 – Philp, R.P. (1985). Trace elements in petroleum: Progress and prospects. *Organic Geochemistry*,
493 9(1-3), 1-11.
- 494 – Planavsky, N. J., Bekker, A., Hofmann, A., Owens, J. D., Lyons, T. W., and Rouxel, O. J. (2012).
495 Sulfur record of rising and falling marine oxygen and sulfate levels during the Lomagundi event.
496 *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(45), 18300-18305.
- 497 – Rudnick, R. L., and Gao, S. (2003). Composition of the continental crust. *Treatise on*
498 *Geochemistry*, 3, 1-64.
- 499 – Scott, C., and Lyons, T. W. (2012). Contrasting molybdenum cycling and isotopic properties in
500 euxinic versus non-euxinic sediments and sedimentary rocks: Refining the paleoproxies. *Chemical*
501 *Geology*, 324-325, 19-27.
- 502 – Stonik, V., Kolesnikova, S., (2021). Malabaricane and isomalabaricane triterpenoids including
503 their Glycoconjugated forms, *National Library of medicine*, Jun 5, 19(6) 307.
- 504 – Taylor, S. R., and McLennan, S. M. (1985). *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*.
505 Blackwell Scientific Publications.
- 506 – Tissot, B. P., and Welte, D. H. (1984). *Petroleum formation and occurrence (Vol. 2)*. Springer
507 Science and Business Media.

- 508 – Tribovillard, N., Rack, F., Van Weering, T., Lerouge, C., and Ramdani, A. (2012). Organic-matter-
509 rich sediments as monitors of paleoenvironmental conditions: The example of the Late Jurassic
510 shales from the High-Atlas Mountains (Morocco). *Palaeogeography, Palaeoclimatology,*
511 *Palaeoecology*, 326, 44-56.
- 512 – Tribovillard, N., Trentesaux, A., Trichet, J., and Deflandre, G. (2006). Geochemistry of organic-
513 matter-rich sediments and the position of the lower boundary of the Quaternary. *Marine Geology*,
514 234(1-4), 213-237.
- 515 – Turekian K.K, and Wedopohl K.H (1981). Distribution of the Elements in some major Units of the
516 Earth's Crust, Geological Survey Professional paper, 12,41,1-31
- 517 – Turekian, K. K., and Wedepohl, K. H. (1961). Distribution of the elements in some major units of
518 the Earth's crust. *Geological Society of America Bulletin*, 72(2), 175-192.
- 519 – Volkman, J. K. (1986). A review of sterol markers for marine and terrigenous organic-matter.
520 *Organic Geochemistry*, 9(2), 83-99.
- 521 – Volkman, J. K., and Maxwell, J. R. (1986). Acyclic isoprenoids as biological markers. In
522 *Advances in Organic Geochemistry 1985* (pp. 399-407). Pergamon.
- 523 – Zuo, X., Li, C., Zhang, J., Ma, G., Chen, P., (2020). geochemical characteristics and depositional
524 environment of the shahejie formation in the Binnan oilfield China, *Journal of Geophysics and*
525 *Engineering*, oxford 17, 539-551