The Libyan Journal of Science
University of Tripoli Vol. 27, No. 01
https://uot.ed.ly/journals/index.php/ljs

تقنيات معالجة المياه المصاحبة لإنتاج النفط (دراسة حالة ـحقل النافورة النفطي)

فرج بو بكر المبروك [1]، منال سالم علي أبومداس الفيتوري [2*]

1. بنغازي قسم الهندسة المدنية كلية الهندسة، بنغازي ليبيا
2. الهيئة الليبية للبحث العلمي بنغازي ليبيا، جامعة بلاغراي للعلوم الحديثة

Corresponding authors: Manal.abmdas@gmail.com

ARTICLE INFO

Article history:

Received 13/11/2023

Received in revised form 22/12/2023

Accepted 26/01/2024

المستخلص

تقنيات معالجة المياه المصاحبة لإنتاج النفط تعد حاسمة في صناعة النفط والغاز، حيث تتطلب إزالة الملوثات والشوائب المختلفة قبل التخلص منها بطرق آمنة أو إعادة استخدامها. تشمل التقنيات المستخدمة في معالجة المياه المصاحبة عمليات مثل التخلص من الزيوت والشحوم، إزالة الشوائب الصلبة والترسبات المعلقة، والفصل الكيميائي لإزالة الملوثات العضوية والمعدنية. يمكن أيضًا استخدام تقنيات التطهير الحيوي للتخلص من العوالق العضوية والملوثات البيولوجية. باستخدام هذه التقنيات، يمكن تنقية المياه المصاحبة للنفط بفعالية وإعادة استخدامها أو التخلص منها بطرق صديقة للبيئة.

استهدفت هذه الورقة دراسة الوضع الراهن بحقل النافورة النفطي التابع لشركة خليج العربي للنفط، حيث تم رصد الكميات المنتجة من المياه المصاحبة وطرق التعامل معها، كما تم دراسة بعض الخواص الفيزيائية والكيميائية لهذه المياه، حيث تم قياس بعض المعاملات والتي شملت قياس الملوحة TDS ودرجة الحرارة، والحموضة pH، والموصلية الكهربية Ec، وعنصري الكالسيوم Ca^{+2} والماغنيسيوم Mg^{+2}، وكذلك عنصر الصوديوم Na^{+}، ونسبة امتزاز الصوديوم SAR، والنترات NO_3^{-}والكبريتات.

حيث بينت نتائج الدراسة أن قيمة درجة الحموضة pH للمياه المصاحبة تراوحت ما بين 4.2 و7.6، أما الأملاح الذائبة TDS فقد تراوحت ما بين 53965 ملجم/لتر و98634 ملجم/لتر، أما النترات فقد سجلت تراكيزها ما بين 243 ملجم/لتر إلى 642 ملجم/لتر

كما استعرضت الورقة بعض طرق المعالجة للمياه المصاحبة والتي يمكن تطبيقها محليا وطرق الاستفادة منها، والتي تشمل المعالجة الكيميائية والترشيح وفصل الأطوار.

الكلمات المفتاحية: النفط، المياه المصاحبة، المعالجة، التلوث.

Abstract: Water treatment technologies associated with oil production are crucial in the oil and gas industry, as they require the removal of various contaminants and impurities before they can be safely disposed of or reused. Technologies used in treating associated water include processes such as oil and grease removal, removal of solid impurities and suspended sediments, and chemical separation to remove organic and mineral contaminants. Biodisinfection techniques can also be used to eliminate organic plankton and biological contaminants. Using these techniques, oil-based water can be effectively purified and reused or disposed of in environmentally friendly ways.

This paper aimed to study the current situation in the Nafoora oil field of the Arabian Gulf Oil Company, where the produced quantities of associated water and methods of dealing with it were monitored, and some physical and chemical properties of this water were studied, where some parameters were measured, which included measuring salinity TDS and

temperature, acidity pH, electrical conductivity Ec., Calcium Ca^{+2} and Magnesium Mg^{+2}, Sodium Na^{+}, Sodium Adsorption Ratio -SAR, Nitrate NO_3^- and Sulfate.
The results of the study showed that the pH value of the associated water ranged between 4.2 and 7.6, while the Total Dissolved Solids (TDS) ranged between 53965 mg/l and 98634 mg/l, while Nitrate concentrations ranged from 243 mg/l to 642 mg/l.
The paper also reviewed some treatment methods for produced associated water, which can be applied locally and ways to benefit from them, which include chemical treatment, filtration and phase separation.

Keywords: oil, associated water, treatment, pollution.

1. المقدمة

المياه المصاحبة للنفط تُمثل أكبر التحديات التقنية والاقتصادية والبيئية التي تواجه عمليات استخراج النفط. ونجاح أي حقل نفطي يعتمد وبشكل أساسي على مدى نجاعة الطرق المتبعة للتعامل مع هذه المياه. عند بداية إنتاج النفط في ليبيا كانت المياه المصاحبة تلقى في أحواض (مسطحات) ترابية وبدون أي اشتراطات تضبط هذه العملية [1]، وبمرور الوقت وتقدم عمر الحقول النفطية، ازدادت كميات المياه المصاحبة حتى وصلت نسبتها إلى 95 – 98% في نهاية العمر الاقتصادي لهذه الحقول، ويصبح وجود تشريعات وضوابط أمر ضروري لحماية البيئة المجاورة للحقول النفطية من المواد الهيدروكربونية والمركبات الملوثة الأخرى الموجودة في المياه المصاحبة سواءً عالقة أو ذائبة. وقد تم في السنوات الأخيرة دراسة العديد من التقنيات المتطورة للتعامل مع المياه المصاحبة .

استهدفت هذه الورقة التعريف بتقنيات معالجة المياه المصاحبة لإنتاج النفط وللوصول لتقنيات المعالجة المناسبة يجب تقييم نوعية مطروحات الفضلات السائلة الناتجة عن عملية استخراج النفط في حقل النافورة، حيث تم جمع عينات من مياه البحيرات الملوثة المنتشرة في حقل النافورة، وتم قياس بعض المُعاملات والتي شملت قياس الملوحةTDS ، ودرجة الحرارة، والحموضةpH ، والموصلية الكهربيةEc ، وعنصري الكالسيوم Ca^{+2} والماغنيسيوم Mg^{+2} وكذلك عنصر الصوديومNa^{+} ، ونسبة امتزاز الصوديومSAR ، والنتراتNO_3^- والكبريتات.

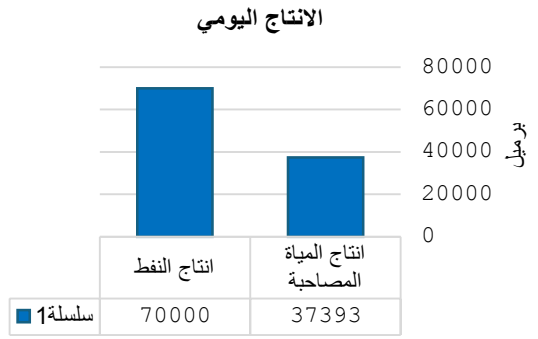
ووفقا للنتائج تم استعراض بعض الحلول التقنية التي من شأنها تقليل أو الحد من تلوث هذه البحيرات، والاستفادة من نواتج المعالجة.

2. مشكلة البحث

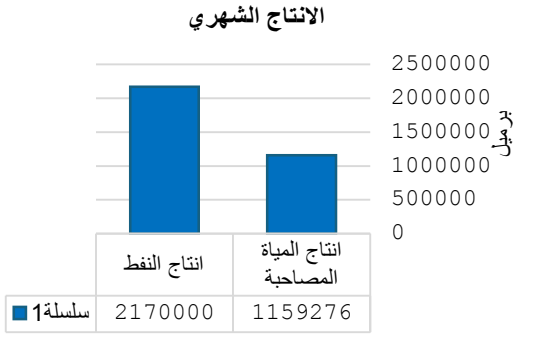
يتطلب استخراج النفط الخام حقن الآبار بالماء في ادنى نقطة لمكمن البئر النفطي، إذ أن ضخ الماء يؤدي لرفع الضغط داخل البئر، وبالتالي استمرار تدفق النفط من الآبار الأخرى التي حوله، ما يعادل أربعة براميل أو أكثر من الماء لقاء كل برميل مستخرج من النفط. ، وتخرج هذه الكمية من البئر مصاحبة للنفط الخام المستخرج، والتي تتحول بعد انتهاء عملية الاستخراج إلى ماءاً ملوثاً يتم تجميعه في مسطحات مائية أو أحواض للتبخير **(Evaporation Ponds)**، تكون بالقرب من موقع الحقل الأمر الذي يعود سلباً على البيئة وصحة الكائنات الحية، إضافة لإحداث مشاكل فنية تؤدي بدورها إلى تقليص العمر الانتاجي للبئر، الأمر الذي يعود سلباً في الحفاظ على استدامة الموارد الطبيعية المتمثلة بـ (الماء والهواء والتربة)، لذا تطلب اليوم توفير أنظمة رقابية بيئية، تعمل على إيجاد الحلول لمعالجة هذه المياه وتأهيلها لتكون صالحة للاستخدام وحقنها في الآبار النفطية من جديد بهدف الحفاظ على الثروة المائية للبلاد.

3. كميات المياه المصاحبة المنتجة بحقل النافورة

إن كميات المياه المصاحبة المنتجة بالحقل بالإضافة إلى تراكيز الملوثات بها عادة متغيرة بشكل واضح أثناء عمر الحقل، من خلال المعلومات والبيانات التي تم الحصول عليها من حقل النافورة أن أقصى إنتاج المياه المصاحبة سجل أقصى قيمة 1159276 برميل شهرياً، بينما كان الإنتاج اليومي من المياه المصاحبة كأقصى قيمة 37393 برميل، بينما كان إنتاج النفط كأقصى قيمة خلال نفس الفترة 70000 برميل على أساس يومي، بينما سجل 2170000 برميل على أساس شهري، وذلك خلال الفترة من شهر يناير 2017 م. مع العلم بأنه يتم التخلص من هذه الكميات الكبيرة من المياه المصاحبة الملوثة بصرفها مباشرة في بحيرات ذات سعة كبيرة دون القيام بأي نوع من المعالجة أو إعادة الاستخدام، مما كان الأثر البيئي الكبير على جميع مكونات البيئة بموقع الحقل والمناطق المجاورة له. يبين الشكل.1. كميات المياه المصاحبة المنتجة من الحقل وكذلك كميات إنتاج النفط من حقل النافورة يوميا، اما الشكل.2. فيبين حجم الإنتاج الشهري [2].



شكل.1. كميات المياه المصاحبة المنتجة، وكميات النفط المنتج بحقل النافورة على أساس يومي خلال شهر يناير 2017م [2]



شكل.1. كميات المياه المصاحبة المنتجة، وكميات النفط المنتج بحقل النافورة على أساس شهري خلال شهر يناير 2017 م [2]

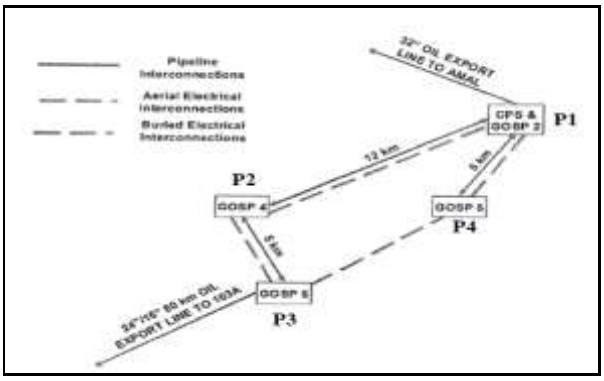
4. منطقة الدراسة

يقع حقل النافورة النفطي التابع لشركة الخليج العربي للنفط في منطقة الواحات جنوب شرق مدينة بنغازي بمسافة تصل إلى 350 كم، وعلى خط عرض 29°11′29.37″ شمالاً وخط طول 21°32′30.7″ شرقاً. يبين الشكل .3 موقع حقل النافورة موضحاً عليه مواقع البحيرات الملوثة.

شكل.3. موقع حقل النافورة ومواقع البحيرات الملوثة

1.4. مواقع جمع العينات

في خلال الزيارة الميدانية لحقل النافورة النفطي خلال الفترة من 24 /31 ديسمبر 2019 م، تم تحديد مواقع جمع عينات المياه من البحيرات، ويبين الشكل .4 مواقع تجميع العينات، حيث يوجد عدد أربع بحيرات رئيسية ملوثة لتجميع المياه المصاحبة في الموقع، وهي كالتالي:



شكل.4. مواقع البحيرات التي تم تجميع العينات منها

1.1.4. الموقع الأول: (CPS&GOSP2)

وتعني محطة الضخ الرئيسية (Central Pumping Station)، والتي تبلغ مساحة هذه البحيرة 83 هكتار، حيث لوحظ تدفق كميات كبيرة من المياه المصاحبة في بحيرة التجميع، وانبعاث غازات من شعلة الاحتراق. ويُشار إليها في تصنيف جمع العينات بالرمز(**P1**).

2.1.4. الموقع الثاني: GOSP4

تبعد هذه البحيرة مسافة 12 كم عن الموقع الأول، كما هو مبين في الشكل.3، والتي تعتبر أكبر بحيرة تجميع في موقع الحقل، حيث تبلغ مساحتها الإجمالية 145 هكتار، كما أن عمق البحيرة أخذ في التناقص نتيجة للعوامل المناخية. مساحة البحيرة كبيرة وتحتوي على كميات كبيرة من المياه المصاحبة، ويبدوا أنها هي الأعمق من بين البحيرات الأخرى في الموقع. ويُشار إليها في تصنيف جمع العينات بالرمز (**P2**).

3.1.4. الموقع الثالث: GOSP6

يبعد موقع هذه البحيرة عن موقع **GOS4** مسافة 5 كم، تبلغ مساحة هذه البحيرة حوالي 10.50 هكتار، وتعتبر الأصغر نسبيا من حيث المساحة من البحيرات الأخرى، حيث لوحظ صفاء مياه البحيرة، مما يدل على انخفاض تركيز المواد النفطية بها. وأن تجميع عينات من مياه البحيرة ممكنة من خلال استخدام قارب خفيف، أو عن طريق استخدام معبر ترابي.

ويُشار إليها في تصنيف جمع العينات بالرمز (**P3**).

4.1.4. الموقع الرابع: GOSP5

يعتبر موقع هذه البحيرة الأخير المستهدف من جمع العينات، ويتكون من بحيرتين صغيرتين متجاورتين تبلغ المساحة الإجمالية لهما 60 هكتار تقريبا. تبين إمكانية جمع عينات من المياه، وقياس العمق باستخدام قارب صغير، أو عن طريق استخدام المعبر الرملي. ويُشار إليها في تصنيف جمع العينات بالرمز (**P4**).

2.4. جمع العينات وتحليلها

تم جمع العينات من البحيرات المستهدفة في الدراسة (**P1,P2,P3,P4**)، بواقع عينيتين لكل بحيرة لمدة أسبوع، بواسطة قناني بلاستيكية معتمة موضوعة بدرجة حرارة المختبر، وتم إجراء الاختبارات المعملية عليها كما في الطريقة الواردة في **APHA 1998**، والتي شملت (درجة الحرارة، درجة الحموضة، التوصيل الكهربائي، المواد الصلبة الذائبة الكلية، العسر الكلي، تركيز النترات، الكبريتات، الكالسيوم والماغنسيوم، نسبة امتزاز الصوديوم).

5. المناقشة

يوضح الجدول.1. ملخص لنتائج التحاليل للعناصر المختلفة، والتي أجريت على عينات المياه الملوثة من البحيرات المستهدفة في منطقة الدراسة بحقل النافورة النفطي.

جدول .1. نتائج العينات المتحصل عليها من البحيرات المستهدفة

موقع جمع العينة	درجة الحرارة T °C	TDS mg/l	الموصلية µS /cm	pH	العسر الكلي TH Mg/l	النترات NO_3^- mg/l	الكبريتات SO_4^{-2} mg/l	الكالسيوم Ca^{2+} mg/l	المغنسيوم Mg^{+2} mg/l	الصوديوم Na^+ mg/l
P1	30.24	65145	100225	6.36	10416	634	1645	2150	1230	28981
P2	29.56	86745	135543	6.12	8587	435	1457	1856	963	21676
P3	30.66	95634	147132	7.56	8112	345	845	1945	793	18765
P4	29.87	48476	74567	4.83	3521	277	458	659	457	1198

من خلال البيانات الموضحة في الجدول .1. يمكن استنتاج النقاط التالية:

يعتبر مجموع الأملاح الذائبة **(TDS)** من القياسات لمهمة، وذلك للتعرف على مدى ملائمة استخدامات المياه في الأغراض المختلفة. كما أنه كلما زادت الملوحة في الماء كلما انخفضت قدره المياه على الذوبان. ومن خلال قياس هذا المعامل يتضح زيادة تركيز الأملاح في المياه المصاحبة، حيث وصل أعلى تركيز في العينات إلى 95634 ملجم/لتر بينما كان أقل تركيز للأملاح الذائبة 48476.

لعُسر الكلي **(Total Hardness)** والذي يُعرف بعدم قدرة الماء على التفاعل مع الصابون، وإحداث رغوة وإزالة الأوساخ. وذلك نتيجة لاتحاد جزئيات الصابون، مع أيونات الكالسيوم والماغنيسيوم الموجودة في الماء، مكوناً أملاحاً لا تذوب في الماء. كما يمكن تقدير العسر الكلي باستخدام المعادلة التالية:

$$\textbf{Hardness (mg/L) as } CaCO_3 = M^{2+} \times 50 / \textbf{EW of } M^{2+}$$

حيث:

M^{2+} = الكاتيون الموجب ثنائي التكافؤ المسبب للعسر (ملجم/لتر).

EW =الوزن المكافئ الأيون الموجب ثنائي التكافؤ المسبب للعسر (جم/مول) .

وصل أعلى تركيز للعسر الكلي للعينات 10416 ملجم/لتر $CaCO_3$ ، بينما أقل تركيز كان 3521 ملجم/لتر $CaCO_3$

الموصلية الكهربائية**(Electrical Conductivity)** ، وهي عبارة عن اصطلاح عددي لقابلية محلول مائي لحمل تيار كهربائي. ويُعتبر الماء النقي موصل ردي للكهرباء، كما وأن زيادة الشوائب والأملاح الذائبة في الماء ترفع من مقدار الموصلية، وعليه فإننا نُستخدم أحياناً الموصلية للماء، لتبيان مدى نقاوة الماء، أو تلوثها، وذلك لأن الموصلية تتناسب مع درجة تركيز المادة الصلبة الذائبة. تم تسجيل أعلى 147132 ميكرو سيمنس/سم بينما أقل قيمة كانت 74567 ميكرو سيمنس/سم .

الرقم الهيدروجيني، يُعبّر قيمة **pH** عن مقدار تركيز أيونات الهيدروجين **$[H^+]$**في سائل ما. وهو اللوغاريتم العشري السالب لتركيز أيون الهيدروجين في المحلول بوحدات (مول/لتر)، وهو مقياس للحامضية أو القاعدية للماء. حيث يمكن استنتاج أن مياه العينات تميل للحموضة، كما أنه ليس فارق كبير في مقدار **pH** ، حيث سجلت قيم **pH** ما بين 5.83 إلى 7.56 .

النترات هو أكسيد النيتروجين الذي يحدث بشكل طبيعي. يوجد النيتروجين في الهواء ويتفاعل مع الأكسجين والأوزون لإنتاج النترات. النترات عنصر أساسي في الكائنات الحية وجزء رئيسي من روث الحيوانات ومخلفات الصرف الصحي البشرية والأسمدة التجارية. يمكن أن ترتبط النترات والنتريت بأنظمة الصرف الصحي وقد استخدمت لعدة قرون كأسمدة ومتفجرات وكمواد حافظة للأغذية .

من خلال الجدول.**1**، يتضح أن أعلى تركيز للنترات تم تسجيله في البحيرة **P1**بمستوى 634 ملجم/لتر، بينما سجل أدنى تركيز بالبحيرة **P4** بمستوى 277 ملجم/لتر.

الكبريتات**SO_4^{-2}** تنتج الكبريتات بسبب تحلل المركبات العضوية التي تحتوي على الكبريتات، وبقايا الكائنات، تحللاً لاهوائياً. يُعتقد أن المياه التي تحتوي على تركيز أعلى من 500 ملجم/لتر لها مخاطر صحية، خاصة على الجهاز الهضمي، كما إنها تعطي المياه طعماً مراً، كما تُسبب المياه المحتوية على كبريتات أكثر من 1000 ملجم/لتر أضراراً صحية جسيمة. تم تسجيل أعلى تركيز للكبريتات في العينات المجمعة من البحيرات 1645 ملجم/لتر، بينما سجل أقل تركيز 458 ملجم/لتر .

الكالسيوم والماغنسيوم، هذه المواد بالإضافة مركبات الكربونات والبيكربونات تستخدم في مكونات مواد العزل الحراري في الغلايات وفي كثير من الصناعات. يتضح من نتائج الدراسة أن أقصى ارتفاع لتركيز كل من الكالسيوم والماغنيسيوم 2150 و1230 ملجم/لتر على التوالي، بينما سجلت أقل قيم 659 و457 ملجم/لترعلى التوالي.

الصوديوم يتضح من نتائج الدراسة ارتفاع ملحوظ في تركيز الصوديوم، حيث كان أقصى ارتفاع 28981 ملجم/لتر في العينة**P1** ، بينما كان أدنى تركيز للصوديوم 1198 ملجم/لتر في العينة **P4**

1.5. معالجة مياه التكوين في صناعة النفط والغاز

مكامن النفط والغاز يتكون من صخور مسامية تحتوي على هيدروكربونات (النفط والغاز) ومياه التكوين. عند استخراج الهيدروكربونات، يتم سحب المياه التي توجد في المكامن أيضًا. هذه المياه المستخرجة، والمعروفة باسم مياه التكوين، تشكل حجمًا كبيرًا من النفايات التي يتعامل معها قطاع النفط والغاز ويسعى للتخلص منها.حيث ان مياه التكوين تحتوي على مجموعة معقدة من المركبات غير العضوية والعضوية. فهي تحتوي على الأملاح المذابة، والمعادن، والجسيمات المعلقة. بالإضافة إلى ذلك، قد تحتوي على هيدروكربونات مشتتة ومذابة، وأحماض عضوية، وبقايا المواد الكيميائية المضافة خلال عمليات الإنتاج[3] تلك المركبات يمكن أن تكون ضارة بالبيئة وتؤثر على صحة الإنسان إذا لم يتم معالجتها بشكل صحيح.وبالتالي فمعالجة مياه التكوين تشكل تحديًا كبيرًا لصناعة النفط والغاز. يتطلب التخلص من الملوثات وإزالة الأملاح المذابة بشكل فعال للحفاظ على البيئة وضمان سلامة المعدات والعمليات. لذلك، يجب ان يعمل قطاع النفط والغاز على تطوير واستخدام تقنيات متقدمة لمعالجة مياه التكوين وتنقيتها قبل التخلص منها أو إعادة استخدامها في العمليات الإنتاجية.

2.5. تلوث المياه الجوفية

يعد تلوث المياه الجوفية نتيجة حتمية للتلوث الذي اصاب كل من الماء والهواء والتربة، فالآثار المتعلقة بالمشاكل المهمة والأساسية المصاحبة لوجود النفط ولعمليات استخراجه، ووجود كميات من البرك النفطية الكبيرة والحاوية على النفط الخام أو المياه ذات المحتوى النفطي العالي والمتولدة إما بسبب أخطاء تشغيلية أو تصميمية أو بسبب التصاريف السائلة غير المعالجة للمياه إلى التربة المجاورة أو المصادر المائية، فإنها ستؤدي إلى حدوث تلوث كبير يستهدف التربة أو المياه السطحية والجوفية.

3.5. تقنيات المعالجة المقترحة لمياه البحيرات الملوثة

المياه المصاحبة للنفط تحمل تركيزات عالية من المواد الملوثة السامة، التي ينبغي التخلص منها قبل تصريف تلك المياه في مناطق

استخراج النفط، أو قبل الاستفادة منها في الري، ومن المواد الملوثة في المياه المنتجة التالي ذكره:

1. المواد الهيدروكربونية السامة التي تبقى بعد استخلاص خام النفط،
2. المعادن الثقيلة السامة والأملاح ذات التركيزات العالية التي تضر بالإنسان والحيوان والنباتات والتربة.
3. مواد كيميائية أضيفت لتسهيل خروج النفط من جوف الأرض.
4. المواد المشعة التي يتوقف وجودها على طبيعة جيولوجية المنطقة.

إن معالجة الماء المنتج هو من أكثر العناصر تكلفة في إنتاج النفط والغاز، حيث أن الآبار تقوم عادة بإنتاج كمية قليلة منه في البداية، ولكن عاجلاً أم آجلاً فأن هذه الآبار ستقوم بإنتاج كميات أكبر منه (في بعض الأحيان أكبر من كمية النفط)، وهذه العملية تعتبر عبئاً اقتصاديا على منتجي النفط، وقد تم وضع العديد من المعايير والقوانين لعملية التخلص من الماء المنتج، ويمكن تصريفه إلى المسطحات المائية إن وجدت، أما تقنيات معالجة المياه المنتجة للنفط والغاز ممكن ادراجها كما يلي :

1.3.5. التنظيف الذاتي بالترشيح بالطرد المركزي

الترشيح بالطرد المركزي هو طريقة ميكانيكية للتخلص من المواد الصلبة العالقة من تيار مياه المصدر باستخدام جهاز طرد مركزي. يوفر تكوين التنظيف الذاتي هذا إمكانات محددة لفلترة مستويات عالية من إجمالي المواد الصلبة العالقة **(TSS)** تصل إلى 10,000 ملجم / لتر في مجرى مياه الصرف الصحي حتى في وجود آثار الزيوت / الشحوم والألياف دون الحاجة إلى إعادة غسل المياه.

2.3.5. نظم التخثير الكهربائي

يساعد التخثير الكهربي المعياري المتقدم على تقليل الفاقد والتكاليف. باستخدامه، يمكنك التخلص من كميات كبيرة من الملوثات في عملية واحدة.

3.3.5. عملية الأكسدة المتقدمة

تعتبر عمليات الاكسدة المتقدمة بديلا ناجحا عن الطرق التقليدية في معالجة مياه المخلفات النفطية الحاوية على المواد العضوية والمواد السامة تتميز عمليات الاكسدة المتقدمة بتكوينها وسطا مؤكسدا ذو فعالية عالية وتوليدها جذر الهيدروكسيل الذي يعمل على مهاجمة المركبات العضوية وتحويلها الى معادنها الاصلية.

4.3.5. تقنيات النانو للمعالجة

استخدام تقنية النانو في تصفية هذه المياه المنتجة، وتم استخدام نوع معين من جزيئات النانو ذات القدرة على الانجذاب إلى المغناطيس، وعند

إضافة هذه الجزيئات إلى الماء الملوث بالنفط فإن جزيئات النانو تلتصق بقطرات النفط الموجودة في الماء، وهذا يجعل فصل قطرات النفط ممكنة باستخدام المغناطيس فقط.

5.3.5. طرق المعالجة الكيميائية

تشتمل طرق المعالجة الكيميائية للمياه المصاحبة على إضافة كيماويات، وتعتمد على حدوث تفاعلات كيميائية من أجل التخلص من أو تحويل الملوثات إلى مواد يسهل فصلها، ومن أكثر الطرق الكيميائية شيوعاً في هذا المجال الترسيب، والامتزاز [4]

حيث تتم المعالجة بالترسيب الكيميائي من خلال تكوين راسب كيميائي، وفي معظم الاحيان يحتوي هذا الراسب على المكونات التي تفاعلت مع المواد الكيماوية المضافة إلى جانب المكونات الأخرى التي قد تفصل أثناء الترسيب [5]

أما الامتزاز فيعتمد على قوة الجذب بين الأجسام للتخلص من مركبات معينة من خلال التصاقها بسطح المواد الصلبة، كما تهدف العمليات الكيميائية إلى ضبط قيمة الأس الهيدروجيني، وإضافة مواد مانعة لتكون القشور، والترسبات، والأكسدة، بالإضافة إلى طرق معالجة أخرى لإزالة المعادن الثقيلة، وإزالة المواد السامة وغيرها. يصاحب المعالجة الكيميائية طرق معالجة فيزيائية، وقد تتطلب أيضا استخدام بعض طرق المعالجة البيولوجية .

جدول.2. يبين القيم الاسترشادية الموصي بها للتخلص من المياه المصاحبة لاستخراج النفط UNEP2009 **مقدرة بوحدة (ملجم/لتر)**

المؤشر	القيمة الاسترشادية
إجمالي محتوى الهيدروكربونات	10
الأس الهيدروجيني pH	9 - 6
الحاجة الحيوية الكيميائية للأكسجين BOD5	25
الحاجة الكيميائية للأكسجين COD	125
مجموع الجوامد المعلقة SS	35
الفينولات	0.50
الكبريتات	1.0
المعادن الثقيلة (الإجمالي)	5.0
الكلوريدات	1200

6.3.5. طرق المعالجة البيولوجية

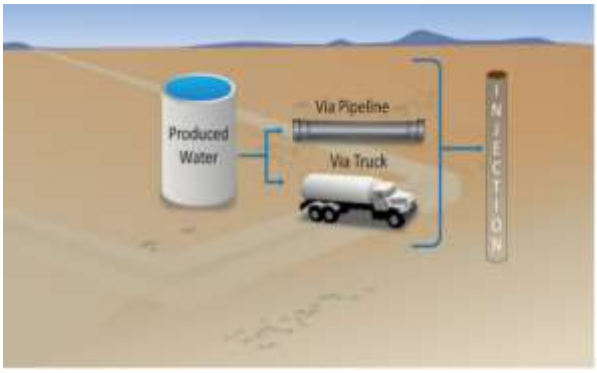
تعتمد طرق المعالجة البيولوجية على النشاط البيولوجي في التخلص من الملوثات من المواد العضوية (الرغوية أو الذائبة) القابلة للتحلل بيولوجياً. هذه العملية تتم من خلال تحويل الملوثات إلى غازات تتسرب إلى الهواء الخارجي، أو تتحول إلى نسيج من الخلايا البيولوجية (الحمأة). [6]

هناك أيضاً تقنيات حديثة وفعالة في معالجة المياه الملوثة، وهي التقنية متعددة المراحل، حيث تتكون تقنية معالجة المياه الملوثة من ثلاث عمليات رئيسية، هي التخثر الكهروكيميائية، والتحلل البيولوجي، وعملية الامتزاز، وتساهم عملية التخثر في ترسيب نسبة كبيرة من جزيئات الأكسجين الكيميائيCOD تمهيداً لإزالتها بيولوجياً، وتعتمد على استخدام التكنولوجيا الكهروكيميائية لإزالة الملوثات النفطية الذائبة والمعلقة من خلال إدخال التيار الكهربائي في الوسط المائي، أما عملية التحلل البيولوجي فتعتمد على استخدام نوع خاص من البكتيريا وتنميته في مزيج «جل» ساكن، وتدخل المياه الناتجة عن عملية التخثر الكهربائي في مفاعل حيوي قاذف، يحتوي على بكتريا تعمل على تحلل وإزالة نسبة كبيرة من الفينول [7] ، وخلال العملية الأخيرة، تدخل المياه نظام الامتزاز المستمر،

ويستخدم هذا النظام الكربون المنشط المصنوع من نوى التمر كمادة ممتزة لإزالة جزيئات الفينول ومشتقاته والـ COD المتبقية، ومن المفترض أن تنجح هذه الطريقة في إزالة 96% من جزئيات COD وما يقرب من 100% من جزيئات الفينول ومشتقاته، كما يجب أخذ النقاط التالية في الاعتبار من أجل خفض كمية المياه المستخرجة التي يجب التخلص منها:

1. إدارة الأعمال المتعلقة بالبئر إدارة مناسبة أثناء تنفيذ أنشطة إنجاز البئر لخفض كمية المياه المستخرجة.
2. إعادة إنجاز الآبار التي تنتج كميات كبيرة من المياه لخفض هذه الكميات.
3. استخدام أساليب فصل السوائل داخل الجوف، حيثما كان ذلك ممكناً، وأساليب غلق المياه، عندما يكون عملياً من الناحية الفنية والاقتصادية.
4. غلق الآبار المنتجة للكميات الكبيرة من المياه.

كما أن هناك طرق أخرى تستخدم من أجل التخلص من المياه المنتجة، وهي إعادة حقنها في آبار عميقة، حيث يتم في البداية تخزين المياه في خزانات ثم نقلها بالشاحنات أو عن طريق مد أنابيب إلى آبار الحقن. استخدمت هذه الطريقة في العديد من الحقول النفطية، يتطلب الأمر عند استخدام هذه الطريقة معرفة المكونات الجوفية ومستوى عمق المياه الجوفية وبعض المعايير الأخرى للتأكد من عدم حدوث أي مشاكل تتعلق بتلوث المياه الجوفية. يبين الشكل.5 الطريقة المستخدمة في عملية حقن المياه المصاحبة.



شكل.5. طريقة حقن المياه المصاحبة في الآبار الجوفية

6. الاستنتاجات

من خلال ما تم عرضه ومناقشته من نتائج وإلى الزيارة الميدانية للحقل وكذلك دراسة تقنيات المعالجة المناسبة للمياه المصاحبة للإنتاج النفط بحقل النافورة يُمكن عرض الاستنتاجات التالية:

عدم وجود نظام رقابي بيئي فعال قادر على تشخيص نقاط الخلل في نشاط الشركة، بما يُمكنه من مواجهة مشكلة التلوث الناجم من عملية استخراج النفط الخام والمتمثل بالماء المصاحب وانعكاس ذلك على استدامة الموارد الطبيعية.

عدم وضع اولوية للحفاظ على استدامة الموارد الطبيعية المتمثلة بـ (الماء والهواء والتربة)، وهذا ما نراهُ جلياً في المسطحات المائية القريبة من الحقول النفطية التابعة للشركة.

لم يأخذ بنظر الاعتبار قرب موقع الشركة من المناطق السكنية والزراعية التي تعد ثروة لابد من الحفاظ عليها من التلوث الناتج عن المسطحات المائية الملوثة، وكذلك الغازات المنبعثة من محطات الاستخراج.

تفتقر الشركة إلى نظم تُعالج بها تأثير الملوثات على البيئة المحيطة بها.

عدم وجود معالجات حقيقية لكافة الحقول النفطية التابعة لها لمشكلة الماء المصاحب لاستخراج النفط الخام.

نظم السلامة البيئية للشركة تتميز بخضوعها للمعايير الموضوعة لها، إلا انها تفتقر إلى وجود إجراءات احترازية تواجه التلوث الذي تتعرض لهُ المناطق الزراعية لقرب الشركة منها أكثر من المناطق السكنية، اضافة لافتقارها الى وحدة معالجة الهواء.

ضرورة تنفيذ ممارسات فعالة للحفاظ على المياه وتقليل النفايات المائية التي تترتب على عمليات الحفر والإنتاج. يمكن تحقيق ذلك من خلال استخدام تقنيات متقدمة للتحكم في السوائل وإعادة استخدام المياه في عمليات الحفر.

إعادة تأهيل الآبار التي تنتج كميات كبيرة من المياه لخفض هذه الكميات:
يمكن تحقيق ذلك من خلال تطبيق تقنيات للحد من تدفق المياه المصاحبة وتحلية المياه المستخرجة لجعلها صالحة للاستخدام الأخرى.

يجب استخدام تقنيات الحقن المتقدمة لفصل المياه عن النفط داخل الجوف الأرضي وتجنب تسربها إلى المصادر المائية السطحية.

يمكن أن يكون غلق الآبار المنتجة للمياه غير الرغوية والغير مرغوب فيها خيارًا جيدًا، خاصة إذا كانت تلك المياه تشكل تهديدًا بيئيًا.

ضرورة إجراء دراسة متكاملة لتقييم الآثار البيئية: يجب أن تشمل دراسة التأثيرات البيئية تقييمًا شاملاً للتلوث المتعلق بالمياه المصاحبة وتحليل الآثار المحتملة على البيئة والأنظمة البيولوجية المحيطة.

العمل على إيجاد تقنيات أفضل عند استخراج النفط حيث يتطلب ذلك البحث المستمر والتطوير في مجال تكنولوجيا استخراج النفط لتحسين كفاءة العمليات وتقليل التأثيرات البيئية.

ضرورة تكثيف البحوث والدراسات في مجال إدارة المياه المصاحبة للنفط: يجب دعم البحوث والدراسات المتعلقة بإدارة المیا المياه المصاحبة للنفط وتعزيز التعاون المحلي والعالمي في هذا المجال لتبادل المعرفة والتجارب.

يمكن أن تكون المياه المصاحبة، بعد معالجتها وإدارتها بشكل صحيح، فرصة للمساهمة في تلبية احتياجات المياه الزائدة وتخفيف الضغط على الموارد المائية الأخرى.

7. المراجع

1. المخرم عبد الرحمن منصور، الطبيب محمد مصباح (2015) "قياس مستوى تركيز كبريتيد الهيدروجين بالمنشآت النفطية (حقل النافورة)، مجلة العلوم والتقنية -المعهد العالي للمهن الشاملة الزاوية.
2. مهنه صالح، عبد الرحمن غيث، مختار وداد، محمد عايدة (2021) "تأثير المياه المصاحبة لإنتاج النفط على المياه الجوفية". عدد خاص بالمؤتمر العلمي الأول لكلية هندسة النفط والغاز (دور علوم الأرض والبيئة في تنمية الاقتصاد الليبي). جامعة الزاوية، العدد رقم 23، ص 247-268.
3. الحداد يوسف عبد الله، أبوستة مسعود فرج، محمد أماني بوبكر، أنوير آسيا المبروك (2016) "التأثيرات الفيزيائية والكيميائية الناتجة عن التلوث بالمياه المصاحبة لنفط من منصة حقل البوري على سواحل مدينة زوارة. مجلة العلوم الإنسانية والتطبيقية، جامعة المرقب، الخمس، ليبيا.
4. عبد الرحمن محمد عوض، محمد مبارك خالد، عابر عمر الحاج محمد، الهادي محمد محمود الأمين، محمد كامل محمد (2014) "تشخيص مشاكل الإنتاج الزائد للمياه في الآبار النفطية"، جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا الخرطوم، السودان.
5. المسماري صابر سيد المنصور، الجسائبي سعد عبد محمد (1996) ، كيمياء المياه الطبيعة، دار الكتب الوطنية ببنغازي.
6. APHA, AWWA, ET WEF, (1998), Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health.
7. علي زين العابدين عبد السلام، محمد بن عبد المرضي عرفات (2005) تلوث البيئي، دار الفكر، شارع التحرير الجيزة – القاهرة.