International Science and Technology Journal
المجلة الدولية للعلوم والتقنية
Volume 37 العدد
Part 2 المجلد
المجلة الدولية للعلوم والتقنية
International Science and Technology Journal
ISTJ

http://www.doi.org/10.62341/gatw0643

Received	2025/11/10	تم استلام الورقة العلمية في
Accepted	2025/11/29	تم قبول الورقة العلمية في
Published	2025/11/30	تم نشر الورقة العلمية في

تأثير مياه البحر على المياه الجوفية بالمنطقة الساحلية جودائم – صبراته

مجيد خترش[1]، ناجى شكشم[2]، على ابوصلوعة[3]، طارق ارحومة[4]

1، 2، 4– كلية الهندسة – جامعة صبراته – ليبيا

3– الاكاديمية الليبية – ليبيا

Khitreesh@yahoo.com

الملخص:

تتناول هذه الدراسة تلوث المياه الجوفية بمياه البحر ومدى انتشاره في الخزان الجوفي الأول بمنطقة الدراسة الممتدة من مدينة الزاوية الى مدينة صبراتة، حيث تم تحديد أربعة مقاطع عمودية على البحر تحتوي كلا منها على 10 آبار.

لتعرف على مدى شدة تلوث الخزان الجوفي بمياه البحر استخدم مؤشر جونز (Na/CL)، مؤشر(Ca/mg)، مؤشر(BEX) ، ومؤشر (GALADIT) ذي المعاملات الستة الأكثر تأثيرا على تسرب مياه البحر وذلك بإجراء التحاليل الفيزيائية والكيميائية على عينات من المياه الجوفية من تلك الابار شملت: الموصلية الكهربائية، الأملاح الكلية الذائبة، والكاتيونات والأيونات الموجبة والسالبة، ايون الهيدروجين.

ومن خلال النتائج اتضح أن أعلى تلوث حدث في المقطع الثالث بمنطقة صرمان بالبئر رقم 21 الذي يبعد مسافة 827 متر عن البحر بقيمة 98.74 حسب نسبة (SR)، بينما اقل نسبة تلوث كانت بمنطقة الحرشة بالبئر رقم 11 الذي يبعد مسافة 600 متر بقيمة 20.8، وأظهرت النتائج قابلية الخزانات الجوفية في منطقة الدراسة لخطر التلوث بدرجة متوسطة حسب نموذج جالدات (GALADIT).

وخلصت الدارسة الى مجموعة من التوصيات اهمها، خفض كمية السحب إلى أقل من كمية التغذية الطبيعية للخزان الجوفي، وترشيد استهلاك المياه في مجال الزراعة واستخدام التقنيات الحديثة في مجال الري.

الكلمات المفتاحية: تداخل مياه البحر بالمياه الجوفية، مؤشرات تلوث المياه الجوفية.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

International Science and Technology Journal
المجلة الدولية للعلوم والتقنية
Volume 37 العدد
Part 2 المجلد
المجلة الدولية للعلوم والتقنية
International Science and Technology Journal
ISTJ

http://www.doi.org/10.62341/gatw0643

The impact of seawater on groundwater in the coastal area of Joudeim – Sabratha

Majid khitreesh[1], naji Shaksham[2], ali abuslua [3], tark rhuma[4]
1,2,4 Faculty of Engineering, Sabratha University –Libya,
3-. Libyan Academy - Libya
Khitreesh@yahoo.com

Abstract:

This study addresses the contamination of groundwater by seawater and the extent of its intrusion into the first aquifer within the study area extending from the city of Az-Zawiya to the city of Sabratha. Four cross-sections perpendicular to the coastline were identified, each containing ten wells.

To assess the severity of seawater intrusion into the aquifer, several indices were employed, including the Jones Index (Na/Cl), the Ca/Mg ratio, the Base Exchange Index (BEX), and the GALADIT model, which incorporates the six most influential parameters related to seawater intrusion. This assessment was conducted through physical and chemical analyses of groundwater samples collected from the wells. The analyses covered electrical conductivity, total dissolved solids, major cations and anions, and hydrogen ion concentration pH.

The results revealed that the highest level of contamination occurred in the third section, specifically in Surman at well No. 21, located 827 meters from the coastline, with a value of 98.74 based on the SR ratio. In contrast, the lowest contamination level was recorded in Al-Harsha at well No. 11, located 600 meters from the sea, with a value of 20.8. The findings also indicated a moderate vulnerability of the aquifers within the study area to seawater intrusion, according to the GALADIT model.

The study concluded with several key recommendations, most notably reducing groundwater abstraction to levels lower than the natural recharge rate of the aquifer, rationalizing water consumption in the agricultural sector, and adopting modern irrigation technologies.

Keywords: seawater intrusion, groundwater pollution indicators

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/gatw0643

1- مقدمة

تعد ظاهرة تداخل مياه البحر مع المياه الجوفية من أهم المشاكل التي تواجه الخزانات الجوفية الواقعة في الشريط الساحلي بالغرب الليبي والتي يمكن أن تؤدي إلى تلوث مصادر المياه الجوفية، حيث يزداد التداخل عند حدوث خلل في الاتزان المائي بسبب هبوط مستوى المياه الجوفية كنتيجة للاستهلاك المفرط لهذا المصدر مما يؤدى إلى تلوث مخزون المياه الجوفية بالمنطقة كماً ونوعاً وهو ما حدث بمنطقة الدراسة على الشريط الساحلي ، تتناول هذه الدراسة تلوث المياه الجوفية بمياه البحر ومدى انتشاره في الخزان الجوفي الأول بالمنطقة الممتدة من جودائم الى صبراتة شمال غرب سهل الجفارة، حيث تعاني هذه المنطقة من هبوط مناسيب المياه الجوفية وبروز ظاهرة تداخل مياه البحر وتغير نوعية المياه بالمنطقة وتلوثها.

1.1 مشكلة الدارسة

تعتبر منطقة الدراسة واحدة من المناطق ذات الكثافة السكانية العالية في ليبيا ويعتمد سكانها كليًا على المياه الجوفية للاستهلاك البشرى والزراعي، وذلك باستخدام عدد كبير من الابار الارتوازية الموزعة بشكل عشوائي عبر المنطقة (الهيئة العامة للمياه، 2006) والتي تسببت في تلوث المياه الجوفية بمياه البحر نتيجة للاستهلاك المفرط للمياه الجوفية وتدني معدل هطول الأمطار، مما نتج عنه عدم التوازن بين التغذية والطلب. وهو ما يؤثر بشكل مباشر على التوازن الطبيعي بين المياه العذبة ومياه البحر ويسهل تداخل مياه البحر في الخزان الجوفي، مما يمثل تهديدًا لطبقة المياه الجوفية الساحلية.

2.1 اهداف الدارسة

- دراسة الخواص الكيميائية للمياه الجوفية في منطقة الدراسة والتوزيع المكاني لها.
- دراسة مدى تعرض الخزانات الجوفية للتداخل بمياه البحر باستخدام بعض النماذج والمؤشرات الكيميائية.
- تحديد المناطق الأكثر حساسية للضخ ومناطق تداخل المياه المالحة المحتملة.
- اقتراح الحلول والتوصيات للحد من تلوث المياه الجوفية بمياه البحر.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/gatw0643

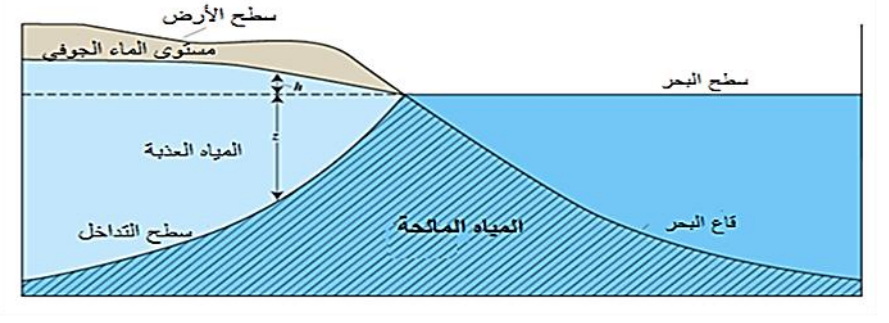
2- الجانب النظري والدراسات السابقة

المياه الجوفية لا تتواجد في حالة نقية بل تحتوي على مواد عالقة وأخرى مذابة بنسب متفاوتة تحدد نوعيتها وتعتبر مؤشر على مصدر هذه المياه، فالمياه الجوفية تحتوي على تراكيز مختلفة من الأملاح المذابة أثناء حركة تلك المياه وغالبا ما تحوي تلك المياه على نسب عالية من الأملاح نتيجة لإذابة تلك المياه لبعض التكوينات الجيولوجية القابلة للذوبان في الماء مثل كلوريد الصوديوم وكربونات الكالسيوم. يعتبر زحف المياه المالحة نحو الخزانات الجوفية مصدراً واضحاً لتدهور المياه الجوفية وتلوثها ويتم التعرف عليها من خلال إجراء التحاليل الكيميائية لعينات المياه للتعرف على تراكيز الأملاح بها ومعرفة مدى تلوثها.

تحتوي المياه الجوفية على عدد من الأملاح الذائبة، ويعتمد نوع وتركيز تلك الأملاح على البيئة التي تتواجد فيها المياه الجوفية وكذلك حركة المياه الجوفية ويتم تصنيفها الي ايونات موجبة مثل الكالسيوم (Ca_2^+)، الصوديوم (Na^+)، البوتاسيوم (K^+)، الماغنيسيوم (Mg^{+2})، وايونات سالبة مثل الكلوريدات (Cl^-)، الكربونات والبيكربونات (CO_3^{-2} , HCO_3): الكبريتات (SO_4^{-2}).

1.2 تداخل مياه البحر

في الظروف الطبيعية يكون هناك اتزان هيدروستاتيكي ما بين الماء المالح والعذب في الخزانات الجوفية لكن قد يختل هذا الاتزان نتيجة لسحب المياه الجوفية من الخزانات مما يقلل من الضغط الهيدروستاتيكي وهبوط منسوب الماء الجوفي لتتداخل المياه المالحة في تلك الخزانات نتيجة لاختلاف الكثافة كما مبين بالشكل 1.



شكل1. سطح التداخل بين الماء المالح والعذب في الخزانات الجوفية

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/gatw0643

2.2 المؤشرات الكيميائية لتداخل مياه البحر

المياه الجوفية عادة تحتوي على العديد من الأملاح الذائبة ويعتمد نوع وتركيز الأملاح على البيئة التي تتواجد فيها المياه الجوفية، إلا أن أكثر من 90% من هذه الاملاح تتمثل في عناصر: الكلوريد (Cl^-)، الصوديوم (Na^+)، المغنيسيوم (Mg^{++}) ، الكالسيوم (Ca^+_2) ، البوتاسيوم (k^+)، الكربونات (Co_3^-)، البيكربونات (HCo_3^-)، والكبريتات ($So4^-_2$). وإذا زادت تركيزات هذه الأملاح عن الحد المسموح به حدّ من استعمالات المياه في الأغراض المختلفة وتصبح تلك المياه ملوثة (الغرياني سعد، أحمد خماج، واخرون،2014)، ويمكن تحديد مصدر التلوث حسب نوع الأملاح الذائبة في المياه الجوفية والتي غالبا ما يكون مصدرها مياه البحر و تتواجد فيه بنسب عالية، مثل كلوريد الصوديوم والمغنسيوم، وبذلك فإن زيادة هذه العناصر عن الحد المسموح يعطي مؤشر لتداخل مياه البحر، أما العناصر الأخرى التي تتواجد في المياه الجوفية عادة ما تتواجد بتركيزات صغيرة في مياه البحر وبذلك زيادتها عن الحد المسموح به لا يُنسب إلى تداخل مياه البحر.

وبناءً على تركيز تلك الأملاح، وضعت عدة مؤشرات توضح تلوث المياه الجوفية بمياه البحر، ومن تلك المؤشرات، نموذج سيمبسون (SR) المؤشر الذي يعتمد على النسبة بين أيون الكلوريد إلى أيون الكربونات والبيكربونات حيث أن ايون الكلوريد سائد في مياه البحر، ويتواجد بكميات صغيرة فقط في المياه الجوفية، وأن البيكربونات والكربونات هي الايونات السائدة في المياه الجوفية، وتتواجد بكميات قليلة في مياه البحر.

3.2 دراسات سابقة

هناك العديد من الدراسات السابقة التي تطرقت لموضوع تداخل مياه البحر بالساحل الليبي ومنطقة سهل الجفارة وتناولته من زوايا مختلفة نذكر منها.

1- دراسة قام بها (Floegle, 1979) حول تداخل مياه البحر على طول الشريط الساحلي بمنطقة سهل الجفارة حيث تطرقت الدراسة الى ظاهرة تداخل مياه البحر وتضمنت تجميع ودراسة البيانات الهيدروليكية و تجميع عينات المياه من مجموعة الآبار الواقعة على امتداد 13 مقطع و اعتمدت على قياس مجموع الأملاح الكلية الذائبة وقياس كمية تركيز أيوني الكلوريد والبيكربونات وبينت نتائج التحاليل أن المنطقة الممتدة على طول الشريط

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/gatw0643

الساحلي مسافة في حدود(1–2 كيلومتر) تعرضت الى تداخل مياه البحر وحلت محل المياه المستنزفة العذبة وكذلك حدّدت الدراسة خط التداخل .

2– بينت دراسة قام بها (Sadeg, 1996) حول دراسة تداخل مياه البحر في منطقة طرابلس بالخزان الرباعي حدث هبوط كبير في مستويات المياه الجوفية أدى الى تداخل مياه البحر مع مياه الخزانات الجوفية العذبة بالمنطقة واعتمدت هذه الدراسة على قياس تراكيز الكاتيون والأنيون واشارت الى زيادة مساحة المنطقة المتأثرة بتداخل مياه البحر حيث بلغت حوالي 250 كيلو متر مربع وبعمق وصل الى أكثر من 10 كيلو متر جنوب شاطئ منطقة طرابلس

3– أجريت دراسة (بمكتب البحوث والاستشارات الهندسية، كلية الهندسة، 2002) جامعة طرابلس بعنوان تداخل مياه البحر بمنطقة شمال غرب ليبيا. شملت معظم الشريط الساحلي بمنطقة سهل الجفارة بالمنطقة الواقعة بين الحدود التونسية غرباً ومنطقة الخمس شرقاً بعمق يتراوح ما بين 5 إلى 10 كيلومتر. وخلصت الدراسة إلى أن المنطقة الممتدة على طول الشريط الساحلي بين العجيلات غرباً وجودائم تعرضت إلى تداخل مياه البحر ولمسافة تتراوح ما بين 2–3 كيلومتر، اما المنطقة الواقعة ما بين الماية غرباً وحتى تاجوراء شرقاً تفاوت تداخل مياه البحر ما بين 5–9 كيلومتر.

4– دراسة قام بها (Ekhmaj et al., 2014) بعنوان حالة تداخل مياه البحر في منطقة طرابلس حيث تم استخدام مؤشرين للدلالة على حدوث تداخل مياه البحر وهما مؤشر سيمبسون (Simpson) ممثلا بنسبة الكلوريدات إلى البيكربونات والكربونات، ومؤشر جونز (Jones) ممثلا بنسبة الصوديوم إلى الكلوريدات وقد تبين من خلال الدراسة أن نمط توزيع هذين المؤشرين مشابه إلى حد كبير نمط توزيع مجموع الأملاح الكلية الذائبة وتوزيع الكلوريدات في منطقة الدراسة، كما خلصت الدراسة إلى أنه وفقا لهذين المؤشرين فإن مياه الخزانات الجوفية متأثرة بشدة بملوحة مياه البحر عند مسافة تتراوح من 9 إلى 12 كم من خط الساحل.

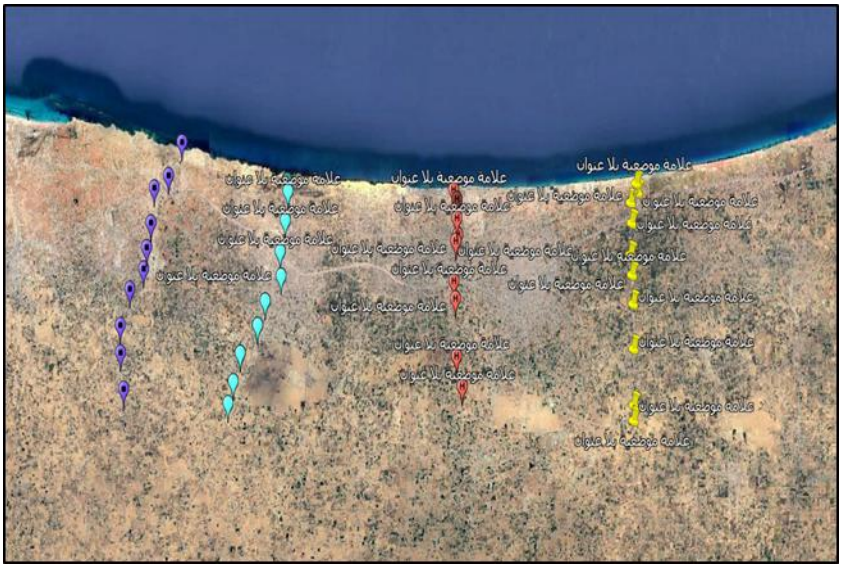
3– المنهجية والجانب العملي

تعتمد هذه الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي من خلال القياسات الميدانية والتحاليل المخبرية، وذلك بهدف تقييم تأثير تداخل مياه البحر على نوعية المياه الجوفية في المنطقة الساحلية الممتدة من جودائم إلى صبراتة، حيث تقع منطقة البحث على الساحل الغربي

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/gatw0643

لليبيا، بين مدينتي جودائم وصبراتة، بين (12.66 – 12.69) شرقاً و (32.70 – 32.79) شمالاً، وتتميز المنطقة بوجود خزانات جوفية ساحلية ضحلة، تتأثر بشكل مباشر بالأنشطة البشرية بالقرب من البحر الأبيض المتوسط. حيث تم اختيار [عدد40] آبار جوفية موزعة على امتداد المنطقة الساحلية المدروسة وبعمق 10كم، بحيث تغطي المناطق القريبة من البحر والمناطق الداخلية كما مبين بالشكل 2.



شكل 2. مواقع ابار الدراسة

4- النتائج والمناقشة

4-1: المؤشرات العامة وتقييم تداخل مياه البحر بمنطقة الدراسة

استخدمت مجموعة من المؤشرات لدراسة مدى تداخل مياه البحر بمنطقة الدراسة التي تشمل مناطق جودائم، الحرشة، صرمان وصبراتة، حيث تم استخدام عدد 40 بئر بواقع 10 آبار في كل قطاع على مسافة تراوحت بين ساحل البحر وموقع الابار بين 500 – 11800متر بعمق يتراوح (16–110م)، ومنسوب الماء الساكن بين (8 –60) متر عن سطح الأرض كما مبين بالجدول1، وهى آبار سطحية من الخزان الرباعي الحر تستخدم للشرب والصناعة وللأغراض الزراعية.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/gatw0643

جدول 1: موقع آبار الدراسة بالقطاعات وابعادها عن البحر

رقم البئر	القطاع	المسافة من البحر (م)	خط الطول	خط العرض	منسوب نقطة القياس ف. س. ب (م)	العمق الكلي للبئر (م)	مستوى الماء الساكن (م)	سمك الخزان (م)
1	صبراته	500	265456	3632016	20	20	16	4
10		11800	261612	3621090	22	75	60	15
9	جودائم	10200	293938	3620302	41	110	36	74
10		11227	293919	3619622	41	84	35.7	48
1	صرمان	827	272148	3630247	20	16	8	8
10		11342	268262	3620375	45	70	60	10

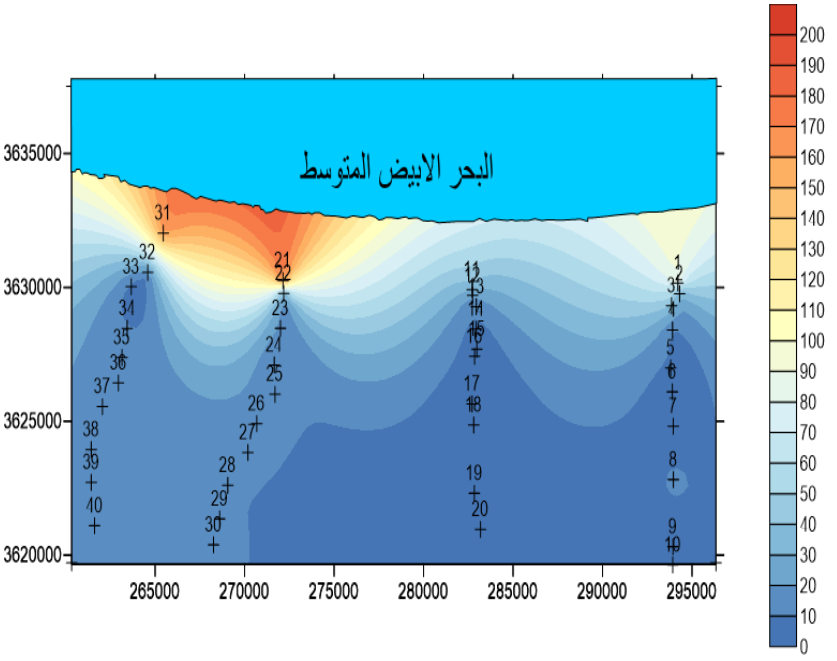
وقد تم التمثيل البياني للنتائج المتحصل عليها بأستخدام برنامج سيرفر (Surfer 10) لرسم مخططات بيانية متراصة لتوزيع الايونات الذائبية في المياه وذلك وفق المؤشرات والنتائج التالية :

أ- نموذج نسبة سيمبسون (SR).

تمثل نسبة سيمبسون (Simpson ratio)، مؤشر لتحديد مدى تلوث المياه الجوفية بمياه البحر، وتحسب وفقا للمعادلة التالية: $SR = \frac{Cl^-}{(HCO_3^- + CO_3^{2-})}$ ، حيث يبين الجدول 2 نسبة سيمبسون و مستويات تلوث المياه الجوفية بمياه البحر، حيث كانت اعلى نسبة لمستوى تلوث شديد بمقطع صرمان عند البئر رقم 21 بمقدار 98.7 . ثم بنسبة 93.6 عند البئر رقم 31 بمقطع صبراته ثم بنسبة 50.73 عند البئر رقم 1 مقطع جودائم، واخيراً 20.8 عند البئر رقم 11 بمقطع الحرشة كما مبين بالشكل 3 لكافة القطاعات.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/gatw0643



شكل 3. التوزيع المكاني لعناصر نموذج نسبة سيمبسون

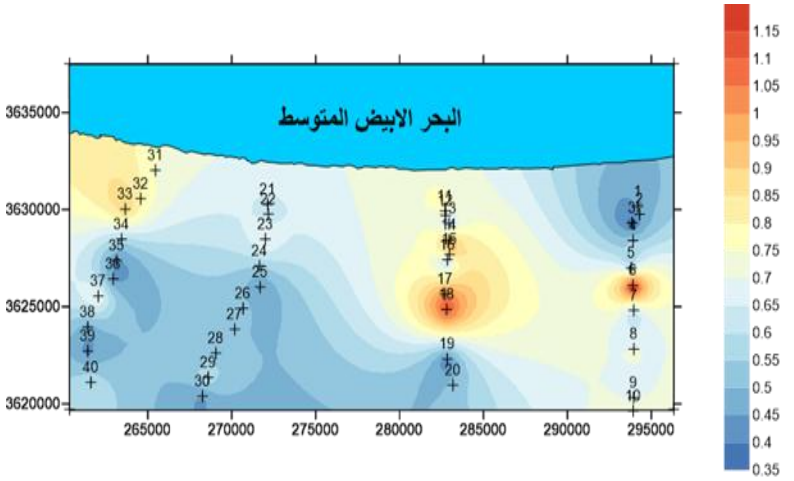
بـــ – نسبة جونز (JR).

يتم حساب نسبة جونز (JR) للتمييز بين نوعية المياه سواءً كانت مياه بحر أو غيرها من مصادر المياه (Ekhmaj et al., 2014). حيث تشير القيم المنخفضة منها على أن المياه المالحة أصلها مياه البحر بحيث تكون هذه النسبة أقل من 0.86 نسبة مولارية أما إذا كانت القيمة أعلى من (1) فهي تكون مياه عذبة، كما يمكن حساب (JR) باستخدام المعادلة التالية $\boldsymbol{JR = \frac{Na^{+}}{Cl^{-}}}$:

وكما مبين بالشكل 4، أظهرت النتائج في جميع أبار منطقة الدراسة ان نسبة جونز أقل من 0.86 وان الملوحة مصدرها مياه بحر.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

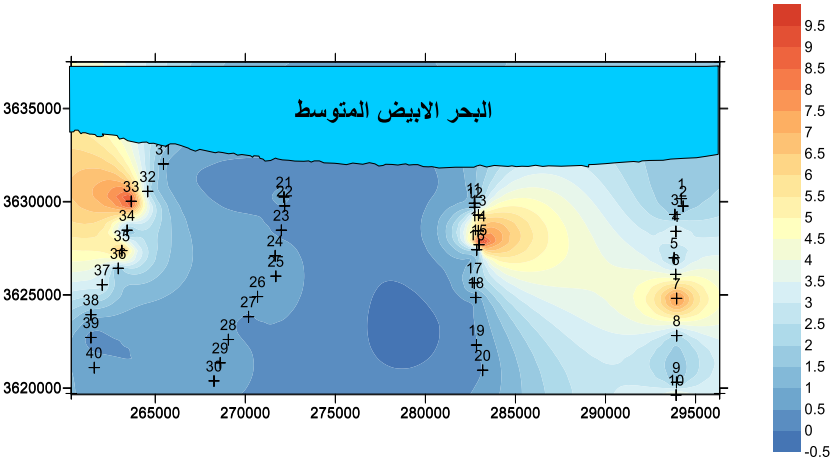
http://www.doi.org/10.62341/gatw0643



شكل4. التوزيع المكاني لعناصر نموذج نسبة جونز باستخدام برنامج سيلفر Surfer

ت- نسبة الكالسيوم/الماغنسيوم (Ca/ Mg)

يحدد المؤشر نوعية تلوث المياه الجوفية بمياه البحر أو من مصادر أخرى، أذا كانت النسبة اعلى من واحد يدل على حدوث تسرب لمياه البحر نحو المياه الجوفية وبتالي يدل على حدوث ظاهرة التداخل (كنان، 2022). تراوحت قيمة المؤشر بين اقل نسبة 0.41 في البئر رقم24 قاطع صرمان و اعلى نسبة 10.9 في البئر 17 بقاطع الحرشة ، كما مبين بالشكل 5، مما يلاحظ وجود تأثير لمياه البحر في المياه الجوفية.



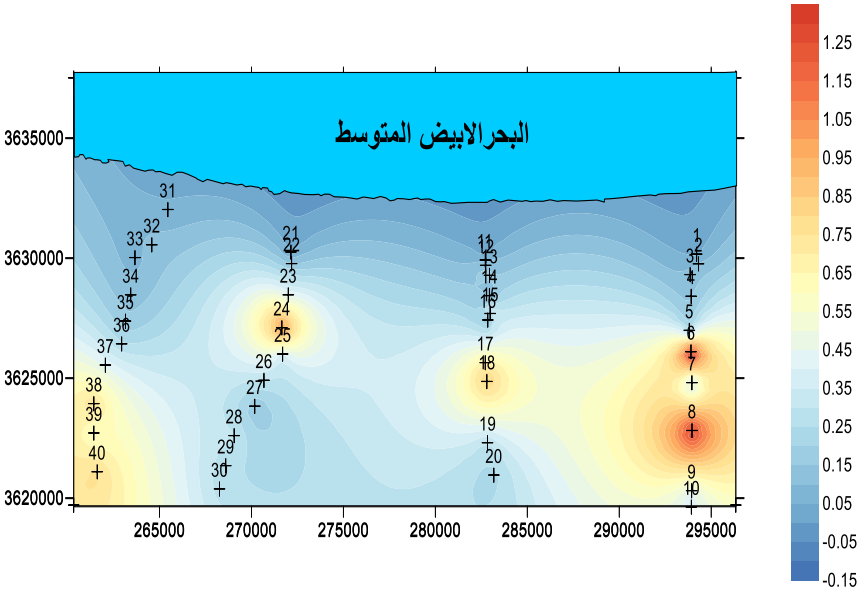
شكل5. التوزيع المكاني لنسبة Ca/Mg باستخدام برنامج Surfer

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/gatw0643

ث- نسبة الكبريتات/الكلور (SO_4/Cl)

لتحديد تسرب مياه البحر تعتبر هذه النسبة مهمة، إذا كانت النسبة اقل من 1 تشير الى تسرب مياه البحر، وإذا تجاوزت النسبة 1 فيدل على وجود تلوث ناتج عن استخدام الأسمدة الجبس. وضحت النسب الجيوكيميائية ان 95% من أبار منطقة الدراسة توجد بها تداخل لمياه البحر، حيث كانت اقل نسبة 0.035 عند البئر رقم 1 بقاطع جودائم، واعلى نسبة 1.41 عند البئر رقم 6 بقاطع جودائم كما مبين بالشكل 6.



شكل 6. التوزيع المكاني لنسبة So4/CL باستخدام برنامج Surfer

د- مؤشر التبادل الأساسي (BEX)

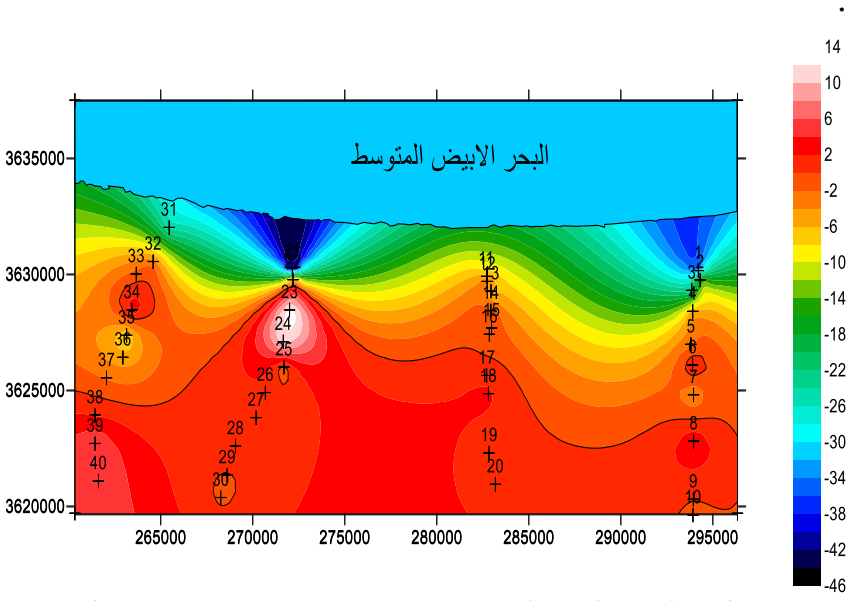
هو مؤشر التبادل الأساسي Base Exchange indices و أحد المؤشرات المستخدمة للتميز بين تملح طبقة المياه الجوفية (Stuyfzand, 2008). ويتم حسابه من خلال المعادلة

$$BEX = Na + K + Mg - 1.0716Cl \ (meq/L)$$

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/gatw0643

وتشير قيمة BEX السالبة (المياه مالحة) الناتجة من البحر، وتعبر القيمة الموجبة (المياه عذبة)، وتشير القيمة الصفرية (عدم وجود تبادل). أظهرت النتائج ان قيمة (BEX) بمعظم الآبار بالقطاعات الاربعة سالبة وتراوحت بين 44.23- 0.23- ، وشكلت نسبة BEX السالبة للآبار المدروسة حوالى 70%، وهى كما مبين بالشكل 7 .



شكل 7. التوزيع المكاني لعناصر نموذج نسبة BEX باستخدام برنامج سيلفر

ذ- نموذج (GALDIT)

يعتبر نموذج (GALDIT) أحد أهم النماذج المستخدمة في دراسة مدى هشاشة الخزانات الجوفية للتلوث بمياه البحر، وله مميزات منها التكلفة المنخفضة ويمكن أن يطبق في منطقة واسعة لأنه يسهل جمع البيانات المطلوبة. حيث توضح طريقة GALDIT مدى تأثير المعاملات الهيدروجيولوجية المختلفة على تداخل مياه البحر في الخزان الجوفي واستخدمت بشكل واسع في تقييم هشاشة الخزانات الجوفية (Recinos et al2014). والعوامل المهمة التي يعتمد عليها النموذج كما مبين بالجدول 2.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/gatw0643

جدول 2: عوامل GALDIT)) والأهمية الوزنية لكل عامل

الرمز	اسم العامل	الأهمية الوزنية
G	نوع الخزان الجوفي	1
A	التوصيل الهيدروليكي للخزان	3
L	ارتفاع مستوى الماء الجوفي فوق منسوب ماء البحر	4
D	المسافة من الشاطئ الى البئر وعمودية على خط الشاطئ	4
I	تأثير حالات وجود تداخل مياه البحر	1
T	سمك الخزان الجوفي	2

و يتم حساب مؤشر (GALDIT) بضرب النسبة الوزنية الثابتة لكل عامل في معدل القيمة لنفس العامل مقسوماً على مجموع الأوزان حسب المعادلة التالية:

$$\text{GALDET–Index}=\sum_{i=1}^{6} wi \times \text{Ri} / \sum_{i=1}^{6} wi \qquad (1)$$

حيث Wi هي النسبة الوزنية للعامل (I).

وأن Ri هي معدل القيمة للعامل (I).

تصنيف هشاشة الخزانات الجوفية (Zarour, T., 2017) حسب نموذج GALDIT بعد حساب مؤشر ((GALDIT)) يمكن تصنيف المنطقة الساحلية الى فئات متنوعة طبقاً لهشاشة الخزان للتداخل النتائج لأعلى وأقل مؤشر ((GALDIT)) تتراوح ما بين 2.5 – 10 مقسمة إلى ثلاث مجموعات كما في الجدول (3).

جدول 3: تصنيف هشاشة الخزانات الجوفية

رقم التسلسل	مدى مؤشر –GALDIT	تصنيف الهشاشة
1	أكبر من أو تساوي 7.5	أعلى هشاشة
2	من 5– 7.5	متوسطة الهشاشة
3	أقل من 5	منخفضة الهشاشة

تم حساب مؤشر GALDIT وفقا للمعادلة (1) وذلك بالأخذ في الاعتبار قيم معدلات العوامل المختلفة وأهميتها الوزنية، يوضح الشكل 8 التوزيع المكاني لقيم مؤشر نموذج

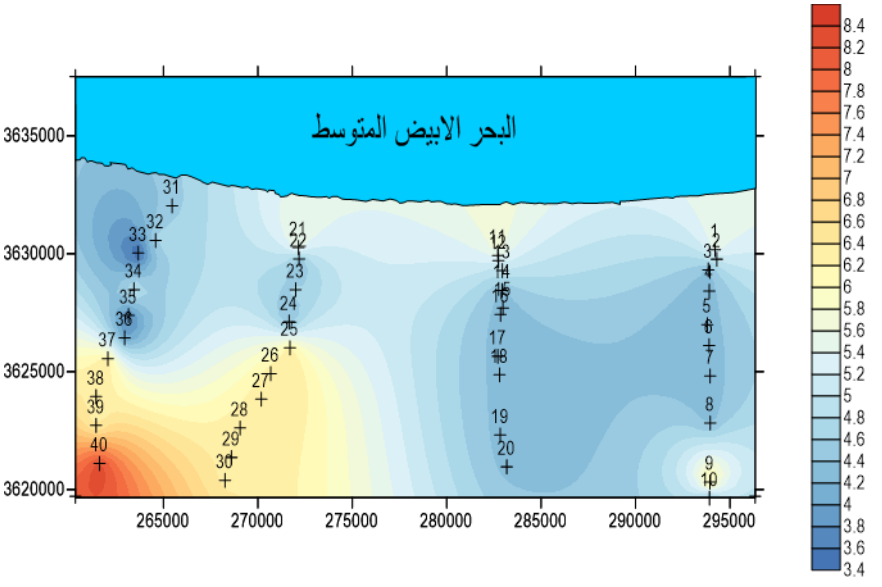
Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/gatw0643

جالدت لمنطقة الدراسة والذي يتبين من خلاله أن أغلب آبار الخزانات الجوفية السطحية بمنطقة الدراسة معرضة لخطر التداخل بمياه البحر بنسبة 65% وبدرجة متوسطة بقيم تتراوح من 5 إلى 7.5، فيما يقل معدل هشاشة التداخل في أغلب الحافة الجنوبية والجنوبية الغربية لمنطقة الدراسة، حيث بلغت نسبة الآبار ذات الهشاشة المنخفضة لخطر التداخل بمياه البحر وفقا لنموذج جالدت 31%.

إن انخفاض قيم مؤشر جالدت لمنطقة الدراسة يعزى بدرجة أساسية إلى انخفاض قيم معدلات كل من معامل التوصيل الهيدروليكي وارتفاع منسوب الماء الجوفي بالنسبة لمستوى سطح البحر وكذلك لتساوي قيم معدلات كل من سمك الخزان الجوفي، والمسافة العمودية للآبار من شاطئ البحر.

كما إن انخفاض قيمة الأهمية الوزنية لعامل تأثير حالات تداخل مياه البحر والذي يعتبر أحد أهم العوامل الدالة على حدوث تداخل لمياه البحر ويجعل من مساهمته في قيم مؤشر جالدت النهائية منخفضة. وقد أظهرت استخدام نموذج GALDIT أن منطقة الدراسة معرضة لخطر تداخل مياه البحر بدرجة متوسطة الخطورة، حيث تتناقص خطورة التداخل بمياه البحر في الاتجاه الجنوبي من منطقة الدراسة.



شكل 8. مؤشر نموذج GALDIT العام

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/gatw0643

4-2: الخصائص الكيميائية والتوزيع المكاني للأملاح في أبار منطقة الدراسة

تم في هذه الدراسة إجراء بعض التحاليل التي اشتملت على قياس درجة التوصيل الكهربائيEC)) والأملاح الكلية الذائبة TDS)) وكذلك إجراء بعض التحاليل الكيميائية للعناصر الرئيسية والتي تضمنت تقدير الأيونات الذائبة الموجبة والتي تتمثل في الصوديوم (Na^{+}) والبوتاسيوم (K^{+}) والكالسيوم (Ca^{+}) والمغنيسيوم (Mg^{2+}) والأيونات الذائبة السالبة ،المتمثلة في كل من أيونات الكلور (Cl^{-}) والبيكربونات (HCO_3^{-}) و الكبريتات (SO_4^{2-}). وكانت النتائج المتحصل عليها كما بالجدول 11، وتم توضيحها في الاشكال 9، 10، 11، 12، 13،14،15.

جدول4: تحليل الخصائص الكيميائية لأبار منطقة الدراسة

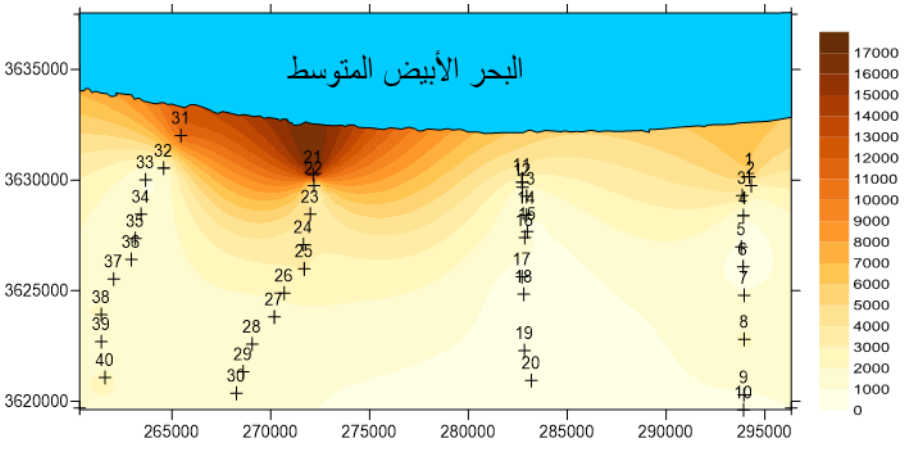
No_3^- Mg/L	Cl^- Mg/L	So_4^- Mg/L	HCo_3^- Mg/L	K^+ Mg/L	Na^+ Mg/L	Mg^{++} Mg/L	Ca^{++} Mg/L	TDS Mg/L	البعد عن البحر	القطاع	البئر
44.3	3470	165	68.4	18	1048	296	737	5847	962	قطاع جودائم	1
26.6	1145	180	81.6	8	345	111.8	320	2219	1600		2
22.9	1972	337	90	12	475	199.3	585	3693	2000		3
35.4	450	90	84	4	166	24.3	152	1006	2954		4
18.7	389	116	75.6	4	149	34.02	120	906	4161		5
28.1	120	233	79.2	2	98	14.58	96	671	5126		6
44.6	378	182	99.6	5	148	14.58	200	1072	6617		7
37.5	498	893	78	8	233	102.07	352	2202	8652		8
35.2	285	170	74.4	4	126	38.88	104	838	10200		9
37.5	240	145	78	4	121	14.6	112	753	11227		10
13.3	1750	113	84	16.5	896	87.49	192	3153	600	الحرشة	11
12.1	402	118	52.8	6	179	58.32	56	914	900		12
10	610	129	80.4	9	236	19.44	200	1294	1400		13
8.2	561	92	129.6	10.5	351	9.72	88	1250	2200		14
20.9	210	109	87.6	4.5	125	4.86	87	650	3000		15
30.4	670	121	144	22.5	259	82.63	136	1465	3950		16
19.9	155	148	86.4	6	104	19.44	64	603	4954		17
18.5	80	90	82.8	4.5	60	24.3	24	384	5670		18
35.4	410	162	69.6	4.5	108	102	80	971	8000		19
15.2	390	126	76.8	7.5	135	77.77	64	892	9920		20

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/gatw0643

تابع الجدول 4: تحليل الخصائص الكيميائية لأبار منطقة الدراسة

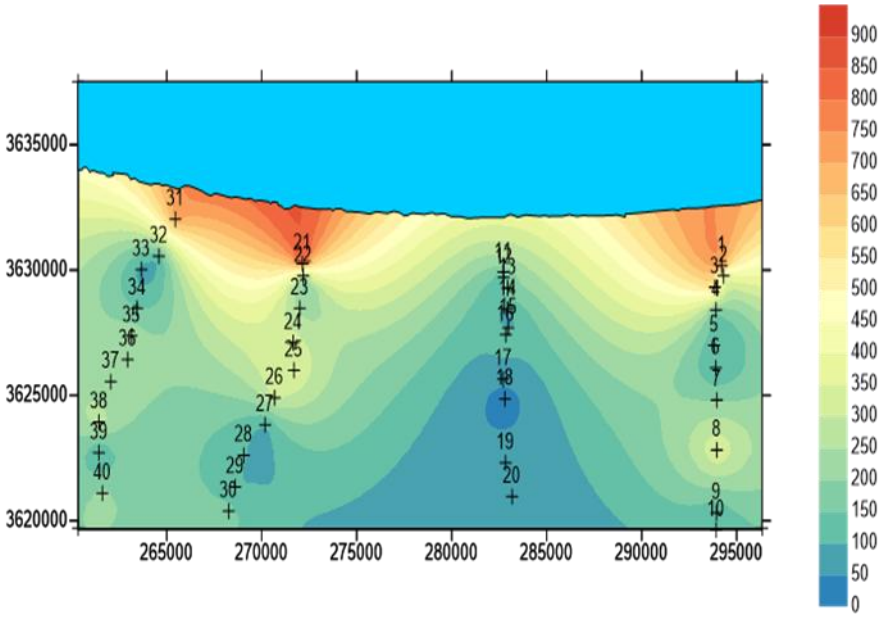
No_3− Mg/L	Cl− Mg/L	So_4− Mg/L	HCo_3^- Mg/L	K^+ Mg/L	Na^+ Mg/L	Mg^{++} Mg/L	Ca^{++} Mg/L	TDS Mg/L	البعد عن البحر	القطاع	البئر
9.7	10190	637	103.2	91	4288	947.96	841.27	17108.6	827	صرمان	21
11.5	1340	299	138	31	544	194.41	160.3	2718.44	1320		22
37.3	1660	980	156.6	42	784	347.03	240.36	4257.27	2600		23
28	800	1157	147.6	32	293	267.21	331.93	3056.94	4020		24
22.28	1300	655	133.2	16	374	263.74	354.82	3119.25	5084		25
20.6	1025	426	106.8	10	353	211.46	309.03	2372.56	6268		26
26.56	630	131	82.8	7	208	121.46	85.84	1292.87	7628		27
62.6	515	217	81.6	8	177	111.05	103.01	1275.38	8927		28
20.95	490	178	80.4	6	190	76.36	103.01	1144.92	10288		29
17.29	910	348	91.2	8	263	190.89	171.69	2000.96	11342		30
28.8	6350	537	67.8	43.5	3102	403.41	705.34	11238.3	500	صبراته	31
17.4	630	105	98.4	15	334	29.16	104.2	1333.3	2100		32
14.4	410	46	115.2	12	245	4.86	80.15	928.28	2700		33
19.5	455	77	70.8	12	169	116.65	152.29	1372.69	4270		34
22.1	560	128	72	10.5	161	19.44	240.46	1213.61	5260		35
40.1	763	271	81.6	12	219	102.07	232.44	1721.39	6375		36
23.8	580	348	74.4	13.5	279	38.88	208.4	1566.19	7670		37
32.8	660	680	79.2	9	204	155.53	280.53	2101.17	9160		38
36.5	550	438	67.2	10.5	155	189.55	88.17	1535.02	10300		39
36.1	649	683	82.8	12	257	160.39	216.41	2097.58	11800		40



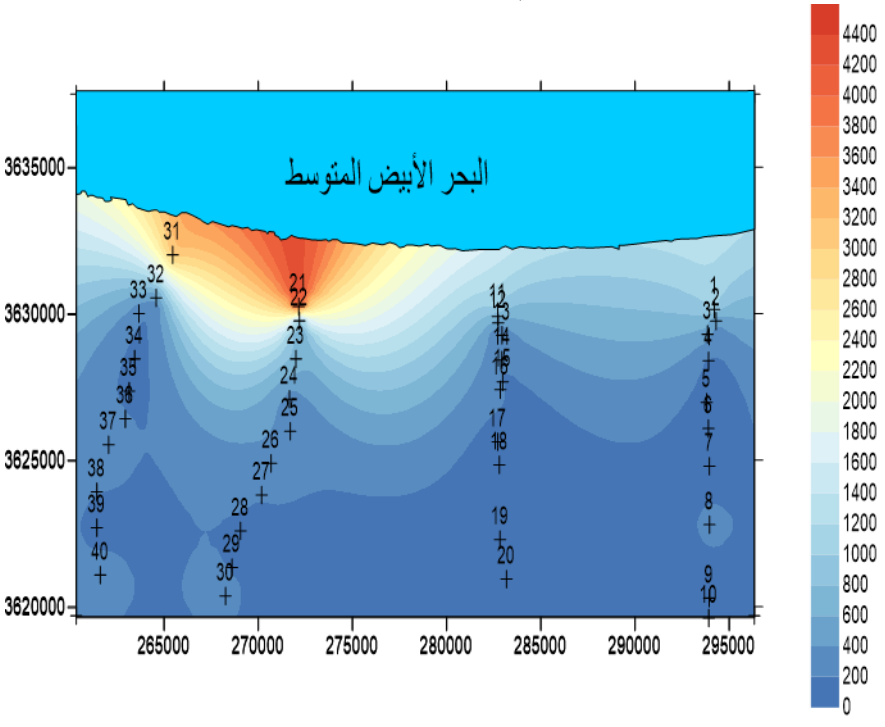
شكل 9. التوزيع المكاني لتركيز الاملاح الذائبة الكلية (مليجرام/لتر) في آبار منطقة الدراسة

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/gatw0643



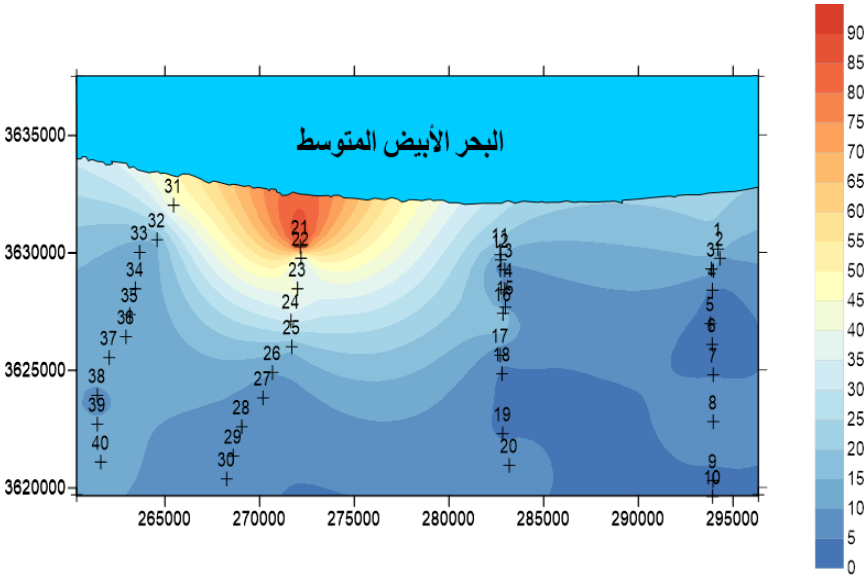
شكل 10. يوضح التوزيع المكاني للكالسيوم (ملجم / مكافئ) لآبار منطقة الدراسة



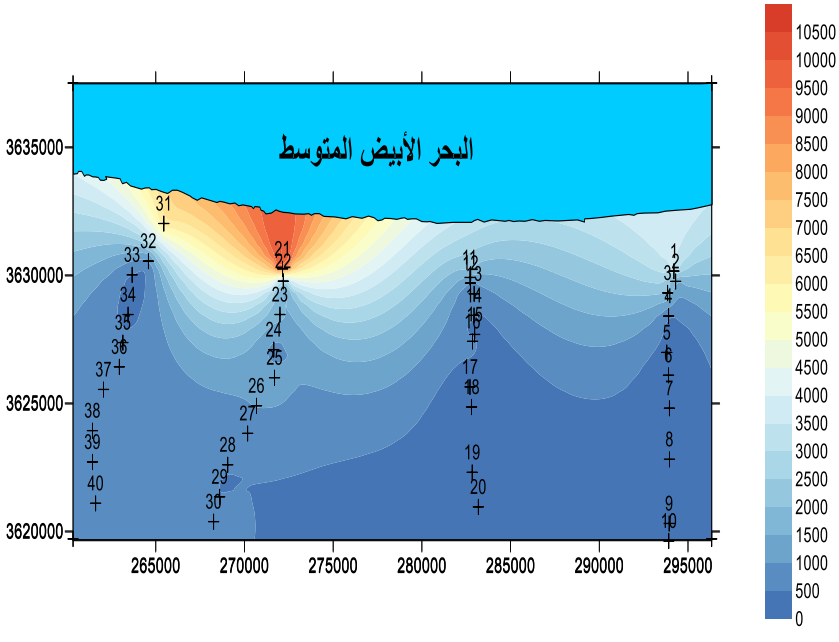
شكل11. يوضح التوزيع المكاني للصوديوم (ملجم / مكافئ) لأبار منطقة الدراسة

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/gatw0643



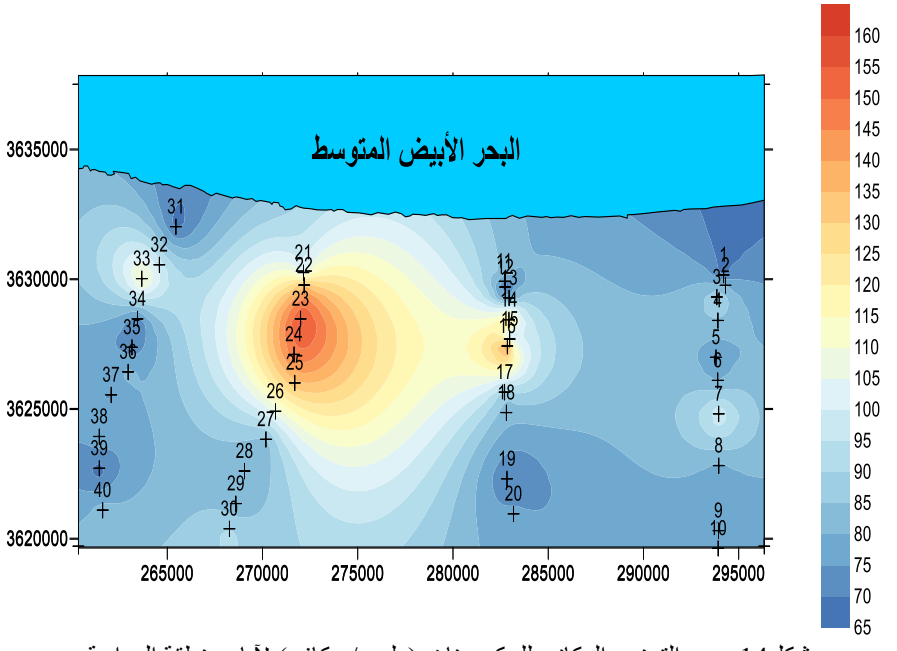
شكل2. يوضح التوزيع المكاني للبوتاسيوم (ملجم / مكافئ) لأبار منطقة الدراسة



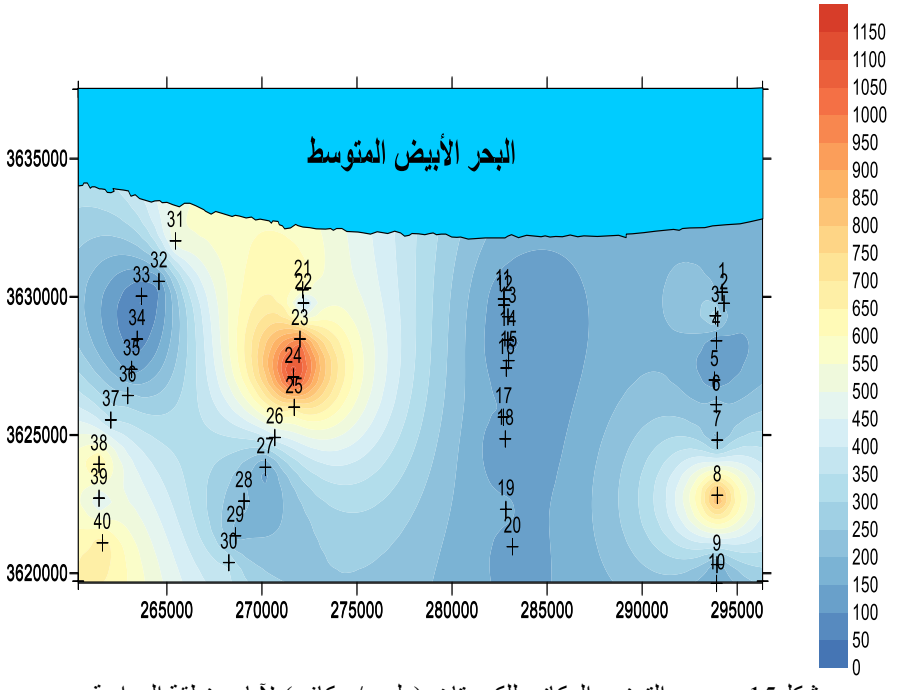
شكل 13. يوضح التوزيع المكاني للكلوريد (ملجم / مكافئ) لآبار منطقة الدراسة

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/gatw0643



شكل14. يبين التوزيع المكاني للبيكربونات (ملجم / مكافئ) لآبار منطقة الدراسة



شكل15. يوضح التوزيع المكاني للكبريتات (ملجم / مكافئ) لآبار منطقة الدراسة

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/gatw0643

5: الخلاصة

من نتائج الدراسة نلاحظ إن تركيز بعض العناصر الكيميائية كان عالي في أغلب الآبار القريبة من البحر، حيث وصل تركيز الأملاح الذائبة الكلية الى أكثر من (1000مليجرام /لتر) في كل الابار القريبة من شاطئ البحر حيث وصل اعلى تركيز في البئر رقم 31 قاطع صرمان الى (17108 مليجرام /لتر) اما في الابار البعيدة عن البحر فكان التركيز مقبول في اغلب الابار. اما بالنسبة للصوديوم كأن مرتفع في الابار القريبة من شاطئ البحر حيث وصل اعلى تركيزه في البئر 31 صرمان الى (4288 مليجرام /لتر) و في الابار البعيدة عن البحر فكان التركيز مقبول في اغلب الابار ، اما بالنسبة للكلوريد فكان هو ايضا مرتفع في الابار القريبة من شاطئ البحر حيث وصل الي (10190مليجرام /لتر) في البئر 31 قطاع صرمان، اما في الابار البعيدة عن البحر فكان التركيز مقبول في اغلب الابار . وحيث ان هذه العناصر من أكبر محتويات مياه البحر فوجودها بتركيز عالي في الابار القريبة من شاطئ البحر وتناقص تركيزها كلما ابتعدنا عن البحر هذا دليل قوي على تداخل مياه البحر في المياه الجوفية. مما يعني تلوث هذه المياه والذي يؤدي بدوره الى الحد من إمكانية استغلال هذه المياه في الكثير من أوجه الحياة.

6: التوصيات

من خلال النتائج تبين ان منطقة الدراسة تعاني من تداخل مياه البحر ومع اعتماد المنطقة المتزايد على المياه الجوفية للاستعمال المنزلي والزراعي فان حدة التلوث يتصاعد مع مرور السنوات، وخاصة مع قلة التغذية عن طريق مياه الامطار، لذلك يجب التأكيد على النقاط التالية:

1. خفض كمية السحب إلى أقل من كمية التغذية الطبيعية للخزان الجوفي.
2. الحد من حفر الأبار العشوائية بدون تراخيص من الجهات المختصة للتقليل من استنزاف المياه والمحافظة على الخزان الجوفي كمصدر رئيسي للمياه بالمنطقة.
3. حفر ابار مراقبة على طول الساحل تمكن من دراسة نوعية المياه مع العمق كما يمكن من خلالها تحديد زحف المياه المالحة.
4. ترشيد استهلاك المياه في مجال الزراعة واستخدام التقنيات الحديثة في مجال الري.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/gatw0643

المراجع

الغرياني سعد، أحمد خماج، واخرون،2014ف. تقييم الآثار الاقتصادية والبيئية للزراعة المروية في المنطقة الشمالية الغربية، تقرير المرحلة الاولى، الهيئة الوطنية للبحث العلمي، طرابلس، ليبيا.

الهيئة العامة للمياه، الوضع المائي بليبيا (2006).

كنان راعي (2022)، تحديد الظروف المنشئية لتشكل النمط الجيوكيميائي للمياه الجوفية. مجلة جامعة تشرين. العلوم البيولوجية المجلد 44 العدد (3).

مكتب البحوث والاستشارات الهندسية، 2002ف، دراسة تداخل مياه البحر بمنطقة شمال غرب ليبيا، جامعة طرابلس.

Ekhmaj, I. A, Ezlit, Y., and Elaalem, M. (2014). The Situation of Seawater Intrusion in Tripoli, Libya. (BCES-2014) June 14-15, 2014 Penang (Malaysia).

Flogel, H. (1979). Seawater Intrusion Study. SARALD/FAO project. Tripoli.

Recinos N, kallioras A, Pliakas F, Schuth C (2014) Application of GALDIT index to assess the intrinsic vulnerability to seawater intrusion of coastal granular aquifers.

Sadeg, S. (1996). Numerical Simulation of Saltwater Intrusion in Tripoli, Libya. Ph.D. Thesis, The Middle East Technical University Ankara, Turkey, 191pp. 07, Options Mediternian.

Stuyfzand P. J. (2008) "Base exchange indices as indicators of salinization or freshening of (coastal) aquifers," in the 20th salt water intrusion meeting, Naples, Florida, USA.

Zaarour, T., 2017. Application of GALDIT index in the Mediterranean region to assess vulnerability to seawater intrusion. Lund University GEM thesis series.

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية

http://www.doi.org/10.62341/gatw0643

Copyright © ISTJ
حقوق الطبع محفوظة
للمجلة الدولية للعلوم والتقنية