

## تأثير مياه البحر على خصائص المياه الجوفية بمنطقة كعام، شمال غرب ليبيا

محمد سعدون شهبوب<sup>1\*</sup>، محمد عبد الجليل<sup>2</sup> وعلي يوسف عكاشة<sup>3</sup>

<sup>1</sup> قسم الجيوفيزياء، كلية العلوم مسلاتة، جامعة المرقب، ليبيا.

<sup>2</sup> قسم علوم البيئة، كلية علوم دمياط، جامعة المنصورة، مصر.

<sup>3</sup> قسم علوم البيئة، كلية العلوم، الجامعة الأسمرية الإسلامية، زليتن، ليبيا.

البريد الإلكتروني: mshhop2011@gmail.com

## Effect of Seawater on Groundwater Properties at Kaam Area, Northwestern Libya

Mohamed S. Shhob<sup>1,\*</sup>, AbdelGalil M.<sup>2</sup>, and Aly Y. Okasha<sup>3</sup>

<sup>1</sup>) Geophysics Department, Faculty of Sciences Messalata, Elmergib University, Libya.

<sup>2</sup>) Environmental Sciences Department, Faculty of Science at Damietta, Mansoura University, Egypt.

<sup>3</sup>) Environmental Sciences Department, Faculty of Science, Alasmarya Islamic University, Zliten, Libya.

Received: 11 May 2020; Revised: 13 July 2020; Accepted: 21 August 2020.

### الملخص

يقدم البحث دراسة عن تلوث مياه الخزان الجوفي الأول بمياه البحر بمنطقة كعام، وقد اعتمدت هذه الدراسة على الطريقة الكيميائية لتحديد التلوث، حيث تم العمل على عدد (15) بئر في منطقة زراعية مساحتها 36 كم مربع ويبلغ عمق الآبار من 7 إلى 70 متراً تحت سطح الأرض حيث تستعمل مياه هذه الآبار في الأغراض الزراعية والاستهلاك البشري، وقد تم أخذ عينات مياه جوفية من تلك الآبار المتاحة و إجراء التحاليل الكيميائية على تلك العينات والتي منها تركيز ايون الهيدروجين (pH)، الموصلية الكهربائية (EC) الأملاح الكلية الذائبة (TDS)، الانيونات والكاتيونات (K-Na-Mg-) (Ca – HCO<sub>3</sub> – Cl – SO<sub>4</sub>). أيضاً تم تحديد بعض الخواص الهيدروجيولوجية ذات العلاقة بالخزان الجوفي مثل التركيب الجيولوجي لمنطقة الدراسة. ومن خلال النتائج تبين أن الخزان الأول بمنطقة الدراسة تعرض لغزو مياه البحر والذي ربما يعزى غالباً لعمليات الضخ المتزايدة في السابق والذي تسبب في تغلغل مياه البحر بالجزء السفلي من الخزان مسبباً تدني نوعية المياه الجوفية بالمنطقة.

الكلمات الدالة: البيزومتري، التحاليل الكيميائية، كعام، المياه الجوفية، مشروع كعام الزراعي، تداخل مياه البحر.

### Abstract

The study presents a study on the pollution of the water of the first aquifer in the seawater in the Kaam region. The study was based on the chemical method for determining pollution. The work was done on 15 wells in an agricultural area of 36 km<sup>2</sup> and the depth of the wells was from 7 to 70 m below the surface of the land where the water of these wells is used for agricultural purposes and human consumption. Groundwater samples were taken from these available wells and chemical analyses were carried out on these samples, including the concentration of hydrogen ion (pH), electrical conductivity (EC), total dissolved salts (TDS), anions and cations (K, Na, Mg, Ca, HCO<sub>3</sub>, Cl, SO<sub>4</sub>.) Some of the related geological characteristics of the groundwater reservoir, such as the geological structure of the study area. The results revealed that the first reservoir in the study area was exposed to the invasion of seawater, which is probably due to the increased pumping operations in the past, which caused the penetration of seawater at the bottom of the reservoir, causing the low quality of groundwater in the region.

**Keywords:** Bisometric, Chemical analysis, Kaam, Groundwater, Kaam agricultural project, Sea water intrusion.

## 1. المقدمة

على الرغم من أن المياه الجوفية أقل عرضة للتلوث من المياه السطحية وذلك لوجودها تحت سطح الأرض مما يحد من وصول كثير من المواد الملوثة إليها، إلا أنها عندما تتلوث يصعب معالجتها وتأخذ وقت طويل حتى تعود إلى وضعها الطبيعي وقد لا تعود وذلك حسب نوع الملوث. تلوث المياه الجوفية يحدث من مصادر يمكن تصنيفها إلى بلدية، صناعية، زراعية، وبيئية. المصادر البيئية عادة ينتج عنها زيادة ملوحة المياه وتحدث نتيجة للتلوث بماء البحر أو التلوث ببعض الأملاح المكونة لصخور الخزان الجوفي.

تحت الظروف الطبيعية والمستقرة المياه الجوفية تكون في حالة انسياب طبيعي نحو البحر مع إسفين ماء البحر عند قاع الخزان ناتج عن حركة المياه الجوفية واتزان الضغط، ولكن مع زيادة الضغط بمعدل يفوق معدل التغذية للخزان فإن الإسفين يزيد ويتمدد. عندما يصل منسوب سطح المياه الجوفية أو منسوب السطح البيزومتري في منطقة معينة إلى مستوى سطح البحر أو أقل ينقص الضغط في الخزان الجوفي مما ينتج عنه تداخل مياه البحر وتلوث المياه الجوفية في تلك المنطقة وهي الظاهرة المعروفة بتداخل مياه البحر (القنفود وآخرون، 2006)؛ إلى جانب السحب المفرط تعتمد حدة التداخل على عدة عوامل أخرى مثل الخواص الهيدروجيولوجية والبنائية للخزان، التغيرات في الانسياب الطبيعي نحو البحر، التغذية، تأثيرات المد والجزر، وغيرها.

تحتوي المياه الجوفية عادة على عدد من الأملاح الذائبة ويعتمد نوع وتركيز الأملاح على البيئة التي تتواجد فيها المياه الجوفية وإذا زادت تركيزات هذه الأملاح عن الحد المسموح به وحدد من استعمالات المياه في الأغراض المختلفة تصبح تلك المياه ملوثة، ويمكن تحديد مصدر التلوث وذلك حسب نوع الأملاح ذات التركيزات العالية. معظم الأملاح الذائبة في المياه الجوفية تتكون من عناصر الكلوريد، الصوديوم، المغنسيوم، الكالسيوم، البوتاسيوم، الكربونات، البيكربونات، والكبريتات. المصدر الأساسي لعنصر الكلوريد في المياه الجوفية هو مياه البحر والمياه المحبوسة وقد تساهم مكونات الصخور النارية بنسبة بسيطة. مصادر الصوديوم في المياه الجوفية هي المياه المالحة سواء كانت محبوسة أو بحرية ومعادن الفلسبار في الصخور النارية والمعادن الطينية. أما مصادر المغنسيوم فقد تكون من التكوين الصخري للخزان حيث تحتوي معظم الصخور على تركيبات مختلفة منه وقد تأتي من التلوث بالمياه البحرية نتيجة لاحتوائها على تركيزات عالية من هذا العنصر. لذلك وجود تركيزات عالية من تلك العناصر في المياه الجوفية عادة ما يكون مصدرها مياه البحر حيث تتواجد هذه العناصر بتركيزات عالية، وبذلك وجود هذه العناصر وخاصة الصوديوم والكلوريد بتركيزات عالية يعطي مؤشر لتداخل مياه البحر، أما العناصر الأخرى فتتواجد بتركيزات صغيرة في مياه البحر وبذلك زيادتها لا يُنسب إلى تداخل مياه البحر (Okasha, 2011).

إن التداخل مع مياه البحر أو تسرب المياه المالحة هو التدفق الجوفي لمياه البحر إلى آبار المياه العذبة وخزانات المياه الجوفية. يقتصر تسرب مياه البحر على طبقات المياه الجوفية حيث تكون المياه الجوفية ومياه البحر في استمرارية هيدروليكية. كثافة المياه العذبة أقل من كثافة مياه البحر وتطفو فوقها. الواجهة بين الكتلتين ليست حدةً مميّزة؛ إنه خليط من الماء العذب والمالح (ماء مالح). يتم تحديد شكل الواجهة من خلال التوازن الهيدروديناميكي على طول خطة الاتصال. تميل هذه الواجهة نحو الأرض وتتقاطع مع قاع طبقة المياه الجوفية (Fetter, 1972; Todd, 1974; Kallergis, 1986 and Jiao et al., 2006). برز تسرب مياه البحر إلى نظام المياه الجوفية مؤخرًا كمشكلة خطيرة تدمر أنظمة المياه الجوفية في ليبيا. هذه المشكلة ناتجة عن الاستهلاك الإجمالي للمياه الجوفية في التطبيقات المنزلية والزراعية والصناعية (Minas et al, 2005) يُعتقد أن الأنشطة البشرية مثل ضخ المياه الجوفية واستصلاح الأراضي لها تأثير فيزيائي وكيميائي كبير على أنظمة تدفق المياه الجوفية الساحلية.

(Stuyfzand, 1995; Jones *et al.*,1999; Park *et al.*,2005; Petalas and Lambrakis, 2006 and Guo and Jiao 2007)

نظراً للأهمية البالغة للمياه الجوفية كمصدر مائي، حرص الكثير من الباحثين على دراسة مشاكل التلوث لهذا المصدر وطرق معالجتها وتعتبر مشكلة تداخل مياه البحر وطرق معالجتها أحد المشاكل التي جذبت أنظار الباحثين في المجالات ذات العلاقة ونتيجة لذلك صدور العديد من البحوث والنشرات العلمية التي تقدم الحلول والمقترحات للبناء للحد من تلك المشكلة. لعل من الذين لهم السبق في هذا المجال هما غايين من هولندا وهيرزبرج من ألمانيا حيث توصل الاثنان على انفراد إلى تحديد السطح الحاد بين المياه العذبة والمالحة والذي عرف فيما بعد في المراجع العلمية بمنحنى غايين-هيرزبرج، وقد أوضح ريفيل أن التغير في نسبة الكلوريد والبيكربونات تعتبر مؤشر لتداخل مياه البحر، حيث أن أيون الكلوريد سائد في مياه البحر، ويتواجد بكميات صغيرة فقط في المياه الجوفية، وأن البيكربونات هي الايونات السائدة في المياه الجوفية، وتتواجد بكميات قليلة في مياه البحر (Todd, 1980).

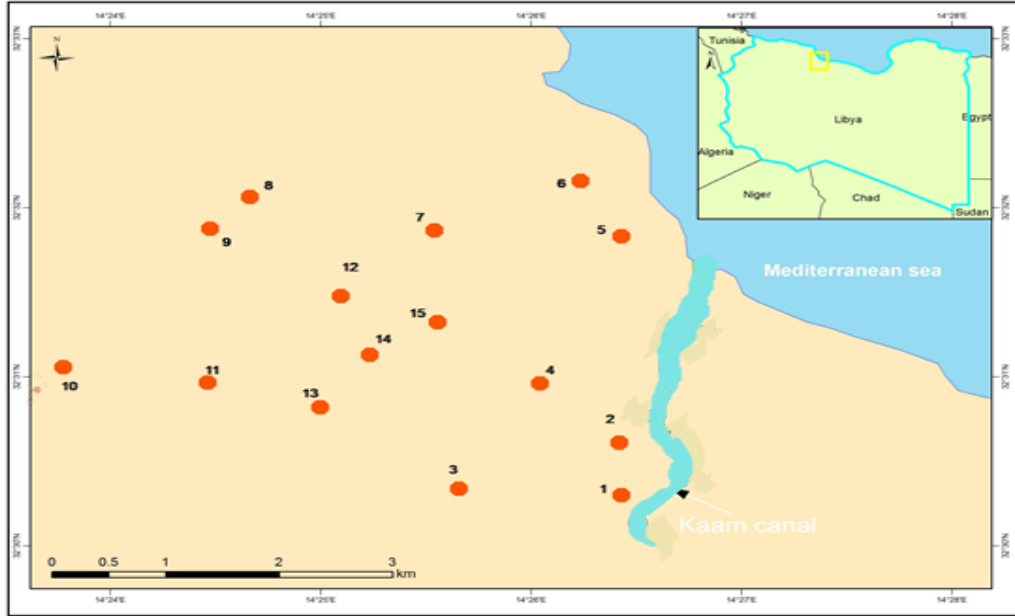
قام عبد الرسول سنة 2000 بدراسة لخصائص المياه الجوفية في المنطقة من مصراته إلى قصر الأحيار وقد شملت الدراسة تقدير الرقم الهيدروجيني والموصلية الكهربائية والخواص الكيميائية الكاتيونات والانيونات؛ كما أجرى (الدوفاني، 2006) دراسة تحليلية لمياه الأمطار والمياه الجوفية بمنطقة الخمس أوضحت وجود ارتفاع في الاملاح بالمياه في الآبار القريبة من البحر؛ كما أوضحت الدراسة التي قامت بها الهيئة العامة للمياه والتي شملت المنطقة الساحلية الممتدة من العجيلات حتى مصراته أن التداخل بات واضحاً وجلياً في المنطقة الساحلية، كما أوضحت دراسة (Okasha, 2011) على المنطقة الساحلية الممتدة من كعام حتى لبده تتعرض لتداخل مياه البحر.

هناك عدة طرق تستخدم لدراسة ظاهرة تداخل مياه البحر في الخزانات الجوفية منها النماذج المعملية والنماذج الرياضية والتحليل الكيميائي للمياه الجوفية التي يمكن من خلالها معرفة التلوث بماء البحر ومدى انتشاره؛ حيث أن وجود بعض الأملاح الذائبة مثل الكلوريد والصدويوم والتي عادة ما يكون مصدرها ماء البحر تعطي مؤشراً على حدة التداخل ومدى انتشاره. أيضاً يمكن تحديد التلوث بالطرق الكهربائية التي تعتمد على قياس الموصلية الكهربائية للماء والتي بدورها تعتمد على كمية ونوعية الأملاح المذابة إلا أن الطرق الكهربائية لا تعطي نتائج يمكن الاعتماد عليها وبذلك نادراً ما تستخدم في دراسة تداخل مياه البحر، وتهدف هذه الدراسة إلى معرفة مدى تلوث مياه الخزان الجوفي بمياه البحر وذلك من خلال معرفة مدى انتشار التداخل بناء على التحاليل الكيميائية والمعاملات الأخرى ذات العلاقة. كما تهدف إلى تقديم بعض الحلول والمقترحات التي تحد من تلك المشكلة وذلك اعتماداً على النتائج المتحصل عليها.

## 2. المواد والطرق

### 1.2 منطقة الدراسة

أجريت الدراسة بمنطقة كعام المحصورة بين خطي طول ( $32^{\circ} 33'$  و  $32^{\circ} 30'$ ) وخطي عرض ( $14^{\circ} 27'$  و  $14^{\circ} 23'$ ) كما هو مبين بالشكل (1).



شكل 1. يوضح موقع منطقة الدراسة ومواقع الآبار التي تم العمل عليها.

تشهد منطقة الدراسة نشاطاً زراعياً كبيراً سواء في المزارع الخاصة التي تتواجد على امتداد كافة المنطقة أو بمشروع كعام الزراعي كما يقطن المنطقة عدد من السكان حيث تغطي المياه الجوفية نسبة 80% من الاحتياجات المنزلية لهم؛ فهذا النشاط الزراعي والاستهلاك البشري يعتمد أساساً على المياه الجوفية من خلال حفر عدد من الآبار التي تخترق الخزانات الجوفية المتواجدة بالمنطقة (الشكل 1)، وتتأثر المنطقة بمناخ البحر الأبيض المتوسط والذي يتراوح معدل سقوط الأمطار فيه ما بين 100-250 مم ومعظم الآبار الجوفية المستغلة في المنطقة تضخ من الخزان الجوفي الأول (الهيئة العامة للمياه، 2000).

## 2.2. هيدرولوجية منطقة الدراسة

تتميز منطقة الدراسة بوجود عدد من الخزانات الرئيسية للمياه الجوفية هي:

**خزان الحقب الرابع (Eocene aquifers):** يقع هذا الخزان ضمن تكوينات العصر الرابع المكون من طبقات من الحجر الجيري والدولوميت والجبس، ويمتد على طول الشريط الساحلي الشمالي، وبعض الأجزاء الجنوبية بعمق 3 كم تقريباً. ويتراوح عمق طبقات مياه هذا الخزان من (15-40م) ومستوى المياه الساكنة من (10-20م) وإنتاجيته من (10-15 م<sup>3</sup>/ساعة)، تم الاعتماد عليه بشكل رئيسي في تغذية المنطقة بالمياه العذبة خلال فترة السبعينيات مما تسبب في تناقص إنتاجية آباره كما أن أجزاء واسعة منه تعرضت لتداخل مياه البحر (Gefli, 1973، الهيئة العامة للمياه، 1974).

خزان المايوسين: وهو يتكون من حجر جيري مع وجود تداخلات من المارل والحجر الجيري والطين، ويتراوح عمق هذا الخزان بين (120 م ± 20%) أما مستوى الماء الساكن به من (-40 إلى -60 م) والإنتاجية (20 م<sup>3</sup>/ساعة)، ويستغل هذا الخزان من قبل المواطنين في الزراعة بكثافة، الأمر الذي أدى إلى نضوب مياه هذا الخزان.

**خزان عين طبي (الطباشيري العلوي):** وهو عبارة عن حجر جيري إلى حجر جيري دولومتي، ويتراوح عمق طبقاته من (750 م ± 20%) ومستوى الماء الساكن يتراوح من (-20 إلى -40 م)، وهذا وتبلغ إنتاجية الآبار به من (50-100 م<sup>3</sup>/ساعة)، وهو

غير مستغل حيث أن إمكانياته مشابهة لخزان مزدة - تغرنة والتي هي أقل في العمق وهذا الخزان عموماً على اتصال شبه مباشر بالخزانات التي أسفل منه لحدوث تصدعات صخرية بالمنطقة (الهيئة العامة للمياه- فرع المنطقة الوسطى الخمس، 2000). نظراً لحدودية الإمكانيات المائية الكمية لهذين الخزنين الجوفيين وتواجدهما بالمناطق الساحلية فإن استغلالهما بصورة رئيسية عن طريق المزارعين إضافة إلى جزء من الاستغلال للأغراض المنزلية في المناطق ذات النوعية الكيميائية المقبولة؛ ولقد تعرض خزان الرباعي إلى تداخل مياه البحر في المنطقة الساحلية؛ كما أنه أصبح شبه جاف في المناطق البعيدة عن البحر بسبب الاستنزاف المفرط في استغلال مياه هذا الخزان الجوفي.

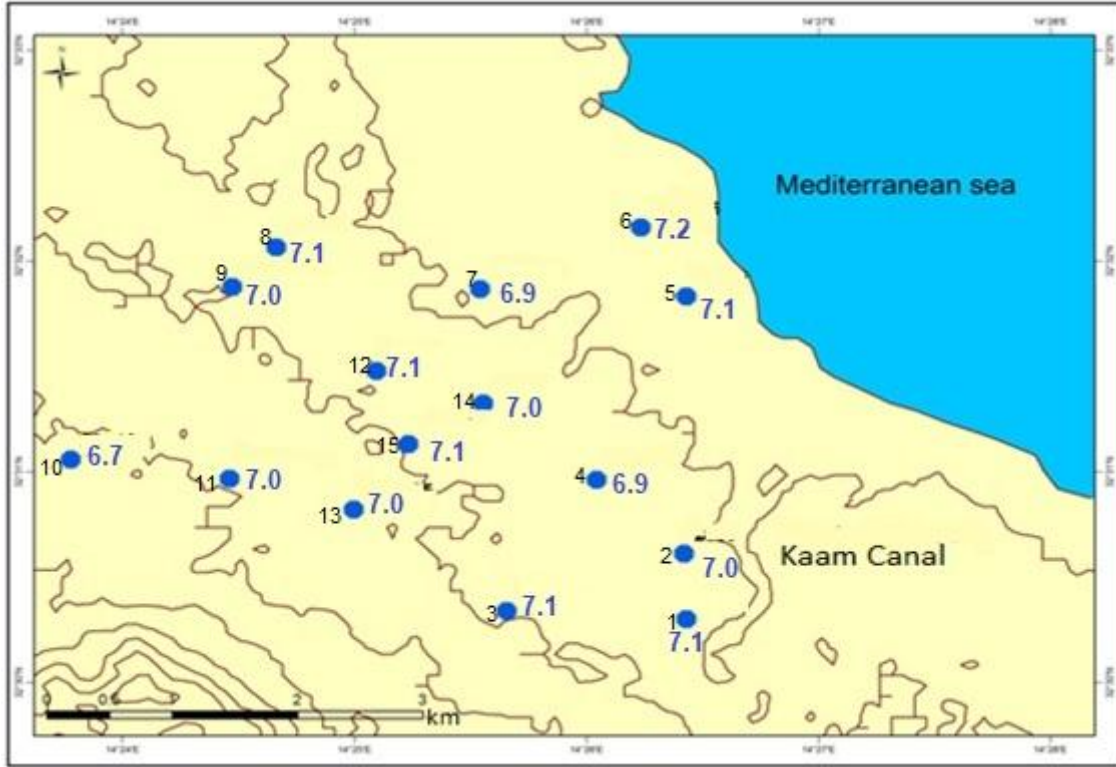
### 3.2. طريقة العمل

بعد تحديد الآبار الممكن العمل عليها (الشكل 1)، تم تجميع عدد (180) عينة من المياه الجوفية من تلك الآبار لمدة سنة (مايو 2013 - أبريل 2014) أي (15) عينة في كل شهر في قناني بلاستيكية مخصصة لهذا الغرض بحجم 1 لتر ولقد أخذت العينة من البئر بعد ضخ المياه منه لفترة من الوقت مع تسجيل رقم البئر على القنينة، تم إجراء التحاليل الكيميائية لتلك العينات بمعامل (كلية العلوم - جامعة المرقب) وشملت التحاليل تحديد خصائص المياه الجوفية والعناصر الأساسية والخصائص الفيزيائية والكيميائية (pH, TDS, EC, Cations, Anions). حيث تم قياس الأس الهيدروجيني باستخدام مقياس الأس الهيدروجيني من نوع HANNA موديل HI8014، وتم قياس قيم الموصلية الكهربائية EC باستخدام نموذج مقياس EC4520 وتم وزن المواد الصلبة الذائبة الكلية (TDS) بعد تبخر العينة لتقدير كميتها، وقد تم قياس الكبريتات بطريقة العكارة وتم تحديد الكلوريد والكربونات والبيكربونات والكالسيوم والمغنيسيوم بالمعايرة وفقاً للطرق المذكورة في (Adams, 1990)، بينما تم قياس الصوديوم والبوتاسيوم باستخدام مقياس الضوء اللهب من نوع JENWAY موديل PFP7.

### 3. النتائج والمناقشة

#### 1.3. توزيع قيمة pH

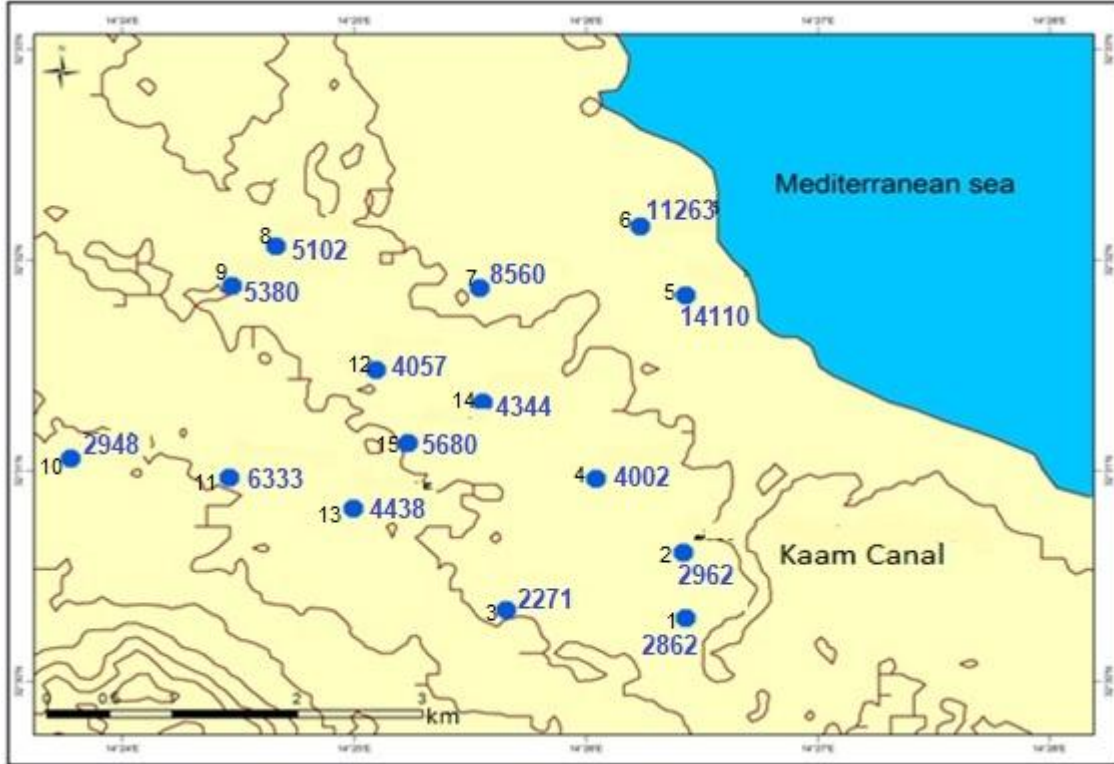
يعتبر pH أحد أهم معايير جودة المياه، يرتبط قياس الأس الهيدروجيني بحموضة أو قلوية الماء. وتحتوي عينات المياه ذات الرقم الهيدروجيني المنخفض على مستوى عالٍ من ثاني أكسيد الكربون (Edema et al., 2001)، تتراوح قيم الأس الهيدروجيني السنوية لعينات المياه الجوفية المجمعة 6.7 (حمضية قليلاً) و7.2 (قلوية قليلاً)؛ يشير الاختلاف الموسمي في قيم الأس الهيدروجيني عبر منطقة الدراسة (الشكل 2) إلى أن المياه الجوفية قلوية قليلاً وتصبح حمضية قليلاً. قد يشير هذا إلى أن إجمالي المواد الصلبة الذائبة ليس العامل الوحيد الذي يؤثر على قيمة الأس الهيدروجيني للمياه الجوفية المدروسة، تشير قيم الأس الهيدروجيني التي لوحظت إلى أن توازن ثاني أكسيد الكربون والكربونات يتأثر أكثر بسبب التغير في الحالة الفيزيائية والكيميائية (Karanth, 1987).



شكل 2. يوضح مستويات الاس الهيدروجيني في الابار التي تمت دراستها.

### 3. 2. توزيع الموصلية الكهربائية ( $\mu\text{mho/cm}$ )

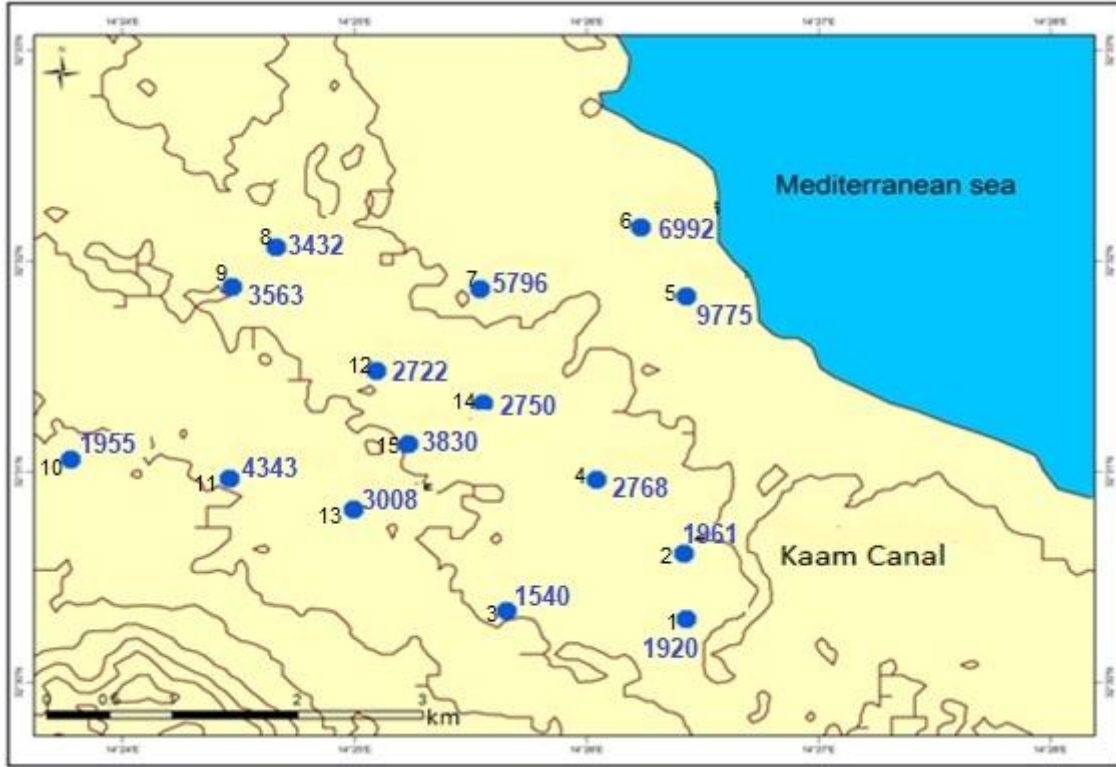
الموصلية الكهربائية (EC) للماء هي قدرة أي ماء على حمل تيار كهربائي. تعتمد الموصلية الكهربائية على وجود الأيونات وتركيزها الكلي وحركتها وتكافؤها وينخفض مستوى EC خلال موسم الأمطار (Neerja et al., 2012)، ويوضح الشكل (3) توزيع مستويات الإيصالية على طول منطقة الدراسة، ويلاحظ منه أن المياه الجوفية في المنطقة سجلت ارتفاعا كبيرا في البئر رقم (6)، حيث بلغت ( $14110 \mu\text{S/cm}$ ) و ( $11263 \mu\text{S/cm}$ ) وتبعد عن البحر مسافة 300-400 متر على التوالي؛ وبصفه عامه نلاحظ من مواقع الآبار التي تم العمل عليها (شكل 1) أنه كلما ابتعدنا عن البحر فان قيم الموصلية الكهربائية تقل تدريجيا ففي البئر (7) سجلت ( $8560 \mu\text{S/cm}$ ) وفي البئر (8) سجلت ( $5102 \mu\text{S/cm}$ ) بينما في البئر (10) سجلت ( $2948 \mu\text{S/cm}$ ).



شكل 3. يوضح مستويات الايصالية الكهربائية ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) في الآبار التي تمت دراستها.

### 3.3. توزيع المواد الصلبة الذائبة (TDS)

تمثل المواد الصلبة الذائبة (TDS) جميع المواد الصلبة الذائبة في الماء سواء كانت عضوية او غير عضوية، وعلى غرار الايصالية الكهربائية قد أوضحت نتائج التحاليل الكيميائية للأملاح الكلية الذائبة أن قيم (TDS) قد سجلت ارتفاعا كبيرا في البئر رقم (6،5) فلقد بلغت على التوالي (جزء في المليون 9775) و (جزء في المليون 6992) حيث يبعدان عن البحر مسافة (300- 400 متر) على التوالي؛ ونلاحظ أنه كلما ابتعدنا عن شاطئ البحر فان قيم الأملاح الكلية الذائبة تقل تدريجيا ففي البئر (7) سجلت ( 5796 جزء في المليون) وفي البئر (8) سجلت ( 3432 جزء في المليون) بينما في البئر (10) سجلت ( 1955 جزء في المليون) الذي يحتوي على تراكيز أقل من الاملاح الذائبة (شكل 4)؛ كما تبين أن القيم العالية للموصلية الكهربائية (EC) و للأملاح الكلية المذابة (TDS) تعتبر مؤشر لوجود تداخل مع مياه البحر، واجمالا يشير توزيع محتوى TDS إلى انخفاض تدريجي في تراكيزه باتجاه الأرض، ويظهر انخفاض نسبي في تراكيز المواد الصلبة الذائبة باتجاه الحدود الجنوبية الغربية والجنوبية الشرقية، والتي قد تعكس التغذية المحلية من الجريان السطحي على طول فجوات المياه الرئيسية في وادي كعام (Okasha, 2011). ويتفاوت تصنيف المياه الجوفية وفقا لتراكيز المواد الصلبة المذابة على طول منطقة الدراسة من طفيفة الملوحة إلى عالية جدًا.

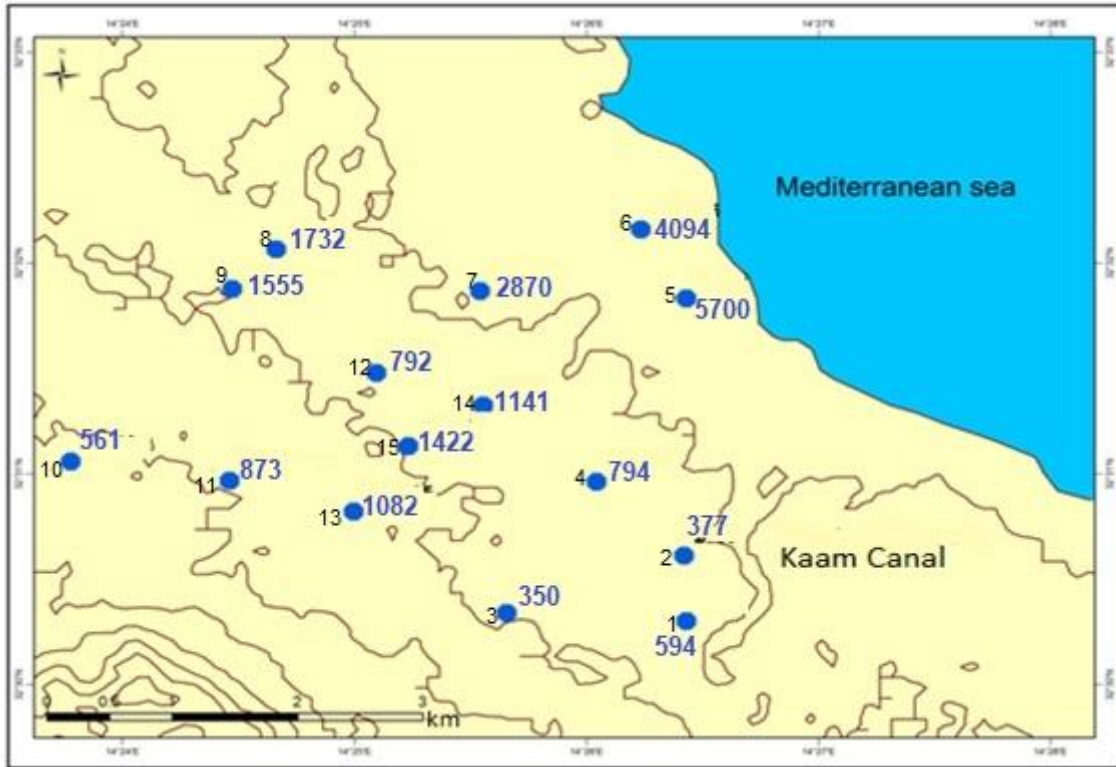


شكل 4. يوضح مستويات الاملاح الذائبة الكلية (جزء في المليون) في الابار التي تمت دراستها.

### 4.3. توزيع محتوى الكلوريد

الكلوريد هو أحد الأنيونات الرئيسية التي توجد في المياه الطبيعي، ويكون وجودها بكميات كبيرة بسبب العمليات الطبيعية مثل مرور المياه من خلال تكوينات الملح الطبيعية في الأرض أو قد يكون مؤشرا على التلوث من تسرب مياه البحر، ويظهر الكلوريد بتراكيز عالية في العينات المدروسة (شكل 5)، مع ملاحظة ان أقل قيمة له كانت في العينة رقم 3 البعيدة عن البحر و ان العينات 5 و 6 و 7 القريبة من البحر كان محتواها عاليا من أيونات الكلوريد، واجمالا يظهر أن تركيز الكلوريد يتراوح بين 5700 جزء في المليون بالقرب من البحر الأبيض المتوسط و350 جزء في المليون باتجاه اليابسة. ويتوقع ان تكون الزيادة التدريجية في محتوى الكلوريد في اتجاه البحر ناتجة بشكل أساسي عن تسرب المياه المالحة من البحر الى الخزان الجوفي. ومع ذلك، قد يعزى التناقص في الكلوريد باتجاه اليابسة إلى إعادة التغذية من خلال فواصل المياه الرئيسية.

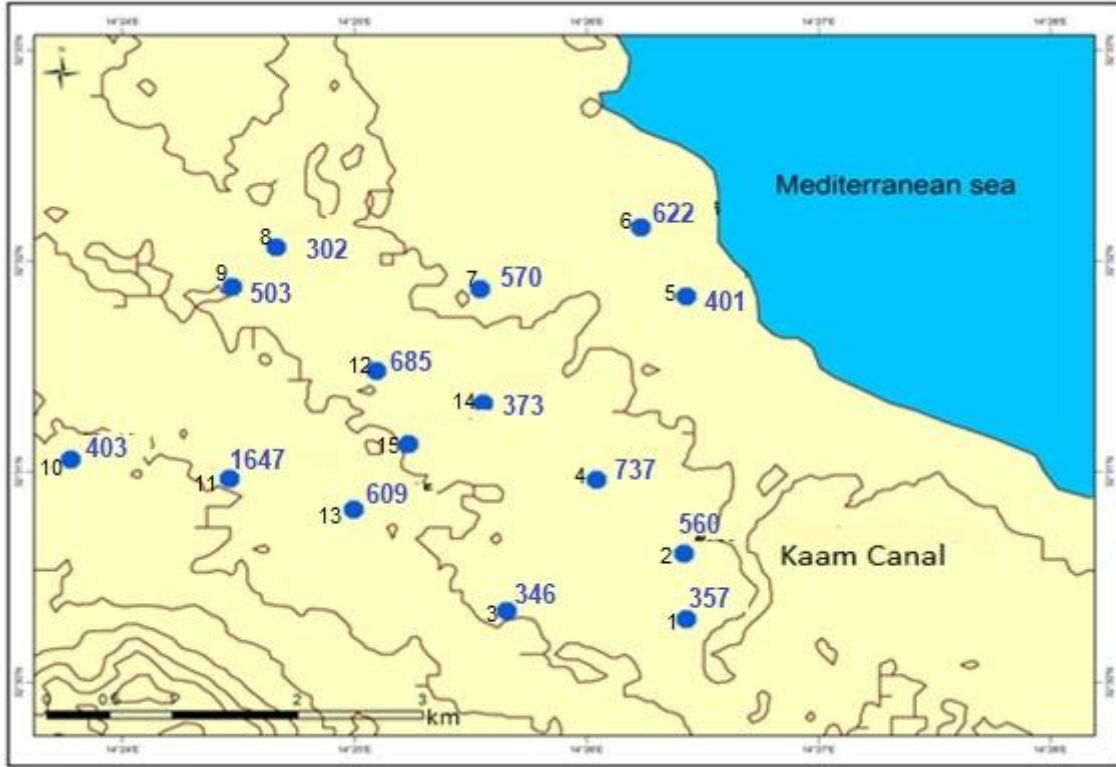




شكل 5. يوضح مستويات الكلوريد (جزء في المليون) في الابار التي تمت دراستها.

### 5.3. توزيع محتوى الكبريتات

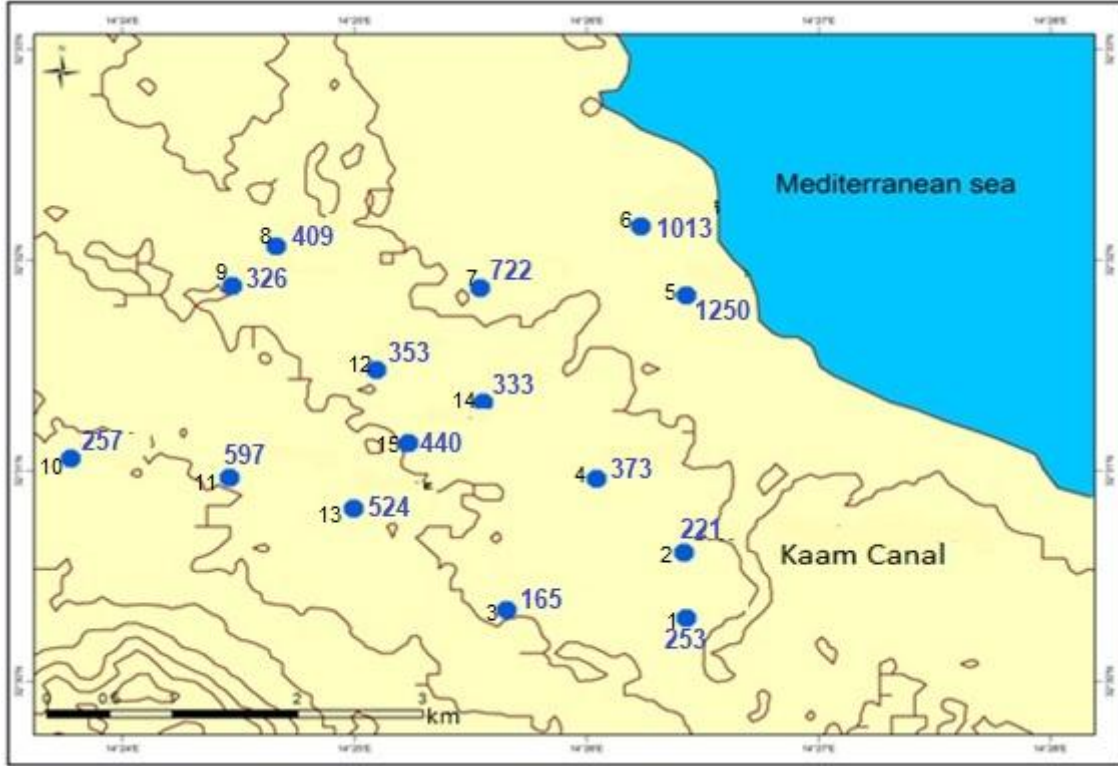
تظهر القيم المبينة في الشكل (6) لتراكيز الكبريتات أن قيمها كانت أعلى نسبياً في العينات رقم 11 و15، وبشكل عام تمثل الكبريتات ثاني أكثر الأنيونات السائدة بعد الكلوريد وتتفاوت العينات في محتواها من الكبريتات بين 1647 جزء في المليون و302 جزء في المليون، وبشكل عام يشبه نمط توزيع الكبريتات نمط محتوى المواد الصلبة الذائبة التي تشير إلى أن تركيز الكبريتات يرتبط بارتفاع إجمالي المواد الصلبة الذائبة.



شكل 6. يوضح مستويات الكبريتات (جزء في المليون) في الآبار التي تمت دراستها.

### 3.6. توزيع محتوى الكالسيوم

الكالسيوم هو أحد العناصر المطلوبة في مياه الشرب. إذا تجاوز الحد فإنه يؤدي إلى عسر الماء. يلعب الكالسيوم دوراً صحياً في حياة الحيوان خاصة عند البشر. يجب مواجهة مشكلات جودة المياه المختلفة عند استخدام موارد المياه المختلفة، وتحليل عسر الماء مهم لمعرفة نوعية المياه. إنه مقياس لكمية الأيونات ثنائية التكافؤ مثل الكالسيوم والمغنيسيوم و/أو الحديد في الماء، هناك العديد من الأملاح ثنائية التكافؤ المختلفة، ومع ذلك فإن الكالسيوم والمغنيسيوم هما أكثر مصادر عسر المياه شيوعاً (Wurts, 2014)، ويبين الشكل (7) كمية الكالسيوم في عينات الدراسة التي تم جمعها في شهور مختلفة. تحتوي العينات رقم 5 و6 و7 و11 على نسبة عالية نسبياً من الكالسيوم. قد يكون ارتفاع المستوى في العديد من عينات المياه الجوفية بسبب وجود خام الحجر الجيري ضمن التكوينات الجيولوجية بالمنطقة، ويتراوح محتوى الكالسيوم في العينات بين 165 جزء في المليون و1250 جزء في المليون، ويظهر نمط توزيع محتوى الكالسيوم زيادة في التراكيز باتجاه اليابسة وهذا يعطي مؤشراً على ان مصدره بشكل رئيسي من الأرض، وهذا يعني ان القيم العالية للكالسيوم مرتبطة بجيولوجيا الطبقات الحاملة للماء والمواد الجيرية السطحية السائدة على طول منطقة الدراسة.



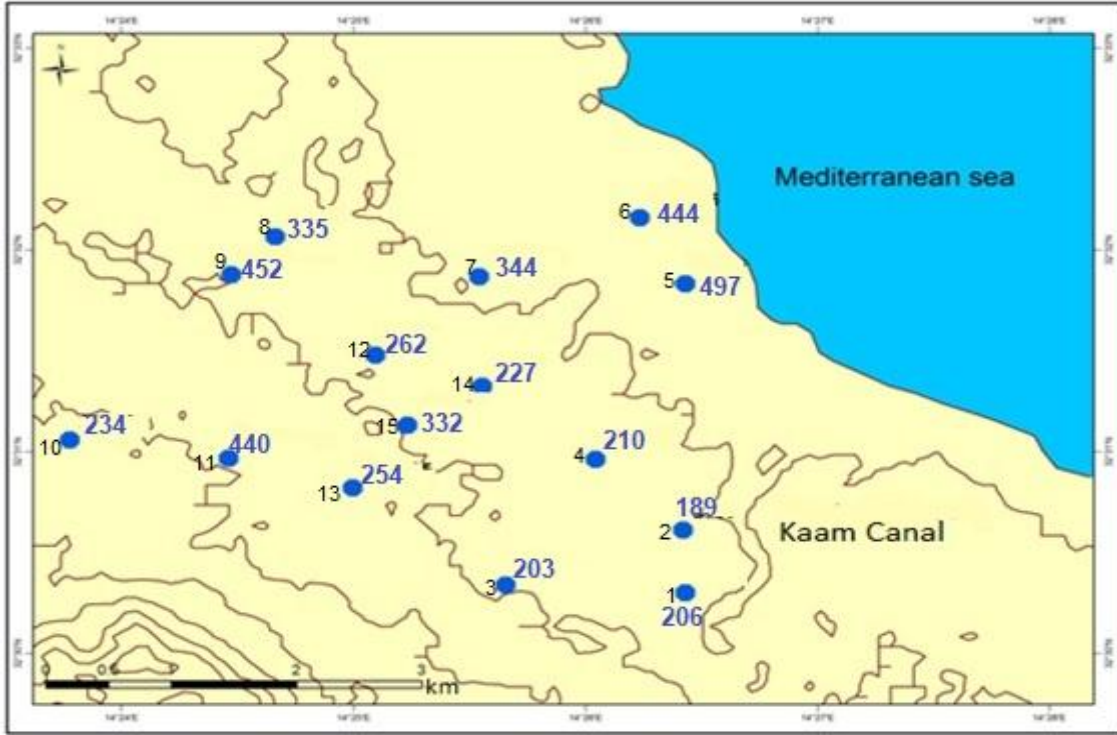
شكل 7. يوضح مستويات الكالسيوم (جزء في المليون) في الابار التي تمت دراستها.

### 7.3. توزيع محتوى الصوديوم

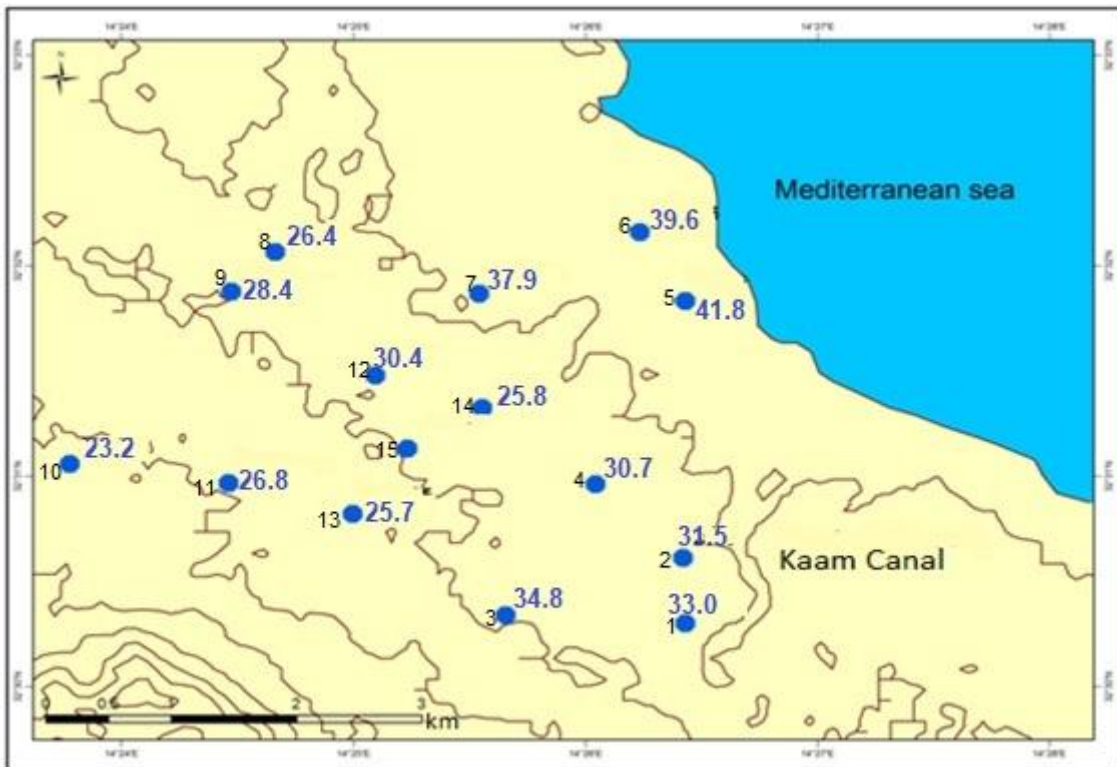
يتراوح تركيز الصوديوم بين 497 جزء في المليون بالقرب من البحر الأبيض المتوسط و189 جزء في المليون في العينة رقم 2 (الشكل 8)، ويظهر توزيع محتوى الصوديوم انخفاضاً تدريجياً باتجاه اليابسة، ويلاحظ أن محتوى الصوديوم الحالي مقارب لما ذكر في تقرير وزارة الزراعة في سنة 1973 (322-602 جزء في المليون) و1978 (371-682 جزء في المليون)، إلا أنه كان أقل نسبياً مما وجدته Okasha سنة 2011 وهذا الفارق يمكن أن يرجع إلى اختلاف أماكن أخذ العينات، وإجمالاً يشير تشابه مقاطع الصوديوم والكلوريد إلى وجودهما المتزامن، وهو مؤشر حاسم على وجود كلوريد الصوديوم.

### 8.3. توزيع محتوى البوتاسيوم

محتوى البوتاسيوم بشكل عام أقل من محتوى الصوديوم. يتراوح محتوى البوتاسيوم بين 41.8 جزء في المليون بالقرب من البحر الأبيض المتوسط و23.2 جزء في المليون باتجاه اليابسة (الشكل 9)، وبشكل عام يتشابه توزيع محتوى البوتاسيوم تقريباً مع محتوى الصوديوم.



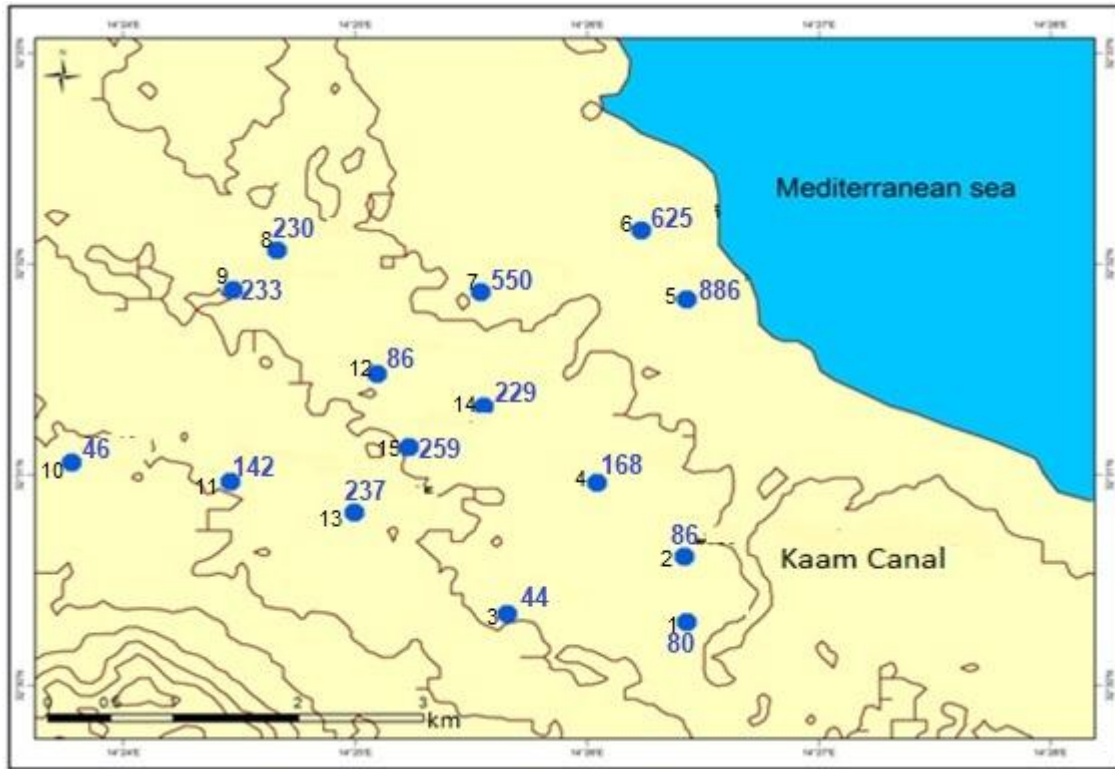
شكل 8. يوضح مستويات الصوديوم (جزء في المليون) في الابار التي تمت دراستها.



شكل 9. يوضح مستويات البوتاسيوم (جزء في المليون) في الابار التي تمت دراستها.

### 9.3. توزيع محتوى المغنيسيوم

يظهر مستوى المغنيسيوم أثناء دراسة عينات المياه من الآبار في المنطقة (الشكل 10). تظهر النتيجة أن العينة رقم 10 لديها أدنى مستوى (46 جزء في المليون)؛ بينما تظهر العينة رقم 5 أعلى مستوى من المغنيسيوم (886 جزء في المليون)، وتظهر الاختلافات لمحتوى المغنيسيوم أن عينات المياه رقم 5 و6 و7 تحتوي على تراكيز عالية من المغنيسيوم، ويمكن أن يعزى محتوى المغنيسيوم المرتفع نسبياً إلى الطبقات تحت السطحية ذات الصلة جيولوجيا الصخور الحاملة للماء والتي يدخل الدولوميت بشكل كبير في تكوينها، كما أن التبخر السطحي من الرواسب الحاملة للماء يعتبر أيضاً مصدر محتمل للمغنيسيوم.



شكل 10. يوضح مستويات المغنيسيوم (جزء في المليون) في الآبار التي تمت دراستها.

### 10.3. وصف نوعية المياه والاملاح السائدة:

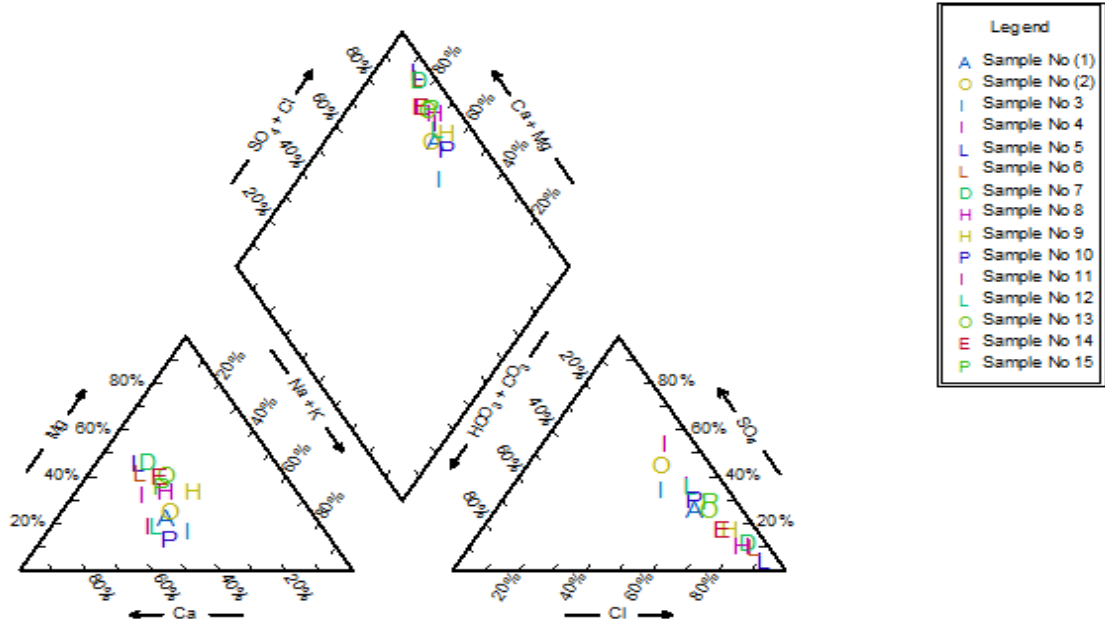
أوضحت نوعية المياه وفق مثلث (Pieper) أن مياه معظم الآبار ذات سيادة كلوريدية قريبة من عينة مياه البحر على مثلث الأنيونات، أما على مثلث الكاتيونات فإن نوعية المياه تكون صودية كلسمية مغنيسية كما موضح بالشكل (11).

تمثل القيم العالية للأملاح الكلية الذائبة وللموصلية الكهربائية مع وجود تراكيز عالية من الصوديوم والكلوريد (أشكال 5 و8) مؤشراً على تداخل مياه البحر في منطقة الدراسة؛ حيث يمثل عنصر الكلوريد والصوديوم أهم عناصر دراسة تداخل مياه البحر وبالتالي يعتبر البحر هو المصدر الأساسي لوجوده تراكيز عالية للصوديوم والكلوريد في المياه الجوفية مما يدل على تلوث مياه الخزان بمياه البحر، ولمعرفة حدة التلوث في المنطقة تم تطبيق مؤشر ريفيل (Todd, 1980) حيث تم استخدام النسبة بين

الكلوريد والبيكربونات كقاعدة لتقييم تداخل مياه البحر، و الجداول رقم (2 و 3) تمثل قيم مؤشر ريفيل (R.I) لمياه الآبار و

$$R.I = \frac{CL}{CO_3 + HCO_3}$$

تحديد مؤشرات التلوث بمياه البحر.



شكل 11. نوعية المياه وفق مثلث (Pieper, 1953).

نلاحظ من الشكل (1) والذي يبين مواقع الآبار والجداول (1 ، 2) الخاص بقيم مؤشر ريفيل R.I لمياه الآبار بمنطقة الدراسة أن البئر رقم (3) البعيد عن البحر يظهر ماء اعتيادي أي عدم وجود احتمال للتأثر بمياه البحر، وأن الآبار رقم (2-1-10) تكون نوعية ذات تلوث قليل، وأن الآبار رقم (4-8-9-11-12-13-14-15) تكون نوعية متوسطة التلوث (على بعد حوالي 4 كيلومتر من البحر)، بينما كانت الآبار رقم (7-6) ذات نوعية عالية التلوث كبير وأن البئر رقم (5) القريب من البحر تكون نوعية التلوث شديدة جدا.

جدول 1. قيم مؤشر ريفيل لمياه الآبار بمنطقة الدراسة.

رقم البئر	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
R.I	2.4	1.5	1.3	3.2	25.3	15.1	10.2	6.2	5.5	2.3	3.3	3.2	3.2	4.1	5.1

جدول 2. مدى التلوث بمياه البحر لمياه الآبار بمنطقة الدراسة وفق مؤشر ريفيل.

مدى التلوث	ماء اعتيادي	مياه ملوثة قليلاً	مياه ملوثة	مياه ملوثة كثيراً	مياه شديدة التلوث	مياه بحر
قيم مؤشر ريفيل	0.5-1.3	1.3-2.8	2.8-6.6	6.6-15.5	15.5-200	أعلى من 200
رقم البئر	3	10-1-2	15-14-13-12-11-9-8-4	6-7	5	

#### 4. الاستنتاجات

أوضحت الدراسة تعرض الخزان الأول بمنطقة الدراسة لغزو مياه البحر و ربما يعزى ذلك غالباً لعمليات الضخ المتزايدة في السابق و بالتالي حدث هبوط في منسوب المياه الجوفية، الأمر الذي تسبب في تغلغل مياه البحر بالجزء السفلي من الخزان مسبباً تدني نوعية المياه الجوفية بزيادة الأملاح الكلية المذابة (TDS) مع وجود تراكيز عالية من الصوديوم والكلوريد و بالتالي القيم العالية للموصلية الكهربائية (EC) خاصة للآبار القريبة من البحر؛ كذلك فإن هذا التلوث يزداد اتساعاً نتيجة لزيادة معدل الضخ عن معدل التغذية للخزان حيث أنه من خلال النتائج المتحصل عليها اتضح أن التلوث امتد حوالي (4 كيلومتر) من البحر.

#### المراجع

##### أولاً: المراجع باللغة العربية

- عبد الرسول، علي حسين (2000). تقييم مدي تداخل مياه البحر مع المياه الجوفية للخزان الرباعي في الشريط الساحلي الممتد من قصر الأخيار حتى مصراتة. مجلة اتحاد الجامعات العربية للعلوم التطبيقية، 2(5): 91-106.
- القنفود أحمد، الهباش، أحمد؛ بوراس، غسان (2006): "تداخل مياه البحر في الخزان الجوفي الاول بمنطقة الزاوية"، المؤتمر الإقليمي لحماية المياه الجوفية من التلوث طرابلس - ليبيا.
- الهيئة العامة للمياه (2007). التقرير السنوي لسد وادي كعام. الهيئة العامة للمياه للسدود- قسم التشغيل والصيانة، ص: 65.
- الدوفاني، ليلى بشير (2006). دراسة تحليلية لمياه الأمطار والمياه الجوفية بمنطقة الخمس، رسالة ماجستير، قسم الكيمياء، كلية الآداب والعلوم بالخمس، جامعة المرقب.
- الهيئة العامة للمياه (1974). تقرير عن مصادر المياه الجوفية بمناطق زليتن- مصراتة - تاورغاء، على ضوء دراسة جيفلي.
- الهيئة العامة للمياه (2000). تقرير عن مياه الشرب بمنطقة مصراتة والوضع المائي للخزانات الجوفية بالمنطقة. فرع المنطقة الوسطى، الخمس، ليبيا.

##### ثانياً: المراجع باللغة الإنجليزية

- Adams V.D. (1990). *Water and wastewater examination manual*, Lewis Publishers.
- Fetter C. (1972). Position of the saline water interface beneath oceanic islands. *Water Resources Research*, 8: 1307-1315.
- Gefli (1973). Groupement D'Etude Francais En libye Siege Social. *Survey for the development of the central wadi zone and Gulf of Sirt*. 8 rue Jean Goujon 75008 Paris.
- Guo H. and Jiao J. (2007). Impact of coastal land reclamation on groundwater level and the seawater interface. *Ground Water*, 45: 362-367.
- Jiao J., Wang X., and Nandy S. (2006). Preliminary assessment of the impacts of deep foundations and land reclamation on groundwater flow in a coastal area in Hong Kong, China. *Hydrogeol. J.*, 14(1-2): 100-114.

- Jones B., Vengosh A., Rosenthal E., and Yechieli Y. (1999). Geochemical investigations. In: *Seawater Intrusion in Coastal Aquifers – Concepts, Methods and Practices*. Kluwer Academic Publications, Dordrecht, Boston, London, pp. 51–71.
- Kallergis G. (1986). Applied Hydrogeology in Greece, Publication of the Technical Chamber of Greece, vol. 9, pp. 1-22, Athens.
- Karant K. (1987). *Groundwater Assessment Development and Management*. Tata McGraw Hill publishing company Ltd., New Delhi, pp. 725-726.
- Mann K. (1975). *Geological map of Libya, Explanatory Booklet*. Sheet: AL Khums, NI33-14, Libyan Arab Republic, Industrial Research Centre, Tripoli, Libya.
- Ministry of Agriculture (1973). *Technical Reports for coastal area from Tunisia to Misuratah*. Soil and Water Conservation Dpt., Ministry of Agriculture, Tripoli, Libya.
- Neerja K., Rajesh K., Yadav S., and Sing R. (2012). Seasonal variation of some physico-chemical analysis of water in Ara block of Bhojpur District, Bihar. *Der Pharmacia Letter*, 4(2):515-521.
- Okasha A.Y. (2011). Seawater Intrusion along the coastal area between Wadi Libda and Wadi Kaam, northwest Libya. *Electronic J. of Environmental, Agricultural and Food Chemistry (EJEAFCh)*, 10(7):2426-2438.
- Park S., Yun S., Chae G., Yoo I., Shin K., Heo C., and Lee S. (2005). Regional hydrochemical study on salinization of coastal aquifers, western coastal area of South Korea. *J. Hydrol.*, 313: 182–194.
- Petalas C. and Lambrakis N. (2006). Simulation of intense salinization phenomena in coastal aquifers – the case of the coastal aquifers of Thrace. *J. Hydrol.*, 324: 51–64.
- Pieper A.M. (1953). *A graphic procedure I, The geochemical interpretation of water analysis*. U.S. Geol. Survey Groundwater Note No. 12.
- Stuyfzand P.J. (1995). The impact of land reclamation on groundwater quality and future drinking water supply in the Netherlands. *Water Sci. Technol.*, 31(8): 47-57.
- Todd D.K. (1974). Salt-water intrusion and its control. *Journal of American Water Works Association*, 66: 180-187.
- Todd D.K. (1980). *Groundwater Hydrology*, 2<sup>nd</sup> ed., Wiley, New York, pp. 315.
- Wurts W. (2014). Understanding the hardness of water. *World Aquaculture*, 24(1):18.