

تقييم حساسية الخزان الجوفي السطحي للتلوث بمياه البحر باستخدام نموذج جالديت GALDIT مدينة طرابلس كحالة دراسية

مصطفى علي بن زقطة
جامعة مصراتة، كلية الزراعة
مصراته-ليبيا
enzaghta69@gmail.com

أبو عجيبة علي موسى
الأكاديمية الليبية للدراسات العليا
طرابلس ، ليبيا
Algiloshi2020@gmail.com

عبدالحكيم مسعود المندي
جامعة طرابلس قسم التربة والمياه
طرابلس ، ليبيا
almadny2al@gmail.com

أحمد إبراهيم خماس
جامعة طرابلس قسم التربة والمياه
طرابلس ، ليبيا
khamaj1@yahoo.com

تضمنت الدراسة تجميع ودراسة البيانات الهيدروليكية وكذلك تجميع عينات المياه من مجموعة الآبار الواقعة على امتداد 13 مقطع حيث اعتمدت على قياس مجموع الأملاح الكلية الذائبة وقياس كمية تركيز أيوني الكلوريد والبيكربونات وبينت نتائج التحليل إلى أن المنطقة الممتدة على طول الشريط الساحلي مسافة 1-2 كيلومتر من الساحل، تعرضت إلى تداخل مياه البحر وحلت محل المياه المستنزفة العذبة وقد بينت دراسة قام بها [3] Sadeq حول تداخل مياه البحر في مدينة طرابلس، أنه نتيجة للاستهلاك المفرط للمياه الجوفية حدث هبوط كبير في مستويات المياه الجوفية أدى إلى تداخل مياه البحر مع مياه الخزانات الجوفية العذبة بالمنطقة واعتمدت هذه الدراسة على قياس تراكيز الكاتيون والأنيون وأشارت إلى زيادة مساحة المنطقة المتأثرة بتداخل مياه البحر حيث بلغت حوالي 250 كيلو متر مربع وبمسافة وصلت إلى أكثر من 10 كيلو متر جنوب شاطئ مدينة طرابلس. أجرت General Water Authority دراسة [4] حول تداخل مياه البحر بمنطقة شمال غرب ليبيا. شملت هذه الدراسة معظم الشريط الساحلي بمنطقة سهل الجفارة وهي المنطقة الواقعة بين الحدود التونسية غرباً ومدينة الخمس شرقاً بمسافة تراوحت ما بين 5 و 10 كيلومتر. تم تجميع عينات المياه مع بداية فصل الربيع 1995، مع افتراض أن خط تساوي مجموع الأملاح الذائبة 1500 ملليجرام / لتر يمثل خط جبهة التداخل. خلصت الدراسة إلى أن المنطقة الممتدة على طول الشريط الساحلي بين العجبات غرباً وجودانم تعرضت إلى تداخل مياه البحر ولمسافة تتراوح ما بين 2-3 كيلومتر بالنسبة للمنطقة الواقعة ما بين المائة غرباً وحتى تاجوراء شرقاً وبصفة عامة تفاوت تداخل مياه البحر ما بين 5 و 9 كيلومتر. كما قام El Triki [5] بدراسة ملوحة المياه الجوفية في المنطقة الساحلية لسهل الجفارة شمال غرب ليبيا. حيث اعتمدت هذه الدراسة على تجميع 160 عينة من مختلف المناطق بسهل الجفارة وتم إجراء كافة التحليل الكيمائية للكاتيونات والأنيونات وقياس درجة التوصيل الكهربائي وقياس تركيز الأملاح الذائبة في العينة وبينت هذه الدراسة أن المصدر الرئيسي للملوحة هو تداخل مياه البحر خصوصاً الخزانات الجوفية الساحلية غير المقيدة (Coastal unconfined Aquifers). وفي دراسة بعنوان حالة تداخل مياه البحر في مدينة طرابلس [6] حيث تم استخدام مؤشرين للدلالة على حدوث تداخل مياه البحر وهما مؤشر سيمبسون (Simpson) ممثلاً بنسبة الكلوريدات إلى البيكربونات والكاربونات، ومؤشر جونز (Jones) ممثلاً 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 وفقاً لهذين المؤشرين فإن مياه الخزانات الجوفية متأثرة بشدة بملوحة مياه البحر عند مسافة تتراوح من 9 إلى 12 كم من خط الساحل.

بالإمكان تصنيف النماذج الهامة المستخدمة في دراسات تداخل مياه البحر مع المياه العذبة في الخزانات الجوفية الساحلية المحاذية للبحر إلى 3 نماذج وهي: النماذج الرياضية التحليلية والنماذج العددية والنماذج التي تعتمد في تقديراتها على بعض المؤشرات التقديرية. لقد تم الحصول على العديد من النماذج لتحديد موضع وحركة تداخل مياه البحر باستخدام النماذج الرياضية والعددية المتطورة منها [7] SUTRA [8] FEFLOW [9] HST3D [10] and SALTFLOW إلا أنها تتطلب معلومات مفصلة قد لا تكون متاحة، حول الخصائص الطبيعية للخزان الجوفي ومعرفة الظروف الحدية والمتاخمة للحالة الدراسية، بالإضافة إلى بيانات كميات الضخ ومعدلات التغذية والخواص الهيدروكيميائية في منطقة الدراسة.

الملخص - تكتسي الخزانات الجوفية السطحية للمناطق الساحلية القريبة من البحر أهمية خاصة فيما يتعلق بإمكانية تداخل المياه المالحة للبحر مع مياه تلك الخزانات، ومن ثم تلوثها، محددة بذلك دواعي استعمالها وجدوى استخدامها. في هذه الدراسة تم تقييم مدى هشاشة الخزانات الجوفية السطحية القريبة من ساحل البحر لمنطقة طرابلس للتلوث بمياه البحر باستخدام نموذج جالديت GALDIT ذي المعلمات الست الأكثر تأثيراً على تسرب مياه البحر، والتي تشمل كل من نوع الخزان الجوفي، ومعامل التوصيل الهيدروليكي التشبعي للخزان الجوفي، وارتفاع مستوى الماء الجوفي فوق مستوى البحر، والمسافة التي يبعدها البئر عن شاطئ البحر، وتأثير حالات وجود تداخل مياه البحر باستخدام نسبة تركيز الكلوريد الذائب إلى مجموع نسبي كل من أيون البيكربونات والكاربونات الذائبة في المياه الجوفية، وسمك الخزان الجوفي. جمعت 51 عينة من مياه آبار منطقة الدراسة خلال شهر يوليو 2016، موزعة على 8 قطاعات متعامدة على ساحل البحر بمسافة أقصاها 15 كيلومتر وموازية لبعضها البعض بمسافة بينية تصل إلى 5 كيلومتر بين القطاعات، و 2 كيلومتر بين آبار القطاع الواحد. تم تقدير كل من الخصائص الكيميائية لعينات المياه وتلك المتعلقة بهيدرولوجية ومواقع الآبار المدروسة. أظهرت نتائج خريطة توزيع مؤشر نموذج جالديت لمنطقة الدراسة، أن قابلية الخزانات الجوفية السطحية لأغلب منطقة الدراسة معرضة إلى خطر التلوث بمياه البحر بدرجة متوسطة، فيما كانت المنطقة الجنوبية الغربية أقل عرضة لخطر التلوث. لسهولة استخدام نموذج جالديت GALDIT توصي الدراسة بالتوسع في استخدامه في المناطق الساحلية المتاخمة للبحر.

الكلمات المفتاحية: حساسية الخزانات الجوفية، تلوث المياه الجوفية، نموذج GALDIT، تداخل مياه البحر

1. المقدمة

تشكل خزانات المياه الجوفية المصدر الرئيسي للمياه المستخدمة لأغراض الشرب وللإستعمالات الزراعية والصناعية، إلا إن ندرة تلك المياه وتلوثها لا تزال من أكثر المواضيع أهمية في العقود الماضية. تكتسي الخزانات الجوفية السطحية للمناطق الساحلية القريبة من البحر أهمية خاصة فيما يتعلق بإمكانية تداخل المياه المالحة للبحر مع مياه تلك الخزانات، ومن ثم تلوثها، محددة بذلك دواعي استعمالها وجدوى استخدامها. إن مشكلة تداخل مياه البحر في منطقة طرابلس تم ملاحظتها منذ أواسط القرن الماضي. فلقد أجرت Bartaiola و Cederstrom [1] دراسة حول الوضع المائي بمنطقة طرابلس خلال الفترة الممتدة من 1930 حتى 1960. حيث أشارت إلى أنه توجد مؤشرات على تداخل مياه البحر في بعض المناطق على امتداد الشريط الساحلي بمنطقة طرابلس وذلك بقياس كمية الأملاح الذائبة وتركيز أيون الكلوريد والهبوط في مستوى الماء الجوفي ضمن المنطقة. كما قامت Flogle [2] بدراسة حول تداخل مياه البحر على طول الشريط الساحلي بمنطقة سهل الجفارة.

استلمت الورقة بالكامل في 23 سبتمبر 2018 وروجعت في 3 أكتوبر 2018 وقبلت للنشر في 5 أكتوبر 2018

ونشرت ومتاحة على الشبكة العنكبوتية في 10 أكتوبر 2018

نوع الخزان الجوفي (G)		
القيمة	تنوع العامل	الأهمية الوزنية
10	خزان مقيد	1
7.5	خزان غير مقيد	
5	خزان غير مقيد	

التوصيل الهيدروليكي للخزان (A)		
القيمة	تنوع العامل	الأهمية الوزنية
	الصنف	
	المعدل (متر/يوم)	
10	>40	عالي
7.5	40 – 10	متوسط
5	10 – 5	منخفض
2.5	<5	منخفض جدا

ارتفاع مستوى الماء فوق مستوى سطح البحر (L)		
القيمة	الصنف	الأهمية الوزنية
	المعدل (متر)	
10	<1	عالي
7.5	1.5 – 1	متوسط
5	2 – 1.5	منخفض
2.5	>2	منخفض جدا

المسافة من البئر إلى الشاطئ (D)		
القيمة	الصنف	الأهمية الوزنية
	المعدل (متر)	
10	<500	صغير جدا
7.5	750 – 500	صغير
5	1000-750	متوسط
2.5	>1000	بعيد

تقييم معدل تأثير حالات وجود تداخل مياه البحر (I)		
القيمة	الصنف	الأهمية الوزنية
	المعدل	
10	>2	عالي
7.5	2 – 1.5	متوسط
5	1.5 – 1	منخفض
2.5	<1	منخفض جدا

سمك الخزان الجوفي (T)		
القيمة	الصنف	الأهمية الوزنية
	المعدل (متر)	
10	>10	عالي
7.5	10 – 7.5	متوسط
5	7.5 – 5	صغير
2.5	<5	صغير جدا

جدول 2. الأهمية الوزنية وقيم معدلاتها وفقا لنموذج جالديت

سيتم الاقتصار على توضيح بعض التعريفات للمعطيات الداخلة في حسابات نموذج جالديت والمبينة في الجدول رقم (1) كالتالي:

- وجود الخزانات الجوفية (G): غالبا ما تتواجد المياه الجوفية في الطبيعة داخل الطبقات الجيولوجية الحاملة لها وتلك الطبقات ربما تكون (مقيدة أو غير مقيدة أو شبه مقيدة) ويعتمد امتداد التداخل بدرجة أساسية على طبيعة تواجد هذه المياه ويتم تحديد نوع الخزان من خلال بيانات إختبار الضخ و/أو من خلال السجل الجيولوجي للمنطقة.
- التوصيل الهيدروليكي للخزان (A): يعرف معدل تدفق الماء تحت تأثير منحنى هيدروليكي مساوي للوحدة ويتم حسابه من بيانات إختبارات الضخ أو من خلال السجل الجيولوجي للبئر.

لسهولة إجراؤها وفهمها بالإضافة إلى انخفاض تكلفة تقديراتها تم اللجوء في الكثير من الدراسات العملية إلى استخدام المؤشرات التقديرية الدالة على حدوث عملية التداخل. تشمل هذه المؤشرات البعد عن ساحل البحر، الأملاح الكلية الذائبة، نسبة تركيز الكلوريدات إلى مجموع تركيز كل من الكربونات والبيكربونات [11] و مؤشر جوائز المتمثل في نسبة الصوديوم إلى الكلوريدات [12] ونسبة الصوديوم إلى الكالسيوم [13]. تهدف هذه الدراسة إلى تقييم مدى هشاشة الخزانات الجوفية السطحية القريبة من ساحل البحر لمنطقة طرابلس للتلوث بمياه البحر باستخدام نموذج جالديت GALDIT ذي المؤشرات أو المعلمات الست الأكثر تأثيرا على تسرب مياه البحر، والتي تشمل كل من وجود الخزان الجوفي، معامل التوصيل الهيدروليكي للتشبعي للخزان الجوفي، ارتفاع مستوى الماء الجوفي فوق مستوى البحر، المسافة التي يبعدها البئر عن شاطئ البحر، تأثير حالات وجود تداخل مياه البحر و سمك الخزان الجوفي.

2. المواد وطرق البحث

أ- نموذج جالديت GALDIT MODEL

تم تطوير نموذج جالديت من قبل Chachadi and Lobo- Ferreira, 2001، وطبق بنجاح في تقييم حدة تداخل مياه البحر في العديد من المناطق في العالم منها في ساحل البرتغال -خزان منوتي كارلو [14] وفي ساحل جوا بالهند - خزان بارديز [15] وكذلك في موربي بالهند [16] وفي ساحل المغرب - خزان تطوان [17] وفي ساحل الشاوية بالمغرب [18] وفي سواحل اليونان - خزان رودوب الجنوبي الشرقي [19] وكذلك ساحل مدينة اتالنتي - اليونان [20] وفي ساحل تونس [21-24] وفي مدينة أذربيجان- إيران [25] و في خزان كولو بالساحل الشمالي الشرقي بالجزائر [26]. إن نجاح تطبيق نموذج جالديت في تلك المناطق يجعل من تطبيقه في منطقة طرابلس المحاذية للبحر أمرا ممكنا. اشتق اسم النموذج جالديت (GALDIT) من خلال المعلمات الست الأساسية والداخلة في حسابه، حيث أخذ الحرف الأول من كل معلمة لتشكيل اسم النموذج باللغة الإنجليزية. أسندت إلى كل معلمة وزن ثابت بناء على درجة تأثيره في التداخل وتمثل الأهمية الوزنية للمعطيات الداخلة في حساب نموذج جالديت، جدول (1).

جدول 1. الأهمية الوزنية للعناصر المكونة لنموذج جالديت

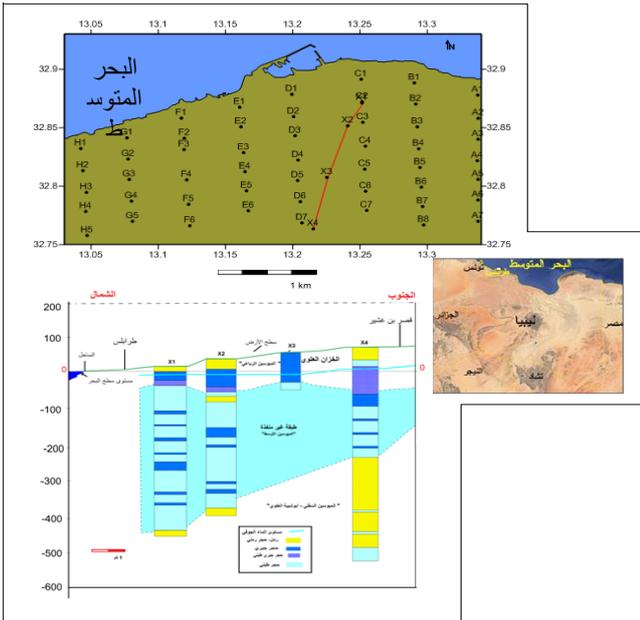
الرمز	اسم العامل	الأهمية الوزنية
G	وجود الخزان الجوفي Groundwater occurrence	1
A	التوصيل الهيدروليكي للخزان Aquifer hydraulic conductivity	3
L	ارتفاع مستوى الماء الجوفي فوق مستوى سطح البحر Groundwater level a.m.s.l	4
D	المسافة من الشاطئ Distance from shore	4
I	تأثير حالات وجود تداخل مياه البحر Impact of existing status of seawater intrusion	1
T	سمك الخزان الجوفي Thickness of aquifer	2

كما يوضح الجدول (2) الأهمية الوزنية وتنوع العوامل وقيم معدلاتها وفقا لنموذج جالديت. إن التفاصيل المتعلقة باشتقاق الأوزان وتصنيف وأهمية كل عامل واردة في الورقة الأصلية [27]. سيتم الإقتصار على توضيح بعض التعريفات للمعطيات الداخلة في حسابات نموذج جالديت.

النهر الصناعي المحولة إليها من منظومة الحساونة (المرحلة الثانية من النهر مشروع النهر الصناعي)، إلا إن مساحات شاسعة من المنطقة ما زالت تعتمد على الخزانات الجوفية السطحية المنتشرة في المنطقة للحصول على الإمدادات المائية اللازمة لمختلف الإستعمالات الزراعية والصناعية ولأغراض الشرب، مما حذى بالسكان إلى حفر المزيد من الآبار واستخدام المضخات ذات القدرات العالية لسحب المياه الجوفية بعددلات تفوق كميات التغذية السنوية مسببة في إحداث خلل في الموازنة المائية للخزان الجوفي وتردي نوعية وجودة المياه المستخرجة من تلك الخزانات [6]. كما يدل السجل الجيولوجي في منطقة الدراسة بأن الطبقات الحاملة للمياه الجوفية غير المقيدة تتبع الخزان الرباعي والمكون من تداخلات من الرمل والحصى والحجر الرملي والحجر الجيري [28]. يتراوح عمق مستوى الماء الجوفي في الخزان الجوفي غير المقيد بين 10 و 160 متر تحت مستوى سطح الأرض، وبسمك مشبع يتراوح من 10 إلى 90 متر. كما تتراوح إنتاجية أغلب آبار منطقة الدراسة بين 20 و 50 م³/ساعة [28].

4. تجميع البيانات

للحصول على نتائج أكثر دقة تم تحديد مواقع آبار منطقة الدراسة مسبقاً وذلك بالإستعانة برؤية فضائية لمنطقة الدراسة (موقع جوجل إيرث)، وبحيث تأخذ شكل قطاعات متعامدة على ساحل البحر وموازية لبعضها البعض (شكل 1). تراوحت المسافة بين القطاعات من 5 كم إلى 6 كم، بينما كان أقصى امتداد لها على بعد 15 كيلومتر من الساحل. تم تحديد إحداثيات كل بئر والبالغ عددها 51 بئراً، وارتفاعاتها عن مستوى سطح البحر بالإستعانة بتقنية نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) (Gamin). حددت المسافة بين أقرب نقطة عن ساحل البحر وموقع البئر باستخدام أدوات موقع جوجل إيرث [14].



شكل (1) الموقع الجغرافي و القطاع الهيدروجيولوجي لمنطقة الدراسة المصدر: من إعداد الباحث وفقاً لموقع <http://www.earth.google.com>

كما تم تقدير مستوى الماء الجوفي للآبار قبل تشغيلها باستخدام شريط كهربائي. كما أخذت بيانات عن الآبار من مالكيها شملت كل من عمر البئر، استعمال البئر، عمق البئر. ولغرض تحديد معامل التوصيل الهيدروليكي التشبعي تم الإستعانة بالبيانات المتحصل عليها من الهيئة العامة للمياه لمعامل الناقلية لبعض الآبار المنتشرة في منطقة الدراسة، ومنها تم تقدير معامل التوصيل الهيدروليكي التشبعي، أخذت عينات المياه من الآبار خلال شهر يوليو 2016، و خزنت في قنينات من البلاستيك سعة 1.5 لتر لغرض إجراء التحاليل الكيميائية اللازمة. تضمنت التحاليل

3. ارتفاع مستوى الماء الجوفي فوق مستوى سطح البحر (L): تكمن أهمية هذا العامل في تأثيره الناشئ عن الضغط الهيدروليكي للمياه الجوفية والذي يدفع ماء البحر خارج اليابسة، وعادة ما يتم تقدير مستوى الماء الجوفي من خلال بيانات الحفر أو من خلال التقدير المباشر لعمق مستوى الماء الجوفي باستخدام وسيلة مثل الشريط الكهربائي.
4. المسافة من البئر إلى الشاطئ (D): بالإمكان أن يؤثر هذا العامل على حدوث تداخل مياه البحر حيث تتناقص حدة هذا التداخل مع البعد عن شاطئ البحر. عادة ما يتم تقدير المسافة من البئر إلى الشاطئ باستخدام الخرائط الطبوغرافية أو باستخدام الصور الفضائية.
5. تأثير حالات وجود تداخل مياه البحر: (I) تعكس النسبة بين الكلوريدات إلى البيكربونات والكاربونات الوفرة النسبية لأيون الكلوريدات والتي ترتفع تركيزاتها في مياه البحر مقارنة بأيون البيكربونات والكاربونات. وبالتالي فكلما ارتفعت هذه النسبة دل ذلك على احتمالية ارتفاع حدة تداخل مياه البحر. يتم الحصول على قيم تركيز الأيونات في المياه باستخدام طرق التحليل الكيميائي المتعارف عليها وتستخدم وحدات ملليغرام/لتر للتعبير عن تركيزي الكلوريدات والبيكربونات.
6. سمك الخزان الجوفي (T): للسمك المشبع للخزان الجوفي دور مهم في حساب امتداد التداخل في الخزانات الجوفية الساحلية. وفقاً لنموذج جالديت تزداد إمكانية حدوث تداخل مياه البحر مع ازدياد سمك الخزان الجوفي. يمكن تقدير سمك الخزان من خلال بيانات سجلات الآبار.

ب- حساب مؤشر جالديت (GALDIT-INDEX)

كل المؤشرات الست السابقة يتم تقديرها وفقاً لأوزان محددة تعكس أهميتها النسبية في تأثيرها على عملية تداخل مياه البحر، يتم حساب ناتج كل عامل مضروباً في الوزن المحدد مقسوماً على مجموع الأوزان وفقاً للمعادلة التالية:

$$GALDIT - index = \frac{\sum_{i=1}^6 (W_i R_i)}{\sum_{i=1}^6 W_i} \quad (1)$$

حيث أن w ثابت الوزن لكل عامل (i).
وأن R تمثل قيمة العامل لنموذج جالديت .

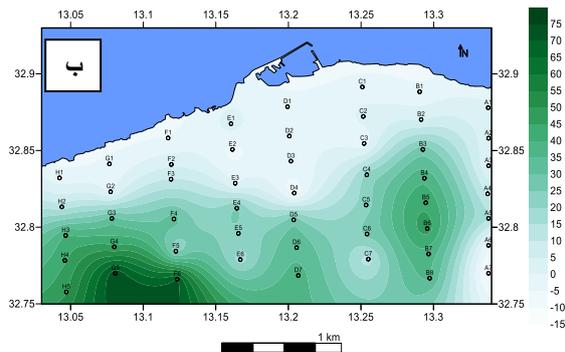
يوضح الجدول (3) تصنيف حساسية الخزانات الجوفية الساحلية للتلوث بمياه البحر وفقاً لنموذج جالديت. ويلاحظ من الجدول أنه كلما ارتفعت قيم هذا المؤشر، تعاضمت حساسية الخزانات الجوفية الساحلية لخطر التداخل بالمياه المالحة للبحر.

جدول (3) تصنيف حساسية الخزانات الجوفية للتلوث بمياه البحر وفقاً لنموذج جالديت

الرقم التسلسلي	قيمة مؤشر جالديت	تصنيف حساسية جالديت
1	≥ 7.5	حساسية عالية
2	من 5 إلى 7.5	حساسية متوسطة
3	< 5	حساسية منخفضة

3. موقع الدراسة

تمثل منطقة الدراسة سهل ساحلي مفتوح على البحر الأبيض المتوسط، وتغطي مساحته أغلب منطقة طرابلس. تقع منطقة الدراسة بين دائرتي عرض 32° 75744 و 32° 89015 شمالاً وبين خطي طول 13° 04303 و 13° 33829 شرقاً. تتميز منطقة الدراسة بأنها من المناطق التي شهدت تطوراً عمرانياً ملحوظاً، خصوصاً في الأونة الأخيرة، كما تنتشر فيها الكثير من الحيازات الزراعية لا سيما تخومها الجنوبية. على الرغم من تزويد بعض المناطق في مدينة طرابلس بمياه

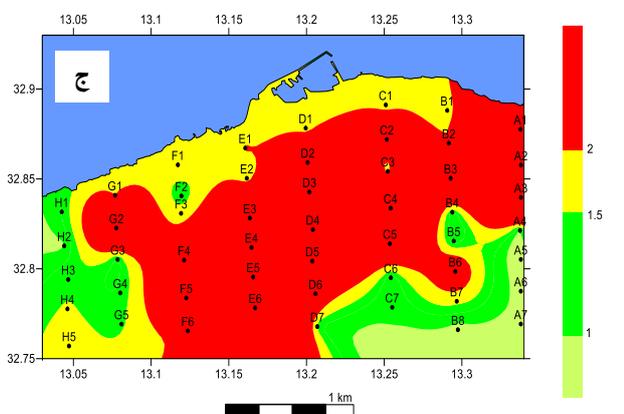


شكل (2) قيم معدلات نموذج جالديت لمعامل التوصيل الهيدروليكي للتشبعي (أ) و لارتفاع منسوب المياه الجوفية فوق مستوى سطح البحر (ب).

3. ارتفاع منسوب المياه الجوفية فوق مستوى سطح البحر (L) يظهر الشكل (2. ب) التوزيع المكاني لارتفاع منسوب الماء لأبار الدراسة فوق مستوى سطح البحر. حيث يرتفع منسوب الماء الجوفي مع الابتعاد عن الساحل وباتجاه الجنوب فلقد تراوحت قيم منسوب الماء الجوفي بالنسبة لمستوى سطح البحر بين 12- متر، الأمر الذي يؤدي إلى تباين قيم معدلات هذا العامل بين 2.5 و 10 .

4. المسافة من البئر إلى الشاطئ (D) إن المسافة العمودية التي يبعدها البئر عن شاطئ البحر من أهم العوامل المؤثرة على تلوث الخزانات الجوفية المحاذية للساحل بمياه البحر، حيث يتناقص مقدار تداخل مياه البحر مع الابتعاد عن شاطئ البحر [34]. تراوحت قيم المسافة العمودية بين أبار الدراسة وشاطئ البحر بين 1000 متر و 15000 متر، وبالتالي يتضح أن قيمة معدل هذا العامل وفقاً لنموذج جالديت تساوي 2.5. إن القيمة المتحصل عليها لمعدل هذا العامل لا يعطي دلالة واضحة لبيان تأثير المسافة العمودية من البئر إلى الشاطئ على تداخل مياه البحر. فلقد بين Chachadi and Ferreira [27] وفقاً لنموذج جالديت أن قيمة معدل هذا العامل تصبح غير معنوية عندما تزداد المسافة العمودية من البئر إلى شاطئ البحر عن 3 كيلومتر.

5. تأثير حالات وجود تداخل مياه البحر (I) تشير نسبة تركيز الكلوريد إلى مجموع تركيزي كل من البيكربونات والكاربونات مؤشراً هاماً على تداخل مياه البحر في المناطق الساحلية [11]. أظهرت نتائج التوزيع المكاني لهذا العامل وفقاً لنموذج جالديت شكل (3. ج)، أن هناك حزاماً من قيمه المرتفعة تمتد من أقصى الشمال الشرقي باتجاه الجنوب ماراً بوسط منطقة الدراسة. حيث تراوحت قيم معدلات هذا العامل بين القيم المنخفضة (أقل من 1) إلى أعلى من 2.



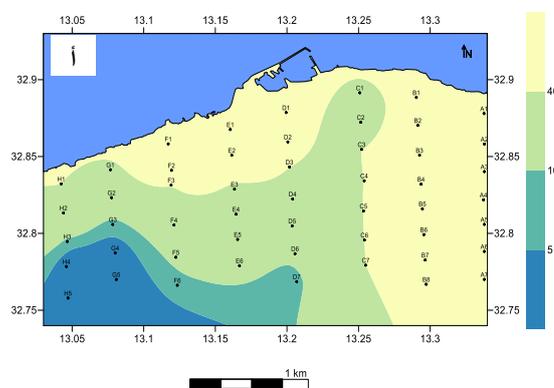
الكيميائية التي أجريت على مياه الآبار، تقدير كل من الأملاح الكلية الذائبة (TDS)، التوصيل الكهربائي (EC)، درجة التفاعل (pH)، وبعض الأيونات الرئيسية الذائبة والتي شملت كل من الصوديوم (Na^+) والبوتاسيوم (K^+) والكالسيوم (Ca^{+2}) والمغنيسيوم (Mg^{+2}) والكلوريدات (Cl^-) و البيكربونات (HCO_3^-) والكبريتات (SO_4^{2-}). أجريت التحاليل الكيميائية على عينات المياه في معمل تحليل التربة والمياه بقسم التربة والمياه بكلية الزراعة- جامعة طرابلس. في هذه الدراسة سيقصر عرض النتائج ومناقشتها على تلك المتعلقة بتطبيق نموذج جالديت. كما أن في هذه الدراسة تم استخدام [29] (Mapping System) (Surfer) الإصدار العاشر في رسم الخرائط.

5. النتائج والمناقشة

من خلال النتائج المتحصل عليها في هذه الدراسة سنطرق لمناقشة مؤشرات نموذج جالديت GALDIT كالتالي:

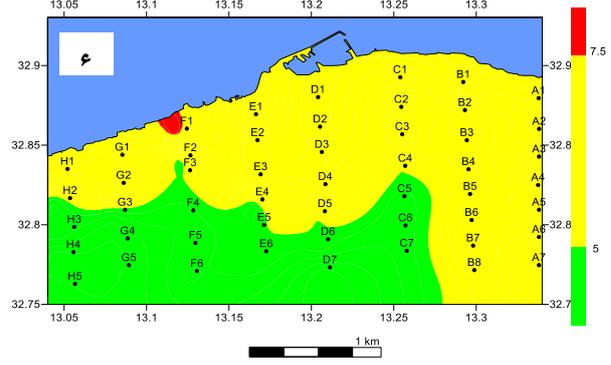
1. نوع الخزان الجوفي (G) أظهرت النتائج المتحصل عليها من خلال المسح الجيولوجي أن الخزانات الجوفية التي تقع فيه الآبار التي تم دراستها هي ضحلة خزانات جوفية سطحية، وبالتالي فإن قيمة معدل عامل نوع الخزانات الجوفية وفقاً لنموذج جالديت تساوي 7.5 وباهمية وزنية تساوي 1.

2. التوصيل الهيدروليكي للخزان الجوفي (A) إن تداخل مياه البحر مع الخزانات الجوفية الساحلية مرتبط بدرجة كبيرة مع معامل التوصيل الهيدروليكي لتلك الخزانات [30]، حيث تزداد معدلات تداخل مياه البحر مع الارتفاع في قيمة معامل التوصيل الهيدروليكي [31-33]. نظراً لعدم توفر بيانات محسوبة لهذا العامل. فلقد تم حساب التوصيل الهيدروليكي من خلال حسابات معامل الناقلية (Transmissivity) لبعض الآبار المنتشرة في منطقة الدراسة. إن الأهمية النسبية لمعامل التوصيل الهيدروليكي وفقاً لنموذج جالديت تساوي 3. يوضح الشكل (2. أ) التوزيع المكاني لقيم معامل التوصيل الهيدروليكي للوسط المسامي للخزانات الجوفية في منطقة الدراسة. وقد أظهرت النتائج أن قيم معدل معامل التوصيل الهيدروليكي وفقاً لنموذج جالديت تراوحت بين 7 في المناطق الجنوبية الغربية و30 لأغلب المناطق الواقعة شمال وشرق منطقة الدراسة.



المراجع

1. Cederstrom, D.J. and M. Bartaiola, Groundwater Resources in Tripoli Area, Libya. USGS. Open File Report. (AW-TR-26). 1960.
2. Flogel, H., Piezometric Data. Gefara plain (1958-1977). SDWR. Unpublished Report. Tripoli ,197 hydrographs and 2 maps. 1978.
3. Sadeg, S., Numerical Simulation of Saltwater Intrusion in Tripoli, Libya. Ph.D. thesis, The Middle East Technical University Ankara, Turkey, 191pp. 1996.
4. Authority, G.W., Seawater Intrusion Study in the Jifara Plain, NW-Libya, Faculty of Engineering, Al Fateh University., Tripoli-Libya. 2002.
5. El-Triki, N.A., Groundwater Salinization in the Coastal area of Jifara Plain, NW-Libya. . 2006, Belgium. University of Ghent.
6. EKhmaj, A., Y. Ezlit, and M. Elaalem. The situation of seawater intrusion in Tripoli, Libya. in International conference on biological, chemical and environmental sciences (BCES-2014). Penang. 2014.
7. Voss, C.I., A finite-element simulation model for saturated-unsaturated, fluid-density-dependent ground-water flow with energy transport or chemically-reactive single-species solute transport. 1984: US Geological Survey Reston, VA.
8. Diersch, H., FEFLOW reference manual. WASY Institute for Water Resources Planning and Systems Research Ltd. 294 p. 1998.
9. Kipp, K.L., HST3D; a computer code for simulation of heat and solute transport in three-dimensional ground-water flow systems. 1987.
10. Molson, J.W. and E.O. Frind, Density Dependent Flow and Mass Transport Model in Three Dimensions, User Guide. Waterloo Centre for Groundwater Research, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, 68 pp. 2013.
11. Revelle, R., Criteria for recognition of the sea water in ground- waters. Eos, Transactions American Geophysical Union, 1941. 22(3): p. 593-597.
12. Jones, B., A. Vengosh, E. Rosenthal, and Y. Yecheili, Geochemical investigations, in Seawater intrusion in coastal aquifers—concepts, methods and practices. 1999, Springer. p. 51-71.
13. Anders, R., G.O. Mendez, K. Futa, and W.R. Danskin, A geochemical approach to determine sources and movement of saline groundwater in a coastal aquifer. Groundwater, 2014. 52(5): p. 756-768.
14. Google Earth version. 2017
<http://www.google.com/earth/index.html>, October
15. Chachadi, A., Seawater intrusion mapping using modified GALDIT indicator model-case study in Goa. Jalvigyan Sameeksha, 2005. 20: p. 29-45.
16. Savariya, P. and N. Bhatt, Assessing Groundwater Vulnerability to Seawater Intrusion in Morbi-Maliya Using GALDIT Method. Ground water, 2014. 2(5): p. 7.5-10.
17. Niazi, S., Assessment of the impacts of climate change and sea-level rise on the coast of Tetouan (western Mediterranean of Morocco). Vulnerability and Adaptation, Doctorate Thesis of State. Mohammed V-Agdal, University 162-171. 2007.
18. Najib, S., et al., Application of the method galdit for the cartography of groundwaters vulnerability: aquifer of Chaouia coast (Morocco). Analele Stiintifice ale Universitatii" Al. I. Cuza" din Iasi. Serie Noua. Geografie, 2012. 58(2): p. 77.
19. Kallioras, A., F. Pliakas, S. Skias, and I. Gkioungkis, Groundwater vulnerability assessment at SW Rhodope aquifer system in NE Greece, in Advances in the Research of Aquatic Environment. 2011, Springer. p. 351-358.
20. Lappas, I., A. Kallioras, F. Pliakas, and T. Rondogianni, GROUNDWATER VULNERABILITY ASSESSMENT TO SEAWATER INTRUSION THROUGH GIS-BASED GALDIT METHOD. CASE STUDY: ATALANTI COASTAL AQUIFER, CENTRAL GREECE. Bulletin of the Geological Society of Greece, 2016. 50(2): p. 798-807.
21. Trabelsi, N., I. Triki, I. Hentati, and M. Zairi, Aquifer vulnerability and seawater intrusion risk using GALDIT, GQI SWI



شكل (3) قيم معدلات نموذج جالدت لتأثير حالات وجود تداخل مياه البحر (ج) وقيم مؤشر نموذج جالدت (د).

6. سمك الخزان الجوفي (T) أظهرت النتائج المتحصل عليها لعامل سمك الخزان الجوفي أنها تتراوح بين 5 متر و 20 متر، حيث ينخفض سمك الخزان الجوفي شمال منطقة الدراسة فيما يزداد سمك الخزانات الجوفية في اتجاه الجنوب الشرقي والجنوب الغربي. إن معدلات سمك الخزان الجوفي وفقا لنموذج جالدت تزيد معظمها عن 10 وذلك لارتفاع قيم سمك الخزان الجوفي عن 10 متر

7. مؤشر نموذج جالدت تم حساب مؤشر جالدت وفقا للمعادلة (1) وذلك بالأخذ في الاعتبار قيم معدلات العوامل المختلفة وأهميتها الوزنية. يوضح الشكل (3) التوزيع المكاني لقيم مؤشر نموذج جالدت لمنطقة الدراسة والذي يتبين من خلاله أن أغلب آبار الخزانات الجوفية السطحية بمنطقة الدراسة معرضة لخطر التداخل بمياه البحر بنسبة 65% و بدرجة متوسطة بقيم تتراوح من 5 إلى 7.5. فيما يقل معدل حساسية التداخل في أغلب الحافة الجنوبية والجنوبية الغربية لمنطقة الدراسة. حيث بلغت نسبة الآبار ذات الحساسية 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 يجعل من مساهمته في قيم مؤشر جالدت النهائية منخفضة.

6. الخلاصة والتوصيات

تم استخدام نموذج غالدت لتقييم هشاشة خزانات المياه الجوفية الضحلة لتداخل مياه البحر بمدينة طرابلس. وقد أظهرت النتائج أن منطقة الدراسة معرضة لخطر تداخل مياه البحر بدرجة متوسطة الخطورة. حيث تتناقص خطورة التداخل بمياه البحر في الإتجاه الجنوبي والجنوب الغربي من منطقة الدراسة. كما ارتفعت قيم المؤشر الدالة على الخطورة في مركز مدينة طرابلس. وعلى الرغم من أهمية النتائج المتحصل عليها في هذه الدراسة إلا إنه من المفيد إجراء بعض التعديلات خصوصا على تلك المتعلقة بإضافة عامل يمكن من خلاله وصف كميات الماء التي يتم ضخها من الخزانات الجوفية وتعديل قيم الأهمية النسبية لكل من المسافة التي يبعدها البئر عن شاطئ البحر و سمك الخزان الجوفي و مؤشر حالات وجود تداخل بمياه البحر.

- and GIS: case of a coastal aquifer in Tunisia. *Environmental Earth Sciences*, 2016. 75(8): p. 669-688.
22. Ayed, B., et al. Assessment of Seawater Intrusion in the Maritime Djeffara Coastal Aquifer (Southeastern Tunisia). in *Euro-Mediterranean Conference for Environmental Integration*. 2017. Springer.
23. Gontara, M., N. Allouche, I. Jmal, and S. Bouri, Sensitivity analysis for the GALDIT method based on the assessment of vulnerability to pollution in the northern Sfax coastal aquifer, Tunisia. *Arabian Journal of Geosciences*, 2016. 9(5): p. 416.
24. Allouche, N., et al., A global risk approach to assessing groundwater vulnerability. *Environmental Modelling & Software*, 2017. 88: p. 168-182.
25. Gorgij, A.D. and A.A. Moghaddam, Assessment of Saltwater Pollution in Azarshahr Plain Groundwater, Iran: Conjugating GALDIT Method and Geostatistics. *Assessment*, 2017. 9(1).
26. Mahrez, B., S. Klebingat, B. Houha, and B. Houria, GIS-based GALDIT method for vulnerability assessment to seawater intrusion of the Quaternary coastal Collo aquifer (NE-Algeria). *Arabian Journal of Geosciences*, 2018. 11(4): p. 71.
27. Chachadi, A. and J. Lobo Ferreira, Sea water intrusion vulnerability mapping of aquifers using the GALDIT method. 2001.
28. Flogel, H., Seawater Intrusion Study. SARALD/FAO project. Unpublished Report. Tripoli, 56p. 5 tables, 26 fig. and 3 maps. (AW-295). 1979.
29. Surfer Mapping System Surfer. (2012). Software, Version 10.7.972. Golden Software, Inc
30. Bear, J. and A. Verruijt, Modeling groundwater flow and pollution. Vol. 2. 2012: Springer Science & Business Media.
31. Andersen, P.F., J.W. Mercer, and H.O. White, Numerical Modeling of Salt- Water Intrusion at Hallandale, Florida. *Groundwater*, 1988. 26(5): p. 619-630.
32. Ebraheem, A.A.M., M.M. Senosy, and K.A. Dahab, Geoelectrical and Hydrogeochemical Studies for Delineating Ground- Water Contamination Due to Salt- Water Intrusion in the Northern Part of the Nile Delta, Egypt. *Groundwater*, 1997. 35(2): p. 216-222.
33. Elewa, H.H., R.E. Shohaib, A.A. Qaddah, and A.M. Nouisir, Determining groundwater protection zones for the Quaternary aquifer of northeastern Nile Delta using GIS-based vulnerability mapping. *Environmental earth sciences*, 2013. 68(2): p. 313-331.
34. Yadav, S.M., Mapping Salinity Ingress Using GALDIT Model, in 13th International River Symposium. 2010: Perth, Australia, October 11-14.