

Optimal Investment of the Unconfined Aquifer Adjacent to the Syrian Coast, which Occupies the Coastal (plain) Area between the AL-Sin and AL-Ross Rivers (Syria)

Dr. Sharif Hayek *
Dr. Ali ALasaad **
Dimah Mohammad ***

(Received 15 / 5 / 2019. Accepted 28 / 11 / 2019)

□ ABSTRACT □

The demand for fresh water in coastal areas is increasing because of increased economic activity. The Syrian coast faces this problem, and it is necessary to solve it in an appropriate scientific manner. The research area is located in the Syrian coast between the Sin and Rous river. It has an area of 72 km².

The aim of the research is to assess the behavior of the aquifer system in the area of water exchange with sea water. After the construction of a numerical model of the freshwater layer - the sea using MODFLOW code within the GMS program. After calibration, the scenario of water resources without sea water intrusion was the scenario of drilling 4 groups of wells each group includes 5 wells, with an average of 50-300 m³/day, which led to an increase in the flow of wells in the region to about 17800 m³/day.

Keywords: Unconfined, aquifer, mathematical model, electrical conductivity.

* Professor, Department of Water Engineering and Irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria. sharif.hayek@yahoo.com.

** Professor, Department of Water Engineering and Irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Latakia, Syria. ali.alasaad@tishreen.edu.sy.

***Postgraduate Student, Department of Water Engineering and irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. eng.dimah.86@gmail.com.

الاستثمار الأمثل لطبقة المياه الجوفية الحرة المحاذية للساحل السوري التي تشغل المنطقة السهلية بين نهري السن والروس (سورية)

د. شريف بدر حايك*

د. علي محمد الأسعد**

ديمية محسن محمد***

(تاريخ الإيداع 15 / 5 / 2019. قُبِلَ للنشر في 28 / 11 / 2019)

□ ملخص □

يزداد الطلب على المياه العذبة في المناطق الساحلية بسبب زيادة النشاط الاقتصادي، مما يستدعي زيادة ضخ المياه الجوفية العذبة لتلبية تلك الاحتياجات، وهذا يسبب هبوط مناسيب المياه الجوفية وخللاً في التوازن الهيدروديناميكي بين المياه الجوفية العذبة ومياه البحر. ويواجه الساحل السوري هذه المشكلة، ومن الضروري حلها بأسلوب علمي مناسب. تقع المنطقة المدروسة في الساحل السوري بين نهري السن والروس، يحدها البحر المتوسط من الغرب، وطريق عام اللاذقية - طرطوس من الشرق. وتبلغ مساحتها 72 كم².

يهدف البحث إلى تقييم سلوك نظام طبقة المياه الجوفية الحرة في منطقة التبادل المائي بينها وبين مياه البحر. وبعد بناء نموذج عددي لطبقة المياه العذبة - البحر باستخدام كود MODFLOW ضمن برنامج GMS، وبعد معايرته تم اقتراح سيناريو لاستثمار الموارد المائية في منطقة البحث دون حدوث التداخل بين مياه البحر والمياه العذبة من خلال سيناريو حفر 4 مجموعات آبار، تضم كل منها 5 آبار، إضافة إلى آبار الأهالي بتصريف 300-50 m³/day، مما أدى إلى زيادة تدفق الآبار في المنطقة إلى حوالي 17800 m³/day.

الكلمات المفتاحية: الطبقة الحاملة للمياه الجوفية الحرة، نموذج رياضي، الناقلية الكهربائية للمياه.

*أستاذ - قسم الهندسة المائية والري - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

**أستاذ - قسم الهندسة المائية والري - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

***طالبة دراسات عليا (دكتوراه) - قسم الهندسة المائية والري - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

مقدمة:

إن تداخل مياه البحر مع المياه الجوفية العذبة له أهمية كبيرة؛ لأنَّ 70% من سكان الأرض يعيشون في المناطق الساحلية، و95% من المياه على سطح الأرض هي محيطات وبحار ذات مستويات عالية من الملوحة [1]. إن تداخل مياه البحر مع المياه الجوفية يحدث بطريقتين: الأولى هي تقدم مياه البحر في الجزء السفلي من طبقة المياه الجوفية بسبب فرق الكثافة بين مياه البحر والمياه العذبة، والطريقة الثانية هي رشح مياه البحر من خلال الشاطئ نتيجة انخفاض منسوب المياه الجوفية واختلال التوازن الهيدروديناميكي في منطقة التماس مع مياه البحر بسبب الاستثمار الجائر للمياه الجوفية، مما يؤدي إلى اختلال التوازن الطبيعي بين المياه العذبة ومياه البحر [2].

لقد استندت التحريات عن تداخل مياه البحر ضمن طبقات المياه الجوفية العذبة على التقنيات الجيوفيزيائية، خاصة المقاومة الكهربائية والطرائق الكهرومغناطيسية التي تعتمد على تغير المقاومة الكهربائية عند الاقتراب من منطقة تداخل مياه البحر [3]. كما يمكن استخدام الدراسة الجيوكيميائية لتحديد إمكانية تسرب مياه البحر [4]. ومع ذلك، فإن الدمج بين التحليل الجيوفيزيائي والجيوكيميائي قد أثبت فعالية في الحصول على نتائج دقيقة، [5]. ولما كانت التحريات عن المياه الجوفية مكلفةً وتستغرق وقتاً طويلاً، فقد برزت النمذجة الرياضية لتداخل مياه البحر كأداة مهمة لفهم آلية تدفق المياه الجوفية وحركتها [6].

كما تعاني سورية من ملوحة المياه الجوفية نتيجة تغير مناسبتها في مناطق عديدة، حيث يقع سطح المياه الجوفية في القطاع الثالث من وادي الفرات الأدنى على أعماق قليلة (3-0.3 m) من سطح الأرض، ما يجعل إنشاء شبكة صرف فعالة ضرورة ملحة، لتخفيض مناسيب المياه الجوفية تحت المستوى الحرج [7]. كما تقترب أعماق المياه الجوفية من سطح الأرض خلال موسم الري في القطاع السابع من الفرات الأدنى، وتستجيب مناسيب المياه الجوفية الحرة لارتفاع مياه نهر الفرات لفترة محدودة، فينعكس الميل الهيدروليكي باتجاه اليابسة [8].

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث إلى تقييم سلوك نظام طبقة المياه الجوفية الحرة في منطقة التبادل المائي بينها وبين مياه البحر على الشريط الساحلي، اعتماداً على التقانات الحديثة وبرمجيات النمذجة الرياضية من خلال إعداد نموذج رياضي يمثل الخصائص الجيولوجية والهيدروجيولوجية لمنطقة الدراسة؛ بسبب أهميته في وضع تنبؤات مستقبلية عن موارد المياه العذبة في الساحل السوري، تساعد الإدارة في وضع خطط الاستثمار الرشيدة للموارد المائية المتاحة وحمايتها من خطر التملح.

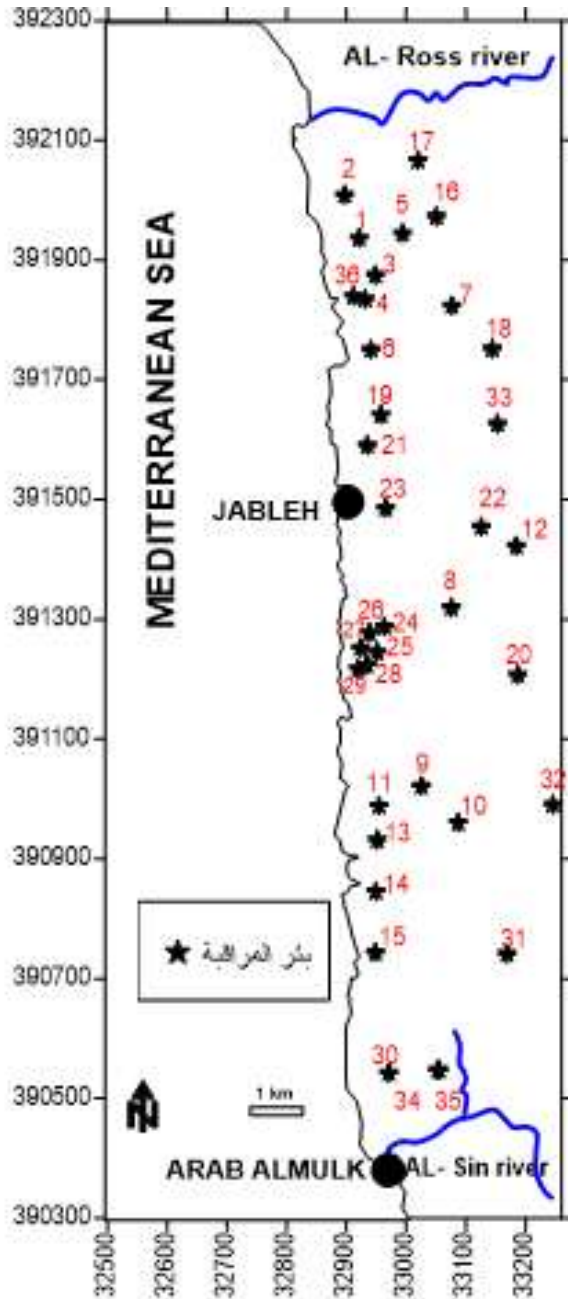
موقع منطقة البحث

تقع المنطقة المدروسة في المنطقة السهلية بين نهري السن والروس في الساحل السوري، يحدها البحر المتوسط من الغرب، وطريق عام اللاذقية - طرطوس من الشرق. ويبلغ عرضها حوالي 4 كم وطولها 18 كم تقريباً بمساحة 72 كم². (الشكل 1).

طرائق البحث ومواده:

إن جمع المعلومات الطبوغرافية وتوصيفها مع بيانات الآبار (العمود الليتولوجي وتجارب الضخ) التي يمكن الحصول عليها من خلال القياسات الحقلية في منطقة محددة يؤمن معلومات هيدروجيولوجية مهمة [9]، حيث إن عمليات مراقبة

منسوب المياه للطبقة الحاملة للمياه الجوفية يعتمد على شبكة من آبار المراقبة، تتوزع في المنطقة كلها بما يتناسب مع الظروف الطبيعية والاستثمارية للمنطقة المدروسة [10].
اعتمد البحث على شبكة رصد موزعة في منطقة الدراسة تتألف من 36 بئراً، تخترق الطبقة الحاملة للمياه الجوفية الحرة، استمرت القياسات فيها خلال الفترة (تشرين الأول 2016 حتى أيلول 2017). (الشكل 1).



الشكل 1. مخطط منطقة البحث وتوزيع شبكة الرصد فيها.

جمعت البيانات وتم رسمها باستخدام برنامج Surfer وبرنامج GIS. واستخدمنا نموذج Modflow لبناء النموذج الرياضي لحركة المياه الجوفية الحرة في منطقة الدراسة، واعتمد الحل على طريقة الفروق المنتهية، التي يتطلب تشكيل معادلاتها ملف إدخال مبسط، ويمكن برمجتها بسهولة، إضافة إلى قدرة هذا النموذج على التعامل مع برمجيات مختلفة مثل، GIS، وExcel تساهم في زيادة سرعة إدخال البيانات إلى النموذج وتحسين دقتها.

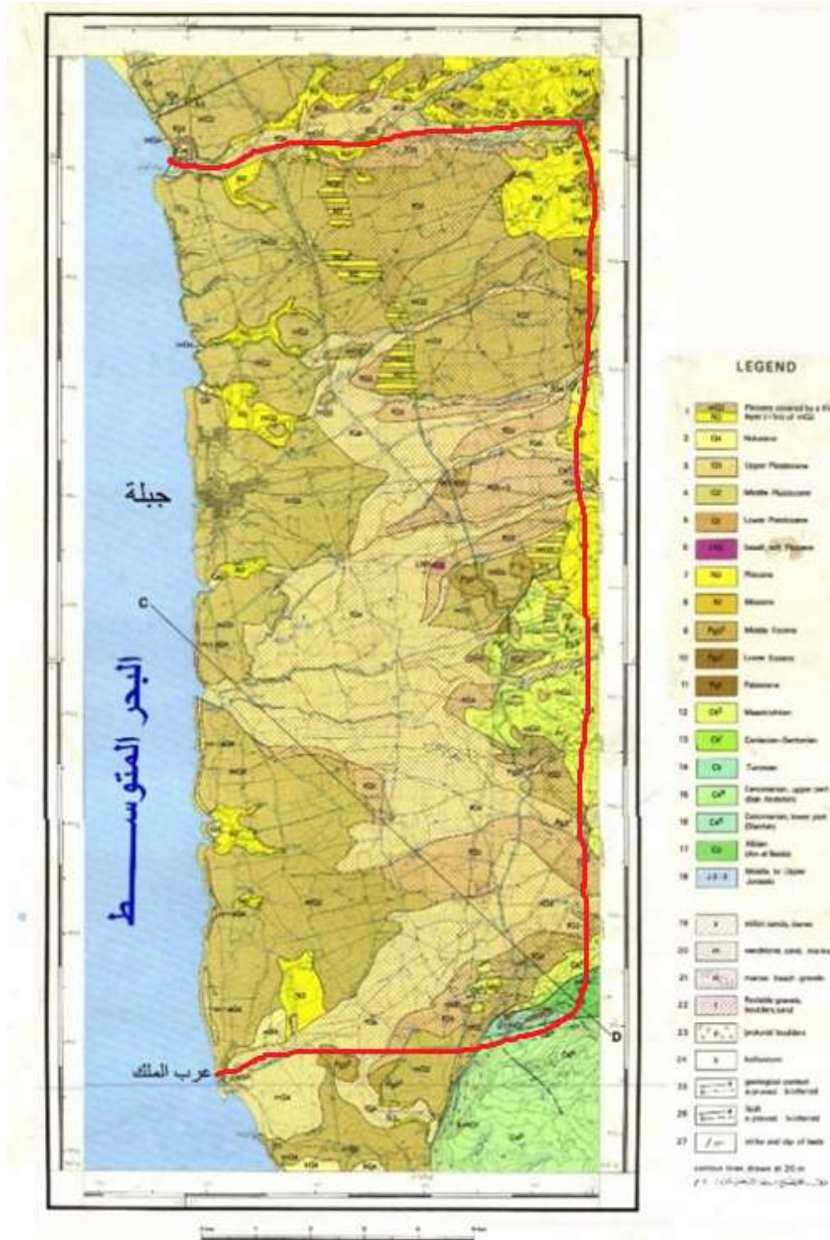
الجيومورفولوجيا:

تشمل منطقة الدراسة الجزء الغربي من سهل جبلة بين نهري السن والروس، حيث يشكل أحد أهم المظاهر الجيومورفولوجية على الساحل، تحده من الشرق تلال ضيقة، يصل ارتفاعها إلى 200 م، ويحده من الغرب البحر المتوسط، ومن الشمال نهر الروس، ومن الجنوب والجنوب الشرقي يحده جرف كبير، يتراوح ارتفاعه بين 100 - 200 م. وتنتشر بعض التلال في أنحاء متفرقة من سهل جبلة، تتراوح ارتفاعاتها بين 20-30 متراً، ونادراً ما تزيد على 40 متراً [11]. تتجه بعض الأنهار دائمة الجريان وعدد كبير من المسيلات الموسمية الجريان من الشرق إلى الغرب عموماً، وتقطع سهل جبلة والتلال الواقعة على حدوده الشرقية. وتطورت المنطقة لتأخذ شكلها المورفولوجي الحالي في البلستوسين [12].

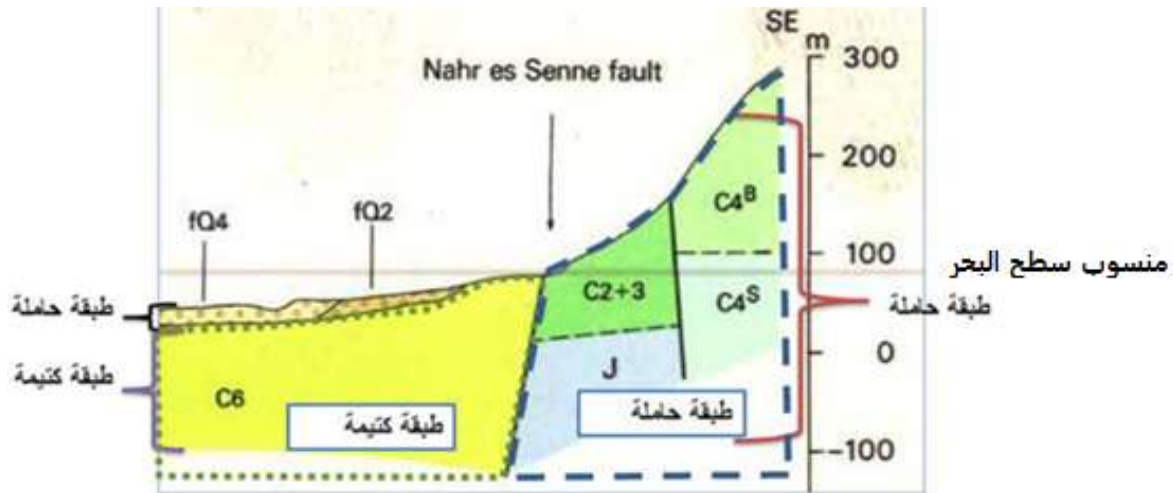
الخصائص الجيولوجية والهيدروجيولوجية

Geological and Hydrogeological properties

ينكشف في منطقة الدراسة مختلف الأعمار الجيولوجية بدءاً من الجوراسي حتى الرباعي، حيث توضع رسوبيات الجوراسي في سحنات ساحلية، أما رسوبيات الكريتاسي والبالوجين فقد تكوّنت في بيئة شاطئية قليلة العمق، في حين تميز عصر النيوجين بنشاط تكتوني وبركاني مع اندفاع صبات بازلتية، كوّنت أهم التشكيلات الجيولوجية المنتشرة في المنطقة (الشكلان 2، 3) [13]



الشكل 2. الخارطة الجيولوجية لمنطقة الدراسة [13]



الشكل 3. التمثيل الهيدروجيولوجي للطبقات الحاملة للمياه الجوفية والكتيمة وفق معطيات المقطع رقم (C-D) [13]

النتائج والمناقشة:

Groundwater modeling نمذجة المياه الجوفية

إن معادلات حركة المياه الجوفية هي معادلات وضعية؛ لأنها تعتمد على فرضيات تبسيطية متعددة، ما يجعلها غير واقعية أحياناً. أما المعادلات التي تعطي نتائج واقعية تقريباً، فهي صعبة الحل بالطرائق الرياضية الكلاسيكية، ويمكن الاعتماد على الموديلات العددية لحل هذه المسائل المعقدة باستخدام الكمبيوتر، إذ تُنمّل في الموديل البارامترات كلّها، الخاصة بالصخور والمناخ والهيدرولوجيا المتعلقة بالمنطقة المدروسة. ويمكن بوساطة الموديل تقدير تغيّرات نظام المياه الجوفية عند تغيّر البارامترات مع الزمن، مما يوفر جهوداً وتكاليف مالية كبيرة. كما يسمح الموديل بتقدير التغيرات المستقبلية، ووضع خطة استراتيجية شاملة أكثر موثوقية لتطوير النشاط الاقتصادي في المنطقة المدروسة. [14]

تستخدم معظم نماذج المياه الجوفية تقانة البارامترات الموزعة. حيث تتطلب هذه التقانة لمحاكاة حركة المياه الجوفية ونوعيتها استخدام طرائق عديدة تقريبية، منها طريقة الفروق المنتهية التي تُطبق على المعادلة الأساسية لحركة المياه الجوفية، وتُحل هذه المعادلات عددياً من خلال العمليات التكرارية باستخدام الكمبيوتر، لذلك تسمى هذه النماذج بالنماذج العددية [13].

يستخدم Modflow الحل العددي للمعادلة الحاكمة لجريان المياه الجوفية خلال الوسط المسامي:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) - W = S_s \frac{\partial h}{\partial t}$$

حيث K_{xx}, K_{yy}, K_{zz} قيم الناقلية الهيدروليكية باتجاه محاور الإحداثيات x, y, z .
 h الضاغط الهيدروليكي (L)؛

W التدفق الحجمي في وحدة الحجم، تمثل مصادر أو مصارف المياه (T^{-1})؛

S_s التخزين النوعي للوسط المسامي (L^{-1})؛

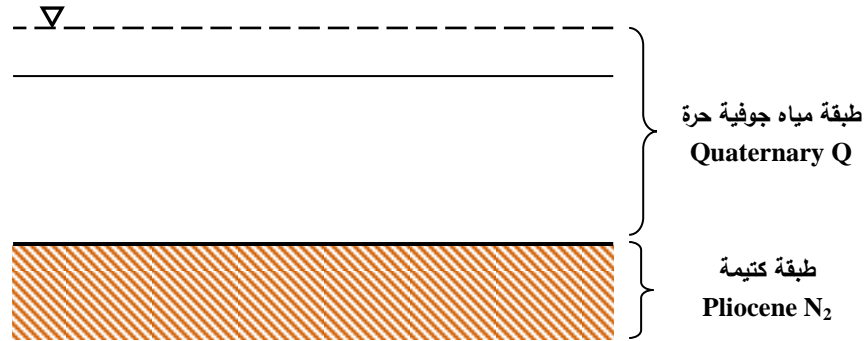
t الزمن (T).

النموذج الاعتراري Conceptual Model

لقد وُضع النموذج الهيدروجيولوجي الاعتراري لمنطقة البحث، الذي يمثّل الظروف الهيدروجيولوجية للطبقة الحاملة للمياه الجوفية الحرة، اعتماداً على البنية الجيولوجية والتكتونية والوضع الهيدروجيولوجي العام، ويتألف النموذج الاعتراري لمنطقة البحث (الشكل 4) من:

❖ طبقة حاملة للمياه الجوفية الحرة تتألف من توضعات الرباعي، وهي عبارة عن حجر رملي متطبق، وحجر رملي بحري، وكونغلواميرا نهريّة، وتوضعات ريحية، وتتراوح سماكتها بين 5-9.5 م، وتتراوح ناقليتها الهيدروليكية بين 10-40 م/يوم.

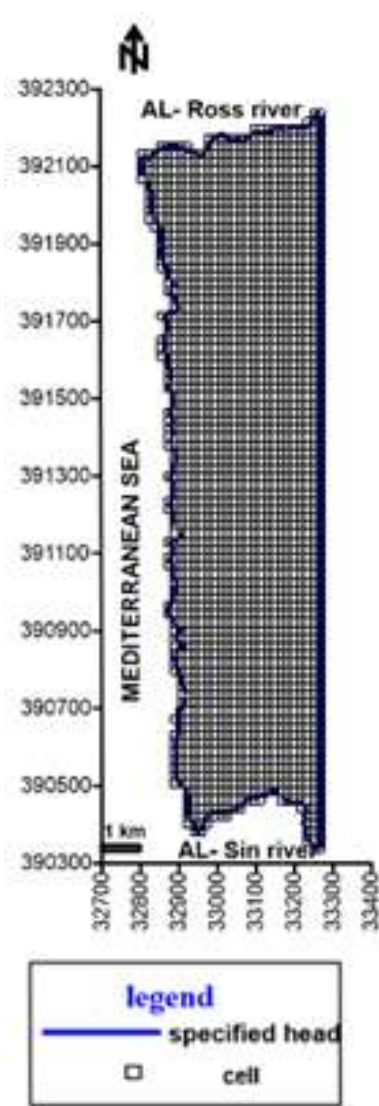
❖ طبقة شبه كتيمية (البليوسين N2)، وتتألف من المارل أو الحجر الكلسي المارلي، والحجر الرملي والسيلت، وتتراوح سماكتها الإجمالية بين 100-200 م، وهي تشكّل مستوى الأساس ذا الامتداد الإقليمي في سهل جبلة، وتبلغ ناقليتها الهيدروليكية (0.1) م/يوم.



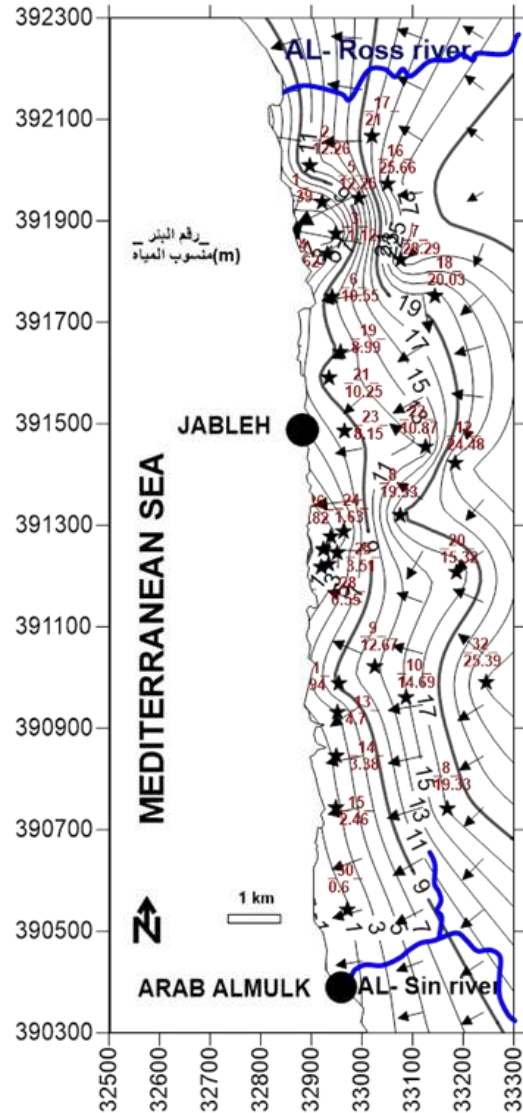
الشكل 4. النموذج الاعتراري لمنطقة البحث

الشروط الحديّة والابتدائية Boundary and Initial Conditions

يحدّ نهْرُ الروس منطقةَ البحث من الشمال، ويحدها نهر السن من الجنوب، فيُمثّلان شرطاً حدياً بضاعط معلوم Constant-head boundary، يتعلّق بعمق المياه في النهرين ومنسوبهما بالنسبة لسطح البحر خلال فترة المحاكاة المختارة (تشرين الأول 2016 حتى أيلول 2017). بينما يحدّ المنطقة من الغرب البحر المتوسط ممثلاً حدّاً بضاعط ثابت $H = \text{const.} = 0$ خلال المحاكاة. ويشكّل الجزء الشرقي من منطقة البحث حدّاً هيدروليكيّاً بضاعط معلوم ($H = 27 \text{ m}$) تم اشتقاقه من شبكة الجريان الجوفي للمنطقة (الشبكة الهيدروديناميكية) (الشكل 5). والشروط الابتدائية هي قيم الضاعط الهيدروليكي لكلّ خلية فعّالة ذات ضاعط ثابت في النموذج. (الشكل 6) ومن المستحسن وضع قيم الضواعط الابتدائية قريبةً من قيمها المقدّرة من البيانات الحقلية في كل طبقة من طبقات النموذج، للنماذج المستقرة وللنماذج المتغيرة. وهذا سينقص الزمن اللازم للحل اعتماداً على النموذج، ويؤدي إلى تقارب أسرع باتجاه الحل، بشرط أن تكون البارامترات الأخرى للنموذج منطقية وقريبة من البيانات الحقلية المُسجّلة [15].



الشكل 6. الشروط الحدية والابتدائية وشبكة الفروق المنتهية في منطقة البحث



الشكل 5. الشبكة الهيدروديناميكية لمنطقة البحث

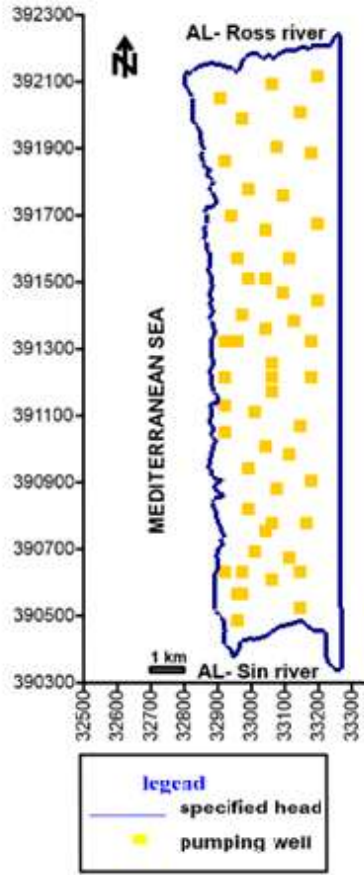
شبكة النموذج Model Grid

يجب أن تساير شبكة النموذج حدود تغيّر البنية الجيولوجية، وتتوافق مع الظروف الهيدرولوجية والشروط الحدية للمنطقة، ويفضّل أن تكون نسبة طول الخلية إلى عرضها (عامل الشكل) أقرب ما يمكن إلى الواحد [16]. (الشكل 6).

تصميم النموذج Model Design

جرى تحميل مختلف المعطيات المطلوبة لبناء النموذج الرياضي، الذي تضمنت طبقاته المعطيات الآتية:

➤ طبقة التغذية والصرف Source & Sinks Coverage (الشكل 7)



الشكل 7. طبقة التغذية- الصرف (m^3/day)

تمت نمذجة حدود الضاغط الثابت Specified head بواسطة Modflow بإدخال قيم الضاغط الحقيقي boundaries، في عقد حدّ الضاغط الثابت؛ أي في نهر الروس الذي يحدّ منطقة البحث من الشمال، وفي نهر السن على الحدود الجنوبية. وأدخلت الحدود الشرقية لمنطقة البحث بصفتها حدّاً بضاغط ثابت اعتماداً على الشبكة الهيدرودينامية، كما تم إدخال شبكة من آبار الأهالي البالغ عددها 75 بئراً منتشرة في منطقة البحث. وتراوح تصريف الآبار بين ($50-500 m^3/day$).

➤ طبقة التغذية Recharge Coverage (الشكل 8)

قدرت قيمة معدل التسرب في التوضعات اللحية الحديثة بـ(40%) من مياه الأمطار، وبلغت نسبة التسرب من مياه الأمطار (10%) في مناطق انتشار توضعات الرباعي الأعلى اللحية السيلية. بينما تبلغ هذه النسبة في التوضعات البحرية للرباعي /الأوسط/ (4%) من مياه الأمطار [10]. بينما تقدر كمية المياه المتسربة من مياه الري سنوياً بحدود $0.135 m/year$ [17].

اعتماداً على ما سبق، قُسمت منطقة البحث إلى تسعة مزلعات، وحمّلنا قيمة التغذية من مياه الري في مناطق انتشار شبكات الري، والتغذية من الأمطار على كامل مساحة المنطقة تبعاً للتكشفت الجيولوجية (الشكل 8).

➤ طبقة الناقلية الهيدروليكية (الشكل 9)

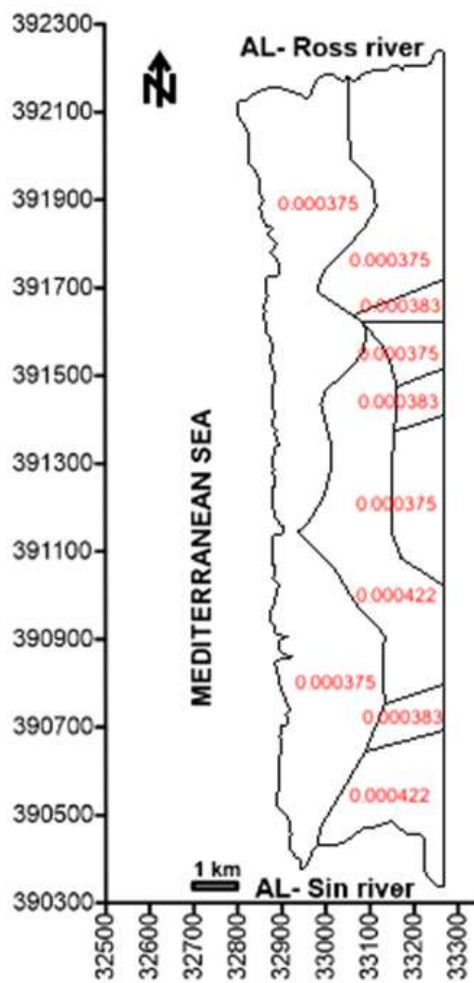
حُدّدت قيم الناقلية الهيدروليكية اعتماداً على نتائج تجارب الضخ المنفذة في توضعات منطقة البحث [17]. فُقسمت المنطقة تبعاً لقيم

الناقلية الهيدروليكية (الشكل 9)، إلى 11 مزلعاً، حسب قيم الناقلية الهيدروليكية، التي تراوحت بين 1.67 و 30 m/day ، وجرى تدقيقها بعملية معايرة النموذج.

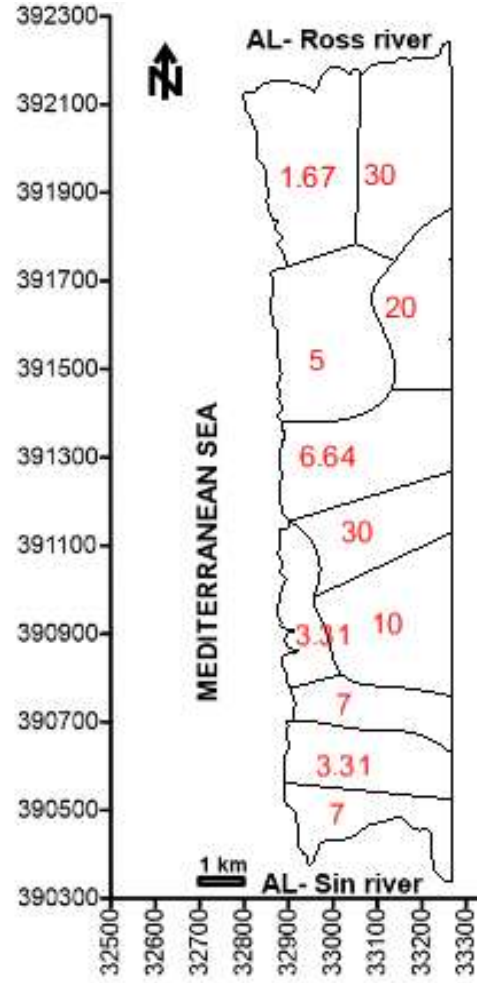
تحليل الحساسية Sensitivity Analysis

قبل البدء بإنجاز عملية المعايرة التي تتضمن إجراء تغييرات متنوعة، وحيدة أو متعددة لبارامترات النموذج، يجب تحديد أي من هذه البارامترات أكثر حساسية للتغيرات بالعلاقة مع النتيجة النهائية للنموذج [18].

لإجراء تحليل حساسية البارامترات المدخلة، تم تشغيل النموذج مرات عدّة، وعند كل تشغيل تم تغيير قيمة بارامتر من البارامترات بنسبة ثابتة، ومراقبة استجابة النظام لهذا التغيير. فتبين أن النموذج أكثر حساسية للتغذية الراشحة.



الشكل 9. طبقة الناقلية الهيدروليكية (m/day)



الشكل 8. طبقة التغذية المساحية (m/day)

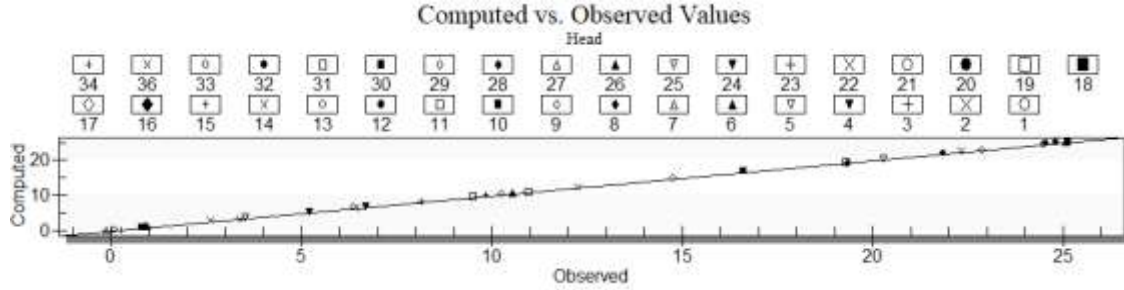
معايرة النموذج Model Calibration

تتجز المعاييرة بعد تدقيق بارامترات الجريان والتخزين والبارامترات الأخرى ضمن حدود مقبولة، لتحقيق أفضل تطابق مع القياسات الحقلية [18].

تطلبت المعاييرة تشغيل النموذج أكثر من 500 مرة، حتى الوصول إلى أفضل موديل لتمثيل نظام المياه الجوفية في منطقة البحث، حيث كانت جميع فروق الضواغط بين القيم المحسوبة والمقاسة تتراوح بين (0.008-0.25 m) (الشكل 10).

وحصلنا أيضاً على خارطة توزع مناسيب سطح المياه الجوفية، لشهر تشرين الثاني من عام 2016 لحالة الجريان المستقر (حيث أن التدبذب في مناسيب المياه الجوفية في منطقة البحث يتراوح بين 1-2 m)، ففي معادلة جريان المياه الجوفية يكون التخزين (الفرق بين الجريان الداخل والخارج) مساوياً الصفر في الحالة المستقرة، حيث تم اختيار هذه الفترة الزمنية للمعايرة لأنها فترة جافة حرجة سبقها انحباس للأمطار في تلك السنة (الشكل 11). وبعد التحقق من مقارنة نظام حركة المياه الجوفية الطبيعي المسجل نتيجة القياسات الحقلية والممثل بمخطط مناسيب المياه الجوفية، مع

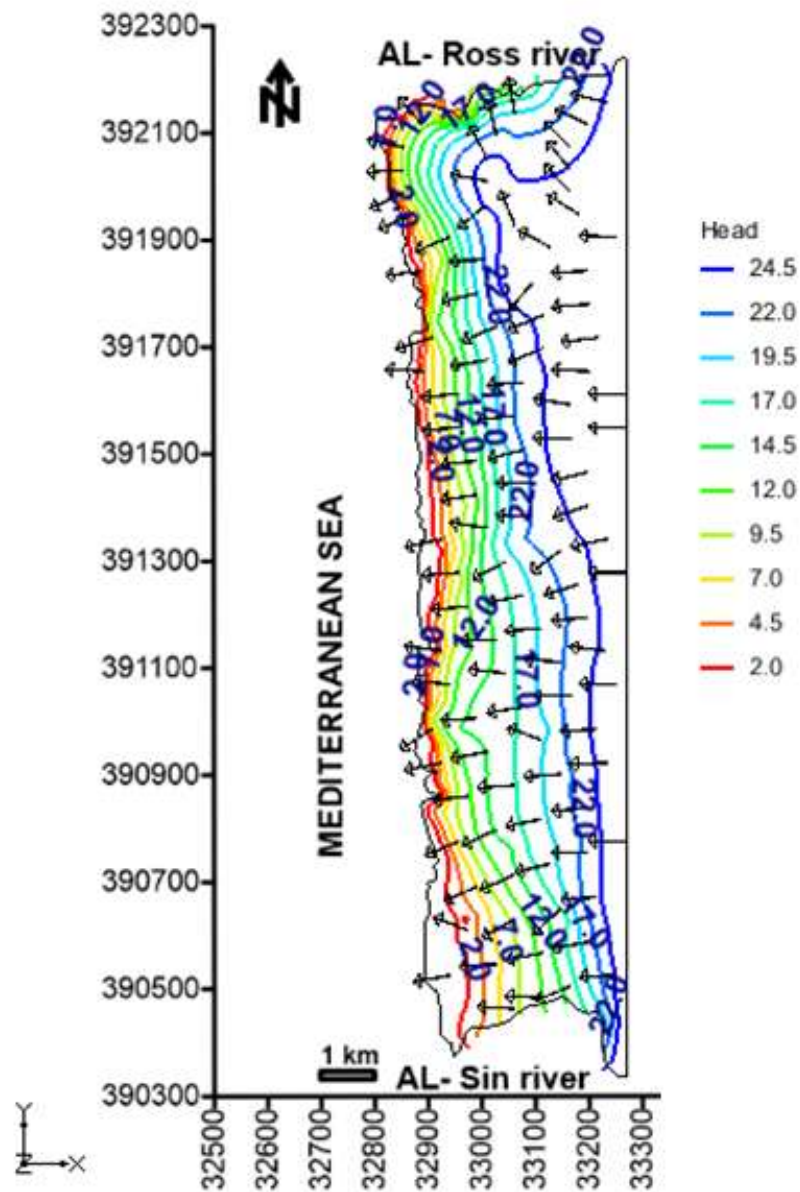
نتائج النموذج الرياضي (الحل الرياضي الأكثر مطابقة مع الواقع) بعد إجراء عملية المعايرة، تم الحصول على الموازنة المائية وعناصرها المختلفة الجدول (1).



الشكل 10. الفرق بين القيم المحسوبة والمقيسة (بعد المعايرة) لشهر تشرين الثاني 2016

الجدول (1) عناصر الموازنة المائية (m^3/day) لحالة الجريان المستقر في منطقة البحث (بعد المعايرة) لشهر تشرين الثاني 2016.

محصلة الجريان m^3/day	الجريان الخارج m^3/day	الجريان الداخل m^3/day	عناصر الموازنة
-3863.38	24175	20312	Constant Head (الجريان الأفقي)
-9600	9600.0	0	Wells (الاستثمار)
13463	0	13463	Recharge (التغذية)
0	33775	33775	Total (المجموع)

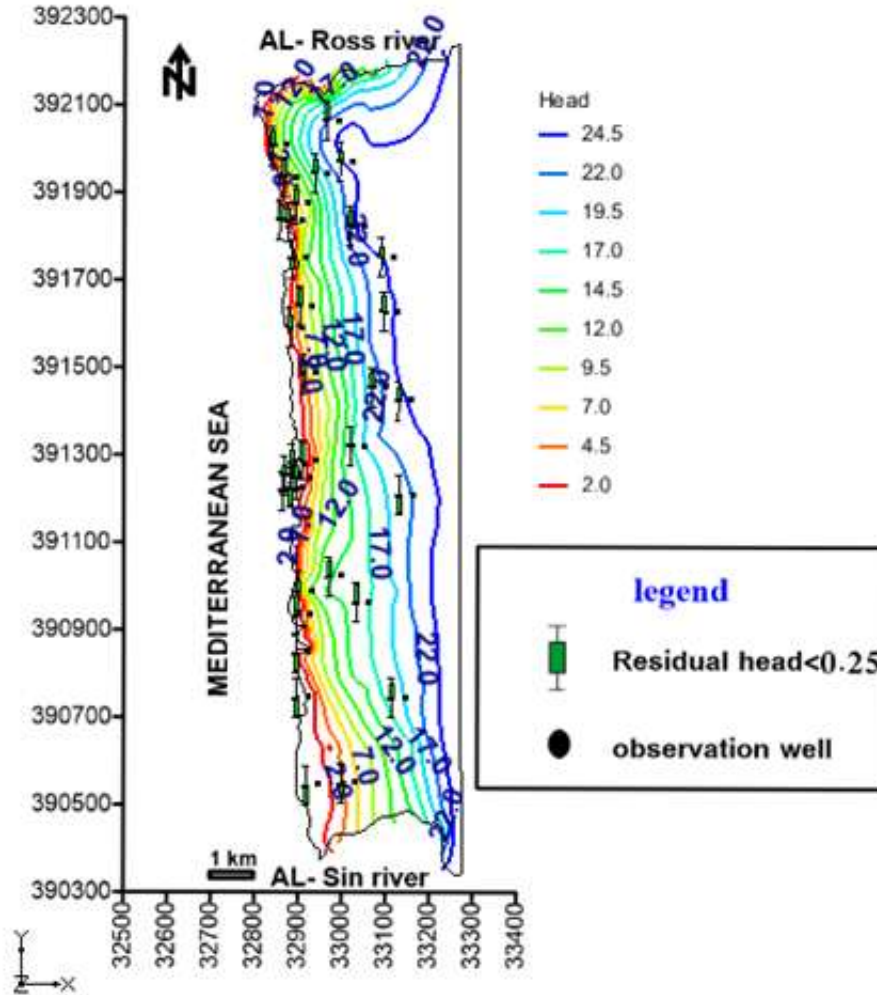


الشكل 11. الشبكة الهيدروديناميكية (بعد المعايرة) لشهر تشرين الثاني 2016

تحقيق النموذج Model Verification

يُنَجَز تحقيق النموذج من أجل مجموعة إضافية من البيانات الحقلية من المحاكاة المستقرة، أو المتغيرة مع الزمن. وإذا كانت بارامترات النموذج المعايير مثل الشروط الحدية، والإجهادات، والناقلية المائية، والمسامية الفعالة صحيحة، فإن مجموعة البيانات الحقلية الإضافية يجب أن تتوافق مع النموذج من أجل شروط حدية وإجهادات جديدة. وإذا عمل النموذج وفق الشروط المتغيرة سيعطي توزيعاً للضواغط، يطابق كثيراً المجموعة الجديدة من بيانات بئر المراقبة، ومن ثم يُحَقَّق النموذج [15].

لذلك تمّ تحقيق النموذج اعتماداً على بيانات الرصد في شهر تشرين الأول عام 2016؛ لأنّ الشروط الحديّة متوافقة (منسوب النهر، والتدفق الجانبي)، والإجهادات (التغذية والصرف) تتغيّر تبعاً لظروف الشهر الذي تجرى فيه المعايرة. وقد أكّدت نتائج الاختبار تحقيق النموذج، إذ أعطى النموذج توزيعاً للضواغط قريباً من بيانات آبار المراقبة (الشكل 12) (0.06-0.25 m).



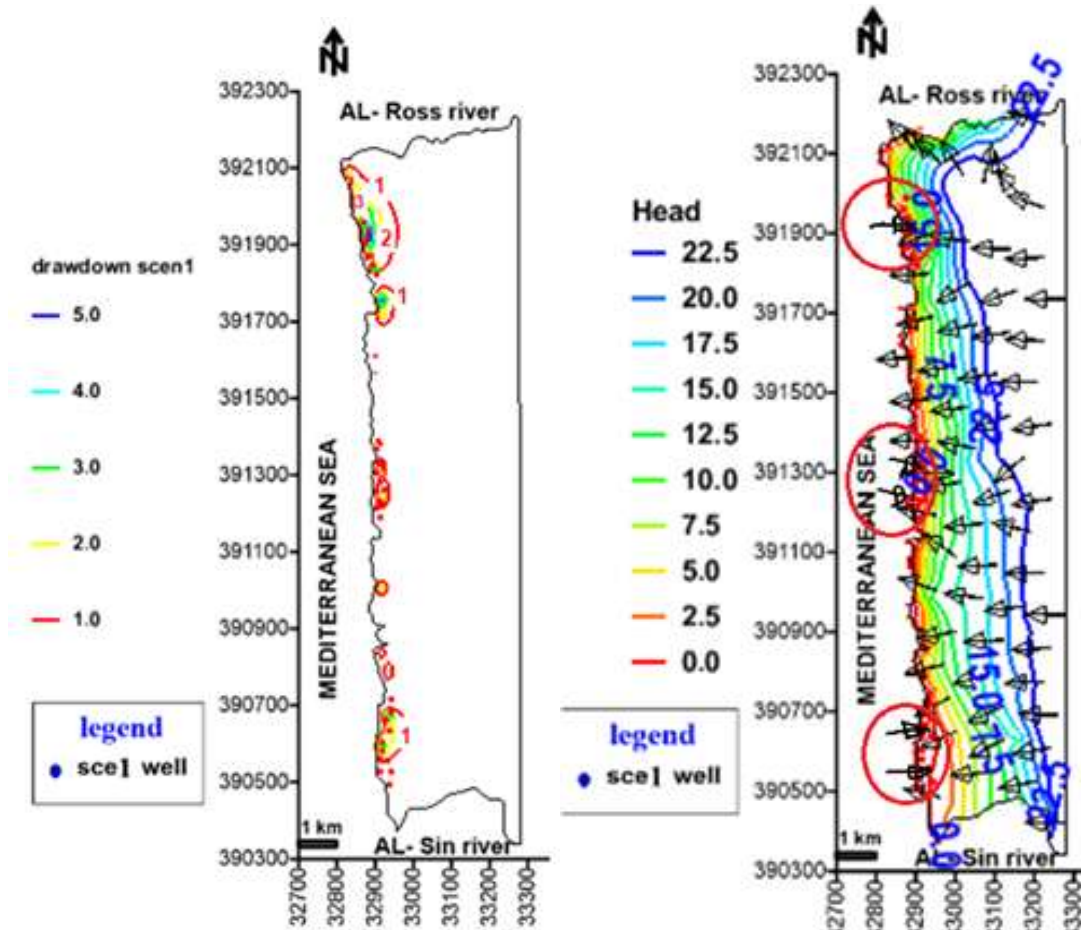
الشكل 12. مناسب سطح المياه الجوفية الحرة وفروقاتها عن القيم المقيسة في نقاط المراقبة (تحقيق النموذج في تشرين الأول 2016).

مرحلة التنبؤات

السيناريو الأول Scenario1

اقترحنا حفر 9 آبار في الجزء الشمالي الغربي، و13 بئراً في الجزء الغربي قرب الشاطئ، و11 بئراً في الجزء الجنوبي الغربي (بالإضافة لآبار الأهالي)، تبعد عن بعضها ضمن كل مجموعة مسافة 200-500 m وعن الشاطئ تبعد حوالي 100-300 m، نظراً للحاجة المتوقعة لهذه الموارد المائية في الزراعة والسياحة، وبتصريف $200 \text{ m}^3/\text{day}$ لكل بئر، فحصل تداخل لمياه البحر في تلك المنطقة (الشكل 13)، وانخفضت مناسب المياه الجوفية في المنطقة المجاورة لآبار هذا السيناريو بحدود 1-5 m (الشكل 14).

التغيرات على الموازنة المائية لهذا السيناريو شملت الاستثمارات من الآبار التي ازدادت إلى $13000 \text{ m}^3/\text{day}$ ، وأدى انخفاض مناسيب المياه الجوفية قرب الشاطئ إلى تداخل مياه البحر مع المياه العذبة حتى 500m ، وإلى زيادة التصريف الأفقي الداخل إلى منطقة البحث من البحر المتوسط، حيث وصل مقدار الزيادة إلى $1181 \text{ m}^3/\text{day}$ ، وفي الوقت نفسه تناقصت كمية الجريان الأفقي الخارج من المنطقة المدروسة إلى البحر، فوصلت إلى $21945 \text{ m}^3/\text{day}$ ، (الجدول 2). وبسبب تداخل مياه البحر وتلوث مياه الآبار، فإن هذا السيناريو غير مقبول عملياً.



الشكل 13. الشبكة الهيدروديناميكية للسيناريو الأول

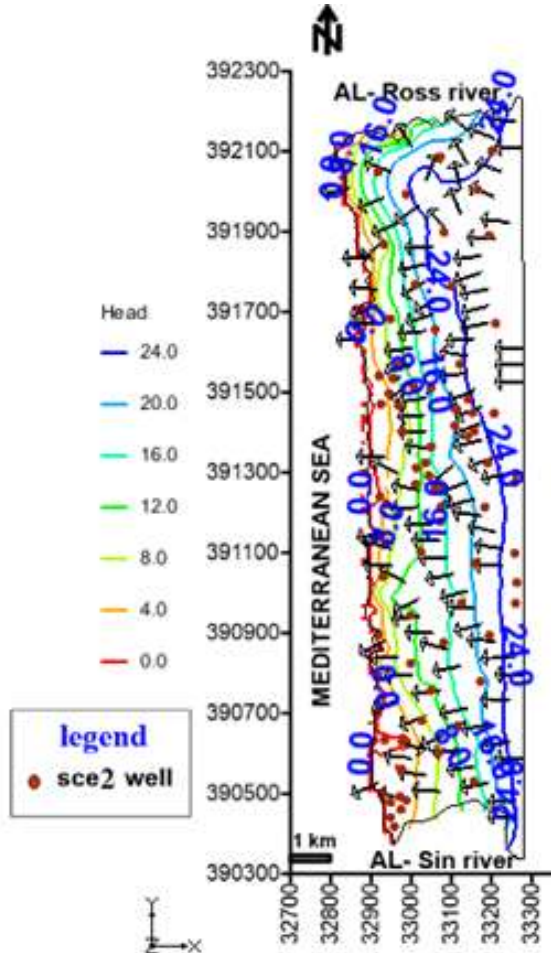
الشكل 14. توزيع هبوط سطح المياه الجوفية للسيناريو الأول

الجدول (2) عناصر الموازنة المائية (m^3/day) للسيناريو الأول.

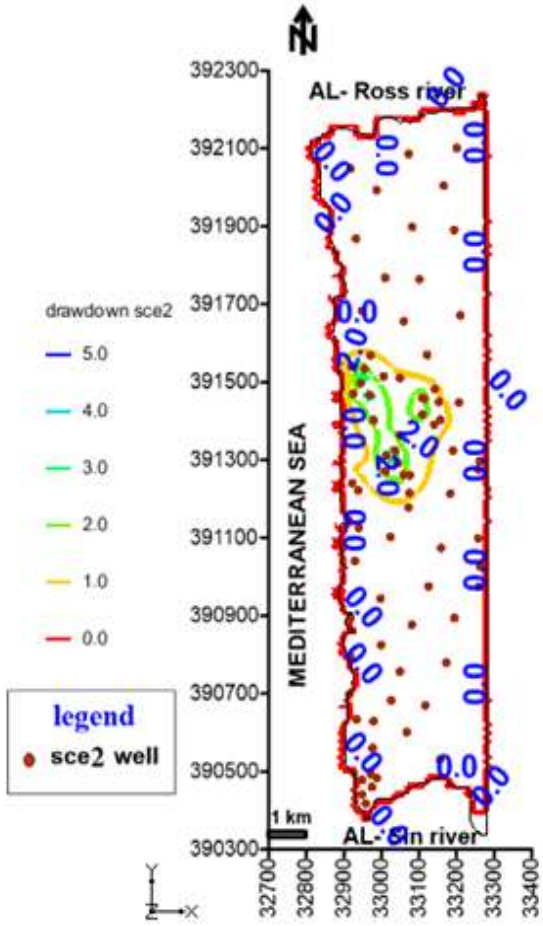
عناصر الموازنة	الجريان الداخل	الجريان الخارج	محصلة الجريان
الجريان الأفقي	21493	21945	-452
التغذية	13452	0	13452
الاستثمار	0	13000	-13000
المجموع	34945	34945	0

السيناريو الثاني Scenario2

يعتمد الاقتراح على تشغيل آبار الأهالي الموجودة في منطقة البحث بمعدلات أعظمية $300 \text{ m}^3/\text{day}$ وأصغرية $50 \text{ m}^3/\text{day}$ إضافة إلى حفر 4 مجموعات من الآبار كل مجموعة تضم 5 آبار، لتلبية احتياجات سكان بعض المدن والقرى في المنطقة للري المساعد (جبله-بسيسين-سيانو-عرب الملك)، وتصريف $150 \text{ m}^3/\text{day}$ لكل بئر. لا يحدث تقدم لإسفين مياه البحر ضمن الطبقة الحاملة للمياه العذبة (الشكل 15). كما ينتج عن هذا السيناريو انخفاض في مستوى المياه الجوفية يتراوح بين 0-2 m في بعض المناطق القريبة المحيطة بمواقع الضخ المضافة (الشكل 16). أما التغيرات الملحوظة على الموازنة المائية لهذا السيناريو بالمقارنة مع الموازنة الناتجة من معايرة النموذج في الشهر نفسه من العام 2016 (الجدول 3)، فقد شملت الاستثمارات من الآبار التي ازدادت إلى $17800 \text{ m}^3/\text{day}$ ، حيث ازدادت قيمة الجريان الأفقي الداخل إلى منطقة البحث، ووصلت هذه الزيادة إلى $4028 \text{ m}^3/\text{day}$ ، وفي الوقت نفسه تناقصت كمية الجريان الأفقي الخارج من المنطقة المدروسة إلى البحر المتوسط ونهري الروس والسن، فبلغ مقدار النقصان $4193 \text{ m}^3/\text{day}$ ، وقد وجدنا أن هذا السيناريو يعتبر مناسباً في منطقة البحث.



الشكل 15. الشبكة الهيدروديناميكية للسيناريو الثاني



الشكل 16. توزيع هبوط سطح المياه الجوفية للسيناريو الثاني

الجدول (3) عناصر الموازنة المائية (m^3/day) للسيناريو الثاني.

عناصر الموازنة	الجريان الداخلى	الجريان الخارج	محصلة الجريان
الجريان الأفقى	24340	19982	-4358
التغذية	17800	0	17800
الاستثمار	0	13442	-13442
المجموع	37782	37782	0

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

1. تتوفر في منطقة البحث الظروف الجيولوجية والهيدروليكية المناسبة لتداخل مياه البحر مع المياه الجوفية العذبة، خاصةً في المناطق القريبة من الشاطئ حتى 300 m، حيث تؤدي زيادة الضخ من الآبار الواقعة قرب شاطئ البحر إلى تقدم إسفين مياه البحر إلى 500 m في الطبقة الحاملة للمياه الجوفية.
2. يمثل السيناريو الثاني حلاً مناسباً لتغطية الاحتياجات المائية للري المساعد مستقبلاً في منطقة البحث، حيث يمكن استثمار 17800 m^3/day دون حدوث تقدم لإسفين مياه البحر، وبلغ الهبوط الأعظمي 2 m.

التوصيات:

1. دراسة حركة الأملاح من البحر، وانتقال الشوارد باتجاه المياه الجوفية العذبة، لحمايتها من التلوث.
2. استمرار مراقبة نظام المياه الجوفية في المنطقة بانتظام، واستخدام تقانات النماذج الرياضية في إدارة الموارد المائية المتاحة، واستثمارها بأسلوب أمثل.
3. عدم حفر آبار (بمسافة 100-300 m) عن شاطئ البحر منعاً لتداخل مياهه مع المياه الجوفية العذبة.

References:

- [1] FREEZE, A. R.; CHERRY, J. A. *Groundwater*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall. 1979.
- [2] MAO, X.; ENOT, P.; BARRY, D. A.; BINLEY, A.; JENG, D. S. Tidal influence on behavior of a coastal aquifer adjacent to a low relief estuary. *Journal of Hydrology*. 327, 2005, 110-127.
- [3] GOLDMAN, M.; GILAD, D.; RONEN, A.; MELLOUL, A. *Mapping of Seawater Intrusion into the Coastal Aquifer of Palestine by the time Domain Electromagnetic Method*. *J. Appl. Geophys.* 28, 1991, 153-174.
- [4] LEE, J.Y.; SONG, S. H. *Groundwater Chemistry and Ionic Ratios in a Western Coastal Aquifer of Buan, Korea; Implication for Seawater Intrusion*. *Journ. Hyd.* 3, 2007, 259-270.
- [5] HWANG, S.; SHIN, J.; PARK, I.; LEE, S. *Assessment of Seawater Intrusion Using Geophysical Well Logging and Electrical Soundings in a Coastal Aquifer, Youngkwang-gun, Korea*. *Exp. Geophys.* 35, 2004, 99-164.

- [6] NORHAN, A.; Kuan, W. *Simulation of groundwater flow and pollutant transport for alluvial aquifer in Kampung Tekek, Tioman Island*. Jurnal Teknologi. 41, 2004, 21-34
- [7] ALASAAD, A.; ABDULRAHMAN, A. *Estimating of Groundwater Resources At Euphrates Low Valley- 3rd Sector*. Tishreen University Journal. 1, 2012, 9-27.
- [8] HAYEK, SH.; ABDULRAHMAN, A. *Assessment of the Hydrogeological Conditions in the 7th Sector of the Lower Euphrates Basin – Syria*. Tishreen University Journal. 6, 2012, 9-27.
- [9] SUSAN, S. H.; YORAM, R. *Hydrogeological parameter estimation using geophysical data: a review of selected techniques*. Journal of Contaminant Hydrology. 45, 2000, 3-34.
- [10] DELLEUR, J. W. *The Handbook of Groundwater Engineering*. CRC press, U.S.A, 2007, 1348.
- [11] Topographic map of Syria. Jableh (2, 4) Scale 1:25000 Damascus. 1972.
- [12] Hydrological and Hydrogeological Investigations in the Four Basins (Syria - Basin Coast), four volumes, Grozgeprovodkhuz. Tbilisi. 1979.
- [13] Geological map of Jableh patch scale 1: 50000 with the explanatory note, the General Establishment for Geology and Mineral Resources. 1978.
- [14] ALASAAD, A. Hydrogeology. Tishreen University, Lattakia, 2018, 598.
- [15] KRESIC, N. *Hydrogeology and Groundwater Modeling*. 2nd ed. Taylor & Francis Group, U.S.A, 2007, 807.
- [16] TODD, D. K; MAYS, L. W. *Groundwater Hydrology* 3rd ed. John Wiley & Sons, Inc, United Kingdom, 2005, 636.
- [17] Project of development and modernization of irrigation and drainage systems in the Sin plain of 7500 hectares. 2005.
- [18] VIESSMAN, Jr. W; LEWIS, G. L. *Introduction to Hydrogeology*. Addison, U.S.A, 1995, 760.