

The Optimal Solution of Drainage the Excess Free Groundwater in a Part of “Akkar Plain” using Mathematical Modeling

Dr. Sharif B. Hayek*
Dr. Ghatfan A. Ammar**
Morad Ghazi Solaiman***

(Received 29 / 5 / 2023. Accepted 30 / 7 / 2023)

□ ABSTRACT □

Groundwater modeling is one of the methods used in hydrogeological sciences because of its importance in predicting future effects of different stresses, and put appropriate solutions to groundwater drainage problems, and managing its sources.

It was observed that the level of free groundwater rose in Akkar Plain, and in some areas, it has reached the point of drowning. Therefore, it was necessary to search for the optimal solution to overcome this phenomenon.

A mathematical model was built that simulates the hydrogeological conditions of the free aquifer for a part of Akkar Plain with an area of 15 km², using the (GMS) program, based on the monthly data measured in year 2015.

It was proposed to drill 23 wells for vertical drainage, with a discharge ranging between (100-400) m³/d for each well. The results indicated an increase in investment from wells to (6090) m³/d, and a decrease in groundwater levels that ranged between (1-2) m, with the flow maintaining its direction towards the Mediterranean.

Keywords: Hydrogeological conditions, Water resources management, Vertical drainage, Mathematical model, GMS.

Copyright



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* Professor, Department of Water Engineering and Irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

**Professor, Department of Water Engineering and Irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

***Master student, Department of Water Engineering and Irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. moradsolaiman@gmail.com

الحل الأمثل لصرف المياه الجوفية الحرة الزائدة في جزء من سهل عكار باستخدام النمذجة الرياضية

د. شريف بدر حايك*

د. غطفان عبد الكريم عمّار**

مراد غازي سليمان***

(تاريخ الإيداع 29 / 5 / 2023. قُبِلَ للنشر في 30 / 7 / 2023)

□ ملخّص □

تعدّ نمذجة المياه الجوفية إحدى الوسائل المستخدمة في العلوم الهيدروجيولوجية لما لها من أهمية في التنبؤ بالتأثيرات المستقبلية للإجهادات المختلفة، ووضع الحلول المناسبة لمشاكل صرف المياه الجوفية، وإدارة مصادرها. لوحظ ارتفاع منسوب المياه الجوفية الحرة في سهل عكار، وقد وصلت في بعض المناطق إلى درجة الغرق، لذلك كان من الضروري البحث عن الحل الأمثل للتغلب على هذه الظاهرة. تم بناء نموذج رياضي يحاكي الظروف الهيدروجيولوجية لطبقة المياه الجوفية الحرة لجزء من سهل عكار بمساحة تبلغ (15 km^2) ، باستخدام برنامج (GMS)، بالاعتماد على البيانات الشهرية المقيسة في عام 2015. اقترح حفر 23 بئراً للصرف الشاقولي بتصريف يتراوح بين $(100-400) \text{ m}^3/\text{d}$ لكل بئر، فأشارت النتائج إلى زيادة الاستثمار من الآبار إلى $(6090) \text{ m}^3/\text{d}$ ، وانخفاض في مناسيب المياه الجوفية تراوح بين $(1-2) \text{ m}$ ، مع محافظة الجريان على اتجاهه نحو البحر المتوسط.

الكلمات المفتاحية: الظروف الهيدروجيولوجية، إدارة الموارد المائية، الصرف الشاقولي، النموذج الرياضي، GMS.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص



CC BY-NC-SA 04

*أستاذ - قسم الهندسة المائية والري - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.
** أستاذ - قسم الهندسة المائية والري - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.
*** طالب ماجستير - قسم الهندسة المائية والري - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.
moradsolaiman@gmail.com

مقدمة:

ازداد مؤخراً الاهتمام بمفهوم الإدارة المتكاملة للمياه الجوفية لأنها تسهم في تحسين استخدام موارد هذه المياه، وتقييمها لتلبية احتياجات مختلف القطاعات المنزلية والزراعية والصناعية [1,2].

تعتبر النماذج الرياضية وسيلة فعالة لتحليل الموارد المائية وتقييمها، وإدارتها بالشكل الأمثل من خلال محاكاة الظروف الهيدرولوجية الحقلية بوساطة معادلات رياضية تمثل جريان الماء الجوفي، وحل هذه المعادلات تحليلياً أو عددياً باستخدام الكمبيوتر [3].

أجرى HASSAN وآخرون 2011 دراسة حول مشكلة ارتفاع مناسيب المياه الجوفية في منطقة الفسطاط بمصر، وتم استخدام نموذج ثلاثي الأبعاد يعتمد طريقة الفروق المحدودة باستخدام بيانات 20 بئراً، وصور الأقمار الصناعية، والبيانات المائية، والخصائص الجيولوجية لبناء ومعايرة النموذج، فأشارت النتائج إلى أن استخدام معدل ضخ (200) m^3/d يحقق هبوط مستوى المياه الجوفية 2-3 متر [4].

درس مجموعة من الباحثين أسباب ارتفاع مناسيب المياه الجوفية في عدة مناطق من حوض الفرات، حيث قام حايك، وعبد الرحمن 2012 بدراسة مشكلة صرف المياه الجوفية في القطاع السابع لحوض الفرات الأدنى، باستخدام نموذج رياضي بالاعتماد على كود (Modflow) بالإضافة إلى بيانات 80 بئراً، وبيانات من مراكز قياس مناسيب مياه النهر (11 ميلاً)، وخُصِّصَت الدراسة إلى أن تصميم شبكة صرف مياه جوفية تضم 90 بئراً والضخ منها جميعاً بمعدل (900-1400) m^3/d يسمح بتخفيض سطح المياه الجوفية إلى أكثر من 2.5 m من سطح الأرض مع تجفيف المستنقعات عدا مستنقع واحد، يمكن تجفيفه باقتراح حفر بئر تجميعي لمياه هذا المستنقع، ينظم جريان المياه من المستنقع إلى نهر الفرات، وأوصي بصيانة شبكة الصرف المنفذة وتطوير آبار الصرف الشاقولي لزيادة فعاليتها وكفاءتها تبعاً للظروف الهيدرولوجية [5,6,7].

طبّق مجموعة من الباحثين عام 2011 نموذج (Modflow) لمحاكاة تدفق المياه الجوفية في نهر بولانغ ونهر بالاسو في جزر المالديف، فأشارت النتائج إلى أنه يمكن استغلال (35000) m^3/d ، و (20000) m^3/d على التوالي من المياه الجوفية دون حدوث تسرب مياه النهرين إلى طبقة المياه الجوفية [8,9].

وبين (الأسعد؛ إبراهيم؛ علاء الدين، 2001) ارتفاع سطح المياه الجوفية الحرة نتيجة مياه الري في مشروع ري سد نهر الكبير الشمالي حيث تراوح الارتفاع بين (4-6) م في التلال، و (0.1-0.5) م في السهول، وتشكل المستنقعات في المناطق المنخفضة منها [10].

وقام (حايك، 2004) ببناء نموذج باستخدام برنامج GMS- Groundwater Modeling System للتنبؤ بالتغيرات المستقبلية لموارد المياه الجوفية خلال فترات زمنية طويلة في سهل عكار، بهدف إدارتها بالشكل الأمثل [11].

يعدُّ ارتفاع مناسيب المياه الجوفية في سهل عكار ووصولها إلى درجة الغرق في بعض المناطق خطراً كبيراً يجب التخلص منه، من خلال وضع الحلول المناسبة لمسألة صرف المياه الجوفية الزائدة، عن طريق بناء نموذج رياضي يمكننا من اقتراح الصرف الملائم تبعاً للظروف الهيدرولوجية القائمة [12].

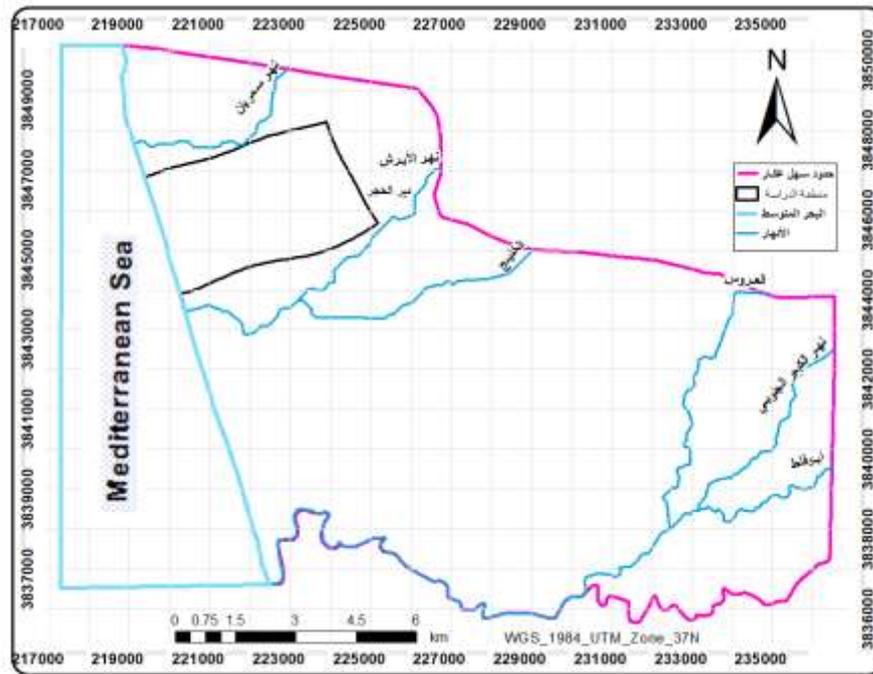
إنَّ منطقة البحث جزء من سهل عكار، تقع بين نهري الأبرش وسمريان تبلغ مساحتها (15) km^2 تعاني من ارتفاع مناسيب المياه الجوفية وخاصة على الشريط الساحلي، فكان من الضروري البحث عن الحل الأمثل لصرف المياه الجوفية الحرة الزائدة، وإدارتها، والتنبؤ بالتغيرات المستقبلية باعتماد التقانات الحديثة.

أهمية البحث وأهدافه:

تأتي أهمية هذا البحث من ضرورة إيجاد الطرائق المثلى لإدارة موارد المياه الجوفية الحرة المتاحة من خلال حساب الموازنة المائية لها، واختيار الحل الأمثل لصرف المياه الجوفية الحرة الزائدة ضمن جزء من سهل عكار، وذلك باعتماد التقانات الحديثة التي تعتمد النماذج العددية الرياضية في محاكاة نظام المياه الجوفية، الأمر الذي يسمح بإدارة هذه الموارد، والتنبؤ بالتغيرات المحتملة عليها تبعاً لسيناريوهات الصرف المقترحة.

1. موقع منطقة البحث The site of research area

تقع منطقة الدراسة في الجزء الشمالي الغربي من سهل عكار، وتتنحصر ضمن الإحداثيات التالية: 3844000، 3849000 شمالاً و219000 و225000 شرقاً حسب نظام الإسقاط العالمي UTM حيث تبلغ مساحة المنطقة حوالي 15 km² يحدها من الغرب البحر المتوسط، ومن الشرق بلدة دير الحجر، ومن الجنوب مجرى نهر الأبرش ومن الشمال مجرى نهر سمريان. تتراوح الارتفاعات الطبوغرافية بين الصفر على طول الشاطئ بالمنطقة الغربية وترتفع إلى حوالي 40 متراً فوق منسوب سطح البحر بالمنطقة الشرقية الشكل (1).



الشكل (1). موقع منطقة البحث

طرائق البحث ومواده:

اعتمدنا برنامج GMS – Groundwater modeling system، وهو أحد البرامج الحديثة المتطورة التي تعطي دقة كبيرة في التقويم الكمي لظروف حركة المياه الجوفية، والتنبؤ بالتغيرات المتوقعة خلال فترات زمنية طويلة. حيث يقوم برنامج الـ GMS بالعديد من النماذج كتمثيل سطح الوحدات الجيولوجية، العناصر المنتهية ثلاثية الأبعاد وإدخال بيانات الآبار، وتصدير بيانات من المسح الجيوفيزيائي، وإنشاء نماذج ثلاثية الأبعاد للوضع الستراتيغرافي ومقاطع عرضية، وغيرها من الأغراض التي تفيد النمذجة العددية [13].

تعتمد طريقة الفروق المنتهية على أساس تقسيم مسبق للطبقة الحاملة إلى شبكة خلايا، وتنشأ المعادلة الحاكمة لجريان المياه الجوفية خلال الوسط المسامي، التي يجب حلها من اعتبارات الاستمرارية وانحفاظ الطاقة وقانون دارسي لحركة المياه الجوفية.

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

حيث: K_{xx}, K_{yy}, K_{zz} : قيم الناقلية الهيدروليكية في الاتجاهات الثلاث x, y, z (LT^{-1})؛
 h : الضاغط الهيدروليكي (L)؛

W : حجم التغذية أو السحب من وحدة الحجم (T^{-1})؛

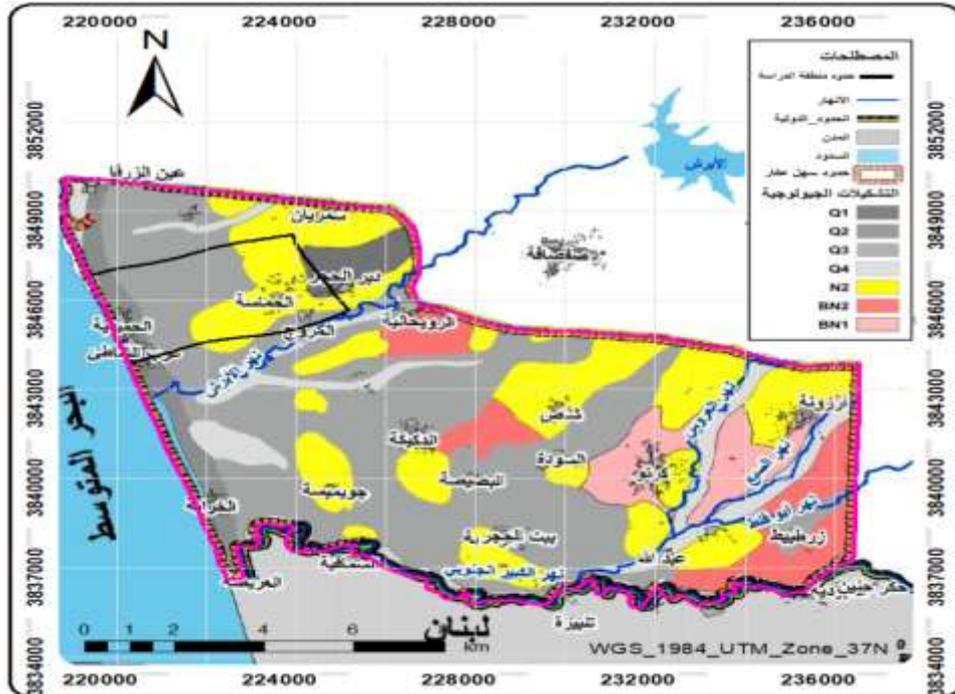
S_s : التخزين النوعي Specific Storage (L^{-1})؛

t : الزمن (T).

تمثل قيم الناقلية الهيدروليكية والتخزين النوعي، بالاتجاهات الثلاث x, y, z ؛ أي تابعة للمكان، ولحل هذه المعادلة لابد من تقسيم الطبقة الحاملة للمياه الجوفية إلى شبكة في الاتجاهات الثلاث، أما التغذية أو السحب والضاغط الهيدروليكي، فهما تابعان للمكان والزمان.

2. الخصائص الجيولوجية Geological Properties

إن منطقة الدراسة هي جزء من سهل عكار، يحدها من الشرق بلدة دير الحجر، وتتحد باتجاه الغرب وصولاً إلى البحر المتوسط، وحدودها الجنوبية مجرى نهر الأبرش والشمالية مجرى نهر سمريان تسود وتتكشف على السطح التوضعات الرباعية والنيوجينية الرسوبية والبازلت النيوجيني، التي تغطي عموماً الحجر الكلسي العائد للكريتاسي الأعلى المتكشف في الأطراف الشمالية والشمالية الشرقية لمنخفض عكار، كما هو مبين في المخطط الجيولوجي الشكل (2).



الشكل (2). خريطة التكتشفات الجيولوجية لمنطقة البحث

I - **توضعات الرباعي Quaternary**

التوضعات الرباعية تسود بشكل واضح على طول الشريط الساحلي متوافقة مع البنية الجيومورفولوجية مغطية التوضعات الأقدم العائدة للنيوجين غالباً والكريتاسي أحياناً، والتوضعات الرباعية في المنطقة تشمل: الرباعي الأسفل (Q1) والرباعي الأوسط (Q2) والرباعي الأعلى (Q3) و (Q4) البليستوسين والهولوسين. تتألف توضعات الرباعي من طبقات من الغضار الرملي والحجر الرملي، وتراوحت سماكة هذه التوضعات بين بضعة أمتار، ووصلت الى حوالي 25 متراً.

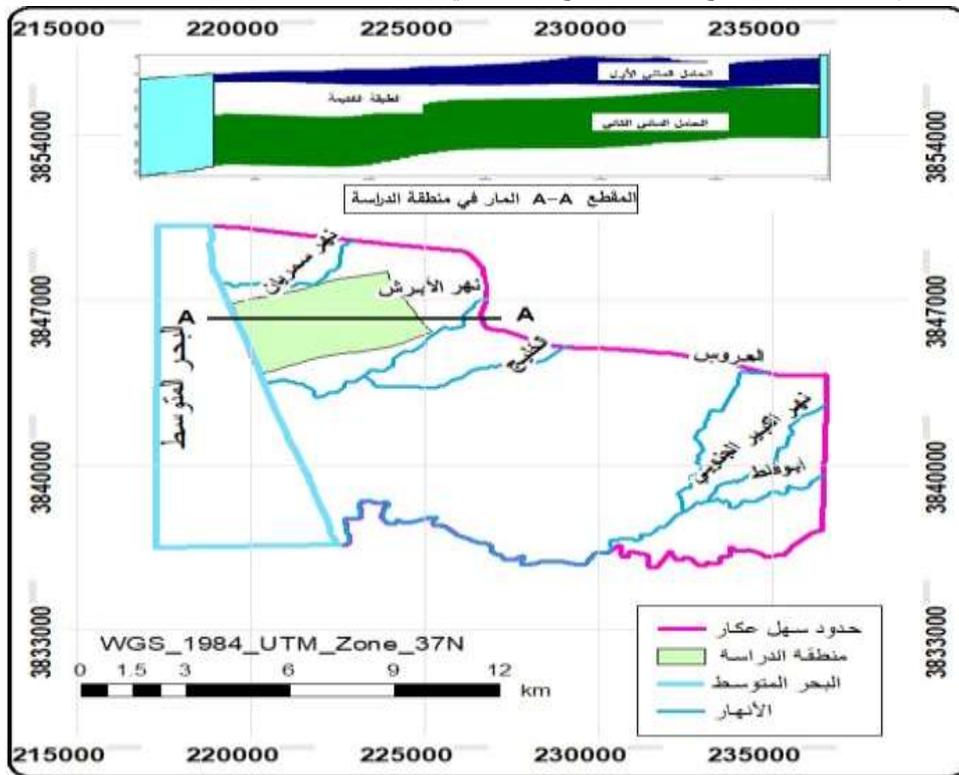
II - **توضعات النيوجين (N):**

تتألف توضعات النيوجين من مارل رملي رمادي اللون، وتراوحت سماكة هذه التوضعات بين بضعة أمتار، ووصلت الى حوالي 40 متر، وفق معطيات الآبار الاستكشافية التي تمت في إطار الدراسة المنفذة من قبل شركة الدراسات المائية لحوض الساحل، وتنتشر في الجزء الشمالي والأوسط من سهل عكار.

3. **الخصائص الهيدروجيولوجية Hydrogeological Properties**

يوجد حاملان مائيان في سهل عكار وهما الحامل الأول لتوضعات الرباعي والنيوجين والبازلت النيوجيني والحامل الثاني المؤلف من توضعات الكريتاسي الأعلى ولا يتكشف ضمن منطقة الدراسة، يفصل بينهما طبقة شبه كتيمة مؤلفة من توضعات الغضار اللاتيريتي والبازلت الشكل (3).

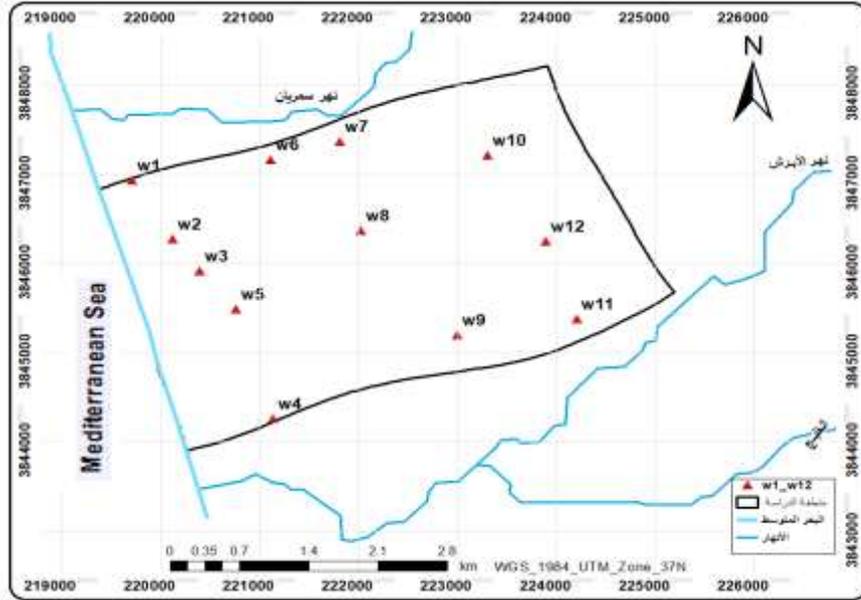
اقتصر هذا البحث على دراسة المياه الجوفية الحرة في جزء من سهل عكار، أي دراسة الحامل الأول لتوضعات الرباعي والنيوجين والبازلت النيوجيني، والذي تتراوح سماكته بين (20-50) m حسب معطيات الآبار الاستكشافية التي تمت في إطار الدراسة المنفذة من قبل شركة الدراسات المائية لحوض الساحل، وكما حُدِّت قيم الناقلية الهيدروليكية بين (3-45) m/day اعتماداً على نتائج تجارب الضخ المنفذة في توضعات منطقة البحث [12].



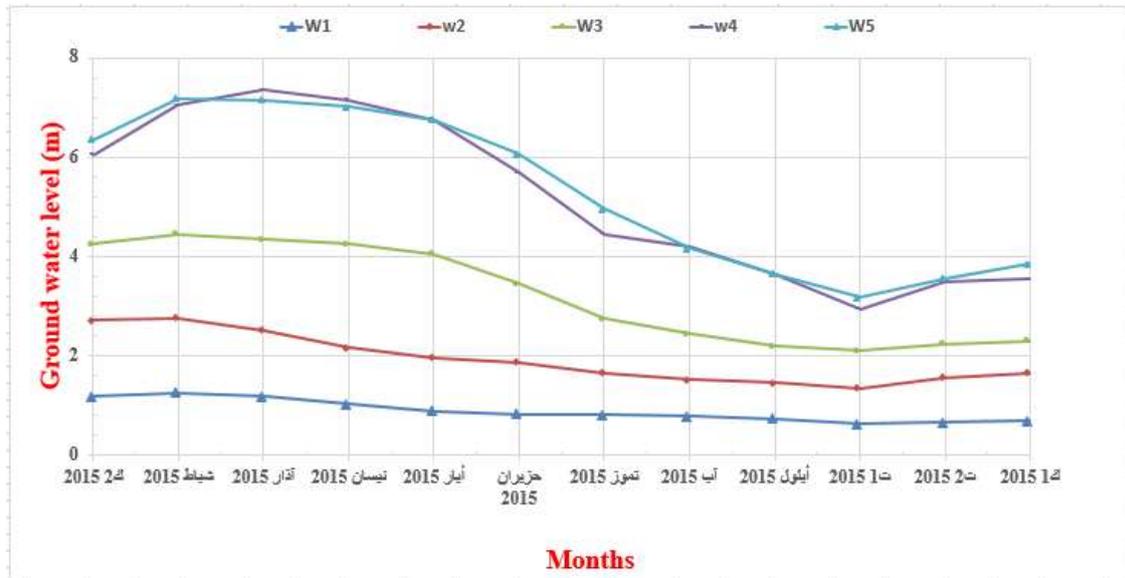
الشكل (3). مقطع عرضي في منطقة الدراسة

سنعتمد في دراستنا الجريان المستقر للمياه الجوفية لعدم وجود تغيرات كبيرة في مناسيب المياه خلال العام مقارنةً بسماكة الحامل الجوفي الحر.

يبين الشكل (4)، خارطة مواقع آبار المراقبة والشكل (5)، مخطط تغير مناسيب المياه الجوفية الحرة في بعض آبار المنطقة، حيث تراوحت هذه المناسيب في الأشهر الجافة (مثلاً تشرين الأول، 2015) ما بين (0.5-3) m أما في الأشهر الرطبة (مثلاً شباط، 2015) ما بين (1-7.5) m.



الشكل (4). خارطة مواقع آبار المراقبة في منطقة البحث



الشكل (5). مخطط تغير مناسيب المياه الجوفية الحرة لبعض آبار المنطقة المدروسة (ك 2-2015-ك 1-2015)

النتائج والمناقشة:

1- بناء النموذج الرياضي Building of the mathematical model

1-1- تصميم وتحليل عملية إدخال المعطيات

تتلخص عملية إدخال البيانات والمعطيات في منطقة البحث بالنقاط الآتية:

1. إعداد الخريطة الطبوغرافية وتحويلها إلى معطى رقمي باستخدام برمجيات GIS.
2. تصميم الشبكة Grid، باستخدام برنامج (GMS) وتحديد أبعاد خلايا شبكة النموذج.
3. إدخال بيانات آبار الصرف الشاقولي للأراضي الزراعية في منطقة الدراسة (إحداثيات-معدلات الصرف).
4. بيانات الضاغط في آبار المراقبة (البيزومتري)، ويتضمن الإدخال أيضاً إحداثيات هذه الآبار (x, y, z) والضاغط فيها تبعاً لزمّن القياسات المعتمد.
5. قيم الناقلية الهيدروليكية استناداً إلى تقييم تجارب الرش الحقلية وتجارب الضخ من الآبار المنفذة في منطقة المشروع.
6. الضواغط الابتدائية Initial Heads، وتحدّد من خلال إدخال مناسيب المياه الجوفية الحرة لآبار المراقبة خلال الفترة الحرجة (تشرين الأول 2015).
7. بيانات التغذية Recharge الناتجة من معدلات الري المعتمدة في المنطقة، حيث قُدّرت قيمة التغذية للحامل الأول من عمر الرباعي والنيوجين حوالي (0.00042) m/d بناءً على معطيات مشروع دراسة الموازنة المائية التفصيلية في حوض الساحل.
8. بيانات التبخر-نتح من سطح المياه والنباتات، حيث بلغت قيمة وسطي التبخر في الأشهر الجافة (من حزيران وحتى تشرين الأول) حوالي (120) mm/month اعتماداً على بيانات محطة زاهد المناخية المسجلة بين عامي (1997-2002) [11].

تم بناء النموذج انطلاقاً من الطبقات الآتية:

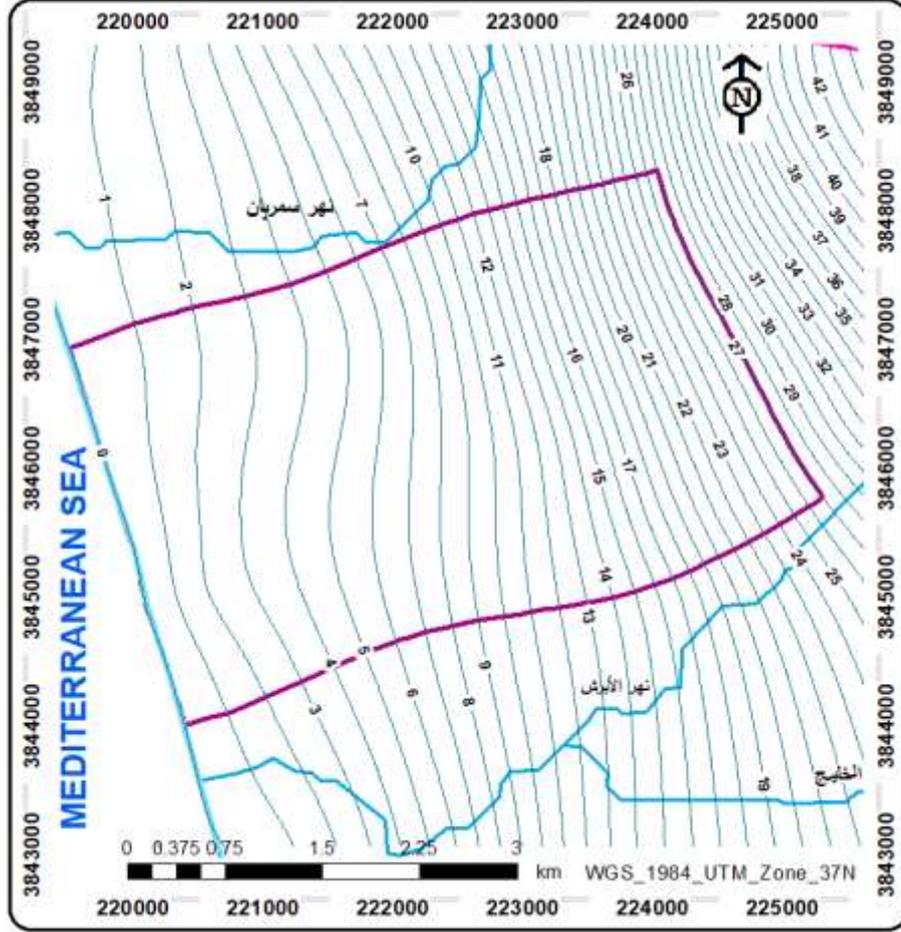
- طبقة تمثل الحدود المائية لجزء من سهل عكار.
- طبقتان طبوغرافيتان (منسوب أعلى الطبقة (الأرض الطبيعية)، منسوب أسفل الطبقة).
- طبقة تمثل عوامل الناقلية المائية للطبقة المشكّلة للنموذج.
- طبقة معدلات الضخ من آبار الصرف الشاقولي.
- طبقة معدلات التغذية الراشحة من مياه الري.
- طبقة التبخر-نتح من سطح المياه والنباتات.

1-2- الشروط الحدية والابتدائية Boundary and initial conditions

إنّ الشروط الحدية والابتدائية تقدّم معلومات عن الحالة الفيزيائية للعملية المعطاة للحصول على الحل المميّز للمعادلة التفاضلية الجزئية Partial differential equation. فمن أجل مسائل الحالة المستقرة، تُطلب الشروط الحدية فقط، بينما في المسائل المتغيرة مع الزمن، يجب تحديد كلّ من الشروط الحدية والأولية [14، 15].

يوجد نوعان من الحدود الخارجية للنموذج: فيزيائية (طبيعية)، وهيدروليكية (اصطناعية). تُعيّن الحدود الطبيعية تماماً بالعناصر الجيولوجية والهيدرولوجية، التي تؤثر دوماً في شكل جريان المياه الجوفية. وتُستنتج الحدود الهيدروليكية من شبكة جريان المياه الجوفية Groundwater flow net، وبناءً على ذلك يضع مصمّم النموذج الحدود "الاصطناعية" له. [16].

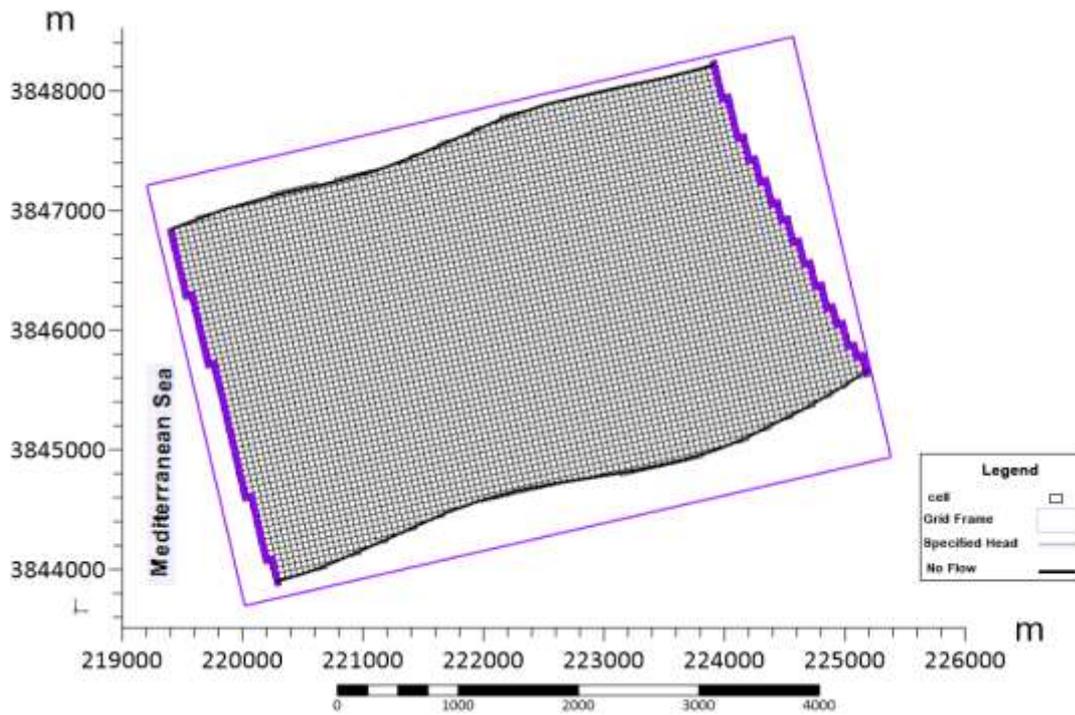
تمثل الحدود الهيدروليكية لمنطقة البحث بالضاغط الثابت $H = \text{const} = 0$ والذي يمثله خط البحر المتوسط من الغرب والضاغط الثابت (27) m من الجهة الشرقية، وخطي جريان No Flow من الجهة الشمالية والجنوبية، والموضحة في خريطة مناسيب المياه الجوفية الحرة المقيسة خلال الفترة الجافة في شهر تشرين الأول 2015 الشكل (6).



الشكل (6). خريطة مناسيب المياه الجوفية الحرة (تشرين الأول 2015)

3-1- شبكة النموذج Model Grid

استناداً إلى حدود منطقة البحث، لا توجد مناطق معرضة لاستثمارات كثيفة، وتبعاً للهدف من نمذجة نظام المياه الجوفية في منطقة البحث، أُعدت شبكة النموذج مستطيلة الشكل، أبعادها 3.6×5.5 كم. تتألف من 7920 خلية، بأبعاد 50×50 م لكل خلية، عامل الشكل لها 1 الشكل (7).



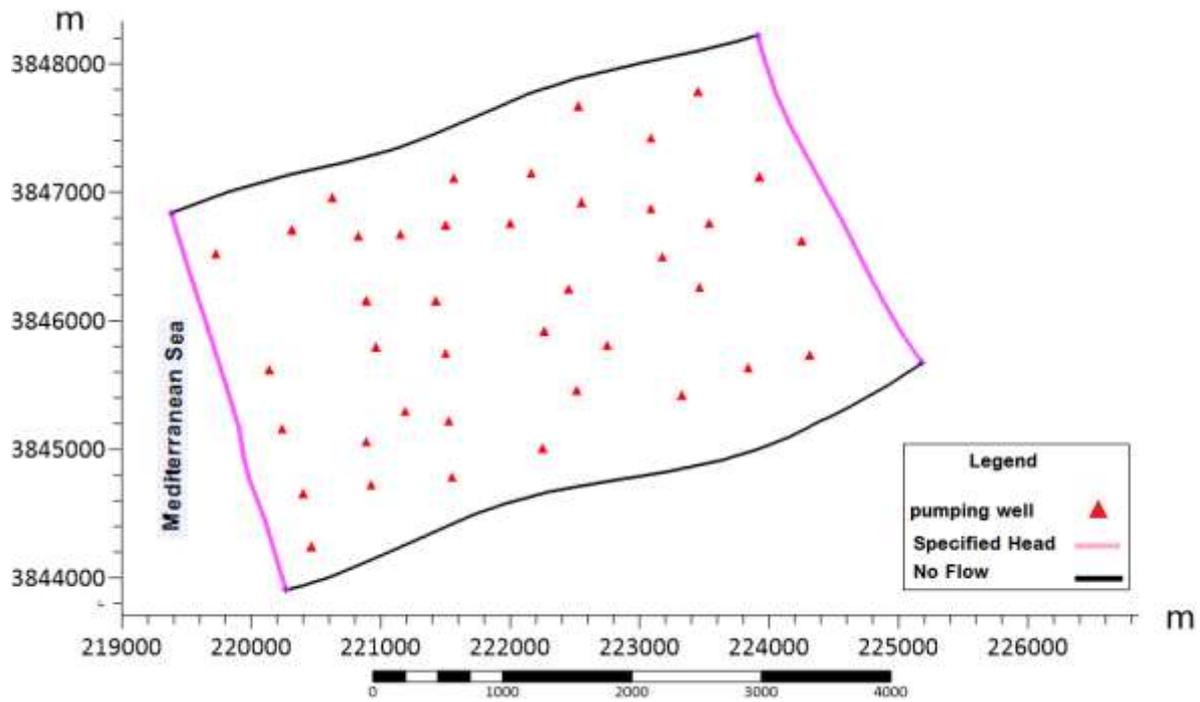
الشكل (7). الشروط الحدية والابتدائية وشبكة الفروق المنتهية في منطقة البحث.

4-1-1 تصميم النموذج Model Design

تضمّنت عملية تصميم النموذج إدخال المعطيات للطبقات التالية:

❖ طبقة التغذية والصرف Source & Sinks Coverage

تمّ نمذجة حدود الضاغط الثابت specified head boundaries، بواسطة نموذج Modflow بإدخال قيم الضاغط الحقيقي في عُقد حدّ الضاغط الثابت، أي في البحر المتوسط الذي يحد المنطقة من الغرب وفي خط الضاغط (27) الذي يحد المنطقة من الشرق، وتم إدخال شبكة آبار الضخ المحلية (آبار الأهالي) المنتشرة في منطقة البحث والبالغ عددها 40 بئراً، وتراوح تصريفها بين $2-7 \text{ m}^3/\text{d}$ ، تبعاً للغاية من استخدامها الشكل (8).

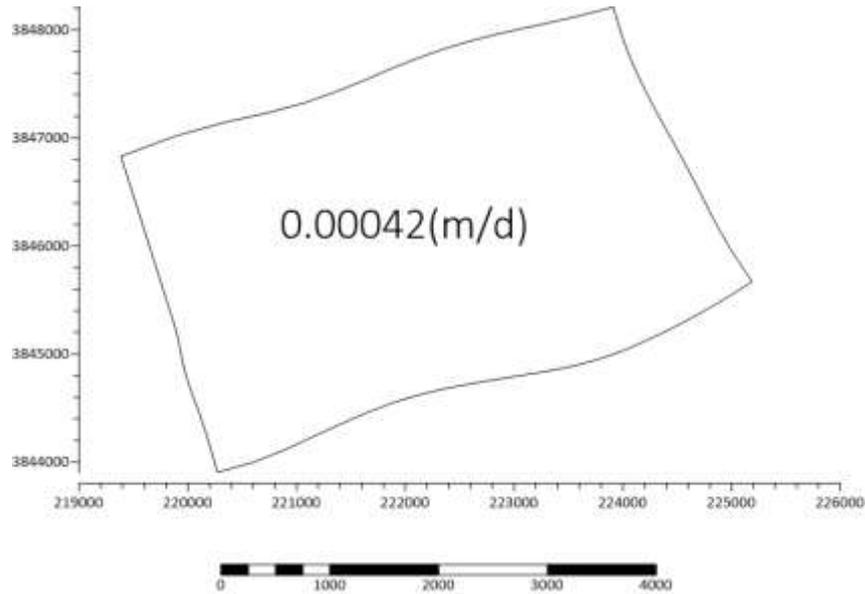


الشكل (8). طبقة التغذية- الصرف - Sources/ Sinks Coverage

❖ طبقة التغذية المساحية Recharge Coverage

بينت الدراسات والتحريات الهيدروجيولوجية التي تمت من قبل شركة الدراسات المائية لحوض الساحل، بأن كمية مياه الري السطحية من الأنهار والسدود والتي تروي أراضي سهل عكار تقدر بحوالي 90 مليون م³ في العام والراشح منها إلى طبقة المياه الحرة يقدر بحوالي 23.4 مليون م³ في العام، كما تم استخدام معطيات محطة زاهد الليزيمترية لتقدير كمية الراشح من مياه الري إلى المياه الجوفية، فكانت قيمة وسطي الراشح حوالي 26%، وتم تعميم هذه القيمة على منطقة الدراسة [12].

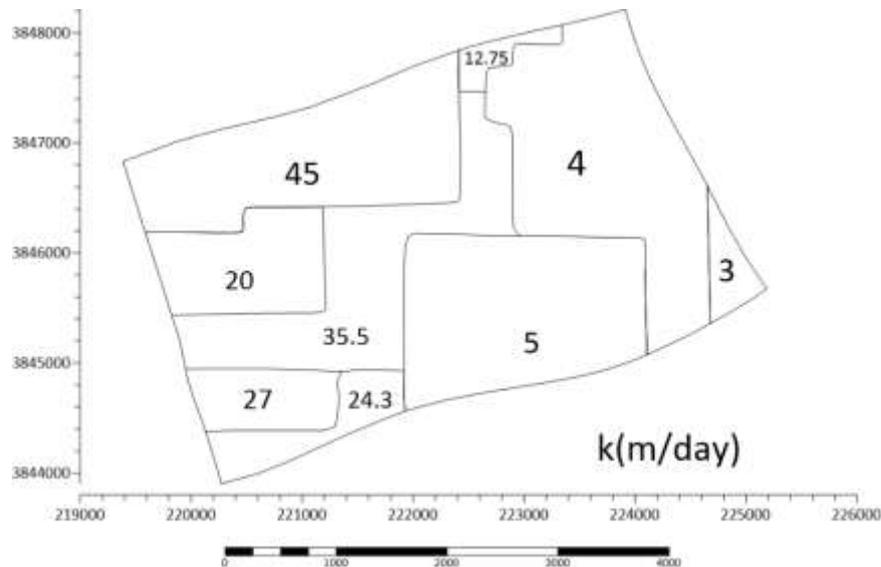
اعتماداً على ما سبق، حُمّلت قيمة التغذية من مياه الري كقيمة ثابتة على كامل منطقة الدراسة، بلغت (0.00042) m/d الشكل (9). لم يتم الأخذ بالحسبان الراشح من مياه الأمطار وذلك لأن النموذج تم بناؤه في الفترة الحرجة (تشرين الأول 2015) وهي تعتبر فترة جافة لا يوجد فيها هطول مطري.



الشكل (9). شريحة التغذية المساحية Recharge Coverage

❖ طبقة الناقلية الهيدروليكية Hydraulic Conductivity Coverage

حُدِّت قيم الناقلية الهيدروليكية اعتماداً على نتائج تجارب الضخ المنفذة في توضعات منطقة البحث. فقد حددنا تسع مضلعات لقيم الناقلية الهيدروليكية الشكل (10)، والتي تتراوح بين 3-45) m/day، جرى تدقيقها بعملية معايرة النموذج.

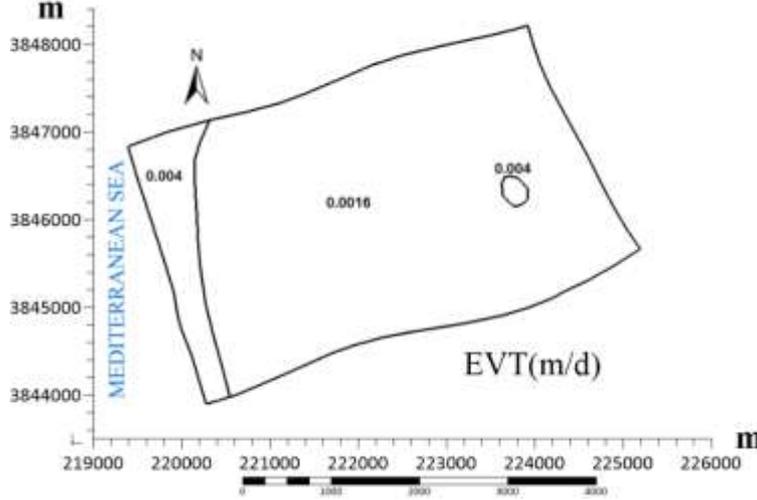


الشكل (10). شريحة عامل الرشح Hydraulic Conductivity Coverage

❖ طبقة التبخر - نتح Evapotranspiration Coverage

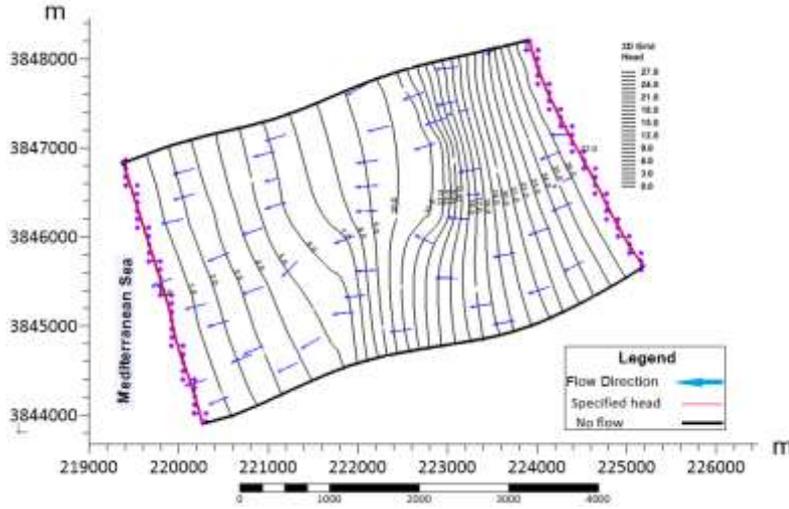
استناداً إلى نتائج القياسات في محطة زاهد المناخية خلال الفترة 1997-2002، بلغ المتوسط الشهري للتبخر في الفترة الجافة (من حزيران وحتى تشرين الأول) حوالي 120) mm [11].

تمّ تحديد ثلاث مضلعات لقيم التبخر-نتح من سطح المياه الجوفية والنباتات المنتشرة في منطقة البحث، حيث بلغت قيمة التبخر في المناطق التي تتراوح أعماق المياه الجوفية فيها من (0-2) m حوالي (0.004) m/d، وبلغت (0.0016) m/d في المناطق التي تبلغ أعماق المياه الجوفية فيها أكثر من (2) m ، الشكل (11).



الشكل (11). شريحة التبخر - نتح Evapotranspiration Coverage

بعد إدخال معطيات كافة الطبقات، تم تشغيل النموذج في حالة الجريان المستقر، فحصلنا على خارطة مناسبة المياه الجوفية قبل المعايرة الشكل (12).



الشكل (12). خطوط تساوي مناسيب المياه الجوفية (m) في الطبقة الحرة- قبل المعايرة

يتضح من الشكل السابق أن مناسيب المياه الجوفية الحرة تتراوح بين (0-27) m بميل بين (0.0027-0.011)، وحركة المياه الجوفية من الشرق إلى الغرب باتجاه البحر المتوسط بشكل عام.

2- المعايرة Calibration

تهدف عمليات معايرة النموذج إلى تقليل الفروق بين القيم المُراقَبة والمحسوبة إلى أدنى قيمة ممكنة. وتزداد دقة النموذج الرياضي، بزيادة فترة المعايرة [17].

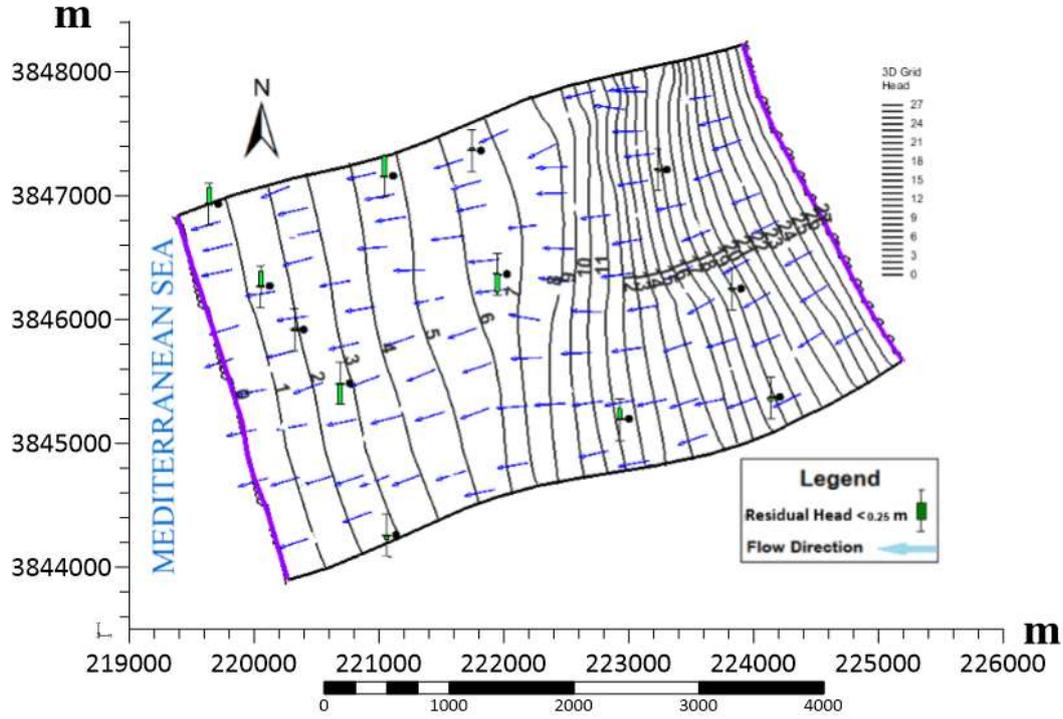
تمت معايرة النموذج لحالة الجريان المستقر بالاعتماد على طريقة التجربة والخطأ (اليديوية) Trial and error في شهر تشرين الأول من عام 2015، وهي فترة المناسب المنخفضة للمياه الجوفية ضمن ظروف تغذية وصرف حقلية محدودة، وجرى تحديد أخطاء النموذج ومصدرها، وبعد معالجة هذه الأخطاء، وإعادة التشغيل والمعايرة من جديد عند تدقيق كل خطأ في النموذج، وتكرار هذه العملية حتى الوصول إلى أفضل تطابق ممكن مع نتائج القياسات الحقلية لا تتعدى الفروق (0.25) m أي أنّ النموذج المعايير حافظ على الضواغط واتجاه حركة جريان المياه الجوفية باتجاه الغرب الشكل (12)، وتم وضع خريطة توضع أعماق المياه الجوفية المحسوبة من النموذج المعايير الشكل (14)، مع التركيز على أعماق المياه الجوفية ذات القيمة الأقل من مترين، التي تشكل هدفاً لعملية الصرف التي ستقترح، وتم حساب الموازنة المائية الإجمالية ووصلت الاستثمارات من آبار الضخ إلى (190) m³/day، الجدول (1).

3- تحليل حساسية المعايرة Calibration Sensitivity Analysis

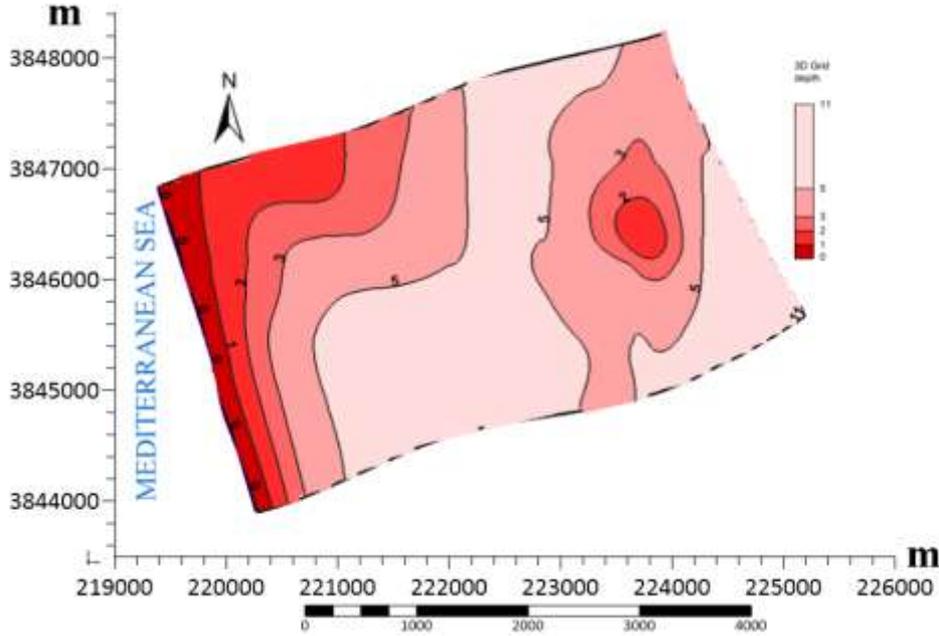
تفيد تجارب الحساسية في تقدير موثوقية النموذج، عندما يصعب جمع بيانات إضافية، كما أنّ فائدة معامل الحساسية تكون كبيرة في حالة جمع معطيات جديدة، ويساعد تقويم الأهمية النسبية لكل معامل هيدرولوجي على جِدّة، في تحديد البيانات المطلوب تعيينها بدقّة كبيرة، والبيانات التي تتطلّب أقل حدّ ممكن من التدقيق [18]. عند إجراء عمليات معايرة النموذج، كان واضحاً من خلال عمليات التشغيل الكثيرة للنموذج، أنّ حساسيته كبيرة لقيم عامل الرشح، إضافةً إلى ذلك فقد أبدى حساسية ضعيفة لمعدلات التغذية الراشحة من مياه الري.

الجدول (1). موازنة المياه الجوفية (m³/day) في منطقة الدراسة لشهر تشرين الأول 2015م

القيم الخارجة	القيم الداخلة	المركبة
190	-	آبار الصرف المحلية
5178.62	2739.9	الجريان الجوفي
-	6179.25	التغذية الراشحة من مياه الري
3550.53	-	التبخّر- نتح
8919.15	8919.15	الكمية الإجمالية
0		الفرق بين الداخل والخارج من المنطقة



الشكل (13). مناسيب سطح المياه الجوفية الحرة وفروقتها عن القيم المقيسة في نقاط المراقبة (معايرة النموذج لحالة الجريان المستقر).



الشكل (14). أعماق المياه الجوفية المحسوبة (m) من النموذج في منطقة الدراسة في شهر تشرين الأول 2015م

4- سيناريو الصرف الشاقولي في منطقة البحث

اعتماداً على خارطة أعماق المياه الجوفية المحسوبة من النموذج، وبعد عدة محاولات فقد اقترحنا حفر 23 بئراً للصرف الشاقولي، وضمن أماكن توزع الأعماق القليلة للمياه الجوفية، شرط أن تحقق هذه الآبار كفاءة عالية في تخفيض

مناسيب المياه الجوفية من حيث الناقلية المائية للطبقة الحاملة ومراعاة عدم تداخل مياه البحر مع المياه الجوفية وبتصاريف تتراوح بين $100-400 \text{ m}^3/\text{day}$ ، الجدول (2).

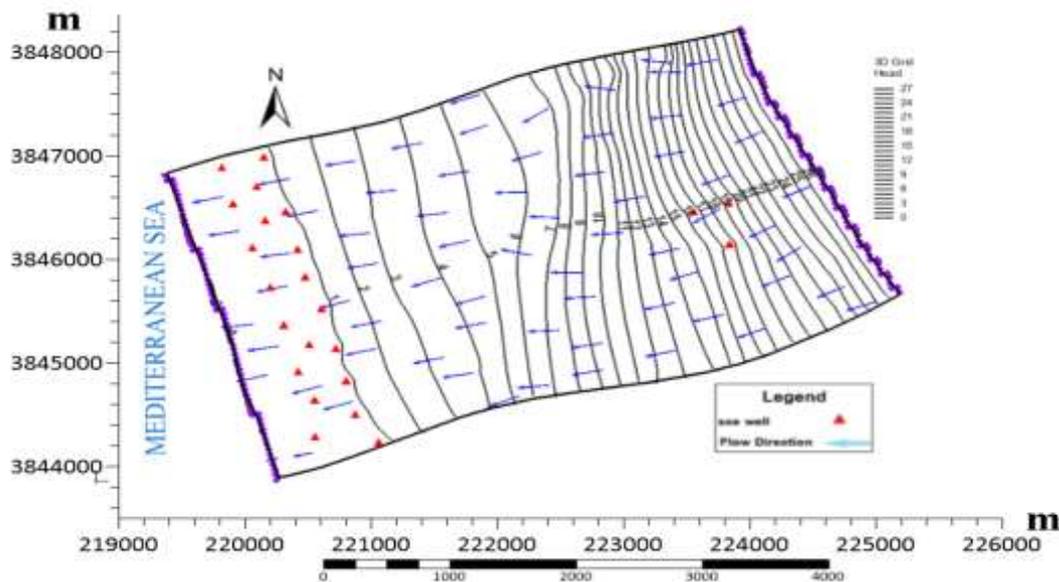
الجدول (2). إحصائية عدد آبار الصرف الشاقولي تبعاً لتصاريفها.

التصريف (m^3/day)	عدد الآبار
400	12
100	11

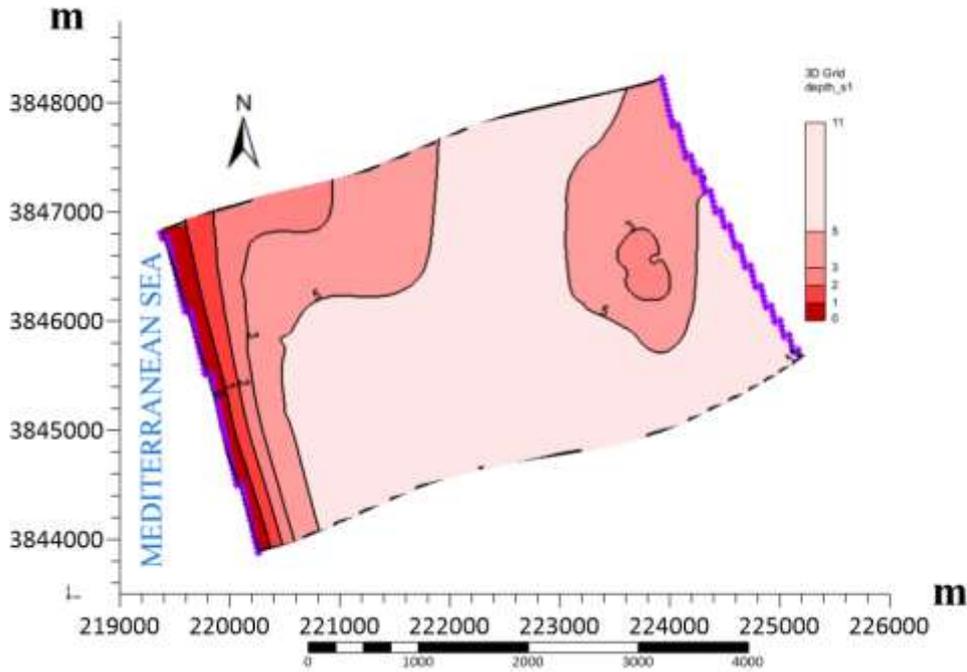
نتج عن سيناريو آبار الصرف الشاقولي في منطقة البحث، خارطة مناسيب جديدة للمياه الجوفية الشكل (15)، وبالتالي أعماق جديدة للمياه الجوفية الشكل (16)، بالإضافة إلى خارطة توزع هبوط المياه الجوفية الشكل (17). والموازنة المائية للسيناريو المقترح للصرف الشاقولي الجدول (3).

الجدول (3). موازنة المياه الجوفية (m^3/day) لسيناريو الصرف الشاقولي في شهر تشرين الأول 2015م

القيم الداخلة	القيم الخارجة	المركبة
-	6090	آبار الصرف المحلية والمقترحة
2884.05	829.7	الجريان الجوفي
6179.25	-	التغذية الراشحة من الري
-	2143.6	التبخّر- نتح
9063.3	9063.3	الكمية الإجمالية
0		الفرق بين الداخل والخارج من المنطقة

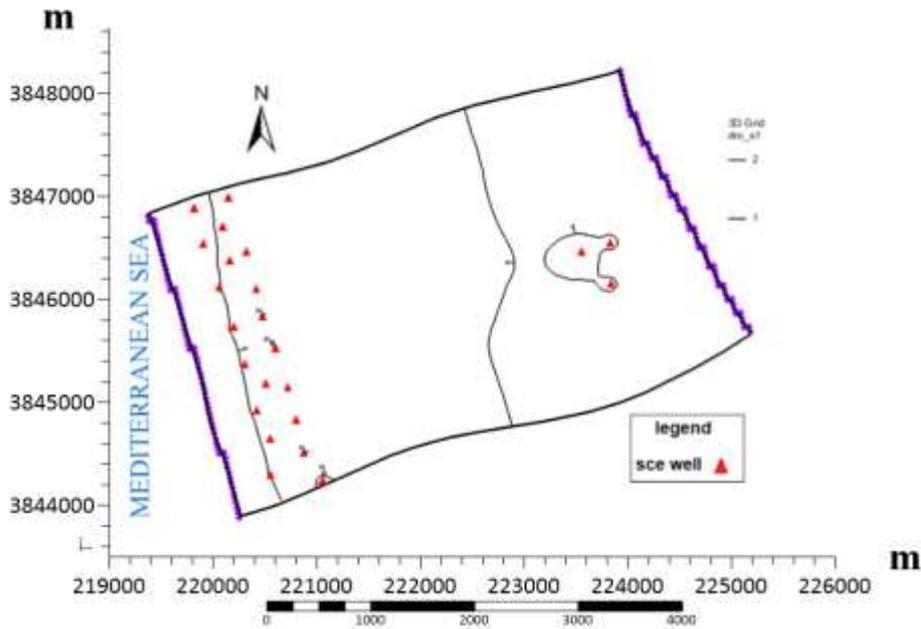


الشكل (15). خطوط تساوي مناسيب المياه الجوفية (m) في الطبقة الحرة للسيناريو الأمثل.



الشكل (16). أعماق المياه الجوفية (m) لسيناريو الصرف الشاقولي المقترح في منطقة الدراسة لشهر تشرين الأول 2015م

أوضحت خارطة أعماق المياه الجوفية بعد تنفيذ سيناريو الصرف الشاقولي المقترح، أن أعماق المياه الجوفية أكبر من 2م في معظم منطقة البحث، وتتراوح هذه الأعماق بين (0-2) م على الشريط الساحلي على خط الشاطئ.



الشكل (17). توزيع هبوط سطح المياه الجوفية (m) للسيناريو الأمثل.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

- تتراوح مناسيب المياه الجوفية خلال عام المعايرة 2015 بين (0-27) m، بدءاً من خط الشاطئ أما أعماقها فتتراوح بين (1-11) m .
- يسهم الصرف الشاقولي بشكل فعال في حل مسألة صرف المياه الجوفية الزائدة، من خلال حفر 23 بئراً تامةً بتصاريح تتراوح بين (100-400) m³/day.
- تتوضع المياه الجوفية على أعماق أكثر من (2) m في معظم منطقة الدراسة، بعد تنفيذ سيناريو آبار الصرف الشاقولي، عدا مساحة صغيرة على طول خط الشاطئ، يقترح استثمارها بزراعة الخضروات.

التوصيات:

- صيانة شبكات الصرف المنفذة في منطقة الدراسة لزيادة فعاليتها.
- تطبيق الإدارة المتكاملة للموارد المائية الجوفية المتاحة في منطقة الدراسة.
- التدقيق الحقلية لمواقع آبار الصرف الشاقولي المقترحة في الحل، مع مراعاة عدم تداخل مياه البحر مع المياه الجوفية.

References:

1. AHMAD, M.; ALASSAD, A. *Evaluation of the Hydrogeological Conditions of the Unconfined Aquifer in the Coastal Plain of AL-Huseen Basin*. Tishreen University Journal for scientific research, Basic Science Series. Volume (44), issue (2), 2022. (In Arabic)
2. MOTAWEG, H.; SABBOUH, H.; JAFAR, R.; AWAD, A. *Assessment the Quantity and Quality of Un confined Aquifer Resources Located Between Al-Sanawbar and Al-Kabir Al-Shimali Rivers*. Tishreen University Journal for scientific research, Basic Science Series. Volume (42), issue (4), 2020. (In Arabic)
3. MENDE, A.; ASTORGA, A.; NEUMANN, D. *Strategy for groundwater management in developing countries: A case study in northern Costa Rica*. Journal of Hydrology (2007) 334, 109– 124. www.elsevier.com/locate/jhydrol (3/1/2013).
4. HASSAN, N.; KOTB, A.; HAGRAS, M. *Dewatering using groundwater modelling in Al-Fustat area, Old Cairo, Egypt*. Ain Shams Engineering Journal 3, 2012, PP. 349–358.
5. HAYEK, SH. *The Optimal Solution of Drainage the Excess Groundwater In the 7th Sector of the Lower Euphrates Basin-Syria*. Tishreen University Journal for scientific research, Basic Science Series. Volume (34), issue (2), 2012. (In Arabic)
6. HAYEK, SH. and ABDULRAHMAN, A. *Assessment of the Hydrogeological Conditions in the 7th Sector of the Lower Euphrates Basin – Syria*. Tishreen University Journal. 6, 9-27, 2012. (In Arabic)
7. ALASAAD, A.; ABDULRAHMAN, A. *Estimating of Groundwater Resources at Euphrates Low Valley- 3rd Sector*. Tishreen University Journal Tishreen University Journal for scientific research, Basic Science Series. Volume (34), issue (1), 2012. (In Arabic)
8. FUZHONG, Z.; XUEDI, Z. *Numerical Simulation of the Groundwater in Bulang River-Red Stone Bridge Water Source*. Procedia Environmental Sciences, Vol. 8, 2011, pp. 140-145.
9. YANXUN, S.; XUEDI, Z. *Research and Application of Groundwater Numerical Simulation-A Case Study in Balasu Water Source*. Procedia Environmental Sciences, Vol. 8, 2011, pp. 146-152

10. ALASAAD, A.; IBRAHIM, A.; ALAELDIN, M. *The Rise of Groundwater –Table due to The Influence of The Surface Irrigation in The Al -Kabir Al-Shamali Irrigation Project*. Tishreen University Journal for scientific research, Basic Science Series. Volume (23), issue (10), 2001, pp 9-17. (In Arabic)
11. HAYEK, SH. *The Hydrogeological changes and the development and guiding exploitation of groundwater resources, between AL-Kaber AL-Janoubi and AL-Abrash rivers*. Department of water Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University: Syria, 2004. (In Arabic)
12. Aksad in cooperation with the General Authority for Water Resources in Damascus, and the General Company for Water Studies in Homs. Project for a detailed water budget study in the coastal basin, Akkar, 2015. (In Arabic)
13. Mary P. ANDERSON, William W. WOESSNER, *Applied Groundwater modeling, Simulation of flow and advective transport*, U.S.A, 1992, 341.
14. DELLEUR, W, J. *The Handbook of Groundwater Engineering*. Taylor & Francis Group, 2007, 1342.
15. RUSHTON, K . *Groundwater Hydrogeology Conceptual & Computational Models*. Antony Rowe Ltd: Great Britain.2003.
16. KRESIC, N. *Hydrogeology and Groundwater Modeling 2d Ed*. Taylor & Francis Group, U.S.A, 2007, 807.
17. TODD, David K.; MAYS, Larry W. *Groundwater Hydrology*, 3rd edition, U.S.A, 2005, 636.
18. THE HANDBOOK OF GROUNDWATER ENGINEERING. 2nd ed. Edited by Jacques W. Delleur. Taylor G. P. Kruseman; N. A. de Ridder. Analysis and Evaluation of Pumping Test Data. Amsterdam 2000, 377.