

Building a mathematical model for the free groundwater Resources of the plain area in the lattakia basin

Nedaa Saedallah Rajab

Ahmed Mohammed

Faculty of Science || Tishreen University || Syria

Sharif Hayek

Faculty of Civil Engineering || Tishreen University || Syria

Abstract: The results of the stratigraphic modeling of the study area showed that the stratigraphic formations constitute a hydrogeological system that is hydrodynamically linked to each other represented by a water layer with a free underground flow.

The results of the mathematical model that was built for the region also showed that the high values of the leaching factor were concentrated in the northern and central part of the research area, where the faults were located, the difference between the input values and the calibration results in most areas of the hydraulic conductivity distribution of the layer did not exceed 10%. The water resources in the northeastern part of the study area are of good quality, large quantities, and easy to invest, with a total intake of (134607.3) m³/day. The thickness of the carrier ranged about 50 m in the northern section and increased towards the area of the falcon band within the course of the Arab River to reach about 125 m. As for the thickness of the carrier in the southern section, it ranged between (75 – 60) m. the groundwater system in the study area is stable, and the largest part of the amount of water resources formed in the region to the lateral inflow of the ground and amounted to about 90% of total value of the resources.

Keywords: water Resources Management, aquifer, Mathematical Model, MODFLOW, GMS

بناء نموذج رياضي لموارد المياه الجوفية الحرة للمنطقة السهلية في حوض اللاذقية

نداء سعدالله رجب

أحمد محمد

كلية العلوم || جامعة تشرين || سوريا

شريف حايك

كلية الهندسة المدنية || جامعة تشرين || سوريا

المستخلص: أظهرت نتائج النمذجة الستراتيغرافية لمنطقة الدراسة أن التشكيلات الستراتيغرافية تشكل منظومة هيدروجيولوجية مرتبطة هيدروديناميكياً مع بعضها البعض تتمثل بطبقة مائية واحدة ذات جريان جوفي حر. كما بينت نتائج النموذج الرياضي الذي تم بناؤه للمنطقة أن القيم العالية لعامل الرشح تركزت في الجزء الشمالي والأوسط من منطقة البحث، وكان وجود الفوالق ولم يتجاوز الفرق بين قيم المدخلات ونتائج المعايرة في معظم مناطق توزع الناقلية الهيدروليكية للطبقة 10%. الموارد المائية في القسم الشمالي الشرقي من منطقة الدراسة ذات نوعية جيدة وكمياتها كبيرة وسهلة الاستثمار حيث بلغ إجمالي الوارد (134607.3) م³/يوم، تراوحت سماكة الحامل حوالي (50م) في القسم الشمالي وتزداد باتجاه منطقة النطاق الفالقي ضمن مجرى

نهر العرب لتصل إلى حوالي (125م) أما بالنسبة لسماكة الحامل في القسم الجنوبي تراوحت بين (75 - 60م) ونظام المياه الجوفية في منطقة الدراسة مستقر ويعود القسم الأكبر من كمية الموارد المائية المتشكلة في المنطقة إلى الوارد الجانبي الجوفي وبلغت نسبته حوالي (90%) من القيمة الإجمالية للموارد.

الكلمات المفتاحية: إدارة الموارد المائية، طبقة مياه جوفية حرة، النموذج الرياضي، MODFLOW، GMS.

مقدمة.

تمتاز المياه الجوفية بأهمية خاصة بين الموارد المائية الطبيعية، لأن دراستها وتحليل نتائجها واستثمارها في المجالات المختلفة (الزراعية، الصناعية، مياه شرب) يتطلب معرفة كافية بأشكال توزيعها وحركتها وما يرافق تطورها نتيجة للتفاعلات الكيميائية المحتملة خلال رحلتها ضمن التشكيلات الليتولوجية المختلفة. لهذا فإن التطور اللاحق للمياه يتحدد بنمط الصخور الحاملة للمياه وبطبيعة العلاقة الهيدروجيولوجية بين الحوامل المائية المختلفة [1,2,3]. حيث تتعرض أنظمة الجريان المعقدة والمختلفة وذات الحدود المتنوعة وغير المنتظمة إلى إجهادات مختلفة مثل الهطل المطري، الجريان السطحي، الوارد الجانبي، وتتلقى تغذية من المياه السطحية، وتنصرف بالضح من الآبار، في هذه الجريانات من الأفضل حسابها باستخدام النماذج العددية للحصول على حلول سريعة وأكثر دقة، تسمح بوضع تصور مستقبلي لتطور نظام الجريان المدروس [4].

تمثل نمذجة المياه الجوفية في بعض أشكالها حالياً القسم الأكبر من معظم المشاريع التي تتعامل مع تطوير إدارة المياه الجوفية ومعالجتها. ومع استمرار التطور الذي تشهده كل من برمجيات الحاسب وعتاده لتصبح أكثر فاعلية، سيزداد دور النماذج وبشكل رئيسي في علوم الأرض الكمية ليوأكب ذلك التطور [5].

ولقد وفر تطور البرمجيات في العقود الماضية أدوات قوية لبناء وتصور نماذج ثلاثية الأبعاد في مناطق مختلفة في وقت قصير، وتقديم معلومات شاملة حول ما تحت سطح الأرض في المناطق المعقدة جيولوجياً [6].

اعتمدنا نموذج MODFLOW من برنامج GMS-Groundwater Modeling System لمحاكاة نظام المياه الجوفية وهو من أكثر نماذج محاكاة حركة المياه الجوفية انتشاراً في العالم يعتمد الجريانات الجوفية ثلاثية الأبعاد باستخدام طريقة الفروق المنتهية، حيث أنه يعطي دقة كبيرة في التقويم الكمي لحركة المياه الجوفية، والتنبؤ بالتغيرات المتوقعة خلال فترات زمنية طويلة، إضافة لقدرته على تمثيل الخصائص الجيولوجية والهيدروجيولوجية للطبقات الحاملة للمياه الجوفية بكفاءة عالية وإمكانية عرض التوزيع المكاني (الأفقي والشاقولي) للتشكيلات الاستراتيجية والبنيات الجيولوجية للمنطقة المدروسة [7,8,9].

مشكلة البحث:

الحاجة المتزايدة للموارد المائية في تلك المنطقة بسبب ارتفاع معدل النمو السكاني والصناعي والتغيرات المناخية التي تشهدها المنطقة، وغياب الإدارة الرشيدة لاستثمارها ولم تحدد بدقة سماكة التشكيلات في كافة أرجاء المنطقة وتغير ليتها مع العمق، ولم يتم بناء أي نموذج لمحاكاة نظام المياه الجوفية لتلك المنطقة.

تأتي أهمية البحث من ضرورة إيجاد الطرائق المثلى لاستثمار وإدارة موارد المياه الجوفية المتاحة ضمن المنطقة السهلية من حوض اللاذقية وذلك باعتماد التقانات الحديثة التي تعتمد النماذج العددية الرياضية في محاكاة نظام المياه الجوفية، الأمر الذي يسمح بإدارة هذه الموارد من الناحية الكمية والنوعية، والتنبؤ بالتغيرات المحتملة عليها تبعاً لسيناريوهات الاستثمار المستقبلية المقترحة.

وبالتالي يهدف هذا البحث إلى بناء نموذج استراتيجي ثلاثي الأبعاد للتشكيلات الاستراتيجية والبنيات الجيولوجية في منطقة السهل الساحلي في حوض اللاذقية، وهذا غاية في الأهمية لتصور وفهم أفضل للطبقات

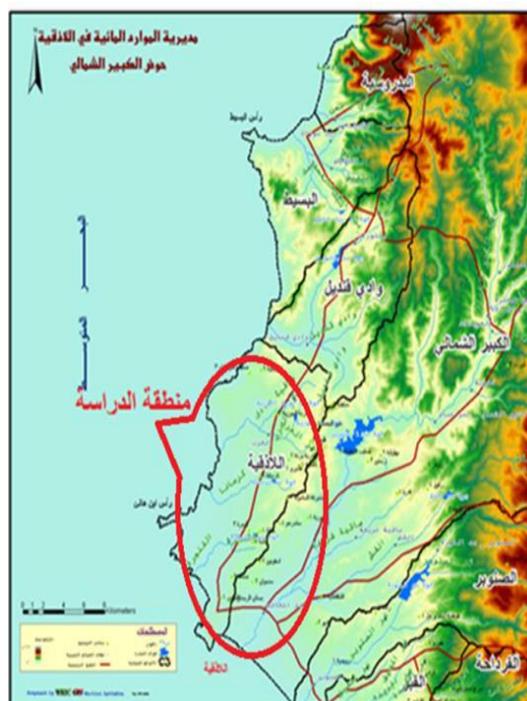
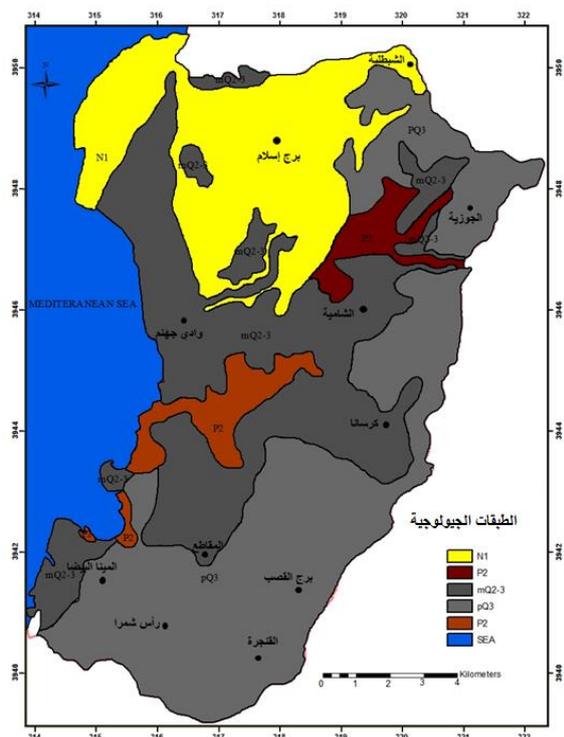
الحاملة للمياه الجوفية في تلك المنطقة (الرباعية والنيوجينية والباليوغينية). ومن ثم بناء نموذج رياضي لحركة المياه الجوفية في المنطقة بعد تطوير النموذج الاعتراري ومعايرته تمهيداً لوضع سيناريوهات الاستثمار والخطط المستقبلية للموارد المائية الجوفية وتحديد مركبات الموازنة المائية.

الخصائص الطبيعية لمنطقة الدراسة (حوض اللاذقية)

يعد الجزء السهلي من حوض اللاذقية (منطقة الدراسة) جزءاً من حوض الساحل الذي يقع شمال مدينة اللاذقية بين شاطئ البحر والطريق العام الواصل من مدينة اللاذقية إلى كسب، بين خط عرض $35^{\circ}35'$ / ، 35° / $42'$ شمالاً وخط طول $35^{\circ}46'$ / ، $35^{\circ}53'$ /، شرق خط غرينتش.

يحد المنطقة المدروسة من الغرب: البحر المتوسط، من الجنوب والشرق: حوض نهر الكبير الشمالي، من الشمال: نهر وادي قنديل، تبلغ مساحة المنطقة المدروسة حوالي (54.8) كم² الشكل (1). يعد مناخ حوض اللاذقية مناخاً متوسطياً مثالياً يتميز بفصلين رئيسيين وهما الصيف والشتاء فهو يتميز بشتاء ماطر ومعتدل إلى بارد وصيف جاف وحار. ومجال التغير السنوي لهطول الأمطار واسع إذا يتغير بين (485.7 – 1590 مم/سنوياً)، كما أن درجة الحرارة ترتفع خلال أشهر الصيف (حزيران، تموز، آب، أيلول) وتتراوح المعدلات الوسطية بين (17.1°C – 29.9)، وبالنسبة للرطوبة تتميز المنطقة برطوبة عالية تتراوح خلال أشهر السنة بين (60–70%)، وبحسابنا لمعدل التبخر- نتح الكموني بطريقة بنمان مونتيس المعتمدة من منظمة الأغذية والزراعة العالمية الفاتراوح بين (1264 – 1327.5) ملم/بالسنة للمنطقة الدراسة^[12,11,10].

يساهم في البنية الجيولوجية لمنطقة الدراسة تشكيلات الباليوجين والنيوجين والرباعي، تتمثل توضعات الباليوجين بالإيوسين الأدنى (p_2^1) والأوسط (p_2^2)، وتتألف ليتولوجياً من حجر كلسي غضاري متطبق وحجر كلسي سيليسي وصوان وحجر كلسي نوموليتي ناعم الحبيبات، يحتوي أحياناً في قاعدته على حبيبات الغلوكونيت وحصى كلسية. أما توضعات النيوجين فتتمثل بتوضعات الميوسين الأوسط (N_1^2) تتألف ليتولوجياً من الحجر الرملي الرمادي اللون الحاوي على الصوان والغضار الكلسي والحجر الكلسي الكتلي مع عدسات من الحجر الكلسي الشيلي، كما تنتشر توضعات الرباعي على طول شاطئ البحر المتوسط، وتتمثل بتنوعها من المصاطب والبيلاجات والكثبان الرملية. وفي الجزء الأوسط والجزء الغربي لمنطقة الدراسة تنتشر توضعات بحرية عائدة إلى البليستوسين (الأوسط-الأعلى) ($mQ_2, 3$)، تتألف من حجر كلسي غضاري وحجر رملي وكونغلواميرا بالإضافة لوجود توضعات قارية عائدة للبليستوسين الأعلى (PQ3) مؤلفة من حطام الصخور الأقدم وركام المنحدرات. الشكل (2)^[17, 16, 15, 14, 13].

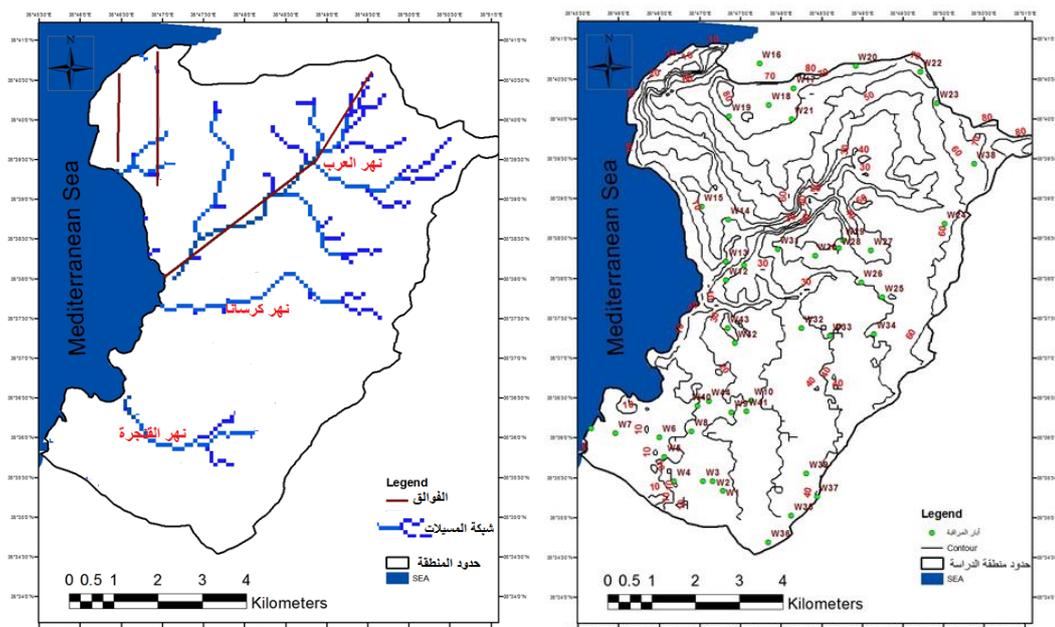


الشكل (2) الخريطة الجيولوجية لمنطقة الدراسة [11].

الشكل (1) موقع منطقة الدراسة ضمن حوض الساحل

تتميز المنطقة بصفات جيومورفولوجية متنوعة إذا تحيط بها هضاب تلالية تتراوح قيم الارتفاعات الطبوغرافية من (90) م فوق سطح البحر إلى (0) م على ساحل البحر، وبمعدل ارتفاع وسطي (37.5م).^[3] وتقسّم المنطقة حسب طبيعة التضاريس إلى منطقتين هما منطقة السهل الساحلي والمنطقة التلالية، حيث تم استنتاج سطح الأرض من نموذج الارتفاع الرقمي (Digital Elevation Model) باستخدام التقانات والأدوات التي يوفرها نظام المعلومات الجغرافية ARC GIS، لاحظنا أن الارتفاعات الطبوغرافية تتدرج بالانخفاض من الأطراف الشمالية والشرقية باتجاه الجنوب والغرب وهذه التفاضلات تتمتع بانعكاسات جيولوجية وهيدروجيولوجية مهمة الشكل (3)، عدا ذلك فإن طبيعة تضاريس المنطقة وظروفها المناخية إضافة إلى الوضع المورفولوجي العام لها لعبت دوراً أساسياً في تحديد طبيعة توزع الشبكة الهيدروغرافية التي تبلغ أقصى كثافة لها في الجزء الشرقي والشمالي الشرقي من منطقة الدراسة، حيث تتساقط أمطار غزيرة وتنساب نحو مجاري متعددة الشكل (4)، بعضها موسمية الجريان (كهري القنجرة وكرسانا) وبعضها الآخر يعد من الأنهار الصغيرة دائمة الجريان في حوض الساحل (نهر العرب)، ينبع نهر العرب من السفوح الغربية لسلسلة الجبال الساحلية على ارتفاع حوالي (270) م ويصب في البحر المتوسط على بعد (5) كم جنوب قرية برج إسلام يمتد مجرى نهر العرب مسافة (16) كم من منبعه إلى مصبه الشكل (4).

من الناحية التكتونية: تبين نتيجة تفسير الصور الفضائية وجود فالق ذو اتجاه شمال شرق-جنوب غرب في مجرى نهر العرب، حيث أدت نطاقات التشقق التي سببها هذا الفالق دور كبير في تصريف المياه الجوفية إلى الحوض في توضعات النيوجين ضمن نطاق مستقيم محدد قبل دخولها إلى مياه البحر الشكل (4).



الشكل (3) الخريطة الطبوغرافية لمواقع آبار المراقبة الشكل(4) الشبكة الهيدرولوجية موضحة عليها مواقع الفوالق

وبالإضافة لفالق نهر العرب هناك فوالق تقع في شط شاليهات الدراسات تأخذ اتجاه شمال-جنوب وهذه الفوالق ممتدة في قاع البحر حيث تؤدي دوراً سلبياً في تسرب مياه البحر باتجاه اليابسة إذا توفر الشرط الهيدروليكي (أي هبوط سطح المياه الجوفية تحت مستوي سطح البحر) [19, 18]. شكل (4).

مواد البحث وطرائقه

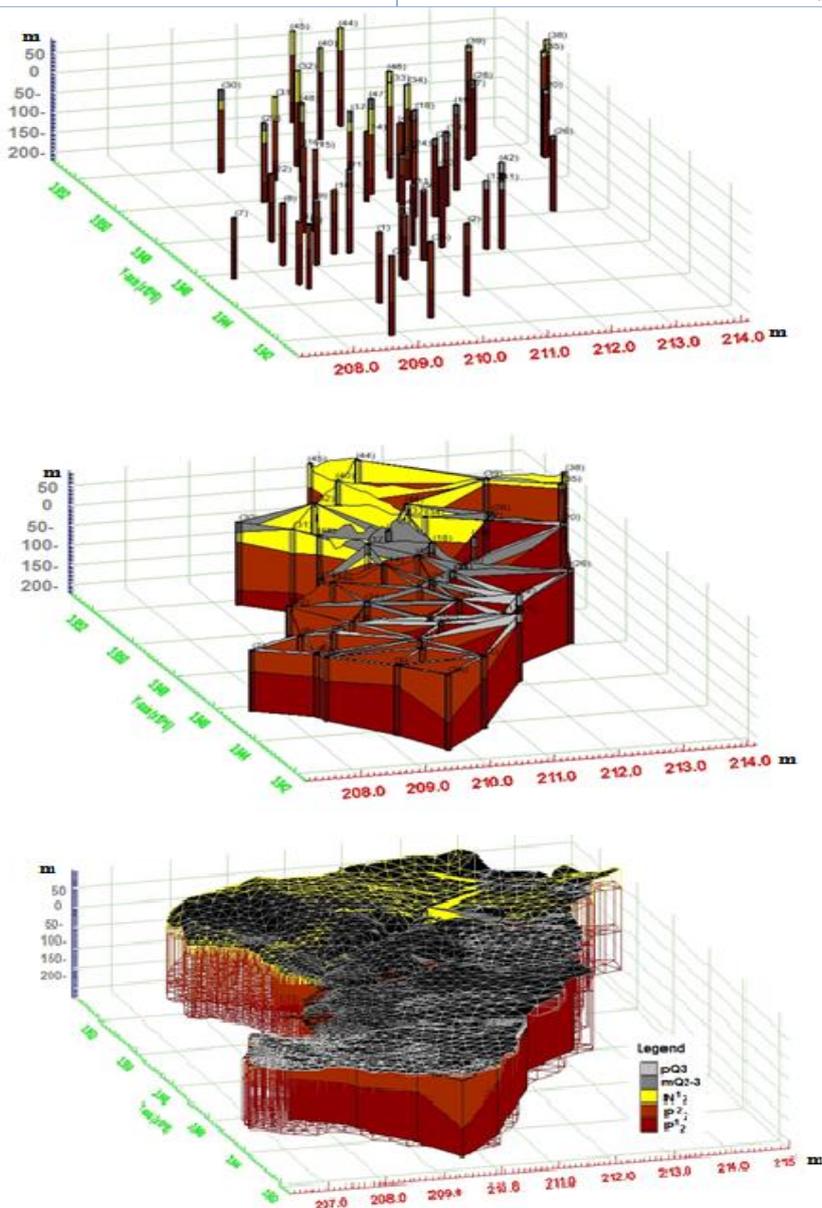
لإنشاء النموذج الستراتيغرافي للمنطقة تم الاعتماد على الدراسة التفصيلية للبنية الجيولوجية من خلال استخدام المقاطع الجيولوجية المتوفرة من قبل الدراسات السابقة والآبار الليتولوجية الموزعة ضمن التشكيلات المختلفة. وبلغ عددها (50 بئر) يتراوح عمقها من (100 حتى 250) م تتضمن هذه الآبار وصفاً للتركيب الليتولوجي لكل تشكيلة وسماكتها وعمرها الزمني الشكل (2) [17, 15, 11, 13]. وقد تم تنفيذ النمذجة الجيولوجية باستخدام برنامج (GMS 10.5).

أول خطوة لإنشاء المقاطع العرضية بين الآبار هي إنشاء الآبار نفسها. وهنا سوف نقوم بقراءة بيانات مجموعة من الآبار المعدة مسبقاً والتي هي موضحة في الجدول (1). وبعد تحديد التشكيلات الجيولوجية المختلفة من الأعمدة الليتولوجية للآبار المختارة في برنامج GMS. حيث أن كل تشكيلة تحدد باستخدام رقم التعريف ويعطى لها لون واسم افتراضي من الأعلى إلى الأسفل. وقد تم استخدام أنماط التعريف لاستكمال ستراتيجرافيا مختلف التكوينات المخزنة في قاعدة البيانات لمنطقة الدراسة. وتم بناء النموذج باستخدام DEM المعاد تشكيله والذي يمثل السطح الطبوغرافي للنموذج.

تم إنشاء النموذج الطبقي لمنطقة الدراسة من خلال تحديد مناسيب أعلى وأسفل كل طبقة في Modflow باستخدام مجموعة نقاط مبعثرة من ملف الاستكمال يمكن أن يتم ذلك مباشرة باستخدام الأمر MODFLOW Layers to في قائمة Interpolation في مركبة 2D Scatter Point اعتمدنا على طريقة (Kriging) الشكل (5)، بعد استكمال هذه النقاط يمكن أن نحصل على طبقات متداخلة. هذه الأخطاء يمكن إصلاحها أوتوماتيكياً باستخدام متفحص النموذج Model Checker.

جدول (1) البيانات المدخلة للنماذج الستراتيغرافية

البيانات	النوع	التفاصيل
الآبار	الإحداثيات، موقع التوضعات	UTM WGS 1984 zone 37N
	العمق الكلي	م
	الارتفاع الطبوغرافي للبئر	م
	المعلومات الستراتيغرافية	العمر، التوضعات، حدود الطبقات
	الأعماق المتعاقبة	م
	الحدود الجيولوجية	الرقمنة للخريطة الجيولوجية مقياس 1:50000



الشكل (5) النموذج الستراتيغرافي لمنطقة الدراسة

يحاكي النموذج الرياضي نظام جريان المياه الجوفية، من خلال تمثيله بشكل تقريبي للخصائص الزمنية والفيزيائية لهذا النظام، أو لجزء منه، إما بطريقة رياضية أو فيزيائية^[20]، وذلك بشكل غير مباشر من خلال المعادلات التي تصف الضواغط والجريانات على طول حدود النموذج (الشروط الحدية)، الشكل (6).

توصف معادلات حركة المياه الجوفية بأنها معادلات وضعية، تعتمد على فرضيات تبسيطة متعددة، الأمر الذي يجعلها بعيدة عن الواقع أحياناً. أما المعادلات التي تعطي نتائج قريبة من الوضع الحقيقي، فيصعب حلها بالطرائق الرياضية الكلاسيكية، الأمر الذي دفع المهتمين إلى ابتكار طريقة منهجية جديدة لحل هذه المسائل المعقدة، تتلخص بوضع نموذج للمنطقة المدروسة، تمثل عليه كل البارامترات المتعلقة بالصخور والمناخ والهيدرولوجيا وغيرها. ويمكن بواسطة هذا النموذج تقدير تغيرات نظام المياه الجوفية في حال تغير واحد أو أكثر من البارامترات مع الزمن، مما يوفر جهوداً وتكاليف مالية كبيرة، ويعطي فرصة لتقدير التغيرات المستقبلية، ويسمح بوضع خطة استراتيجية شاملة أكثر موثوقية، لتطوير النشاط الاقتصادي في المنطقة المعنية^[20].

إن وضع خارطة مناسبة للمياه الجوفية وتحديد اتجاهات حركتها، وحساب كميات الجريان الجوفي، وتقدير تغيراتها في المستقبل، من المهام الصعبة، وغير الممكنة عملياً بدون استخدام الموديلات الفيزيائية والرياضية^[21]. تُستخدم معادلات حركة المياه الجوفية، معادلات الاستمرار للتيار الجوفي، ومعادلات الحالة للسائل والوسط المسامي، وبالتالي يمكن كتابة المعادلات التفاضلية الجزئية لحالة الأوساط غير المتجانسة ثلاثية الأبعاد، ولحالة عدم الاستقرار حسب أبحاث المسح الجيولوجية الأمريكية U.S Geological Survey^[22]، كما في المعادلة (1) الآتية:

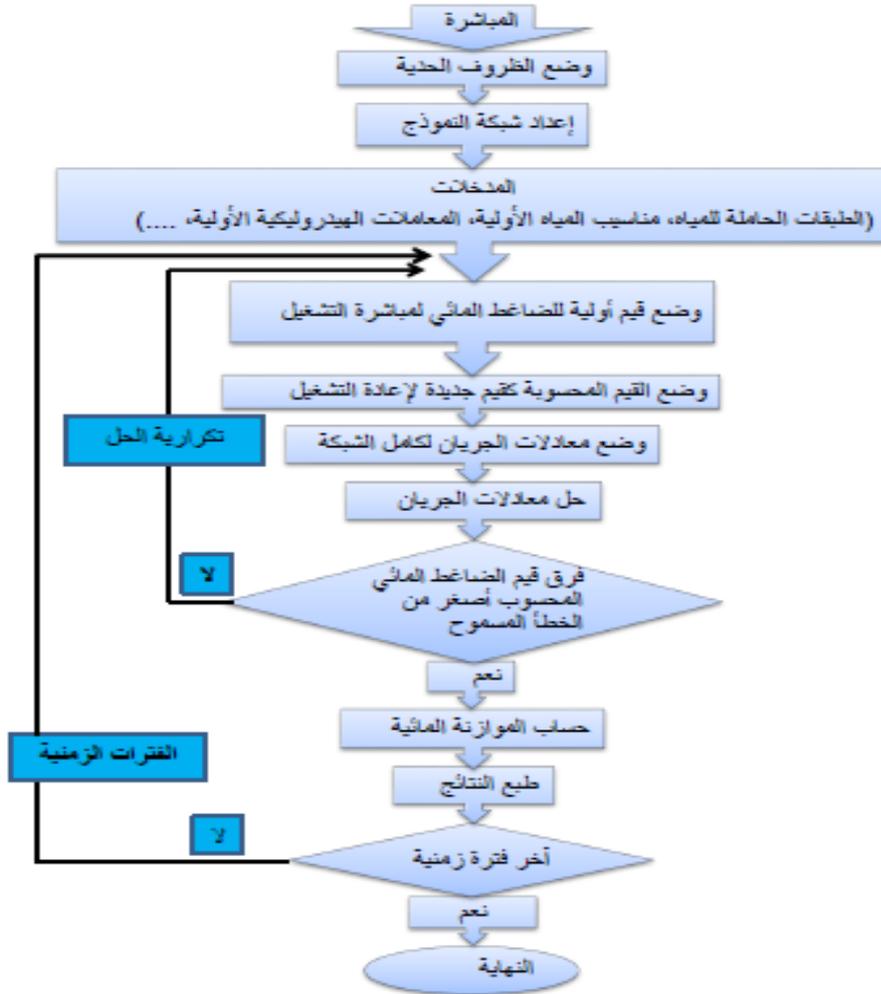
$$\frac{\partial}{\partial x} (K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z}) - W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

حيث: K_{xx}, K_{yy}, K_{zz} : قيمة معامل النفوذية في الاتجاهات الثلاث X, Y, Z . ($L t^{-1}$).

h : الضاغط المائي في الطبقة الحاملة للمياه (L).

W : التغذية أو السحب في وحدة الحجم (L^{-3}).

S_s : معامل التخزين النوعي Specific Storage (L^{-1}). t : الزمن (t).



الشكل (6) المخطط البياني لتشغيل النموذج العددي

النتائج والمناقشة

بناء النموذج الاعتباري وتعيين الشروط الحدية لمنطقة النموذج

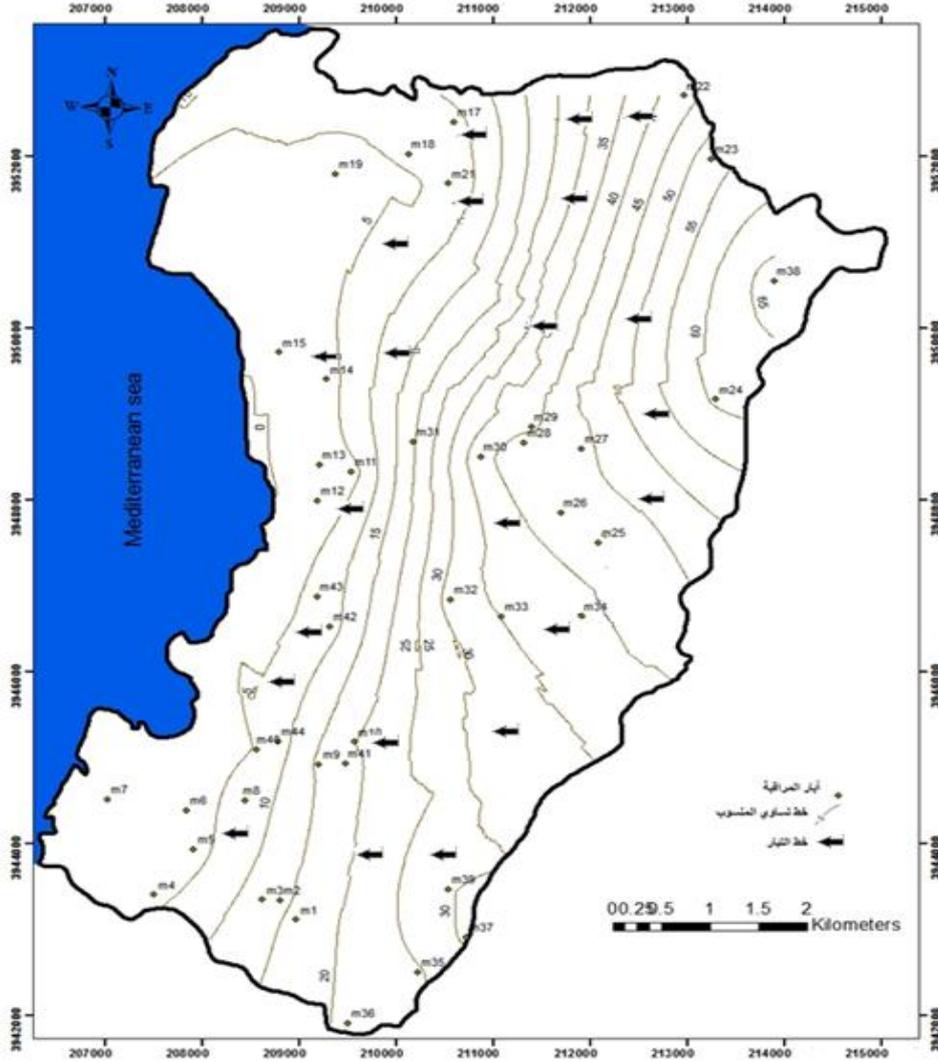
أظهر تحليل الظروف الجيولوجية والهيدروجيولوجية، وبنائنا للنموذج الستراتيغرافي الشكل (5)، بالإضافة لتحديدنا للتشكيلات الواقعة ضمنها أبار شبكة الرصد وعمق كل بئر وماهي الطبقة الحاملة للمياه في هذا البئر وإجراء قياسات المناسيب الدورية الشهرية في أبار شبكة المراقبة ضمن منطقة الدراسة، باقتصار وجود توضعات الباليوجين على توضعات (الأيوسين الأدنى والأيوسين الأوسط) حيث تعد تكشفات توضعات الباليوجين محدودة جداً في منطقة الدراسة، أما بالنسبة لتوضعاتها تحت السطح فإنها تنتشر بشكل كبير في المنطقة وبسماكة تصل إلى أكثر من (300) م حيث تغوص تحت التوضعات الأحدث في المنطقة وهي إما أن تتوضع بعدم توافق ستراتيغرافي تحت التوضعات الرباعية كما في الجزء الجنوبي من المنطقة أو تتوضع تحت التوضعات النيوجينية مباشرة في الجزء الشمالي من المنطقة.

بالنسبة لتوضعات الإيوسين الأوسط تمركزت السماكة الأعظمية مباشرة في القسم الشمالي حيث وصلت سماكتها إلى حوالي (100 - 150) م وتناقصت سماكته بالاتجاه الغرب والجنوب الشرقي وبلغت في القسم الشرقي حوالي (70-100) م، أما بالنسبة لتوضعات النيوجين تتكشف في الجزء الشمالي من المنطقة وهي تتمثل بالميوسين

الأوسط حيث اقتصر وجودها في منطقة الدراسة على هذا الجزء وتزداد السماكة الأعظمية من الشمال بالاتجاه جنوباً في منطقة مجرى نهر العرب حيث وصلت إلى حوالي (100) م بينما اختفت هذه التوضعات في الجزء الجنوبي وهذا يشير إلى احتمال وجود نهوض في ذلك الجزء خلال تلك الفترة حيث كانت سائدة عمليات الحت والتعرية، تنتشر التوضعات الرباعية بشكل كبير في منطقة الدراسة وتتصف التوضعات القارية منها بالسماكة القليلة نسبياً حيث تراوحت سماكتها بين (1-5) م أما بالنسبة للتوضعات الرباعية البحرية تراوحت سماكتها من (5 - 25) م. تم تأكيد وجود ارتباط هيدروديناميكي بين الطبقات المائية المختلفة المنتشرة في المنطقة والتي تعود لأعمار الرباعي والنيوجين والباليوجين وإلى غياب طبقة كتيمة مستمرة تفصل فيما بينها من خلال التقارب في أوضاع المناسيب حيث أنها لم تتجاوز السنتمترات في الآبار المتقاربة بالمسافة والمختلفة بطبيعة الحامل المائي إضافة إلى قلة سماكة بعض التشكيلات الستراتيغرافية ومحدودية انتشار بعضها الآخر، وبالتالي اعتبرت منظومة مائية واحدة تتمثل بطبقة مائية ذات جريان جوفي حر تتوضع على طبقة من الإيوسين الأدنى مؤلفة لیتولوجياً من (حجر كلسي غضاري وأحياناً حجر كلسي قاسي، ومارل غضاري) وذات انتشار اقليمي كبير جعلها تلعب دور الأساس وسمح بصياغة نموذج اعتباري لآلية عمل النظام المائي في منطقة الدراسة حيث يتألف هذا النموذج من ثلاث طبقات:

- طبقة كتيمة (إيوسين أدنى)
 - طبقة حاملة للمياه تتألف في بعض أجزاء المنطقة من النيوجين والباليوجين (الإيوسين الأوسط) وفي بعض أجزائها الأخرى من الرباعي والإيوسين الأوسط أو من الرباعي والنيوجين والإيوسين الأوسط.
 - نطاق التهوية (النطاق غير المشبع) وتتألف من الجزء العلوي من توضعات الرباعي أو النيوجين أو الباليوجين. وبالاعتماد على نتائج قياس المناسيب الجوفية لعامي (2017 - 2018) تم رسم خريطة لتساوي مناسيب المياه الجوفية للفترة (2018/9/15) الشكل (6)، تظهر خريطة الشبكة الهيدروديناميكية لجريان المياه الجوفية أن منسوب المياه الجوفية لهذا الجريان عند الحدود الشرقية يقع على ارتفاع يزيد عن (65م) أما في المناطق المتاخمة لشاطئ البحر فينخفض ليقع على ارتفاع حوالي (1) م عن سطح البحر.
- وهي تشير بشكل عام إلى وجود جريان جوفي قادم من الحدود الشرقية، وهو يجري في توضعات الباليوجين والنيوجين والرباعي ويتجه نحو الغرب مع انحراف طفيف نحو الشمال الغربي، جهة هذا الجريان عريضة جداً وميله الهيدروليكي في الشمال والشمال الشرقي يبلغ (0.008)، بينما تبلغ قيمته في الجنوب والجنوب الغربي (0.02) وبالتالي يمكن تمييز منطقتين على الخريطة حسب قيمة الميل الهيدروليكي مختلفتين في خواصهما الرشحية. تقع المنطقة الأولى في الشرق والشمال الشرقي في حدود انتشار توضعات الباليوجين والنيوجين بشكل رئيس أما المنطقة الثانية فتقع في حدود انتشار توضعات الرباعي للحقبة والبحرية حيث الصفات الرشحية العالية وهذا ما يشير إليه تباعد المسافات بين خطوط التسوية المائية في منطقة السهل الساحلي، أما تقاربها في منطقة الشرق والشمال الشرقي، فيعزى إلى انخفاض الصفات الرشحية.
- من الضروري جداً توخي الدقة والحرص عند تحديد الشروط الحدية، للتأكد من استجابة الحل لما يحدث في الحقل، وهذه الحدود نوعان، يتمثل النوع الأول بالحدود الفيزيائية: تتمثل بالظواهر الطبيعية أو الاصطناعية أما النوع الثاني فهو الحدود الهيدروليكية: حيث تستخدم عادةً قيم الضواغط، والتصاريف، أو سرعة الرشح على حدود الجريان كظروف حدية. تم تحديد حدود النموذج كحدود هيدروليكية، وذلك لعدم وجود حدود فيزيائية تحد منطقة النموذج. تم استنتاج الحدود الهيدروليكية من شبكة جريان المياه الجوفية Groundwater flownet [5]، التي رسمت بناءً على قيم الارتفاع المطلق لمنسوب المياه الجوفية في شهر أيلول للعام 2018، وذلك كونه يمثل فترة الجفاف، وهو يمثل حالة الجريان المستقر. تم تحديد حدود منطقة النموذج كما يلي:

1. حد ضاغط ثابت Specified Flow، وهو حد ضاغط محكم تابع للزمن من الدرجة الأولى Dirichlet condition وفق المعادلة $h(x, y, z, t) = \text{const}$ يتواجد في الشرق متوافقة مع خط الكونتور ذو قيمة الضاغط المائي 65 m ، ومن الغرب خط البحر متوافقة مع خط الكونتور ذو قيمة الضاغط المائي 0 m ، لمنطقة النموذج.
2. بينما الحدود في الشمال والجنوب فهي حدود عديمة الجريان No flow، الموضحة بالشبكة الهيدروديناميكية للمياه الجوفية الحرة المقيسة خلال الفترة الجافة في شهر أيلول عام 2018، الشكل (7).



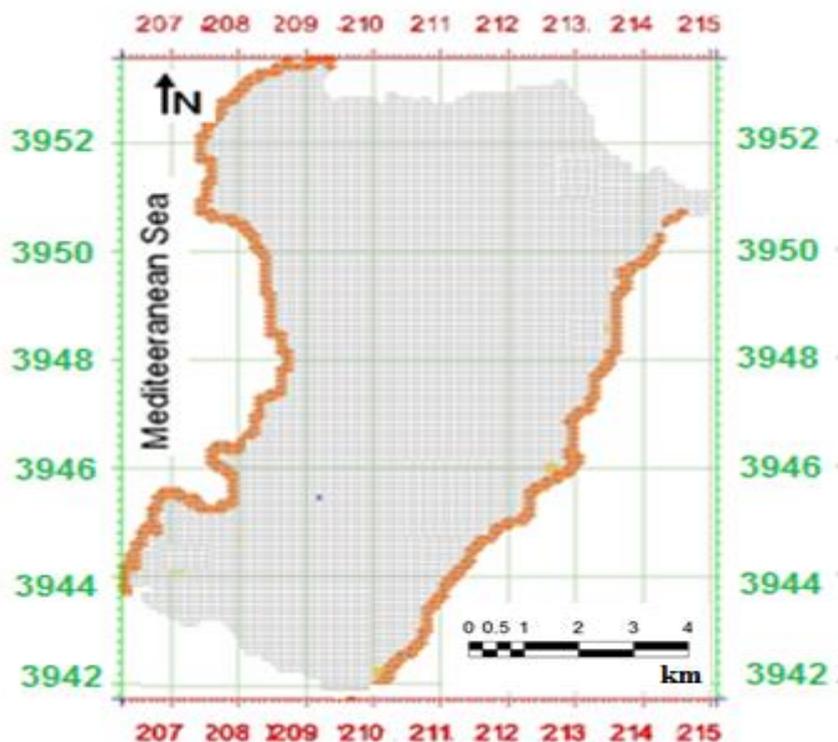
الشكل (7) خريطة تساوي مناسيب المياه الجوفية موضع عليها آبار المراقبة بتاريخ (2018/9/15)

شبكة النموذج

استناداً إلى الخصائص الليتولوجية والهيدروجيولوجية لمنطقة البحث، بالإضافة إلى البيانات المتاحة حول الاستثمارات المائية الجوفية (بدقة مقبولة) وإمكانية تمثيلها، وملاحظة عدم وجود مناطق معرضة لاستثمارات كثيفة، تم بناء شبكة النموذج لتكون متوافقة مع عدد وتوزيع الآبار الاستكشافية وآبار المراقبة لمناسيب المياه الجوفية الموجودة فعلياً والمقترحة في السيناريوهات المستقبلية وفق التالي:

قسمت منطقة النموذج إلى شبكة من الخلايا أبعادها 120×120 م بلغ عدد الصفوف 120 صفياً والأعمدة 120 عموداً، والعدد الكلي للخلايا الفعالة في الطبقة 14400 خلية كما يوضح الشكل (8)، حيث تبلغ مساحة منطقة

النموذج 54.8 كم²، وقد مكنت هذه الشبكة من تغطية كامل منطقة البحث وتمثيل تفاصيلها الهيدروجيولوجية والشروط الحدية والابتدائية بشكل مقبول إلى حد كبير.



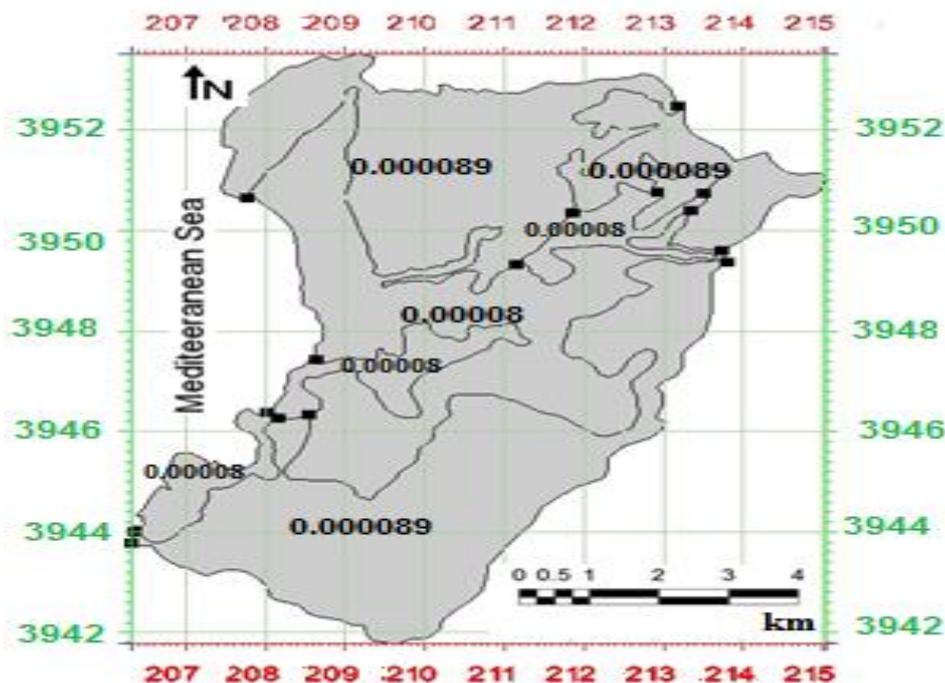
الشكل (8) الشروط الحدية والابتدائية وشبكة الفروق المنتهية في منطقة البحث

تصميم النموذج العددي

أدخلت المعطيات المطلوبة لبناء النموذج الرياضي على شكل شرائح وفق التالي:

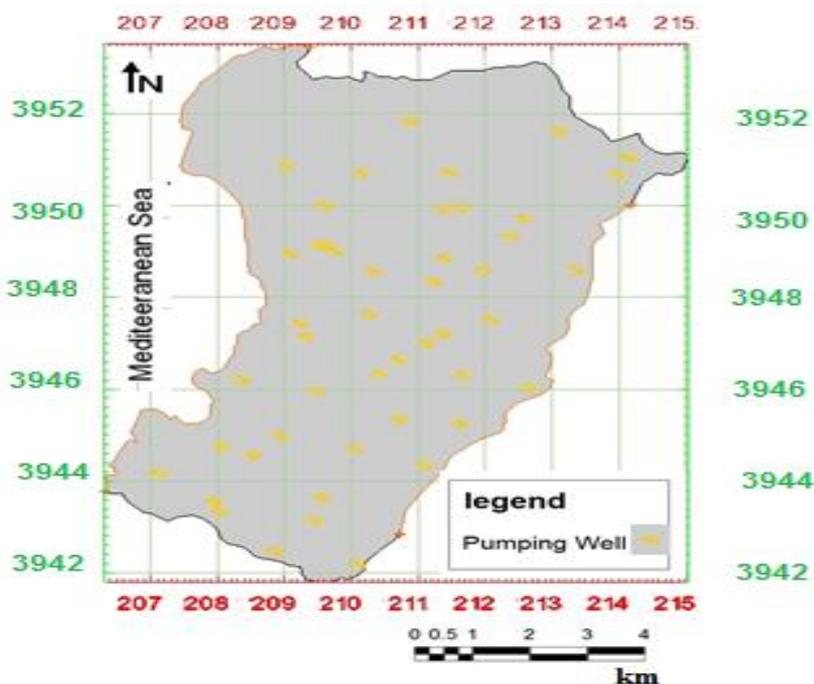
شريحة تغذية المياه الجوفية في منطقة النموذج Recharge Coverage

تعتمد تغذية المياه الجوفية في منطقة النموذج فقط على المتسرب من مياه الري وذلك كون فترة بناء النموذج تمثل فترة الجفاف، (شهر أيلول انعدام الهطل المطري) وهو يمثل حالة الجريان المستقر حيث بلغت كمية المياه المدفوعة في شبكات الري خلال موسم ري واحد حوالي (3200000) م³ خلال موسم ري واحد وبلغت نسبة التسرب حوالي (19.05)% وعليه تصل نسبة التغذية من مياه الري خلال شهر أيلول حوالي (152400) م³/بالشهر الشكل (9).



الشكل (9) شريحة التغذية المساحية على حساب مياه الري (m/day) Recharge Coverage

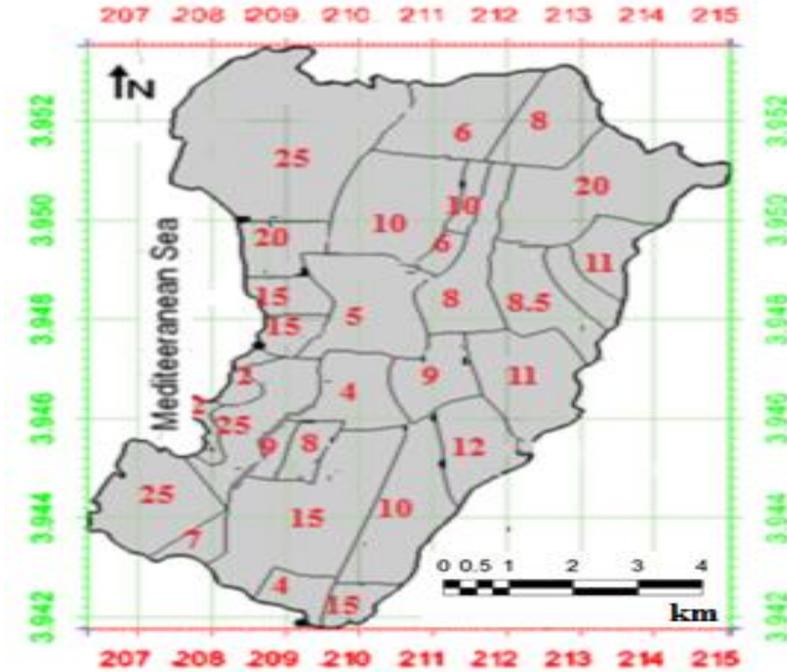
شريحة آبار السحب من المياه الجوفية في منطقة النموذج Pumping Well Coverage تم إدخال شبكة آبار الصرف سواء منها التابعة للأهالي، أو تلك التابعة لمؤسسة المياه، والتي تخترق الحامل المائي الحر في منطقة الدراسة، الشكل (10)، وجرى قياس تصريف هذه الآبار بوسائل متعددة فتراوح ما بين $(1440 - 29) \text{ m}^3/\text{day}$.



الشكل (10). شريحة آبار السحب من المياه الجوفية في منطقة النموذج Pumping Well Coverage.

شريحة عامل الرشح K

حُدِّت قيم الناقلية الهيدروليكية اعتماداً على نتائج تجارب الضخ المنفذة في مجموعة من آبار المراقبة المتوضعة في منطقة البحث. فقد حددنا عدة مضلعات لقيم الناقلية الهيدروليكية الشكل (11) التي تتراوح بين 2m/day-25، حيث سيجري تدقيقها بعملية معايرة النموذج.



الشكل (11) شريحة عامل الرشح Hydraulic Conductivity Coverage (m/day)

تشغيل النموذج

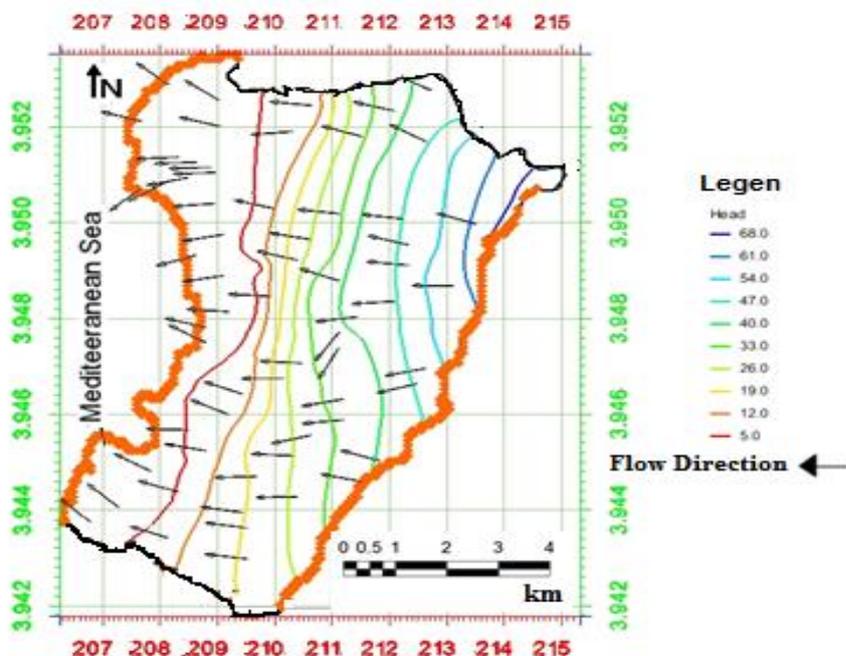
تم تشغيل النموذج، بعد استكمال مختلف المعطيات المطلوبة لبناء النموذج الاعتباري، على شكل شرائح نقطية (شريحة السحب من المياه الجوفية، شريحة آبار المراقبة)، وشرائح مساحية (شرائح الرشح إلى المياه الجوفية، شريحة المعاملات الهيدروليكية، ...).؛ ليتم بعدها فحص النموذج للتأكد من عدم وجود أخطاء في البيانات المدخلة. فحصلنا على خارطة توزع مناسب سطح المياه الجوفية من أجل الحالة المستقرة في شهر أيلول لعام 2018، الشكل (12).



الشكل (12) خطوط تساوي مناسب مياه الجوفية (m) في الفترة الجافة (أيلول، 2018) - قبل المعايرة.

معايرة النموذج Model Calibration

المعايرة هي: عملية إيجاد مجموعة من الشروط الحدية، والإجهادات، والبارامترات الهيدرولوجيولوجية التي تعطي من خلال تصحيحها نتيجةً لقيم الضواغط المحسوبة تتطابق مع قيم القياسات الحقلية المقيسة للضواغط الهيدروليكية والجريان، وتم اعتماد طريقة التجربة والخطأ (اليديوية) Trial and error^[5].



الشكل (13) خطوط تساوي مناسيب المياه الجوفية (m) في الفترة الجافة (أيلول، 2018) - بعد المعايرة. تتمثل التأثيرات الخارجية بعنصرين: التغذية والاستثمار، مع الإشارة إلى أن محصلة التصريف يمثل تفاعل عناصر الموازنة المائية كلها حيث يتأثر كل عنصر بالعناصر الأخرى، ويرتبط هذا التأثير بالخلية نفسها وبالخلايا المحيطة بها

الجدول (2). عناصر الموازنة المائية (م³/يوم) في شهر أيلول 2018.

عناصر الموازنة	الجريان الداخلى	الجريان الخارج	محصلة الجريان
الجريان الأفقي	129870.9	117463.6	12407.4
التغذية	4736.3	-	4736.3
الاستثمار	-	17143.7	-17143.7
المجموع	134607.3	134607.3	0

الخلاصة

1. أكدت النمذجة الستراتيغرافية بأن التشكيلات الجيولوجية التي تعود للرباعي (البحري والقاري) والنيوجين (الميوسين الأوسط) والباليوجين (الإيوسين الأوسط) تشكل منظومة هيدرولوجية مرتبطة هيدروديناميكياً مع بعضها البعض تتمثل بطبقة مائية ذات جريان جوفي حر تتوضع على طبقة من الإيوسين الأدنى مؤلفة ليتولوجياً من (حجر كلسي غضاري وأحياناً حجر كلسي قاسي، ومارل غضاري) وذات انتشار اقليمي كبير جعلها تلعب دور الأساس.

2. بشكل عام لاحظنا أن النموذج المعايير حافظ على الضواغط واتجاه حركة جريان المياه الجوفية الحرة بالاتجاه من الشرق نحو الغرب، ومن خلال المقارنة بين خريطتي تساوي مناسيب المياه الجوفية قبل وبعد المعايرة نلاحظ عدم وجود فروق جوهرية في كيفية توزيع خطوط تساوي المناسيب قبل وبعد المعايرة.
3. تراوحت قيم معامل الرشح في الطبقة الحاملة للمياه الجوفية الحرة بين 2- 25 m/day، حيث تتركز القيم العالية لعامل الرشح في الجزء الشمالي والأوسط من منطقة البحث، مكان وجود الفوالق. ولم يتجاوز الفرق بين قيم المدخلات ونتائج المعايرة في معظم مناطق توزيع الناقلية الهيدروليكية للطبقة 10%.
4. بلغت كمية المياه الداخلة إلى منطقة البحث من الحدود المجاورة لها حوالي (134607.3) m³/day، أما كمية المياه الخارجة منها فكانت (134607.3) m³/day إلى البحر المتوسط.
- ثم كانت محصلة الجريان الأفقي خلال فترة حساب الموازنة المائية (12407.4) m³/day لصالح التصريف الداخل لمنطقة البحث، الجدول (2).
5. يعود القسم الأكبر من كمية الموارد المائية المتشكلة في المنطقة إلى الوارد الجانبي الجوفي وبلغت نسبته حوالي (90%) من القيمة الإجمالية للموارد.
6. تتراوح قيم ارتفاع مناسيب المياه الجوفية بين (1 - 65) م حيث يزداد ارتفاع المنسوب مع التقدم باتجاه الداخل نتيجة ارتفاع مستوى سطح الأرض وتنصرف المياه الجوفية من ناحية الغرب في البحر المتوسط.
- الموارد المائية في القسم الشمالي الشرقي من منطقة الدراسة ذات نوعية جيدة وكمياتها كبيرة وسهلة الاستثمار حيث تكون سماكة الحامل حوالي (50م) وتزداد باتجاه منطقة النطاق الفالقي ضمن مجرى نهر العرب لتصل إلى حوالي (125م) أما بالنسبة لسماكة الحامل في القسم الجنوبي تراوحت بين (75 - 60م) ونظام المياه الجوفية في منطقة الدراسة مستقر.

التوصيات والمقترحات.

1. توخي الحذر عند استثمار الطبقة الحاملة للمياه الجوفية في المناطق القريبة من البحر (شاليمات رأس الشمر) بسبب وجود الفوالق المحلية الممتدة في قاع البحر حيث يمكن أن تؤدي دوراً سلبياً في تسرب مياه البحر باتجاه اليابسة.
2. استمرار مراقبة نظام المياه الجوفية في المنطقة بشكل منتظم.
3. متابعة استخدام تقانات النماذج الرياضية لتطوير إدارة الموارد المائية المتاحة من الناحيتين الكمية والنوعية واستثمارها بشكل أمثل.
4. اقتراح سيناريوهات مختلفة للاستثمار بما يتلاءم مع منطقة الدراسة بعد أن أصبح النموذج جاهز لذلك مع الأخذ بعين الاعتبار الابتعاد عن المنطقة الفالقية.

المراجع:

- 1- Davis PM, an introduction to physical geology. Prentice Hall, Exploring earth, 1997.
- 2- Thompson GR, Turk J, Introduction to physical geology. Saunders College Pub, 1998.
- 3- Pinder GF, Celia MA, Subsurface hydrology. John Wiley & Sons, 2006.
- 4- الأسعد، علي. الهيدروجيولوجيا. جامعة تشرين، اللاذقية، 2009، 599.

- 5- Ghanem, Faisal Nour "Modeling of the Confined Water Resources in the Plain Region of Banyas River Catchment" Master, Tishreen university, 2020.
- 6- Abo RK, Merkel BJ "Hydrostratigraphic modeling of the central and southwestern parts of Aleppo basin", doctorate, 2015.
- 7- Stone WJ Hydrogeology in practice. Other Information: PBD: 1999.
- 8- Freeze R, Cherry J Groundwater. 1 edn. Pentice Hall, New Jersey 1979
- 9- Berg R, Russell H, Thorleifson H Introduction- Three-Dimensional Geological Mapping: An international Perspective In: Three-Dimensional Geological Mapping, Workshop Extended Abstracts, Geological Society of America, Portland, Oregon 2009. vol 2009-4. ISGS open File pp 3-74.
- 10- BGR, MOI, Initial assessment study of water sector management in the Syrian Arab Republic. Federal Institute for Geosciences and Natural Resources & Syrian Ministry of Irrigation, Damascus, Syria. 2004
- 11- Ajamian, Jacqu. et al. Explanatory note for the Lattakia, path 1/50000, b- 4 – x –36- I – N, General corporation of Geology and Mineral Resources, 1997, 181.
- 12- Directorate General of Meteorology. Climate Data, Damascus, 2018.
- 13- SAID ALI, Lama Ahmad. "Groundwater Resources Management of Borj Eslam Area, Master, Tishreen university 2, 011, 139 p.
- 14- (Gruzgiprovodkhoz) Hydrogeological and hydrological surveys and investigation in four areas of Syrian arab republic, area Coastal (Hydrogeological map scale 1:200,000). Gruzgiprovodkhoz, Tbilisi) 1979
- 15- Rajb, Nidaa Saadallah. A completed Hedrogeological Study to evaluate conditions formation of Ground water in lattakia basin Master Tishreen university 2014.
- 16- Gavich, E. K. Hydrodynamics. Moscow, 1988, 349. (in Russian)
- 17- GIPRVODHOZ, USSR. Irrigation construction on an area of about 14 thos. hectares at the Region of nahr al kabir river dam in the arab repuplic of Syria (final Design), part III 1980.
- 18- KAZMIN, V. G; KULAKOV, V. V. Translated by MKRTCHYAN, G. A. The Geological Map Of Syrian Arab Republic, scale 1:50 000. USSR, 1968, 124.
- 19- General Authority For Remote Sensing. The Project Of Protecting the wells of the Arab River Bed from salinization using geological and hydrogeological sensing studies and geographic information systems (GIS) in Lattakia 2005.114.
- 20- Delleur, J. W. The handbook of groundwater engineering 2d Ed. CRC press, U.S.A, 2007, 1342.
- 21- الأسعد، علي؛ حايك، شريف. الهيدروجيولوجيا2. جامعة تشرين، اللاذقية، 2007، 402.
- 22- WATSON, I.; BURNETT, 22- A. D. Hydrogeology (An Environmental Approach). CRC press, Inc, U.S.A, 1995, 702.