

## تقييم ومحاكاة واقع المياه الجوفية لمكمن عقرة المائي

كامل علي عبد المحسن

قسم هندسة السدود والموارد المائية

كلية الهندسة

جامعة الموصل

نور الاسلام يونس احمد

قسم علوم الأرض

كلية العلوم

جامعة الموصل

(تاريخ الاستلام 2019/4/1 ، تاريخ القبول 2019/10/22)

### الملخص

تعد منطقة عقرة من المناطق المميزة من الناحية الهيدرولوجية اذ أن معدل الساقط المطري السنوي بحدود 654.6 ملم في محطة عقرة للفترة بين عامي 2000-2016، كما وتم حساب معدل الساقط المطري بواسطة خطوط تساوي القيم Isohytal عن طريق برنامج ArcGIS لستة محطات للفترة 2012-2014 فكانت 597.7 ملم. كما ويحيط المنطقة نهر الزاب الأعلى من الشرق ونهر الخازر من الغرب ويمر نهر زنطا بشرقها، لذا من الضروري معرفة كميات المياه الجوفية والتنبؤ بسلوكية المكمن في حالة الاستثمار العادي او المفرط نظرا لسعة استخدام هذا المصدر المائي في منطقة عقرة.

وبناءً على ما تقدم فقد تم تطبيق أنموذج MODFLOW الذي يعتمد على طريقة الفروق المحددة Finite Difference لتقييم كميات واتجاه حركة هذه المياه ومدى توفرها للنشاطات البشرية المتعددة بما في ذلك النشاطات الزراعية.

تم بناء أنموذج رياضي يحاكي سلوك المياه الجوفية في المنطقة واجريت عملية معايرته Calibration لسنة 2012 فترة انخفاض مناسيب المياه الجوفية في الصيف وفترة ارتفاع مناسيب المياه الجوفية في الشتاء، ومن ثم اجراء مرحلة التحقق Verification لحالة الجريان المستقر Steady State لسنة 2014 لفترتي الانخفاض والارتفاع لمناسيب المياه الجوفية، كما تم اجراء التحقق لحالة الجريان غير المستقر Unsteady State خلال اشهر سنة 2014. شغل الانموذج بطورين مختلفين: فالطور الاول تضمن عمل الأنموذج عبر 5 سنوات و 10 سنوات ضخ (سحب) Pumping بوجود التغذية، وملاحظة مناسيب المياه الجوفية حيث انخفضت بمعدل 4 متر خلال 5 سنوات ضخ ومعدل 5 متر خلال 10 سنوات ضخ ، في حين بين الطور الثاني مدى تأثير التغذية Recharge على المكمن المائي حيث تم الضخ بغياب التغذية فكان انخفاض مناسيب المياه الجوفية بمعدل 7 متر خلال 5 سنوات ضخ ومعدل 8 متر خلال 10 سنوات ضخ. تعتبر معدلات الانخفاض في مناسيب المياه الجوفية لمكمن عقرة قليلة لمختلف الظروف وذلك لسماك المكمن المائي الذي يتراوح بين (150-130) مترا وكذلك امتداده الواسع.

الكلمات الدالة: عقرة، النمذجة، المياه الجوفية، نهر الخازر.

## Evaluation and Modeling of Ground Water for Aqra Aquifer

**Nour Al-Islam Y. Ahmed**

*Department of Geology  
College of Science  
Mosul University*

**Kamel A. Almohseen**

*Department of Dams Engineering  
and Water Resources  
College of Engineering  
Mosul University*

### ABSTRACT

From the hydrogeologist point of view, Aqra area in northern Iraq is considered as a significant area, where rainfall average in Aqra station was 654.6mm for period 2000-2016, while rainfall was 597.7mm has calculated for six stations for period 2012-2014 by Isohytal via ArcGIS in the area. The area is surrounded by the Upper Zab river from the east, and the Khazer river from the west, while Zanta river runs from its east.

Due to previous and wide use of groundwater in study area, the knowledge of the response of the aquifer to different stresses is important to predict its uses in the future to optimal utilization of this aquifer. Consequently, in this study MODFLOW model under GMS platform has been used to evaluate the groundwater availability and examine response of the aquifer to stress conditions. The model has been calibrated in steady state using trial and error procedure, and verified in two states steady and unsteady, and then used for predicting purpose under two scenarios:

Scenario-I running the model by pumping with recharge over 5 years the average of heads has been downed 4 meters but over 10 years has been downed 5 meters. Phase-II running the model by pumping without recharge over 5 years the average of heads has been downed 7 meters and over 10 years has been downed 8 meters. The heads have downed a little due to thickness and extend of aquifer.

**Keywords:** Aqra, Groundwater, Modeling, MODFLOW, Khazer river.

### المقدمة

تعتبر المياه الجوفية في شمال العراق مصدراً مهماً للاستخدامات البشرية والزراعية والصناعية، وذلك بسبب توفرها وسهولة الحصول عليها ونوعيتها الجيدة نسبياً. تعد دراسة المياه الجوفية في تلك المناطق مهمة وضرورية لمعرفة اماكن توفرها وتوزيعها وطبيعتها حركتها. ان دراسة المياه الجوفية معقدة نوعاً ما وذلك لتعدد المتغيرات المتحكمة بسلوكها وتغيرها حسب الظروف الهيدروجيولوجية من تغيير التكوينات الجيولوجية التي تعتبر المتحكم الرئيس في تواجد وحركة المياه الجوفية وكذلك التغذية الايجابية وتعريف الحدود المتاخمة Boundary Conditions الضرورية لعمل الانموذج الرياضي المقترح لدراستها. ولغرض تبسيط هذه التعقيدات تم بناء نماذج لمحاكاة هذه الظروف منها نماذج فيزيائية ونماذج محاكاة كهربائية وحاسوبية التي تطورت بشكل كبير وأصبحت تعطي نتائج مقاربة للواقع. فعلى سبيل المثال تم تطبيق الانموذج MODFLOW في الدراسة الحالية والذي هو عبارة عن نمذجة حاسوبية تعتمد على الحل العددي لمعادلة جريان المياه الجوفية خلال الوساط المسامية.

إن اهمية الدراسة الحالية تكمن في ان المنطقة المختارة لغرض تطبيق الانموذج الرياضي MODFLOW عليها تقتصر الى الدراسات الهيدروجيولوجية التفصيلية الا تلك التي وردت في الدراسة التي اجراها عقراوي (1990)

اذ قام بحساب المعاملات الهيدرولوجية لبئر ماموزين في المكمن المائي المحصور Confined Aquifer وبئر يكماله في المكمن المائي غير المحصور Unconfined Aquifer من خلال الضخ التجريبي Pumping Test الذي قامت به هيئة المسح الجيولوجي ودراسة تغذية المكامن المائية عن طريق فصل المخطط المائي (Hydrograph)، غير انه لم يتطرق الى نمذجة المياه الجوفية لمعرفة سلوكها خلال تغير مستويات الضخ من الآبار الجوفية، كما قام كل من Jassas and Merkel (2014) بدراسة تغذية حوض الخازر-غومال بالاعتماد على طريقة تحليل المخطط المائي وطريقة تذبذب مستوى المياه الجوفية، إلا أن دراستهما لم تتضمن دراسة المعاملات والمتغيرات للمكمن المائي وعليه تبرز الاهمية في إجراء دراسة أكثر تفصيلاً تعتمد التقانات الحديثة في تقييم وتحليل كميات المياه الجوفية المتاحة لغرض استخدامها في شتى القطاعات في سهل عقرة مما يبرر اجراء هذه الدراسة.

إن عملية النمذجة الملائمة لمحاكاة واقع المياه الجوفية تمت باستخدام الأنموذج الرياضي MODFLOW. إن أول استخدام لهذا التطبيق كان سنة 1981 لحل مسألة جريان المياه الجوفية وحركة الملوثات وهو نموذج ثلاثي الأبعاد يمتاز بدقة عالية لتحديد حركة المياه الجوفية والقدرة على استنباط التغيرات الحاصلة عبر الزمن ولفترة طويلة، وله القدرة على تبسط وتمثيل المسائل المعقدة المتعلقة بالمياه الجوفية ووضع حل لها وكذلك القدرة على محاكاة الخواص الهيدروليكية للحشاشج المائية، ويأخذ بالاعتبار جميع الظروف المؤثرة على المياه الجوفية Groundwater من تأثير السحب للآبار وأتصال الأنهر بالحشاشج الجوفية، ونوعية حالات المتاحة والتغذية، وقد تم تطويره من قبل (Harbaugh, 1988, 1996) و McDonald and Harbaugh (2000) (Harbaugh, 2005). يعتمد الانموذج على طريقة الفروق المحددة Finite Difference اذ ان هذه الطريقة تتضمن تقسيم المنطقة المراد دراستها الى شبكة Grid، وترتبط بعقد Nodes والتي يمكن تنفيذها بطريقتين أما نقاط العقد في المركز Block Centered حيث تكون العقد في وسط خلايا الشبكة أو على الحدود حيث تكون العقد على حواف خلايا الشبكة Mesh Centered بالاعتماد على حالات المتاخمة المتوفرة. تتبنى طريقة الفروق المحددة على تبادل المشتقات Derivatives والمعادلات التفاضلية الجزئية Partial Differential Equations اذ تقوم بمعالجة جريان المياه الجوفية ضمن الحدود المتاخمة المتاحة خلال زمن ابتدائي مفترض وتحويل المعادلات التفاضلية الجزئية الى معادلات جبرية. يتطلب تشغيل الانموذج بفترات جهد Stress Periods والتي تنقسم الى عدة فترات زمنية Time Steps عن طريق التكرار Iteration لتقليل الأخطاء، ان الطرق الشائعة والتي عادة ما تستخدم في النماذج الرياضية المعتمدة في تحليل المياه الجوفية هي Jacobi Method و Successive Over Relaxation (SOR) و Gauss – Seidel Method وتعتبر الطريقة الاخيرة الاكثر استخداماً لفاعليتها في حل مسألة جريان المياه الجوفية اذ تتبنى طريقة الحل الضمني Implicit Scheme وقد اعتمدت في الدراسة الحالية. تتشكل طريقة الفروقات المتناهية ببناء شبكة ثلاثية الأبعاد للمكمن المائي وتقسيمه الى صفوف (i) Rows واعمدة (j) Columns وطبقات (k) Layers كما مبين في الشكل (1)، وذلك بتفعيل الخلايا التي تقع ضمن المكمن المائي وعدم تفعيل الخلايا الاخرى وتدخل قيم التوصيلية الهيدروليكية K وقيم الخزن لكل محور X,Y,Z وتكون ثابتة خلال زمن المحاكاة، أما عملية الضخ

(تغير الشحنة) والتغذية فتعتبر من المتغيرات. المعادلة (1) التي تحكم كل خلية تعتمد على معادلة الاستمرارية بأفتراض أن الكثافة ثابتة للموائع.

$$\sum Q_i = S_s \frac{\Delta h}{\Delta t} \Delta v \dots\dots\dots(1)$$

حيث

$Q_i$  معدل الجريان الى الخلية ( $m^3/s$ )

$S_s$  معامل الخزن النوعي ( $m^{-1}$ )

$\Delta v$  حجم الخلية ( $m^3$ )

$\Delta h$  تغير منسوب الماء (m) خلال الزمن  $\Delta t$

تمثل المعادلة (2) العلاقة الحاكمة للجريان في عدة اتجاهات في وسط مسامي غير متجانس Heterogenous وذو خواص متباينة Anisotropic في حالة الجريان غير المستقر (Kresic 2007).

$$\frac{\partial}{\partial x} (K_x \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_y \frac{\partial h}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (K_z \frac{\partial h}{\partial z}) + W = S_s \frac{\Delta h}{\Delta t} \dots\dots\dots(2)$$

حيث

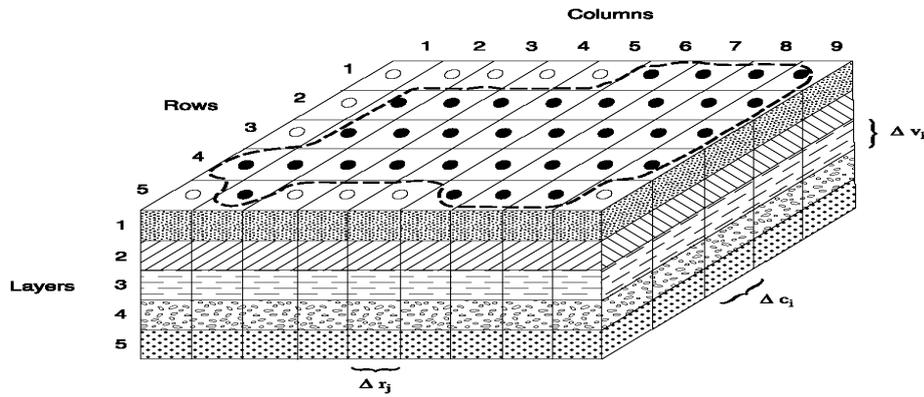
$K_x$  و  $K_y$  و  $K_z$  قيم التوصيلية الهيدروليكية على طول المحاور X و Y و Z ( $m/t$ )

W كمية السائل الداخل والخارج في أي مقطع لكل وحدة حجم ( $T^{-1}$ )

$h$  المنسوب الهيدروليكي (m)

$S_s$  الخزن النوعي ( $m^{-1}$ )

$t$  الزمن (T)

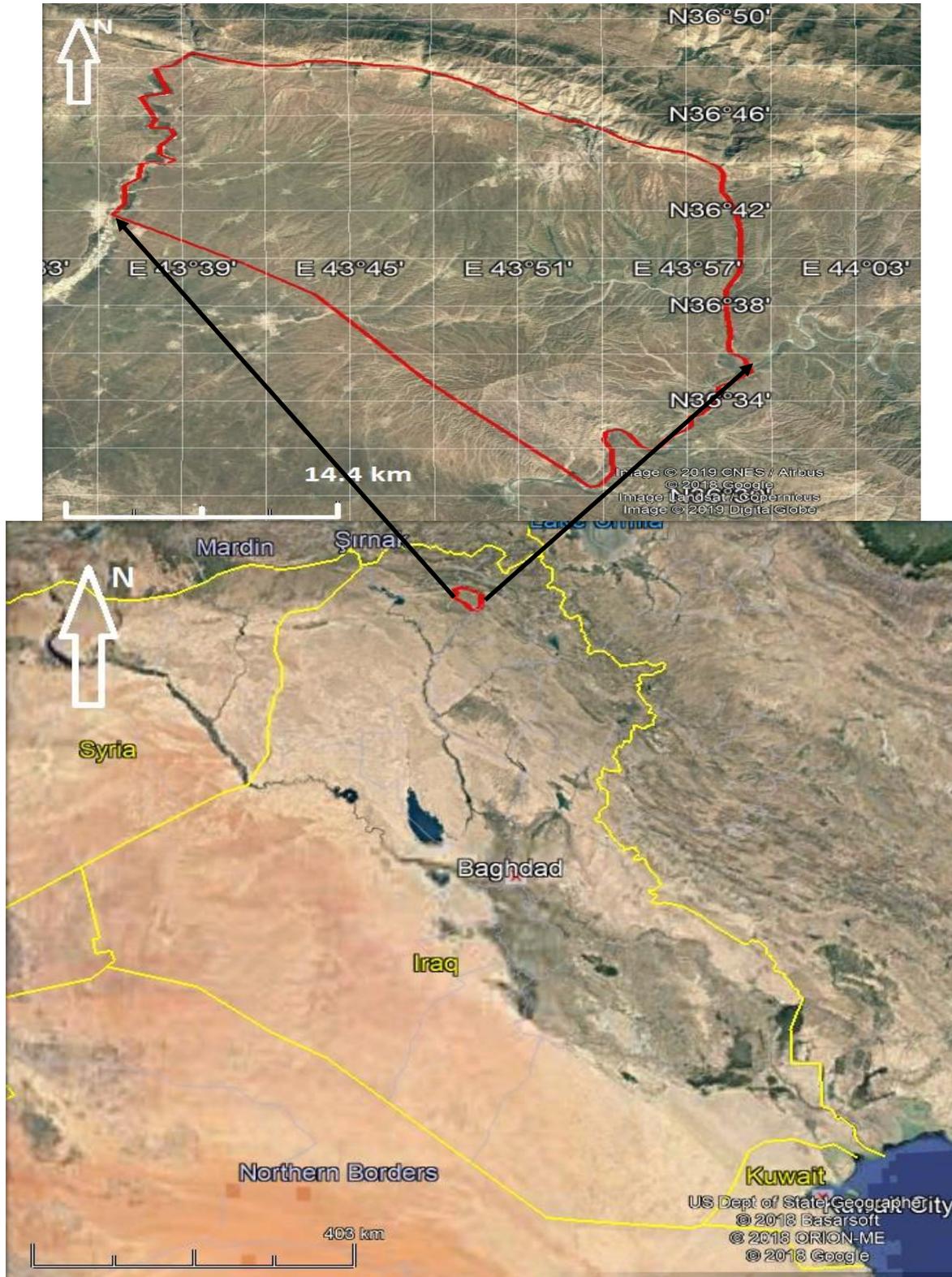


● خلية مفعلة Active cell ضمن حدود الممكن المائي المائي Aquifer  
○ خلية غير مفعلة Inactive cell خارج حدود الممكن المائي المائي Aquifer

الشكل 1: الشبكة ثلاثية الأبعاد للفروق المحددة (1988) Michael G. McDonald and Arlen W.

تم اختيار منطقة الدراسة بالاعتماد على البيانات المتوفرة وضرورة فهم طبيعة وسلوك المياه الجوفية خصوصاً أنها تعتبر المصدر الرئيس للمياه في المنطقة وكذلك الخصائص المميزة للمياه الجوفية فيها وبسبب قلة

الدراسات الهيدروجيولوجية فيها. تقع منطقة الدراسة ضمن الحدود الإدارية لقضاء عقرة بين سلسلة جبال عقرة والحدود الإدارية لقضاء بردرش بين نهري الزاب الأعلى والخازر في الجزء الشمالي من العراق على بعد 50 كم من مركز محافظة نينوى بين خطي عرض  $36^{\circ}30'$  و  $36^{\circ}48'$  وخطي طول  $43^{\circ}39'$  و  $43^{\circ}36'$  وتبلغ مساحة منطقة الدراسة حوالي 656 كم<sup>2</sup> كما مبين في الشكل (2).



الشكل 2: موقع وحدود منطقة الدراسة

يقع مناخ منطقة عقرة ضمن نفس الظروف المناخية للعراق اذ يتميز بمناخ قاري شبه استوائي بالاعتماد على تصنيف وتوزيع الأقاليم المناخية (Koppen - Geiger) الذي يعتمد على حجم الساقط المطري ودرجات الحرارة الشهرية والسنوية. أن معرفة تفاصيل مناخ المنطقة ضروري للدراسات الهيدرولوجية حيث يكون الساقط المطري ذا تأثير مباشر على كمية المياه الجوفية واختلاف مستوياتها وتذبذبها، في حين ان درجات الحرارة تؤثر على تبخر المياه السطحية والمياه الجوفية القريبة من السطح علما بان معدل الساقط المطري 654.6 ملم للفترة بين 2000-2016 المحسوب في محطة عقرة، بينما تم حساب معدل الساقط المطري لمحطات عقرة ودينارته وكردسين وجيل واسماوه وابحاث حسينية بواسطة خطوط تساوي القيم Isohytal عن طريق برنامج ArcGIS للفترة 2012-2014 فكانت 597.7 ملم، كما ان معدل درجات الحرارة تتراوح بين 3-41 درجة سيليزية ومعدل الرطوبة %45 و معدل التبخر 5 ملم بالسنة.

ان دراسة المياه الجوفية تتضمن معرفة التكوينات الجيولوجية وخصائصها وتوزيعها وكذلك التغيرات التي جرت على تلك التكوينات من طي وتكسرات وصدوع وفواصل حيث كل هذه الصفات تؤثر بشكل مباشر على تواجد المياه الجوفية وحركتها وسلوكها.

ان منطقة الدراسة هي جزء من سهل عقرة الذي يمتد من طيتي عقرة وبيرس Aqra anticline and Peris anticline الى طية بردارش Barda Rash anticline ، وسهل عقرة هو عبارة عن طية مقعرة syncline ذات امتداد واسع وهناك بين محور الطية المقعرة syncline وطية بردارش Barda Rash anticline طية ساراتا المحدبة Sarta anticline وفي شرق منطقة عقرة يقع غاطس طية صافيين Safeen anticline .plunge

إن أهم التكوينات الجيولوجية في منطقة عقرة هما تكوينا مقدادية (بختياري الأسفل) وباي حسن (بختياري الأعلى)، حيث أن تكوين مقدادية يعتبر مكمنا مائيا محصورا Confined Aquifer بطبقة طينية من الأعلى ويتكون من تعاقب الصخور الرملية والغرين والطين ويحوي على تكسرات تزيد من النفاذية، ولم يتم قياس سمك المكمن المائي بسبب قوة دفع المياه من الآبار وعدم التمكن من قياس الخصائص الهيدرولوجية لذلك تم أستبعاده من الدراسة، اما تكوين باي حسن فيعد مكمنا مائيا غير محصور Unconfined Aquifer ويتكون من المدملكات Conglomerates التي تعطي نفاذية عالية بسمك 131 m ويحوي أيضاً الرمل والطين خصوصا في الأجزاء العلوية من التكوين. كما ذكر عقراوي (1990) أن هناك اتصالا بين المكمنين المائيين المحصور وغير المحصور بسبب حفر آبار عميقة تخترقهما بدون تبطين ووجود عدسات طينية مما يؤثر على التوصيلية الهيدروليكية للمكمن المائي.

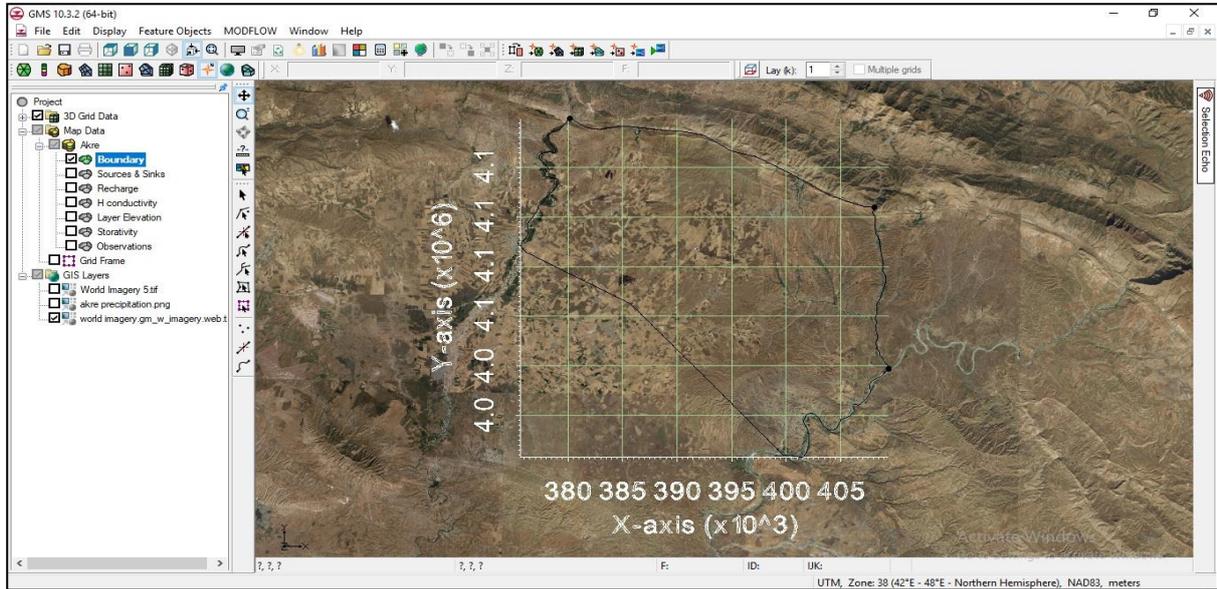
يحد نهر الزاب الأعلى شرق منطقة عقرة ونهر الخازر غربها اضافة لمرور نهر زنطا الذي يجري من شمال شرق المنطقة وينتهي بالتقاءه بنهر الزاب الاعلى، أضف الى ذلك وجود التكوينات الجيولوجية ذات النفاذية العالية مما أعطى منطقة عقرة ظروفًا مواتية لتواجد المياه الجوفية بكميات وفيرة. تم بعد ذلك تبني نسبة التغذية الراشحة للخزان الجوفي التي تم حسابها من قبل (Jassas and Merkel 2014) لحوض الخازر - غومل بأستخدام طرق تحليل المخطط المائي (الهيدروغراف) وتذبذب مستوى المياه الجوفية، وقد تراوحت نسب التغذية بين 17% و 19.5% و 24% من حجم الساقط المطري. كما وقام عقراوي (1990) بحساب التغذية أيضاً

وباستخدام تحليل المخطط المائي لحوض الخازر وحصل على ترشيح فعال 177.2 Effective Infiltration ملم من معدل ساقط مطري 760 ملم تم حسابه في محطة عقرة للفترة بين (1941-1987). يهدف البحث الحالي الى بناء انموذج رياضي عددي لجريان المياه الجوفية يحاكي حركة المياه الجوفية لمكمن عقرة المائي يمكن من خلاله التنبؤ باستجابة المكمن لظروف الضخ والتغذية المختلفة. هناك العديد من البرامج التي تستخدم تطبيق MODFLOW لغرض محاكاة الظروف الهيدروجيولوجية مثل Groundwater Modeling System (GMS) و Visual MODFLOW و Processing MODFLOW. تم في هذا البحث استخدام برنامج (GMS V. 10.3.2) الذي أعدته هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية وطور في جامعة بريغهام بالتعاون مع مهندسي الجيش الأمريكي 2008.

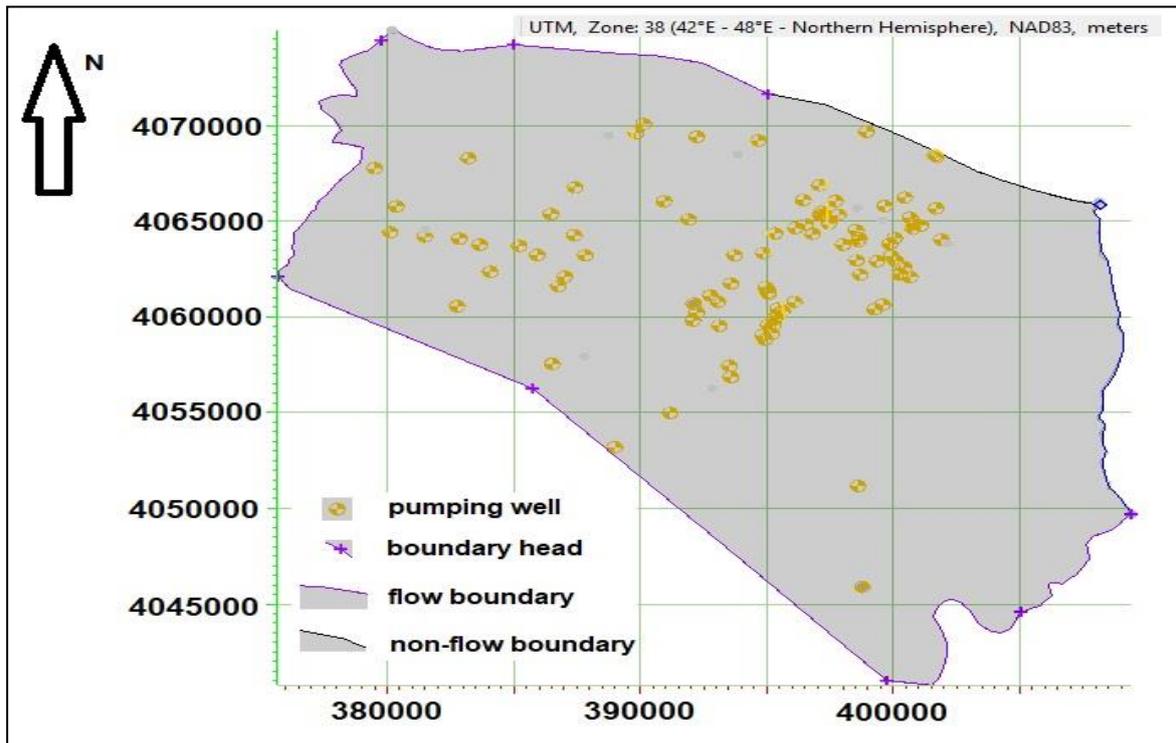
### خطوات بناء الانموذج ومدخلاته

- هناك عدة خطوات تم إتباعها لغرض بناء الأنموذج الرياضي المستخدم في الدراسة الحالية تتلخص بـ:
1. تعيين منطقة الدراسة كما مبين في الشكل (3) ومعرفة الظروف المناخية المتمثلة بحجم الساقط المطري والحرارة والرطوبة وخصائصها الجيولوجية والهيدروجيولوجية من نوعية المكمن المائي والحالات المتاخمة للمكمن وعدد وتوزيع الآبار.
  2. تهيئة البيانات المطلوبة لبناء الأنموذج حيث يتم إيجاد الخواص الهيدروجيولوجية من توصيلية هايدروليكية K وخازنية Storability .
  3. بناء أنموذج اعتباري (مفاهيمي) Conceptual Model الذي يستخدم أدوات نظم المعلومات الجغرافية GIS في خريطة الوحدة، ويعتبر المدخل لبناء الأنموذج الرياضي حيث يتم من خلاله إدخال جميع بيانات الأنموذج الرياضي من حالات متاخمة وخواص هايدروليكية وبيانات الآبار وتوصيلية الأنهر للمكمن المائي والتغذية وكميات الضخ كما مبين في الشكلين (4،5).
  4. إنشاء الشبكة الثلاثية الأبعاد 3D Grids بعدد صفوف  $i=156$  وعدد اعمدة  $j=145$  وطبقة  $k=1$   $X=$   $Y=37628.95$  m ,  $Z=400$ m ( 317101m ) بعدد خلايا 22620 بتفعيل 17297 خلية التي تقع ضمن المكمن المائي وعدم تفعيل 5323 خلية كما مبين في الشكلين (6،1) التي تعمل على تحويل الأنموذج الاعباري Conceptual Model الى أنموذج رياضي .
  5. فحص الأنموذج قبل تشغيله لتصحيح الأخطاء إن وجدت.
  6. تشغيل الأنموذج كما مبين في الشكل (7) حيث يقوم بالحسابات لكل الخلايا المفعلة Active Cells في الشبكة من خلال طريقة الفروق المحددة.
  7. تقييم الحساسية للمتغيرات حيث يتم دراسة تأثير المدخلات وتحديد تلك التي تؤثر على نتائج الأنموذج.
  8. معايرة الأنموذج Calibration للحالة المستقرة كما مبين في الشكلين (8،9) والتي تعبر عن حسن عمل الأنموذج الرياضي بجعل مناسيب المياه الجوفية المحسوبة بالأنموذج متطابقة أو متوافقة مع المناسيب الحقيقية المقاسة مع الالتزام بمعقولية النتائج وذلك لقياس المتغيرات الهيدروجيولوجية واستخدام النتائج لمعرفة الخواص الهيدروجيولوجية بدقة أكبر.

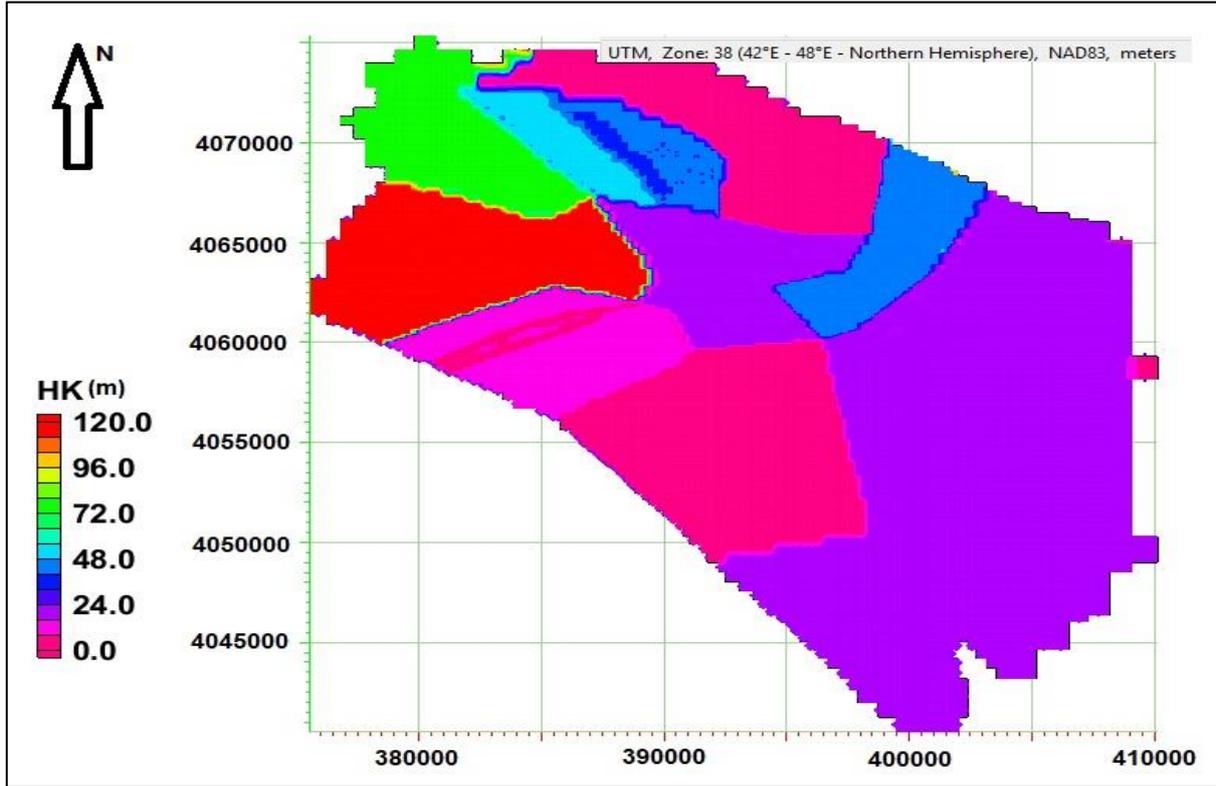
9. التحقق Verification من اداء الأنموذج للحالة المستقرة كما مبين في الاشكال (11، 12، 13، 14، 15)، وهي خطوة مهمة في إثبات دقة نتائج الأنموذج من خلال حسن المطابقة مع ما هو مرصود من المناسيب دون ان تكون تلك المعطيات قد عرضت على الانموذج سابقاً، سواءً في مرحلة بناء الانموذج او معايرته، كما تم التحقق للحالة غير المستقرة لجعل الانموذج أكثر واقعية كما مبين في الشكلين (16، 17).  
10. التنبؤ Prediction بما ستؤول اليه حالة المكنم المائي اذ انها الخطوة الأهم لاستنباط الخواص الهيدروجيولوجية وكذلك معرفة التغيرات الحاصلة للمناسيب من خلال تغير معدلات الضخ والتغذية من المكنم المائي مستقبلاً.



الشكل 3: واجهة برنامج GMS بعد أن تم تحديد منطقة الدراسة على خريطة سهل عقرة ضمن البرنامج.

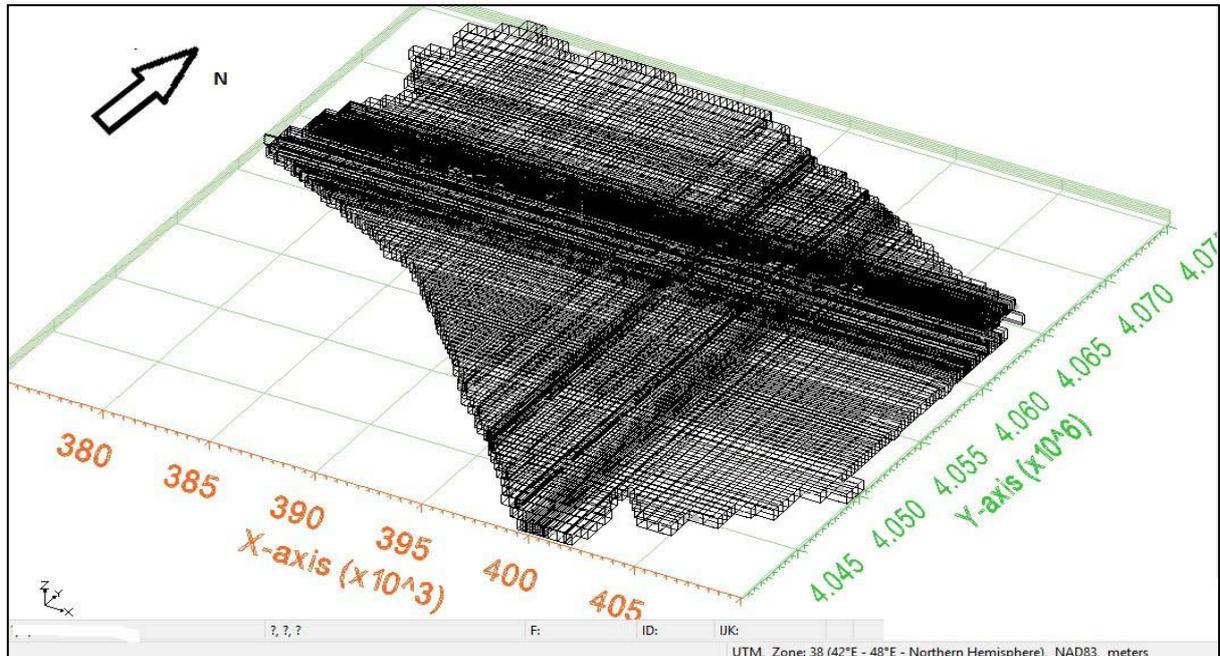


الشكل 4: توزيع ابار الضخ والحدود الهيدروجيولوجية لمنطقة عقرة

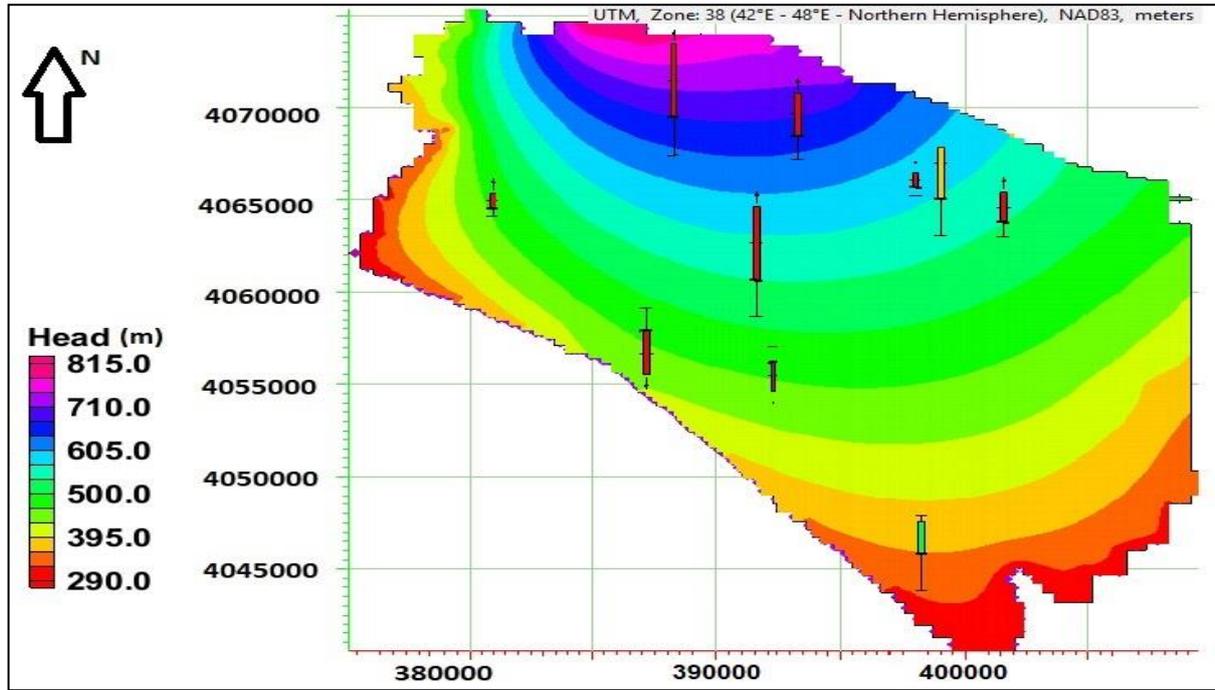


الشكل 5: التوصيلية الهيدروليكية (K) Hydraulic Conductivity.

يتم بعد ذلك بناء شبكة ثلاثية الأبعاد تقسم المكمن المائي الى خلايا ثلاثية الأبعاد كما مبين في الشكل (6) ليقوم الامنودج MODFLOW بإجراء الحسابات اللازمة لكل خلية.



الشكل 6: شبكة ثلاثية الأبعاد لبناء MODFLOW



الشكل 7: محاكاة مناسيب المياه الجوفية (م) لمنطقة عقرة قبل المعايرة

### المعايرة وفحص الحساسية

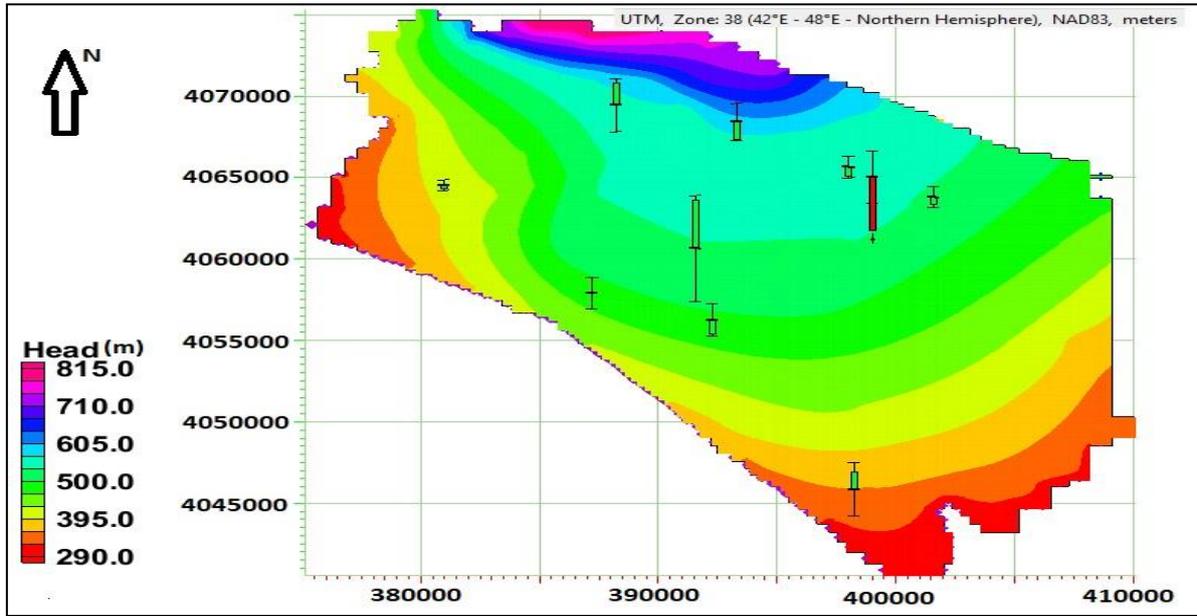
بعد إستكمال بناء الأنموذج تمت مقارنة مناسيب الآبار المرصودة والمحسوبة فكانت الفروقات كبيرة كما مبين في الشكل (7) بسبب تعدد المتغيرات التي تمثل مدخلات الأنموذج ونسبة الخطأ في حساب تلك المتغيرات ولذلك تم إختبار حساسية معالم الأنموذج وملاحظة تلك التي لها تأثير كبير على نتائجه من خلال تغيير قيم المدخلات على الأنموذج فكانت التوصيلية الهايدروليكية والتغذية هي العوامل الحاسمة بشكل مباشر على مناسيب المياه في الممكن المائي.

تم بعد ذلك استخدام المعايرة لجعل الأنموذج أكثر واقعية حيث تم استخدام أحد أنظمة الحل Solvers التي يوفرها البرنامج وهو GMG (Geometric Multigrid method) وذلك بطريقة المحاولة لأكثر من 500 محاولة للتوصل الى معايرة مقبولة وذلك عن طريق تغيير المدخلات الحساسة للبرنامج لجعل مناسيب الآبار المحسوبة من الأنموذج أقرب ما تكون الى مناسيب الآبار المرصودة فعلياً كما مبين في الجدول (1) والشكل (9.8) .

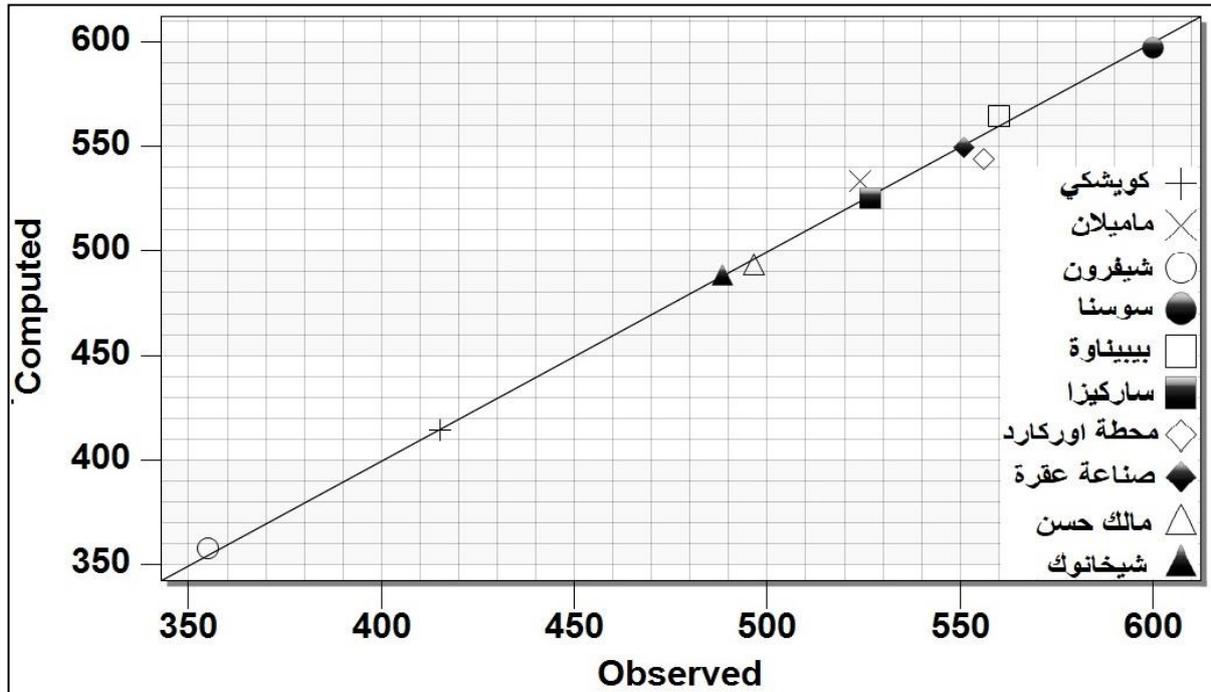
الجدول 1: مناسيب الآبار المحسوبة من الأنموذج ومناسيب الآبار المرصودة حقلياً (فوق مستوى سطح البحر) سنة 2014 فترة الانخفاض

| القيم المرصودة (m) Observed (m) | القيم المحسوبة (m) Computed (m) | اسم البئر     |
|---------------------------------|---------------------------------|---------------|
| 416.25                          | 414.9                           | كوشكي         |
| 493.2                           | 489.96                          | شيخانوك       |
| 500                             | 495.43                          | مالك حسن      |
| 554.7                           | 546.9                           | محطة أوركاردي |
| 527.8                           | 527.95                          | ساركيزا       |
| 551                             | 549.34                          | صناعة عقرة    |
| 601.2                           | 598.9                           | سوسنا         |

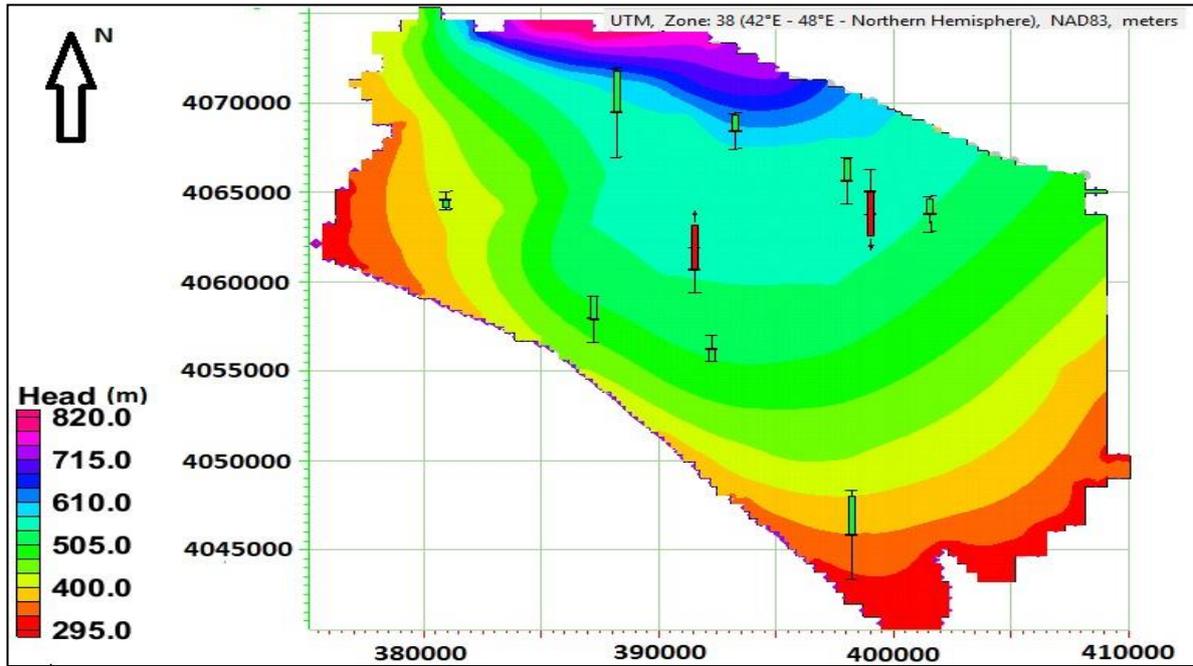
|       |        |           |
|-------|--------|-----------|
| 560.3 | 565.15 | بييناوة   |
| 355.1 | 358.72 | شيفرون    |
| 524.2 | 533.13 | ماميلان 4 |



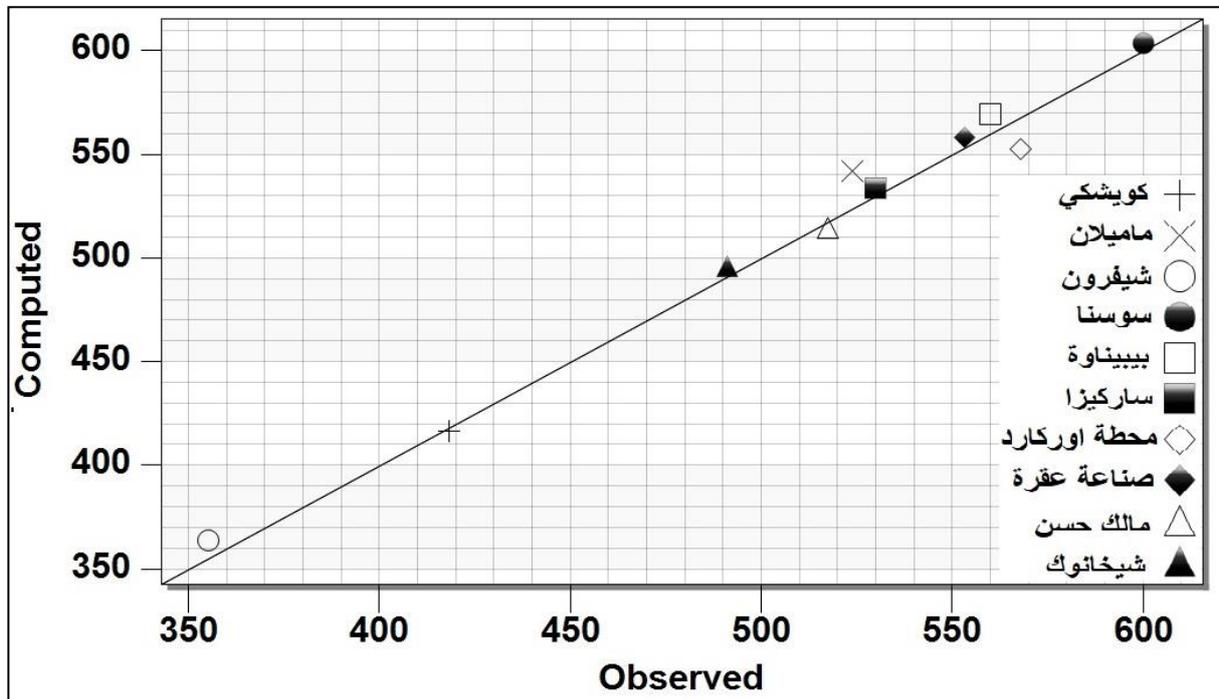
الشكل 8: محاكاة مناسيب المياه الجوفية لمنطقة عقرة بعد المعايرة سنة 2012 فترة الانخفاض (الصيف)



الشكل 9: الفرق بين شحنة الآبار المحسوبة والمرصودة لسنة 2012 فترة انخفاض مناسيب المياه الجوفية (الصيف).

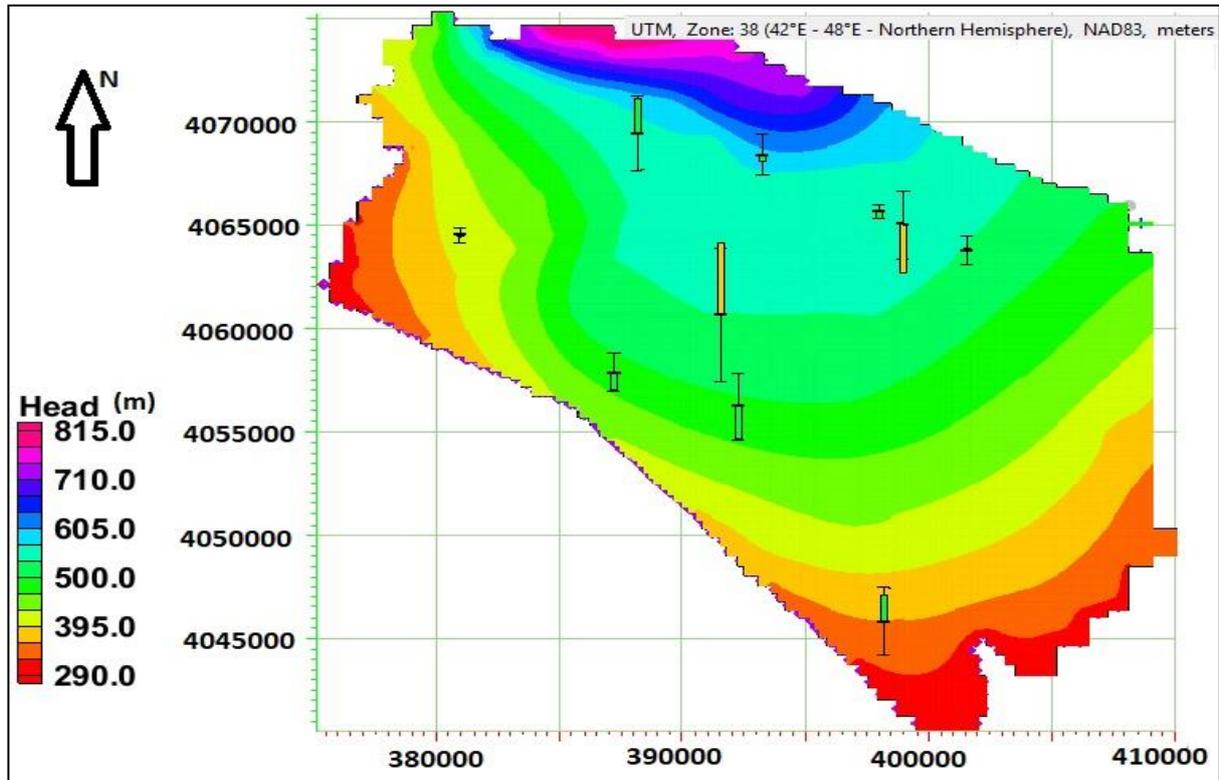


الشكل 10: محاكاة مناسيب المياه الجوفية لمنطقة عقرة بعد المعايرة سنة 2012 فترة الارتفاع (الشتاء).

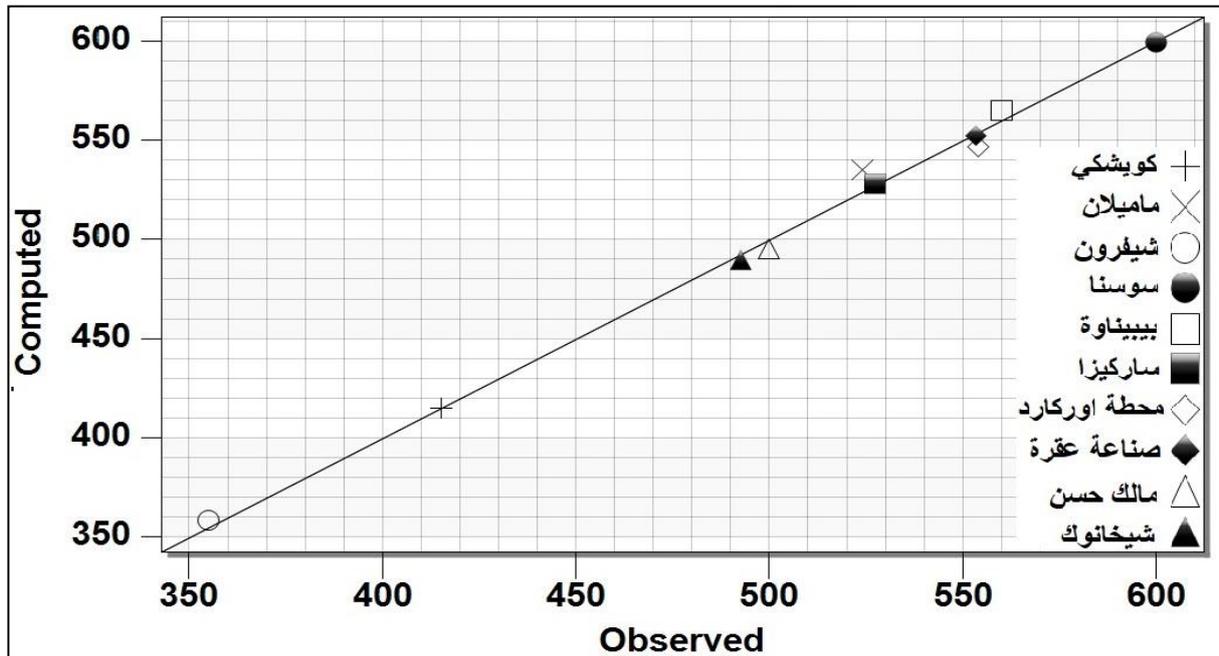


الشكل 11: الفرق بين شحنة الآبار المحسوبة والمرصودة لسنة 2012 فترة ارتفاع مناسيب المياه الجوفية (الشتاء)

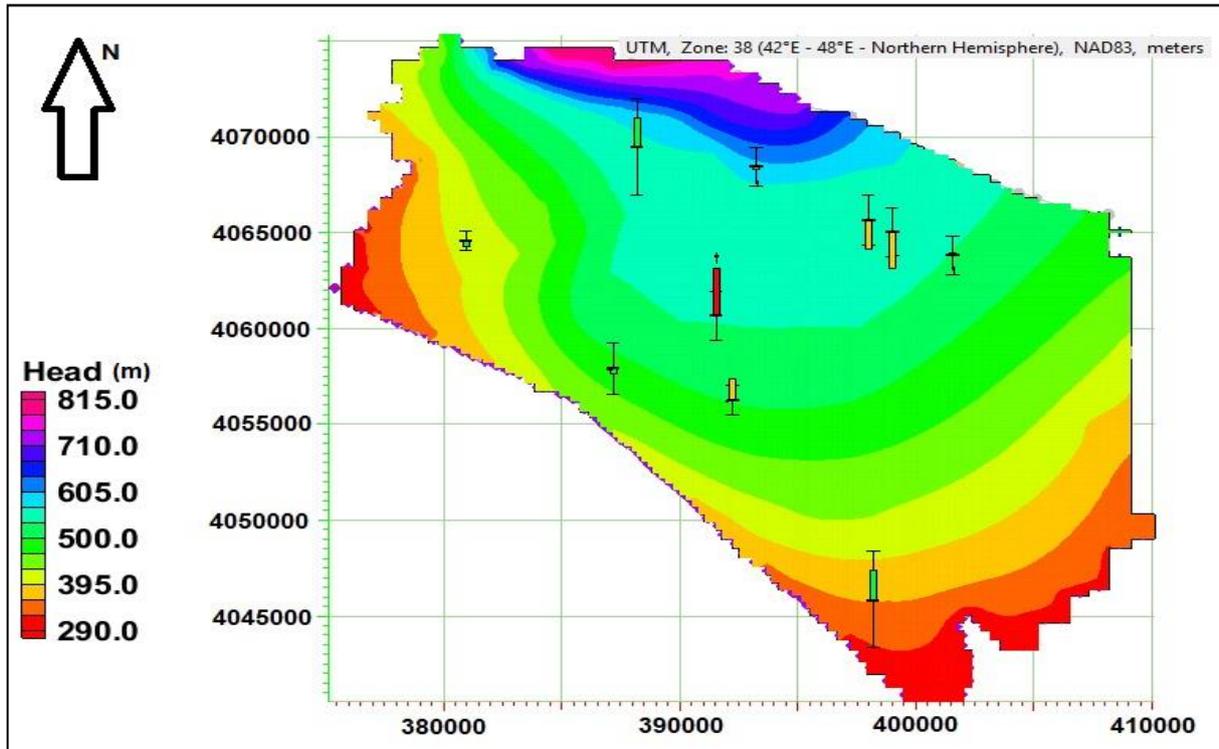
ثم بعد ذلك يتم التحقق بادخال متغيرات اخرى لفحص الانموذج ومدى مقبوليته كما مبين في الشكل (12،13،14،15).



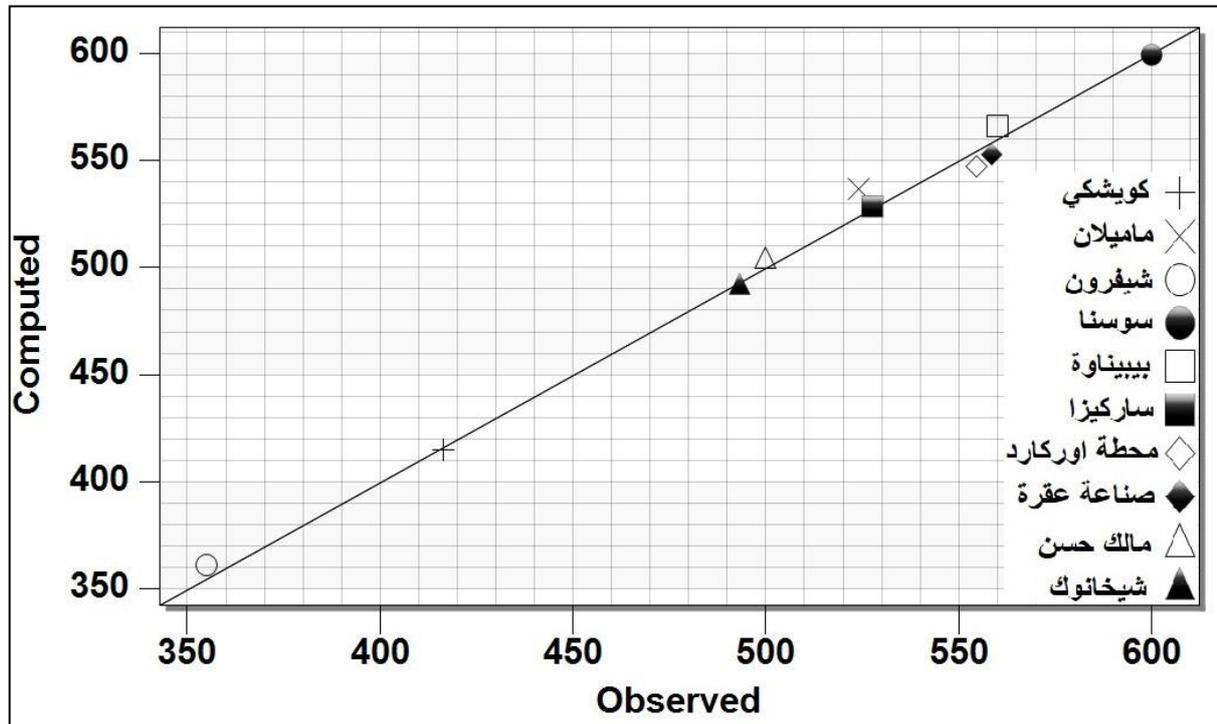
الشكل 12: محاكاة مناسيب المياه الجوفية لمنطقة عقرة بعد المعايرة سنة 2014 فترة الانخفاض (الصيف).



الشكل 13: الفرق بين شحنة الآبار المحسوبة والمرصودة لسنة 2014 فترة انخفاض مناسيب المياه الجوفية (الصيف).

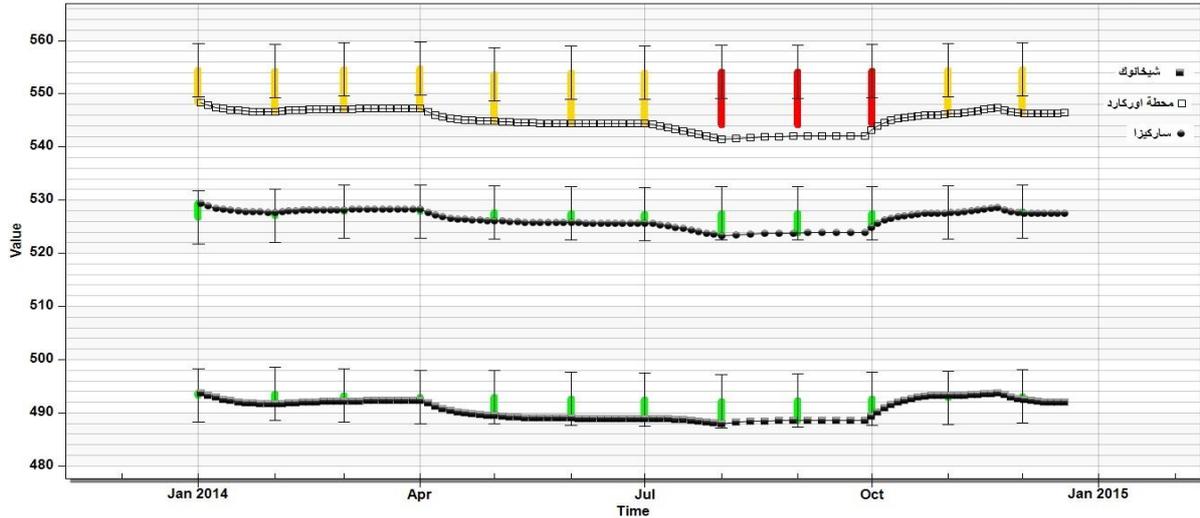


الشكل 14: الفرق بين شحنة الآبار المحسوبة والمرصودة لسنة 2014 فترة ارتفاع مناسيب المياه الجوفية (الشتاء).

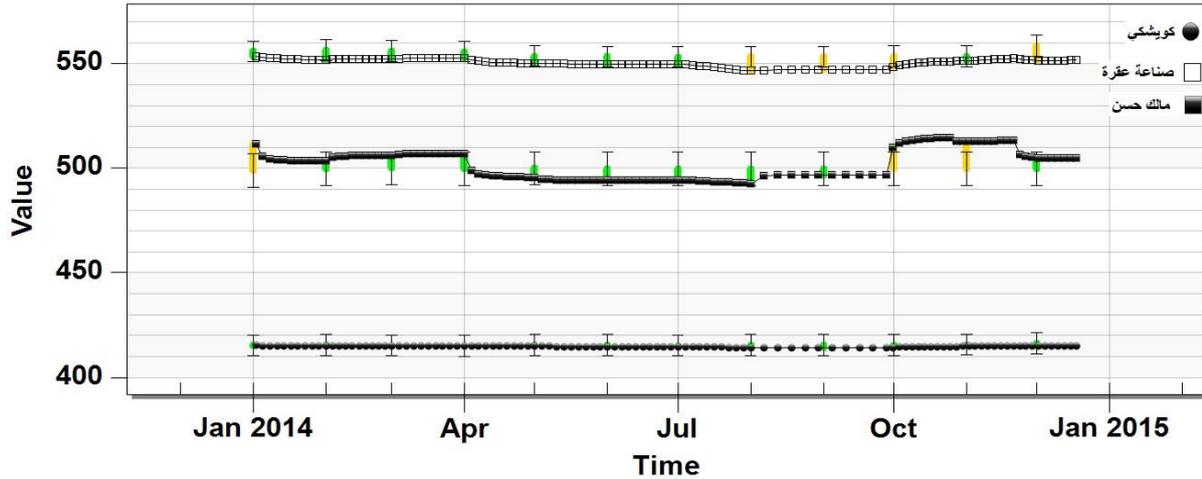


الشكل 15: الفرق بين شحنة الآبار المحسوبة والمرصودة لسنة 2014 فترة ارتفاع مناسيب المياه الجوفية (الشتاء).

كما تم ايضا التحقق لحالة الجريان غير المستقر ليكون الانموذج اقرب للواقع باستخدام بيانات اشهر سنة 2014 كما مبين في الشكل (16،17).



الشكل 16: الفرق بين المناسيب المحسوبة والمرصودة للحالة غير المستقرة خلال اشهر سنة 2014.



الشكل 17: الفرق بين المناسيب المحسوبة والمرصودة للحالة غير المستقرة خلال أشهر سنة 2014.

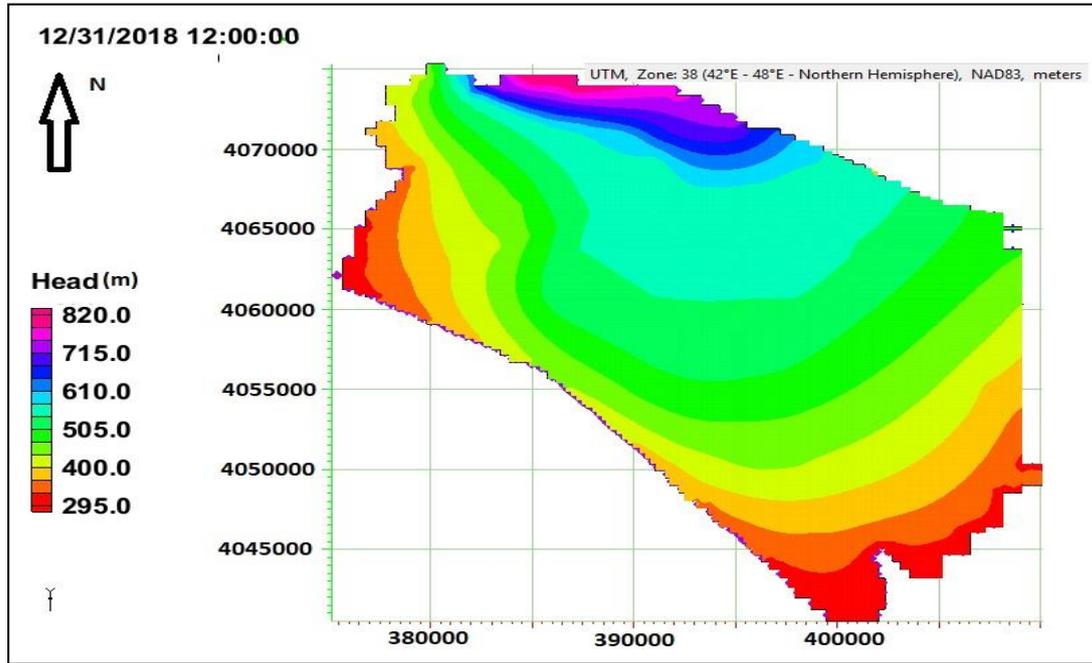
الآن أمسى الأنموذج جاهزا للتطبيق بعد التأكد من حسن مطابقة النتائج المحسوبة مع المرصودة وتغيير معاملته بشكل يجعل أداءه مقبولاً، فتم الحصول على الموازنة المائتية للمياه الجوفية لمنطقة الدراسة كما مبين في الجدول (2) أدناه.

الجدول 2: الموازنة المائتية المحسوبة من الأنموذج للمكمن المائي لمنطقة عقرة للعام 2012 فترة الارتفاع في حالته المستقرة.

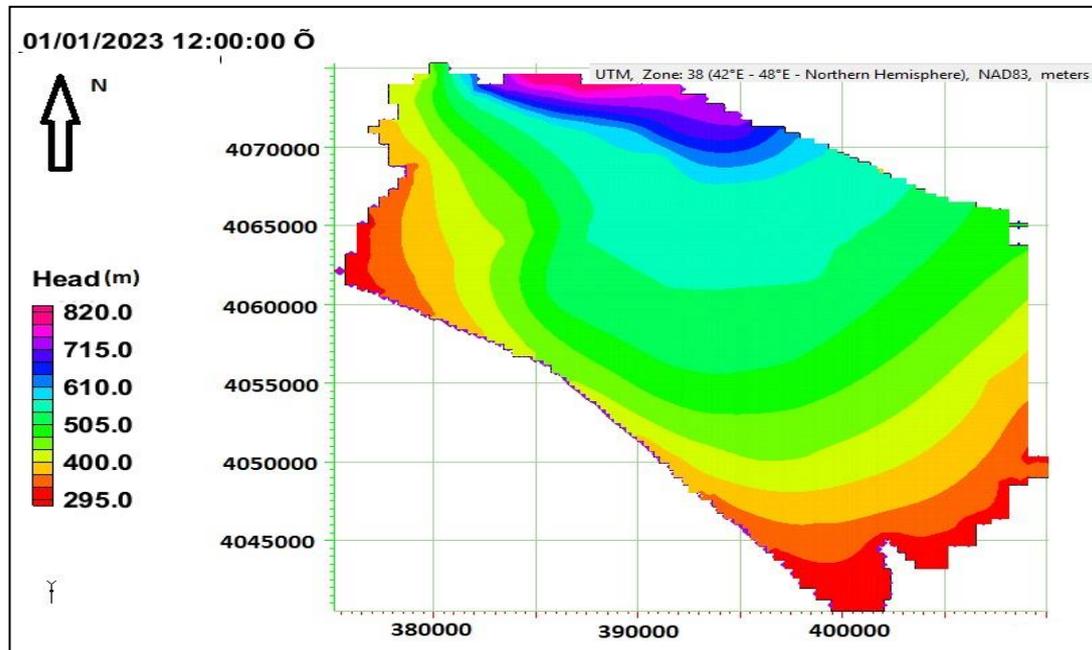
| الجريان الخارج m <sup>3</sup> /day | الجريان الداخل m <sup>3</sup> /day |  |
|------------------------------------|------------------------------------|--|
| -7,802,570.55                      | 7,753,926.83                       | المنسوب الثابت للمكمن المائي               |
| -70,113.6                          | 0                                  | أبار الضخ                                  |
| -100,572.54                        | 13,205.55                          | تسريب النهر                                |
| 0                                  | 206,125.9                          | التغذية                                    |
| -7,973,256.69                      | 7,973,258.29                       | المجموع                                    |
| 1.59                               |                                    | الفرق بين الجريان الداخل والخارج           |
| 0.00002 %                          |                                    | النسبة المئوية لفرق الجريان الداخل والخارج |

### النتائج

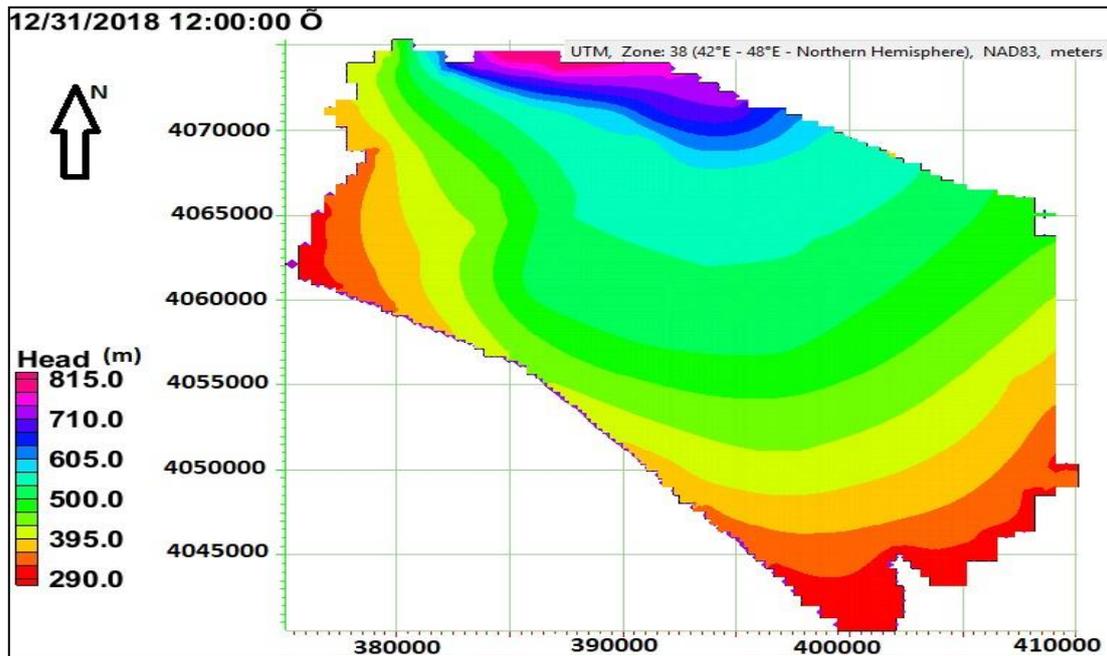
بعد تشغيل الأنموذج تم الحصول على النتائج التالية اذ تم في السيناريو-1 الضخ لمدة 5 سنوات و10 سنوات حسب ازدياد نسب الضخ في المنطقة المأخوذة من دائرة المياه الجوفية عند تغذية 100% من معدل ساقط مطري مقداره 597.7 ملم للفترة بين 2012-2014 حيث أنخفضت مناسيب المياه الجوفية بمعدل 4 متر خلال 5 سنوات ضخ ومعدل 5 متر خلال 10 سنوات ضخ كما مبين في الشكلين (18) و(19). اما سيناريو-2 فكان الضخ بدون تغذية لمدة 5 سنوات بمعدل انخفاض 7 متر وعند 10 سنوات كان معدل الانخفاض 8 متر كما مبين في الشكلين (20) و(21).



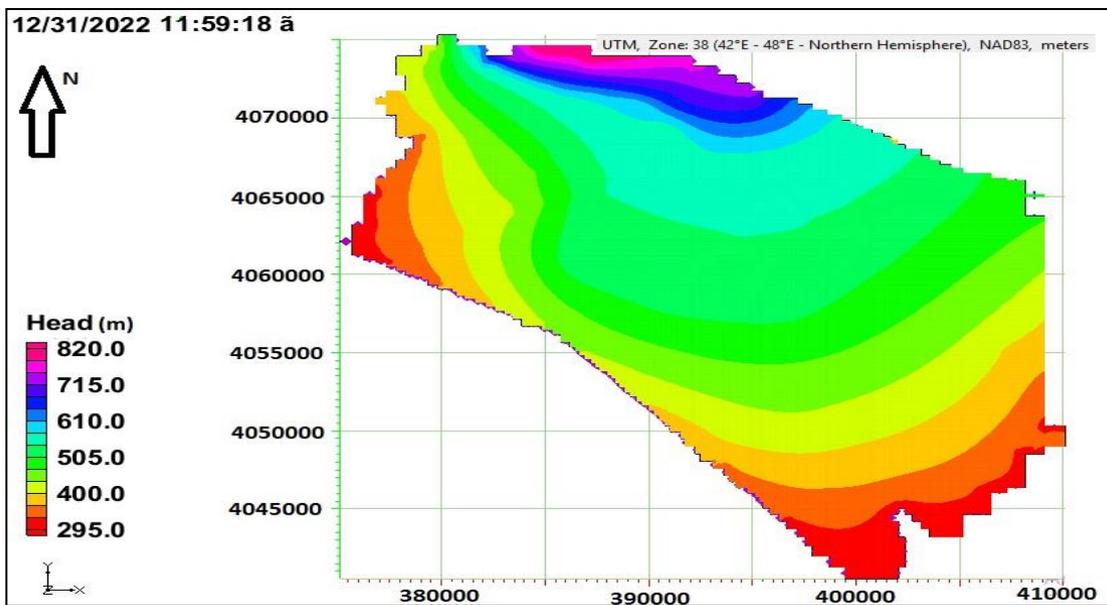
الشكل 18: مناسيب المياه الجوفية (م) المتوقعة بعد سحب لمدة 5 سنوات مع التغذية.



الشكل 19: مناسيب المياه الجوفية (م) المتوقعة بعد سحب لمدة 10 سنوات مع التغذية.



الشكل 20: مناسيب المياه الجوفية (م) المتوقعة بعد سحب لمدة 5 سنوات بدون التغذية



الشكل 21: مناسيب المياه الجوفية (م) المتوقعة بعد سحب لمدة 10 سنوات بدون التغذية.

### مناقشة النتائج المستحصلة من تشغيل الانموذج

من خلال البيانات المستحصلة من دائرة المياه الجوفية لمنطقة عقرة تم بناء الأنموذج ومعايرته والتأكد من قربهِ لواقع منطقة الدراسة حيث تم فحص الحساسية للأنموذج وتبين أن الأنموذج حساس للتغذية والتوصيلية الهيدروليكية لذلك تم اجراء تغييرات لهذه المعاملات حتى تصبح الشحنة المائية المحسوبة من الأنموذج قريبة من الشحنة المائية المرصودة حقلياً لسنة 2012 في فترة انخفاض مناسيب المياه الجوفية (الصيف) للحالة المستقرة كما مبين في الشكلين (8) و(9) والجدول (1). تم بعد ذلك التحقق من الأنموذج بإدخال بيانات سنة 2012 في فترة ارتفاع مناسيب المياه الجوفية (الشتاء) كما مبين في الشكل (10،11) وبيانات سنة 2014 في فترتي انخفاض وارتفاع مناسيب المياه الجوفية (الصيف) فكانت نتائج شحنة الآبار المحسوبة قريبة من الآبار المرصودة

حقلياً كما مبين في الشكل (12،13،14،15) ، وايضا تم التحقق لحالة الجريان غير المستقر بإدخال بيانات اشهر سنة 2014 كما مبين في الشكل (16،17) مما يدل أن الأنموذج امسى ذا دقة مقبولة وأنه بالإمكان اجراء عملية المحاكاة للمكمن المائي لاستنباط ما ستؤول اليه حالة النظام المائي لمختلف المدخلات المستقبلية المتوقعة من تغذية او سحب. وبناءً على ذلك فقد تم تشغيل الأنموذج بسيناريوهين مختلفين حسب ازدياد نسب الضخ في المنطقة : السيناريو-1 الضخ لمدة 5 سنوات و10 سنوات حسب ازدياد نسب الضخ في المنطقة المأخوذة من دائرة المياه الجوفية عند تغذية 100% من معدل ساقط مطري مقداره 597.7 ملم للفترة بين 2012-2014 حيث انخفضت مناسيب المياه الجوفية بمعدل 4 متر خلال 5 سنوات ضخ ومعدل 5 متر خلال 10 سنوات ضخ كما مبين في الشكل (18) و(19) ، اما سيناريو-2 فكان الضخ بدون تغذية لمدة 5 سنوات بمعدل انخفاض 7 متر وعند 10 سنوات ضخ كان معدل الانخفاض 8 متر كما مبين في الشكلين (20) و(21). هذه النتائج تبين ان هناك انخفاض في مخزون المياه الجوفية في مكمن عقرة عند زيادة مستويات الضخ في حالتي وجود التغذية وعدم وجودها مما ينبه ضرورة ادارة هذه النوعية من المياه كونها تعتبر المصدر الرئيسي لتلك المنطقة.

إن سبب تباين التوصيلية الهيدروليكية بشكل كبير يعود الى وجود عدسات طينية في مواقع مختلفة من المكمن المائي وكذلك تسرب المياه الجوفية بين المكمن المائي المحصور وغير المحصور مما يؤثر على قياس قيم التوصيلية، كما ويلاحظ أيضا ازدياد توصيلية المكمن المائي الهيدروليكية كلما اتجهنا غرباً نحو نهر الخازر كما يبينه الشكل (5) مما يدل على وجود اتصال مباشر مع نهر الخازر. غير ان هذه التوصيلية تقل كلما أتجهنا شرقاً نحو نهري الزاب الأعلى و زنطا ما يدل على ضعف التوصيل بين المكمن المائي و نهري الزاب الأعلى و زنطا. بينت زيادة كميات الضخ انخفاضاً بالمناسيب في مواقع تواجد الآبار، ويقل مستوى الانخفاض كلما أبتعدنا عن تلك المواقع وذلك بسبب اتصال المكمن المائي بنهر الخازر وكذلك لوجود تسريب بين المكمن المائي المحصور وغير المحصور.

### اسباب الثقة بنتائج الانموذج

1. شحنة الآبار المحسوبة من الانموذج قريبة من الآبار المرصودة حقلياً سنة 2012 خلال فترتي ارتفاع مناسيب المياه الجوفية نتيجة تغذية الساقط المطري (الشتاء) وانخفاض مناسيب المياه الجوفية نتيجة غياب تغذية الساقط المطري كما مبين في الاشكال (8،9،10،11).
2. شحنة الآبار المحسوبة من الانموذج قريبة من الآبار المرصودة حقلياً سنة 2014 خلال فترتي ارتفاع مناسيب المياه الجوفية نتيجة تغذية الساقط المطري (الشتاء) وانخفاض مناسيب المياه الجوفية نتيجة غياب تغذية الساقط المطري كما مبين في الاشكال (12،13،14،15).
3. اجراء تحقيق لحالة الجريان الغير مستقر كما مبين في الشكل (16،17).
4. حساب النسبة المئوية لفرق القيم الداخلة والخارجة Percent Discrepancy من خلال الانموذج كما مبين بالعلاقة (3) ادناه:

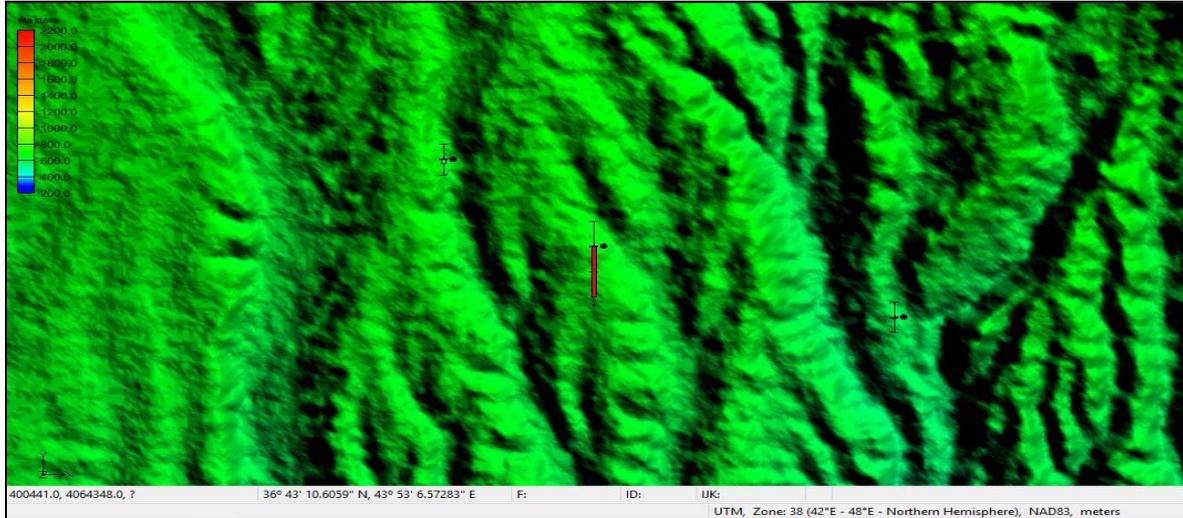
$$D = 100 \frac{IN-OUT}{(IN+OUT)/2} = 0.00002 \% \text{ (McDonald, M.G. \& Harbough A. W. 1988) (3)}$$

وهي نسبة قليلة جدا مما يدل على دقة الانموذج.

5. التوصيلية K المحسوبة من قبل عقراوي (1990) باستخدام الضخ التجريبي الذي قامت به هيئة المسح الجيولوجي والتي تم معايرتها بالأنموذج تقريبا متساوية.

### التطبيق على منطقة الدراسة

على الرغم من حسن اداء الأنموذج بعد معايرته وتناقص الفروقات بين القيم المحسوبة منه مع تلك المرصودة الا ان الجزء القريب من مدينة عقرة اعطى فروقات غير مقبولة في بعض الآبار على الرغم من المحاولات العديدة لتغيير متغيرات الانموذج الحساسة في هذا الجزء، ولعل ذلك يعود للوعورة الشديدة في هذا الجزء أو وجود إتصال مع المكمن المائي المحصور بسبب تسرب المياه أو وجود عدسة طينية تسبب في تغير خصائص هذا الجزء او وجود تغذية غير طبيعية في هذه المنطقة. يبين الشكل (22) وعورة هذا الجزء واختلاف بين القيم المحسوبة والمرصودة في أحد الآبار. أضف الى ذلك عدم وجود آبار في منطقة بجيل بين نهري الزاب الأعلى ووزنتا بسبب تعقيدها الجيولوجي وعدم توفر مياه جوفية في تلك المنطقة مهما كان الحفر عميقا في المكمن المائي.



الشكل 22: أحد آبار المراقبة يظهر بلون أحمر بسبب صعوبة معايرته

### الاستنتاجات

1. بينت الدراسة امكانية الانموذج MODFLOW العالية في محاكاة الخصائص الهيدرولوجية لمكمن عقرة المائي خاصة بعد اجراء عملية المعايرة المطلوبة.
2. عند تشغيل الأنموذج بسيناريوهين مختلفين السيناريو-1 أشتمل على الضخ لمدة 5 سنوات و10 سنوات فحصل انخفاض بمناسيب المياه الجوفية بمعدل 4 و5 متر على التوالي حسب ازدياد نسب الضخ في المنطقة بوجود التغذية. اما سيناريو-2 فكان الضخ لمدة 5 سنوات و10 سنوات حسب ازدياد نسب الضخ في المنطقة أيضاً لكن بغياب التغذية حيث انخفضت المناسيب بمعدل 7 و8 متر على التوالي.
3. تزداد توصيلية المكمن المائي الهايدروليكية كلما كان الاتجاه غرباً نحو نهر الخازر مما يدل على وجود اتصال مباشر بين المكمن المائي والنهر. بينما تقل التوصيلية كلما كان الاتجاه شرقاً نحو نهري الزاب الأعلى ووزنتا ما يدل على ضعف التوصيل بينهما.

## التوصيات

توصي الدراسة الحالية بالآتي:

1. بالإمكان الحصول على المزيد من الدقة في النتائج المستحصلة من الانموذج إذا تم إجراء ضخ تجريبي لعدد أكبر من الابار مع مراقبة مخروط الانخفاض Cone of Depression بواسطة ابار مراقبة قريبة من بئر الضخ.
2. حفر عدد أكبر من ابار المراقبة لتغطي منطقة المكنن المائي.
3. حساب الترشيح Infiltration حقليا لعدة مناطق مختلفة من المكنن المائي.

## المصادر العربية

- المديرية العامة للمياه الجوفية، محافظة دهوك، دائرة المياه الجوفية - عقرة، قسم الجيولوجيين، ضخ تجريبي ومناسيب آبار المراقبة لعدة سنوات.
- المديرية العامة للزراعة، محافظة دهوك، دائرة الزراعة - عقرة، الأنواء الجوية، حجم الساقط المطري السنوي.
- عقراوي، زيرك عزيز 1990، "هايدرولوجية سهل عقرة"، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم علوم الأرض، كلية العلوم، جامعة الموصل.
- النعمي، فيصل حمادي 2010، "دراسة ونمذجة المكامن الجوفية في الجزء الأوسط من حوض سهل نينوى الشرقي"، أطروحة دكتوراه غير منشورة، قسم عموم الأرض، كلية العلوم، جامعة الموصل.
- عقراوي، سمير صباح رجب 2016، "تقييم الملاءمة المكانية لاستعمالات الأرض الزراعية في قضاء عقرة"، أطروحة دكتوراه منشورة، قسم الجغرافيا، كلية التربية للعلوم الإنسانية، جامعة الموصل.

## المصادر الاجنبية

- Hussein Jassas and Broder Merkel 2014, Estimating Groundwater Recharge in the Semiarid Al-Khazir - Gomal Basin, North Iraq, published article.
- Kresic, N. 2007. Hydrogeology and groundwater modeling, Second Edition, U.S.A., 807.
- Anderson, Mary P., Woessner, and William W. 1992. Applied Groundwater modeling, simulation of flow and advective transport, U.S.A, pp: 341.
- McDonald, M.G. and Harbough, A.W. 1988. A modular three-dimensional Finite Difference groundwater flow model, U.S.G.S., Scientific Publication Co., Washington, D.C.
- Harbaugh, A.W., 2005, MODFLOW-2005, the U.S. Geological Survey modular ground-water model—The GroundWater Flow Process: U.S. Geological Survey Techniques and Methods.
- J. Stoer, R. Bulirsch," Introduction to Numerical Analysis" Aquaveo, Groundwater Modeling System, Tutorials 2016.