النموذج الرياضي لجريان المياه الجوفية لمنطقة بعشيقة، شمال العراق

طه حسين السالم **محمد فوزي عمر خطاب**

مركز التحسس النائي

جامعة الموصل

(تاريخ الاستلام ٢٠٠١/١١/٧ ، تاريخ القبول ٢٠٠٢/١/٢٣)

الملخص

تمثل نماذج المياه الجوفية إحدى التقنيات المهمة والوسائل الناجحة في تحليل مشاكل أو مسائل المياه الجوفية. إذ تم تصميم موديل رياضي يحاكي نظام المياه في منطقة بعشيقة الواقعة شمال العراق وبالتحديد بين دائرتي عرض $36^\circ\ 28'\ 13''$ و$36^\circ\ 23'\ 21''$ ودائرتي طول $43^\circ\ 27'\ 08''$ و$43^\circ\ 00''$.

حيث كانت المساحة الكلية المشمولة بالموديل الرياضي ٩٥ كم^2 بواسطة استخدام طريقـة الفـرق المحدد (FDM) لتمثيل الموديل الرياضي. ونتج عن تطبيق الموديل تحديد مناسيب المياه الجوفيـة فـي منطقة الدراسة وكذلك اتجاه الجريان، كما تم التنبؤ بالسلوك المستقبلي لنظام المياه الجوفيـة فـي منطقـة الدراسة في حالة حفر آبار جديدة ضمن منطقة البحث.

Mathematical Model of Ground Water Flow of Bashiqa Area, Northern Iraq

ABSTRACT

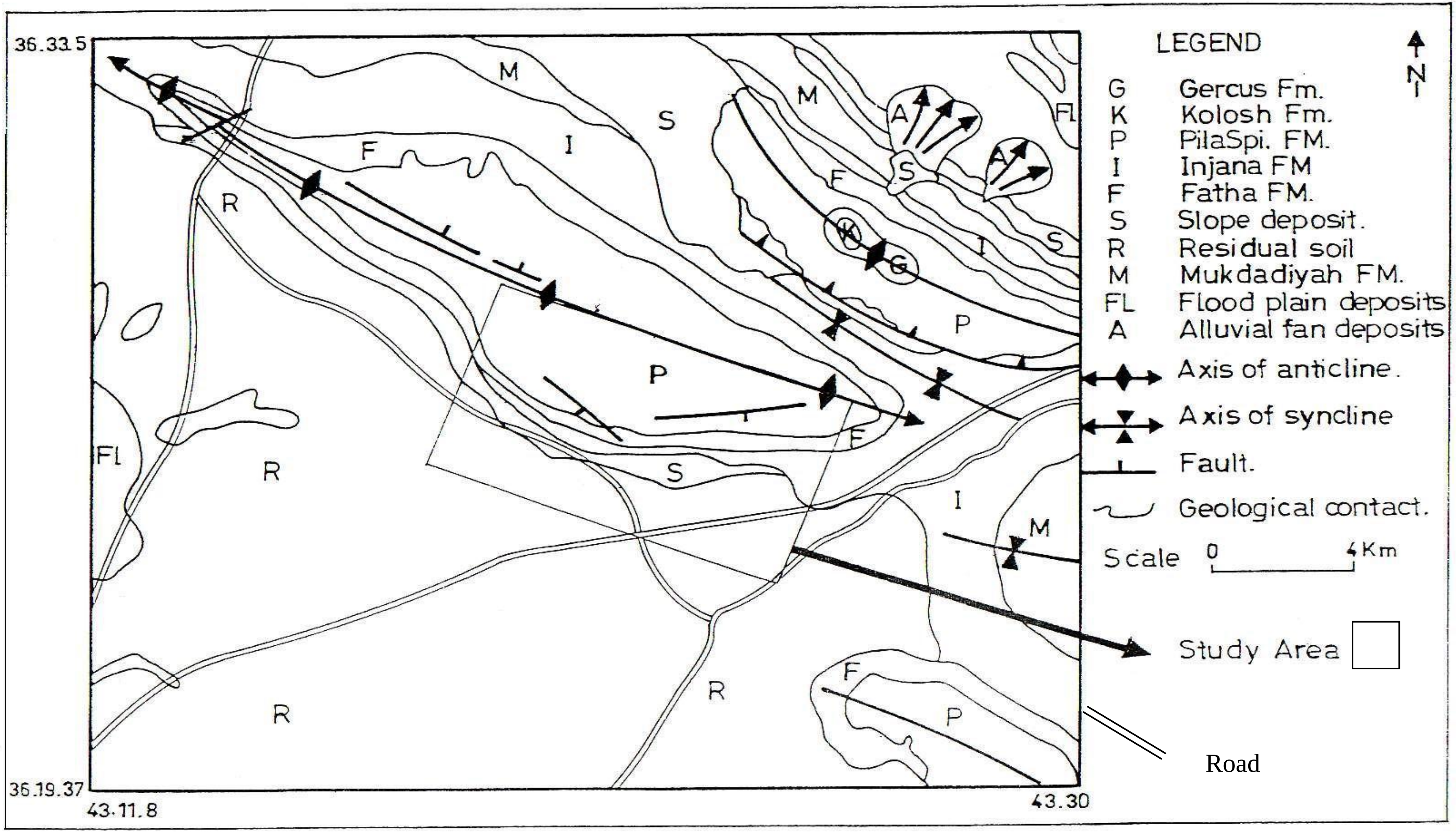
Models of ground water are one of most important techniques and powerful tools for solving problems or questions of ground water. Mathematical model was designed for the verification of ground water system in Bashiqa area northern Iraq which situated between latitude $36^\circ\ 28'\ 13'', 36^\circ\ 23'\ 21''$ and longitude $43^\circ\ 27'\ 08'', 43^\circ\ 19'\ 00''$.

The total area involved in the mathematical model was $95 km^2$ by using Finite Difference Method (FDM) for presenting the model. The results of model application was the determining ground water level in the study area and the direction of flow of ground water. The future behavior of ground water of the research area has been predicted, in the case of drilling new wells.

المقدمة

تمثل نماذج المياه الجوفية إحدى أهم الوسائل المستخدمة لدراسة أنظمة المياه الجوفية فـي منطقـة معينة ويتم هذا بواسطة تصميم نموذج (Model) للمنطقة المدروسة. إذ يعرف النموذج على انه تحويـل مبسط للحقيقة بحيث يكون وسيلة ناجحة لفهمها (Bethke et al.,1999). وتكمن الفائدة من هذه النماذج في إمكانية استخدامها للدراسات الاستكشافية والاستطلاعية التي تشبه الدراسات الحقلية وكـذلك لتفسـير أو تحليل النتائج بعد إجراء الدراسات الحقلية كم يمكن اعتمادها لغرض التنبؤ بالسلوك المستقبلي للحقل مـع بقاء الظروف الحالية قائمة أو عند تغير الخصائص والمواصـفات لـه (Mercer and Faust, 1980a). إحدى أهم هذه النماذج المستخدمة لدراسة المياه الجوفية تكون النماذج العددية حيث إن التطـور التقنـي الكبير الذي شهدته صناعة الحاسبات في امتلاكها لقدرة خزن كبيرة والسرعة الكبيرة في أداء العمليـات وحل المعادلات الرياضية جعلت الحاسوب الأداة الأكثر فعالية لحـل المعـادلات الرياضـية باسـتخدام الأساليب العددية (Brady and Bethke, 2000). وخاصة بطريقتي الفرق المحدد (Finite Difference Method)(FDM) وطريقة العنصر المحدد (Finite Element Method) (FEM) حيـث تعتمـد كلتـا الطريقتين على أيجاد حل لمعادلات التفاضل الجزئي التي تستند على ضم قانون الجريان مع قانون حفـظ الكتلة والاستمرارية وتحويلها إلى معادلات وصيغ جبرية (Mercer and Faust, 1980b).

حيث اعتمد هذا البحث على استخدام طريقة الفرق المحدد (FDM) والتي هي مـن أهـم الطـرق الناجحة التطبيق في مجال جريان المياه الجوفية (Mercer and Faust,1980c) لتحديد اتجاه المياه الجوفية في منطقة بعشيقة الواقعة شمال العراق والمحصورة بين دائرتي عـرض ″13 ′28 °36 و″21 ′23 36 ودائرتي طول ″08 ′27 °43 و″00 ′19 °43. تنكشف على السطح في منطقة الدراسة التكوينات العائدة للفترة من الايوسين الأوسط وحتى العصر الحديث وهي من الأقدم إلى الأحدث متمثلة بتكوينات البلاسبي، الفتحة، الانجانة وترسبات العصر الرباعي،(الشكل ١).



الشكل ١ : الخارطة الجيولوجية لمنطقة الدراسة محورة عن (Geosurve,1995).

معادلة جريان المياه الجوفية

إن جريان المياه الجوفية يكون ممثلا بواسطة قانون دارسي (Darcys law) حيث إن معدل الجريان يكون متناسبا مع ميل الارتفـاع الهيـدروليكي وان ثابـت التناسـب يكـون الايصـالية الهيدروليكيـة (Hydraulic conductivity) والتي تصف الخصائص الهيدروليكية للوسط. إذ أن الايصالية الهيدروليكية تتغاير مع المسافة وفقا للتغيرات في الخصائص الجيولوجية (Lent and Kitanidis, 1989). يمكـن ان يعبر رياضيا عن قانون دارسي بالمعادلة (Bouwer,1978).

$$q = -k\frac{dh}{dL} \qquad \text{------------------(1)}$$

حيث إن q= السرعة الظاهرية (m/sec).

k = معامل النفاذية (الايصالية الهيدروليكية) (m/sec).

h= ارتفاع مستوى المياه الجوفية (m).

L= الطول باتجاه الجريان (m).

هذه السرعة تكون الظاهرية لأنها تعتمد على المسامية الكلية للنموذج. وبما أن الماء يتحرك فقط في الحيز المسامي لهذا فان السرعة الحقيقية تعتمد على حجم المسـامات والتـي تحـدد بالمعادلـة التاليـة (Spink,1980) .

$$q\,a = \frac{q}{n} \qquad \text{-------------------(2)}$$

حيث إن n= مسامية النموذج

qa= السرعة الحقيقية (m/ sec)

إن انضمام معادلة جريان دارسي مع معادلة الاستمرارية والتي تمثل قانون حفـظ كتلـة السـائل، سوف ينتج معادلة التفاضل الجزئي للجريان، وكما هو مبـين بالمعادلـة التاليـة (Mercer and Faust, 1980b).

$$Ss\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left[kxx\frac{\partial}{\partial x}\right] + \frac{\partial}{\partial y}\left[kyy\frac{\partial h}{\partial y}\right] + \frac{\partial}{\partial z}\left[kzz\frac{\partial h}{\partial z}\right] + R \qquad \text{------------(3)}$$

حيث إن t = الزمن (sec).

Ss = الخزن النوعي (specific storage) (m^{-1}).

R = صافي الجريان الخارج والداخل (m^3/sec).

إذ أن المعادلة (٣) في معظم التطبيقات الحقلية تكون غير مرخصة (Warranted) واعتمادا علـى الافتراض بان سرعة الجريان الأفقي تكون اكثر أهمية من الحركة العمودية حيث المعادلة تكون مبسـطة لجريان المسافة ذات بعدين يتم تمثيله بواسطة التكامل فوق سمك الخزان (b) وكما هو في المعادلة التالية (Trescott and Larson,1977).

$$S\frac{\partial h}{\partial x}=\frac{\partial}{\partial x}\left[Tx\frac{\partial h}{\partial x}\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left[Ty\frac{\partial h}{\partial y}\right]+R \qquad \text{-------------------(4)}$$

حيث إن S = معامل الخزن (storage coefficient) (S=Ss*b).

T = الناقلية المائية (transmissivity) (T=k*b) (m^2/sec).

b = سمك الخزان (m).

x , y = المحاور الأفقية (m).

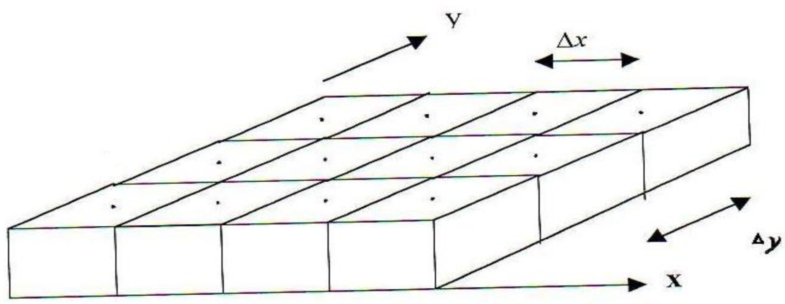
والتي تمثل معادلة الجريان للخزان المحصور ، أما الخزان الغير محصور فيعبر عنـه بالمعادلـة التالية (Spink ,19890) .

$$S\frac{\partial h}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial x}[kxh]+\frac{\partial}{\partial y}\left[kyh\frac{\partial h}{\partial y}\right]+R \qquad \text{-------------(5)}$$

حيث إن h = السمك المشبع (m)

صياغة معادلة الفرق المحدد

لاشتقاق معادلة الفرق المحدد لجريان المياه الجوفية ببعدين (Two-dimension) يجـب إن تكـون شبكة الفرق المحدد مركبة (Superimpose) على الخزان الجوفي. حيث أن الخزان الجوفي يكون مقسـم إلى مستطيلات أو مربعات مرتبة على شكل شـبكة (Grid) فـي صـفوف واعمـدة. تمتلـك الأبعـاد Δxi و Δxj . إن مركز كل واحدة من هذه العناصر تكون نقطة العقدة (Nodal point)،(الشـكل٢)، كـل خلية من هذه الخلايا أو العناصر تكون حاملة لقيم رقم العامود (i) والصف (j) نسبة إلى العنصر الأصلي (j=1,i=1) والذي يقع عند الزاوية العليا اليسرى للشبكة (Naymik,1979) أما الخطوة التالية في العمليات تكون بإيجاد تقريب ملائم للمشتقات المتضمنة في المعادلات التفاضلية،ولهذا الغرض فأننا نفتـرض بـان الجريـان ضـمن الخـزان الجـوفي يكـون موصـوفا وفقـا للمعادلـة التاليـة (Frangakis and Tzimopoulos,1979).



شكل ٢: طريقة تقسيم المنطقة إلى شبكة من الخلايا المركزية.

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 h}{\partial y^2}=\frac{S\partial h}{T\partial t} \qquad \text{-------------------------(6)}$$

من هنا يكون واضحاً إن التقريب يتطلب صيغ تتعلق بالقيم التالية $\frac{\partial^2 h}{\partial x^2}$ و، $\frac{\partial^2 h}{\partial y^2}$ و $\frac{\partial h}{\partial t}$. إن المحاور x،t و y والتي تكون ممثلة بصيغة الفاصلة للمجال والزمن يتم استبدالها بالصيغ التالية .

$$x = i\ \Delta x$$
$$y = j\ \Delta y$$
$$t = k\ \Delta t$$

حيث إن i , j , k أعداد صحيحة وان Δx و Δy تكون الفاصلة التي يتم تقسيم المنطقة وفقا لها .أما Δtفهي الفاصلة الزمنية . فمثلا الارتفاع لمستوى المياه الجوفية في أي نقطة والذي يشـار لـه بـالرمز h(i ,j) فان إبدال المشتقات يكون بالشكل التالي (Haverkamp and Vauclin, 1979)

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2}=\frac{1}{\Delta x^2}\left(h_{i-1,j}-2h_{i,j}+h_{i+1j}\right) \qquad \text{----------------------(٧)}$$

$$\frac{\partial^2 h}{\partial y^2}=\frac{1}{\Delta y^2}\left(h_{i,j-1}-2h_{i,j}+h_{i,j+1}\right) \qquad \text{------------------------(٨)}$$

أما زمن التفاضل (time differential) فيكون ((Spink,1980)

$$\frac{\partial h}{\partial t}=\frac{1}{\Delta t}\left(h_{i,j,k+1}-h_{i,j,k}\right) \qquad \text{-------------------------(9)}$$

حيث k تمثل مدة القطع (time-step).

إن أبعاد التفاضل في هذا البحث تكون معبرة بصيغة ارتفاع المياه الجوفية عند نهاية فتـرة القطـع k+1 على سبيل المثال

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2}=\frac{1}{\Delta x^2}\left(h_{i-1,j,k+1}-2h_{i,j,k+1}+h_{i+1,j,k+1}\right) \qquad \text{--------------------- (10)}$$

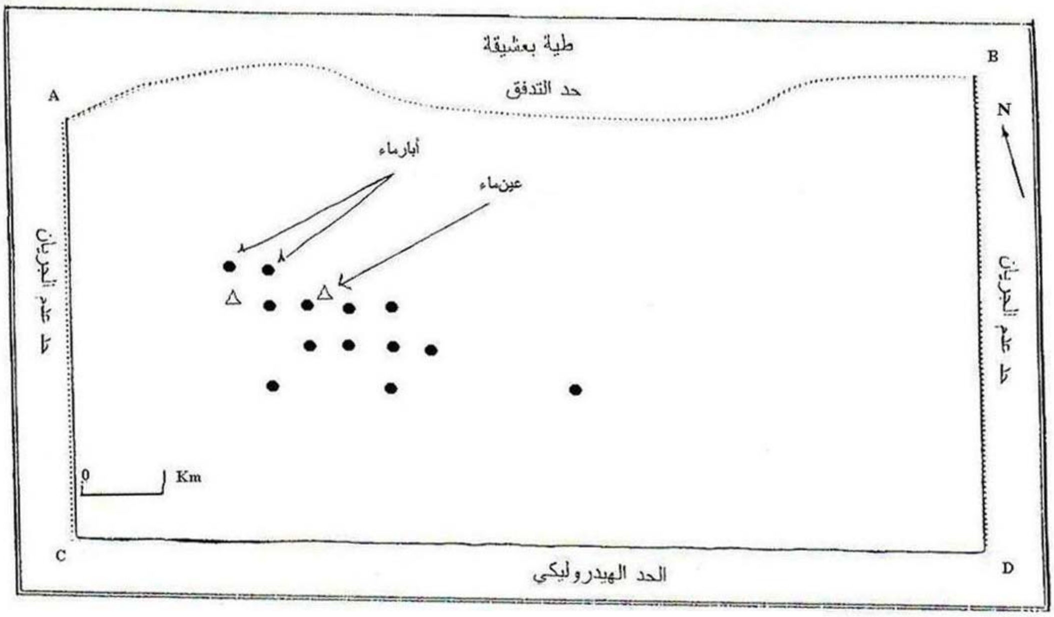
أي إن نتائج المعادلة التفاضلية تجهز صيغة ضمنية (implicit). في هذه الحالة فان هناك خمسة قيم للارتفاع غير معلومة مشتركة في التغير ، حيث لايمكن أي من هذه القيم محسوبا بصورة مباشرة، ولكن من خلال توفر معادلات مشابهة تكون متوفرة لكل نقطة عقدة وان قيم الارتفاع غير المعلومة يمكـن إن تحسب بواسطة حل المعادلات المتزامنة (Simultaneous) (Spink ,1980). علما إن الطريقة الضمنية لا تخضع إلى أبعاد شبكة الفرق المحدد (Al-Assaf,1976)

النموذج المفاهيمي

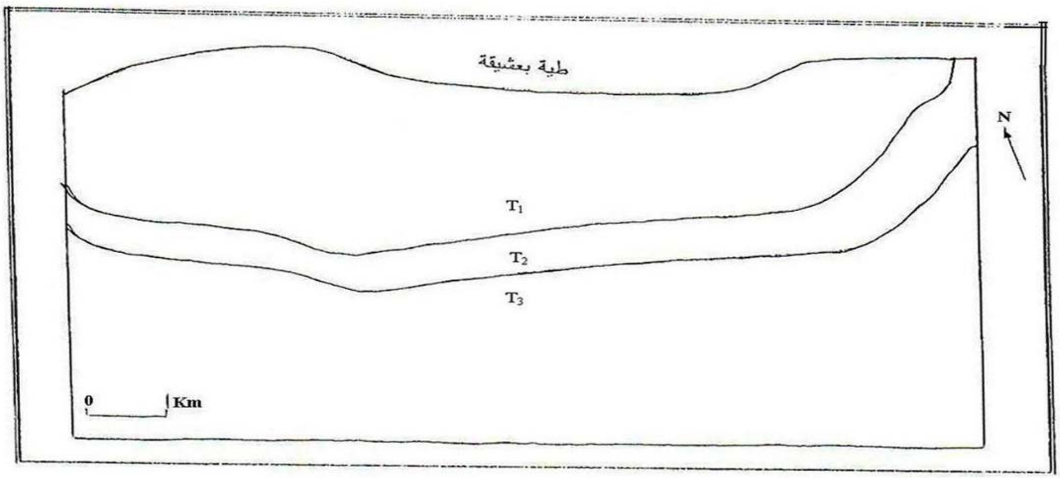
إن عملية استنباط النموذج المفاهيمي من أهم العمليات أو الخطوات المستخدمة في عملية النمذجة للمياه الجوفية،فالنموذج المفاهيمي الذي يصف ويشرح ويتوقع ويسيطر على الظروف الهيدروجيولوجية يكون مكون من نظامين من المحددات الفيزيائية والكيميائية (Toth,1970) .

فبواسطة هذه المحددات يتم عمل أو استنباط النموذج المفاهيمي والذي بواسطته يتم عمل تمثيل مبسط للموقع المطلوب دراسته حيث التعريف بأماكن تواجد وحركة المياه الجوفية في منطقة الدراسة فضلا عن التعرف على التكوين المائي والتكوينات المائية الموجودة ضمن منطقة الدراسة كي نتمكن من تطبيق النموذج العددي بعد ذلك بصورة صحيحة .

الشكل (٣) يمثل النموذج المفاهيمي لمنطقة الدراسة ، إذ يعبر المنحني (A-B) والذي يقع عند الحدود الشمالية لمنطقة الدراسة عن حد عدم الجريان أو غير النفاذ (Impermeable or no flow boundaries) حيث يمثل خط تقسيم المياه الرئيسي إذ أن هذا الخط هو محور طية بعشيقة المحدبة. أما المنحني (B-D) والمنحني (A-C) فهما يمثلان خطي جريان (Flow line) إذ أن هذين المنحنين لا يحدث جريان عبرهما حيث يمثل المنحني الواقع غرب منطقة الدراسة موقع لفالق محتمل (متعب، ٢٠٠٠) علما بان المنحنين تم اختيارهما بسبب الاتجاه الذي يأخذه هذان المنحنيان على افتراض بأنه يوازي تقريبا خطوط الجريان في منطقة الدراسة. وعلية فان هذين المنحنين يمثلا حد عدم الجريان أو غير النفاذ. أما المنحني (C-D) فيمثل حد الجريان السفلي أو الحد المائل (Under flow or gradient boundaries). إن جميع ما تبقى من نقاط داخل هذا النموذج هي نقاط ذات قيم ارتفاع للمياه الجوفية متغيرة (Variable head points) حيث يتم تحديد ارتفاعها بواسطة النموذج العددي بالإضافة إلى هذا فان قيم الناقلية المائية للطبقات الجوفية تختلف من منطقة إلى أخرى اعتمادا على سمك الطبقات ونوع التكوين المائي (Durbaun and Trippler,1982). حيث تم الحصول على قيم الناقلية المائية بواسطة تحليل معطيات عملية الضخ التجريبي (Pumping test) المأخوذة من سجلات شركة حفر الآبار الجوفية في محافظة نينوى باستخدام طرق التحليل المتبعة. فعلى الرغم من إن هذه النتائج تكون غير دقيقة لعدم وجود أبار مراقبة حيث إن النتائج تمثل خواص المنطقة حول ذلك البئر،إلا أنها ستدخل الموديل الرياضي كتقديرات أولية لقيم الايصالية الهيدروليكية. تم تصنيف قيم الناقلية المائية (T) لجميع النقاط في منطقة الدراسة فقد تم تقسيم المنطقة إلى مضلعات يمكن إن يكون لها قيم أولية متشابهة من الناقلية المائية اعتمادا على نوعية التكوين المائي المتواجد في منطقة الدراسة،لاحظ الشكل (٤).



شكل٣ : النموذج المفاهيمى لمنطقة الدراسة.

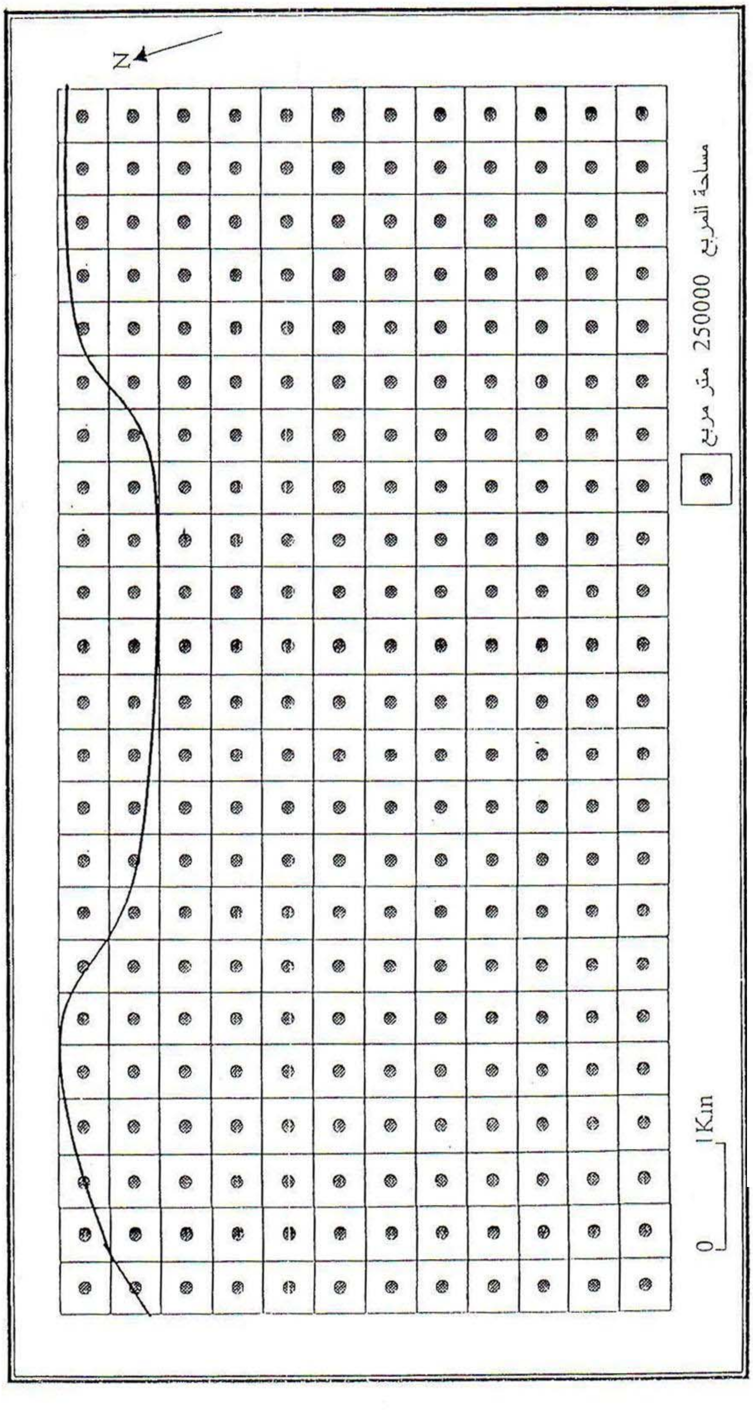


شكل٤ : مناطق تساوي قيم الناقلية المائية المحتملة.

تقنية التمثيل

إن عملية التمثيل للنظام المدروس بواسطة الموديل الرياضي هي من الخطوات الهامة والأساسية والتي ينتج عنها سيطرة على نظام الهيدروجيولوجي (Askew,1979). تتم تقنية تمثيل الموديل الرياضي المستخدم لطريقة الفرق المحدد (Finite-Difference) عن طريق تقسيم المنطقة المدروسة إلى شبكة ملائمة من الأعمدة والصفوف (Meyer et al.,1989) .

تم تقسيم المنطقة إلى شبكة من الخلايا (١٢) صفا وعدد الأعمدة لها (٢٣) عمودا وبلغ العدد الكلي للخلايا (276) كما هو موضح في الشكل (٥). تم اختيار هذه الأبعاد للحصول على تفاصيل كافية عن شكل الجريان ومناسيب المياه في المنطقة لأغراض الدراسة الحالية.



شكل 0: منطقة الدراسة مقسمة الى شبكة من الخلايا المربعة مركزية القالب.

حددت قيم المعطيات الهيدرولوجية المختلفة لجميع الخلايا ضمن الشبكة المغطية للمنطقة المدروسة وقد تضمنت قيم الناقليـة المائيـة (Transmissivity) ومعـدل الضـخ (Pumping rate) والارتفـاع الهيدروليكي (Hydraulic head) حيث تم إعطاء قيمة الصفر (٠) لقيم الناقلية المائية للنقاط الواقعة علـى حد عدم الجريان (No flow boundaries) .

أدخلت جميع هذه البيانات إلى البرنامج على شكل معطيات ومـن ثـم القيـام بعمليـة المعـايرة (Calibration) والتي تتضمن إجراء المقارنة بين البيانات المحسوبة الناتجة عن النموذج مـع البيانـات الحقيقية المقاسة أو الموجودة سابقا في منطقة البحث لإيجاد الفرق بينها والتعرف على مصـدر الخطـاء وتصحيحه (Gburek et al., 1999) .

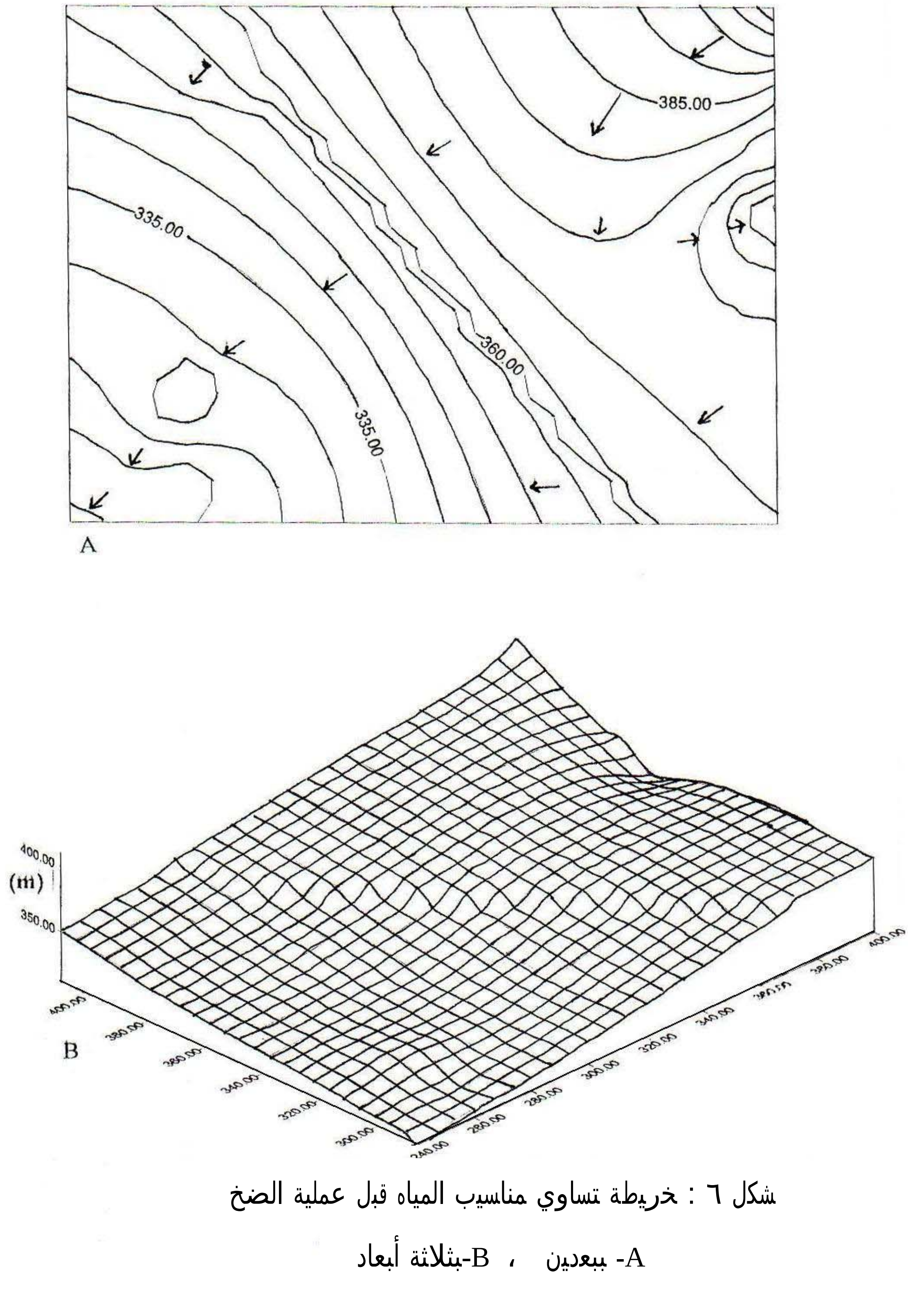
تم أولا حساب مستويات المياه الجوفية الطبيعية عند الحالة المستقرة(Steady-state) والتي حسـبت أولا بدون تأثير الضخ حيث لم يتم استعمال قيم الناقلية المائية ومعـدل التصـريف للخلايـا. إذ تضـمن الحصول على هذه القيم تغير مستمر للقيم الحدية والأولية للارتفاع الهيدروليكي حتى الوصول إلى القـيم المقاربة للحسابات الحقلية (الشكل ٦)،كما يظهر اتجاه الجريان للمياه الجوفية في منطقة الدراسة. أدخلـت قيم الناقلية المائية والتصريف للخلايا،ثم تمت مقارنة قيم الارتفاع الهيدروليكي لجميع الخلايا المحسوبة مع قيم الارتفاع الهيدروليكي الناتج من عملية الضخ وتم أيضا تغير قيم الناقلية المائيـة والتصـريف للنقـاط المحسوبة حتى الوصول إلى قيم مقاربة الارتفاع الهيدروليكي المقاس حقليا ضمن منطقة الدراسة والشكل (٧) يبين خطوط تساوي الارتفاع للمياه الجوفية الناتج بعد عملية الضخ من الآبار.

التنبؤ بسلوك الموديل

بعد إن تم عمل النموذج الحاسوبي وتصحيح معطيات الإدخال لقيم المتغيرات له عن طريق المقارنة بين القيم الملاحظة حقليا والقيم المحسوبة رقميا بواسطة الموديل مع وجود بعض الفروقات البسيطة، فأننا نستطيع أن نستخدم هذا الموديل لتمثيل حالات مختلفة من ظروف الجريان وذلك للتوقع أو للتنبؤ بمعـدل الارتفاع أو الانخفاض في قيم مستويات المياه الجوفية لجميع النقاط داخل حدود منطقة الدراسة.

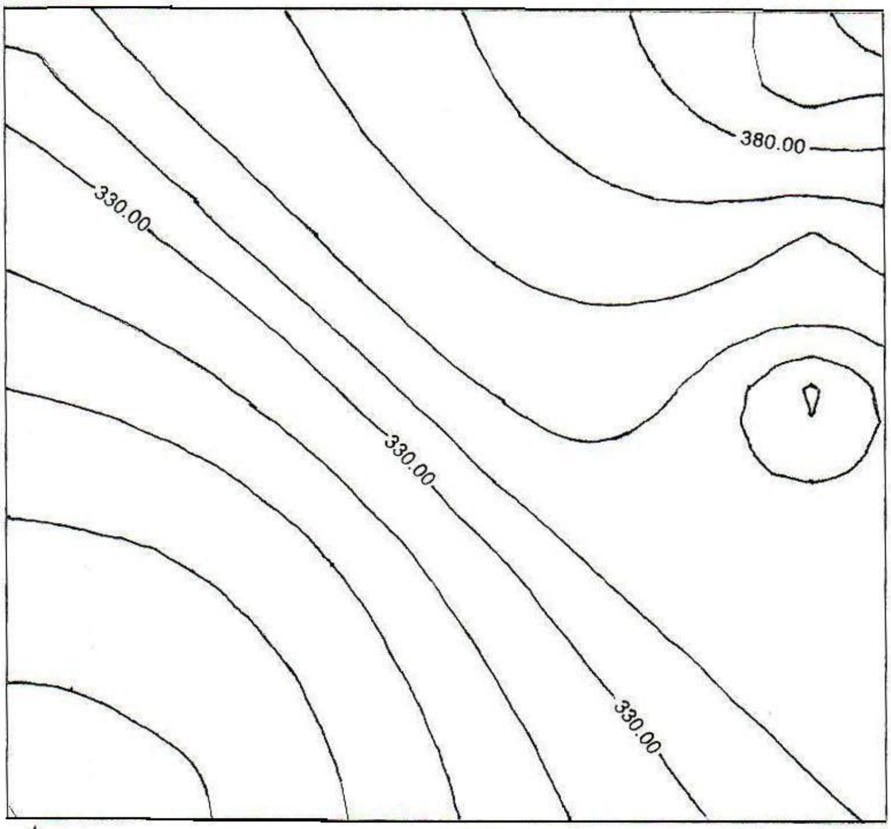
تم التنبؤ من خلال تطبيق الموديل على طبيعة الحالة الناتجة عند حفر آبار جديدة في منطقة الدراسة حيث تم التنبؤ بالسلوك المستقبلي للنظام في حالة حفر بئرين في الجزء الشمالي من الموديل وبمعدل ضخ ($1500m^3$/day) حيث يمثل الشكل (8A) خارطة مناسيب المياه الجوفية المتوقعة. ومن ملاحظة الشـكل يظهر إن قيم مستويات المياه سوف تنخفض كما إن معظم التأثير سوف يظهـر علـى الجـزء الشـمالي الشرقي للمنطقة.

أما في حالة بئرين ضمن الجزء الجنوبي وبمعدل ضخ (750 m^3/day) فان خارطة مستويات المياه الجوفية المتوقعة يمثلها الشكل(8B)، حيث يلاحظ عدم وجود تأثير واضح علـى قـيم مسـتويات الميـاه الجوفية.

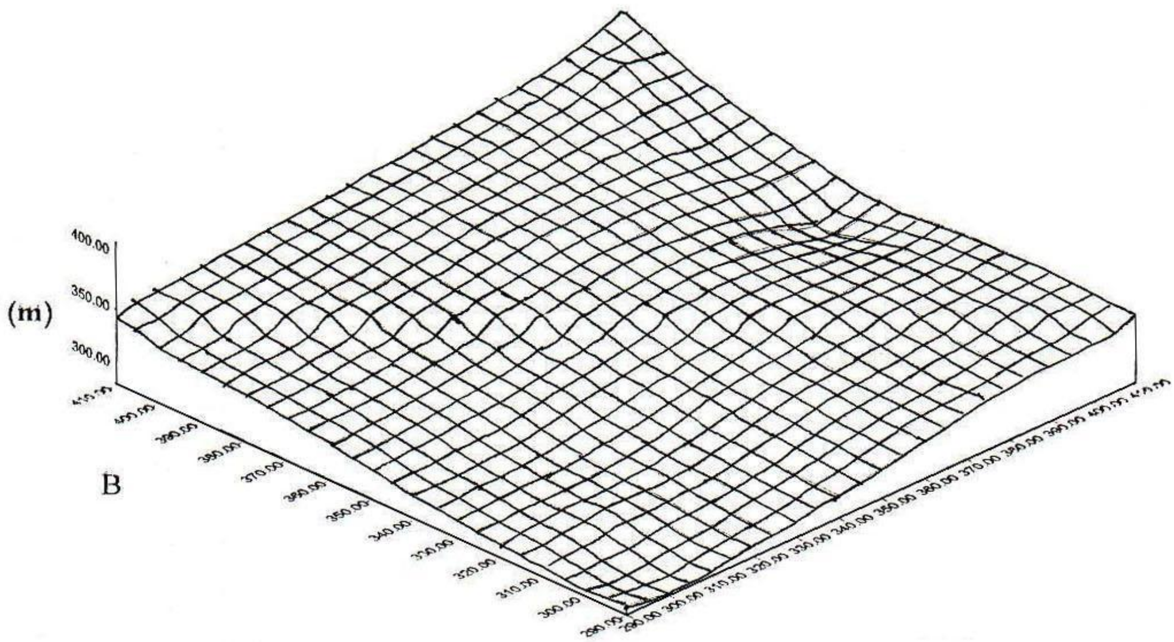


شكل ٦ : خريطة تساوي مناسيب المياه قبل عملية الضخ

A- ببعدين ، B-بثلاثة أبعاد



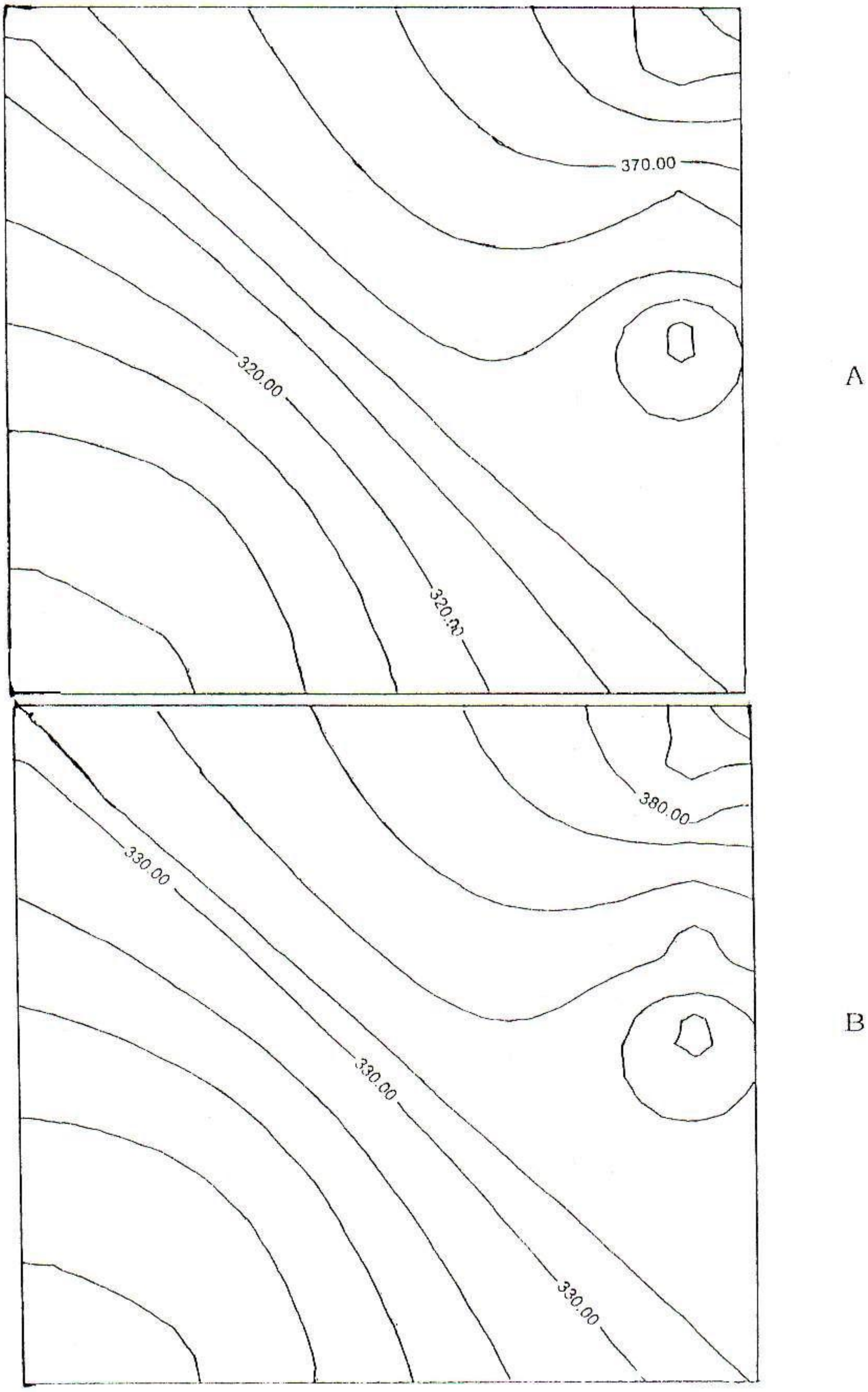
A



B

شكل ٧ : خريطة تساوي مناسيب المياه الناتجة عن عملية الضخ.

A– ببعدين ، B- بثلاثة أبعاد



شكل ٨ : خارطة تساوي مناسيب المياه الجوفية المتوقعة.

A- في حالة حفر بئرين ضمن الجزء الشمالي من الموديل بمعل ضخ ($1500\ m^3/day$).

B-في حالة حفر بئرين ضمن الجزء الجنوبي من الموديل بمعدل ضخ ($750\ m^3/day$).

المناقشة

إن التكاوين الحاملة للماء ضمن منطقة الدراسة يمكن تحديدها بتكوين البلاسبي وتكوين الفتحة وتكوين انجانة وترسبات العصر الرباعي وجميع هذه التكاوين تكون حاوية للماء بكمية جيدة، فمن خلال أجراء التحليل لمعطيات الضخ التجريبي تبين إن قيمة الناقلية المائية ضمن تكوين البلاسبي والذي هو خزان مائي غير محصور للجزء المنكشف على السطح تكون تقريبا (١٨m^2/day) إما تكوين انجانة والذي هو أيضا خزان مائي غير محصور فقد كانت قيمة الناقلية المائية له تقريبا (٣ m^2/day) .

بعد تطبيق الموديل الرياضي على منطقة الدراسة ظهر ان اتجاه الجريان للمياه الجوفية بشكل عام ضمن منطقة الدراسة هو بالاتجاه الغربي والجنوبي الغربي أي باتجاه نهر الخوصر، وهذا يتطابق مع الاتجاه العام لأنظمة التصريف السطحي.

إن قيم الناقلية المائية لتكوين البلاسبي الناتجة من تطبيق الموديل الرياضي قد كانت (30m^2/day) ضمن منطقة الدراسة، أما تكوين الفتحة فقد كانت قيمة الناقلية المائية له (٣٥m^2/day) علما بان هذا التكوين ليس له قيم لضخ تجريبي لعدم وجود بئر إنتاجي لمياه هذا التكوين ضمن منطقة الدراسة، لكون نوعية المياه في هذا التكوين تكون ذات تركيز عالي لكمية المواد الصلبة الذائبة إضافة إلى انبعاث غاز كبريتيد الهيدروجين السام (H_2S). كما إن قرب تكوين البلاسبي المائي من هذا التكوين إضافة إلى قرب تكوين انجانة المائي يجعل إمكانية الاستغناء عن هذا التكوين ممكنة في منطقة الدراسة إذ يمتازان هذان التكوينان بنوعية وكمية جيدة للماء. أما الناقلية المائية لتكوين انجانة الناتجة من تطبيق الموديل الرياضي فقد كانت (٨m^2/day) ضمن منطقة الدراسة.من خلال ملاحظة خارطة تساوي مستويات المياه الجوفية المستقرة يلاحظ ارتفاع مستوى المياه الجوفية جنوب منطقة بحزاني وهذا الارتفاع قد يدل على وجود طية محدبة تحت سطحية مطابقة للنتائج التي توصل لها (عليان، ١٩٩٥). كما إن الانخفاض في مستوى مناسيب المياه الجوفية المتحرك شمال شرق منطقة الدراسة وقرب الغاطس الجنوبي الشرقي لطية بعشيقة يدل على انخفاض مستوى المياه الجوفية ضمن هذه المنطقة وهذا ما تؤكده شركة حفر الآبار المائية عن طريق الآبار الفاشلة المحفورة في المنطقة. وقد يكون سبب هذا الانخفاض وجود صدع في هذه المنطقة. وفي حالة التوسع لحفر آبار مائية جديدة يراعى المحافظة على الوضع الهيدروجيولوجي الحالي لذا توصي الدراسة القيام بالحفر ضمن الجزء الجنوبي للمنطقة وتجنب الحفر ضمن الجزء الشمالي.

المصادر العربية

عليان، يونس جاسم محمد ، 1995. مسارات جذبية استطلاعية عبر طيتي بعشيقة ومقلوب-شمال العراق. أطروحة ماجستير غير منشورة، جامعة الموصل، كلية العلوم، ١٠٧ صفحة.

متعب، مروان، 2000. إضافات جديدة حول جيولوجية منطقة الموصل في ضوء التحري الجيوفيزيائي. أطروحة دكتوراه غير منشورة، جامعة الموصل، كلية العلوم، ١٦٤ صفحة.

المصادر الأجنبية

Al-Assaf, S.A., 1976. Application of computer techniques to groundwater. Unpubl. Ph. D. thesis, London Univ. 408p.

Askew, A. J.,1979. International symposium on logistics and benefits of using mathematical models of hydrological and water resources systems, Hydrological sci. Bull., Vol.24, No.2, pp.351 - 352

Bethke, C. M.; Lee, M. and Park, J.,1999. Basin modeling with basin 2. Release 4, hydrology program, Illinois Univ., 205p.

Bouwer, H.,1978. Groundwater hydrology McGraw-Hill, New York, 480p.

Brady, p. V. and Bethke, C. M.,2000. Beyond the Kd approach. Groundwater, Vol.38.3, pp.321-322

Durbaun, H. and Trippler, K.,1982. Practical uses of multiple ground water well configurations. Natural Resources and Development, Vol. 16, pp.90-106.

Faust, C. R, and Mercer, J. W.,1980.Groundwater modeling, Numerical models. Jour. Groundwater, Vol. 18, pp.395-409.

Frangakis, C. N. and Tzimopulos, C.,1979. Unsteady groundwater flow on sloping bedrock. Water Resources Research, Vol. 15, No.1, pp.176-180.

Gburek, W. T.; Folmar, G. T. and Urban, J. B.,1999. Field data and ground water modeling in a layered fractured aquifer . Ground water, Vol.37, pp.175-184.

Haverkamp, R. and Vauclin, M.,1979. A not on estimating finite difference interblock hydraulic conductivity values for transient unsaturated flowproblems. Water Resources, Vol.1, pp.181-187.

Lent, T. and Kitanidis, P. K.,1989. Numerical spectral approach for the derivation of piezometric head covariance function. Water resources research, Vol.25, No.11, pp. 2287-2298.

Mercer, J. W. and Faust, C. R.,1980a. Groundwater modeling: An overview. Jour. Groundwater, Vol. 18, pp. 108-115.

Mercer, J. W. and Faust, C. R.,1980b. Groundwater modeling: Applications. Jour. Groundwater, Vol. 18, pp.486-490.

Mercer, J. W. and Faust, C. R.,1980c. Groundwater modeling: Mathematical models. Groundwater, Vol. 18, pp. 395-409.

Meyer, P. D.; Valocchi, A. J.; Ashoy, S.F. and Saylor, P . E.,1989. A numerical investigation of the conjuate gradient method as applied to three-dimensional ground water flow problems in randomly hetrogeneous porous media, water resources research, Vol.25, No.6, pp.1940-1946.

Naymik, T. G.,1979. The application of a digital model for evaluation the bedrock water resources of the Maumee River Basin, North Western Ohio. Groundwater, Vol.17, No.5, pp. 438-445.

Spink, A . E. F.,1980. Application of numerical models to groundwater flow. Unpub. Ph. D. Thesis, Birmingham Univ., 350p.

Toth, J.,1970. A conceptual model of the groundwater regime and the hydrogeologic environment. Jour. Hydrology, Vol. 10,pp.164-176.

Trescott, p. C, and Larson, S. P.,1977. Comparison of iterative method of solving tow-dimensional groundwater flow equation. Water Resources research, Vol. 13, No.1, pp.125-136.