

الحل الأمثل لصرف المياه الجوفية الزائدة في القطاع السابع من حوض الفرات الأدنى - سورية

الدكتور شريف بدر حايك*

تاريخ الإيداع 14 / 11 / 2011. قُبِلَ للنشر في 19 / 4 / 2012

□ ملخص □

تقدّم النماذج الرياضية إمكانيات كبيرة في تحليل الموارد المائية وتقييمها، وإدارتها بالشكل الأمثل، وصنع قرارات وتنبؤات مستقبلية للمسائل المائية.

ازداد مؤخراً انتشار التربة المالحة في بعض مناطق القطاع السابع لحوض الفرات الأدنى، إضافة إلى وجود بعض المستنقعات، الأمر الذي يؤدي إلى خروج هذه المناطق من الاستثمار الزراعي جزئياً أو كلياً. وبالتالي كان لا بد من إيجاد الحلول الناجعة لمسألة صرف المياه الجوفية الزائدة، من خلال بناء نموذج رياضي يمكننا من اقتراح الصرف المناسب.

إن حفر 90 بئراً للصرف الشاقولي في مواقع محددة من القطاع تبعاً للظروف الهيدروجيولوجية القائمة، بتصريف يتراوح بين $900-1400 \text{ m}^3/\text{day}$ لكل بئر، يسمح بتخفيض سطح المياه الجوفية أقل من 2,5m من سطح الأرض، مع تجفيف المستنقعات عدا مستنقع واحد، يمكن تجفيفه باقتراح حفر بئر تجميعي لمياه هذا المستنقع، ينظّم جريان المياه من المستنقع إلى نهر الفرات.

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

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

The Optimal Solution of Drainage the Excess Groundwater In the 7th Sector of the Lower Euphrates Basin-Syria

Dr. Sharif B. HAYEK*

(Received 14 / 11 / 2011. Accepted 19 / 4 / 2012)

□ ABSTRACT □

The mathematical models have big abilities to analyse and evaluate the water resources, and the optimum management of the resources; then to make decisions and future predictions for the water problems.

Lately, the salty soils excessively increase in some region of the 7 sectors in the lower Euphrates basin. In addition to some swamps, that makes these regions out of the agricultural exploitation partially or completely. So, we must find a useful solution to drainage the excess groundwater, by building a mathematical model to suggest the suitable drainage.

Drilling 90 wells for the vertical drainage at a specific location in the 7 sector according to the available Hydrogeological conditions, and the well discharge between 900-1400 m³/day, will permit a decrease of the groundwater table down 2,5m from the ground surface, and a dewatering of the swamps; except one by drilling a collective well that would regulate the water flow from a swamp to the Euphrates river.

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

* Assistant Professor at the Irrigation and Drainage Engineering Department – Faculty of Civil Engineering – Tishreen University – Lattakia – Syria.

مقدمة:

أدت الإمكانيات الواسعة للنمذجة الرياضية إلى استعمالها واحدة من أهم الطرائق للدراسة العملية، وللتقويم الكمي لعمليات رشح المياه الجوفية. وتتوافر حالياً أنظمة كمبيوتر متطورة، تقوم بعملية نمذجة المياه الجوفية، وتسمح بتفاعل قاعدة البيانات المتكاملة. تملك هذه الأنظمة إمكانية تخزين بيانات النموذج واستردادها وتغييرها وعرضها جدولياً وتخطيطياً، وهي الطريقة المتبعة في إعداد هذه الدراسة [1].

إن النموذج الرياضي هو وسيلة فعالة تسمح لنا بتمثيل وضع حقيقي ما - مهما بلغت درجة تعقيده - بشكل غير مباشر بوساطة جملة المعادلات المتكاملة به، التي تمثل العمليات الفيزيائية التي تحدث ضمن النظام، والمعادلات التي تصف الضواغط والجريانات على طول حدود النموذج - الشروط الحدية - Boundary Conditions، وتُحل هذه المعادلات تحليلياً Analytically أو عددياً Numerically بوساطة الحاسوب [2].

تقدم النماذج الرياضية إمكانيات كبيرة في تحليل الموارد المائية وتقييمها، وإدارتها بالشكل الأمثل، وصنع قرارات وتنبؤات مستقبلية مهمة للمسائل المائية، حتى المعقدة منها بما يحقق الجدوى الاقتصادية المطلوبة.

ازداد مؤخراً انتشار الترب المالحة في بعض مناطق القطاع السابع من المنطقة الأولى لحوض الفرات الأدنى، إضافة إلى وجود بعض المستنقعات، الأمر الذي يؤدي إلى خروج هذه المناطق من الاستثمار الزراعي جزئياً أو كلياً [3]. وبالتالي كان لا بد من إيجاد الحلول الناجعة لمسألة صرف المياه الجوفية الزائدة، من خلال بناء نموذج رياضي يمكننا من اقتراح الصرف الملائم تبعاً للظروف الهيدروجيولوجية القائمة.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث إلى بناء نموذج رياضي للقطاع السابع في المنطقة الأولى من حوض الفرات الأدنى التي تبلغ مساحته 18140 هكتار، بغرض تقييم شبكة الصرف المنقذة استناداً إلى النموذج الرياضي القديم الذي أعدته شركة "جرسار - ست" الفرنسية عام 1976م، سواء في شبكة الصرف الشاقولية بوساطة الضخ من آبار الصرف المنقذة ومناسيب المياه الجوفية في آبار المراقبة، أو في شبكة الصرف الأفقية المثقبة المطمورة تحت الأرض. ومن ثم اقتراح السيناريو الأمثل لصرف المياه الجوفية الزائدة تبعاً للظروف الهيدروجيولوجية السائدة، كي نحافظ على أعماق لسطح المياه الجوفية لا تقل عن 2.5 م تحت سطح الأرض خلال العام، وقد تم تنفيذ التحريات الهيدروجيولوجية لمنطقة البحث خلال الفترة 2005-2007 م، بوساطة خبرات علمية سورية.

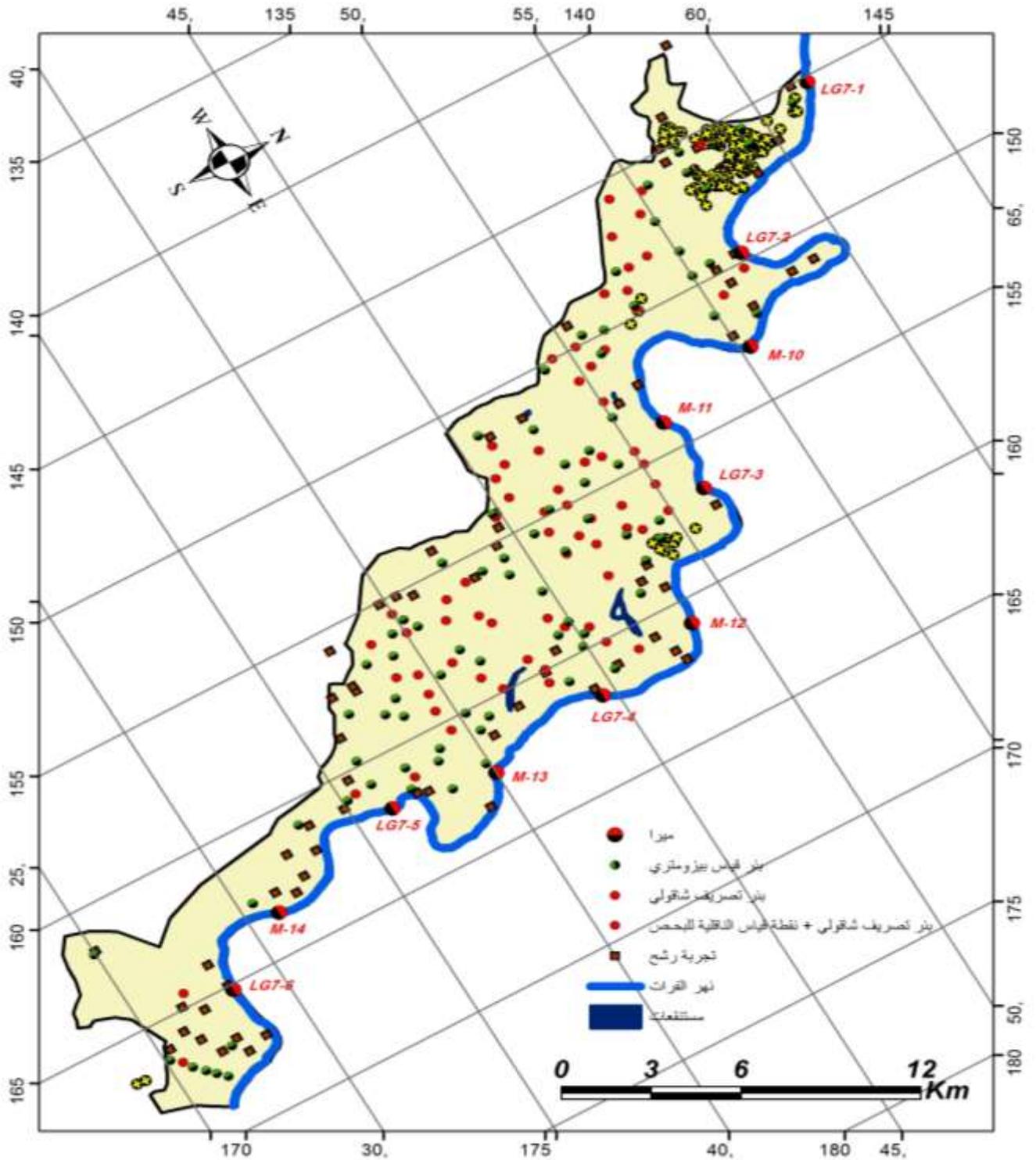
موقع منطقة البحث:

تتألف المنطقة الأولى لحوض الفرات الأدنى من ثلاثة قطاعات (7،5،3) تبلغ مساحتها 55565 هكتار، وتمتد بين مدينتي دير الزور والبوكمال عند الحدود السورية - العراقية.

يمتد القطاع السابع على الضفة اليمنى لنهر الفرات لمسافة 38 km من منطقة الدوير حتى الحيري بعد مدينة البوكمال قرب الحدود السورية العراقية. ويحد القطاع السابع من الجهة الشمالية الشرقية تكشفاً صخرياً، تم اعتباره حداً كئيباً في النموذج الرياضي (الشكل -1).

يبدأ عرض القطاع السابع من الشمال بعرض 1 km، ثم يتسع القطاع لبيتعد الحد الكئيب عن الضفة النهر اليمنى بمقدار 5,5 km. لتصل المنطقة إلى أكبر اتساع لها 11 km بعد منتصف القطاع، ثم يقترب الحد الكئيب ليصل

إلى 1,5 km من ضفة النهر اليمنى. وتتراوح مناسيب الأرض الطبيعية في القطاع السابع بين 168 m عند ضفة نهر الفرات، و 200m عند الجرف الصخري، وبشكل القطاع السابع وحدة جيومائية واحدة.



(الشكل-1). خارطة الأعمال الحقلية الفعلية في القطاع السابع.

طرائق البحث ومواده:

اعتمدنا في تنفيذ المحاكاة الرياضية للقطاع السابع في حوض الفرات الأدنى على كود Modflow الموجود ضمن برنامج GMS-Groundwater Modeling System، أعدته هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية (McDonald, Harbaugh, USGS, 1988)، المطور في جامعة Brigham، بالتعاون مع مهندسي وخبراء الجيش الأمريكي في عام 2008.

يتضمن نظام نمذجة المياه الجوفية حزمة شاملة Packages، مزودة بأدوات لكل نمط من أنماط محاكاة المياه الجوفية، الذي يتضمن: خصائص الموقع؛ تطوير النموذج؛ المعالجة؛ المعايير،... الخ.

يدعم برنامج GMS، عدة نماذج منها: Modflow, Modpath, MT3D, RT3D, TINs Femwater, Seep2D, Seam3D, Pest, UCODE, Utchem [1].

من أهم خصائص نظام GMS:

- تفاعل مُتبادل للمعطيات النقطيّة والمساحية Raster and Scatter، لنظام المعلومات الجغرافية GIS-Geographical Information System، من برامج Arc/Info Arc view.
- توافق نماذج برنامج GMS مع أية مسألة مُحتملة للمياه الجوفية.
- تعطي إخراجات هذا البرنامج مخططات زمنية كثيرة، ومنحنيات وجدول مختلفة في النقاط والمواقع المُختارة.
- ينتج حاسب البيانات Data Calculator سلسلة بيانات جديدة، باستخدام صيغ رياضية مختلفة، تُسهم في تحليل المسألة المطروحة.
- إمكانية تصدير واستيراد ملفات بامتداد TIFF، DXF، المُتضمنة في برنامج أوتوكاد AutoCAD.

الخصائص الجيولوجية والهيدروجيولوجية

Geological and Hydrogeological Properties

تنتشر في منطقة القطاع السابع من حوض الفرات الأدنى التوضعات الرباعية وتوضعات البليوسين [3].

1- توضعات الرباعي Quaternary

تنتشر توضعات الرباعي Q على مساحة واسعة من القطاع، وتتألف الرسوبيات من الأليوفيل والبروليوفيل ورسوبيات كيميائية وريحية وكرينات تجمعية Accumulative وقشرات جصية. تغطي الرمال وغطاء التعرية المتراكم معظم مساحة القطاع، لكن سماكاتها لا تتعدى عدة أمتار عموماً. وتتحد المناطق التي تبلغ فيها سماكة Q أكثر من عشرة أمتار مع مناطق التوضعات الحديثة لوادي الفرات.

2- توضعات البليوسين N₂

تُقسم توضعات البليوسين N₂ إلى طابق علوي وآخر سفلي:

- تنتشر توضعات البليوسين الأعلى N₂^b فوق مساحة كبيرة على المنحدر الأيمن لوادي الفرات، حيث تغطي تشكيلات الغضار طبقة الجص الواقعة تحتها، التي تعود إلى القسم الأسفل من البليوسين، وتتوضع عند قاعدتها طبقة بيئية رقيقة، تتألف من كونغوميرا ذات حجارة خشنة ورمال خشنة أحياناً وحجر رملي مع بعض الحصى. وتتلاشى توضعات N₂^b عند الجنوب الشرقي في منطقة البوكمال.

- يتمثل البليوسين الأسفل N₂^a بمعقد مستمر من الصخور، يشكل المصطبة السفلي، وعناصر المصطبة الوسطى ذات المنشأ الكيميائي. وتتألف توضعات البليوسين الأسفل من مارل، وغضار، وحصى، وجص، تشكل طبقة كثيفة ذات انتشار واسع.

ويمكن تمييز طبقتين حاملتين للمياه، تمتدان من ضفة النهر حتى منطقة الجرف الصخري (الشكل-2):

1. الطبقة الأولى:

تتألف من الرسوبيات السطحية الناعمة (لوم Loam)، بسماكة وسطية 4-5 أمتار، وتتغير سماكتها بشكل عشوائي، بسبب ترسب هذه التوضعات في ظروف الجريان المضطرب أثناء الفيضانات، وتزداد سماكتها إلى 8 أمتار في بعض المواقع، وتتألف من أنواع عديدة من التربة الغضارية الرملية. وتتصف بنفاذية منخفضة عموماً (0,2-1 متر/يوم)، تزداد قليلاً في بعض المواقع، حيث تتوضع رسوبيات خشنة نسبياً. وتشكل عموماً طبقة شبه كتيمة إلى شبه نفوذة، (حسب تركيبها الليتولوجي)، تغطي طبقة الحصى الرملية ذات النفاذية الكبيرة، فينشأ ضاغط محلي في طبقة الحصى؛ أي طبقة ارتوازية ذات ضاغط محلي. وقد تتناقص سماكة طبقة اللوم، أو تتلاشى، فتتكشف طبقة الحصى على سطح الأرض مباشرة.

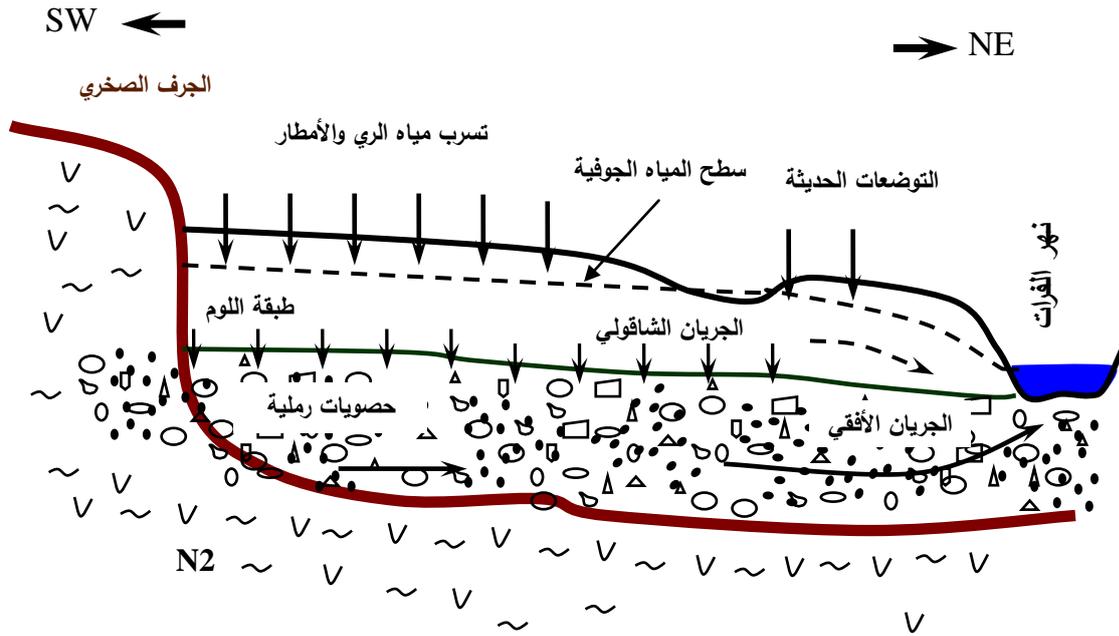
2. الطبقة الثانية:

تتوضع مباشرة تحت الطبقة السطحية، وتتألف من رسوبيات رملية خشنة وحصى، تزداد سماكتها مع الابتعاد عن المجرى، فتبلغ سماكتها 15 متراً في مواقع عديدة. وتمتاز طبقة الرمال الحصىة بنفاذية كبيرة (200 - 500 متر/يوم)، تنخفض في بعض المواقع إلى أقل من 20 م/يوم، حيث تزداد نسبة الرمال والمواد الناعمة في طبقة الحصى الرملية، بينما تزداد النفاذية في مواقع أخرى فتصل حتى 590 م/يوم، حيث تزداد نسبة الحصى والحجارة في الرسوبيات الحاملة للمياه. وتفقد المياه الجوفية ضغطها في طبقة الحصى عندما تتكشف على سطح الأرض. وتشكل توضعات البليوسين N_2 طبقة الأساس الغضارية المارلية-الجصية الكتيمة، وهي ذات انتشار إقليمي واسع تحت طبقة الرمال الحصىة، وتتوضع على عمق 15 متراً وسطياً، ابتداءً من سطح الأرض.

تُعد تغذية المياه الجوفية من العوامل الرئيسية في دراسات الموازنة المائية، خاصةً في الأراضي الجافة ونصف الجافة. إذ تنصح الدراسات المائية في الهند باعتماد طريقة ارتفاع مناسيب المياه الجوفية في تقدير معدلات تغذيتها، ولا يُنصح باعتماد هذه الطريقة في حالة التراوحات المكانية للتغذية في الأراضي المروية [4].

تتغذى المياه الجوفية في القطاع السابع بشكل أساسي على حساب تسرب مياه الري، ومياه الأمطار عبر صخور طبقتي اللحيات النهرية المتوضعة بين نهر الفرات ومرتفعات صخور البليوسين-الميوسن. وتنصرف المياه الجوفية بشكل طبيعي باتجاه النهر والأودية التي تقطع المصاطب، لكنّ الصرف الطبيعي غير كافٍ، لذلك يرتفع منسوب المياه الجوفية تدريجياً خلال موسم الري.

بسبب الفرق الكبير بين نفاذيتي طبقتي اللحيات النهرية (أكثر من 1000 مرة في بعض الأجزاء، حيث تتألف الطبقة العليا من اللوم)، تتحرك المياه الجوفية في الطبقة العليا شاقولياً لتغذي المياه الجوفية في الطبقة الثانية (الحصىات الرملية)، حيث تتحرك المياه الجوفية أفقياً باتجاه نهر الفرات لتنصرف فيه (الشكل-2)، ويتأرجح منسوب المياه الجوفية ضمن مجال 2,5 متر خلال السنة، بسبب تغير معدلات التسرب والتبخر والظروف المناخية خلال فصول السنة. وتبلغ مناسيب المياه الجوفية أعلى قيمها خلال شهر نيسان، بينما تبلغ قيمها الدنيا خلال شهر تشرين الأول.



الشكل 2. مقطع عرضي توضيحي يبين الظروف الهيدروجيولوجية الطبيعية.

النتائج والمناقشة:

بناء النموذج الرياضي

• تصميم وتحليل عملية إدخال المعطيات

يمكن أن نلخص تصميم وتحليل عملية إدخال البيانات والمعطيات في القطاع السابع من المنطقة الأولى في

حوض الفرات الأدنى بالنقاط الآتية:

1. إعداد الخريطة الطبوغرافية عن طريق تحويل البيانات الرقمية من بيئة AutoCAD وتحويلها إلى معطى رقمي بالشكل المناسب للكود البرمجي باستخدام برمجيات GIS، أو من خلال إمكانيات الكود البرمجي المعتمد.
2. تصميم الشبكة Grid، حيث يعطي الكود البرمجي (Visual Modflow or GMS) إمكانيات كبيرة في اختيار أبعاد خلايا شبكة النموذج.
3. إدخال بيانات آبار الصرف الشاقولي للأراضي الزراعية في القطاع السابع، التي نفذتها شركة "جرسار-ست" الفرنسية. ويتضمن الإدخال إحداثيات هذه الآبار (x, y, z) ، إضافةً إلى بيانات تتعلق بمعدلات الصرف من هذه الآبار Pumping schedule وخلال فترات زمنية محددة.
4. بيانات الضاغط في آبار المراقبة (الببزمترات)، ويتضمن الإدخال أيضاً إحداثيات هذه الآبار (x, y, z) والضاغط فيها تبعاً لزمناً القياسات المعتمد.
5. قيم الناقلية الهيدروليكية Hydraulic Conductivity في الاتجاهات الثلاثة (K_x, K_y, K_z) ولكل طبقة على حدة، استناداً إلى تقييم تجارب الرش الحقلية وتجارب الضخ من الآبار المنفذة في منطقة المشروع، مع التأكيد على أهمية توافر بيانات الناقلية المائية في الاتجاه Z، بسبب أهميتها في تأكيد وجود التسرب العمودي لمياه الري باتجاه طبقة المياه الجوفية.

6. الضواغط الابتدائية Initial Heads، وتحدّد لنهر الفرات من خلال إدخال إحداثيات نقاط قياس مناسب مياه النهر خلال فترات محددة، إضافةً إلى الطبقات الكتيمة Impermeable layer.

7. بيانات الصرف الأفقي المغطى والمكشوف Drains التي تتعلّق بتحديد أماكن توضعها، ومناسبتها وناقليتها الهيدروليكية.

8. بيانات التغذية Recharge الناتجة من معدلات الري المعتمدة في المنطقة، ويتضمن الإدخال تحديد زمن بداية قياس معدل التغذية وزمن نهايته، إضافةً إلى معدلات التغذية الراشحة من معدلات الري. فقد تمّ وضع قيم ابتدائية للتغذية 10-15%، ثمّ جرى تدقيقها موضعياً بعمليات المعايرة. فتراوحت بين 5% و30% وتقترب من الصفر في الأراضي البور والتجمعات السكنية. ووصلت إلى 30% في مناطق محدودة، حيث تنتشر رسوبيات ذات نفوذية عالية، وترزح فيها نباتات تتطلب معدلات ري عالية.

9. معدلات التبخر - نتح Evapotranspiration من منطقة الدراسة، التي تتضمن تحديد زمن بداية قياس معدل التبخر - نتح وزمن نهايته، إضافةً إلى إدخال معدلات التبخر - نتح خلال فترات القياس، ومجال العمق الذي يحصل فيه هذا التبخر.

* الشروط الحدية والابتدائية:

تُعطى الظروف الحدية على الحدود النفوذة عادةً كقيمة للضاغط (شروط - Drihlet)، أو لقانونية تغيّره مع الزمن $H = f(t)$ ، وهي شروط حدية من النوع الأول وهي الحد المائي عند نهر الفرات. وتُلاحظ هذه الشروط الحدية على حدود الجريانات الجوفية مع سطح المجاري المائية السطحية، حيث لا يتغير منسوب المياه فيها مع الزمن $H = const$ ، أو أنه يتغير وفق قانون ما.

تتّصف الحدود غير النفوذة أو النفوذة بشكل ضعيف، بقيمة معينة لتصريف الجريان، أو لقانونية تغيّره هذا التصريف مع الزمن $Q = f(t)$ ، وهي شروط من النوع الثاني (شروط - Neuman). وكمثال على ذلك، يمكن إهمال قيمة التصريف $Q = const = 0$ على حدود الجريانات ذات الصخور النفوذة بشكل ضعيف، أو عديمة النفوذية، وهي الشرط الحدي عند الجرف الصخري للقطاع السابع. ويُعبّر عن حدود التدفق باشتقاق الضاغط عبر الحد

$$q_x = \frac{\partial H}{\partial X} = Const \quad [5].$$

تعبّر الظروف الحدية من النوع الثالث، عن العلاقة الخطية للتصريف مع فرق الضواغط، وتملك مكاناً عند تغذية أو صرف مُعبّرين على حدود الجريانات في ظروف ارتباط هيدروليكي بين مستويين حاملين للمياه، تفصلهما طبقة ضعيفة النفوذية. أما الظروف الحدية من النوع الرابع، فتُلاحظ على الحدود الفاصلة بين مستويين حاملين للمياه غير متجانسين بخواصهما الرشيحية - استمرارية تدفق الجريانات، بسبب تساوي تصاريف وضواغط الجريانات في المقاطع الأولية عند الحدود الفاصلة. لا توجد في منطقة الدراسة الشروط الحدية من النوعين الثالث والرابع.

• المعايرة :

تؤكد فعالية النموذج الرياضي، من خلال توافق فترة الاستثمار الفعلية مع نتائج النموذج. فتهدف عمليّات معايرة النموذج إلى تقليل الفروق بين القيم المُراقبة والمحسوبة إلى أدنى قيمة ممكنة. وتزداد دقة النموذج الرياضي، بزيادة فترة المعايرة. كما يجب جمع وتدقيق معطيات التغذية والصرف في منظومات مستقلة، والتحقّق من تطابق الخرائط الهيدرولوجية المُستنتجة من النموذج مع الخرائط المُستنبطة من القياسات الحقلية. ومن ثمّ تبدأ عملية إجراء تعديل

المعاملات الهيدرولوجية للتوضعات الحاملة للمياه الجوفية (الناقلية المائية؛ معامل التخزين؛ التسرب)، وإعادة المعايرة حتى الوصول إلى نتائج مرضية [6].

تمت معايرة النموذج لحالة الجريان المستقر في شهر تشرين الأول من عام 2006، وهي فترة المناسب المنخفضة للمياه الجوفية في القطاع السابع ضمن ظروف تغذية وصرف حقلية محدودة، تسمح بتدقيق قيم البارامترات الهيدرولوجية المُقيسة حقلياً، وذلك للحصول على قيم ضاغط المياه الجوفية المحسوبة بوساطة النموذج، تقارب قيم ضاغط المياه المقيسة في آبار المراقبة وفي نقاط القياس المحددة لمياه نهر الفرات، ضمن فروقات بينهما لا تزيد على 0.5م.

● تحليل حساسية المعايرة:

يساعد فرض قيم متعددة للبارامترات، في إجراء معايرة النموذج من خلال تحديد حساسية النموذج للمعاملات الهيدرولوجية، التي تؤثر بدورها على جريانات المياه الجوفية، وعلى تقدير عدم دقة البيانات وموثوقيتها. فتساعد تجارب الحساسية في تقدير موثوقية النموذج، عندما يصعب جمع بيانات إضافية. وذلك بإظهار تأثير المجال المحدد لعدم الاستقرار والأخطاء في بيانات الإدخال على إخراجات النموذج، علماً 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 بدقة كبيرة، والبيانات التي تتطلب أقل حدّاً ممكن من التدقيق [7].

عند إجراء عمليات معايرة النموذج، كان واضحاً من خلال عمليات التشغيل الكثيرة للنموذج، أنّ حساسيته متوسطة إلى جيدة لقيم عامل الرشح الأفقي والشاقولي في كل طبقة. إضافة إلى ذلك، فقد أبدى حساسية كبيرة لمعدلات التغذية الراشحة من مياه الري ومعدلات التبخر - نتح.

● تشغيل النموذج الرياضي:

في ظل الإمكانيات المتقدمة لبرنامج GMS، وتوافر أجهزة تقانية وأجهزة كمبيوتر متطورة، فقد أُتيح لنا اعتماد القطاع السابع وحدة مائية واحدة، مع الحفاظ على أبعاد أصغرية للخلية الواحدة في النماذج، التي تم اختيارها بعد محاولات عديدة لتشغيل لتحديد البعد الأصغر المناسب للخلية دون استنفاد موارد البرنامج والأجهزة الحاسوبية، بشكل قد يؤدي إلى توقف البرنامج عن العمل.

تم بناء النموذج انطلاقاً من الطبقات الآتية:

- طبقة تمثل الحدود المائية للقطاع السابع.
- ثلاث طبقات طبوغرافية تمثل المستويات الثلاثة (الأرض الطبيعية، منسوب أسفل الطبقة الأولى، منسوب أسفل الطبقة الثانية).
- طبقتان تمثلان عوامل الناقلية المائية للطبقتين المشكلتين للنموذج (Loam & Gravel).
- طبقة الصرف الأفقي.
- طبقة قياسات مناسب المياه في نهر الفرات وفي آبار المراقبة (متغيرة شهرياً).
- طبقة معدلات الضخ الفعلية من آبار الصرف الشاقولي (متغيرة شهرياً).
- طبقة التبخر من سطح التربة والنباتات (تبخر - نتح وهي متغيرة شهرياً).
- طبقة معدلات التغذية الراشحة من مياه الري (متغيرة شهرياً ومساحياً). وقد تم تقييم معدلاتها النهائية في مرحلة المعايرة.

اعتمدت مناطق المستنقعات، كمناطق ظهور منسوب المياه الجوفية على سطح الأرض، نتيجةً لطبوغرافية المنطقة، وتم تأكيد ذلك من خلال عمليات المعايرة وحسابات المناسيب في النموذج الرياضي حيث ظهرت وتطابقت مواقع ظهور للمياه الجوفية مع مواقع هذه المستنقعات.

إن كميات الأمطار القليلة الهائلة في المنطقة (حوالي 150mm سنوياً)، لا تسهم بشكل فعال في تشكّل المستنقعات، وكذلك الأمر بالنسبة لتصريف مياه الري سواء من الآبار الخاصة أو من مشاريع الدولة، إذ تصب جميعها في مجتمعات خاصة أو في النهر مباشرة.

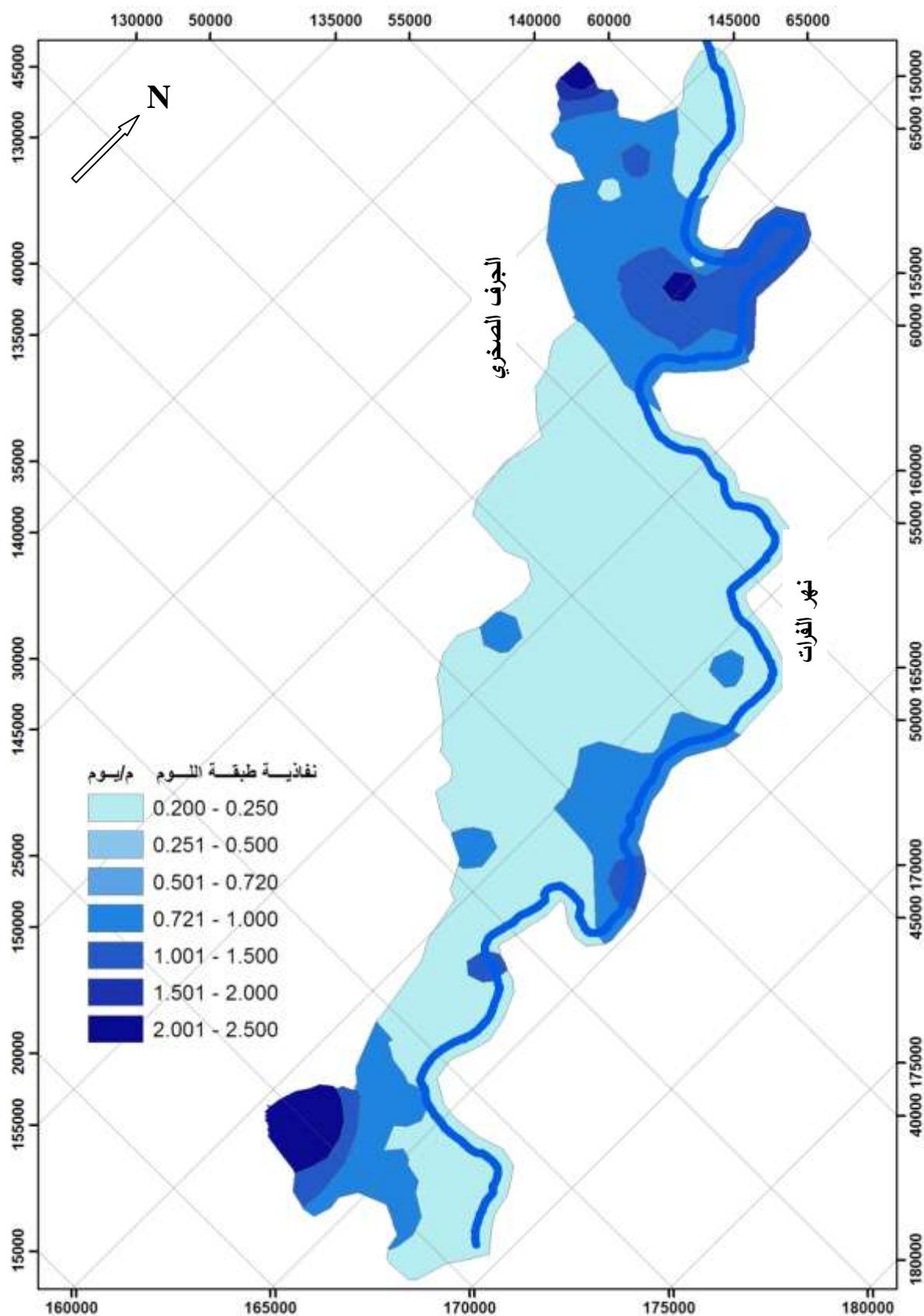
واستناداً إلى حدود القطاع السابع، تم اقتراح الإطار الذي يحتويها، وتقسيمه إلى خلايا مربعة الشكل بأبعاد 200×200 متر.

اعتمدت المعطيات الشهرية الوسطية خلال أيام الشهر، ونظراً لغياب القياسات الدورية (اليومية) وصعوبة تنفيذها عملياً على مساحات كبيرة، فقد اعتمد الجريان المستقر، وأعطيت البارامترات الداخلة في النموذج قيماً متغيرة بشكل شهري وليس يومي؛ أي أن الجريان خلال الشهر كان مستقراً، مما سمح بتطبيق طريقة الحساب الملائمة للجريانات الجوفية المستقرة في بناء النموذج الرياضي.

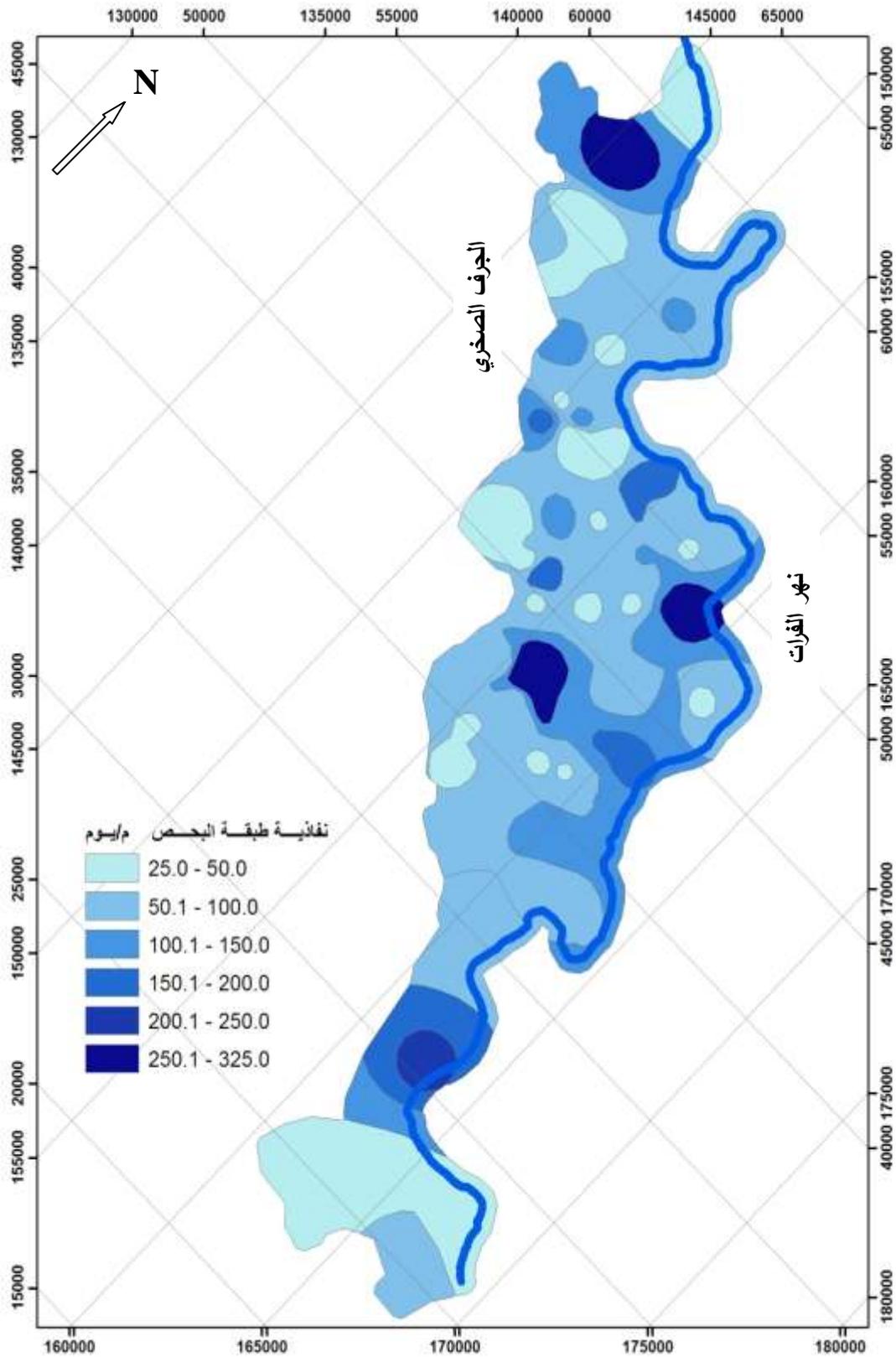
نتائج النموذج الرياضي وسيناريوهات الحل:

● قيم نفاذية طبقتي اللوم والبحص المقيّمة:

تطلب معايرة النموذج الرياضي في القطاع السابع خلال شهر تشرين الأول من عام 2006م، إجراء بعض التعديلات البسيطة (لم تتجاوز 5%) على قيم نفاذية طبقتي اللوم والبحص. إذ تتراوح قيم نفاذية طبقة اللوم بين 0,5-2,5 m/day، (الشكل 3-). بينما تتباين قيم نفاذية طبقة الرمل والبحص (الطبقة الحاملة للمياه الجوفية) بين 25-325 m/day، (الشكل 4- [8]).



(الشكل-3). نفاذية طبقة اللوم المقيمة في القطاع السابع.



(الشكل-4). نفاذية طبقة البحص المقيّمة في القطاع السابع.

• مناسيب المياه الجوفية وأعماقها المحسوبة خلال الفترة المختارة:

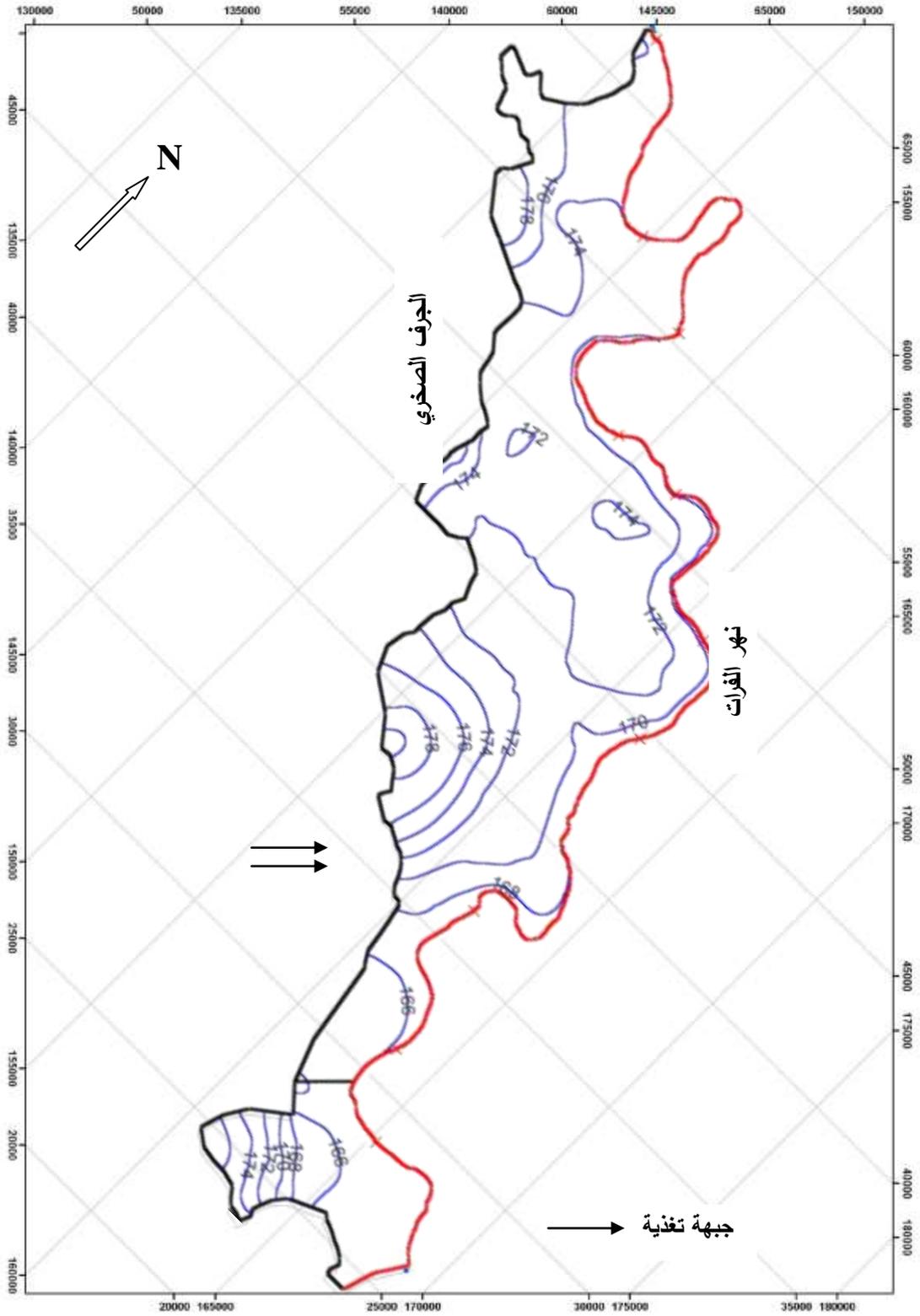
تم تشغيل النموذج الرياضي ومعايرته خلال شهر تشرين الأول من عام المعايرة 2006 م لتنفيذ المحاكاة التنبؤية، بغرض تقييم فعالية الصرف الشاقولي والأفقي المنفذ في القطاع المذكور، ومن ثم اقتراح سيناريوهات الصرف الجوفي.

تم الحصول على خرائط مناسيب المياه الجوفية المحسوبة من النموذج في القطاع السابع للمنطقة الأولى من حوض الفرات الأدنى، التي تقارب مناسيب المياه الجوفية المقيسة حقلياً في آبار المراقبة ومير نهر الفرات، ضمن حدود لا تزيد على 0.5 م، خلال شهر تشرين الأول من عام 2006 م (الشكل - 5).

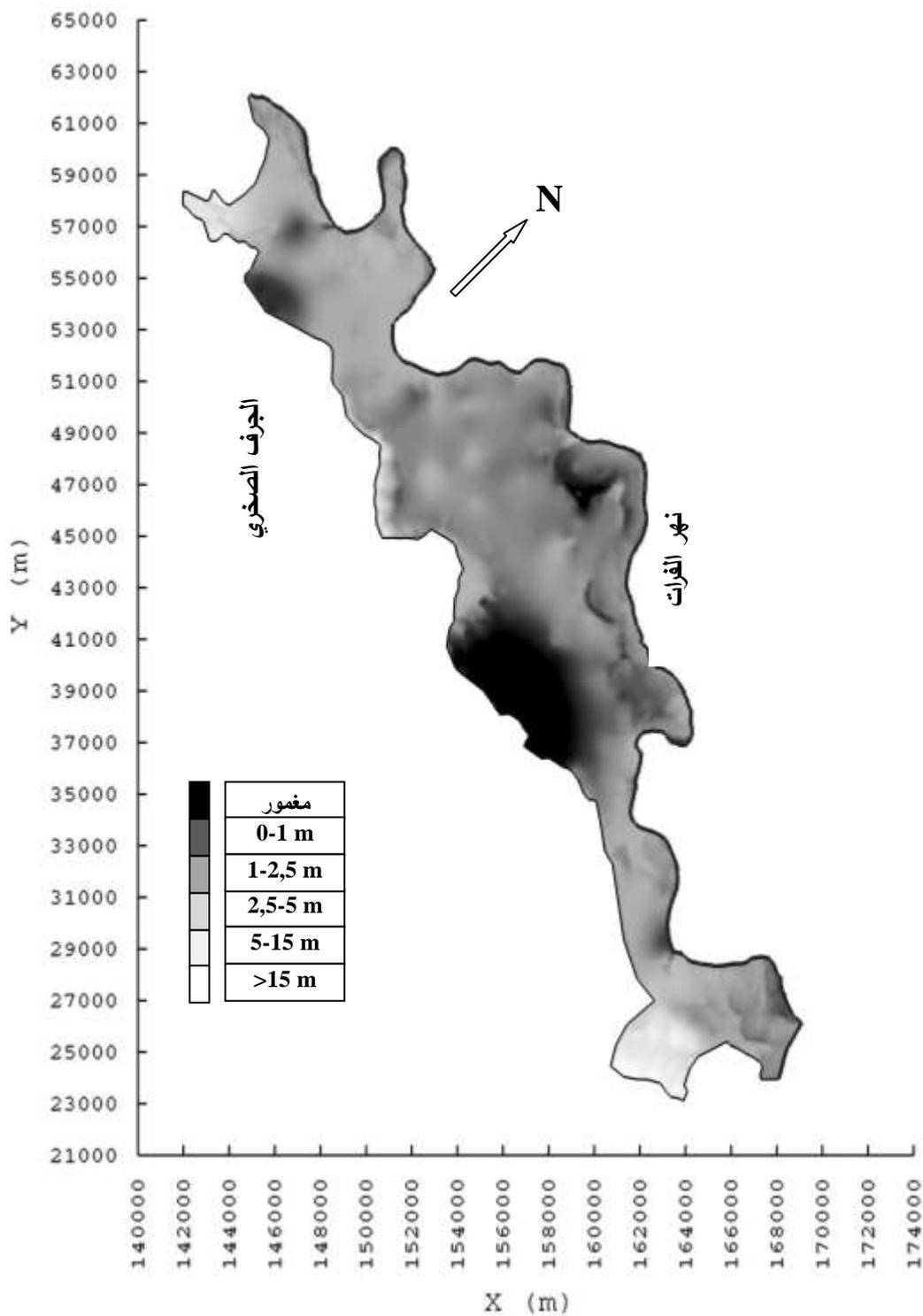
وفي المرحلة اللاحقة تم وضع خرائط توضع أعماق المياه الجوفية المحسوبة من النموذج في القطاع السابع ضمن مجالات مقدرة بـ m وهي (<0)، ($1-0$)، ($2,5-1$)، ($5-2,5$)، ($15-5$)، (>15)، خلال شهر تشرين الأول من عام 2006 م (الشكل - 6)، مع التركيز على أعماق المياه الجوفية ذات القيمة الأقل من مترين ونصف، التي تشكل هدفاً لعملية الصرف التي ستقترح، وتم حساب الموازنة المائية الإجمالية لحالة النموذج المعايير خلال شهر تشرين الأول من عام 2006 م (الجدول - 1).

الجدول - 1. موازنة المياه الجوفية (m^3/day) في القطاع 7 لشهر تشرين الأول 2006 م

القيم الخارجة	القيم الداخلة	المركبة
68066	13263	التسرب من أو إلى النهر
14878	-	آبار الصرف الشاقولي المنفذة
5561	-	الصرف الأفقي (المغطى والمكشوف)
213887	-	التبخّر - نتح
	1400	جبهة التغذية
-	287732	التغذية الراشحة من مياه الري
302392	302395	الكمية الإجمالية
3		الفرق بين الداخل والخارج من



(الشكل-5) مناسيب المياه الجوفية المحسوبة (m) من النموذج في القطاع السابع في شهر تشرين الأول 2006م



(الشكل-6). أعماق المياه الجوفية المحسوبة (m) من النموذج في القطاع السابع في شهر تشرين الأول 2006م

• سيناريو الصرف الشاقولي في القطاع السابع:

دلت الدراسة التحليلية وتقييم مراحل المعايير على جدوى آبار الصرف الشاقولي في تخفيض مناسيب المياه الجوفية إلى الحدود المطلوبة، شرط اختيار المواقع المناسبة لهذه الآبار، وتحديد الغزارات المطلوبة لها. اعتماداً على خارطة أعماق المياه الجوفية المحسوبة للنموذج في القطاع السابع، وبعد محاولات كثيرة فقد تم اقتراح مجموعة آبار للصرف الشاقولي في القطاع المذكور بلغ عددها 90 بئراً، وضمن مناطق توزع الأعماق القليلة للمياه الجوفية، شرط أن تحقق هذه الآبار كفاءة عالية في تخفيض مناسيب المياه الجوفية من حيث الناقلية المائية للطبقة الحاملة للمياه الجوفية، ويتصاريح تتراوح بين 900-1400 m³/day (الجدول -2).

الجدول -2. إحصائية عدد آبار الصرف الشاقولي تبعاً لتصاريحها.

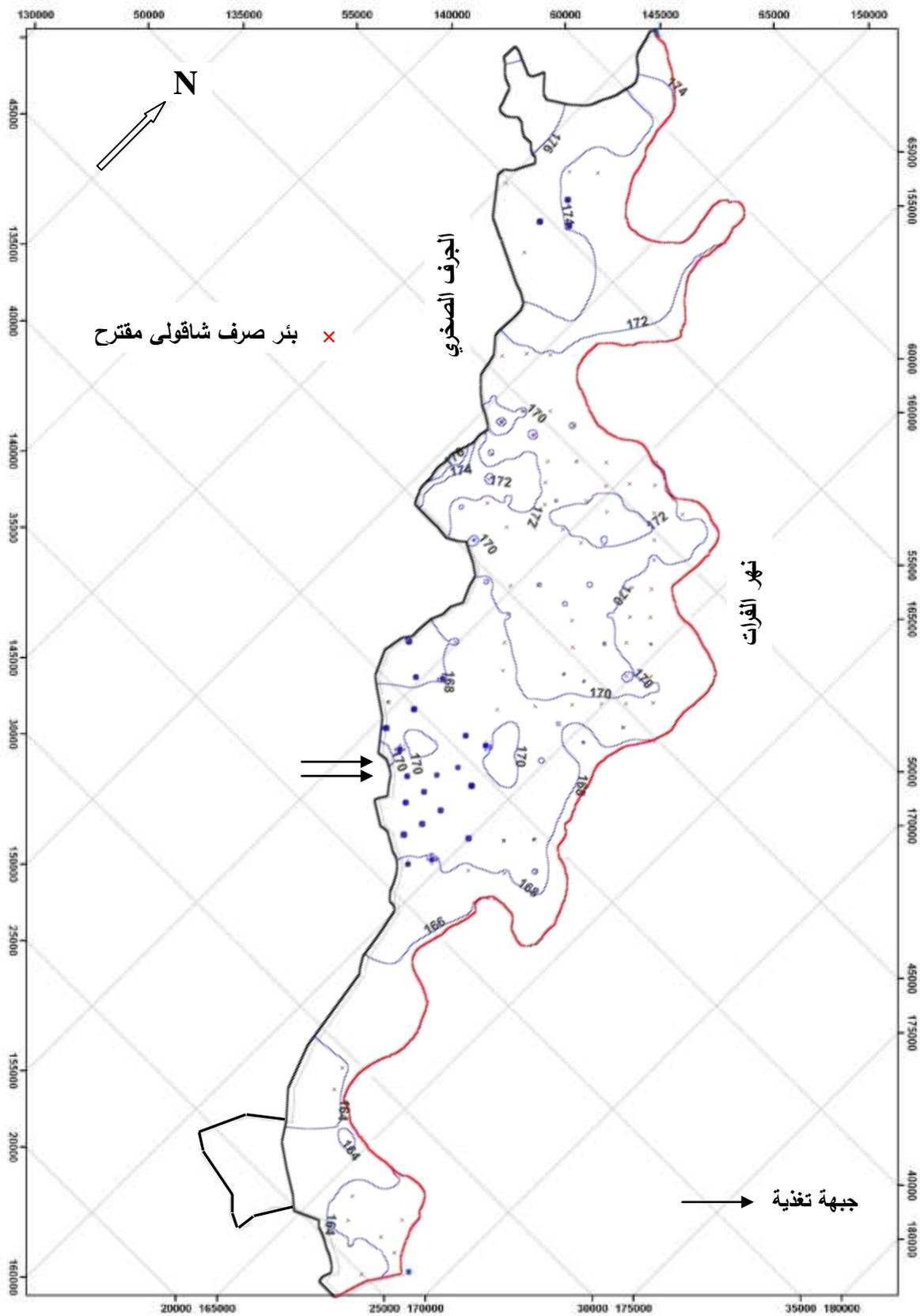
عدد الآبار	التصريف (m ³ /day)	عدد الآبار	التصريف (m ³ /day)
48	900	10	1200
8	1000	2	1300
14	1100	8	1400

نتج عن سيناريو آبار الصرف الشاقولي في القطاع 7، خارطة مناسبة جديدة للمياه الجوفية (الشكل-7)، وبالتالي أعماق جديدة للمياه الجوفية دون 2,5 م (الشكل-8). والموازنة المائية للسيناريو المقترح للصرف الشاقولي في القطاع السابع (الجدول-3).

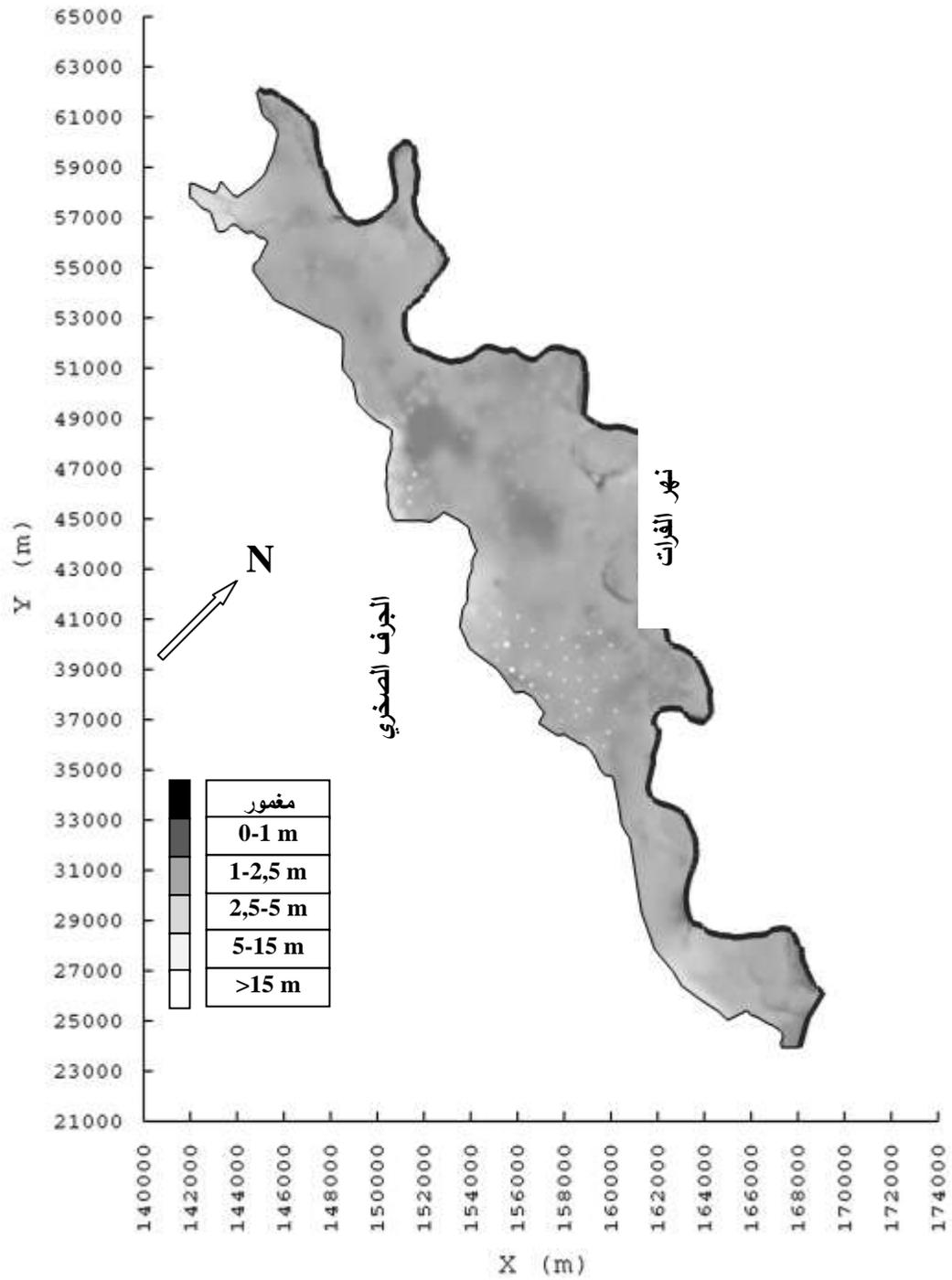
الجدول -3. موازنة المياه الجوفية (m³/day) لسيناريو الصرف الشاقولي في القطاع 7 لشهر تشرين

القيم الداخلة	القيم الخارجة	المركبة
13743	53339	التسرب من أو إلى النهر
-	167330	آبار الصرف الشاقولي المنفذة والمقترحة
-	1818	الصرف الأفقي (المغطى والمكشوف)
-	115221	التبخر - نتح
2650	-	جبهة التغذية
321324	-	التغذية الراشحة من الري والأمطار
337717	337708	الكمية الإجمالية
9		الفرق بين الداخل والخارج من المنطقة

أوضحت خارطة أعماق المياه الجوفية بعد تنفيذ سيناريو الصرف الشاقولي المقترح، أن أعماق المياه الجوفية أقل من 2,5 م في معظم مناطق القطاع السابع، وتتراوح هذه الأعماق بين (1-2,5) م في مناطق الصرف الأفقي المنفذ في القطاع المدروس، الأمر الذي يؤكد عدم فعالية هذا الصرف بالوضع الراهن، لحاجته للصيانة أو التباعد غير المناسب للمصارف الحقلية. إضافةً إلى قدرة آبار الصرف الشاقولي على تجفيف مناطق انتشار المستنقعات، عدا مستنقع واحد يمكن اقتراح حفر بئر تجميعي لمياه هذا المستنقع، من خلال إنشاء أخاديد سطحية تسهم بتنظيم جريان المياه فيه. ومن ثم نقل المياه إلى نهر الفرات.



(الشكل-7). مناسيب المياه الجوفية (m) لسيناريو الصرف الشاقولي المقترح في القطاع السابع لشهر تشرين الأول 2006م



(الشكل-8). أعماق المياه الجوفية (m) لسيناريو الصرف الشاقولي المقترح في القطاع السابع لشهر تشرين الأول 2006م

الاستنتاجات والتوصيات:

1. تتراوح أعماق المياه الجوفية خلال عام المعاييرة 2006 في القطاع السابع بين 1-15m، وتشكل طبقة المياه الجوفية سطحاً مائياً مشتركاً مع سطح الأرض في بعض مناطق القطاع، وفي مناطق انتشار المستنقعات فيه.
2. تتراوح مناسيب المياه الجوفية خلال عام المعاييرة 2006 في القطاع السابع بين 166-180m، بدءاً من ضفة نهر الفرات حتى حدود الجرف الصخري.
3. إن الصرف الشاقولي والأفقي المنفذ في القطاع السابع غير فعال في وضعه الراهن.
4. يسهم الصرف الشاقولي بشكل فعال في حل مسألة صرف المياه الجوفية الزائدة، من خلال حفر 90 بئراً بأعماق حتى مستوى أساس الطبقة الحاملة للمياه الجوفية، بتصاريح تتراوح بين 900-1400 m³/day.
5. تتوضع المياه الجوفية على أعماق أكثر من 2m في معظم مناطق القطاع السابع، بعد تنفيذ سيناريو آبار الصرف الشاقولي. عدا مستنقع واحد، يمكن تجفيفه باقتراح حفر بئر تجميعي لمياه هذا المستنقع، ينظم جريان المياه من المستنقع إلى نهر الفرات.
6. ضرورة صيانة شبكات الصرف المنفذة في القطاع السابع لزيادة فعاليتها.
7. إعادة تطوير آبار الصرف الشاقولي المنفذة، وزيادة تدفقها وكفاءتها تبعاً للظروف الهيدروجيولوجية.
8. ضرورة التدقيق الحثلي لمواقع آبار الصرف الشاقولي المقترح في الحل، ولفكرة حفر البئر التجميعي لمياه المستنقع.

المراجع:

1. Mary P. ANDERSON, William W. WOESSNER, *Applied Groundwater modeling, Simulation of flow and advective transport*, U.S.A, 1992, 341.
2. Neven KRESIC, *Hydrogeology and groundwater modeling*, 2nd edition, U.S.A, 2007, 807.
3. *Review and full evaluation of projects worked out by the GERSAR – SCET Company and executed drainage network within Zone No.1 in the region of the lower Euphrates – Deir Ez zor province*. AGROCOMPLECT Plc. & G-CAT_{Ltd}. February 2004,241.
4. T.S. ANURAGE, L.RUIZ and others. *Estimating groundwater recharge using land use and soil data: A case study in south India*. Journal of agricultural water management .INDIA. 2006, 65-76.
5. الأسعد، علي محمد. عبد الرحمن، عباس. حايك، شريف. *موارد المياه الجوفية في سهل عكار*. مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية، سورية، المجلد 27 العدد 2، 2005، 42-50.
6. David K. TODD, Larry W. MAYS. *Groundwater Hydrology*, 3^d edition, U.S.A, 2005, 636.
7. *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.
8. G. P. Kruseman; N. A. de Ridder. *Analysis and Evaluation of Pumping Test Data*. Amsterdam 2000, 377.