

موديل GMS لصرف المياه الجوفية في القطاع الثالث من حوض الفرات الأدنى - سورية

الدكتور علي محمد الأسعد*

(تاريخ الإيداع 25 / 3 / 2013. قُبل للنشر في 26 / 5 / 2013)

▽ ملخص ▽

يُتَّصَف القطاع الثالث من حوض الفرات الأدنى بأهمية اقتصادية كبيرة، غير أن بعض الأراضي خرجت من الاستثمار الزراعي بسبب تملُّحها نتيجة ارتفاع مناسيب المياه الجوفية، لذلك، من الضروري وضع حل لمسألة صرف المياه الجوفية باستخدام التقانات العلمية الحديثة. يهدف البحث إلى وضع سيناريو لحل مسألة صرف الأراضي في القطاع الثالث، فاعتمد الحل على بناء أنموذج رياضي، سمحت نتائج تشغيله بتصميم شبكة صرف مناسبة، تتألف من 111 بئراً تنتشر في أرجاء منطقة الدراسة، والضخ منها جميعاً بمعدل $269000 \text{ m}^3/\text{day}$ ، مما سيؤدّي إلى تخفيض سطح المياه الجوفية وتجفيف المستنقعات، وتخفيض ملوحة التربة، ما يكفل استثمار الأراضي الزراعية استثماراً اقتصادياً مستداماً.

الكلمات المفتاحية: حوض الفرات الأدنى، إدارة موارد المياه الجوفية، الصرف الشاقولي، الأنموذج الرياضي.

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

GMS Model to Drain the Groundwater in the 3^{ed} Sector of the Lower Euphrates Basin-Syria

Dr. Ali M. Alasaad*

(Received 25 / 3 / 2013. Accepted 26 / 5 / 2013)

▽ ABSTRACT ▽

The third sector of lower Euphrates basin has a great economic importance, but some lands have gone out of service because of salinization due to the rise of groundwater levels. Thus, it is very important to solve the ground water issue using new scientific techniques. This research aims to solve the drainage problem in the third sector using a scenario based on a mathematical model, the results of which allow us design a proper drainage network comprised of 111 wells scattered all over the study area, with a total abstraction of 269000 m³/day. This will lower the groundwater level, dry the swamps, and decrease the soil salinity, ensuring a sustainable economic exploitation of agricultural lands.

Keywords: Lower Euphrates basin, groundwater resources management, Vertical drainage, Mathematical model.

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

مقدمة:

إنّ الاستثمار الجائر للأراضي الزراعية في دول كثيرة (الولايات المتحدة الأمريكية، الهند، مصر، دول آسيا الوسطى، سورية...)، واستخدام المخصبات الاصطناعية والمبيدات الزراعية، والري بمعدلات عالية، وملوحة مياه الري، وضعف الصرف الطبيعي، وعدم كفاية الصرف الاصطناعي أدى إلى زيادة مساحة الأراضي المتملحة، ثم خروجها من الاستثمار أو انخفاض مردودها الاقتصادي، [1،2].

إنّ تعقيد الظروف الهيدرولوجية، وتنوع المسائل المطروحة للحل تطلب من الباحثين تبسيط المسائل بحيث يمكن حلّها يدوياً، أو باستخدام التقانات المتوفرة لديهم. ومع تطوّر تقانات الكمبيوتر والبرمجيات اللازمة لنمذجة مسائل المياه الجوفية، أصبح من الممكن تقويم موارد المياه الجوفية كميّاً، ودراسة حركتها وحركة الملوثات فيها. وتتميز برمجيات النمذجة الرياضية بإمكانية تخزين بيانات الأنموذج واستردادها وتغييرها وعرضها بأشكال متنوعة، تسمح بتحليلها بدقة كبيرة [3،4].

والنماذج الرياضية وسيلة فعّالة تسمح بتمثيل الظروف الهيدرولوجية الحقلية المعقدة بمعادلات رياضية تمثل العمليات الفيزيائية التي تحدث ضمن النظام، وتصف معادلات جريان المياه الجوفية ضمن حدود الأنموذج، ثم تُحل هذه المعادلات تحليلياً أو عددياً باستخدام الكمبيوتر [5،6].

يمتد القطاع الثالث بين مدينتي دير الزور والميادين، ويشكّل جزءاً من وادي الفرات الأدنى على الضفة اليمنى، وتقع ضمن حدوده مجموعة من البلدات والقرى، أهمها: جفرة؛ العبد؛ موحسن؛ الطابية؛ الزباري. (الشكل 1). وتبلغ مساحته 317 كم²، يحده من الشمال الشرقي نهر الفرات، ومن الجنوب الغربي جرف من صخور الباليوجين، [7]. يترافق ارتفاع درجات الحرارة صيفاً بازدياد حاد لقابلية التبخر، ونقص رطوبة الهواء، ورياح شديدة، ما يتطلب الري بمعدلات عالية في فصول الربيع والصيف والخريف لتأمين الرطوبة اللازمة لنمو النباتات، ممّا يسبّب نهوض مناسيب المياه الجوفية وزيادة تملح التربة، [7،8].

تنتشر في القطاع الثالث تربة مالحة في أنحاء مختلفة منه، وازداد تملحها في العقد الأخير لأسباب عديدة، فهجر الفلاحون الأراضي المتملحة، وخسروا مصدر رزقهم، [7،9]، مما سبّب أضراراً اقتصادية واجتماعية لا بد من معالجتها بطريقة موثوقة وفق المعايير العلمية السائدة، كالنمذجة الرياضية باستخدام الكمبيوتر.

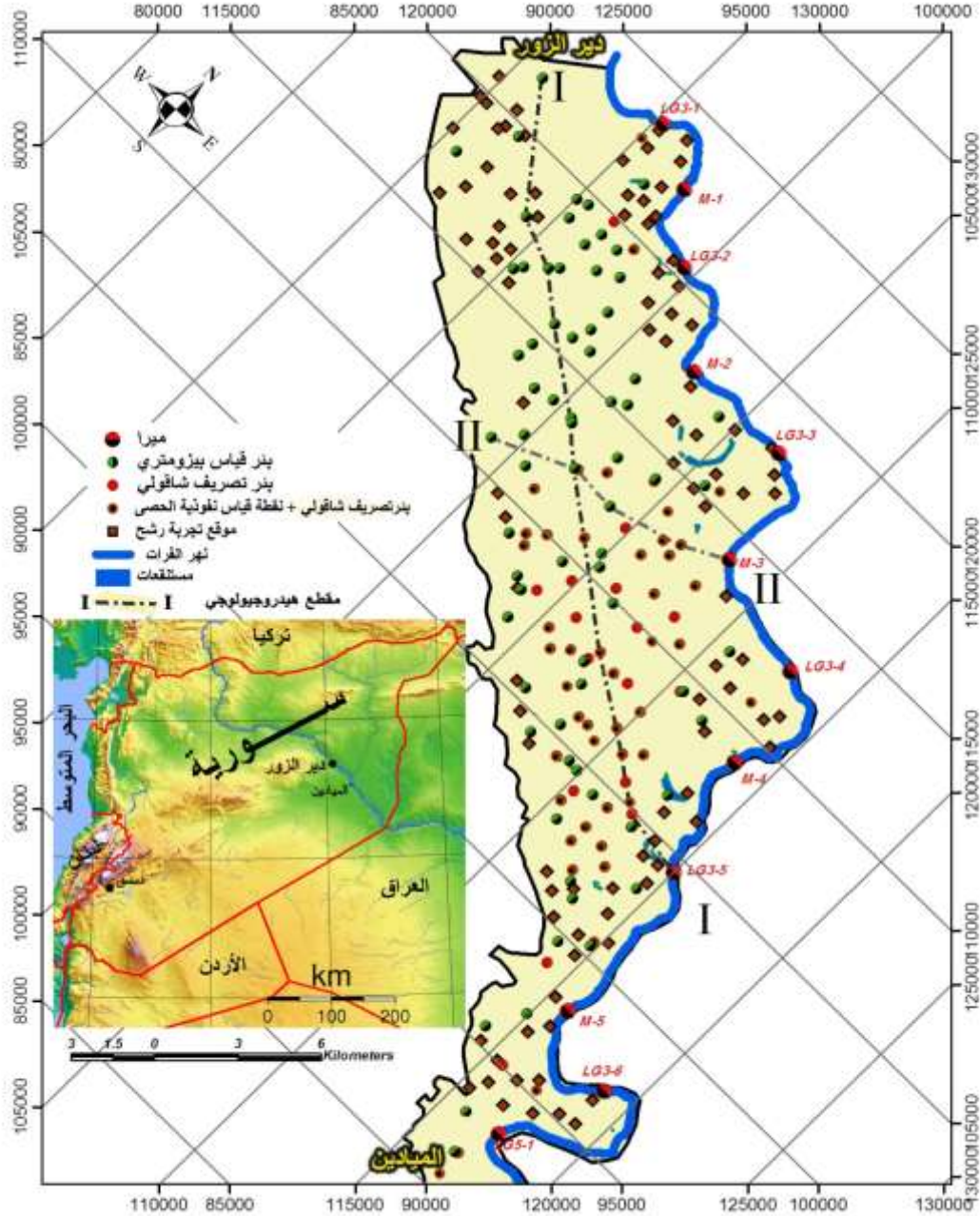
أهمية البحث وأهدافه:

يهدف البحث إلى تقويم شبكة الصرف المنفّذة في القطاع الثالث اعتماداً على نتائج النمذجة الرياضية، ووضع حل أمثل لصرف المياه الجوفية من منطقة الدراسة من أجل المحافظة على أعماق مستوى المياه الجوفية بحيث تكون مناسبة لنمو النباتات المزروعة في المنطقة، لما لذلك من أهمية بالغة في تحسين مردود الأراضي الزراعية وحمايتها من التملح والغرق، وتخطيط الدورات الزراعية.

طرائق البحث ومواده:

تعتمد المحاكاة الرياضية في هذا البحث على كود Modflow الموجود ضمن برنامج GIS-Groundwater Modeling System، الذي أعدته هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية

(McDonald, Harbaugh, USGS,1988)، وطوّره الباحثون في جامعة Brigham، بالتعاون مع المهندسين والخبراء في الجيش الأمريكي عام 2008. [4,3].



الشكل 1. مخطط موقع القطاع الثالث وحدوده وتوزع شبكة الرصد فيه.

كما اعتمدت الدراسة على بيانات المراقبة في شبكة رصد موزعة في أرجاء القطاع الثالث ضمن قطاعات تكشف التشكيلات الجيولوجية، وتتألف الشبكة من 69 بئراً (بئر قياس بيزومتري)، تخترق توضعات الرباعي وجزءاً من توضعات النيوجين والبالوجين، كما تضم شبكة الرصد مجموعة من مراكز قياس مناسيب المياه (ميرا) في نهر الفرات، (الشكل 1)، واستمرت القياسات فيها خلال الفترة (أيار-2005 حتى نيسان 2007)، [10,8].

يتضمّن GMS مجموعة حزم Packages، مزوّدة بأدوات مناسبة لكل نمط من أنماط محاكاة المياه الجوفية، وتشمل الأدوات: خصائص الموقع، وتطوير الأنموذج، وأسلوب المعالجة، وطريقة المعايرة... الخ. كما يدعم برنامج GMS، نماذج عديدة: UCODE ، TINs Femwater ، Modflow, Modpath , MT3D , RT3D ، وغيرها [4,3].

ويمتلك نظام GMS مجموعة ميزات، أهمّها:

- التفاعل بين المعطيات النقطيّة والمساحية Raster and Scatter لنظام المعلومات الجغرافية GIS.
- يلبي متطلبات حل أية مسألة للمياه الجوفية (حركة المياه الجوفية وتلوثها).
- ينتج مخططات ومنحنيات وجداول متنوّعة، وسلسلة بيانات جديدة تسمح برسم مخططات إضافية وتُساعد في تحليل المسألة المطروحة.
- إمكانية تصدير ملفات بامتداد TIFF، DXF، إلى برنامج أوتوكاد AutoCAD واستيرادها منه.

الخصائص الطبيعية

1. المناخ

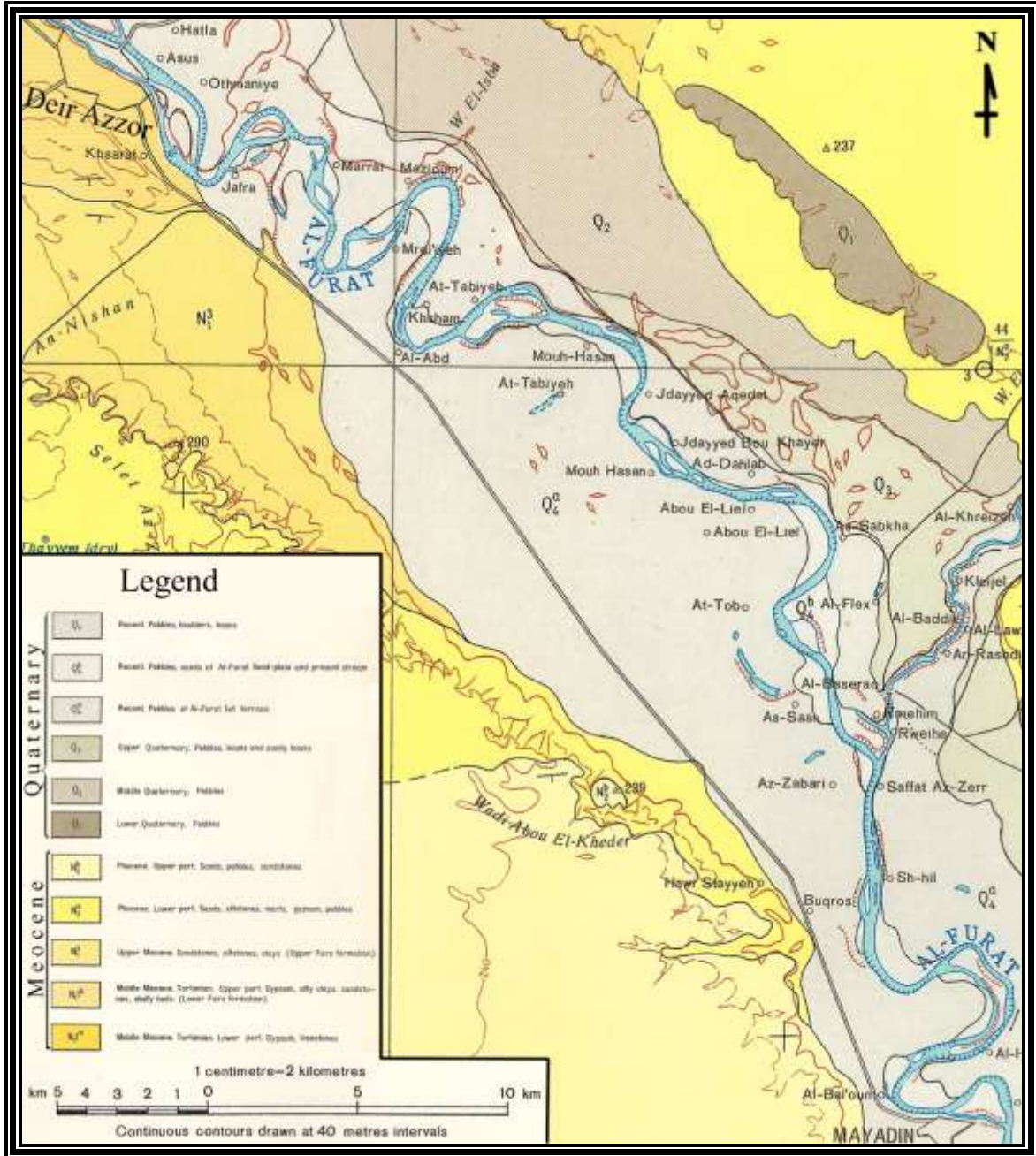
المناخ السائد في منطقة القطاع الثالث حار وجاف صيفاً، بارد وقليل الرطوبة شتاءً. ويبلغ المتوسط السنوي لدرجة حرارة الهواء في المنطقة $20^{\circ}C$ ، وقد تزيد على $40^{\circ}C$ في بعض الأيام صيفاً، وقد تنقص إلى أدنى من $3^{\circ}C$ شتاءً. وتتراوح الرطوبة النسبيّة للهواء شتاءً بين 70% و 80%، وتتناقص صيفاً إلى 25-30%. ويتراوح المعدل السنوي للهطل في المنطقة بين 110 و 160 mm. ويبلغ المعدل السنوي للتبخّر من سطح الماء 6,9 مم/يوم. (2520 مم/ سنة في دبر الزور، تزداد باتجاه الشرق). والرياح شمالية غربية في منطقة دبر الزور عموماً، وتهبّ رياح ذات سرعات كبيرة تثير الغبار في أحيان كثيرة، خاصةً رياح الخماسين في بداية الربيع، [7,8,9].

2. الخصائص الجيولوجية والهيدروجيولوجية

تتكشّف في أرجاء القطاع الثالث كلّها التوضعات الرباعية بجوار نهر الفرات، فتشكّل هذه التوضعات المصاطب على ضفتيه. وتتكشّف رسوبيات البليوسين على الحدود الجنوبية الغربية للقطاع الثالث، (الشكل 2) [11, 12]. تعطي توضعات الرباعي (Quaternary (Q) مساحة القطاع الثالث كلّها (الشكل 2)، وهي تتألف من الأليوفيا والبروليوفيا ورسوبيات كيميائية وريحية وكرينونات تجمّعية Accumulative وقشرات جصّية [11, 12]. وتغطي الرمالُ وغطاء التعرية المتراكم معظم مساحة القطاع الثالث، لكنّ سماكاتها قليلة، ولا تتعدّى أمتاراً عدّة غالباً (الشكلان 3، 4). ويمكن تقسيم توضعات الرباعي حسب أعمارها إلى مجموعة وحدات ستراتيغرافية متمايزة (الجدول 1).

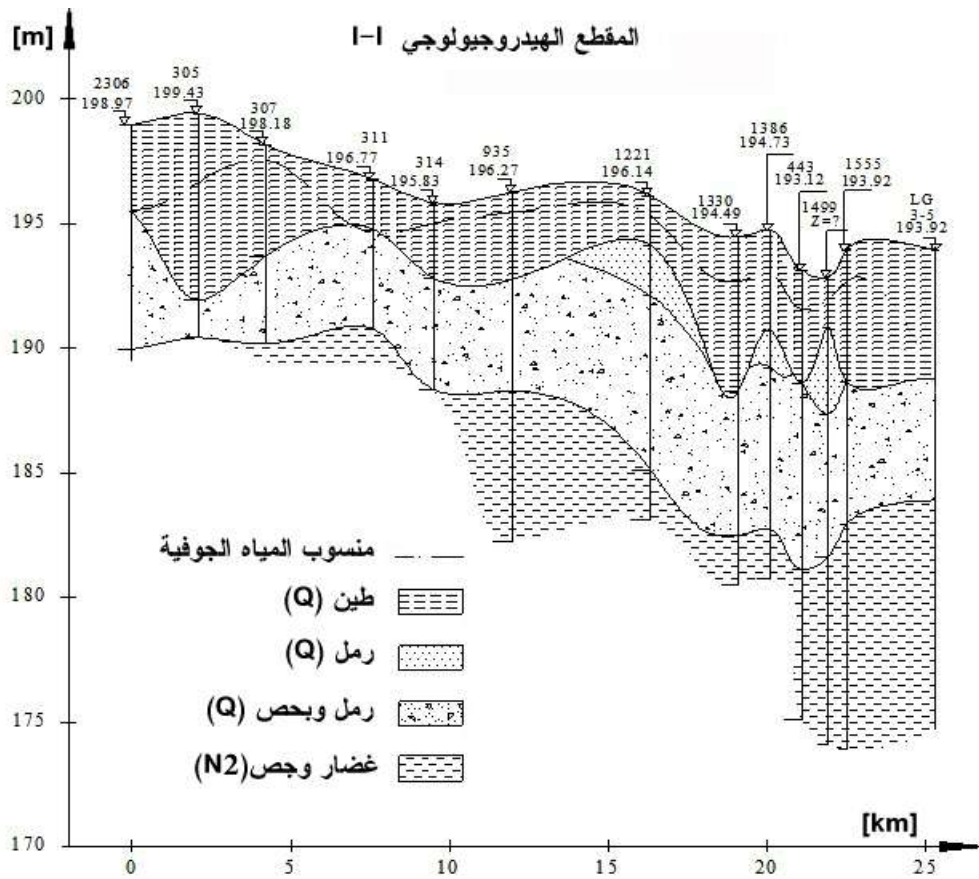
الجدول 1. التقسيمات الجيولوجية للرباعي [8].

التقسيمات الجيولوجية	نوع التوضعات ومنطقة انتشارها
Q1- الرباعي الأسفل	أليوفيا، مصطبة الفرات الرابعة.
Q2- الرباعي الأوسط	أليوفيا، مصطبة الفرات الثالثة.
Q3- الرباعي الأعلى	أليوفيا، مصطبة الفرات الثانية.
Q4- الحديث	أليوفيا، مصطبة الفرات الأولى ومصطبة الفيضان.

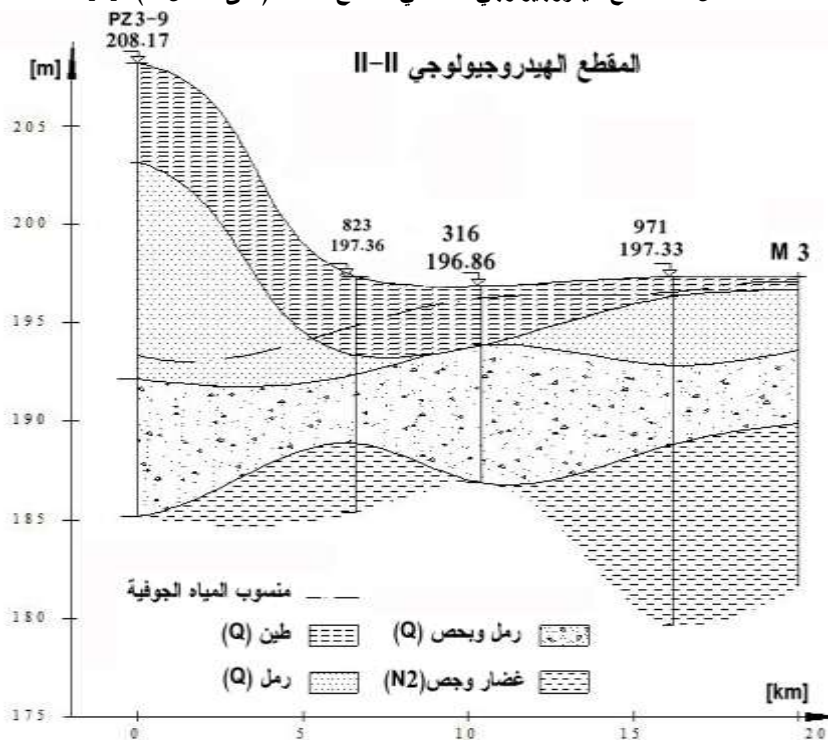


الشكل 2. الخارطة الجيولوجية لمنطقة القطاع الثالث [11، 12].

المستوى الأول: يتألف من رسوبيات سطحية ناعمة (طين Loam)، سماكتها 4-5 أمتار وسطياً، تتغير عشوائياً، وقد تصل سماكتها حتى 8 أمتار في بعض المواقع (الشكلان 3، 4)، وهي تتألف من تربة غضارية رملية ضعيفة النفوذية عموماً (0,2-1 متر/يوم)، تزداد قليلاً في أماكن توضع الرسوبيات الخشنة، [8]. وتشكل رسوبيات المستوى الأول طبقة شبه كتيمة إلى شبه نفوذة، (حسب تركيبها الليتولوجي)، تتوضع فوق الحصى الرملية (المستوى الثاني) ذات النفوذية الكبيرة، فينشأ ضاغط مائي محلي في طبقة الحصى الحاملة للمياه، وقد تتناقص سماكة طبقة اللوم، أو تتلاشى، فتتكشف الحصى على سطح الأرض مباشرة، [7، 8].



الشكل 3. مقطع هيدروجيولوجي I-I في القطاع الثالث (على الشكل 1). [8].



الشكل 4. مقطع هيدروجيولوجي II-II في القطاع الثالث (على الشكل 1) [8].

المستوى الثاني: يتوضع تحت المستوى الأول مباشرةً، ويتألف من الحصى والرمال الخشنة، التي تزداد سماكتها عموماً مع الابتعاد عن مجرى الفرات، فتصل سماكتها حتى 15 متراً في بعض المواقع. وتتكشف رسوبيات المستوى الثاني على سطح الأرض في أماكن متفرقة من القطاع الثالث، وتتصف هذه التوضعات بنفوذية كبيرة (200 - 500 متر/يوم)، وتتناقص في بعض المواقع إلى أقل من 20 م/يوم، حيث تزداد المواد الناعمة، بينما تزداد النفوذية في أماكن أخرى فتصل حتى 590 م/يوم، حيث تزداد نسبة المواد الخشنة. وتشكل توضعات المستوى الثاني طبقة حاملة للمياه ذات ضاغط محلي، تغطيها رسوبيات المستوى الأول ذات النفوذية المنخفضة [8، 9].

تتوضع رسوبيات البليوسين Pliocene N2 تحت طبقة الرمال الحصوية الحاملة للمياه، وتتألف من رسوبيات غضارية مارلية- جصية كتيمية، تشكل طبقة الأساس تحت توضعات المستوى الثاني. (الشكلان 3، 4) [8].

يرتفع سطح المياه الجوفية إلى عمق أقل من مترين في المنخفضات المغلقة ذات التوضعات الناعمة (حوالي 20 سم في بعض المواقع)، ويصل إلى سطح الأرض أحياناً، فيشكل سطحاً مائياً مشتركاً مع مياه البُرك والمستنقعات في الأماكن التي تعاني من زيادة التملح ومن صرف طبيعي أو اصطناعي ضعيف [8، 9]. كما أن الري المفرط وجر المياه من نهر الفرات إلى أماكن بعيدة بالأقنية الترابية وتسرب المياه منها أسهم في رفع منسوب المياه الجوفية.

يشكل تسرب مياه الري ومياه الأمطار عبر صخور طبقتي اللحيات النهرية المصدر الرئيس لتغذية المياه الجوفية. وتتصرف المياه الجوفية في نهر الفرات والأودية، كما تتصرف في شبكات الصرف الأفقي والشاقولي، لكن الصرف غير كافٍ، لذلك يرتفع منسوب المياه الجوفية تدريجياً خلال موسم الري [13]. والمياه الجوفية غير صالحة للشرب أو الري بسبب ملوحتها العالية [8].

إن نفوذية توضعات المستوى الثاني (الحصى والرمال) في بعض المواقع أكبر بـ 100 مرة من نفوذية توضعات المستوى الأول (الطين)، لذلك تتحرك المياه الجوفية في المستوى الأول شاقولياً فتغذي المياه الجوفية في المستوى الثاني، حيث تتحرك المياه الجوفية أفقياً باتجاه نهر الفرات لتتصرف فيه [8]، ويتغير منسوب المياه الجوفية قليلاً فلا يزيد الفرق بين أعلى قيمة (خلال شهر نيسان)، وأخفض قيمة (خلال شهر تشرين الأول) على ثلاثة أمتار.

النتائج والمناقشة:

بعد جمع البيانات الحقلية، ومعالجتها مكتبياً، والتحقق من دقتها، جرى تبويبها بما يسمح ببناء الأنموذج الرياضي للمنطقة المدروسة بهدف وضع حل لمشكلة غرق الأراضي، وتصميم شبكة صرف مناسبة لها.

1. بناء الأنموذج الرياضي

اعتمد بناء الأنموذج الرياضي على البيانات المتوفرة في القطاع الثالث، ويعتمد Modflow على الحل العددي للمعادلة الحاكمة لجران المياه الجوفية عبر الوسط المسامي [3، 4]:

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

1-1. تصميم عملية إدخال المعطيات وتحليلها

يمكن تلخيص عملية إدخال البيانات والمعطيات وتحليلها في القطاع الثالث بالخطوات الآتية:

1. إعداد المخطط الطبوغرافي بتحويل البيانات الرقمية من بيئة AutoCAD إلى معطى رقمي بحيث يناسب

الكود البرمجي لبرمجيات GIS.

2. تصميم شبكة Grid الأنموذج، باستخدام الكود البرمجي (Visual Modflow) الذي يتيح خيارات كثيرة لأبعاد خلايا شبكة الأنموذج.
3. إدخال بيانات الآبار.
4. إدخال قيم الناقلية الهيدروليكية في الاتجاهات الثلاثة (K_x, K_y, K_z) لكل طبقة على حدة.
5. إدخال الضواغط الابتدائية Initial Heads على طول نهر الفرات، إضافةً إلى إدخال بيانات الطبقات الكتيمة Impermeable layers.
6. إدخال بيانات الصرف Drains الأفقي.
7. إدخال بيانات التغذية Recharge. فاعتمدنا قيماً ابتدائية للتغذية 10-15%، ثم جرى تدقيقها بالمعايرة.
8. إدخال معدلات التبخر - نتح Evapotranspiration، وتحديد مجال العمق الذي يحصل فيه التبخر.

2-1. الشروط الطرفية والابتدائية

تُعطى الشروط الطرفية boundary conditions على الحدود النفوذة كقيمة للضاغط، أو حسب قانون تعيُّره مع الزمن $H = f(t)$ ، التي تُدعى شروطاً طرفيةً من النوع الأول، وتتمثل في منطقة البحث بالحد المائي عند نهر الفرات. كما تُلاحظ هذه الشروط الطرفية على حدود الجريانات الجوفية مع سطوح المياه في المجاري المائية السطحية والتجمعات المائية (بحيرات ومستنقعات)، حيث لا يتغير منسوب المياه فيها مع الزمن $H = \text{const}$ ، أو يتغير لكن وفق قانون معلوم.

تتصرف المياه الجوفية بمقدار ثابت عبر الحدود الكتيمة والحدود الضعيفة النفوذية، أو يتغير مقدار الصرف مع الزمن $Q = f(t)$ وفق قانون محدد، وهي شروط من النوع الثاني (شروط - Neuman). ويمكن إهمال قيمة التصريف $Q = \text{const} = 0$ عبر حدود الجريانات ذات الصخور الكتيمة أو الضعيفة النفوذية، كما هي الحال عند الجرف الصخري لمنطقة البحث. ويُعبّر عن التدفق باشتقاق الضاغط عبر الحد $q_x = \frac{\partial H}{\partial X} = \text{Const}$ ، [14,3].

تعبّر الشروط الطرفية من النوع الثالث عن العلاقة الخطية بين التصريف وفرق الضاغط عند وجود تغذية أو صرف مُبَعَثَرين على حدود الجريانات في مستويين حاملين للمياه الجوفية مرتبطين هيدروليكيًا، وتصلهما طبقة ذات نفوذية ضعيفة. [4,3]. وتلاحظ الشروط الطرفية من النوع الرابع على الحدود الفاصلة بين مستويين حاملين للمياه غير متجانسين بخواصهما الرشيحية؛ أي استمرارية تدفق الجريانات، بسبب تساوي تصاريف الجريانات وضواغطها في المقاطع الأولية عند الحدود الفاصلة بينهما، [4,3]. ولا توجد في منطقة البحث شروط حدية من النوعين الأخيرين.

2. المعايرة calibration

تهدف عمليّات معايرة الأنموذج إلى تقليل الفروق بين قيم الضاغط المقيسة والمحسوبة إلى أدنى قيمة ممكنة، وتنتضح فعالية الأنموذج الرياضي من توافق قيم الضاغط في فترة الاستثمار الفعلية مع نتائج الأنموذج، وتزداد دقة الأنموذج الرياضي بزيادة فترة المعايرة. ومن الضروري جمع معطيات التغذية والصرف وتدقيقها، ومقارنة الخرائط الهيدروجيولوجية المُستنتجة من الأنموذج مع الخرائط المُستتبطة من القياسات الفعلية الحقلية لمعرفة مدى تطابقها، فإذا كان الاختلاف بينها كبيراً يجري تعديل المعاملات الهيدروجيولوجية للتوضعات الحاملة للمياه الجوفية (الناقلية المائية؛ معامل التخزين؛ التسرب)، ثم تعاد المعايرة حتى الوصول إلى تطابق مقبول بين هذه الخرائط [4,3]. أُجريت معايرة الأنموذج في حالة الجريان المستقر لبيانات شهر تشرين الأول 2006 في ظروف تغذية وصرف حقلية متدنية، ومناسيب المياه الجوفية في أدنى مستوى لها، ما يسمح بتدقيق قيم البارامترات الهيدروجيولوجية المقيسة

حقلياً، من أجل التوصل بوساطة الأنموذج إلى قيم ضاغط المياه الجوفية تقارب قيم ضاغط المياه المقيسة في آبار المراقبة والمير، بحيث لا يزيد الفرق بين القيمة المحسوبة والقيمة المقيسة على 0.5 م.

3. تحليل حساسية المعايير

إن فرض قيم متعددة للبارامترات الهيدرولوجية يساعد في معايرة الأنموذج، وذلك من خلال تحديد حساسية sensitivity الأنموذج للبارامترات الهيدرولوجية، وتقدير دقة البيانات وموثوقيتها. وتُسهم تجارب الحساسية في تقدير موثوقية الأنموذج، إذ تُظهر هذه التجارب تأثير المجال المحدد لعدم استقرار الأنموذج وأخطاء بيانات الإدخال في إخراجات الأنموذج، كما أن معامل الحساسية مفيد جداً في حالة جمع معطيات إضافية، ويساعد تقويم الأهمية النسبية لكل معامل هيدرولوجي على جِدّة في تحديد البيانات التي يجب تعيينها بدقّة عالية، [3،4،14].

وعند معايرة أنموذج منطقة الدراسة، أوضحت عمليات تشغيله أن حساسيته متوسطة إلى جيدة لقيم عامل الرشح الأفقي والشاقولي في كل طبقة. كما أبدى الأنموذج حساسية كبيرة لمعدلات التبخر - نتح ولمعدلات التغذية من تسرب مياه الري.

4. تشغيل الأنموذج الرياضي

إن ميزات البرنامج ووجود كومبيوتر عالي الأداء سمح بدراسة القطاع الثالث كوحدة مائية واحدة، واعتماد أبعاد أصغرية للخلية الواحدة في شبكة الأنموذج، التي تم اختيارها بعد محاولات تشغيل متعددة للأنموذج دون استنفاد إمكانيات البرنامج وجهاز الكومبيوتر.

ويتألف الأنموذج من الطبقات الآتية:

- طبقة الحدود المائية للقطاع الثالث.
- ثلاث طبقات طبوغرافية تمثل: سطح الأرض الطبيعية؛ سطح أسفل طبقة اللوم؛ و سطح أسفل طبقة الحصىات الرملية.
- طبقتان تمثلان عاملي الناقلية المائية لطبقتي اللوم والحصىات.
- طبقة قياسات مناسيب المياه في نهر الفرات وآبار المراقبة (متغيرة شهرياً).
- طبقة معدلات التغذية بالتسرب من مياه الري (متغيرة شهرياً ومساحياً)، جرى تقويم معدلاتها النهائية خلال مرحلة المعايرة.
- طبقة معدلات الضخ الفعلية من آبار الصرف الشاقولي (متغيرة شهرياً).
- طبقة التبخر من سطح التربة والنباتات (تبخر - نتح وهي متغيرة شهرياً).
- طبقة الصرف الأفقي.

وبما أن للمستنقعات والمياه الجوفية سطحاً مائياً مشتركاً، فقد اعتُمدت المستنقعات كمناطق ظهور المياه الجوفية فوق سطح الأرض، الافتراض الذي أكدته المعايرة والمناسيب المحسوبة من الأنموذج الرياضي. ولا يُسهم تسرب نسبة قليلة من مياه الأمطار في المنطقة إسهاماً مهماً في تشكّل المستنقعات، كما أن مياه الصرف الزراعي كلّها تصب في نهر الفرات.

وبعد تحديد القطاع الثالث، وتحديد إطار منطقة الأنموذج أنشئت الشبكة، ثم قُسمت إلى خلايا مربعة، أبعادها 200×200 متر. واعتمد بناء الأنموذج على المعطيات الشهرية الوسطية، وبما أن التغيرات الشهرية غير كبيرة يمكن

افتراض الجريان الجوفي مستقراً، من دون ارتكاب أخطاء غير مقبولة [2،3]، مما يسمح بتطبيق طريقة الحساب المناسبة للجريانات الجوفية المستقرة في بناء الأنموذج الرياضي.

5. نتائج الأنموذج الرياضي وسيناريوهات الحل

5-1. نفوذية طبقتي اللوم والحصويات الرملية

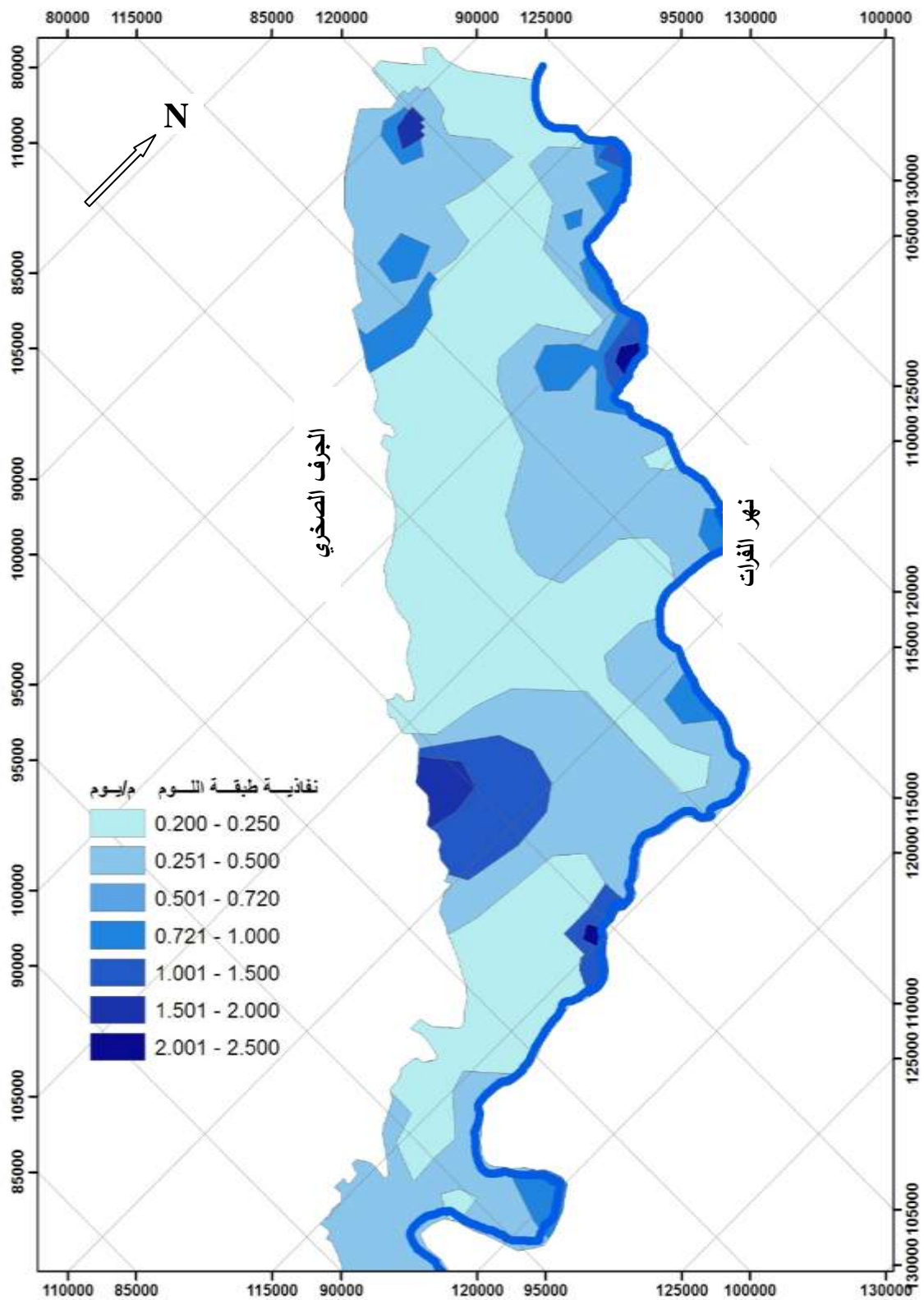
احتاجت معايرة الأنموذج الرياضي في القطاع الثالث خلال شهر تشرين الأول 2006م، تعديلات بسيطة لم تتجاوز 5% لقيم نفوذية الطبقتين، فتراوحت نفوذية طبقة اللوم بين 0,5-2,5 m/day، (الشكل 5). ونفوذية طبقة الحصويات الرملية بين 25-325 m/day، (الشكل 6).

5-2. مناسيب المياه الجوفية وأعماقها المحسوبة خلال فترة النمذجة

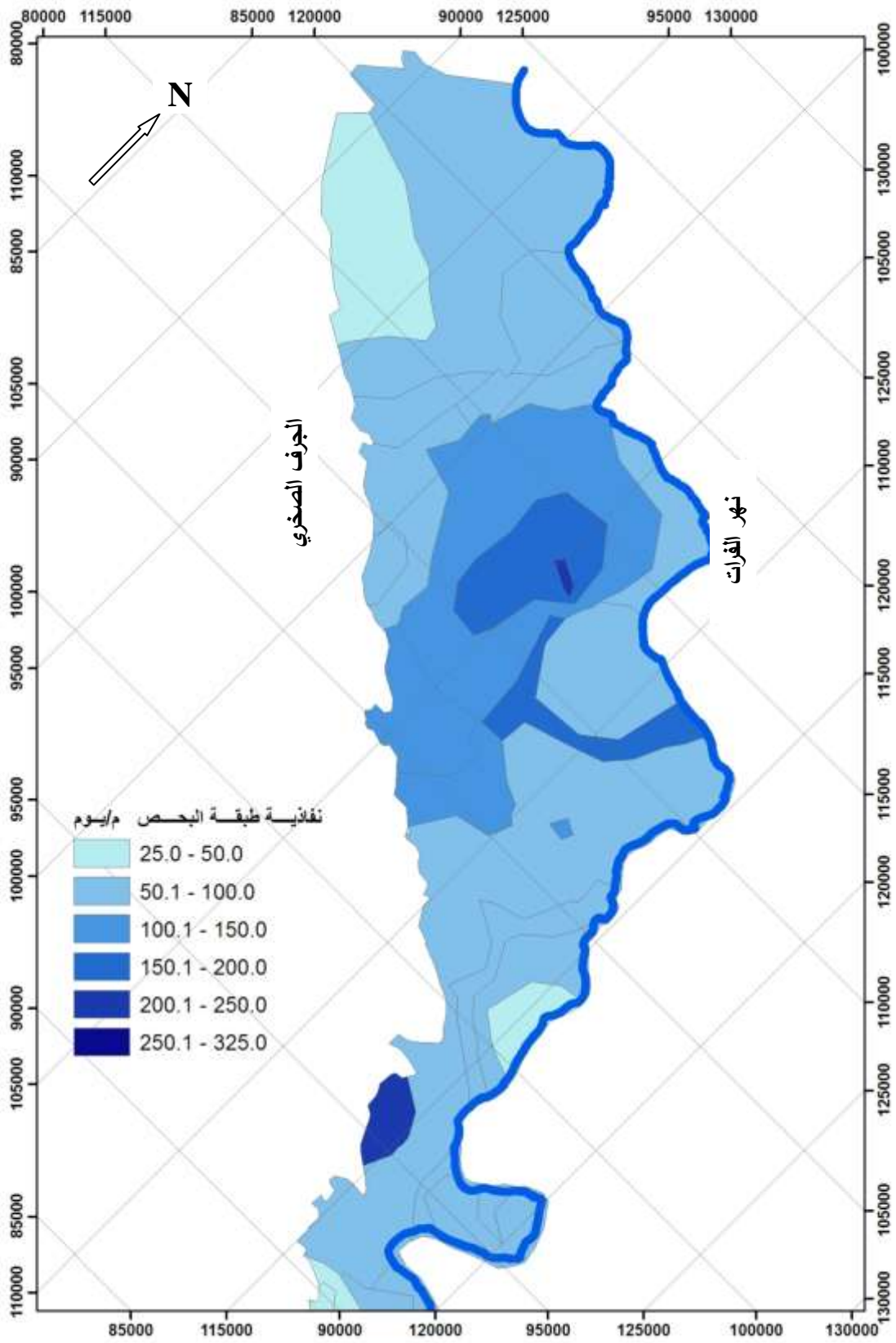
بعد تشغيل الأنموذج الرياضي ومعايرته لشهر تشرين الأول 2006 م بهدف تقويم فعالية الصرف في القطاع الثالث، أخرج الأنموذج خرائط مناسيب المياه الجوفية المحسوبة من الأنموذج، التي تقارب مناسيب المياه الجوفية المقاسة في شبكة المراقبة، بفروق لا تزيد على 0,5 م، فأظهرت أن المياه الجوفية تتحرك باتجاه نهر الفرات لتتصرف فيه. ثم وُضعت خرائط أعماق المياه الجوفية المحسوبة من الأنموذج ضمن مجالات (<0)، ($0-1$)، ($1-2,5$)، ($2,5-5$)، ($5-15$)، (>15)، خلال فترة المعايرة (الشكل 7)، وأعطى الأنموذج نتائج حساب موازنة المياه الجوفية خلال شهر تشرين الأول 2006 م (الجدول 1)، فتبين أن القيم الداخلة تتألف من التغذية من الأمطار ومياه الري، بينما تتوزع القيم الخارجة على ثلاثة أقسام (التسرب إلى نهر الفرات؛ الصرف الأفقي، والتبخر-النتح) بقيم متساوية تقريباً (الجدول 1)، ويشكل السحب من آبار الصرف الشاقولي 16% من المياه الخارجة.

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

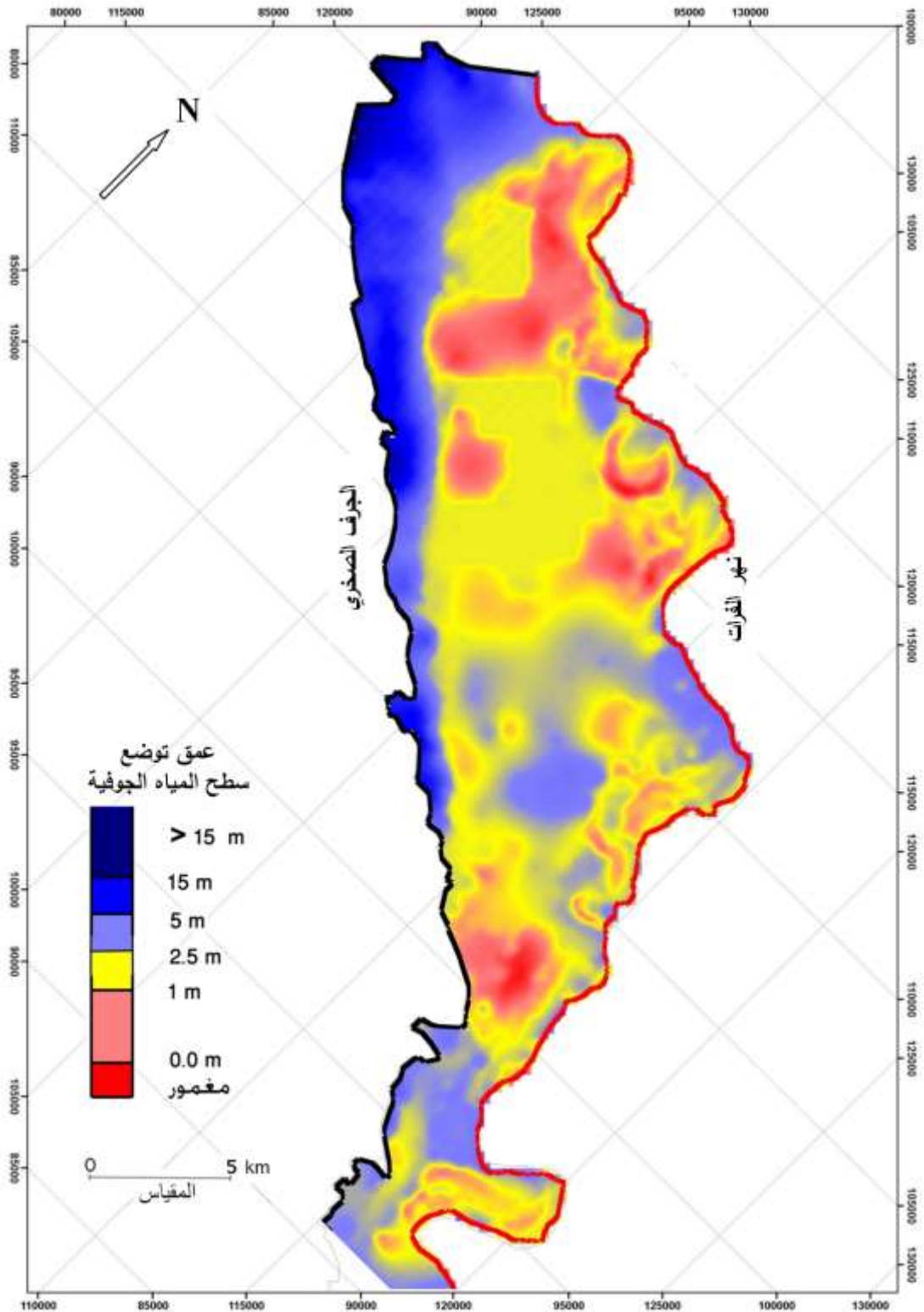
القيم الخارجة	القيم الداخلة	المركبة
138656	734	التسرب من نهر الفرات أو إليه
83337	-	آبار الصرف الشاقولي المنفذة
144180	-	الصرف الأفقي
146922	-	التبخر - نتح
-	512252	التغذية الراشحة من مياه الري والأمطار
513095	512986	المجموع
109		الفرق بين الكميات الداخلة والخارجة



الشكل 5. نتائج تقويم نفوذية طبقة اللوم في القطاع الثالث.



الشكل 6. نتائج تقويم نفوذية طبقة البحص في القطاع الثالث.



الشكل 7. أعماق المياه الجوفية الطبيعية (m) المحسوبة من الأنموذج في القطاع الثالث خلال شهر تشرين الأول 2006م.

3-5. سيناريو الصرف الشاقولي في القطاع الثالث

من المناسب حسب الخصائص الجيولوجية والهيدروجيولوجية في القطاع الثالث اعتماد الصرف الشاقولي للمياه الجوفية من طبقتي اللوم والحسويات [5,8,13]. وانطلاقاً من مخطط أعماق المياه الجوفية المحسوبة من الأتمودج، وباستخدام أسلوب المحاولة - الخطأ، وبعد محاولات كثيرة لتوزيع آبار الصرف الشاقولي ضمن مساحة القطاع الثالث تبين أن التوزيع المقترح يمثل أفضل الحلول لصرف المياه الجوفية، وهو يشمل 111 بئراً، تَضْمَن بقاء مناسب المياه الجوفية على أعماق (أكبر من 2,5 متر) مناسبة لنمو النباتات في القطاع الثالث (الشكل 8). تزداد كثافة الآبار في أجزاء الحوض التي تتصف صخورها بناقلية مائية قليلة وأعماق قليلة لتوضع المياه الجوفية بهدف تحقيق الهبوط المناسب لسطح المياه الجوفية، وتزداد تصاريف الآبار وينقص عددها في الأجزاء التي تتميز صخورها بناقلية مائية كبيرة نسبياً، وتراوح تصاريف الآبار بين $1000-3000 \text{ m}^3/\text{day}$ (الجدول 2). والتصريف الكلي لها $269000 \text{ m}^3/\text{day}$.

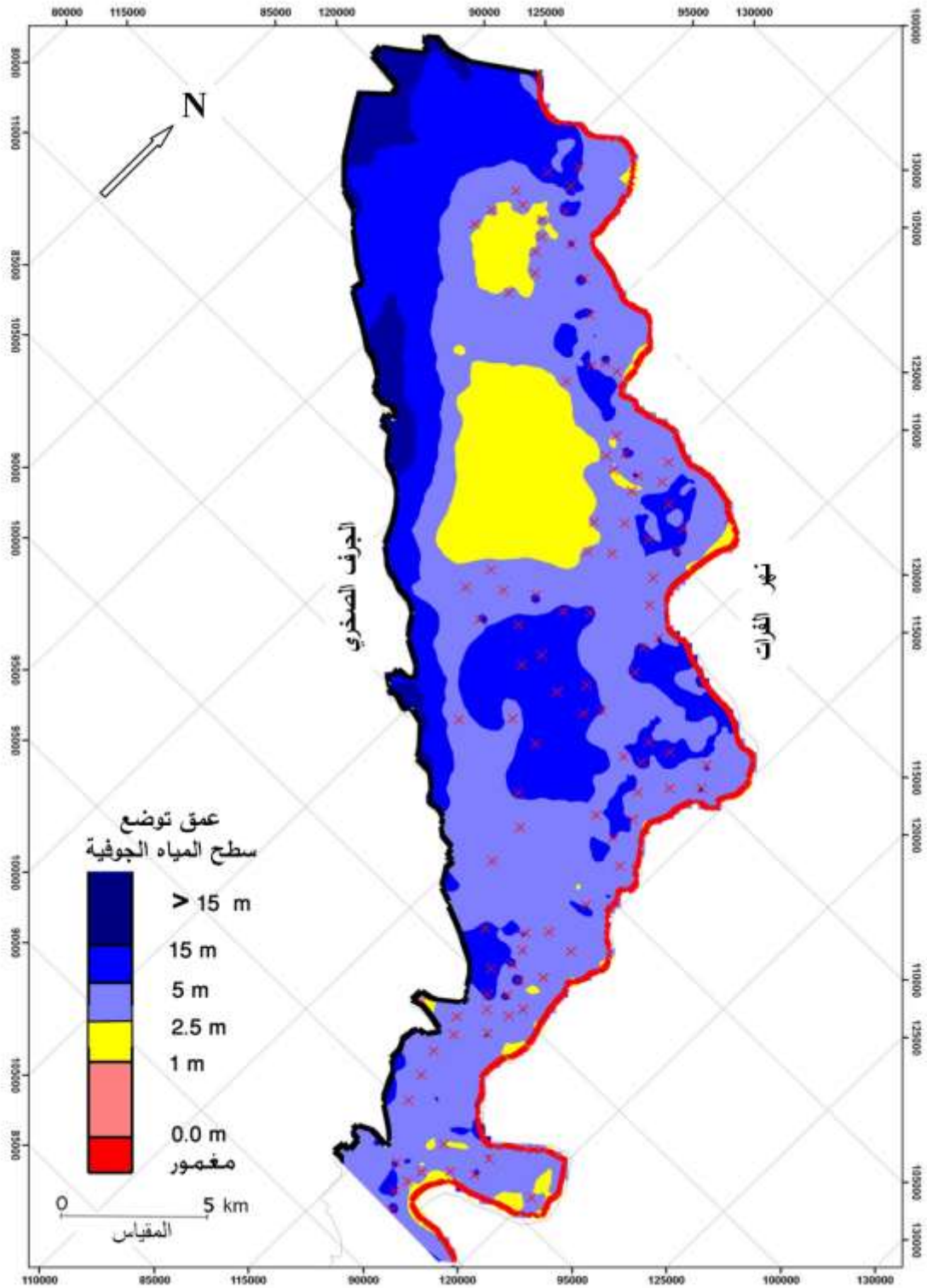
الجدول 2. تصاريف آبار الصرف الشاقولي المقترحة.

عدد الآبار	التصريف (m^3/day)	عدد الآبار	التصريف (m^3/day)
2	1000	60	2500
4	1500	21	3000
24	2000		

والموازنة المائية للسيناريو المقترح للصرف الشاقولي في القطاع الثالث (الجدول 3) تبين تزايد تغذية المياه الجوفية من نهر الفرات، وتناقص صرفها فيه بسبب انخفاض مناسبها نتيجة الضخ من آبار الصرف المقترحة، كما تناقص تصريف شبكة الصرف الأفقي 12%، وانخفض التبخر من سطح المياه الجوفية 58%، الأمر الذي يقلل مخاطر تملح الأراضي، فتزداد مساحة الأراضي الصالحة للزراعة، وتزداد إنتاجيتها، وتزداد تغذية المياه الجوفية بمعدل 11% تقريباً من تسرب مياه الأمطار والرّي، ما يُسهم أيضاً في تخفيض ملوحة التربة. وازدادت التغذية الراشحة والتسرب من مياه النهر (القيم الداخلة في الموازنة) بسبب هبوط مناسب المياه الجوفية، وتناقصت قيمة الصرف الأفقي وقيمة الصرف في نهر الفرات وقيمة التبخر-النتح لصالح زيادة الصرف الشاقولي من آبار الصرف المنفذة والمقترحة، ويعود سبب تناقص التبخر-النتح (42% من قيمته الطبيعية) إلى هبوط سطح المياه الجوفية إلى عمق يزيد على 2,5 متر (عدا منطقة الصرف الأفقي) حيث يصبح تأثير العوامل الجوية والخصائص الشعرية محدوداً، وقدرة امتصاص الجذور ضعيفة.

ويبين مخطط أعماق المياه الجوفية وفق سيناريو الصرف المقترح، أن أعماق المياه الجوفية أكبر من 2,5 م في معظم أرجاء القطاع الثالث، لكنها تتراوح بين 1-2,5 م في مناطق الصرف الأفقي المنفذ، ما يدل على قلة فعاليته. ولن يؤدي الصرف الشاقولي المقترح (خارج حدود منطقة الصرف الشاقولي) إلى حلّ هذه المشكلة كلياً، لذلك لابدّ من تطوير شبكة الصرف فيها. كما أنّ آبار الصرف الشاقولي المقترحة ستجفف المستنقعات، ويمكن الاستعاضة عن آبار الصرف الشاقولي بشبكة صرف أفقي مطمورة لتصريف الأراضي المنخفضة على الضفة اليمنى لنهر الفرات؛ لأنّ حفر

آبار للصراف الشاقولي هنا سيخفّض مناسيب المياه الجوفية فيها إلى مستوى أدنى من مناسيب المياه في النهر، وستسحب الآبار كمية كبيرة من مياه النهر في أثناء الضخ، مما يزيد تكاليف إنشائها واستثمارها.



الشكل 8. أعماق المياه الجوفية (m) لسيناريو الصرف الشاقولي في القطاع الثالث لشهر نيسان 2006م.

الجدول 3. موازنة المياه الجوفية (m^3/day) لسيناريو الصرف الشاقولي في القطاع 3 لشهر تشرين الأول 2006م

القيم الخارجة	القيم الداخلة	المركبة
45354	19181	التسرب من النهر أو إليه
352337	-	آبار الصرف الشاقولي المنفذة والمقترحة
127109	-	الصرف الأفقي
61690	-	التبخر - نتح
-	567250	التغذية الراشحة من الري والأمطار
586490	586431	الكمية الإجمالية
-59		الفرق بين كمية المياه الداخلة إلى المنطقة والخارجة منها

الاستنتاجات والتوصيات:

- تتحرك المياه الجوفية باتجاه نهر الفرات والمستنقعات التي تشكل أماكن الصرف الطبيعي للمياه الجوفية.
- الصرف الطبيعي والاصطناعي للمياه الجوفية في القطاع الثالث غير كافٍ حالياً.
- تبرهن نتائج الأنموذج الرياضي فعالية الصرف الشاقولي في حل مشكلة غرق الأراضي وتملحها في القطاع الثالث، وتأمين بيئة مناسبة للزراعة.
- تخفيض مناسيب المياه الجوفية يقلل تبخرها، ثم يسهم في تناقص ملوحة التربة وزيادة إنتاجيتها.
- دراسة التركيب الكيميائي للمياه الجوفية والسطحية وتغيراته، لوضع خطط زراعية رشيدة وبرامج ري مناسبة.
- صيانة شبكات الصرف المنفذة وتطويرها في القطاع الثالث.
- تطوير شبكة الرصد في النقاط المائية، وأتمنتها جزئياً أو كلياً.
- تكسية أقبية الري لتقليل الرشح منها.

المراجع:

1. DELLEUR, J. W. *The Handbook of Groundwater Engineering*. CRC press, U.S.A, 2007, 1348.
2. الأسعد، علي محمد. *الهيدروجيولوجيا*. جامعة تشرين، 2009، 600.
3. ANDERSON, Mary P.; WOESSNER, William W. *Applied Groundwater modeling, Simulation of flow and advective transport*, U.S.A, 1992, 341.
4. KRESIC, N. *Hydrogeology and groundwater modeling*, 2nd edition, U.S.A, 2007, 807.
5. TODD, D. K.; MAYS, L. W. *Groundwater Hydrology*, 3^d edition, U.S.A, 2005, 636.
6. MENDE, A.; ASTORGA, A.; NEUMANN, D. *Strategy for groundwater management in developing countries: A case study in northern Costa Rica*. Journal of Hydrology (2007) 334, 109–124. <www.elsevier.com/locate/jhydrol> (3/1/2013).
7. AGROCOMPLECT Plc. & G-CAT_{Ltd}. *Review and full evaluation of projects worked out by the GERSAR – SCET Company and excuted drainage network within Zone No.1 in the region of the lower Euphrates – Deir Ez zor province*, 2004, 241.

8. الأسعد، علي محمد؛ عبد الرحمن، عباس. تقدير موارد المياه الجوفية الحرة في القطاع الثالث من وادي الفرات الأدنى. مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية، سورية، 2012.
9. ج-كات. التقرير الهيدروجيولوجي لمشروع استصلاح 2700 هكتار (حوض الفرات الأدنى - المنطقة الأولى). الرقة، 2011، 155.
10. BRASSINGTON, R. *Field Hydrogeology*. 3^d Ed. John Wiley & Sons, Ltd. England, 2007, 279.
11. MINISTRY of INDUSTRY, Department of Geological and mineral research. *The geological Map of Syria*, scale 1:200000, sheets I-37-XXIII, XXIV. (Deir Azor, Al-Buwara), Explanatory notes, compiled by MEDVEDEV, V. Ya., Editor-in-chief PONIKAROV, V. P. Damascus, 1966, 44.
12. MINISTRY of INDUSTRY, Department of Geological and mineral research. *The geological Map of Syria*, scale 1:200000, sheets I-37-XVII, XVIII.(Abou kamal, Beer El-Allouni) Explanatory notes, compiled by MEDVEDEV, V. Ya., Editor-in-chief PONIKAROV, V. P. Damascus 1966, 43.
13. ЗЕЛЬЦБЕРГ, Э. А. *Режим и баланс грунтовых вод зоны избыточного увлажнения*. Недра, Ленинград, 1980, 207.
14. FACCHI, A.; ORTUANI, B.; MAGGI, D.; GANDOLFI, C. *Coupled SVAT-groundwater model for water resources simulation in irrigated alluvial plains*. Environmental Modelling & Software 19, 2004, 1053–1063. <www.elsevier.com> (12/1/2013).