

## مساهمة في تقييم تجربة الضخ الاستثمارية من طبقة المياه الجوفية المضغوطة في بانياس

الدكتور شريف بدر حايك\*

(تاريخ الإيداع 11 / 4 / 2011. قُبِلَ للنشر في 26 / 6 / 2011)

### □ ملخص □

يتضمن البحث دراسة تحليلية لتجربة ضخ استثماري، بهدف تحديد أهم البارامترات، والخصائص الهيدروجيولوجية للطبقة الحاملة للمياه الجوفية المضغوطة في بانياس، وذلك بالضخ من ثلاثة آبار معاً، ولمدة ثلاثة أشهر متوالية، بمعدلات تصريف تراوح بين  $(124-160)\ell/sec$  مع قياس تباينات سطح المياه الجوفية في آبار مراقبة مجاورة.

اعتمدت طريقة (Cooper-Jacob) المعدلة؛ لإجراء تقويم تجربة الضخ الاستثمارية، حيث وصلت الناقلية المائية للطبقة الحاملة للمياه إلى  $3660 m^2/day$ ، وعامل تخزينها  $2,86.10^{-4}$ ، ووصل هبوط سطح المياه الجوفية إلى 24m في مركز حقل الضخ، ليتلاشى تقريباً على بعد 1700m، الأمر الذي يتطلب مراقبة ظاهرة اندساس مياه البحر ضمن طبقة المياه الجوفية العذبة.

تبلغ مناسيب المياه الجوفية قبل الضخ في مركز حقل آبار الضخ 12m، والميل الهيدروليكي عندها  $(0,005-0,013)$ ، وتراوح هذه المناسيب بين  $(-4, -12)m$  في حقل الضخ بعد الضخ والوصول إلى الجريان المستقر، والميل الهيدروليكي عندها  $(0,014-0, 1)$ .

**الكلمات المفتاحية:** حقل آبار الضخ، تجربة الضخ الاستثماري، الناقلية المائية، الميل الهيدروليكي، الشبكة الهيدروديناميكية للجريان الجوفي.

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

## Contribution to evaluate the exploitation pumping test of the confined aquifer of Banyas

Dr. Sharif Hayek \*

(Received 11 / 4 / 2011. Accepted 26 / 6 / 2011)

### □ ABSTRACT □

The research contains an analytical study for an exploitation pumping test. The goal of research is to determine the most important parameters and hydrogeological properties of the confined aquifer in Banyas, by pumping from 3 wells at the same time, this test last for 3 months, and the pumping rates are between (124-160) l/sec. with measuring the fluctuations of the groundwater tables in the neighbor monitoring wells.

I adopt the modified method of (Cooper –Jacob, 1964), to evaluate the test, and the transmissivity of the aquifer reaches to 3660,5 m<sup>2</sup>/day, and the specific storage is 2,86.10<sup>-4</sup>. And groundwater drawdown is 24m in the center of field pumping wells, to disperse approximately at distance 1700m, so it should be to control of the sea water intrusion into the fresh aquifer.

The groundwater levels in the center of well field are 12m before pumping, and the hydraulic gradient is (0,005-0,013). These levels fluctuate between (-4, -12)m in the center of pumping after we get the steady state flow, and the hydraulic gradient is (0,014-0,1).

**Keywords:** Pumping well field, Exploitation pumping test, Transmissivity, Hydraulic gradient, Hydrodynamic net of G.W flow.

---

\* Assistant Professor; Irrigation and Drainage Engineering Department, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

**مقدمة:**

يُعدّ الضّخّ أهم شكل لتجارب الرّشح الحقلية، خاصةً عند اختبار المستويات الحاملة للمياه، وعندما يكون الإمداد بالمياه، أو التحفيف، أو إنشاء شبكة صرف زراعية، هدفاً للدراسة. وتُجرى تجارب الضّخ من بئر أو من مجموعة آبار في مراحل الاستكشاف النهائية في ظروف هيدروجيولوجية، وهيدروكيميائية معينة. وتسمح تجارب الضّخ الاستثماري بتدقيق قوانين تغيّر مناسيب المياه الجوفية، أو نوعيتها، تحت تأثير تدفق معين، وتستمر هذه التجارب لفترة طويلة تزيد على شهر، وقد تزيد على ثلاثة أشهر، وبتصريف قريب من التصريف المطلوب في أثناء استثمار المنشأة. وتستخدم معطيات تجارب الضّخ الاستثماري أساساً لتقدير ظروف عمل منشآت استثمار المياه أو صرفها [1].

لقد نُفذت تجربة الضخ الاستثمارية في آبار بانياس ( $W_1, W_2, W_3$ ) المحفورة في طبقات الكريتاسي عام 2004م، وذلك بالضخ منها، في الوقت نفسه، بمعدلات تصريف بلغت على التوالي  $Q_1 = 160 \text{ l/sec}$ ،  $Q_2 = 124 \text{ l/sec}$ ،  $Q_3 = 148 \text{ l/sec}$ ، ومراقبة تراوحات سطح المياه الجوفية المرافقة في بعض آبار المراقبة المجاورة، ضمن المشروع النموذجي، بمشاركة فريق عمل جيولوجي هيدروجيولوجي، وبإشراف الشركة السويسرية-الهولندية IBG/DHV الدارسة لمشروع "إمداد جزء من مدينة دمشق وضواحيها بمياه الشرب من فائض مياه الساحل السوري" (الشكل 1-).

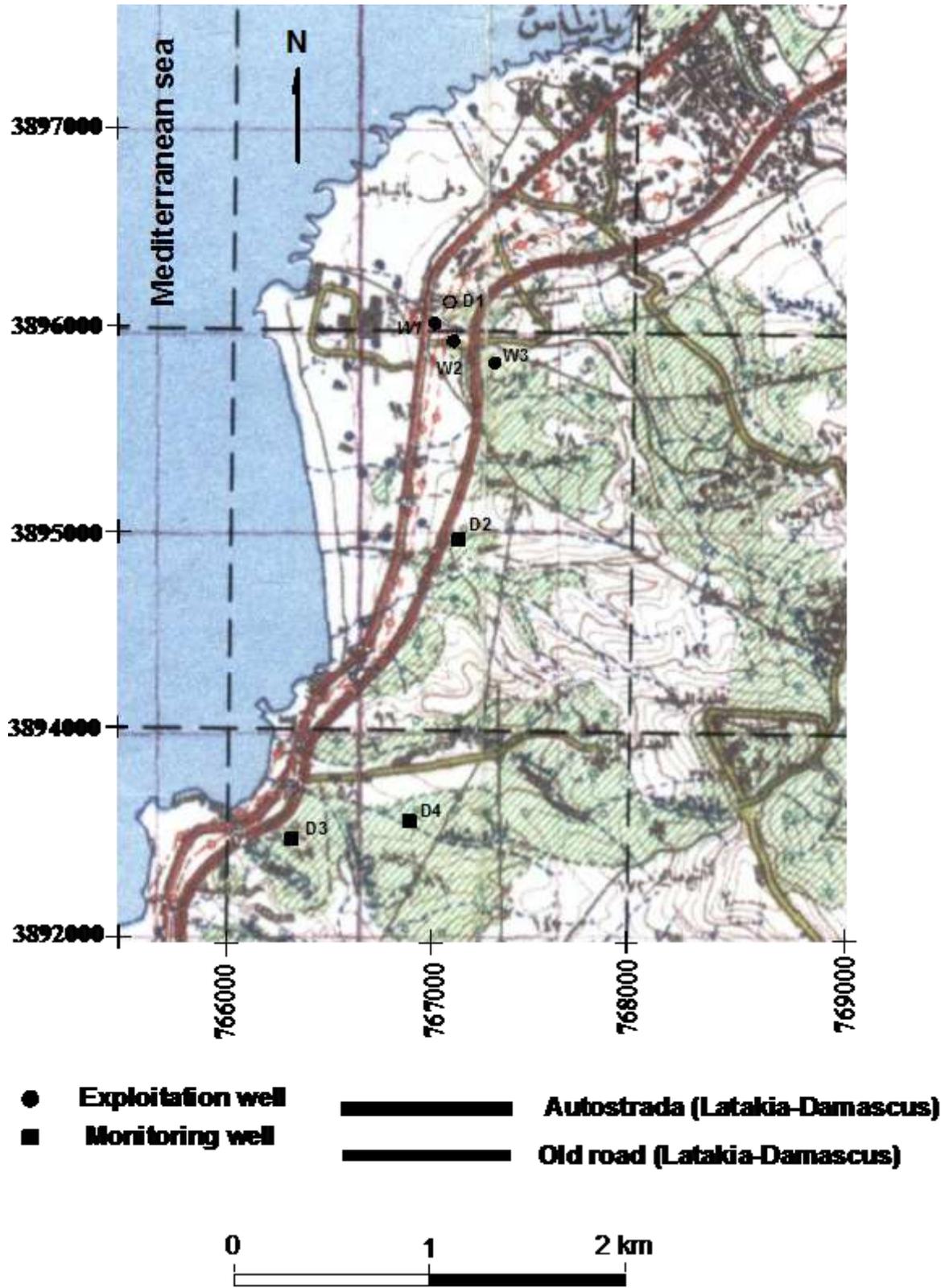
يمكن اعتماد أسلوب معدل لطريقة (Cooper-Jacob 1964)؛ لتقدير تأثيرات حقل الآبار في الهبوط، وبتطبيق

مبدأ جمع الآثار، وباستخدام قيم الهبوط النوعي  $(\frac{S_n}{\sum Q_i})$  بدلاً من الهبوط ( $S$ )، والمتوسط اللوغاريتمي الموزون  $(\frac{t_n}{r_i^2})$

بدلاً من  $(\frac{t}{r^2})$  Cooper - Jacob [2].

إن الهبوط النوعي  $(\frac{S_n}{\sum Q_i})$  هو الهبوط ( $S_n$ ) في بئر المراقبة عند زمن معين  $t_n$ ، مقسوماً على مجموع

التدفقات من مختلف آبار الضخ لنفس الزمن  $(\sum Q_i)$ .



(الشكل 1-). الموقع العام لآبار الضخ الاستثماري، وآبار المراقبة في بانياس.

## أهمية البحث وأهدافه:

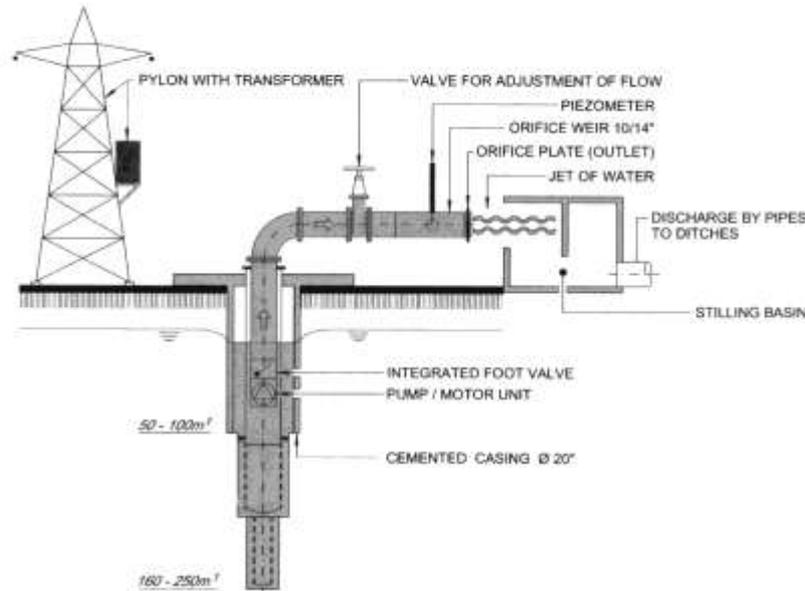
تسمح تجارب الضخ الاستثمارية بتدقيق قوانين تغير مناسيب المياه الجوفية، والتحديد الدقيق لبارامترات التيار المائي الجوفي في منطقة تأثير الضخ، تمهيداً لتقدير ظروف عمل منشآت استثمار المياه أو صرفها. يهدف البحث إلى إجراء دراسة تحليلية لتجارب الضخ الاستثمارية في الطبقة الحاملة للمياه الجوفية المضغوطة في طبقات الكريتاسي في المنطقة السهلية لبانياس، لتحديد المعاملات الهيدرولوجية للطبقة الحاملة للمياه الجوفية، ثم تحديد مأموليتها المائية. إضافة إلى تحديد خصائص حركة المياه الجوفية في منطقة الضخ وجوارها.

## طرائق البحث ومواده:

يعتمد البحث على تنفيذ تجربة الضخ الاستثماري في ثلاثة آبار ضخ محفورة في الطبقات الكارستية لطبقة المياه الجوفية المضغوطة في المنطقة السهلية في بانياس، وذلك خلال فترة ضخ استمرت ثلاثة أشهر (أيلول - تشرين الأول - تشرين الثاني من عام 2004). ومراقبة تغيرات سطح المياه الجوفية في عدة آبار مراقبة خلال فترات مختارة [2].

إن من أهم المواد المستخدمة في البحث (الشكل-2):

- مضخة غاطسة نوع: CAPRARI Type: E 14 S 64/ 1A, + M 10180، يصل الضاغط المانومتري الإجمالي لها إلى 50 m، و طاقة محركها 132 K.W. تتطلب كابلات ضمن البئر  $3. (1 \times 70) \text{ mm}^2$ .
- مقياس غزارة التصريف باستخدام هدار بفتحة دائرية Circular Orifice Weir 10/14 Inch.
- مقياس أعماق المياه الجوفية كهربائي ضوئي، نموذج KLL، مزود بكابل طوله 100m، مدرج بالسنتيمتر، دقة القياس  $\pm 0.5 \text{ cm}$ .
- برنامج Rockworks، إضافة إلى Microsoft Office 2007.



(الشكل -2). التجهيزات المستخدمة في تجربة الضخ الاستثماري من آبار بانياس.

## الخصائص الجيولوجية والهيدروجيولوجية

## Geological and Hydrogeological Properties

تتألف الطبقات في منطقة الدراسة من طبقات ثخينة متلاحقة من الكربونات المغطاة بالبازلت، حيث تتشكل هذه الطبقات بدورها من تناوبات دولوميت، وصخور كلسية دولومينية، وصخور كلسية مغطاة بطبقات ثخينة إلى متوسطة الثخانة من الحصى الصوانية [4].

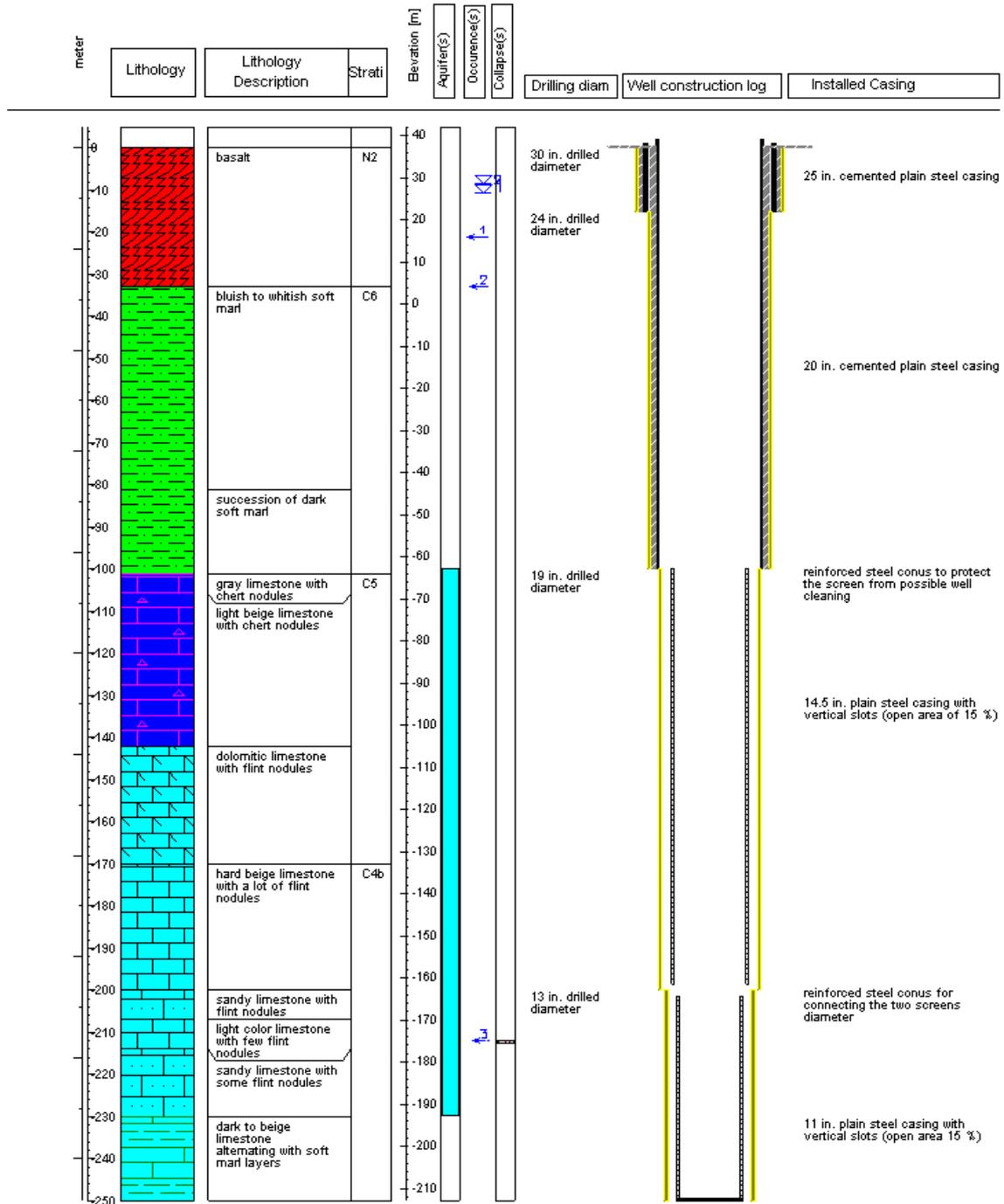
تُصادف بعض طبقات المارل الأفقية ذات ثخانة كبيرة ضمن تشكيلات الكريتاسي الأوسط، وتصادف صبات من البازلت، والطف، والحمام، والبريشيا البركانية، ثخانتها الوسطية 100م، ضمن طبقات الكريتاسي (الشكلان 3-4).

إن أكثر الطبقات الواعدة بوجود مصادر للمياه الجوفية فيها هي الطبقات الكارستية في المنطقة الساحلية، مع أن معالم الكارست معقدة جداً، حيث تتناوب الطبقات الحاملة للمياه والطبقات الكتيمة. وتتأثر حركة المياه بشكل كبير بالبنية التكتونية، والمعالم البركانية.

يرافق الكارست وجود طبقات ثخينة من الصخور الكريونائية التي تعود إلى الجوراسي الأعلى والكريتاسي الأوسط، خاصةً الحجر الكلسي العائد لتشكيل السينومانيان والتورونيان.

بدأت الحركات التكتونية في العصر الثلاثي الأوسط بتشكيل انهدام الغاب، وتطور البنية الكارستية في المنطقة الساحلية، حيث نهضت الطبقات، وانحدرت بلطف نحو الغرب. تصطم الحركات التكتونية خاصةً الشمالية الشرقية - الجنوبية الغربية بالفوالق شبه الشاقولية المنزقة، التي تعمل كمناطق لجريان المياه إلى الحوامل المائية العميقة، وأقنية الصرف الرئيسة في المناطق المشبعة، فعندما يحدث تلامس بين الحوامل المائية الكلسية والطبقات الكتيمة فإن الفوالق عندها تسمح للمياه الجوفية بالارتفاع حتى السطح تبعاً للمنسوب البيزومتري لها [3].

إن الطبقات الحاملة للمياه الجوفية ارتوازية، وتستقرّ تحت الطبقات غير النفوذة، تدرجها الهيدروليكي عالٍ في بعض المواقع، وتستقرّ طبقات المارل، غير النفوذة، بشكل متناوب مع طبقات الحجر الكلسي الكريتاسية، فتتشكل طبقات عدة حاملة للمياه، تصل ثخانتها إلى 250 م [3].



Drilled by (contractor): Muhannad Ahmad Ameen

Dates:

Started work: 14.09.02

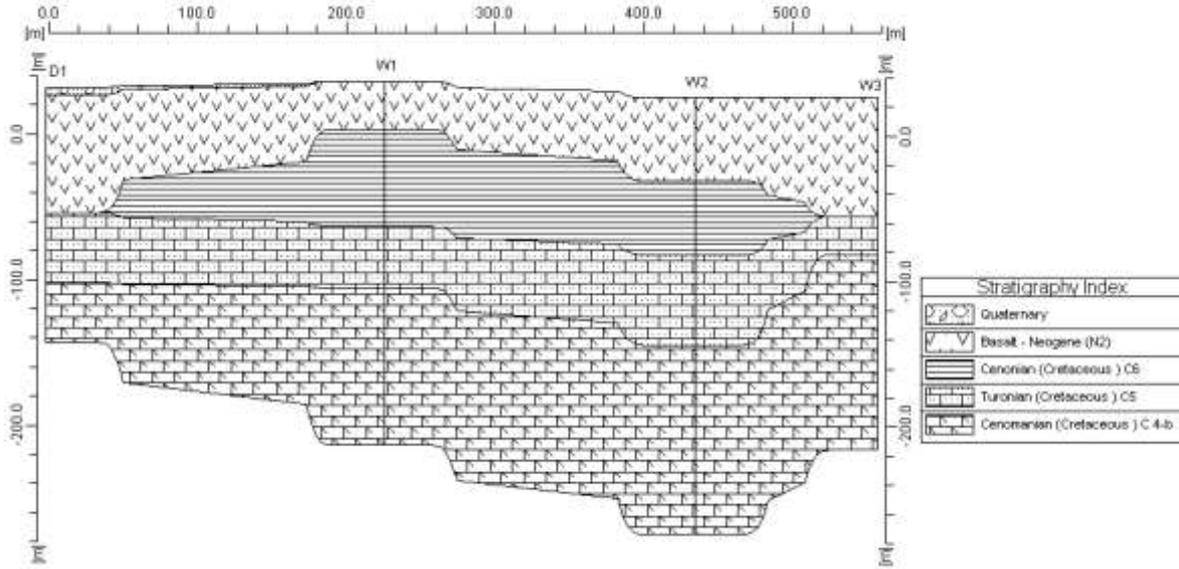
Finished work: 18.11.02

GPS Position: X: 35.9341

Y: 35.17154

Elevation: Z: 37.05

(الشكل-3). العمود الليتولوجي لبنير الضخ W<sub>2</sub> في بانياس [3].



(الشكل 4-). المقطع الجيولوجي I-I.

### النتائج والمناقشة:

- الدراسة التحليلية لتجارب الضخ الاستثمارية في بانياس:

تعتمد طريقة (Cooper-Jacob 1964) على صيغة تايس الآتية [5]:

$$S = \frac{Q}{4.\pi.K.D} \int_u^{\infty} \frac{e^{-y}}{y} .dy = \frac{Q}{4.\pi.K.D} .W(u).$$

حيث:

-S الهبوط مقدراً بـ (m) في بئر مراقبة على مسافة (m) r.

-Q معدل الضخ الثابت مقدراً بـ (m<sup>3</sup>/day).

-K.D الناقلية المائية للطبقة الحاملة للمياه الجوفية مقدراً بـ (m<sup>2</sup>/day).

-u ثابت البئر:  $u = \frac{r^2.S}{4.K.D.t}$  ، t- الزمن منذ بداية الضخ (day)

-S معامل التخزين للطبقة الحاملة للمياه (بلا واحدة):  $S = \frac{4.K.D.t.u}{r^2}$

-W(u) تابع البئر:  $W(u) = -0,5772 - \ln u + u - \frac{u^2}{2.2i} + \frac{u^3}{3.3i} - \frac{u^4}{4.4i} + \dots$

فينتج:  $S = \frac{Q}{4.\pi.K.D} .W(u) = \frac{Q}{4.\pi.K.D} (-0,5772 - \ln(u) + u - \frac{u^2}{2.2i} + \frac{u^3}{3.3i} - \dots$

ومن الصيغة:  $u = \frac{r^2.S}{4.K.D.t}$  يظهر أن u تنقص عندما يزداد زمن الضخ t، وتنقص المسافة r عن البئر.

من أجل آبار المراقبة القريبة من بئر الضخ بعد زمن كافٍ، تصبح قيمة الحدود التي تلي الحد ln(u) في

السليلة صغيرة، ويمكن إهمالها. ومن أجل قيم صغيرة لـ u (u<0,01)، فإن الهبوط يمكن أن يقرب إلى [6]:

$S = \frac{Q}{4.\pi.K.D} (-0,5772 - \ln \frac{r^2.S}{4.K.D.t})$  ، والخطأ الناتج من هذا التقريب صغير جداً لا يتجاوز 2%.

$$S = \frac{2,3.Q}{4.\pi.K.D} \log \frac{2,25.K.D.t}{r^2.S} \text{ باستخدام اللوغاريتم العشري تصبح المعادلة السابقة:}$$

ولما كانت  $Q, K.D, S$  قيماً ثابتة، فإن استخدام قياسات الهبوط على مسافات قصيرة  $r$  من بئر الضخ، وتوقيعها مع الزمن  $t$ ، يشكل خطأ مستقيماً. عند تمديده؛ لينتقاطع مع محور الزمن في نقطة التقاطع التي إحداثياتها

$$0 = \frac{2,3.Q}{4.\pi.K.D} \log \frac{2,25.K.D.t_0}{r^2.S} \text{ (S=0, t=t}_0\text{)، وبعد تعويضها في العلاقة ينتج لدينا:}$$

$$S = \frac{2,25.K.D.t_0}{r^2} \text{ ثم: } \frac{2,25.K.D.t_0}{r^2.S} = 1 \text{ ، فالناتج: } \frac{2,25.Q}{4.\pi.K.D} \neq 0 \text{ ، ولما كان:}$$

إن ميل المستقيم الذي يمثل العلاقة السابقة (فرق الهبوط  $\Delta S$  خلال دورة لوغاريتمية للزمن  $(\log \frac{t}{t_0} = 1)$ ،

$$\text{يساوي } \frac{2,3.Q}{4.\pi.\Delta S} \text{ ، عندئذ يكون: } K.D = \frac{2,3.Q}{4.\pi.\Delta S}$$

يمكن اعتماد أسلوب معدل لطريقة (Cooper-Jacob 1964)، لتقدير تأثيرات حقل الآبار في الهبوط. وبتطبيق

مبدأ جمع الآثار، وباستخدام قيم الهبوط النوعي  $(\frac{S_n}{\sum Q_i})$  بدلاً من الهبوط  $(S)$  والمتوسط اللوغاريتمي الموزون  $(\frac{t_n}{r_i^2})$

بدلاً من  $(\frac{t}{r^2})$ ، يمكن أن نتبع خطوات طريقة Cooper-Jacob المعروفة [7].

إن الهبوط النوعي  $(\frac{S_n}{\sum Q_i})$  هو الهبوط  $(S_n)$  في بئر المراقبة عند زمن معين  $t_n$ ، مقسوماً على مجموع التدفقات

$(\sum Q_i)$  من آبار الضخ كلها للزمن نفسه.

إن الشروط والفرضيات التي تخضع لها طريقة (Cooper - Jacob) للجريان المستقر هي:

- الطبقة الحاملة للمياه الجوفية مضغوطة.
- تمتد الطبقة الحاملة للمياه الجوفية، امتداداً مساحياً غير محدود.
- الطبقة الحاملة للمياه الجوفية متجانسة، موحدة الخواص، ذات ثخانة ثابتة، على كامل المساحة التي تتأثر بالضخ.
- السطح البيزومتري قبل الضخ تقريباً أفقي في المساحة التي تتأثر بالضخ.
- يتم الضخ بمعدل ثابت من الطبقة الحاملة للمياه الجوفية.
- البئر تامة.

إضافةً إلى الافتراضات السابقة، ومن أجل التقويم لحالة الجريان غير المستقر:

- تتصرف المياه من الطبقة الحاملة للمياه الجوفية مباشرةً، مع انخفاض الضغوط.
- قطر البئر صغير، ولهذا يمكن إهمال تخزين البئر.

$$\text{• ضرورة تحقيق الشرط الآتي: } u = \frac{S}{4.K.D(\frac{t}{r_i^2})_n} < 0.01$$

وباعتبار أن الجريان غير مستقر، نعتمد قياسات الهبوط في بئر مراقبة  $D_1$  ضمن حقل آبار ضخ، ونحسب قيمة الهبوط النوعي  $(\frac{S_n}{\sum Q_i})$  لكل قيمة موافقة  $t_n$ ، ثم نحدد المتوسط اللوغاريتمي الموزون  $(\frac{t_n}{r_i^2})_n$  لكل قيمة  $t_n$  بالطريقة الآتية:

▪ تقسم الزمن المنقضي للتجربة  $t_n$  على مربع التباعدات بين كل بئر ضخ استثماري  $(W_1, W_2, W_3)$  إلى بئر المراقبة  $D_1$  أي  $r_i^2$   $(\frac{t_n}{r_i^2})$ .

▪ نوجد جداء لوغاريتم القيم السابقة مع تصريف بئر الضخ المنفرد أي  $[Q_i \cdot \log(\frac{t_n}{r_i^2})]$ .

▪ نوجد المجموع الجبري للجداءات السابقة أي  $[\sum Q_i \cdot \log(\frac{t_n}{r_i^2})]$ .

▪ نقسم المجموع الجبري السابق على مجموع تدفقات آبار الضخ، أي  $[\sum Q_i \cdot \log(\frac{t_n}{r_i^2}) / \sum Q_i]$ .

▪ نوجد معكوس لوغاريتم القيمة السابقة، وهي القيمة المطلوبة  $(\frac{t}{r_i^2})_n$ .

▪ نوقع قيم  $(\frac{S_n}{\sum Q_i})$  مع قيم  $(\frac{t}{r_i^2})_n$  على شبكة إحداثيات نصف لوغاريتمية، حيث تستقر قيم  $(\frac{t}{r_i^2})_n$  على

المحور اللوغاريتمي، ثم نرسم أفضل مستقيم موائم بين هذه القيم.

▪ نمدد المستقيم الموائم حتى يتقاطع مع محور الزمن  $(\frac{S_n}{\sum Q_i} = 0)$ ، ونحدد قيمة  $(\frac{t}{r_i^2})_0$ . ونحدد ميل المستقيم

$$\Delta(\frac{S_n}{\sum Q_i}) \text{ خلال دورة لوغاريتمية لـ } (\frac{t}{r_i^2})_n.$$

▪ نحسب قيمة الناقلية المائية للطبقة الحاملة للمياه الجوفية من معادلة Cooper - Jacob المعدلة الآتية:

$$K.D = \frac{2,3}{4.\pi.\Delta(\frac{S_n}{\sum Q_i})} \text{، ونحسب معامل التخزين من المعادلة الآتية: } S = 2,25.K.D(\frac{t}{r_i^2})_0.$$

تم تنفيذ تجربة ضخ استثماري من حقلي آبار لمدة 24 ساعة، في عام 2009، بمعدل ضخ ثابت  $3731 \text{ m}^3/\text{day}$ ، في منطقة قرب ولاية جورجيا في الولايات المتحدة الأمريكية، وذلك لتحديد أهم الخصائص الهيدروليكية لنظام المياه الجوفية فيها. فبلغت قيمة الناقلية المائية للطبقة الحاملة للمياه الجوفية  $371,6 \text{ m}^2/\text{day}$  وعامل التخزين [8]

$2 \cdot 10^{-4}$ . ننظم (الجدول -1) الآتي الذي يوضح تسلسل عمليات حساب البارامتر  $(\frac{t}{r_i^2})_n$ ، بطريقة (Cooper-Jacob)

المعدلة، وذلك لبئر المراقبة  $D_1$  في أثناء الضخ من الآبار الاستثمارية  $(W_1, W_2, W_3)$  التي تراوح أبعادها عن خط الشاطئ بين (850 - 1100) م.

(الجدول - 1) حساب البارامتر  $(\frac{\bar{t}}{r_i^2})_n$  بطريقة (Cooper-Jacob) المعدلة.

$S_n$ (m)	4,95	6,19	6,3	6,37	6,43	6,47	6,52
$\sum Q_i$ (m <sup>3</sup> /d)	37325						
$S_n/\sum Q_i$ (d/m <sup>2</sup> )	0,000133	0,000166	0,000169	0,00017	0,000172	0,000173	0,000175
$t_n$ (min.)	1620	1635	1650	1680	1740	1920	2100
$t_n/r_1^2 = t_n/6939$	0,2335	0,2356	0,2378	0,242	0,2508	0,2767	0,3026
$t_n/r_2^2 = t_n/39220$	0,0413	0,04168	0,04207	0,0428	0,04436	0,04895	0,0535
$t_n/r_3^2 = t_n/54522$	0,02971	0,03	0,0303	0,0308	0,0319	0,0352	0,0385
$Q_1 \cdot \log(t_n/r_1^2)$	-8732,8	-8679,05	-8623,25	-8518,14	-8303,7	-7713,7	-7176,5
$Q_2 \cdot \log(t_n/r_2^2)$	-14828,16	-14785,5	-14742,2	-14662,2	-14495,6	-14037,5	-13623,9
$Q_3 \cdot \log(t_n/r_3^2)$	-19527,3	-19473,4	-19418,1	-19327,2	-19132,3	-18585,6	-18088
$\sum Q_i \cdot \log(t_n/r_i^2)$	-43088,26	-42937,95	-42783,6	-42507,54	-41931,6	-40336,8	-38888,4
$\sum Q_i \cdot \log(t_n/r_i^2) / \sum Q_i$	-1,1544	-1,1504	-1,146	-1,1388	-1,1234	-1,0807	-1,0419
$(\bar{t}/r_i^2)_2$ (min/m <sup>2</sup> )	0,07	0,0707	0,0714	0,0726	0,0753	0,0830	0,0908

تابع (الجدول - 1) حساب البارامتر  $(\frac{\bar{t}}{r_i^2})_n$  بطريقة (Cooper-Jacob) المعدلة.

$S_n$ (m)	6,56	6,72	6,91	6,96	7,02	7,2	7,25
$\sum Q_i$ (m <sup>3</sup> /d)	37325						
$S_n/\sum Q_i \cdot 10^{-4}$ (d/m <sup>2</sup> )	0,000176	0,000180	0,000185	0,000186	0,000188	0,000193	0,000194
$t_n$ (min.)	2280	2880	3360	3840	4320	5760	7920
$t_n/r_1^2 = t_n/6939$	0,3286	0,415	0,484	0,5534	0,6226	0,83	1,14137
$t_n/r_2^2 = t_n/39220$	0,05813	0,07343	0,0857	0,0979	0,11	0,14686	0,2019
$t_n/r_3^2 = t_n/54522$	0,04182	0,0528	0,0616	0,0704	0,0792	0,1056	0,145
$Q_1 \cdot \log(t_n/r_1^2)$	-6681,6	-5280,1	-4356,7	-3552,23	-2844,85	-1118	-793,9
$Q_2 \cdot \log(t_n/r_2^2)$	-13237,7	-12150,6	-11431,62	-10812,35	-10270,14	-8925,34	-7443,6
$Q_3 \cdot \log(t_n/r_3^2)$	-17628,6	-16333,9	-15477,87	-14736,23	-14082,22	-12482,22	-10713,7
$\sum Q_i \cdot \log(t_n/r_i^2)$	-37547,9	-33764,6	31266,2	-29100,9	-27197,21	-22525,56	-18951,2
$\sum Q_i \cdot \log(t_n/r_i^2) / \sum Q_i$	-1,006	-0,9046	-0,83767	-0,78	-0,7286	-0,6035	-0,5077
$(\bar{t}/r_i^2)_2$ (min/m <sup>2</sup> )	0,0986	0,1245	0,1453	0,166	0,187	0,25	0,31

من مخطط  $(\frac{S_n}{\sum Q_i})$  ،  $(\frac{\bar{t}}{r_i^2})$  (الشكل - 5):  $\Delta(\frac{S_n}{\sum Q_i}) = 5 * 10^{-5}$  ،  $(\frac{\bar{t}}{r_i^2})_0 = 5 * 10^{-5}$  min/m<sup>2</sup>

الناقلية المائية للطبقة الحاملة للمياه الجوفية المضغوطة:

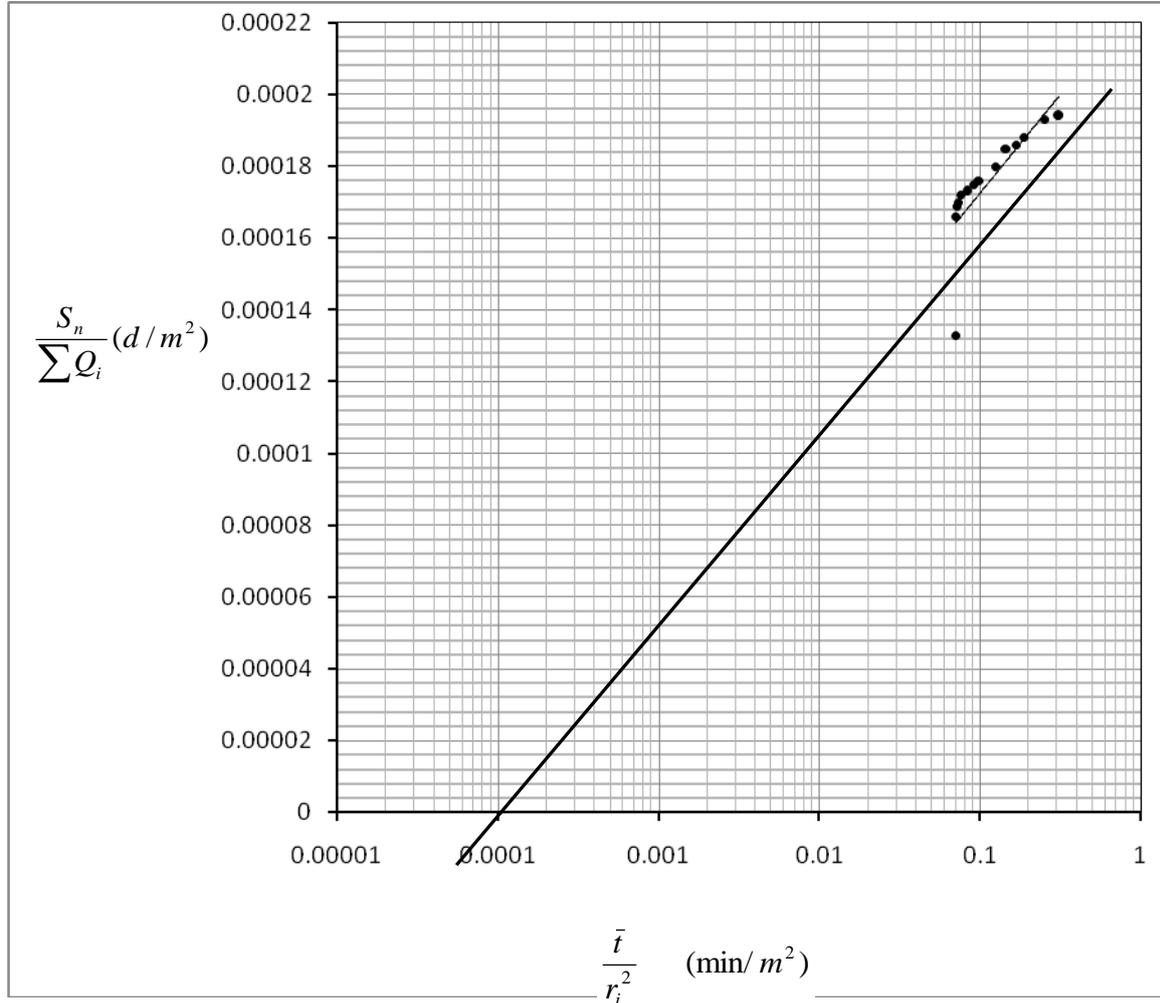
$$T = K.D = \frac{2,3}{4 * \pi * (\frac{S_n}{\sum Q_i})} = \frac{2,3}{4 * \pi * 5 * 10^{-5}} = 3660,5 m^2 / day.$$

عامل التخزين للطبقة الحاملة للمياه الجوفية المضغوطة:

$$S = 2,25 * K * D * (\frac{\bar{t}}{r_i^2})_0 = 2,25 * 3660,5 * 5 * 10^{-5} * \frac{1}{1440} = 2,86 * 10^{-4}$$

$$u = \frac{S}{4 * K * D \left( \frac{\bar{t}}{r_i^2} \right)_n} = \frac{2,86.10^{-4}}{4 * 3660,5 * 0,13} = 1,5 * 10^{-7} < 0,01$$

نتيقتن من شرط الجريان غير المستقر:



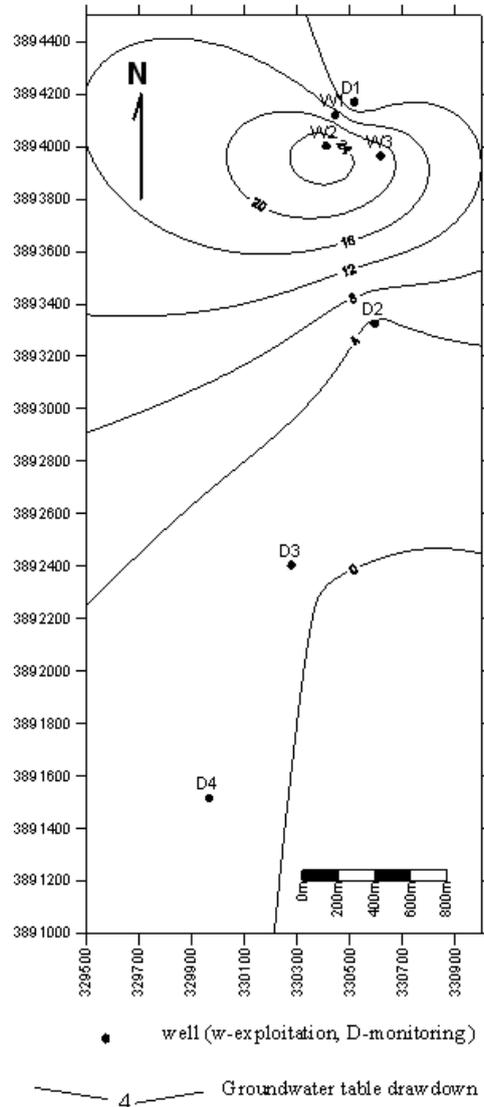
(الشكل - 5). تحليل معطيا. - لحة لحتل الآبار بطريقتة (Cooper-Jacob) المعدلة.

#### - تقويم الخصائص الهيدروجيولوجية لحتل آبار الضخ:

بدأ الضخ من الآبار الاستثمارية الثلاثة  $W_1, W_2, W_3$  في تمام الساعة الثانية والنصف من بعد ظهر يوم الاثنين الموافق لـ 2004/9/13م، بمعدلات الضخ الآتية:  $Q_1 = 160 \text{ l/sec}, Q_2 = 124 \text{ l/sec}, Q_3 = 148 \text{ l/sec}$ ، واستمرت عمليات الضخ حتى الساعة الثامنة من صباح يوم الأحد الموافق لـ 2004/12/12م، حيث وصلنا حالة الجريان المستقر للجريان بعد نحو شهر.

تم تنفيذ قياسات هبوط سطح المياه الجوفية في آبار الضخ المذكورة آنفاً  $W_1, W_2, W_3$ ، وفي آبار المراقبة  $D_1, D_2, D_3, D_4$  خلال فترات زمنية مدروسة (الشكل -1). ورسنا خريطة توزع قيم هبوط سطح المياه الجوفية في آبار الضخ المراقبة بعد الوصول إلى حالة الجريان المستقر فيها (الشكل -6). فوصلت هذه الهبوطات إلى 24m في مركز حقل آبار الضخ، و18m عند أطراف هذا الحقل. ثم انتشرت الهبوطات باتجاه آبار المراقبة، فوصلت إلى 12m عند بئر المراقبة  $D_1$  الذي يبعد نحو 150m عن مركز الضخ. على حين تناقصت هذه الهبوطات إلى 4m عند بئر المراقبة  $D_2$

الذي يبعد عن مركز الضخ نحو 850m، ويتلاشى الهبوط تقريباً في بئري المراقبة D<sub>3</sub>, D<sub>4</sub> على بعد نحو 1700m من مركز الضخ باتجاه الجنوب.

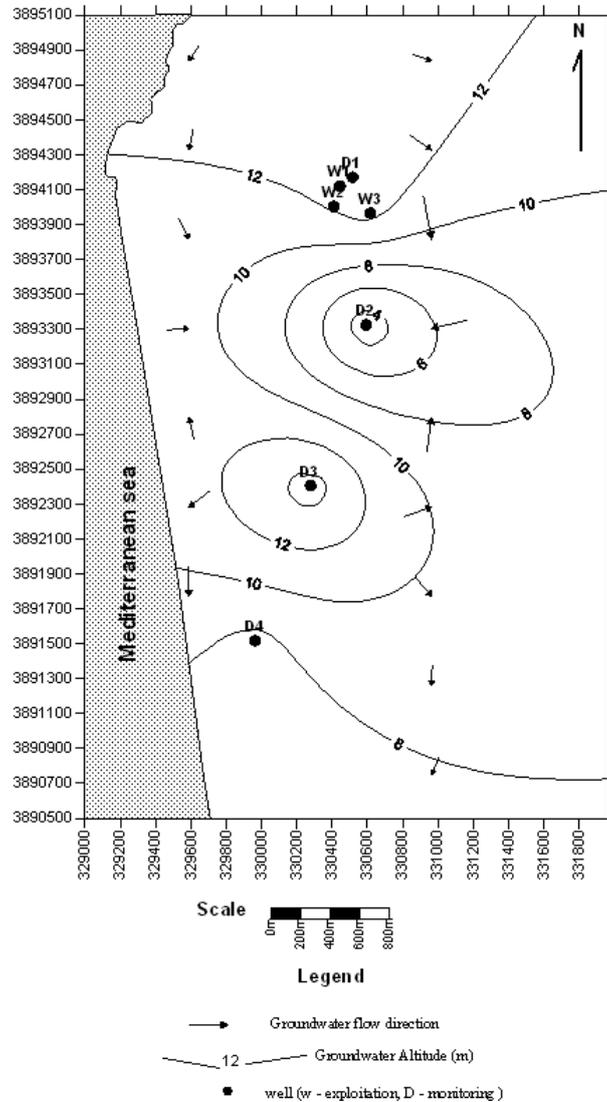


(الشكل 6-). هبوط سطح المياه الجوفية [m] في آبار الضخ والمراقبة في حالة الجريان المستقر.

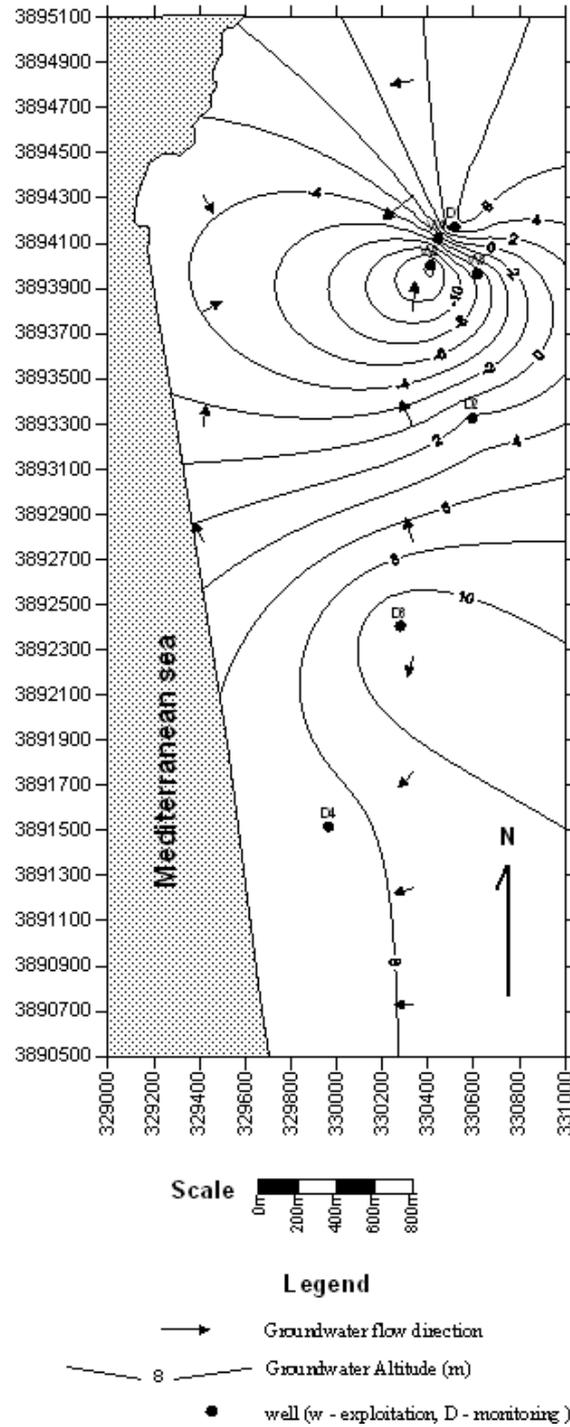
لا تشكل الهبوطات حتى في مركز الضخ، من حقل الآبار الاستثمارية، بمعدلات الصرف المذكورة سابقاً، إلا نسبة صغيرة لا تزيد على 15% من النخانة المشبعة للطبقة الحاملة للمياه الجوفية المضغوطة، الأمر الذي يؤكد الأهمية العالية لهذه الطبقة الحاملة، فضرورة استثمار هذه الموارد، وإدارتها، بشكل علمي مدروس قبل صرفها في البحر عبر البنابيع تحت البحرية، مع الحرص على عدم حدوث ظاهرة اندساس مياه البحر ضمن الطبقات العذبة الحاملة للمياه، في حال توافر الشروط والظروف الهيدروجيولوجية المناسبة.

وعند رسم الشبكة الهيدروديناميكية، لطبقة المياه الجوفية المضغوطة، قبل بدء الضخ من حقل الآبار (الشكل 7-). بلغت مناسيب المياه الجوفية ضمن حقل الآبار 12m، و(8-12)m عند آبار المراقبة القريبة من حقل الضخ، وتراوح الميل الهيدروليكي بين 0,0013-0,005، حيث تتحرك المياه الجوفية من حقل الآبار باتجاه بئري المراقبة D<sub>2</sub>, D<sub>4</sub>. وتبدو البئر D<sub>2</sub> كأنها في وسط مخروط الانخفاض، والبئر D<sub>3</sub> كأنها بئر تغذية؛ لأن قياس سطح المياه الجوفية

في البئر  $D_2$  قد تأثر بالضخ من طبقة المياه الجوفية بوساطة الآبار الخاصة المجاورة، لأغراض زراعية متنوعة. إضافة إلى تأثير طريقة الاستيفاء عند رسم خطوط ضاغط المياه الجوفية في حال عدم توافر آبار مراقبة كافية. على حين بينت الشبكة الهيدروديناميكية لطبقة المياه الجوفية بعد الضخ من الآبار الاستثمارية، والوصول إلى حالة الجريان المستقر (الشكل - 8)، أن مناسيب المياه في حقل آبار الضخ وجواره راوحت بين  $m(-4, -12)$ ، وتنتشر مناسيب المياه المنخفضة باتجاه البحر، وتبدو كأنها تصل خط الشاطئ تبعاً لطريقة الاستيفاء في رسم خطوط تساوي مناسيب سطح المياه في ظل غياب آبار المراقبة بين حقل آبار الضخ والشاطئ. على حين ترتفع مناسيب المياه الجوفية بالاتجاه الشرقي على بعد نحو 200m فقط من حقل آبار الضخ عند بئر المراقبة  $D_1$ ، لتصل إلى 4m، و 2m عند بئر المراقبة  $D_2$ ، و 10m عند بئري المراقبة  $D_3, D_4$ ، حيث تتحرك المياه الجوفية بدءاً من بئر المراقبة  $D_1$  باتجاه حقل الآبار بميل هيدروليكي يراوح بين  $(0,04-0,1)$ ، وتتحرك من بئري المراقبة  $D_2, D_3$  بميل هيدروليكي تراوح بين  $(0,04-0,024)$ .  
عموماً، لابد من اعتماد شبكة رصد جوفي مؤلفة من عدد كافٍ من الآبار المحفورة ضمن طبقة المياه الجوفية المضغوطة، ومراقبة نوعية المياه الجوفية فيها، بإجراء تحاليل كيميائية تفصيلية للتيقن من وجود ظاهرة تداخل مياه البحر ضمن طبقة المياه الجوفية العذبة.



(الشكل -7). الشبكة الهيدروديناميكية لطبقة المياه الجوفية المضغوطة قبل بدء الضخ من حقل الآبار.



(الشكل 8-). الشبكة الهيدروديناميكية لطبقة المياه الجوفية المضغوطة في أثناء الضخ، والوصول إلى حالة الجريان المستقر.

### الاستنتاجات والتوصيات:

1. إن طبقة المياه الجوفية المضغوطة في بانياس ذات مأمولية مائية عالية، تصل ناقليتها المائية إلى  $3660 \text{ m}^2/\text{day}$ ، وعامل تخزينها  $2,86 \cdot 10^{-4}$ .
2. تصل هبوطات سطح المياه الجوفية في مركز حقل الضخ إلى 24m، وتنخفض إلى 12m عند أطرافه، وتتلاشى هذه الهبوطات تقريباً على بعد 1700m من مركز حقل الضخ وبتجاه الجنوب.

3. تبلغ مناسيب المياه الجوفية في مركز حقل الضخ من الآبار 12m قبل الضخ، والميل الهيدروليكي (0,013 - 0,005)، وتصل مناسيب المياه الجوفية في مركز حقل الآبار إلى (-12m) بعد الضخ، والوصول إلى حالة الجريان المستقر، والميل الهيدروليكي (0,1 - 0,014).

4. لا تزيد هبوطات سطح المياه الجوفية، في مركز الضخ، من حقل ضخ الآبار الاستثمارية، على 15% من الثخانة المشبعة للطبقة الحاملة للمياه.

لذلك نوصي بضرورة استثمار موارد المياه الجوفية المضغوطة، وإدارتها، بشكل علمي مدروس، مع الحرص على عدم حدوث ظاهرة اندساس مياه البحر ضمن طبقة المياه الجوفية في حال توافر الشروط الهيدروجيولوجية المناسبة. وذلك باعتماد آبار مراقبة تفصل خط الشاطئ عن حقل آبار الضخ، وإجراء القياسات المائية والتحريات الكيميائية التفصيلية للمياه الجوفية فيها، للتيقن من ظاهرة اندساس مياه البحر ضمن طبقة المياه الجوفية المضغوطة.

## المراجع:

1. الأسعد، علي محمد. *الهيدروجيولوجيا*، منشورات جامعة تشرين، 2010، 599.
2. KRUSEMAN, G.P; DE RIDDER, N.A. *Analysis and Evaluation of Pumping Test*, 2<sup>nd</sup> edition, HOLLAND, 2000, 377.
3. *Project of Supplying Part of the Water Demand of Damascus City and Its Country Side from the Syrian Coastal Area Water Surplus*, IBG/DHV Company, SWITZERLAND-HOLLAND, 2004.
4. *الخريطة الجيولوجية لسورية*. رقعة بانياس، مقياس 1/50000. مع المذكرة الإيضاحية، المؤسسة العامة للجيولوجيا والثروة المعدنية. دمشق 1980.
5. KRESIC. N. *Hydrogeology and groundwater modeling*, 2<sup>nd</sup> edition, U.S.A, 2007, 807.
6. TODD, D. K, MAYS, L.W, *Groundwater hydrology*, 3<sup>rd</sup> edition, U.S.A, 2005, 636.
7. الشبلاق، محمد منصور. *تحليل تجارب الضخ وتقويمها* (ترجمة). منشورات جامعة عمر المختار، ليبيا، 2000، 565.
8. GONTHIER J. G. *Analysis of complex pumping interactions during an aquifer test conducted at a well field in the coastal plain near Augusta*, U.S.A. proceeding of the Georgia water resources conference, 2011.