المحاضرة الخامسة

الابار

تشكل الابار واحدة من اهم الطرق الشائعة في الحصول على المياه الجوفية من التكوين الخازن وعلى الرغم من استخدام الابار في كثير من التطبيقات فان اكثرها شيوعا هي في امدادات المياه والتطبيقات الهندسية في الري.

اذا كان هناك ضخ بمعدل ثابت من بئر في تكوين خازن حر قبل الضخ يشير منسوب الماء في البئر الى منسوب الماء الجوفي الساكن وينخفض هذا المنسوب مع استمرار الضخ. اذا كان التكوين الخازن متجانس وكان منسوب الماء الجوفي افقي فان ذلك المنسوب يتخذ شكلا مخروطيا جراء الجريان الشعاعي الى البئر يطلق عليه مخروط الانخفاض cone of depression ويطلق على الانخفاض في منسوب الماء الجوفي في اية نقطة عن المنسوب الساكن مصطلح منحنى الهبوط draw-down اما مدى تأثير مخروط الانخفاض فيطلق عليه مساحة التأثير area of influence في حين يسمى قطره المؤثر بقطر التأثير.

معادلات سريان المياه الجوفية

Groundwater Flow Equations

1- Unsteady saturated flow السريان المشبع غير المستقر

حيث أن السريان الثابت لا تتغير فيه السرعة والضغط مع الزمن عند أية نقطة محددة فيه.

معدل السريان المار خلال أو المخزون في المربع يمكن إيجاده بالأخذ في الاعتبار قانون Continuity equation الاستمرارية

تسمى معادلة السريان غير المستقر في الابعاد الثلاثية باسم معادلة لابلاس:

$$(\partial^2 h/\partial x^2)+(\partial^2 h/\partial y^2)+(\partial^2 h/\partial Z^2)=(S/T)\ (\partial h/\partial t)$$

T= الناقلية

S= معامل الخزن

2- في حالة السريان المستقر تصبح قيمة $\partial h/\partial t = 0$ حيث أن الرأس لا يتغير مع الزمن وتصبح المعادلة:

$$(\partial^2 h/\partial x^2)+(\partial^2 h/\partial y^2) + (\partial^2 h/\partial Z^2) = 0$$

3- الإحداثيات الشعاعية Radial Coordinates

في حالة السريان الشعاعي باتجاه الآبار - وبافتراض أن الطبقة الحاملة للماء متجانسة وموحدة الخواص تصبح معادلة لابلاس للسريان غير المستقر.

$$(\partial^2 h/\partial r^2) + (1/r)(\partial h/\partial r) = (S/T)(\partial h/\partial t)$$

وبالنسبة للسريان المستقر فالمعادلة تصبح

$$(\partial^2 h/\partial r^2) + (1/r)(\partial h/\partial r) = 0$$

هيدروليكية الآبار وتجارب الضخ

أولا: السريان المستقر الشعاعي إلى الآبار Steady Radial Flow to Wells

1- الطبقات المحصورة Confined Aquifers

عند ضخ بئر ذو قطر صغير لمدة طويلة يخترق اختراقا كاملا طبقة محصورة فأن مستوى الماء يصل إلى حالة ثبات تقريبا ويتوقف عندها منسوب الماء عن التغير ويثبت حجم مخروط الانخفاض.

في هذه الحالة تكون كمية التصريف من البئر هي :

$$Q = A.v$$

حيث :

A = مساحة مقطع الطبقة الحاملة للماء

v = سرعة دارسي

$$Q = 2\pi r\, m\, k$$

حيث:

r = المسافة من البئر الرئيسي الى أن أقصى نقطة داخل التطوين المائي

m = سمك الطبقة الحاملة للماء

بما أن:

$$T = m\,k$$

اذا

$$Q = 2\,\Pi\,r\,T\,(\partial h/\partial r)$$

بترتيب المعادلة:

$$\partial r/r = (2\,\Pi\,t/Q)\,\partial h$$

بالتكامل:

$$\int_{r_2}^{r_1} \partial r/r = 2\,\Pi\,T/Q \int_{h_2}^{h_1} \partial h$$

$$\ln r_2/r_1 = 2\,\Pi\,T/Q\,(h_2-h_1)$$

$$Q = \frac{2\,\Pi\,T\,[h_2-h_1]}{\ln(r_2/r_1)}$$

لتطبيق هذا القانون تحفر بئر رئيسية وبئري رصد 1-2 على مسافتين مختلفتين بعد ذلك يضخ البئر الرئيسي ويقاس هبوط مستوى الماء في بئري الرصد الى أن يصل فيهما مستوى الماء إلى حالة استقرار. نقيس اكبر هبوط للمستوى البيزومتري في بئري الرصد وهما S_1-S_2 ومن ثم يصبح القانون :

$$\boxed{Q = \frac{2\pi T(s1 - s2)}{\ln(r2/r1)}} \qquad (1)$$

تسمى هذه المعادلة قانون ثيم Thiem Law

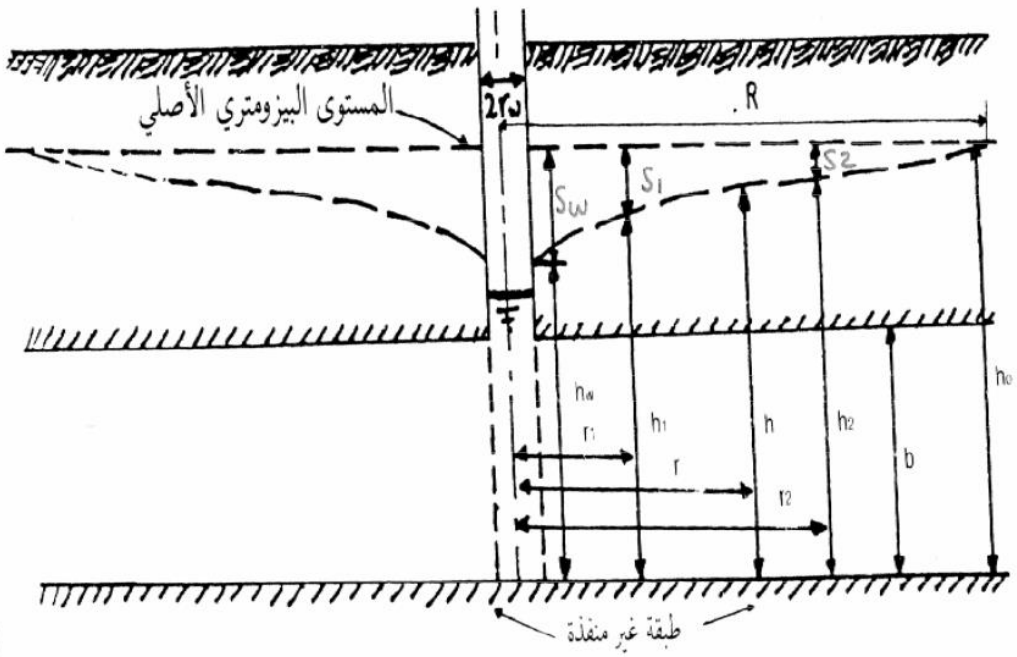
عند استعمال بئر رصد واحدة فقط يصبح القانون :

$$Q = \frac{2\pi T(s\,w - s1)}{\ln(r1/rw)}$$

حيث sw الهبوط في البئر الرئيسي.

لحساب نصف قطر التأثير (R) نفترض أن قيمة $s_1 = 0$ لأنها واقعة عند نهاية مخروط الانخفاض . ويكون القانون

$$Q = \frac{2\,\Pi\,T\,(s_w - 0)}{\ln\,(R/r_w)}$$



ا بئر محفور في طبقة مائية محصورة

2- الطبقات الغير المحصورة Unconfined Aquifers

في حالة الطبقات غير المحصورة يصبح السمك المشبع متغيرا وليس ثابتا ومن ثم نستبدل السمك m في المعادلة السابقة بالرأس h والذي يعبر عن ارتفاع مستوى المـــاء الجـــوفي عن الحد السفلي للطبقة.

المعادلة التي تعبرعن معدل تصريف البئر:

$$Q = 2 \pi r h k (\partial h/\partial r)$$

باعادة ترتيب المعادلة $\partial r/\partial r = (2 \pi k / Q).h\partial h$

بالتكامل $\int_{r_2}^{r_1} \partial r/r = 2 \pi k / Q \int_{h_2}^{h_1} .h\partial h$

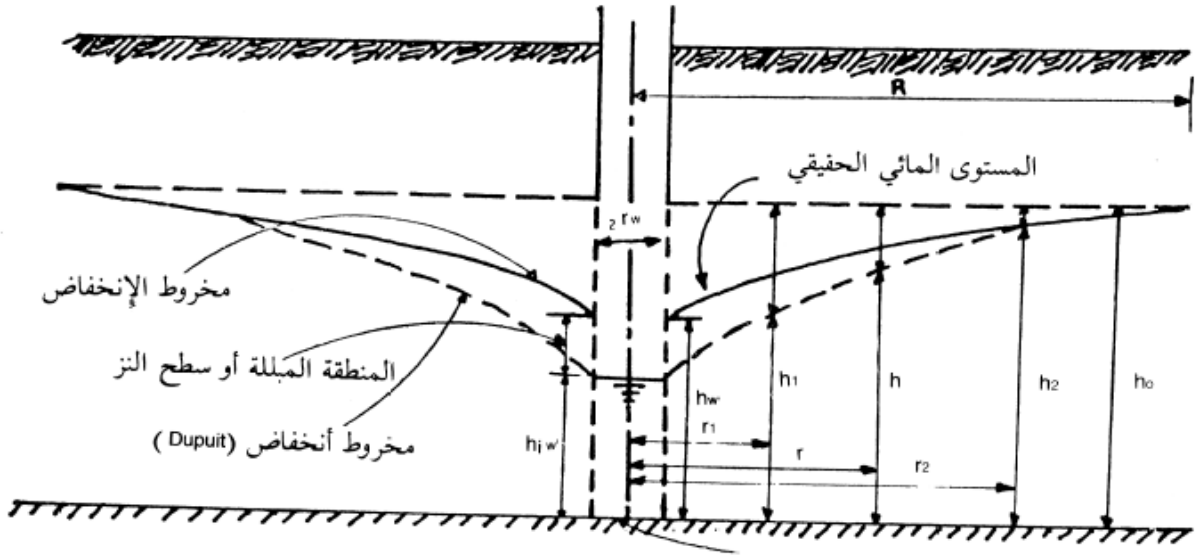
نحصل على

$$Q = \pi k (h^2_2 - h^2_1) / \ln(r_2-r_1)$$

نستبدل h بالانخفاض بالهبوط في مستوى الماء الجوفي s تصبح المعادلة :

$$\mathbf{Q = \frac{\pi k (s^2_1 - s^2_2)}{\ln(r_2/r_1)}} \qquad \mathbf{(2)}$$

هذه المعادلة هي قانون ثيم للتكاوين المائية غير المحصورة



بئر محفورة في طبقة مائية غير محصورة (حرة)

يعتمد الهبوط في مستوى المياه في الآبار على معدل التصريف ويمكن عمل علاقة مابين قيم الهبـــوط فـــي مستوى المياه الجوفية وتصريف الآبار المحفورة في التكاوين المائية المحصورة وغير المحصورة.

التصريف النوعي Specific Capacity(التصريف /الهبوط): مقدار تصريف البئر لكل هبوط يساوي واحد متر في مستوى الماء الجوفي

$$Q_s=Q/s_w$$

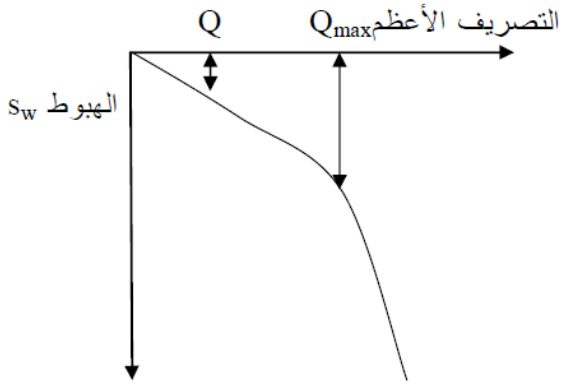
1- في حالة الطبقات المحصورة : طبقا لقانون ثيم $Q/s_w= 2\Pi T/\ln(R/r_w)$

2- في حالة الطبقات غير المحصورة : $Q/s_w=\Pi K s_w / \ln(R/r_w)$

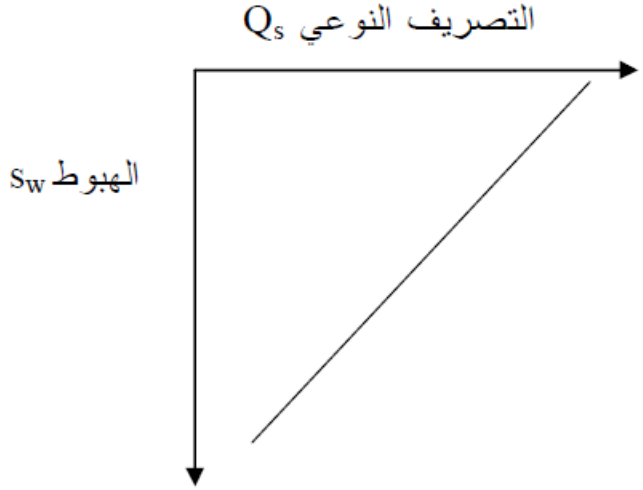
عند توقيع التصريف مقابل الهبوط نحصل على منحنى مكون من جزئين

1- الجزء الأول خط مستقيم

2- قطع ناقص يبدا عند وصول الهبوط الى نقطة حرجة حيث الزيادة الصغيرة في التصريف يقابلها هبوط كبير في مستوى الماء. التصريف الذي يقابل النقطة الحرجة هو التصريف الاعظم Q_{max}



العلاقة بين التصريف النوعي والهبوط علاقة خطية



المحاضرة السادسة

ثانيا: السريان الشعاعي الغير المستقر Unsteady- State Radial Flow

طريقة ثايس Theis's Method

كان ثايس أول من أوجد طريقة لحساب خواص الطبقات الحاملة للماء في حالة السريان غير المستقر واستحدث عامل الزمن t ومعامل التخزين S حيث وجد أنه اذا ضخ بئر يخترق اختراقا كاملا طبقة محصورة ممتدة لما لا نهاية بمعدل ثابت فان تأثير التصريف يمتد بعيدا عن البئر ويتكون مخروط انخفاض حول البئر يتسع مع الزمن مصاحبا لهبوط السطح البيزومتري. وقد وجد أن معدل تصريف الماء في فترة معينة يمكن حسابه بمعلومية معدل هبوط الجهد مضروبا في معامل التخزين "S" ومساحة المنطقة المتأثرة بالضخ كالتالي:

$$Q=(\partial h/\partial t)\ S.A$$

ومن المعلوم أن المعادلة التي تصف انسياب المياه في الاتجاه الشعاعي هي معادلة لابلاس التالية:

$$(\partial^2 h/\partial r^2)+(1/r)(\partial h/\partial r)=(s/t)(\partial h/\partial t)$$

هذا وقد قام ثايس بحل المعادلة مستخدما طريقة المقارنة مع معادلات التوصيل الحراري فوجد أنه يمكن حساب الانخفاض في السطح البيزومتري داخل بئر ضخ أو مراقبة باستخدام المعادلة التالية:

$$s=\frac{Q}{4\prod T}\ \frac{\int e^{-u}\, d_u}{u} \qquad (1)$$

حيث s الهبوط في السطح البيزومتري و Q معدل تصريف البئر و T معامل النقولية ، u معامل الزمن بدون وحده وهي تساوي:

$$u = r^2\ S\ /\ 4tT \qquad (2)$$

حيث S معامل التخزين، t الزمن منذ بداية ضخ البئر، r المسافة بين البئر الرئيسي وبئر المراقبة.

وتسمى هاتين المعادلتين بمعادلات ثايس Theis Equations للسريان غير المستقر في التكاوين المائية المحصورة، بالنسبة للتكامل في المعادلة الأولى فهو عبارة عن دالة لانهائية

ذات حد أدنى يساوي u وتعرف بالتكامل الأسي Exponential Integral ويمكن حلها بواسطة السلسلة التقاربية Convergent Series حسب المعادلة التالية:

$$W_{(u)} = -0.5772 - \ln u + u - u^2/2.21 + u^3/3.31 - u^4/4.41 + \ldots.$$

وتسمى $W_{(u)}$ دالة البئر لثايس، ومن ثم يمكن كتابة المعادلة الأولى لثايس بمعلومية هذه الدالة كما يلي:

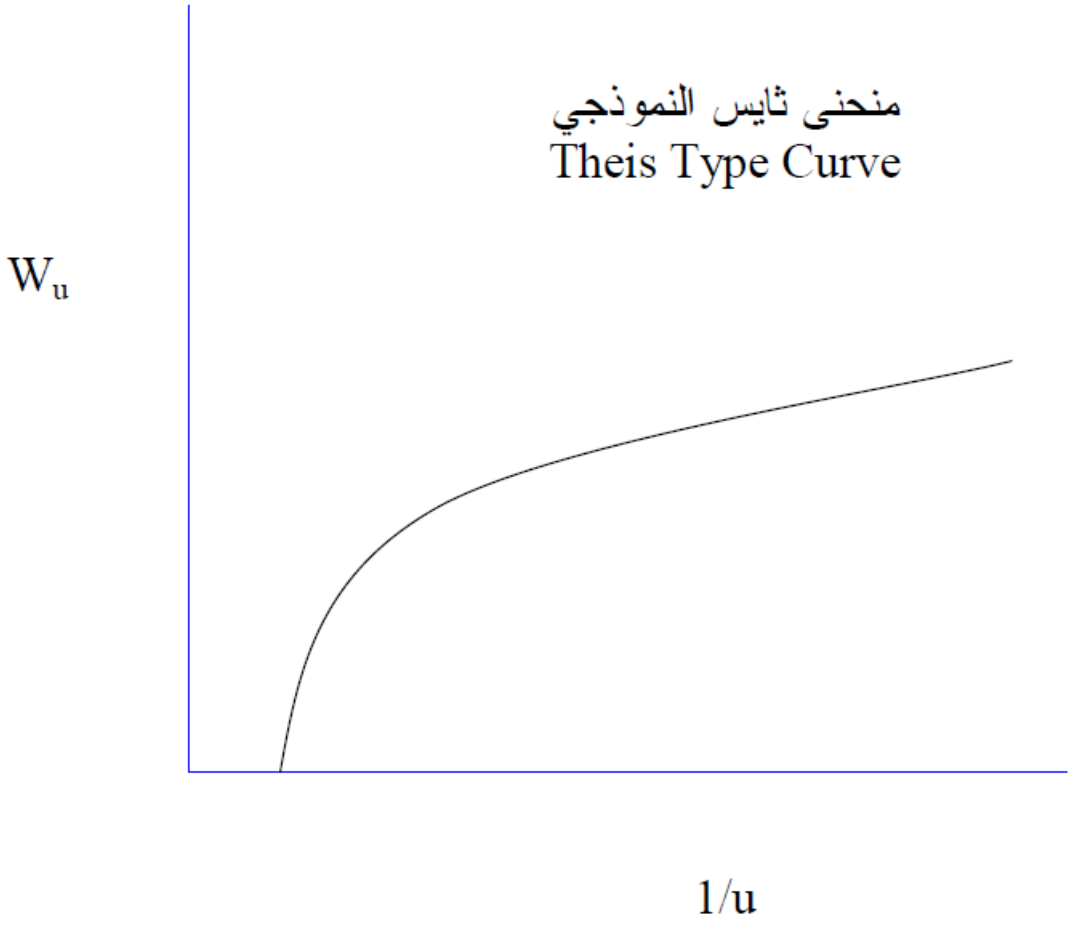
$$s = \frac{Q}{4\pi T} W_{(u)} \qquad (1)$$

وضعت الفروضات التالية لاستنتاج معادلتي ثايس وتطبيقها:

1- ان يكون المتكون الحامل للماء محبوسا Confined.
2- ان يكون المتكون الحامل للماء متسعا وممتدا الى مالا نهاية.
3- ان يكون المتكون الحامل للماء متجانسا وموحد الخواص وذا سمك ثابت في كل الاتجاهات.
4- قبل الضخ يجب ان يكون سطح الجهد او مستوى الماء الثابت أفقيا .
5- يجب أن يضخ البئر بمعدل ثابت.
6- يجب أن يكون البئر ذا اختراق كامل وبالتالي تكون حركة الماء في الطبقة
7- أن يكون قطر البئر صغيرا جدا بحيث يمكن إهمال كمية الماء المخزن في داخله.
8- أن تكون المياه التي يتم ضخها قد أزيلت من مخزون الطبقة مباشرة مع انخفاض السطح البيزومتري.

حسب ثايس قيم الدالة $W_{(u)}$ بالنسبة لقيم مختلفة من u ثم وضعها في صورة جدول ووقعها بعد ذلك على أوراق لوغاريتمية حيث تكون منحنى سمي منحنى ثايس النموذجي Theis Type curve.

يمكن حساب معامل الانتقالية والتخزين بواسطة طريقة المضاهاة باستخدام المعادلتين السابقتين 1&2 والمنحنى النموذجي لثايس.


منحنى ثايس النموذجي
Theis Type Curve
W_u
1/u

المحاضرة السابعة

اختبار الضخ Pumping Tests

الغـــرض منـــه: تحديـــد الخـــواص الهيدروليكيـــة للطبقـــة الحاملـــة الهيدروليكيـــة **مثل** معامل الانتقالية / معامل التخزين / معامل التهريب / المقاومة الهيدروليكية

اختيارات الضخ تجرى في الحقل على الآبار المحفورة سابقا أو الآبار التـــي يـــتم حفرهـــا بغرض اجراء الاختبار عليها. وبعد انتهاء العمل الحقلي وجمع البيانات تبدأ مرحلـــة العمـــل المكتبي والذي يشمل تفسير البيانات واجراء الحسابات سواء كان ذلك يدويا أو باستخدام برامج خاصة في الحاسب الآلي.

أولاً: العمل الحقلي

الترتيبات الواجب اتباعها قبل بدأ الاختبار :

1- التأكد من أن مستوى الماء في حالة استقرار Steady state ويتم ذلك عن طريق أخـــذ عدة قراءات على فترات متباعدة ثم حساب الخطأ النسبي ∞ لها باستخدام المعادلة التالية :

$$\infty = (h_1 - h_2 / h_1) * 100$$

حيث h_1 العمق الأكبر و h_2 العمق الأقل.

إذا كان الخطأ النسبي مساويا ل 5% أو أقل، فيمكن اعتبار السطح البيزومتري مســـتقرا وإلا فيجب الانتظار مدة أكبر حتى يتم ذلك.

2- قياس مستوى الماء الثابت بواسطة الساوندر أو خط الهواء .

3- قياس العمق الكلي للبئر بواسطة شريط المتر.

4- قياس نصف قطر البئر والمسافة بين البئر الرئيسي وابار المراقبة.

5- تجهيز ساعة الإيقاف والجدول اللازم لتسجيل البيانات.

طريقة إجراء الاختبار:

1- يتم تشغيل المضخة بسرعة معتدلة .

2- يبدأ تشغيل الساعة مباشرة عند بدأ الضخ.

3- يتم قياس مستوى الماء على فترات معينة من الزمن وتسجيل البيانات في جدول.

4- عند الوصول لمستوى ثابت للماء توقف المضخة ويبدأ عندها قياس مستوى الرجوع.

5- يجب أخذ عدة قياسات لمعدل التصريف على فترات مختلفة أثناء الضخ ثـــم يحســـب المتوسط لها:

$$Q = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + \ldots + Q_n}{n}$$

6- توضع البيانات الخاصة بالتجربة في جدول خاص.

الأجهزة اللازمة لاجراء اختبار الضخ:

1- بئر رئيسي ويفضل وجود بئر واحد أو اكثر للرصد.
2- مضخة pump .
3- ساعة ايقاف .Stop watch
4- شريط قياس Meter.
5- جهاز قياس عمق الماء Water level measurement tool.
6- جهاز قياس معدل تصريف الماء Discharge measurement tool.

أ- **أجهزة قياس معدل تصريف الماء من الآبار:**

1- استخدام وعاء معروف الحجم مع ساعة ايقاف:

من الطرق البسيطة والدقيقة في نفس الوقت لتقدير معدل الضخ هي معرفة الزمن اللازم لملء وعاء ذي حجم معلوم بالماء مثل هذه الطريقة تستخدم عادة في قياس معدلات الضخ المحدودة نسبيا .

2- عداد الماء Water Meter:

إن عداد الماء التجاري (الشائع الاستعمال في المنازل) يمكن أن يستخدم في قياس حجم الماء الذي يضخ في فترة زمنية معلومة . وتوضح الأرقام الموجودة على العداد حجم الماء الذي يمر عبر بالأرقام المكعبة أو بالجالونات وبطرح قراءتين الفرق بينهما دقيقة واحدة ينتج معدل الضخ . ولربما تكون هذه الطريقة هي أسهل الطرق المتبعة في تقدير الضخ .

3-القرص الحلقي Circular orifice weir:

القرص الحلقي عبارة عن لوح مستدير من الصلب توجد في مركزه فتحة دائرية تماما، ويكون عادة ذا حواف مربعة نظيفة، ويبلغ سمكه حول الفتحة المستديرة 1/16 بوصة، يثبت القرص عادة عند نهاية أنبوبة التفريغ discharge-pipe الأفقية. يجب أن يكون أنبوب التفريغ مستقيما وأفقيا لمسافة ستة أقدام على الأقل خلف القرص، على بعد 24 بوصة بالضبط من القرص يثقب أنبوب التفريغ في وسطه بثقب يتراوح قطره بين 1/8 و 11/4 بوصة ويثبت في هذا الثقب رأسيا انبوبه تسمى ألانبوبه البيزومترية وتتكون من أنبوب مطاطي أو بلاستيكي شفاف طوله 4-5 أقدام ينتهي عند طرفه بأنبوبة زجاجية صغيرة. عندما يضخ الماء عبر القرص الحلقي فان ارتفاع سطح الماء في البيزومتر يمثل الضغط داخل انبوبه التفريغ. ويمكن ملاحظة هذا المستوى في الانبوبة الزجاجية بتحريكها لتصبح في وضع رأسي، ولتسهيل هذه العملية فإنه يثبت مقياس رأسي بجوار الانبوبه البيزومتريه ليعين ارتفاع سطح الماء من مركز أنبوبة التفريغ حتى مستوى سطح الماء في الانبوبة البيزومترية. هناك جداول خاصة تستعمل لمعرفة معدل السريان بالجالون/ دقيقة بالنسبة للأقطار المختلفة لكل من القرص الحلقي وأنابيب التفريغ المختلفة . ويحسب السريان في القرص الحلقي من المعادلة التالية:

$$Q = 8.02AC\sqrt{h}$$

حيث أن

Q= السريان في وحدة الزمن.

A = مساحة مقطع القرص الحلقي.

C = ثابت التصريف للقرص الحلقي.

h = ارتفاع مستوى الماء في الأنبوبة البيزومترية

ب- أجهزة قياس مستوى سطح الماء Water level measurement :

يتطلب القيام باختبار الضخ إجراء عدة قياسات لمستوى سطح في البئر، وتتم هذه القياسات على فترات زمنية متقاوبة جدا في الساعتين الأول من التجربة , ثم تزداد الفترة الزمنية تدريجيا بين كل قياسين مع استمرار عملية الضخ بعد ذلك. ولا بد أن تكون عملية قياس مستوى سطح الماء دقيقة جدا وتصل لأقرب نصف سنتمتر في جميع آبار المراقبة. مثل هذه الدقة لا تتوفر عادة إذا أجري القياس في بئر منتجة وذلك نتيجة الاهتزازات والتداخلات التي تحدث أثناء عملية الضخ. توجد عدة أجهزة لقياس مستوى الماء الجوفي وهي كالتالي:

1- الساوندر Water level sounder:

ويتكون من الكترود معلق في طرف سلك طويل ملفوف حول بكرة يوجد بداخلها بطاريات وعند ملامسة الالكترود للماء تغلق الدائرة الكهربائية فتضاء لمبة مثبتة في البكرة أو يصدر صوت من ميكروفون صغير وعند ابتعاد الماء عن الالكترود تقطع الدائرة الكهربائية.

2-جهاز خط الهواء Airline:

يتكون خط الهواء من أنبوبة ذات قطر صغير تمتد من رأس البئر حتى يصل إلـــى نقطة تقع على مسافة عدة أقدام تحت أقصى انخفاض متوقع لمستوى سطح الماء وبعد تثبيت خط الهواء في البئر يجب تحديد طوله بدقة. وتتصل بأنبوب الهواء وصلة على شكلT يتصل بها عداد لقياس ضغط الهواء في الانبوبة. ويقاس الضغط عادة بالقدم، ويعمل هذا التصـــميم على أساس أن الضغط اللازم ليدفع جميع المياه خارج الجزء المغمور من الأنبوب يســـاوي ضغط الهواء لعمود من الماء له نفس الارتفاع، فإذا عبر عن هذا الضغط بالقدم فانه يمكـــن حساب عمق منسوب سطح الماء في البئر.

تشير قرأه عداد الضغط إلى أن الضغط اللازم لرفع عمود من الماء إرتفاعة يساوي المسافة بين المستوى الثابت لسطح الماء ونهاية الأنبوب فإذا كانت قراءة العداد تشير إلى أقدام مـــن الماء فإنها بذلك تشير إلى طول جزء خط الهواء المغمور تحت سطح الماء. فإذا طرح هـــذا الجزء من الطول الكلي لخط الهواء فإنه ينتج عمق الماء تحت نقطة معينة. ويمكن حســـاب عمق مستوى سطح الماء من المعادلة التالية :

$$D = L-H$$

حيث أن:

D=عمق مستوى سطح الماء بالقدم .

L= العمق حتى نهاية خط الهواء القادم.

H=مقدار الضغط بالقدم ممثلا بعمود من الماء إرتفاعة يساوي طول خط الهواء المغمور تحت سطح الماء.

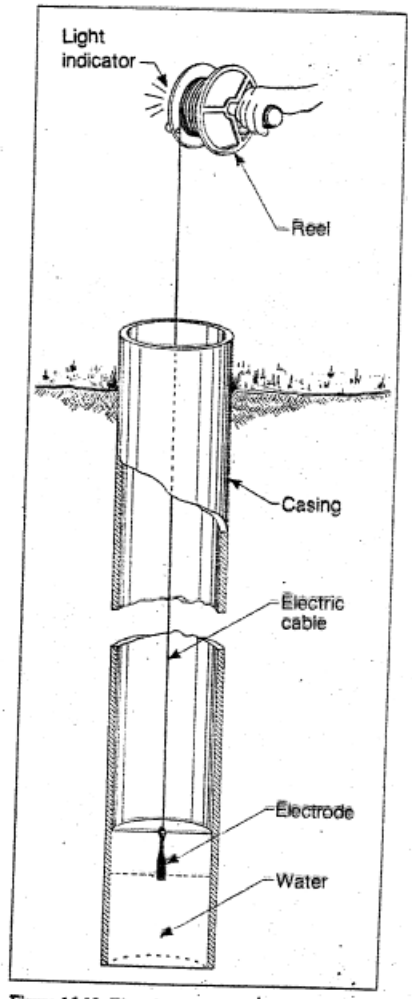


Figure 16.12. Electric sounder for measuring depth to water consists of electrode, two-wire cable, and a light which indicates a closed circuit when electrode touches water.

الساوندر

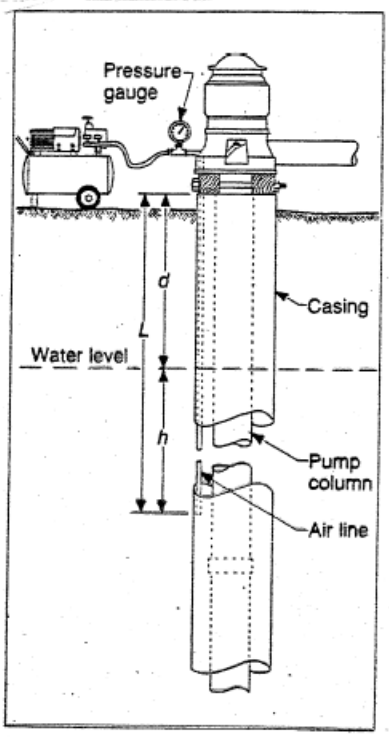


Figure 16.13. Installation of an air-line method for measuring water levels.

خط الهواء

جدول تسجيل بيانات اختبار الضخ

Pumping Test Data

Well Owner	Area
Well No	Well Diameter
Distance to Observation Well	Total Depth of Well
Casing Length	Casing Type
Initial depth to water level	Final depth to water Level
Start time	Stop time
Observer	Date

T ime (min)	Water level Meter below reference point	Drawdown (m)	Discharge rate (m^3 / day)
1			
2			
قراءة كل دقيقة الى 10			
10			
12			
14			
16			
20			
25			
30			
40			
50			
60			
70			
80			
90			
100			
120			
150			
180			
210			
240			
270			
300			
360			
ثم كل ساعة إلى النهاية			

ثانيا: العمل في المكتب.

بعد رصد النتائج في الجدول يتم توقيعها على ورق بياني عادي وورق شـــبه لوغـــاريتمي Semi log paper وورق لوغاريتمي log- lag paper ولكل منها غرض وفائدة :-

1. **الورق البياني العادي Ordinary-paper** :

أ - التعرف على وجود تأثيرات جيولوجية وهيدروجيولوجية

ب- الطبقات المتجانسة تعطي منحنى متجانس ومنتظم بعكس الطبقات الغير متجانسة

ج- اذا كانت القراءات الأولية على خط مستقيم يكون البئر ذا قطر كبير .

د- إذا كانت القراءات النهائية على خط مستقيم يكون المتكون متشقق.

هـــ - التغيرات في طبيعة المتكون من منفذ إلى أقل نفاذية يظهر على شكل زيـــادة فـــي الانخفاض .

2. **الورق شبه اللوغاريتمي Semi- log paper:** توقيع بيانات اختبار الضخ يشكل خط مستقيم وفوائدها :-

أ- تحديد خصائص الطبقة الحاملة للماء بواسطة طرق الخط المستقيم وذلـــك باســـتخدام البيانات المتأخرة فقط .

ب- تحديد نصف قطر التأثير .

ج- تحديد قيمة البئر .

د- تحديد إمكانية تطبيق قانون دراسي والتعرف على طبيعة المتكون هل هو مســـامي أو متشقق .

3. **الورقه اللوغاريتمي : Log- log paper**

تعطي شكل منحنى للبيانات وتفيد في :

أ- تحديد خصائص الطبقة الحاملة للماء عن طريق مضاهاة منحنيات بيانات اختبارالضخ مع المنحنيات النموذجية الخاص بطرق التحليل المختلفة مثل ثايس وغيرها.

ب- إستنتاج طبيعة تجانس الطبقة الحاملة للماء .

ج- اذا كانت القراءات الأولية على خط مستقيم يكون البئر ذا قطر كبير.

د- إذا كانت القراءات النهائية على خط مستقيم يكون المتكون متشقق.

هـ- تقييم كل البيانات من البدائية إلى النهائية.

و- التعرف على نوع الطبقة الحاملة للماء.

طريقة المضاهاة Matching Method

تتم مضاهاة البيانات الحقلية المرسومة على ورقة لوغاريتمية شفافة مع منحنى ثايس المرسوم على ورقه لها نفس المقاس ومن ثم يتم اختيار نقطة التماثل Match Point على الورقتين وتحدد منها قيم كل من u و W(u) (من منحنى ثايس) وقيمة الهبوط s والزمنt من منحنى البيانات الحقلية وبتطبيق معادلتي ثايس الأولى والثانية يمكن إيجاد قيم كل من معامل الانتقالية ومعامل التخزين وذلك بمعلومية معدل التصريف والمسافة r.

طرق جاكوب Jacob Methods

العلاقة بين t vs.s	العلاقة بين s vs.r	العلاقة بين t/r^2 vs.s
I	II	III

1- *الطريقة الأولى* : العلاقة بين الزمن والانخفاض ((علاقة طردية)) ومنها نوجد قيم T&S باستخدام البيانات المتأخرة.

2- *الطريقة الثانية :* العلاقة بين الانخفاض والمسافة ((علاقة عكسية)) ولابد من استخدام عدد من الآبار(≥ 3) ويمكن منها حساب T&S ونصف قطر التأثير أضافه إلى فقد البئر.

3- *الطريقة الثالثة*: تشبه الأولى وفيها تكون العلاقة بين الهبوط مع الزمن مقسوما على مربع المسافة.

طريقه جاكوب استنبطت من طريقة ثايس ولها نفس الافتراضات مضافا إليها :

1- قيمة U صغيره جدا ($u<0.01$)

2- الزمن يكون طويلا

1- *الطريقة الأولى لجا كوب*

وجد جاكوب إن قيمة U تقل مع زيادة الزمن وبالتالي فأنه بالنسبة للبيانات المتأخرة تصبح قيمتها متناهية في الصغر بحيث يمكن اهمالها. عليه فان السلسلة المتقاربة

$$W_{(u)} = -0.5772 - \ln u + u - u^2/2.21 + u^3/3.31 - u^4/4.41 + \ldots.$$

يمكن تبسيطها بعد الحد $\ln u$ لتصبح كما يلي :

$$s = Q / 4\pi t \left[- 0.5772 - \ln(r^2 S / 4\pi T) \right]$$

والتي يمكن صياغتها كما يلي بعد تحويلها إلى لوغاريتم عشري decimal logarithms

$$s = \frac{2.3Q}{4\pi T} \log \left(\frac{2.25Tt}{r^2 S} \right)$$

وبتوقيع بيانات الهبوط مع الزمن(s vs t) على ورقه شبه لوغارتمي نحصل علـــى خـــط مستقيم، عند مد الخط حتى يتقاطع مع محور الزمن عندما تكون قيمة الهبوط صـــفرا (s=0) فان قيمة الزمن يعبر عنها بـــ $t=t_0$

وبتعويض هذه القيم في المعادلة السابقة نحصل على

$$0= \frac{2.3Q}{4\pi T} \log \left(\frac{2.25Tt_o}{r^2 S} \right)$$

وحيث أن :

$$(2.3Q / 4\pi T) \neq 0$$

وحيث أن لوغارتم الواحد يساوي 1صفرا فيكون:

$$1= 2.25Tt_0 / r^2 S$$

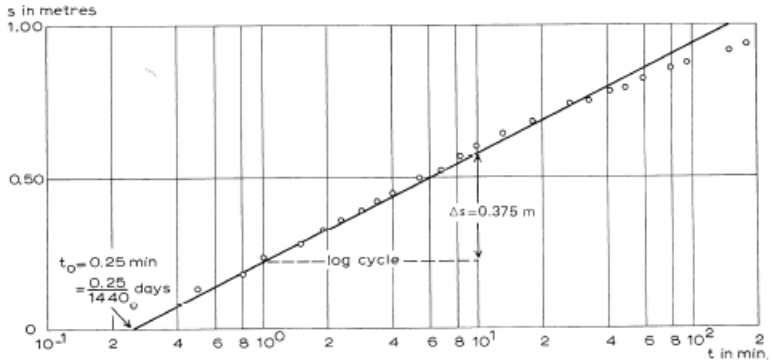
أي أن $S = 2.25Tt_0 / r^2$

لو كانت $\log (t / t_0) =1$ فإن s تصبح Δs وهي عبارة عن ميل الخط المستقيم مقاسه بـــين دورتين لوغارتميتين متتاليتين للزمن وبالتالي تصبح المعادلة كالتالي :-

$$T = 2.3Q / 4\pi\Delta s \qquad (1$$

$$S = 2.25\ Tt_0 / r^2 \qquad (2$$

وتسمى هاتان المعادلتان معادلتي جاكوب (الطريقة الأولى) وتستخدمان لإيجاد قـــيم T & S وذلك باستخدام ورقه شبه لوغارتميه وتوقيع البيانات الحقلية عليها ومـــن ثـــم رســـم الخـــط المستقيم المار في البيانات المتاخره ومد الخط المستقيم حتى يتقاطع مع محور الزمن حيـــث تكون نقطة التقاطع هى t_0 كما يتم قياس ميل الخط المستقيم (Δs) بين دورتين لوغـــارتميتين متتاليتين وبالتالي تطبق المعادلتين 1 و2 لحساب الخواص الهيدروليكيه للمتكون.



شكل يوضح كيفية تطبيق طريقة جاكوب الأولى

الطريقة الثانية

لتطبيق هذه الطريقة لابد من استخدام ثلاثة آبار منها على الأقل بئري رصد حيث تسجل بياناتها كما يلي:

Time (min)	Drawdown(s) r_1	r_2	r_3
t_1	s_{11}	s_{21}	s_{31}
t_2	s_{12}	s_{22}	s_{32}
t_3	s_{13}	s_{23}	s_{33}
t_n	s_{1n}	s_{2n}	s_{3n}

يتم بعد ذلك اختبار قيمة الهبوط في مستوى المياه الجوفية في الآبار المختلفة عند زمن ما ويفضل استخدام آخر قراءة وإسقاطها على الورقة شبه اللوغارتمية وهي ($t_n, s_{1n}, s_{2n}, s_{3n}$) يمرر خط مستقيم بعد ذلك ليتقاطع مع محور المسافة حيث تكون نقطة التقاطع مع محور المسافة R مساويه لنصف قطر التأثير ويمكن إيجاد قيمة S,T من المعادلتين التاليتين:

$$T = 2.3Q / 2\pi(\Delta s)_r \quad (1$$

$$S = 2.25Tt / R^2 \qquad (2$$

حيث قيم t هنا هي الزمن المقابل لقيم الانخفاض التي تم اختبارها أي t_n، يمكن من هذه الطريقة إيجاد نصف قطر التأثير كما سبق إيضاحه .

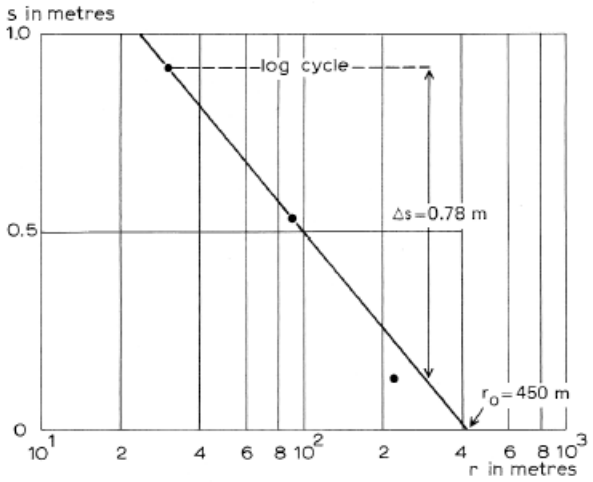


Figure 3.8 Analysis of data from pumping test 'Oude Korendijk' (t = 140 min) with the Jacob method.

فقد البئر

يمكن إيجاد قيم فقد البئر Well-Loss وهو الفرق بين هبوط مستوى الماء الجوفي المقاس داخل البئر وفي التكوين المائي المحيط به، ويحدث هذا الفرق نتيجة تدهور كفاءة البئر بسبب انسداد مصافي الآبار بواسطة الرواسب الرملية الدقيقة. يتناسب فقد البئر عكسيا مع كل من نفاذية التكوين المائي ونصف قطر البئر.

حساب فقد البئر :

1- يتم توقيع بينات اختبار الضخ والتي تمثل العلاقة بين المسافة والهبوط على ورقة شبه لوغارتمية ويمد الخط المستقيم ليتقاطع مع محور المسافة

2- يحدد طول نصف قطر بئر الضخ على محور المسافة ويرفع منه خط رأسي حتى يتقاطع مع الخط المستقيم ومن ثم يمرر خط أفقي من نقطة التقاطع حتى يتقاطع مع محور الهبوط حيث تمثل نقطة التقاطع على المحور قيمة الهبوط في التكوين المائي

3- تطرح هذه القراءة من قيمة الهبوط الحقيقية المقاسة في البئر ويمثل الفرق بين القراءتين قيمة فقد البئر.

طريقة جاكوب الثالثة III

طريقة جاكوب الثالثة تمثل العلاقة بين الهبوط (محور أفقي) مقابل الزمن مقسوما على مربع المسافة t / r^2 (محور رأسي).

في هذه الطريقة تقسم قيم الزمن الواردة في بيانات اختبار الضخ على مربع المسافة الفاصلة بين بئري الضخ والملاحظة. توقع هذه البيانات على ورقة شبه لوغارتمية ويوصل بينها بخط مستقيم ويمد هذا الخط حتى يتقاطع مع المحور الأفقي حيث تكون نقطة التقاطع هي $(t / r^2)_o$، يقاس ميل الخط المستقيم بين دورتين لوغارتميتين (Δs). وبتطبيق المعادلتين:

$$T = 2.3Q / 4\pi\Delta s \quad (1$$

$$S = 2.25T (t / r^2)_o \quad (2$$

يمكن إيجاد قيمتي T و S.