Hydrogeologic Boundaries

الحدود الهيدروجيولوجية

They are geological or hydrogeological formations that bound groundwater aquifer from one direction or more and influence the groundwater flow in the aquifer. They are divided into:
1- Barrier Boundary الحدود المانعة
2- Recharge Boundary الحدود المغذية
3- Multiple boundaries الحدود المتعددة

1- Barrier Boundaries

These are geological impermeable formations that surround the groundwater aquifer from one side or more and obstruct the movement of ground water from or into the aquifer. If we assume the existence of an impermeable barrier in the form of a straight line on one side of a confined aquifer, the drop in the piezometric surface due to pumping will be greater near the barrier compared to the one predicted by the Theis equation in the infinite aquifers (see Figure).

عبارة عن تكاوين جيولوجية غير منفذة تحيط بالطبقة المائية من جانب واحد أو أكثر وتؤدي الى اعاقة حركة الماء الجوفي من أو الى داخل التكوين المائي. إذا فرضنا وجود حد غير منفذ على شكل خط مستقيم في أحد جوانب طبقة مائية محصورة فأن الهبوط في المستوى البيزو متري الناتج من الضخ سيكون اكبر بالقرب من الحد المانع عنه من الهبوط الذي يمكن التنبؤ به اعتمادا على معادلة ثايس في الطبقات المائية ذات الامتداد اللانهائي.

To predict the drop of groundwater level in such a system we use the ***Method Of Images***. To achieve this, imagine a well drilled at a distance (x) behind the barrier which equals the distance between the real well and the barrier and discharging at the same rate (Q) and for the same period of time. As a result a cone of depression will form on the other side of the barrier in addition to the cone of depression formed by the real well. Therefore the two cones will intersect at the boundary, and the resultant cone of depression will be deeper near the boundary compared to that formed in the infinite extent conditions.

وللتنبؤ بهبوط مستوى الماء الجوفي في مثل هذا النظام تستخدم الطريقة التخيلية (Method Of Images) ولتحقيق ذلك نتصور بئر محفورة على مسافة من الحدود (x) تساوي نفس المسافة التي يبعدها البئر عن هذه الحدود وكذلك نتخيل أن البئر الخيالية تضخ بمعدل Q وهو يساوي نفس معدل التصريف للبئر الحقيقية ولنفس الفترة الزمنية ومن ثم سيتكون مخروط انخفاض على الجانب الآخر من الحد المانع بالإضافة إلى مخروط انخفاض البئر الحقيقي الذي ينتهي عند الحد المانع كذلك، ونتيجة لذلك يحدث تداخل بين المخروطين في نقطة معينه فاذا جمعنا مركبتي الهبوط في النظام اللانهائي فانه يصبح واضحا أن الشكل الهندسي للضخ يخلق حدودا مانعة خيالية في نفس مكان الحدود المانعة الحقيقية في النظام الحدي.

The drawdown in an aquifer bounded by a barrier boundary is:
$s = (s_r + s_i)$

$$s = Q\,[W_{(u)r} + W_{(u)i}] / 4\pi T$$

Where: $u_r = r_r^2\, S / 4Tt$

$u_i = r_i^2\, S / 4Tt$

r_r= distance between real well and observation well;
r_i= distance between image well and observation well;
t= time since pumping started.

for all points on the boundary $r_r = r_i$ and the drawdown is doubled.

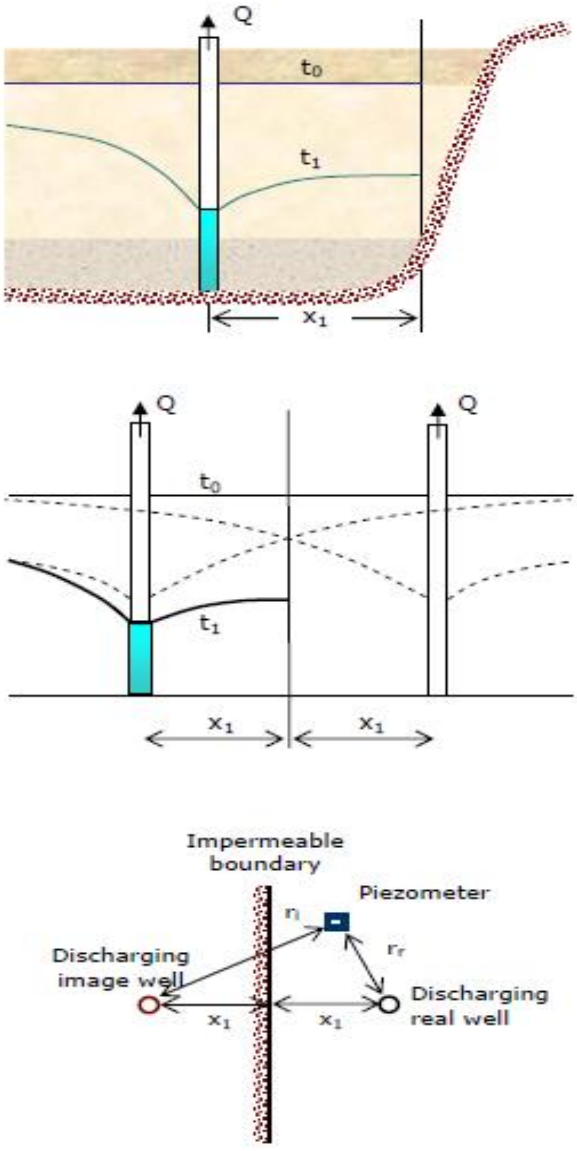


Figure shows pumping well near barrier boundary

2-Recharge Boundaries

When an aquifer is surrounded from one side by a permanent recharge boundary such as rivers and streams and the like, it is possible to estimate the drawdown in the groundwater level in a well drilled in this aquifer near the boundary of an assumed constant head using the method of images. If we imagine a river cutting through the entire thickness of an aquifer, the drawdown in a well fully penetrating this aquifer can be predicted if we imagine a well on the other side of the boundary. The image well recharges the aquifer at a constant rate ***Q*** equal to the constant discharge of the real well. Both the real well and the image well are located on a line normal to the boundary and are equidistant from the boundary**.** If we now sum the cone of depression from the real well and the cone of impression from the image well, we obtain an imaginary zero drawdown in the infinite system at the real constant-head boundary of the real bounded system.

عندما تحاط الطبقة المائية من أحد جوانبها بحدود تغذيه ثابتة كالأنهار والجداول وما شابه ذلك فانه يمكن أيجاد الهبوط في مستوى المياه الجوفية في البئر المحفورة في هذه الطبقة بالقرب من حدود العلو الثابت باستخدام الطريقة التخيلية. فإذا تخيلنا نهرا يخترق كامل الطبقة فان التنبؤ بالهبوط في الطبقة المائية المحاطة بهذا النهر من أحد جوانبها يمكن تحقيقه إذا تخيلنا بئرا تبعد نفس المسافة التي تبعدها البئر الحقيقية عن الحد المغذي وتقع على يمين الحد المغذي في حين تقع البئر الحقيقية على يسار حد التغذية وان الضخ من البئر الحقيقية والخيالية بنفس المقدار (Q). وسينتج عن ضخ البئر الحقيقي تكون مخروط انخفاض في مستوى المياه الجوفية وهذا المخروط سيصطدم بحدود التغذية، وفي حالة عدم وجود حدود التغذية فان المخروط سيأخذ شكلا آخر. وبالمقابل فان مستوى الماء في بئر التغذية الخيالية سيأخذ شكل مخروط يناظر مخروط الانخفاض في البئر الحقيقي ويسمى المخروط التخيلي. المنطقة التي يكون فيها الهبوط في مستوى المياه الجوفية في بئر الضخ الحقيقي يساوي الهبوط الخيالي في مستوى مياه التغذية الخيالية هي موقع حد التغذية الفعال .وبعبارة أخرى فان مستويات المياه في الآبار المحفورة في انظمه التغذية الحدية ستهبط في البداية نتيجة تأثير ضخ المياه من البئر الحقيقي فقط، وعندما يصل تأثير المخروط الخيالي في بئر التغذية الخيالية إلى بئر الضخ الحقيقي فأن السرعة الزمنية للهبوط سوف تتغير .وستستمر السرعة الزمنية للهبوط بالانخفاض حتى تصل إلى حالة التوازن وذلك عندما يتعادل التصريف مع التغذية وفي هذه الظروف يمكن حساب الهبوط في التكوين المائي المحصور والمحاط بحد تغذيه دائمة من أحد جوانبها.

The water levels in wells drilled in the aquifers bounded by recharge boundaries drop in the beginning of pumping from the real well and when the effect of the image cone of the recharging well reaches the pumping well the rate of drawdown changes. The drawdown rate continues to drop until it reaches equilibrium state when the discharge equals the recharge. In this case we can calculate the drawdown using the following equation:

$$s = (s_r - s_i)$$

$$s = Q\,[W_{(u)r} - W_{(u)i}] / 4\pi T$$

Where: $u_r = r_r^2\, S / 4Tt$

$u_i = r_i^2\, S / 4Tt$

For a recharge boundary, for all points on the boundary $r_r = r_i$ and the drawdown is zero.

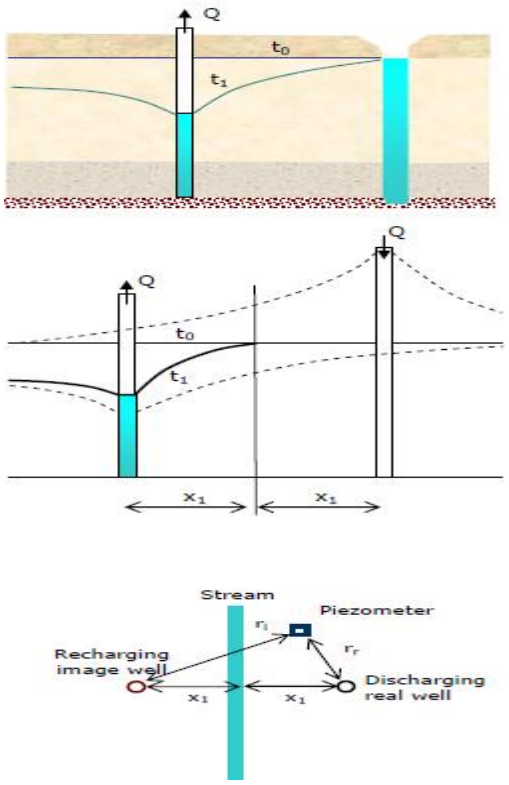


Figure shows pumping well near recharge boundary

3- Multiple Boundaries

Aquifers might be bounded from two sides or more by hydrogeological boundaries. One example is the case of confined aquifers that are surrounded by two aquicludes and might be also bounded by a third boundary cutting the other two boundaries. There are cases where four boundaries cut each other at certain angles (see figure below).
The drawdown in the bounded aquifer can be found by applying the theory of image wells, taking into account the effects of image wells on the on the hydrogeological boundaries.

يمكن للطبقات المائية أن تحاط من جانبين أو اكثر بحدود هيدرو جيولوجية ومن أمثلة ذلك حالة الطبقة المائية المحصورة بين طبقتين غير منفذتين وقد تكون هذه الطبقة محاطة من جانبها بحد ثالث يقطع الحدين الآخرين وهناك حالة أربعة حدود متقاطعة بزوايا معينه . ويمكن إيجاد الهبوط في الطبقة المائية المحاطة بعده حدود هيدروجيولوجية بتطبيق نظريه البئر الخيالية مع الأخذ في الاعتبار تأثيرات الآبار الخيالية على الحدود الهيدروجيولوجية.

Number of image wells (Ni) can be determined from the angle made by the boundaries intersection (W_e) as follows:

$$N_i = \frac{360}{W_e} - 1$$

الزاوية التي يصنعها تقاطع الحدود الهيدروجيولوجية = We

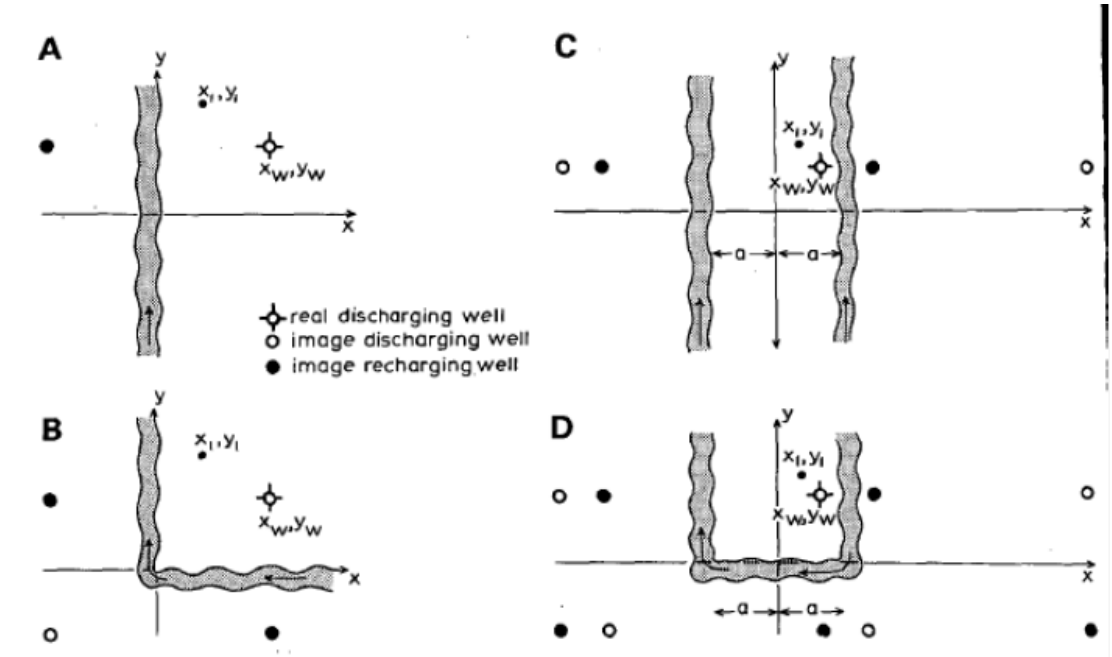


Figure 6.2 Image well systems for bounded aquifers (Dietz method)
A) One straight recharge boundary
B) Two straight recharge boundaries at right angles
C) Two straight parallel recharge boundaries
D) U-shaped recharge boundary

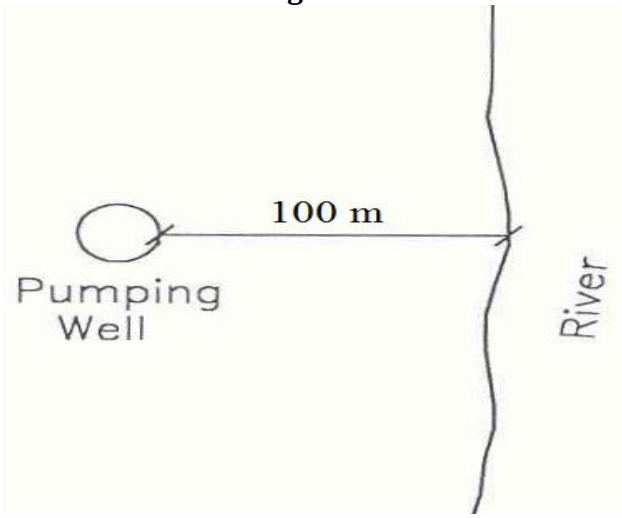
Using Theim's equation to solve Groundwater Wells and Rivers, and Well Operations problems

Theim's equation:

$$s = \frac{Q}{2\pi T} \ln\left(\frac{r_1}{r_2}\right)$$

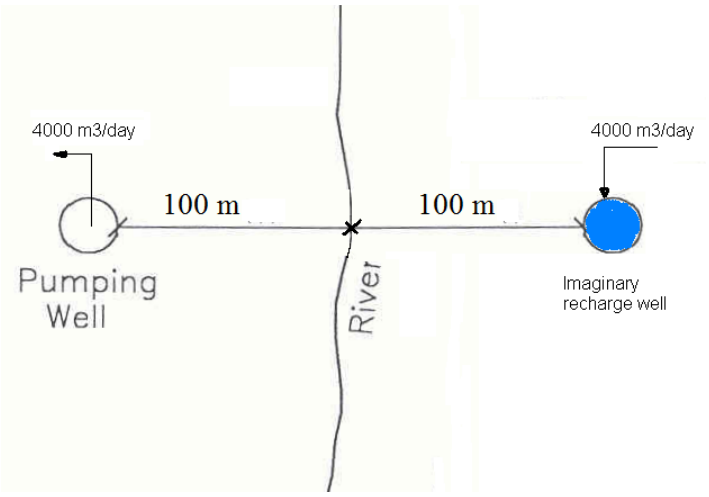
Example1 / Calculate the steady state drawdown at the pumping well which fully penetrates a confined aquifer if the pumping well is 100 m from a river which is in full hydraulic connection with the aquifer as shown in the **Figure** below:

The followings are useful data that can be used in calculating:
Diameter of pumping well = 0.2 m
Pumping rate = 4000 m3/day
Transmissivity = 450 m2/day
Type of utilized aquifer = confined
Distance between river and pumping well = 100 m.



Answer:

To estimate the effect of the river, introduce a recharge well as shown in the figure below:



Drawdown due to pumping well at the well itself is:

$$s = \frac{Q}{2\pi T} \ln\left(\frac{r_1}{r_2}\right)$$

s=Q*ln(r1/r2)/(2πT)

but r1= R , r2=rw= 0.2/2=0.10 m

s1= Q*ln(R/0.10)/(2π*450)

Drawdown due to image well: r1=R r2=200 m

s2= Q*ln(R/200)/(2π*450)

Total drawdown at a well : s = s1 - s2

s= Q*ln(R/0.10)/(2π*450) - Q*ln(R/200)/(2π*450)

s= 4000*ln (200/0.10)/(2π*450)=10.75 m

Total drawdown at a well= <u>10.75 m</u>

Example 2/ What would be the drawdown in a piezometer 150 m from the well and 50 m from the river in the previous example?

Answer:

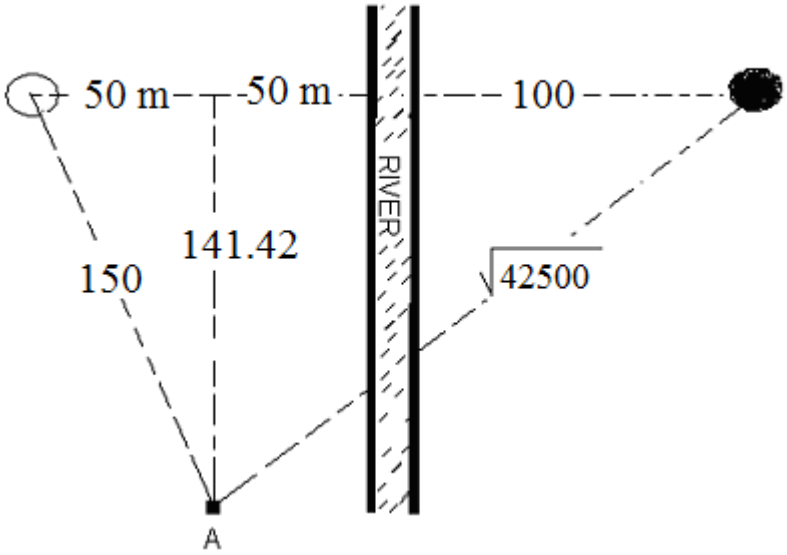
Total drawdown at A:

Total drawdown at A= drawdown from real well - drawdown from imaginery well

s_A= Q(ln (ra/150)-ln (ra/√42500))/2πT

s_A=4000(ln(206.16/150))/2π*450

s_A=<u>0.45 m</u>



H.W1: Repeat example 2 by using Theis Method and the table with S=0.01and t= 2 years. ***(answer:0.49 m)***

H.W2: Repeat example 1 if the pumping well is 50 m from a river and T=470 m^2/d. ***(answer: total s = 9.36 m)***