

Leaky aquifers (Semi-confined aquifers)

In nature, leaky aquifers occur far more frequently than the perfectly confined aquifers discussed in the previous chapter. Confining layers overlying or underlying an aquifer are seldom completely impermeable; instead, most of them leak to some extent. When a well in a leaky aquifer is pumped, water is withdrawn not only from the aquifer, but also from the overlying and underlying layers. In deep sedimentary basins, it is common for a leaky aquifer to be just one part of a multi-layered aquifer system as was shown in Figure below. The system in this figure consists of two aquifers, separated by an aquitard. The lower aquifer rests on an aquiclude.

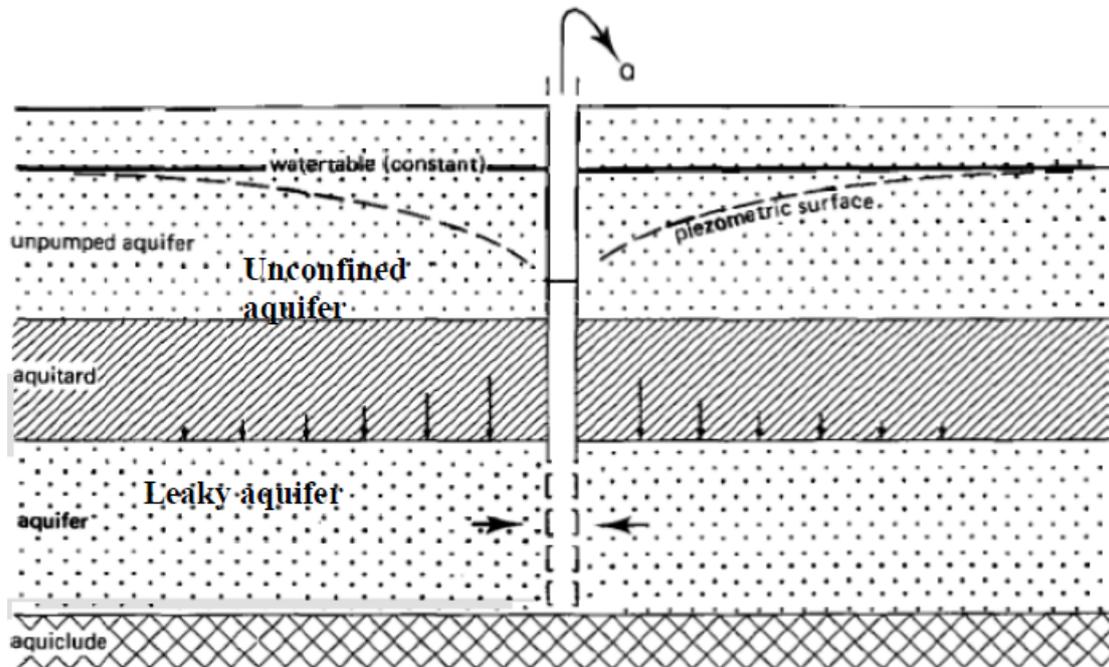
في الطبيعة يندر وجود طبقات محصورة تماما حيث أن معظم الطبقات الكتيمة Aquiclude العلوية أو السفلية نادرا ماتكون غير منفذة قطعيا، فالغالب أنها تسمح بتهريب كميات ولو بسيطة من الماء من خلالها صعودا أو هبوطا. ومن ثم فإن الطبقات الشبه محصورة هي الأكثر انتشارا. اذا تصورنا تتابع طبقي مكون من تكوينين مائيين تفصلهما طبقة شبه منفذة Aquitard والمتكون السفلي يعلو طبقة غير منفذة. يخترق بئر اختراقا تاما للتكوين المائي السفلي بحيث يكون محجوبا في التكوين المائي العلوي ومفتوحا في الكوين السفلي. قبل الضخ يكون النظام المائي في حالة استقرار بحيث ينطبق مستوى الماء الجوفي للتكوين غير المحصور (العلوي) على السطح البيزومتري للتكوين المائي شبه المحصور (السفلي).

A well fully penetrates the lower aquifer and is screened over the total thickness of the aquifer. The well is not screened in the upper unconfined aquifer. Before the start of pumping, the system is at rest, i.e. the piezometric surface of the lower aquifer coincides with the watertable in the upper aquifer. When the well is pumped, the hydraulic head in the lower aquifer will drop, thereby creating a hydraulic gradient not only in the aquifer itself, but also in the aquitard. The flow induced by the pumping is assumed to be vertical in the aquitard and horizontal in the aquifer. The water that the pumped aquifer contributes to the well discharge comes from storage within that aquifer and leakage through it from the overlying unpumped aquifer.

عندما يضخ البئر يهبط الارتفاع الهيدروليكي للتكوين السفلي بحيث يتكون انحدار هيدروليكي داخل ذلك التكوين وداخل الطبقة شبه المنفذة. الجريان الناشئ نتيجة الضخ يكون أفقيا في التكوين شبه المحصور ورأسيا في الطبقة شبه المنفذة. مصادر الماء التي تغذي البئر مكونة من التكوين شبه المحصور اضافة الى تهريب التكوين العلوي ومخزون الطبقة شبه المنفذة. مع استمرار الضخ تقل مساهمة الطبقة شبه المنفذة ويزداد تهريب التكوين العلوي. بعد فترة من الزمن يصبح معدل تصريف البئر في حالة توازن مع كمية التهريب المار خلال الطبقة شبه المنفذة ويصل الجريان الى حالة استقرار بحيث يتوقف هبوط مستوى الماء في البئر.

As pumping continues, more of the water comes from leakage from the unpumped aquifer and relatively less from aquitard storage. After a certain time, the well discharge comes into equilibrium with the leakage through the aquitard and a steady-state flow is attained. Under such

conditions, the aquitard serves merely as a water-transmitting medium, and the water contributed from its storage can be neglected.



Hantush Inflection- Point Method

طريقة نقطة الانقلاب لحننوش

The assumptions and conditions underlying this method are similar to Theis's assumption except that:

- . The aquifer is leaky;
- . The flow is unsteady, however the steady state drawdown must be known.

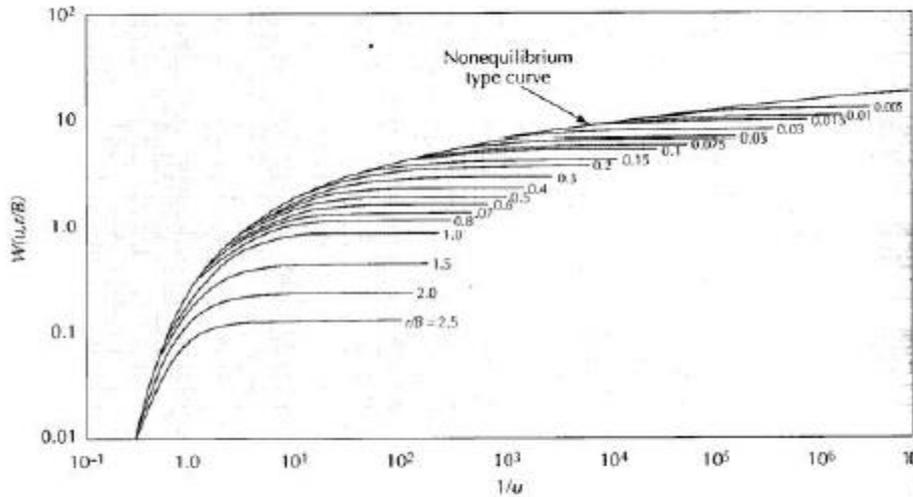
$$s(r,t) = \frac{Q}{4\pi T} W(u, \frac{r}{B})$$

$$u = \frac{r^2 S}{4tT}$$

Hantush (1956) developed the inflection point method. To determine the inflection point P the steady state drawdown s_m , should be known, either from direct observations or from extrapolation. The curve of s versus t on semi-log paper has an inflection point **P** where the following relations hold.

$$s_p = 0.5 s_m = \frac{Q}{4\pi T} K_0\left(\frac{r}{L}\right)$$

Leaky Confined Aquifer Type Curve



▲ FIGURE 5.11
Type curves of leaky artesian aquifer in which no water is released from storage in the confining layer. Source: W. C. Walton, Illinois State Water Survey Bulletin 49, 1962.

Type curves for leaky confined (artesian) aquifer

ملاحظة: العالم العراقي د.مهدي صالح حنتوش (مواليد محافظة الانبار/مدينة هيت عام 1921)، وانهى الدراسة الابتدائية فيها عام 1933 والدراسة المتوسطة في الرمادي عام 1936، والدراسة الثانوية في بغداد عام 1938. التحق بالبعثة العلمية بالجامعة الامريكية في بيروت فخرج بدرجة بكالوريوس شرف في الهندسة عام 1942 وحصل على بعثة علمية اخرى في جامعة كاليفورنيا في الولايات المتحدة الامريكية ونال منها درجة الماجستير في هندسة الري عام 1947، ثم التحق بجامعة يوتا في امريكا فحصل على شهادة الدكتوراه في الهندسة المدنية للمياه الجوفية. هو صاحب هذه الطريقة وهي طريقة معتمدة في جميع المصادر العالمية.



Mahdi S. Hantush

Variation in Drawdown vs. Time

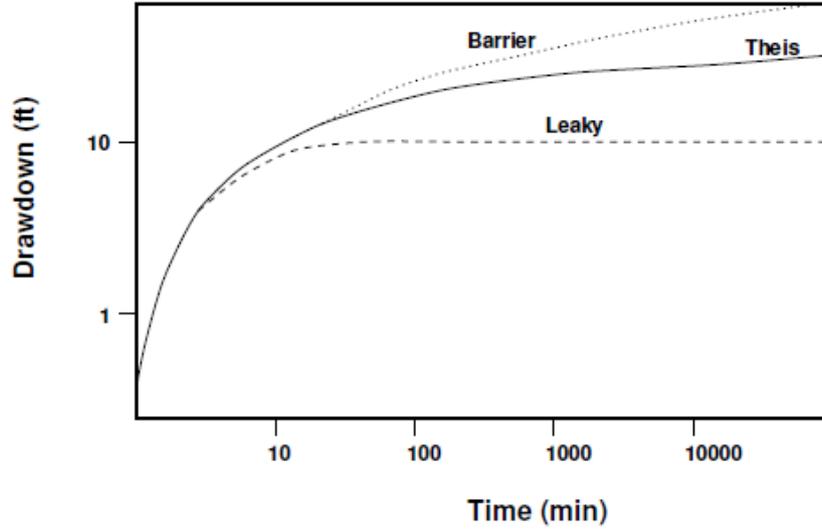


Figure Comparison of drawdown vs. time curves for confined aquifers. Ideal (Theis), leaky, and barrier cases.

الطريقة :

لتطبيق طريقة حنتوش ينبغي توقع البيانات الحقلية على ورقه شبه لوغارتميه واتباع الآتي:

1- تحديد قيمة أعلى انخفاض s_m وذلك بامتداد المنحنى الخاص بالبيانات الحقلية.

2- إيجاد قيم الانخفاض عند نقطة الانقلاب s_p حيث :

$$s_p = 0.5 s_m$$

ومنها يتم تحديد قيمة نقطة الانقلاب p وقيمة الزمن عند نقطة الانقلاب t_p .

3- تحديد قيمة ميل المنحنى عند نقطة الانقلاب Δs_p وذلك برسم مماس عند تلك النقطة وحساب ميله بين دورتين لوغارتميتين متتاليتين.

4- تغوص قيمتي s_p و Δs_p في المعادلة التالية :

$$2.3 s_p / \Delta s_p = e^{r/L} K_0 \quad (r / L) \quad (1)$$

حيث K_0 = دالة ببسل المعدلة من النوع الثاني والرتبة صفر
و L = معامل التهريب ويساوي

$$L = \sqrt{Tc}$$

c = المقاومة الهيدروليكية للطبقة الشبه المنفذة وتساوي

$$c = D^- / K^-$$

D^- : سمك الطبقة شبة المنفذة، بينما K^- نفاذية الطبقة شبة المنفذة .

Large values of L indicate a low leakage rate through the aquitard, whereas small values of L mean a high leakage rate. The leakage factor has the dimension of Length, expressed, for example, in meters.

The following table gives types of leakage according to L values:

Type of Leakage	L values (m)
High	$L < 1000$
Moderate	$1000 < L < 5000$
Low	$5000 < L < 10000$
Negligible	$L > 10000$

5- تحسب قيمة r/L من الجدول الخاص بالدالة $(x) e^{-x} k_0$ الموجود في الكتب.

6- بمعرفة (r/L) و r المسافة بين البئر الرئيسي وبئر الرصد يمكن معرفة قيمة L .

7- بمعرفة Q (معدل التصريف) و Δs_p و r/L تحسب قيمة T من المعادلة:

$$T = \frac{2.3Q}{4 \pi \Delta s_p} e^{-r/L} \quad (2)$$

8- تحسب قيمة S من المعادلة

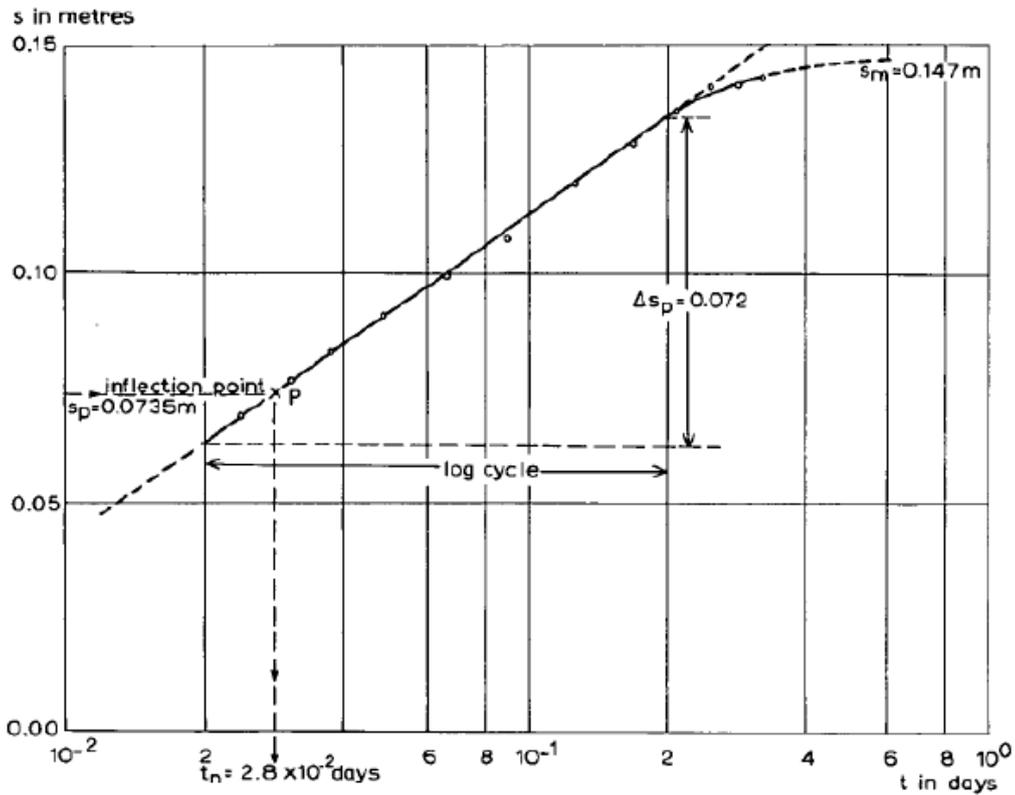
$$S = \frac{2Tt_p}{L} \cdot \frac{r}{r^2} \quad (3)$$

9- أخيرا نحسب قيمة المقاومة الهيدروليكية c من المعادلة

$$c = L^2/T$$

المقاومة الهيدروليكية (c)

يعبر عن مدى مقاومة الطبقة الشبه المنفذة للحركة الرأسية للماء سواء إلى أعلى أو إلى أسفل. كلما زاد سمك تلك الطبقة وقلت نفاذيتها كلما زادت المقاومة الهيدروليكية والعكس بالعكس وحدتها وحدة زمن) أيام. (قيم المقاومة الهيدروليكية تتراوح من مئات الأيام الى عشرات آلاف الأيام.



Application of inflection point method

Annex 4.1 Values of the functions e^x , e^{-x} , $K_0(x)$ and $e^x K_0(x)$ (after Hantush 1956)

x	e^x	e^{-x}	$K_0(x)$	$e^x K_0(x)$	x	e^x	e^{-x}	$K_0(x)$	$e^x K_0(x)$	x	e^x	e^{-x}	$K_0(x)$	$e^x K_0(x)$
0.010	1.010	0.990	4.721	4.769	0.040	1.041	0.961	3.336	3.473	0.070	1.072	0.932	2.780	2.981
0.011	1.011	0.989	4.626	4.677	0.041	1.042	0.960	3.312	3.450	0.071	1.074	0.931	2.766	2.969
0.012	1.012	0.988	4.539	4.594	0.042	1.043	0.959	3.288	3.429	0.072	1.075	0.930	2.752	2.957
0.013	1.013	0.987	4.459	4.517	0.043	1.044	0.958	3.264	3.408	0.073	1.076	0.930	2.738	2.945
0.014	1.014	0.986	4.385	4.447	0.044	1.045	0.957	3.241	3.387	0.074	1.077	0.929	2.725	2.934
0.015	1.015	0.985	4.316	4.381	0.045	1.046	0.956	3.219	3.367	0.075	1.078	0.928	2.711	2.923
0.016	1.016	0.984	4.251	4.320	0.046	1.047	0.955	3.197	3.348	0.076	1.079	0.927	2.698	2.911
0.017	1.017	0.983	4.191	4.263	0.047	1.048	0.954	3.176	3.329	0.077	1.080	0.926	2.685	2.900
0.018	1.018	0.982	4.134	4.209	0.048	1.049	0.953	3.155	3.310	0.078	1.081	0.925	2.673	2.889
0.019	1.019	0.981	4.080	4.158	0.049	1.050	0.952	3.134	3.292	0.079	1.082	0.924	2.660	2.879
0.020	1.020	0.980	4.028	4.110	0.050	1.051	0.951	3.114	3.274	0.080	1.083	0.923	2.647	2.868
0.021	1.021	0.979	3.980	4.064	0.051	1.052	0.950	3.094	3.256	0.081	1.084	0.922	2.635	2.857
0.022	1.022	0.978	3.933	4.021	0.052	1.053	0.949	3.075	3.239	0.082	1.085	0.921	2.623	2.847
0.023	1.023	0.977	3.889	3.979	0.053	1.054	0.948	3.056	3.223	0.083	1.086	0.920	2.611	2.837
0.024	1.024	0.976	3.846	3.940	0.054	1.055	0.947	3.038	3.206	0.084	1.088	0.919	2.599	2.827
0.025	1.025	0.975	3.806	3.902	0.055	1.056	0.946	3.019	3.190	0.085	1.089	0.918	2.587	2.817
0.026	1.026	0.974	3.766	3.866	0.056	1.058	0.945	3.001	3.174	0.086	1.090	0.918	2.576	2.807
0.027	1.027	0.973	3.729	3.831	0.057	1.059	0.945	2.984	3.159	0.087	1.091	0.917	2.564	2.798
0.028	1.028	0.972	3.692	3.797	0.058	1.060	0.944	2.967	3.144	0.088	1.092	0.916	2.553	2.788
0.029	1.029	0.971	3.657	3.765	0.059	1.061	0.943	2.950	3.129	0.089	1.093	0.915	2.542	2.779
0.030	1.030	0.970	3.623	3.734	0.060	1.062	0.942	2.933	3.114	0.090	1.094	0.914	2.531	2.769
0.031	1.031	0.969	3.591	3.704	0.061	1.063	0.941	2.916	3.100	0.091	1.095	0.913	2.520	2.760
0.032	1.032	0.968	3.559	3.675	0.062	1.064	0.940	2.900	3.086	0.092	1.096	0.912	2.509	2.751
0.033	1.034	0.967	3.528	3.647	0.063	1.065	0.939	2.884	3.072	0.093	1.097	0.911	2.499	2.742
0.034	1.035	0.967	3.499	3.620	0.064	1.066	0.938	2.869	3.058	0.094	1.099	0.910	2.488	2.733
0.035	1.036	0.966	3.470	3.593	0.065	1.067	0.937	2.853	3.045	0.095	1.100	0.909	2.478	2.725
0.036	1.037	0.965	3.442	3.568	0.066	1.068	0.936	2.838	3.032	0.096	1.101	0.908	2.467	2.716
0.037	1.038	0.964	3.414	3.543	0.067	1.069	0.935	2.823	3.019	0.097	1.102	0.908	2.457	2.707
0.038	1.039	0.963	3.388	3.519	0.068	1.070	0.934	2.809	3.006	0.098	1.103	0.907	2.447	2.699
0.039	1.040	0.962	3.362	3.495	0.069	1.071	0.933	2.794	2.994	0.099	1.104	0.906	2.437	2.691

إختبار الإستعاضة (الرجوع) Recovery Tests

الإستعاضة: هي عودة مستويات المياه في الآبار بعد انتهاء الضخ إلى مستواها الأصلي قبل بداية الضخ.

الإخفاض المتبقي (s) Residual Drawdown : هو الفرق بين المستوى الأصلي للماء قبل بداية الضخ والمستوى الحقيقي للماء مقاسا عند زمن معين (t) بعد توقف الضخ .

مميزات إختبار الرجوع :

- يمكن بواسطته تقدير قيمة معامل الانتقالية (T) فقط والتي تفيد في التأكد من القيمة التي حصل عليها من إختبار الضخ.
- قياسات الإخفاض المتبقي أكثر دقة من قياس الهبوط أثناء الضخ نظرا لعدم تأثرها بمعدل التصريف وإختلافاته .
- معدل التصريف أثناء الضخ يستخدم في تقدير قيمة معامل الانتقالية باستخدام طريقة الرجوع .
- لا يمكن حساب قيمة معامل التخزين (S) بهذه الطريقة .

طريقة الرجوع لثايس Theis's Recovery Method

الافتراضات:

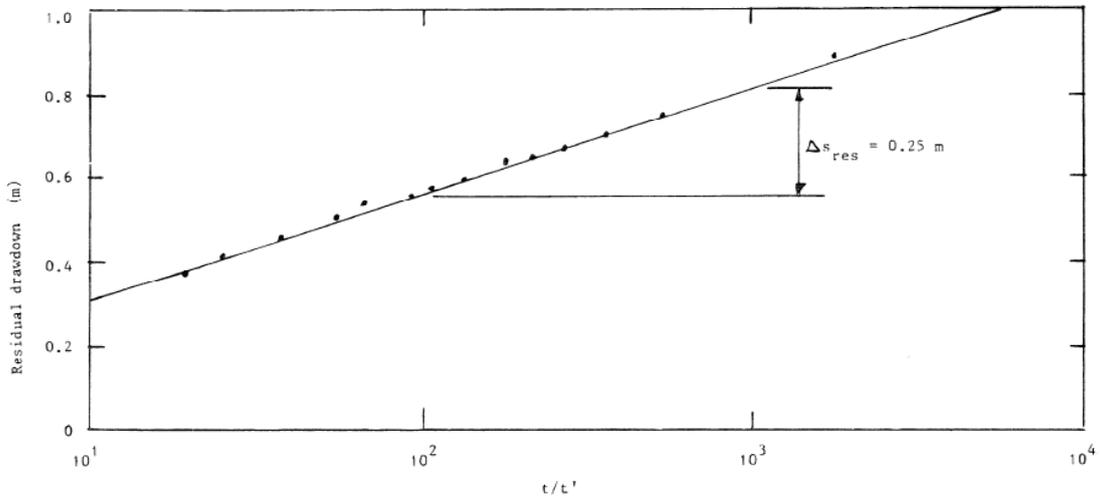
نفس افتراضات طريقة اختبار الضخ لثايس.

الطريقة:

- 1- توقع بيانات الانخفاض المتبقي (s^-) على ورقة شبة لوغاريتمية مقابل t/t' على المحور اللوغاريتمي حيث $t =$ الزمن منذ بداية الضخ، $t' =$ الزمن منذ انتهاء الضخ .
- 2- يرسم خط مستقيم خلال النقاط ويجري حساب ميله بين دورتين لوغاريتميتين (Δs^-) وتحسب قيمة معامل الانتقالية (T) من المعادلة التالية :

$$T = 2.3Q / 4\pi \Delta s^-$$

حيث $Q =$ معدل التصريف أثناء الضخ.



Application of Theis recovery method