

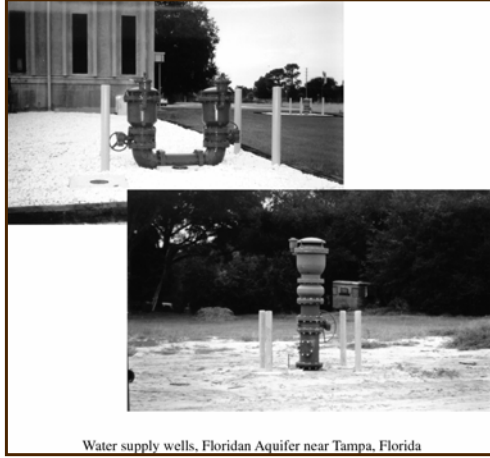
YERALTISUYU AKIMI VE KUYU HIDROLİĞİ

Irfan Yolcubal
Jeoloji Muh.Bolumu
Kocaeli Univ.

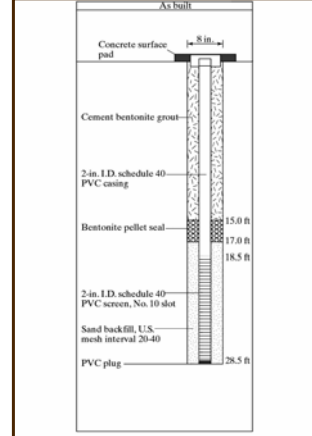
Kuyu Hidroliği

- ✦ Su kuyusu, bir akiferden ekonomik miktarlarda su çekmek için dizayn edilmiş hidrolik bir yapıdır.
- ✦ Su kuyusunun inşaatı :
 - ✦ Uygun sondaj metodunun seçimi
 - ✦ Uygun kuyu tamamlama malzemesinin seçimi
 - ✦ Kuyu ve akifer performansının analizi ve yorumlanması aşamalarından oluşmaktadır.

Su Kuyusu



Water supply wells, Floridan Aquifer near Tampa, Florida

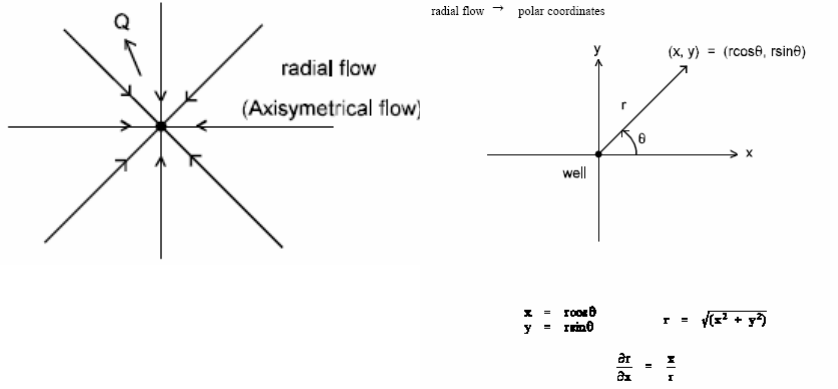


Typical well designs for unconsolidated formations

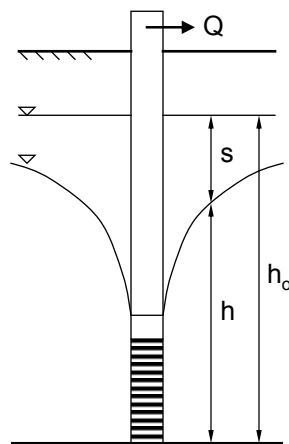
AKIFER TESTLERİ

- ✦ Akiferin T ve S' nin belirlenmesinde kullanılır. Bu veriler
 - ✦ Kuyuların yerleştirilecekleri yerlerin seçiminde ve kuyuların veriminin belirlenmesinde
 - ✦ Düşüm miktarını tahmin etmede
 - ✦ Bölgesel yeraltısuyu akımını anlamada
 - ✦ Matematiksel modellemelerde yaygın olarak kullanılır.

Polar Kordinat Sistemi

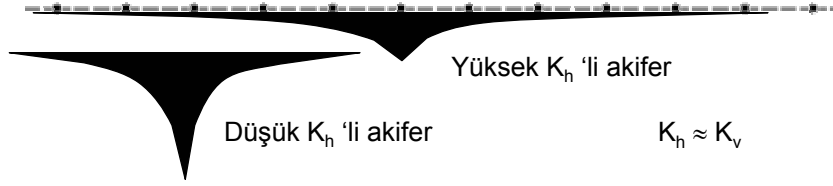


Pompaj kuyusu Terminalojisi



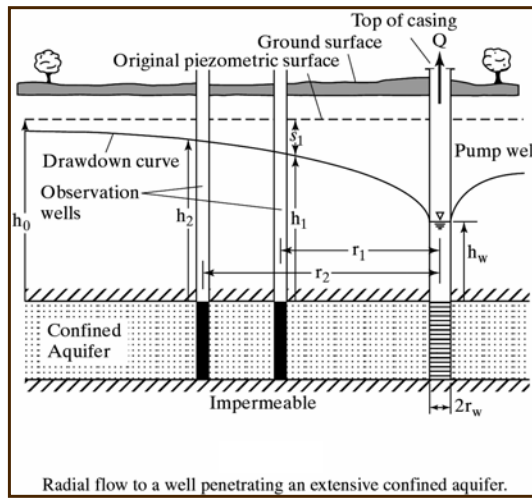
- ✦ **Statik Su Seviyesi;**(h_0)
Kuyudan su çekimi (pompaj) başlamadan önce dengedeki su seviyesidir.
- ✦ **Dinamik Su Seviyesi;**(h)
Pompaj boyunca su seviyesidir.
- ✦ **Düşüm** ($s = h_0 - h$) Dinamik ve statik su seviyesi arasındaki farktır.
- ✦ **Kuyu verimi** (Q) Birim zamanda pompalan su hacmidir.
- ✦ **Özgül Kapasite** (Q/s) Birim düşümdeki kuyu verimidir.

Düşüm Konisi



- ✦ Pompaj kuyusu merkezli düşük basınçlı bir zon oluşturulur.
- ✦ Düşüm pompaj kuyusunda maksimumdur ve kuyudan radyal olarak azalır.
- ✦ Hidrolik eğim pompaj kuyusundan uzaklaştıkça azalır ve şekil ters dönmüş bir koniye benzer, bu nedenle düşüm konisi olarak adlandırılır.
- ✦ Düşüm konisi farklı jeolojik sınırlardan kaynaklanan su girişi çekilen su miktarına eşit oluncaya kadar zaman içerisinde genişler.
- ✦ Dengedeki düşüm konisinin şekli akifer malzemesinin hidrolik iletkenliği tarafından kontrol edilir.

Dengeli rejimde kuyuya radyal akım-Basınçlı akifer



DENGELİ REJİMLERDE KUYU HİDROLİĞİ

- ✦ Polar kordinat sisteminde yeraltısuyu akım denklemleri :

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

Burada:

r = Kuyudan radyal uzaklık

Dengeli rejimde kuyuya radyal akım-Basınçlı akifer

- ✦ Basınçlı akiferde, düşüm konisi pompalama kuyusundan uzaklaştıkça değişmektedir.
- ✦ Yatay akımlar için, her r yarıçap uzaklıkta Darcy yasasından Q hesaplanabilir;

$$Q = -2\pi r b K \frac{dh}{dr}$$

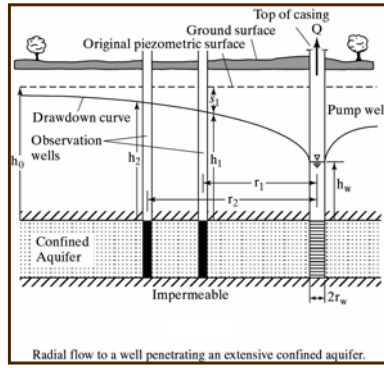
Bir kuyuya dengeli rejimde
radyal akım için

Dengeli rejimde kuyuya radyal akım-Basınçlı akifer

✳ Integralini çözersek,

Kuyuda $r = r_w$ iken $h = h_w$:

$$Q = 2\pi K b [(h - h_w) / (\ln(r/r_w))]]$$



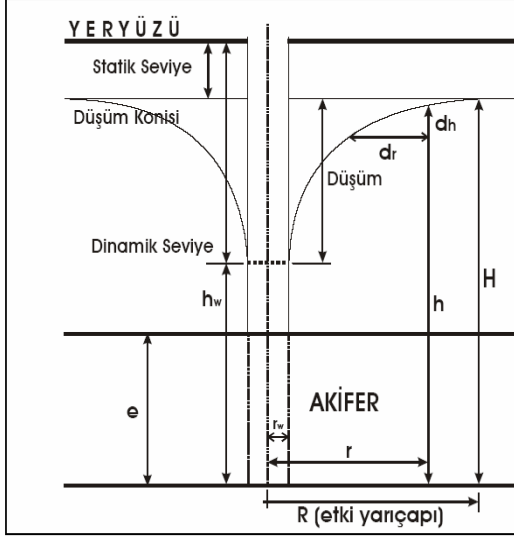
-Özetlersek, h artan r uzaklığı ile artmaktadır, maksimum hidrolik yük = h_0 .

Dengeli rejimde kuyuya radyal akım-Basınçlı akifer

✳ Kuyu yakınlarında akiferin iletkenliği (T), pompalama kuyusundan r_1 ve r_2 mesafedeki gözlem kuyularında h_1 ve h_2 hidrolik yükleri gözlemleyerek tahmin edilebilir.

$$T = Kb = Q / (2\pi(h_2 - h_1)) \ln(r_2 / r_1)$$

R = Etki yarıçapı,
 r_w = Pompalama kuyusunun yarıçapı,
 h_w = Pompalama kuyusundaki su kalınlığıdır.
H = Su seviyesinin (Statik seviye) akifer tabanından yüksekliği dir.

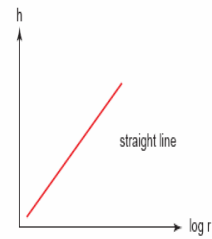
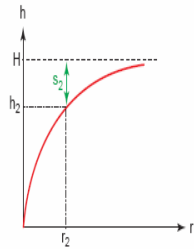


$$h(r) = h_w + \frac{Q}{2\pi T} \ln\left(\frac{r}{r_w}\right)$$

Thiem formülü

THIEM FOMÜLÜ(2 GÖZLEM KUYUSU)

$$h - h_1 = \frac{Q}{2\pi T} \left(\ln \frac{r_2}{r_1} \right)$$



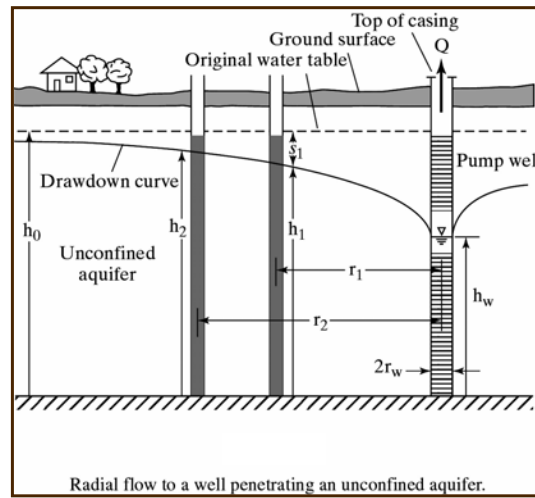
THIEM FOMÜLÜ

$$T = \frac{Q}{2\pi s_w} \ln \frac{R}{r_w}$$

Gözlem kuyuları için

$$T = \frac{Q}{2\pi(h_2 - h_1)} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

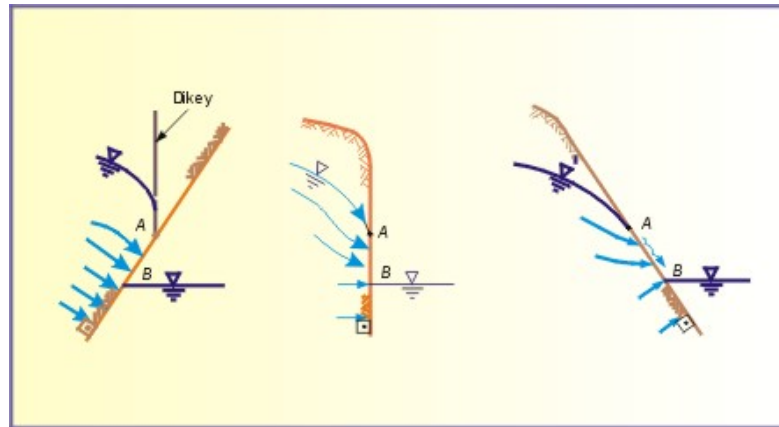
Dengeli rejimde kuyuya radyal akım-Serbest akifer



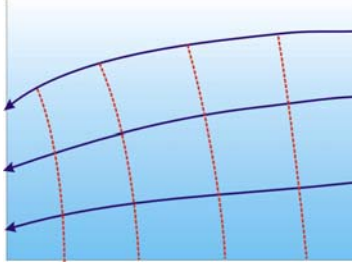
DUPUIT FORMULÜ

- Akifer homojen ve izotropdur. Bunun anlamı akiferin hidrolik özellikleri her yönde ve akifer içinde her yerde aynıdır.
- Akım laminedir.
- Yeraltı suyu akımı, su seviyesi ve akiferin geçirimsiz tabanı yatayıdır.
- Akifer sonsuz boyutludur, sonsuza kadar yayılır. Sınır koşulu yoktur.
- Akiferdeki su sıkışmazdır.
- Etki yarıçapı sabittir.
- Kuyular akiferin tüm kalınlığı boyunca açılmıştır.

Akımın Düşey Bileşene Sahip Olduğu Alanlar



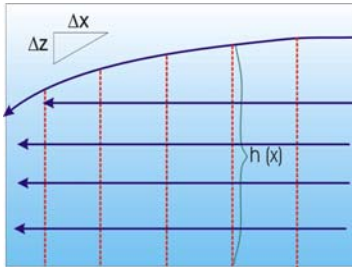
Serbest Akiferde Toplam Akım
(Dupuit Varsayımları Ve Dupuit-Forchheimer Akım Eşitliği)



$$Q = -KA \frac{dh}{dx} \quad A=W \cdot h(x)$$

$$Q = -KWh(x) \frac{dh}{dx}$$

Akiferin birim genişliğinden (W=1)
geçen toplam akım



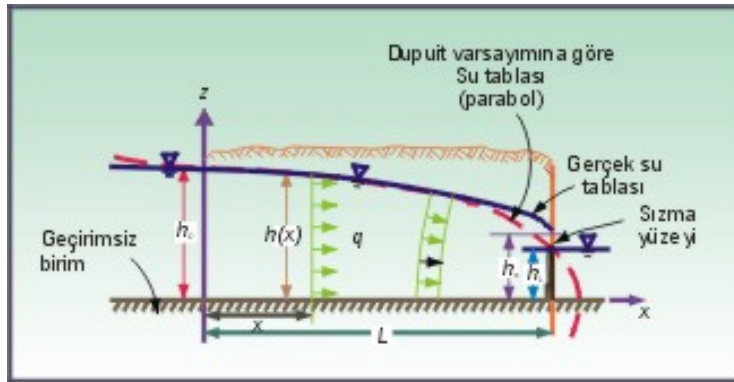
$$Q = -Kh(x) \frac{dh}{dx} \quad \int_{h_1}^{h_2} h(x) dh = -\frac{Q}{K} \int_{x_1}^{x_2} dx$$

$$\frac{h^2}{2} = -\frac{Q}{K} x$$

$$Q = -K \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L}$$

Dupuit-Forchheimer Akım Eşitliği

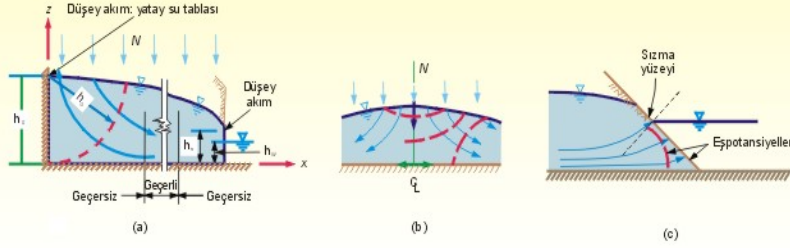
DUPUIT-FORCHHEIMER (1901) AKIM EŞİTLİĞİNİN
GEOMETRİK VE FİZİKSEL ANLAMI



$$Q = -K \frac{h_1^2 - h_2^2}{2L}$$

Parabol denklemi!!!

Dupuit Varsayımlarının Geçerliliği



$$L \geq 1.5 - 2 h$$

Dengeli rejimde kuyuya radyal akım-Serbest akifer

- ✦ Dupuit varsayımını kullanarak; homojen, izotrop ve yatay serbest akiferde darcy yasasını kullanarak kuyudan çekilecek su miktarını hesaplayabiliriz:

$$Q = -2\pi K h \frac{dh}{dr}$$

İntegralini alırsak,

$$Q = \pi K [(h_2^2 - h_1^2) / \ln(r_2 / r_1)]$$

K için çözersek,

$$K = [Q / \pi (h_2^2 - h_1^2)] \ln(r_2 / r_1)$$

Burada h_1 ve h_2 pompaj kuyusundan r_1 ve r_2 uzaklıkta bulunan yakın gözlem kuyularındaki hidrolik yük ölçümleridir.

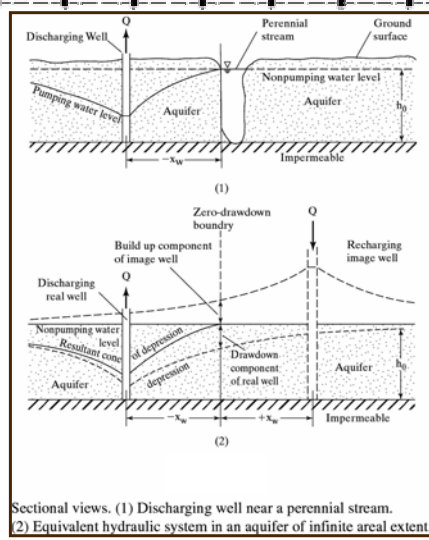
Birden fazla (Multiple) Kuyu Sistemleri İçin

- ✦ Düşüm konileri örtüşen birden fazla kuyu için süperpozisyon kuralı uygulanabilir.
 - Bir kaç pompaj kuyusunun etki alanı içerisindeki herhangi bir noktada düşüm basınçlı bir akiferde her bir kuyuda meydana gelen düşümlerin toplamına eşittir.

Birden fazla (Multiple) Kuyu Sistemleri İçin

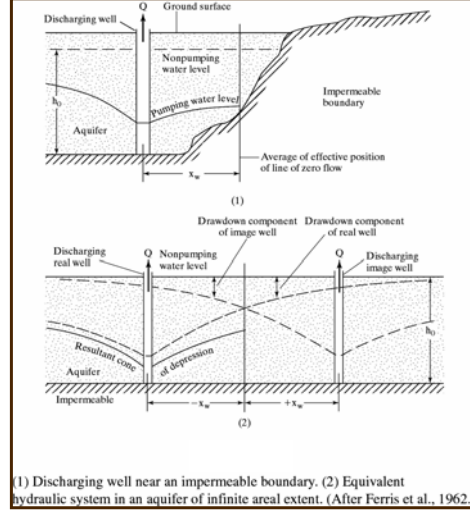
- ✦ Süperpozisyon kuralı bir sınır yakınında kuyuya olan akımlar içinde uygulanabilir

- ✦ Örnek:
 - Sabit su seviyeli bir nehir yakında pompaj



Birden fazla (Multiple) Kuyu Sistemleri İçin

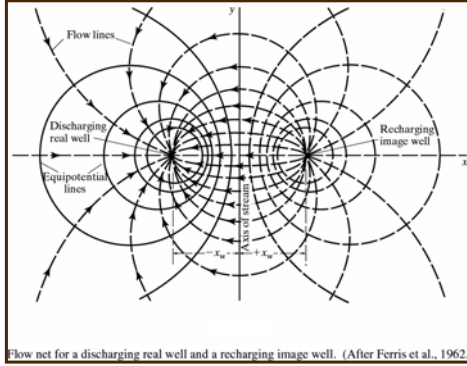
- Bir diğer örnek:
Geçirimsiz bir sınır yakınında kuyudan pompaj



Birden fazla (Multiple) Kuyu Sistemleri İçin

- Önce bahsedilen süperpozisyon kuralı ayrıca bir sınır yakınında kuyu alımları için ayrıca uygulanabilir.
- x_w uzaklıkta sınırın diğer tarafına görüntü kuyular yerleştirerek eşdeğer hidrolik koşullar temsil edilebilir.
 - Görüntü kuyuların kullanımı sınırlı bir akiferinin sınırsız bir akifere dönüşümü sağlar, öyle ki kapalı çözüm metodu kullanılabilir.

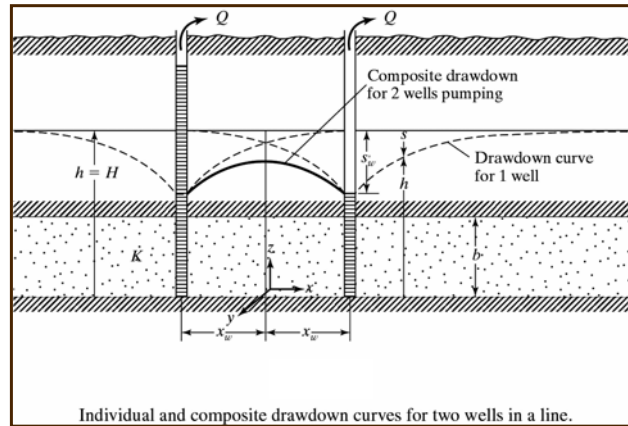
Birden fazla (Multiple) Kuyu Sistemleri İçin



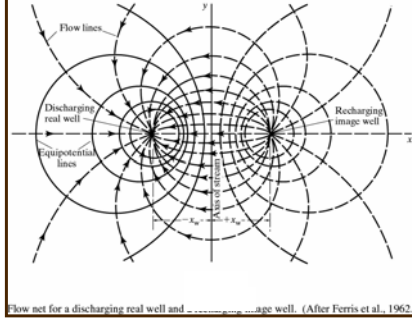
• Pompaj kuyusu ve besleyen görüntü kuyu için bir akım ağı

- İki kuyu arasında sabit hidrolik yüklü akım çizgilerini göstermektedir.

Birden fazla (Multiple) Kuyu Sistemleri İçin



Birden fazla (Multiple) Kuyu Sistemleri İçin



Dengeli rejimde herhangi bir (x,y) noktasında düşüm

$$s = (Q/4\pi T) \ln \frac{(x + x_w)^2 + (y - y_w)^2}{(x - x_w)^2 + (y - y_w)^2}$$

Burada $(\pm x_w, y_w)$ injeksiyon(besleme) ve pompaj kuyularının yerleridir

Bu durum için, $y_w = 0$.

Birden fazla (Multiple) Kuyu Sistemleri İçin

Dengeli rejimde her noktadaki (x,y) düşüm;

$$s' = (Q/4\pi T) [\ln \{(x + x_w)^2 + y^2\} - \ln \{(x - x_w)^2 + y^2\}]$$

Burada pozitif terim pompaj kuyusu için negatif terim injeksiyon kuyusu için kullanılmaktadır.

Hidrolik yük çinsinden,

$$h = (Q/4\pi T) [\ln \{(x - x_w)^2 + y^2\} - \ln \{(x + x_w)^2 + y^2\}] + H$$

Burada H pompaj önçesi hidrolik yük değeridir.

$$s' = H - h$$

DENGESİZ REJİMLERDE KUYU HİDROLİĞİ

Theis YÖNTEMİ

- ✦ Polar kordinat sisteminde yeraltısuyu akım denklemleri :

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

Burada:

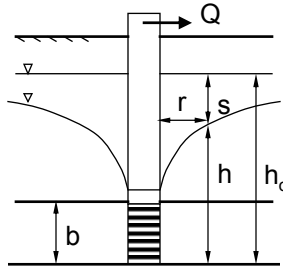
r = Kuyudan radyal uzaklık

S = Depolama katsayısı, ve

T = transmisivite

Theis Yöntemi

- ✦ Kuyu debisini sabit olduğunu varsayarak, yeraltısuyu akım denkleminin dengesiz rejimde çözümünü Theis aşağıdaki sınır koşullarını baz olarak çözmüştür:



$$h = h_0 \quad t = 0 \text{ için ve,}$$
$$h \rightarrow h_0 \quad r \rightarrow \infty \quad t \geq 0 \text{ için}$$
$$s = (Q/4\pi T) \int_0^\infty e^{-u}/u \, du$$

$$s = (Q/4\pi T)W(u) \quad \text{Theis Formülü.}$$

Burada s = düşüm

Q = kuyunun debisi,

$u = r^2 S/4Tt$

$W(u)$ = theis kuyu fonksiyonu

Theis Formülü

- ✳ Theis formülündeki integral $W(u)$ olarak yazılmaktadır, üstel integral yada kuyu fonksiyonu olarak bilinir ve aşağıdaki şekilde yazılabilir.:

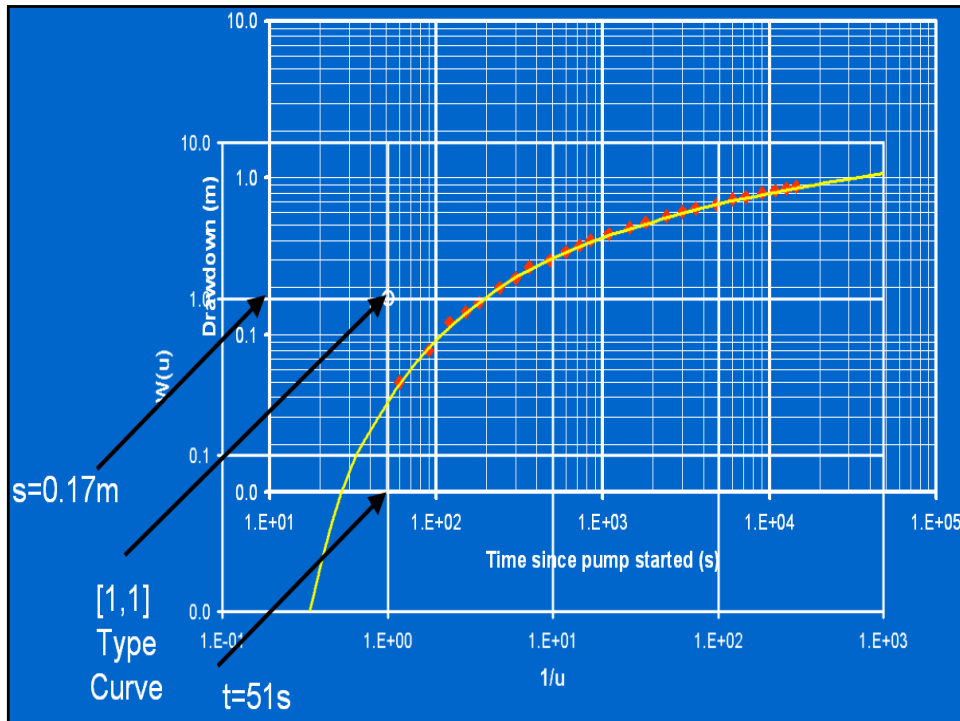
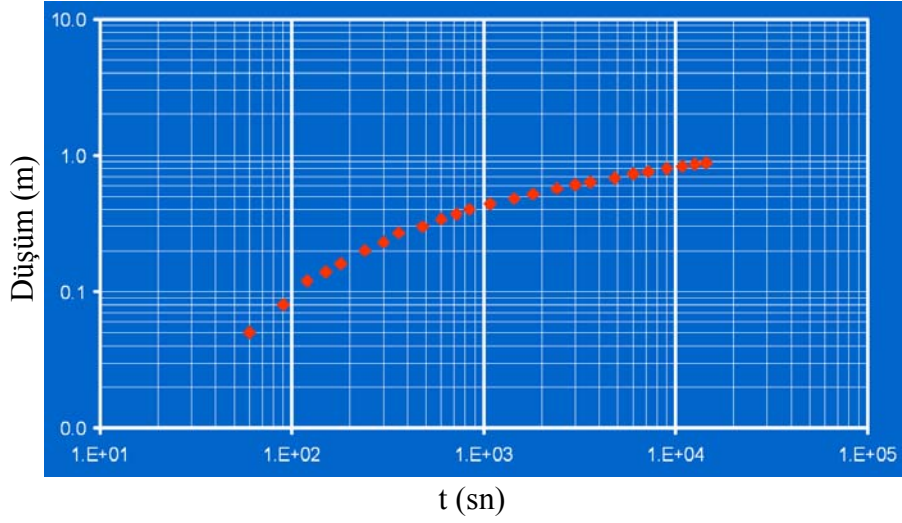
$$W(u) = -0.5772 - \ln(u) + u - \frac{u^2}{2 \cdot 2!} + \frac{u^3}{3 \cdot 3!} - \frac{u^4}{4 \cdot 4!} + \dots$$

Theis formülü akiferin tamamını kateden kuyularda yapılan pompaj testerleri aracılığıyla akifer parametrelerini (S ve T) belirlemede kullanılır.

Theis Varsayımları

1. Akifer homojen, izotrop ve sabit kalınlıkta ve yanal yönde sonsuz boyutlu
2. Piezometrik yüzey başlangıçta yatay
3. Pompaj kuyusu akiferi tüm kalınlığı boyunca kesmektedir ve debi sabittir $Q = c$
4. Akiferdeki yeraltısuyu akımı yatay yöndedir
5. Kuyu içerisinde depolama ihmal edilebilir, kuyu çapı sonsuz küçüktür
6. Yeraltısuyu, seviye düşümü ile birlikte akiferi ani olarak terkeder.

Theis Grafiği (log (s) – log (t) grafiği



Uygulamada izlenecek adımlar şunlardır:

- Bir pompalama deneyinde gözlem kuyusunda zamana (t) bağlı ölçülen düşümler (s) kullanılarak logaritmik kağıtta logt-logs grafiği hazırlanır.
- Bu grafik Theis tip eğri denilen $\log(1/u) - \log W(u)$ grafiği ile çakıştırılır.
- Bu 2 eğri çakıştırıldıktan sonra herhangi bir çakışma noktası seçilir.
- Eğride bu noktaya karşılık gelen t ve S noktaları ile tip eğrisinden $1/u$ ve $W(u)$ değerleri okunur.

$$T = (Q/4\pi s)W(u) \quad Q = 32 \text{ L/sn yada } 0.032 \text{ m}^3/\text{sn}; r = 120 \text{ m}; t = 51 \text{ sn}$$
$$S = 4Tu/r^2 \quad \text{ve } s = 0.17 \text{ m}; W(u)=1; 1/u=1$$

- $T = (0.032)/(12.56 \times 0.17) = 0.015 \text{ m}^2/\text{sn} = 1300 \text{ m}^2/\text{gün}$
- $S = (0.032 \times 51)/(3.14 \times 120 \times 120 \times 0.17) = 2.1 \times 10^{-4}$

Theis yönteminin uygulanabilmesi için yukarıdaki varsayımlar gerçekleşmelidir. Uygulamada şunlara da özenle dikkat etmek gerekir;

- Çakıştırma işlemi esnasında tip eğrisi ve arazi eğrisi eksenlerinin birbirine paralel olması şarttır.
- Theis yönteminin basınçlı akiferlerde uygulanma olanağı daha fazladır.

Theis Yönteminin Uygulanmasında Dikkat Edilecek Noktalar

Pompalama deneylerinin değerlendirilmesinde çok kullanılan Theis yöntemi uygulanırken aşağıda belirtilen noktalara dikkat edilmelidir.

- Yöntem, bütün varsayımlar gerçekleşse de, kuyu kayıpları nedeni ile küçük çaplı pompalama kuyularında uygulanmamalıdır.
- Yöntemin uygulanabilmesi ve depolama katsayısının bulunması için gözlem kuyusu gereklidir.

Ancak, bazı varsayımların gerçekleşmediği durumlarda aşağıdaki koşulların gerçekleştirilmesiyle yine de bu yöntemden yararlanılabilir.

-Yarım Kuyularda

Theis yöntemindeki, pompalama kuyusunun akiferi tam kestiği varsayımı yarım kuyularda gerçekleşmez. Fakat aşağıda belirtilen koşullar ile bu engel aşılabılır.

- Gözlem kuyusu pompalama kuyusundan yeterince uzak ve pompalama süresi yeterince uzunsa gözlem kuyusunda pompalama kuyusunun yarım kuyu etkisi gözlenmez.
- Bu etkinin gözlenmemesi için pompalama kuyusunun yarım kuyu olduğu deneylerde gözlem kuyusu pompalama kuyusundan basınçlı akiferlerde $2b$ uzaklıkta açılır. Burada b akifer kalınlığıdır.
- Deneyin ilk anlarında akifer, kalınlığı kuyu derinliğine eşit bir akifer gibi hareket eder. Ancak zamanla akiferin delinmemiş kısmından da kuyuya su akımı başlar ve düşüm-zaman grafiklerinde sapmalar görülür. Belli bir süre sonunda bu etki gözlem kuyusunda kaybolur. Bu süre basınçlı akiferlerde

$$t > bS/2K = b^2S/2T$$

-Geniş Çaplı Kuyular

Theis yönteminin kullanılması için kuyu yarıçapının çok küçük olması ve çekilen suyun akiferden alınması gerekir. Geniş çaplı kuyularda özellikle pompalama deneyinin ilk anlarında, çekilen suyun büyük bölümü, kuyu içindeki sudan karşılanır. Bu nedenle kısa süreli deneylerin değerlendirilmesinde Theis yöntemi kullanılamaz. Ancak uzun süreli deneylerde kuyu içindeki suyun çekim içindeki payı çok küçüktür ve Theis yöntemini kullanmak olanağı doğar. Geniş çaplı kuyularda Theis eşitliğinin kullanılabilmesi için ön görülen süre;

$$t > \frac{250r_w^2}{T}$$

r_w = Kuyu yarıçapı
 T = Transmisivite

Cooper-Jacob (Doğrusal zaman-düşüm)Metodu

Jacob 1946 yılından Theis yöntemi üzerinde bazı değişiklikler yaparak Akiferin hidrolik katsayılarının bulunması için yeni bir yöntem önermiştir. Küçük u değerlerinde ($u < 0,01$) Theis formülündeki kuyu fonksiyonu Aşağıdaki gibi sadeleştirilebilir.

küçük u değerleri, küçük r veya büyük t değerlerinde elde edilebilir.
 $u = r^2S/4Tt$ değerinin çok küçük olacağından ve kuyu fonksiyonunun aşağıdaki gibi sadeleştirilebilir:

$$W(u) = -0.5772 - \ln(u)$$

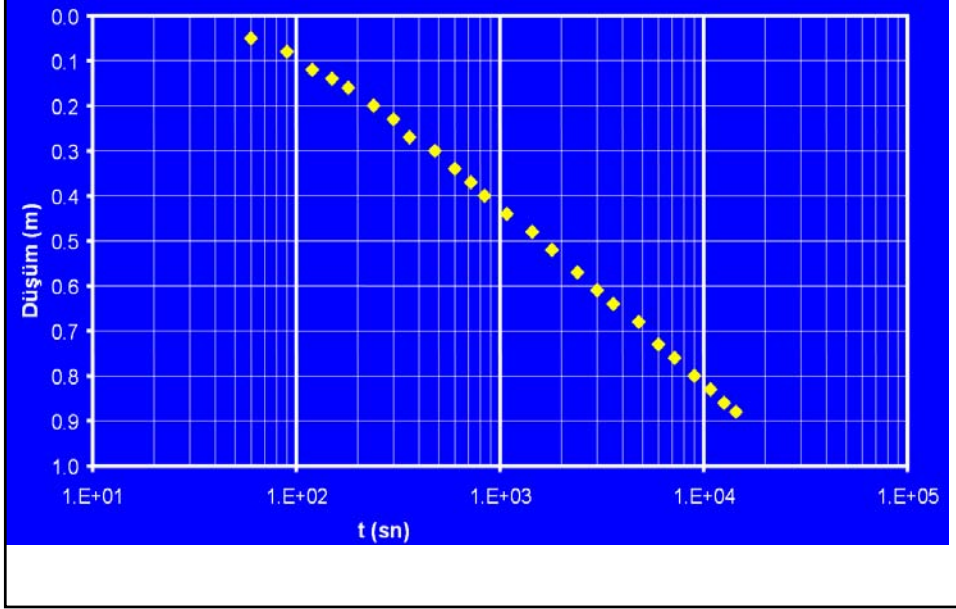
$$\text{Dolayısıyla} \quad s = (Q/4\pi T) [-0.5772 - \ln(r^2S/4Tt)]$$

$$s = h_0 - h = \frac{Q}{4\pi T} \ln\left(\frac{2.25Tt}{r^2S}\right)$$

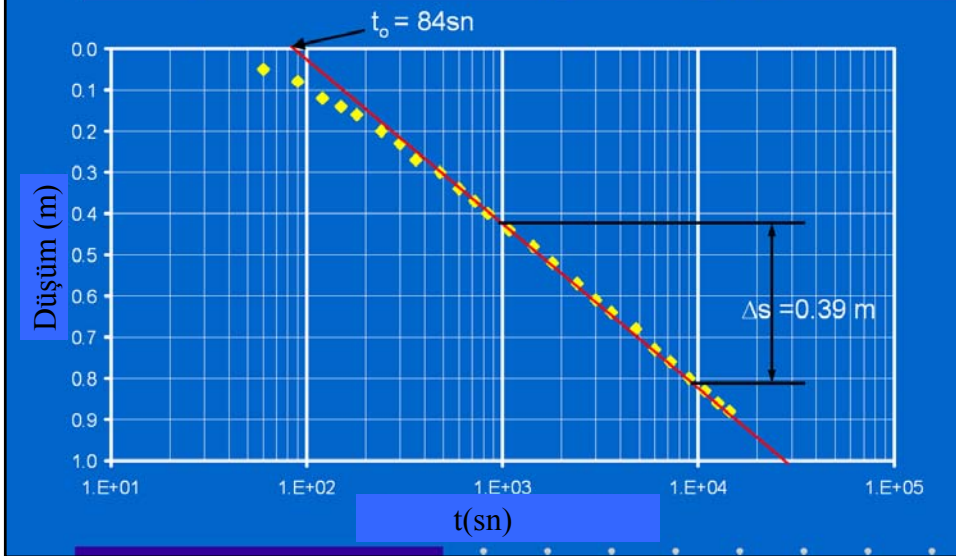
Terimleri yeniden düzelyip, log cinsine dönüştürecek olursak:

$$s = (2.3Q/4\pi T) \log[(2.25Tt)/(r^2S)]$$

Cooper-Jacob Log(t) – Düşüm grafiği



Cooper-Jacob Grafiği : Log(t) vs s

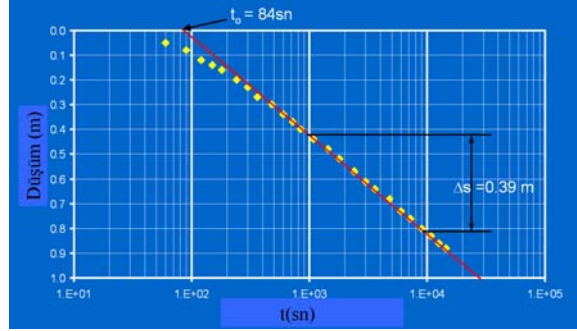


Cooper-Jacob Çözüm Metodu

Düşüm s vs. $\log t$ yandaki şekilde görüldüğü gibi doğrusal bir ilişki sergilemektedir.

Doğrunun projeksiyonu sonucu $s = 0$, burada

$t = t_0$:



$$0 = (2.3Q/4\pi T) \log[(2.25Tt_0)/(r^2S)]$$

Cooper-Jacob Çözüm Metodu

$\log(l) = 0$ olduğu için, terimleri yeniden düzenlersek

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

Birim $\log t$ için s , Δs ile yer değiştirilirse:

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

Cooper-Jacob metodu önce T için ve sonra S için çözülür ve sadece küçük u değerleri için uygulanır

$$u < 0.01$$

Cooper-Jacob Uygulaması

Şekilde verilen veri için.

$$t_0 = 84 \text{ dak ve } s = 0.39 \text{ m}$$

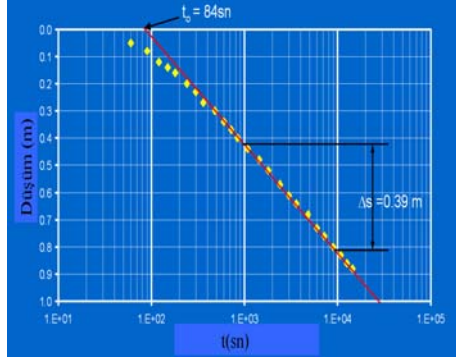
$$Q = 0,032 \text{ m}^3/\text{sn ve } r = 120 \text{ m}$$

Dolayısıyla:

$$T = 2.3Q/4\pi\Delta s = 0,015 \text{ m}^2/\text{sn}$$

$$\text{Sonuç olarak, } S = 2.25Tt_0/r^2$$

$$\text{ve } S = 1.9 \times 10^{-4}$$



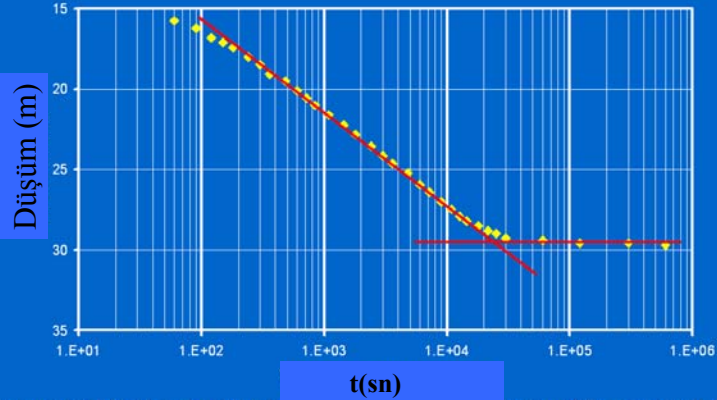
Theis-Cooper-Jacob Varsayımları

Gerçek akiferler nadiren aşağıdaki Theis-Cooper-Jacob varsayımlarına uymaktadır.

- İzotropik, homojen, uniform akifer kalınlığı
- Akiferi tam olarak kateden kuyu
- Laminar akım
- Yatay potansiyometrik yüzey
- Sınırsız akifer
- Beslenme yok

Bu varsayımlardan bazılarının yada tamamının doğru olmaması durumunda Theis ve Cooper-Jacob grafikleri ideal davranışlarından sapma gösterirler (dengesiz rejimde kuyuya radyal akım için)

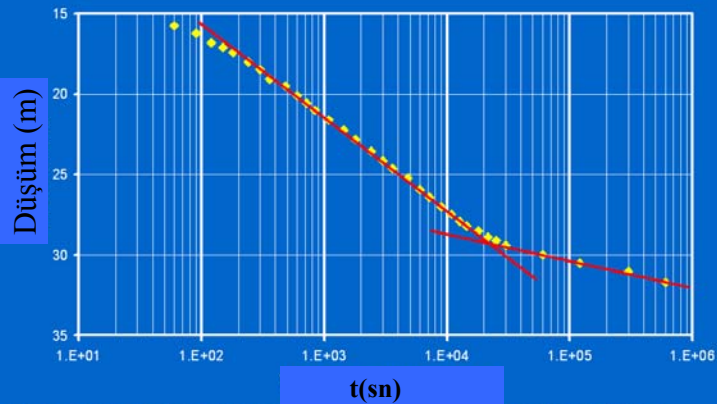
Besleme Etkisi : Besleme > Kuyu Verimi



Kuyunun etki zonu içerisindeki besleme kuyudan çekilen su miktarını karşıması durumunda $\log(t)$ -düşüm eğrisinin eğiminin düzleşmesine neden olmaktadır

Eğim ve y eksenini doğrunun kestiği nokta akiferin özelliklerinin (T,S) tahmininde kullanılabilir.

Besleme etkisi : Besleme < Kuyu Verimi

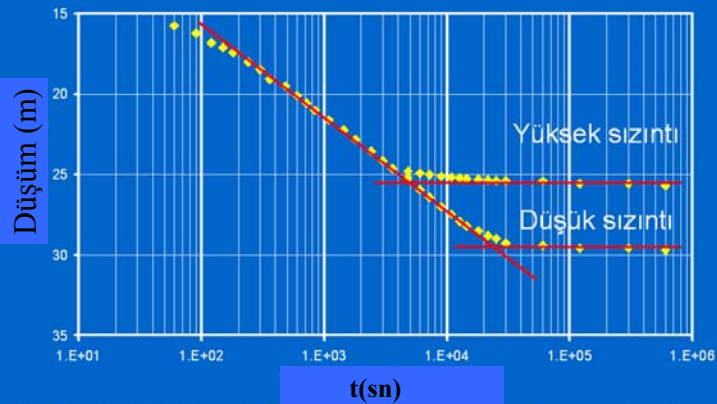


Eğer besleme kuyudan su çekimini karşılamada yetersiz ise, $\log(t)$ - düşüm eğrisi düzleşir fakat tam olarak yatay olmaz ve düşüm azalan bir oranda artmaya devam eder. T ve S eğrinin ilk kısmından elde edilebilir.

Besleme Kaynakları

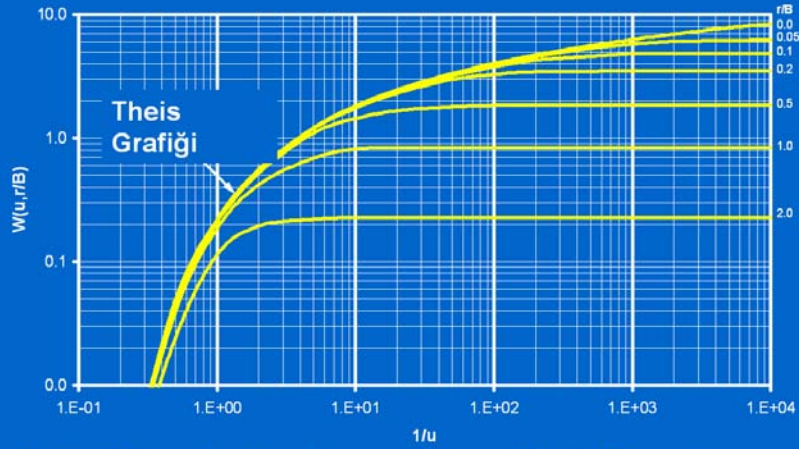
- ✦ Farklı besleme kaynakları düşüm zaman eğrisinin ideal Theis eğrisinden sapmasına neden olabilir.
- ✦ Yüzeysel sular: nehir, akarsu yada göl sınırları besleme kaynağı olabilir ve düşüm konisinin ilerlemesini durdurabilir.
- ✦ Üzerleyen akiferden olan düşey sızıntı (akitard boyuca) ayrıca besleme kaynağı olabilir.
- ✦ Düşüm konisinin geniş alanları kaplaması üzere, akitarda meydana gelen sızıntı yeterli oranda besleme sağlayabilir.

Besleme Etkisi : Sızıntı Oranı



Üzerleyen yada örten tabakalardan meydana gelen düşey yönde sızma sonucu oluşan besleme, Jacop (1946) tarafından geliştirilen analitik çözümle belirlenebilir. Bu analiz yalnızca tek bir sızdıran tabakayı varsaymaktadır.

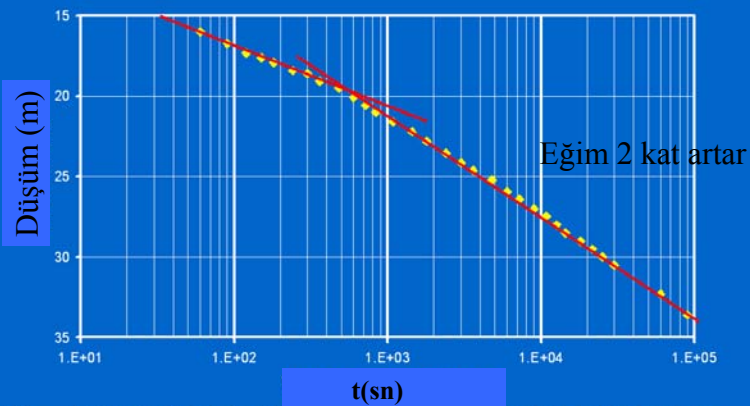
Hantush Tip Grafikler



Veriler, Theis metoduna bezer şekilde grafiklenir. Parametre

$r/B = r \left(\frac{K'_v}{b'} \right) / \left(K_r b \right)^{1/2}$ sızdırma miktarı artıçça artar.

Bariyer etkisi : Geçirimsiz Sınır

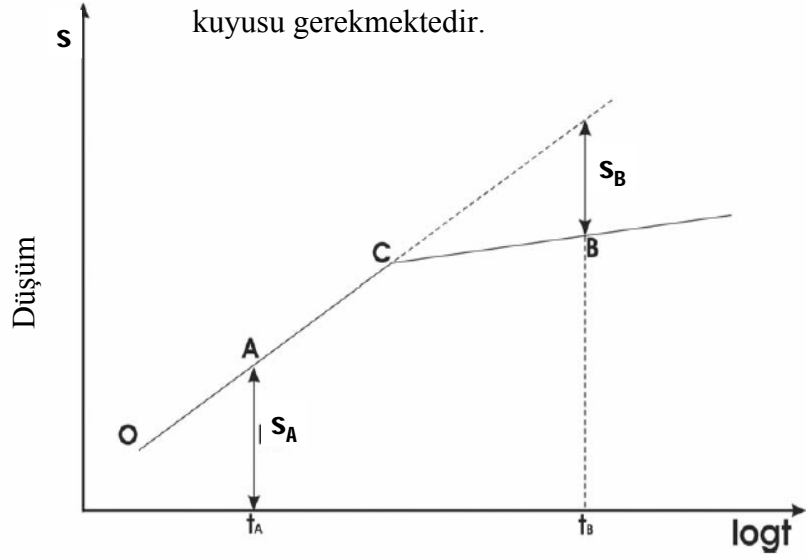


Log(t) – düşüm eğrisinin eğiminin artması akiferin bir tür bariyer sınırla çevrelediğini göstermektedir. Akiferin özellikleri (T ve S) eğrinin ilk kısmından hesaplanabilir.

$$r_B = r_A(t_B/t_A)^{1/2}$$

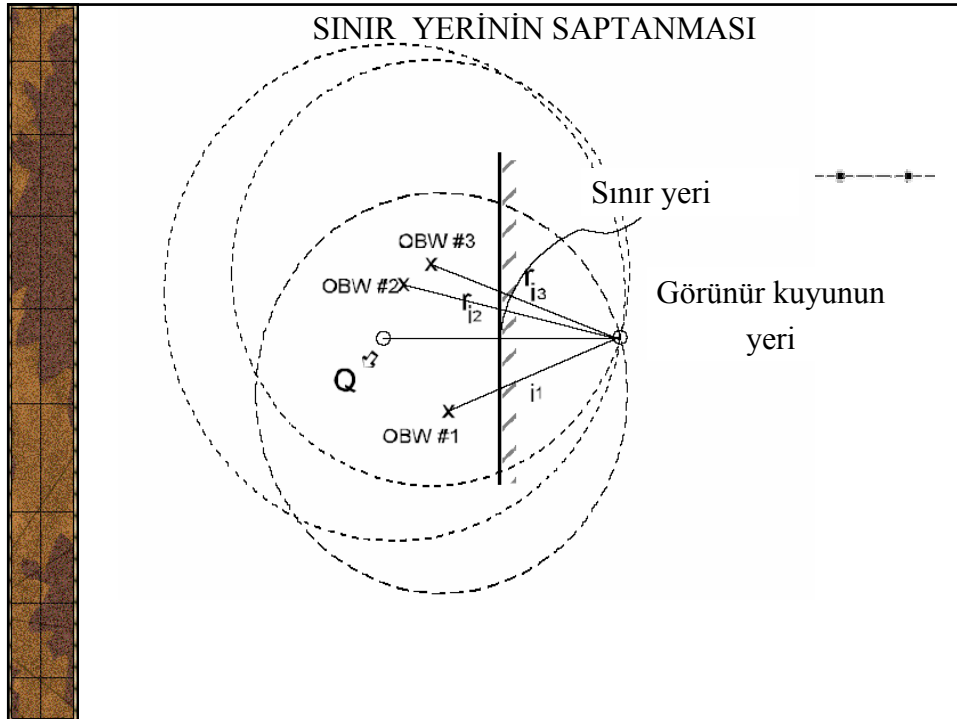
(108)

- Sınır yerinin saptanması için en az 3 gözlem kuyusu gerekmektedir.



Şekil 6.17 : Sınır şartları için yarı logaritmik çözüm

SINIR YERİNİN SAPTANMASI



Uzaklık-Düşüm Yöntemi

- ✦ Her biri farklı radyal uzaklıkta en az 3 gözlem kuyusundan aynı anda alınan düşüm verileri, $\log(r)$ - düşüm grafiklerin oluşturulmasında kullanılabilir.
- ✦ Cooper-Jacob formülü sabir bir t zamanı için:
$$s = \frac{2.3 Q}{4\pi T} \log\left(\frac{2.25Tt}{r^2 S}\right) = \frac{2.3 Q}{4\pi T} \log\left(\frac{2.25Tt}{S}\right) - \frac{4.6Q}{4\pi T} \log(r)$$
- ✦ $\log(r)$ -düşüm eğrisi akifer özelliklerinin belirlemede kullanılabilir. Bir log döngüsü için Δs ölçülür ve uzaklık eksenin kesen r_0 değeri ölçülür.

$$T = \frac{4.6Q}{4\pi\Delta s} \quad \text{ve} \quad S = \frac{2.25Tt}{R^2}$$



Akifer Özellikleri

✳ Örneğin: $t = 0.35$ gün ve $Q = 1100 \text{ m}^3/\text{gün}$

$$T = 0.366 \times 1100 / 3.8 = 106 \text{ m}^2/\text{gün}$$

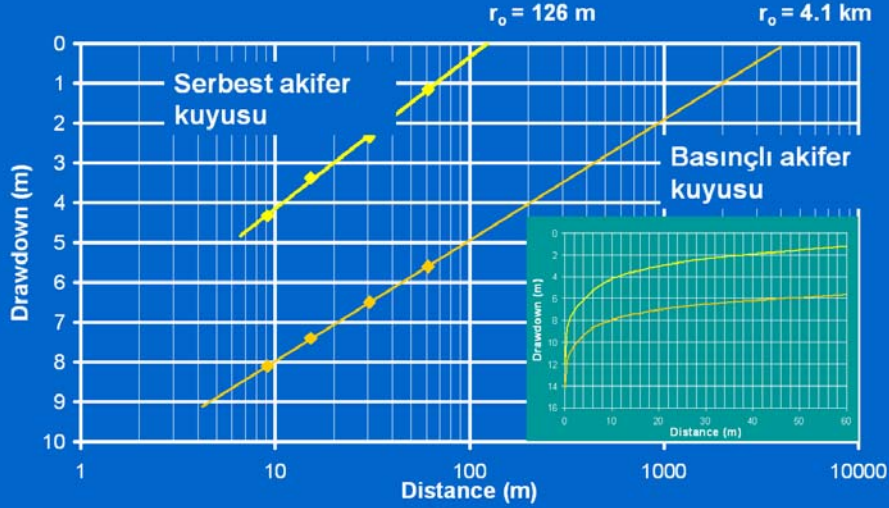
$$S = 2.25 \times 106 \times 0.35 / (126 \times 126) = 5.3 \times 10^{-3}$$

✳ Uzaklık- düşüm grafiğini çizmek için ideal olarak 4 yada 5 gözlem kuyusuna ihtiyaç vardır, T ve S değerlerinin farklı bir kaç zaman için hesaplanması tavsiye edilir.

Etki Yarıçapı

- ✳ Kuyunun etki yarıçapı uzaklık-düşüm grafiklerinden elde edilebilir.
- ✳ Etki yarıçapı kuyuların birbirisini etkilemeden aralarındaki uzaklıkların ayarlamasında kullanılabilir.
- ✳ Etki yarıçapı, akifer beslemesi ve kuyu çekimi arasındaki dengeye bağlı olduğu için, etki yarıçapı yıldan yıla değişebilir.
- ✳ Serbest akiferlerde açılmış kuyularda etki yarıçapı tipik olarak bir kaç yüz metredir.
- ✳ Basınçlı akiferlerde açılmış bir kuyu için etki yarıçapı bir kaç km ye uzanabilir.

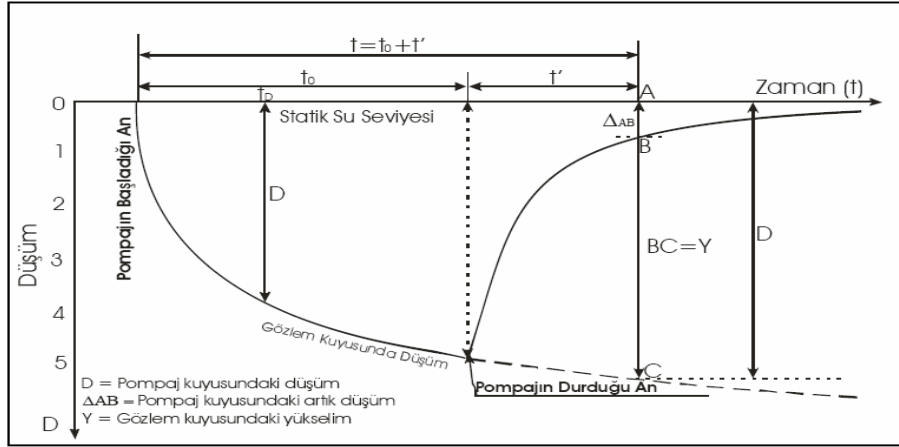
Etki yarıçapının (R) hesaplanması



Yükselim verileri

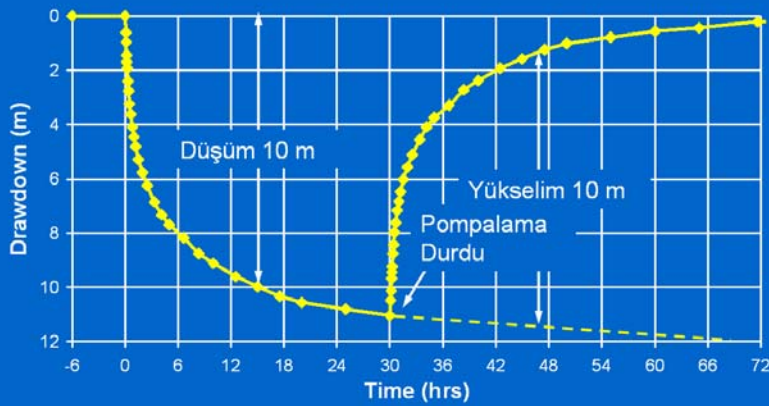
- ✦ Pompalama durduğu zaman , su seviyesi pompalamadan önceki seviyelere doğru yükselmeye başlar.
- ✦ Yükselim oranı, akifer özelliklerini belirlemede kullanılan ikinci bir metoddur.
- ✦ Yükselim hidrolik yüklerinin gözlemlenmesi kuyu test işleminin önemli bir kısmıdır.
- ✦ Bir çok kuyudan alınan gözlem kuyusu veriler pompaj kuyularından toplanan verilere göre tercih edilir.
- ✦ Pompaj kuyusu yükselim kayıtları daha az faylıdır fakat özel durumlarda akifer özelliklerini belirlemede kullanılabilir.

2. Yöntemin kullanılışı. Dinamik seviye ve zaman değerleri ile aşağıdaki çizelge hazırlanır. Burada:
 D' : Artık düşüm
 t_0 : Pompalama süresi
 t' : Pompalama bitiminden sonraki yükselme süresi ($t-t_0$)
 t : Pompalama başladıktan sonra geçen toplam zaman (t_0+t') dir.



Şekil 6.7 : Yükselim Yöntemi

Yükselim eğrileri



Yükselim eğrisi, linear ölçekte düşüm eğrisinin ters dönmüş hali olarak gözlenmektedir. Kesikli çizgi düşüm eğrisinin devamını temsil etmektedir.

Yarı logaritmik kağıda [$\log(t/t')-D'$] grafiği çizilir.

Jacob yöntemine benzer şekilde (t/t') değerleri birbirinin 10 katı olacak şekilde zaman eksenindeki iki noktaya karşılık gelen Artık düşüm (D') eksenindeki değerleri okunup bunların farkları olan ($\Delta D'$) değeri hesaplanır.

$$T = \frac{0,183Q}{\Delta D'} \quad (46)$$

eşitliği ile T katsayısı bulunur.

Artık düşüm yöntemi ile S depolama katsayısı bulunamaz.

Grafikte artık düşüm sıfır olduğunda;

$t/t' = 2$ ise akiferin teoriye uyduğu

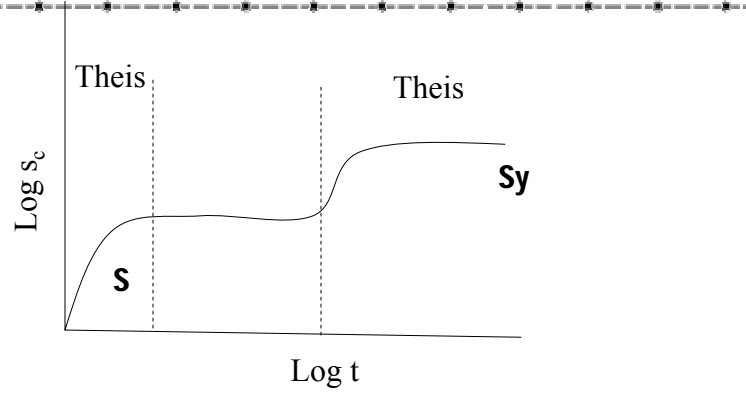
$t/t' < 2$ ise çevrede geçirimsiz (negatif) sınır koşulu (çevrede akiferi sınırlayan geçirimsiz tabaka veya fay) olduğu

$t/t' > 2$ ise çevrede geçirimli (pozitif) sınır koşulu (çevrede göl, akarsu veya geçirimli fay) olduğu anlaşılır.

Serbest Akiferler

- ✱ Çoğu analitik çözüm, izotrop ve homojen basınçlı akiferleri yada düşümün basınçlı akifer durumunda düşük olduğunu varsaymaktadır.
- ✱ Serbest akiferlerde zaman-düşüm eğrisinin birbirinden farklı 3 kısmı vardır:
 - Erken zamanlardaki zaman-düşüm grafikleri Theis grafiklerine benzer. Bu aşamada kuyuya su, basınçlı akiferde olduğu gibi akiferin elastik deposundan (bS_s) karşılanmaktadır.

DENGESİZ REJİMDE DÜŞÜM- ZAMAN EĞRİSİ SERBEST AKİFER



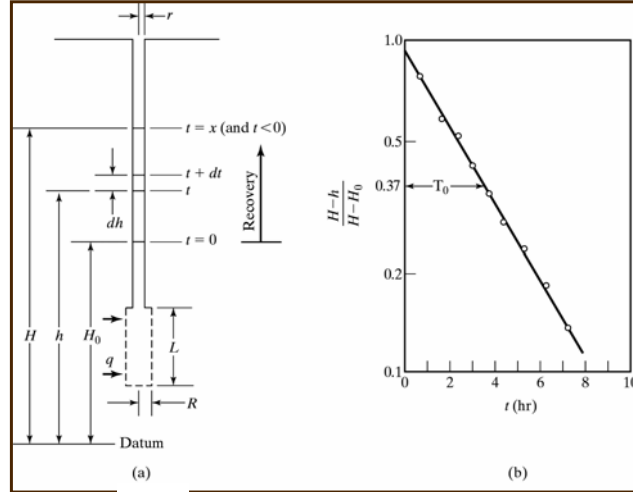
$$s_c = s - \frac{s^2}{2h_0}$$

s_c = düzeltilmiş düşüm

Slug ve Bailer Testleri

- ✳ Slug testleri akifer formasyonların hidrolik parametrelerinin belirlenmesinde tek bir kuyu kullanmaktadır
- ✳ Belirli bir süre kuyudan su çekmek yerine, belirli bir miktarda aniden kuyuya su yada hacmi belli olan bir cisim eklenir(Bailer) yada uzaklaştırılır(slug test) ve düşüm yada yükselim zaman içerisinde kuyu içerisinde zaman içerisinde gözlemlenir.
- ✳ Slug testleri sıkça tehlikeli atık alanlarında kullanılır, çünkü kirli su pompalanıp, depolanmak durumunda kalınmaz. Ayrıca, hidrolik iletkenliği düşük olan akiferler için uygun bir testir.

Hvorslev Piezometre Testi



- $(H-h)/(H-H_0)$ vs. t yarı logaritmik kağıtta grafiklersek, $t = T_0$ Burada recovery nin 0.37 e eşit olduğu bulunur.

$$\bullet K = r^2 \ln(L/R) / 2LT_0$$

- K = Hidrolik geçirgenlik,
- r = Kuyuda seviye ölçümü yapılan kısımdaki yarıçap,
- L = Filtre uzunluğu,
- R = Filtre yarıçapıdır.

Hvorslev yöntemi ile yapılacak değerlendirmede aşağıdaki noktalara dikkat edilmelidir;

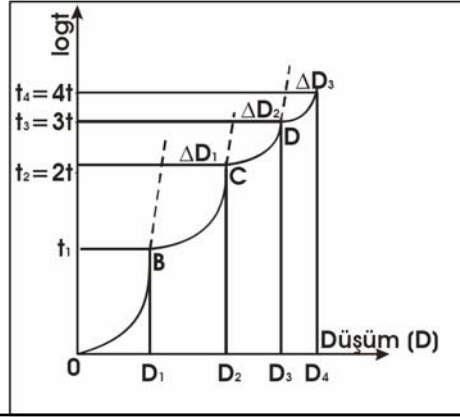
1. $L > 8R$ olmalıdır. (119)
2. Filtrelerin tıkalı olmadığından emin olunmalıdır.
3. Kuyudaki geliştirme özellikle geri yıkama yöntemi veya çalkalama pistonu kullanılarak yapılmış ise kuyunun yakın çevresinde oluşabilen doğal gelişme zonu nedeni ile bulunan geçirgenlik değeri bu zondaki değerden etkilenebileceği unutulmamalıdır.

KADEMELİ POMPALAMA DENEYLERİ

Yeraltısuyu işletme (tretim) kuyuları açıldıktan sonra önemli konulardan biri kuyu için en uygun işletme debisinin ve pompanın seçimidir. Bunun için kuyularda belli sürelerde ve belli debilerle su çekilerek kademeli pompalama deneyi yapılır. Bu deneyler ayrıca;

- Kuyuların inşa kalitesini araştırmak
- Sabit debili ve uzun süreli deney için uygun debinin seçimine yardımcı olmak
- Kuyunun etkin yarıçapını ve kuyu kayıplarını bulmak

olanağını da verdiğinden yapılması çok yararlı deneylerdir.

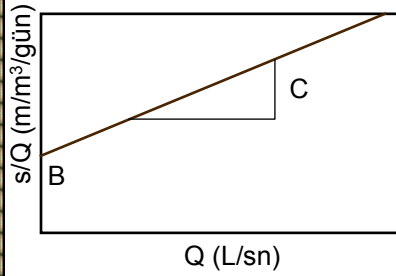


Kademili Düşüm Testi

- ✳ Kademeli düşüm testleri kuyunun randımanını belirlemek için dizayn edilmiş farklı pompaj debilerindeki (Q) testlerdir.
- ✳ Kademeli olarak artan ($Q_1 < Q_2 < Q_3 < Q_4 < Q_5$) her bir pompaj 1-2 saat (Δt) sürer ve 5-8 kademedен oluşur. Tüm test genellikle bir günde tamamlanır.
- ✳ Her kademede aynı pompaj süresinin kullanılması analizi kolaylaştırır.
- ✳ Her kademeinin sonunda, pompaj debisi ve düşüm not edilir.

Kademeli Düşüm Testi Analizi

Kademeli düşüm testleri özgül kapasitenin tersini (s/Q) pompaj debisine göre grafikleyerek analiz edilir.



✦ Grafiğin y eksenini kestiği nokta ($Q=0$) $B = W(u)/4\pi T$
Doğrunun eğimi kuyu kayıpları katsayısıdır, C.

✦ B ayrıca pompaj testlerinin Theis yada Cooper-Jacob yöntemi ile bağımsız olarak analizinden hesaplanabilir.

Q = 2700 m³/gün ve s = 33.3 m için, B = 0.012 m/m³/gün

✦ Eğer C = 4 x 10⁻⁵, CQ² = 18.2 m

✦ Kuyu randımanı
 $33.3/(33.3+18.2) = 65\%$

Kuyu Verimi

Kuyu Verimi			Nom. pompa çapı		Opt. boru çapı		Min. boru çapı	
US gpm	L/s	m ³ /d	in	mm	in	mm	in	mm
< 100	<6.4	550	4	100	6	150	5	130
< 170	<11	950	5	130	8	200	6	150
< 350	<22	1900	6	150	10	250	8	200
< 700	<44	3800	8	200	12	300	10	250
< 1000	<64	5500	10	250	14	360	12	300
< 1800	<110	9800	12	300	16	410	14	360
< 3000	<190	16000	14	360	20	510	16	410
< 3800	<240	21000	16	410	24	610	20	510
< 6000	<380	33000	20	510	30	760	24	610

- ✦ Belirli bir kuyu verimi için koruma borusunun seçimi için tablolardan yararlanılır. Kuyu veriminin ana sınırlayıcısı pompadır.
- ✦ Örneğin, eğer kuyu 4,000 m³/gün vermek üzere dizayn edilmiş ise, optimal boru çapı 360 mm ve minimum boru çapı ise 300 mm dir
- ✦ Kuyunun çapı, en az 50 mm genişlikte çimentolama yapmak için 410 to 510 mm olmak zorundadır.

Uygun Debinin Bulunması

Bir pompalama kuyusundan çekilecek uygun debinin seçiminde şu noktalara dikkat edilmelidir: Teorik olarak optimum düşüm serbest akiferlerde akifer kalınlığının 2/3' üne eşittir. Fakat uygulamada bir kuyu için uygun debi araştırılırken aşağıdaki koşulların da dikkate alınması gerekir.

- a) Kuyuya gelen yeraltısuyunun hızı, türbülanslı akımın gözlenmeye başladığı kritik hızı aşmamalıdır. Aksi halde su hızı, bir taraftan debiyi sınırlar, diğer taraftan akiferdeki ince malzemenin sıkışmasına ve kuyulardaki filtrelerin tıkanmasına neden olur. Bu nedenle akiferlerde bu hız aşılmamalıdır. Kritik hız (V_k) Sichardt tarafından;

$$V_k = \frac{K^{1/2}}{15} \quad (141)$$

olarak ifade edilmiştir. Burada;
K = Hidrolik geçirgenlik (m/s) dir.

- b) Bu durumda bir kuyudan alınacak debi (Q):

$$Q < \frac{2\pi r_w h K^{1/2}}{15} \quad (142)$$

olmalıdır. Burada; r_w = kuyu yarıçapıdır.

- c) Kuyularda suyun filtreye giriş hızının (V_f) 3 cm/s den az olması gerekir. Bu koşul öncelikle kuyu projelerinde yer alır. Uygulamadaki olası değişiklikler dikkate alınarak bu koşul işletme debileri için yeniden kontrol edilmelidir. Giriş hızının bu sınırı aşması kuyu kayplarının artırdığı gibi korozyona da neden olabilir. Buna göre;

$$V_f = \frac{Q}{2\pi r a} < 3 \text{ cm / s} \quad (143)$$

olmalıdır. Burada;
r = filtre yarıçapı,
a = filtre açıklık oranı (genellikle 0,1 alınır) dir.

Pompaj Testi Planlama

✪ Başarılı bir pompaj testi dizayn etmek için bir kaç ön hesaplamaya ihtiyaç vardır:

- ✪ Pompaj kuyusundaki maksimum düşümün tahmini
- ✪ Maksimum pompaj debisinin tahmini
- ✪ Pompaj debisini ölçmek için en iyi metodu değerlendirmek
- ✪ Gözlem kuyularındaki düşümlerin tahmini
- ✪ Test yapılmadan önce testi simule etmek
- ✪ Çekilen suyun kuyudan uzakta deşarzını planlamak
- ✪ Pompaj sırasında dengeli rejim koşullarının sağlandığından emin olmak için başlangıçtaki hidrolik yük ölçümlerinin bir kaç kez ölçülmesi
- ✪ Tüm kuyu ölçümleri referans noktasının kotunu tespit etmek

Gözlem Kuyusu Sayısı

- ✦ Gözlem kuyusu sayısı pompaj testinin amaçlarına ve mevcut kaynaklara bağlıdır.
 - ✦ Tek kuyu akifer özelliklerini (T ve S) tespit etmede yeterli olabilir, ancak tahminlerin güvenilirliği gözlem kuyusu sayısı artıkça artar.
 - ✦ Uzaklık-düşüm analizi için, pompaj kuyusundan farklı uzaklıktaki 3 gözlem kuyusu gereklidir.

Pompaj Testi Ölçümleri

- ✦ Düşüm verilerinin doğruluğu ve pompaj testlerinin analiz sonuçları aşağıdaki
- ✦ The accuracy of drawdown data and the results of subsequent analysis depends on:
 - ✦ Sabit bir pompaj debisinin sağlanması
 - ✦ Farklı radyal uzaklıklardaki ikiden fazla gözlem kuyusunda düşümün ölçümü
 - ✦ Uygun zaman aralıklarla düşüm ölçümünün alınması (1-15 dak); (her 5 dakikada bir) 15-60 dak; (her 30 dakikada) 1-5 hr; (her saat başı) 5-12 hrs; (8 saatta bir) >12 hrs
 - ✦ Barometrik basınçın, nehir seviyelerinin vb. test boyunca ölçülmesi
 - ✦ Hem alçalım ve hemde yükselim verilerinin ölçülmesi
 - ✦ Pompaj testine basınçlı akiferler için minimum 24 saat, serbest akiferler için 72 saat sabit Q ile devam etmek
 - ✦ 24 saatin üzerinde bir pompaj testinde 5 yada 6 farklı Q ile veri toplama

Pompaj Debisinin Ölçümü

- ✱ Pompajın kontrolü düşüm ve pompa rpm i değıştikçe gereklidir. Pompaj oranını sabit tutmak için sıkça debi ölçümü gereklidir.
- ✱ Düşük Q'lu pompajlarda
 - ◆ Belirli bir hacimdeki kabı doldurmak için geçen zamanın periyodik ölçümü
 - ◆ V savak – su seviyesinin ölçümü (düşük Q'larda duyarlı)
- ✱ Düşük Q'lu pompajlarda
 - ◆ impellor driven water meter - measure velocity (insensitive)
 - ◆ Dairesel kesitli savaklar- su seviyesinin ölçümü $v=(2gh)^{1/2}$
 - ◆ Dikdörtgen savaklar - su seviyesinin ölçümü
 - ◆ Parshall flume- su seviyesinin ölçümü
 - ◆ cutthroat flume– su seviyesinin ölçümü