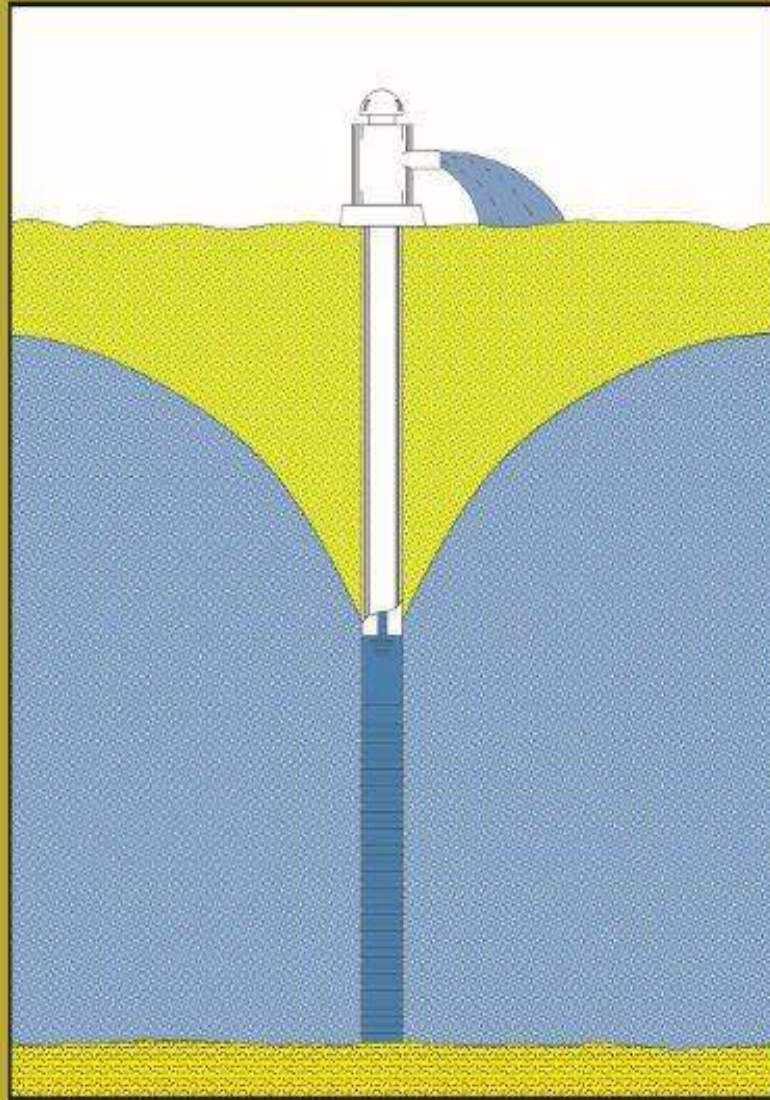


KUYU HİDROLİĞİ

Fletcher G. DRISCOLL

ÇEVİRİ

Ali Faruk ÖZTAN



KUYU HİDROLİĞİ

Fletcher G. DRISCOLL

ÇEVİRİ

Ali Faruk ÖZTAN

JEOLOJİ YÜK. MÜH.

ANKARA - 2010



“ Grountwater and Wells” written and edited by Fletcher G. Driscoll (second edition). Copyright 2010 Johnson Screens, Inc. www.johnsonscreens.com

İÇİNDEKİLER

KUYU HİDROLİĞİ	1
1. BAZI TERİMLERİN TANIMI	1
1.1. Statik Su Seviyesi (SSS)(Static Water Level)	1
1.2. Dinamik Su Seviyesi (DSS)(Pumping Water Level)	2
1.3. Düşüm (Drawdown)	2
1.4. Artık Düşüm (Residual Drawdown)	3
1.5. Kuyu Verimi (Well Yield)	3
1.6. Özgül Debi (Specific Capacity)	3
2. SIKIŞAN (CONVERGING) AKIMIN ÖZELLİĞİ	3
2.1. Etki Yarıçapı (R) (Radius of İnfluence)	7
2.2. Depolama Katsayısı (S) (Coefficient of Storage)	8
2.3. İletkenlik Katsayısı (T) (Coefficient of Transmissivity)	8
3. DÜŞÜM KONİSİ	9
4. DENGELİ HALİNDE KUYU FORMÜLLERİ	11
4.1. Akifer Geçirgenliğinin Tespiti :	15
4.2. Düşüm ve Verim Arasındaki İlişki	16
5. DENGESİZLİK HALİNDE KUYU FORMÜLLERİ	19
6. DENGESİZLİK HALİNDE DEĞİŞTİRİLMİŞ THEİS FORMÜLÜ	22
6.1. İletkenlik	23
6.2. Depolama Katsayısı	25
6.3. Zaman-Düşüm Grafiğinden Düşümün Bulunması	26
7. ZAMAN-DÜŞÜM GRAFİKLERİNE ETKİ YAPAN	
HİDROJEOLJİK ŞARTLAR	27
7.1. Beslenme	27
7.2. Akarsudan Beslenme	32
7.3. Düşey Süzülmeyle Beslenme	33
7.4. Beslenmenin Gözlem Kuyularındaki Düşüm Üzerindeki Etkisi	34
7.5. Eğimli Su Tablası veya Piyezometrik Yüzey	34
7.6. Yavaş Drenaj (Boşalım)	35
7.7. Düşey Sızma (Vertical Leakage)	36
7.8. Geçirimsiz Sınırlar	37

8. ARALIKLI POMPAJ DURUMUNDA DÜŞÜM HESAPLARI	43
9. MESAFE-DÜŞÜM GRAFİKLERİ	44
9.1. İletkenlik	45
9.2. Depolama Katsayısı	46
9.3. Mesafe-Düşüm Grafiklerinin Diğer Kullanımları	47
10. KUYU GİRİŞİMİ	52
11. KUYU RANDIMANI	54
11.1. Proje Faktörleri	56
11.2. İnşâ Faktörleri	57
12. ETKİ YARIÇAPI	57
13. BESLENME VE SINIR ETKİLERİ	58
14. YARI-LOGARİTMİK EĞRİLERİN BİRLEŞİK KULLANIMI	59
15. KISMİ PENETRASYONUN ETKİSİ	62
16. SU SEVİYESİ YÜKSELİM DEĞERLERİ	66
16.1. Yükselim Değeri Yardımıyla Depolama Katsayısının Bulunması	74
17. THEİS'İN DENGESİZLİK HALİNDE KUYU FORMÜLÜ	79

ÖNSÖZ

Su, insan hayatı için vazgeçilmez olduğu kadar bizi çevreleyen tabiat ve canlıların hayatı için de en temel ihtiyaçtır. Bu nedenle tarihteki bütün medeniyetler su kaynakları civarında kurulmuştur. Dünyadaki en büyük hacimli tatlı su kaynağı olan yeraltısuyu, doğal haliyle genellikle iyi kalitede olması ve arıtma işlemi gerektirmemesi sebebiyle düşük maliyetle kullanıma sunulma potansiyeline sahiptir. Bu nedenle son 10-20 yılda özellikle gelişen ülkelerde, nüfusun yerüstü sularının kısıtlı olduğu yerlere kaymasının doğal sonucu olarak, yeraltısuyunun kullanımında büyük bir artış olmuştur. Buna bağlı olarak gelişen yeraltısuyu kaynaklarını değerlendirme yöntemlerinde akiferin hidrolik karakteristiklerinin bilinmesi önem kazanmıştır. Bu karakteristikler arazide açılan su kuyularında yapılan pompalama deneylerinden elde edilen verilerin değerlendirilmesi ile bulunmaktadır. Değerlendirmede kullanılan yöntemlerin akiferin yapısına uygun olması, sağlıklı sonuçlar elde edilmesi açısından önemlidir. Bu nedenle kuyuları projelendirilen ve inşa edenlerin kuyu hidroliğinin esasları hakkında yeterli bir bilgi seviyesine sahip olması gerekmektedir.

Çevirisini sunduğumuz elinizdeki “**Kuyu Hidroliği**” kitabı, **Fletcher G.Dricoll** tarafından yazılmış ve **Johnson Screens Inc.** şirketince ABD’ de yayımlanmış olan “**Groundwater and Wells**”adlı kitabın ikinci baskısının “**Well Hydraulic**” bölümünün İngilizceden çevirisidir. Kitabın Kuyu Hidroliği bölümü, diğer bölümleri gibi şirketin, kuyu inşası konusunda 100 yılı aşkın bir süredir elde etmiş olduğu değerli bilgi ve tecrübelerin bir araya getirilmesi suretiyle yeraltısuyu konusundaki bilim adamlarına ve uygulayıcılara sağlam ve güvenilir bir rehber olacak şekilde hazırlanmıştır. Kitabın bu değerli bölümünün Türkçeye kazandırılması için yaptığımız başvuru üzerine, **Johnson Screens Inc ve Başkan Mr.Bill Rouse** büyük bir nezaket göstererek **Kuyu Hidroliği** bölümünün Türkçe çevirisinin Türkiye’de basım ve yayımına müsaade etmişlerdir. Kendilerine şahsım ve çalıştığım Kurumum adına kalpten teşekkürlerimi sunarım.

Bu kitap, çok spesifik bir konu olan kuyu hidroliğinin en karmaşık yönlerini bile yorucu hesaplamalara gerek kalmadan oldukça pratik bir şekilde anlatmaktadır. Kuyu hidroliği esaslarının doğru uygulanması suretiyle bir hidrolik yapı olan işletme kuyularının, proje ve inşaatının sondaj tekniğine uygun yapılması halinde, su taşıyan formasyondan suyun ekonomik ve emniyetli bir şekilde alınması mümkün olabilecektir.

Kuyu Hidroliği kitabının bu konuda çalışanlara ve uygulayıcılara faydalı olmasını diliyorum.

Ali Faruk ÖZTAN

KUYU HİDROLİĞİ

Gereği gibi projelendirilen ve inşa edilen bir kuyu, su taşıyan bir formasyondan ekonomik olarak su alınmasını sağlayan hidrolik bir yapıdır. Başarılı bir kuyu projesi hazırlamak ve inşa edebilmek için aşağıdaki hususların yerine getirilmesi gerekir:

- 1- Kuyunun uzun ömürlü ve verimli olmasını sağlamak için en uygun malzemeleri kullanmak.
- 2- Hidrojeolojik şartlardan maksimum faydayı sağlayacak sondaj ve kuyu inşa tekniklerini kullanmak.
- 3- Kuyunun hidrolik özelliklerini ve akifer verimini belirlerken hidrolik kuralları pratik bir şekilde uygulamak.

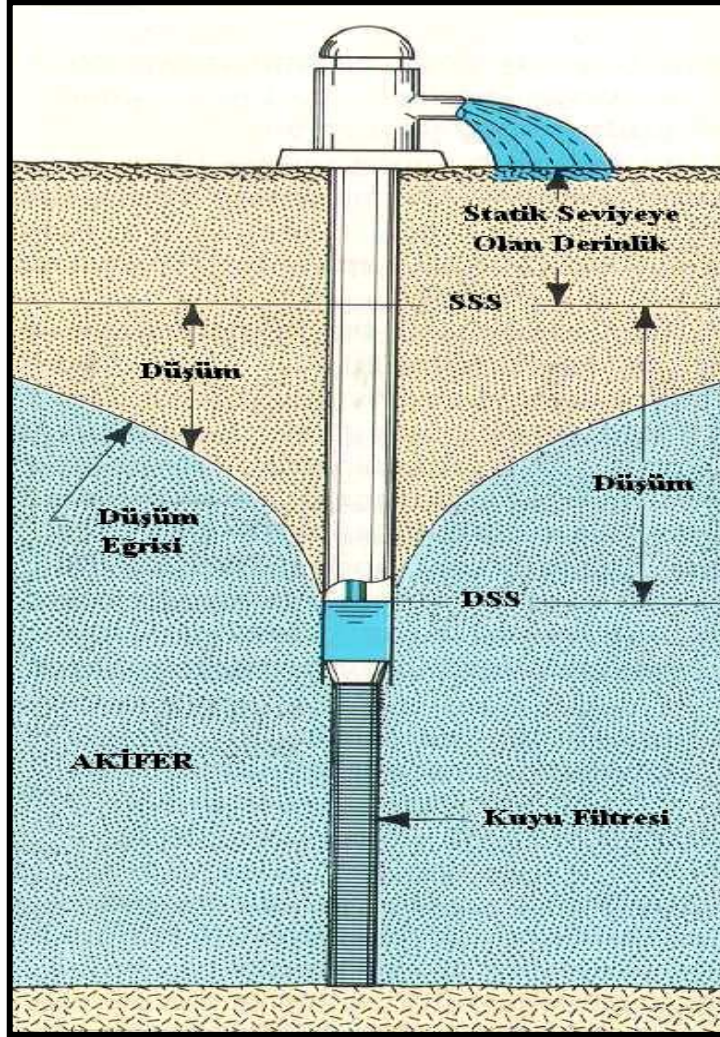
Kuyuları projelendiren ve inşa edenlerin, kuyu hidroliğinin esaslarını iyi bilmeleri gerekir. Kuyu hidroliğinin bazı hususları oldukça karmaşık olabilir; bu yüzden konuyu tüm yönleriyle bilen mühendis sayısı çok azdır. Yeraltı şartlarının karmaşıklığı sebebiyle, sıradan bir kuyunun projelendirilmesi ve inşasında bile ancak temel hidrolik teoriler başarıyla uygulanabilir. Bu temel metotlar, çoğu hallerde, yorucu hesaplamalara gerek kalmaksızın doğru sonuçlar elde etmeyi sağlarlar. Bu temel esaslar ve pratik metotlar detaylı olarak incelenecektir.

1. BAZI TERİMLERİN TANIMI

Tanımlar aşağıda verilmiş olup birkaçı Şekil 1 de ayrıca açıklanmıştır.

1.1. Statik Su Seviyesi (SSS)(Static Water Level): Bir kuyudan veya akiferden pompaj veya serbest akış yoluyla su alınmadığında suyun sabit kaldığı seviyedir. Bu genellikle, yeryüzünden (veya zemin yüzeyi yakınındaki bir ölçüm noktasından) kuyudaki su seviyesine olan mesafedir. Örneğin, bir kuyudaki statik seviye 4,6 m denilince bu, pompaj yapılmadığında, su seviyesi 4,6 m aşağıda sabit durumda demektir. Artezyen yapan (akan) bir kuyunun statik seviyesi, suyun zeminin üstündeki yüksekliği cinsinden ifade edilir. Artezyen akışı durdurulduğunda veya zemin seviyesinde tutulduğunda oluşan basınca artezyen basıncı denir. Eğer kuyudaki su, zemin seviyesinde 1 kg/cm² bir basınca sahipse, bu

basınç sebebiyle su, zemin yüzeyinden yukarıya doğru çıkan bir boruda 10 m yükselecek demektir.



Şekil.1: Kuyu verimi ile ilgili terimler

1.2. Dinamik Su Seviyesi (DSS)(Pumping Water Level): Pompaj belli bir debiyle devam ederken, suyun kuyuda sabit kaldığı seviyedir. Artezyen yapan bir kuyuda ise kuyudan fişkırان suyun zemin üstündeki yüksekliğidir.

1.3. Düşüm (Drawdown) : Statik su seviyesi (su tablası) veya piyezometrik seviye ile dinamik su seviyesi arasındaki metre cinsinden uzaklıktır. Bu uzaklık, kuyudan çekilmekte olan suyun debisine bağlı olarak, suyu akiferden kuyu içine akmaya zorlayan su yükünü (basınç) ifade eder. Serbest akifer durumunda su yükü, düşüm eğrisinin bir noktasındaki

gerçek su seviyesi olarak tanımlanır. Basınçlı akifer durumunda ise düşüm eğrisi, o noktadaki basınç yükünü ifade eder. Bu iki tip düşümü birbirinden ayırt etmek için kitaptaki şekillerde su tablası, serbest akifer durumunda sürekli çizgi ile basınçlı akifer durumunda ise kesikli çizgi ile gösterilmiştir.

1.4. Artık Düşüm (Residual Drawdown): Pompajın durdurulmasından sonra su seviyesi yükselerek pompaj öncesinde ölçülmüş olan statik seviyeye yaklaşır. Su seviyesinin yükselimi sırasında, su seviyesi ile başlangıçtaki su seviyesi arasındaki mesafeye “artık düşüm” adı verilir.

1.5. Kuyu Verimi (Well Yield): Bir kuyudan pompajla veya serbest akışla (artezyen) birim zamanda alınan su hacmidir. Genellikle $m^3/gün$ veya l/s olarak ifade edilir.

1.6. Özgül Debi (Specific Capacity) : Bir kuyunun özgül debisi, birim düşüme karşılık gelen verimidir. Belli bir süre, genellikle 24 saatlik pompaj sonunda, 1 m'lik düşüme karşılık 1 günde çekilen m^3 cinsinden su miktarı ile ifade edilir. Aynı anda ölçülmüş olmak şartı ile kuyu debisinin düşüme bölünmesiyle özgül debi bulunur. Örneğin, pompaj debisi $5000 m^3/gün$, düşüm 10 m ise ölçümlerin yapıldığı andaki özgül debi $500 m^3/gün/m$ dir. Genellikle özgül debi pompaj süresine bağlı olarak değişir; pompaj süresi artarken özgül debi azalır. Aynı şekilde, kuyuda boşalım miktarı arttıkça özgül debi azalır.

Statik seviye, dinamik seviye, düşüm ve artık düşüm terimleri pompaj kuyusuna olduğu kadar yakındaki diğer kuyulara ve gözlem kuyularına da uygulanır. Örneğin, pompaj kuyusundan 24 m uzaklıkta bulunan bir gözlem kuyusunda pompaj sonucunda su seviyesi 1 m azalmışsa, buna o kuyunun düşümü denir.

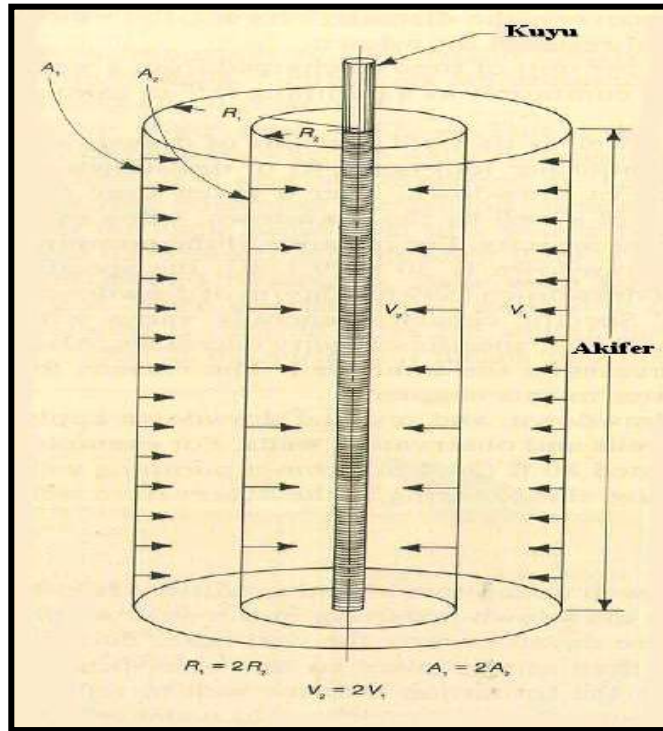
2. SIKIŞAN (CONVERGING) AKIMIN ÖZELLİĞİ

Serbest akifer ortamındaki bir pompaj kuyusunun civarındaki su seviyesi, pompaj başladığında düşmeye başlar ve maksimum düşü, pompaj kuyusu içinde meydana gelir. Pompa suyu çektikçe, kuyu kesitinin çevresinde düşük basınçlı bir alan oluşur. Çünkü pompaj yapılan bir kuyudaki su seviyesi, kuyunun çevresindeki su taşıyan formasyonun herhangi bir noktasındaki su seviyesinden daha aşağıdadır; bu yüzden su, kuyuya doğru hareket ederek pompayla çekilen suyun yerini alır. Suyu kuyuya sevk eden basınca su yükü denir. Bu, bir kuyu içindeki su seviyesi ile kuyunun dışında herhangi bir noktadaki su seviyesi arasındaki

farktır. Kuyudan belli bir uzaklıkta su seviyesinin artık etkilenmediği bir nokta elde edilir. Bu uzaklık, hidrojeolojik özelliklerden dolayı her kuyu için değişken olur; hatta pompaj debisine, pompaj süresine bağlı olarak aynı kuyuda bile değişebilir.

Basınçlı akiferlerde, akiferin doymun kalınlığı genellikle pompaj sırasında değişmez. Buna karşılık akiferde hidrostatik basınç azalır, maksimum basınç düşümü ise kuyuda olur. Basınç düşümü olayı serbest akiferlerden su çekme olayının bir benzeridir.

Pompaj sırasında su her yönden kuyuya doğru akar. Su, kuyuya yaklaştıkça alanları gittikçe küçülen hayâli silindirik kesitler içerisinde geçer. Bu yüzden su kuyuya yaklaşırken hızı da artar. Şekil 2 deki A_1 , kuyu merkezinden 30,5 m uzaklıkta bulunan silindirik bir yüzey alanını; A_2 ise 15,2 m uzaklıktaki benzer başka bir yüzey alanını temsil eder. A_1, A_2 'nin iki katı olduğu ve her iki silindirden kuyuya doğru aynı miktarda su aktığı için V_2 hızının V_1 hızının iki katı olması gerekir.



Şekil.2 Akım kuyuya doğru yaklaştıkça alanları gittikçe küçülen hayâli silindirik kesitler içerisinde geçer.

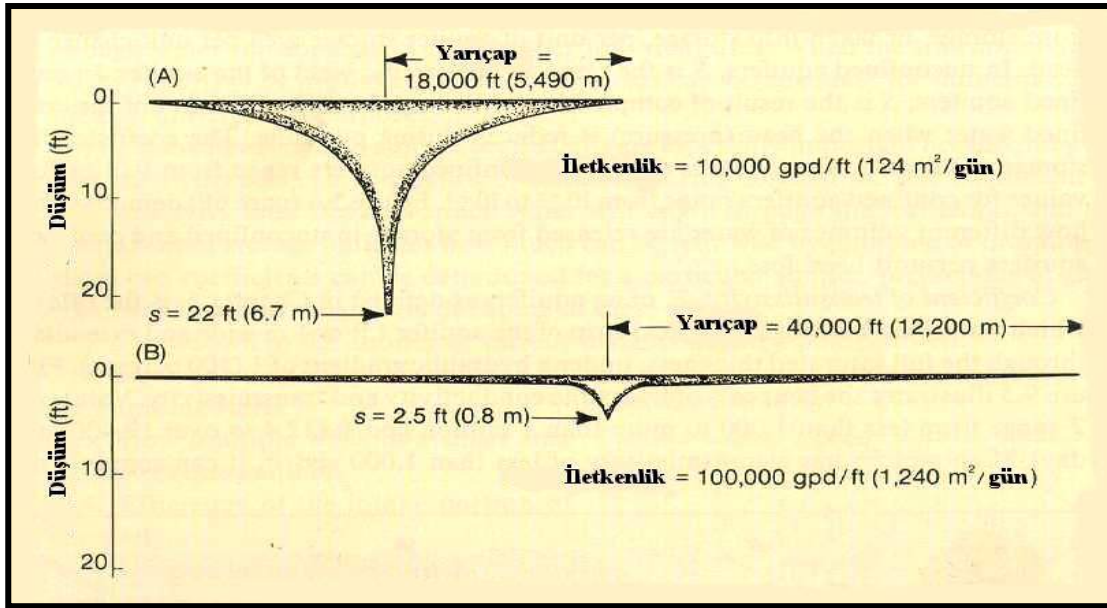
Darcy yasası, gözenekli bir ortamdaki akım hızının, hidrolik eğimle doğru orantılı olarak değiştiğini ifade eder. Hidrolik eğim arttıkça kuyuya yaklaşan akım hızı da artar. Neticede alçalan su yüzeyinin eğimi kuyuya yaklaştıkça dikleşir. Bu yüzeyin şekli bir koniye benzer ve düşüm konisi

olarak adlandırılır. Pompaja başlandığında bütün kuyuların etrafında birer düşüm konisi oluşur. Pompaj debisine, pompaj süresine, akiferin özelliklerine, su tablasının eğimine, beslenmesine bağlı olarak, her koni boyut ve şekil yönünden farklılık gösterir.

Şekil 3’de bir akiferin iletkenliğinin koninin şeklini nasıl değiştirdiğini gösteren iki farklı tip düşüm konisine örnek verilmiştir. İletkenliği düşük bir formasyonda koninin yanları dik ve çapı küçük olur.

Yüksek iletkenliğe sahip olan formasyondaki düşüm konisinin yanları yatık, çapı ise geniştir. Konilerin şeklindeki bu farklılığın açıklaması şöyledir: Aynı miktar suyun, iletkenliği düşük bir formasyondan kuyuya ulaşabilmesi için, iletkenliği yüksek formasyonunkinden daha büyük bir hidrolik yüke ihtiyaç vardır.

Şekil 4, pompaj kuyusundan çeşitli uzaklıklarda açılmış olan gözlem kuyularında suyun bulunabileceği seviyeleri göstermektedir.



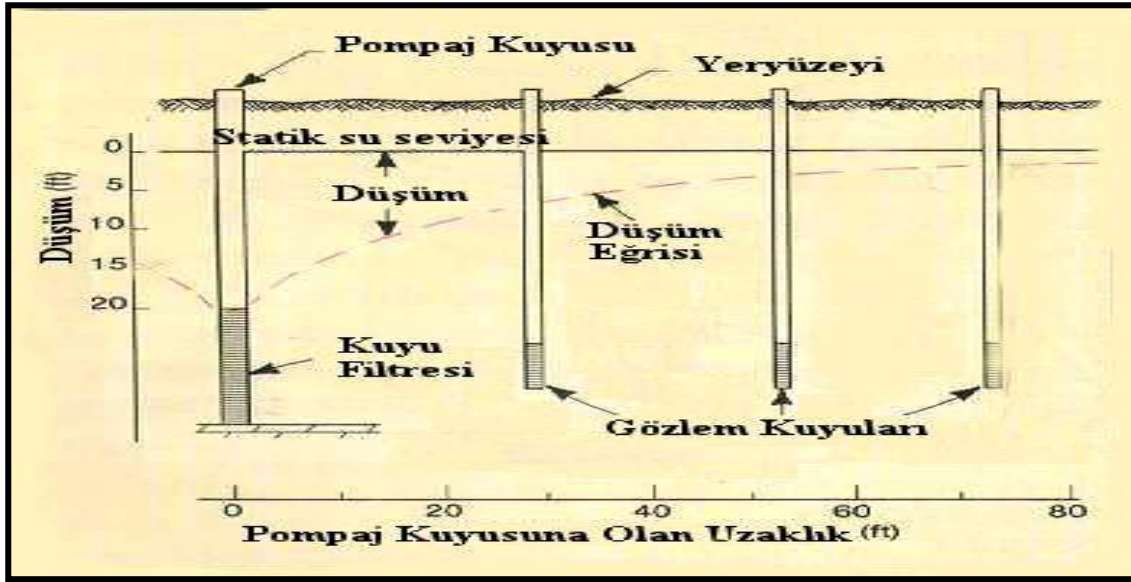
Şekil.3 Farklı iletkenlik katsayılarının düşüm konisinin şekli, derinliği ve uzanımı üzerindeki etkisi. Pompaj debisi ve diğer faktörler aynıdır.

Şekilde eğrinin sadece bir yarısı gösterilmiş olup diğer yarısı bunun bir benzeridir. Bu eğri, düşüm eğrisi olarak adlandırılır ve düşüm konisinin alt sınırını gösterir. Bu, serbest bir akiferde formasyonun doygun olduğu seviyeyi, basınçlı akiferde ise hidrostatik basıncı temsil

eder. Belli bir noktadaki düşüm, eğriyle temsil edilen su seviyesi ile statik su seviyesi arasındaki farktır.

Yük kaybı (basınç kaybı) akiferdeki bir noktadan diğer bir noktaya akım sağlamak için gerekli olan yük (basınç) azalmasını ifade eder. Bu, akıma karşı koyan direnci yenebilmek için gerekli olan kuvvetin bir ölçüsüdür.

Şekil 4’de gösterilen dinamik su seviye eğrisi boyunca bir noktadan diğerine olan yük kayıpları, bu noktalar arasındaki düşüm farklarını ifade etmektedir.



Şekil.4 Pompaj kuyusundan uzaklaştıkça düşümdeki değişimleri gösteren düşüm konisinin bir tarafı

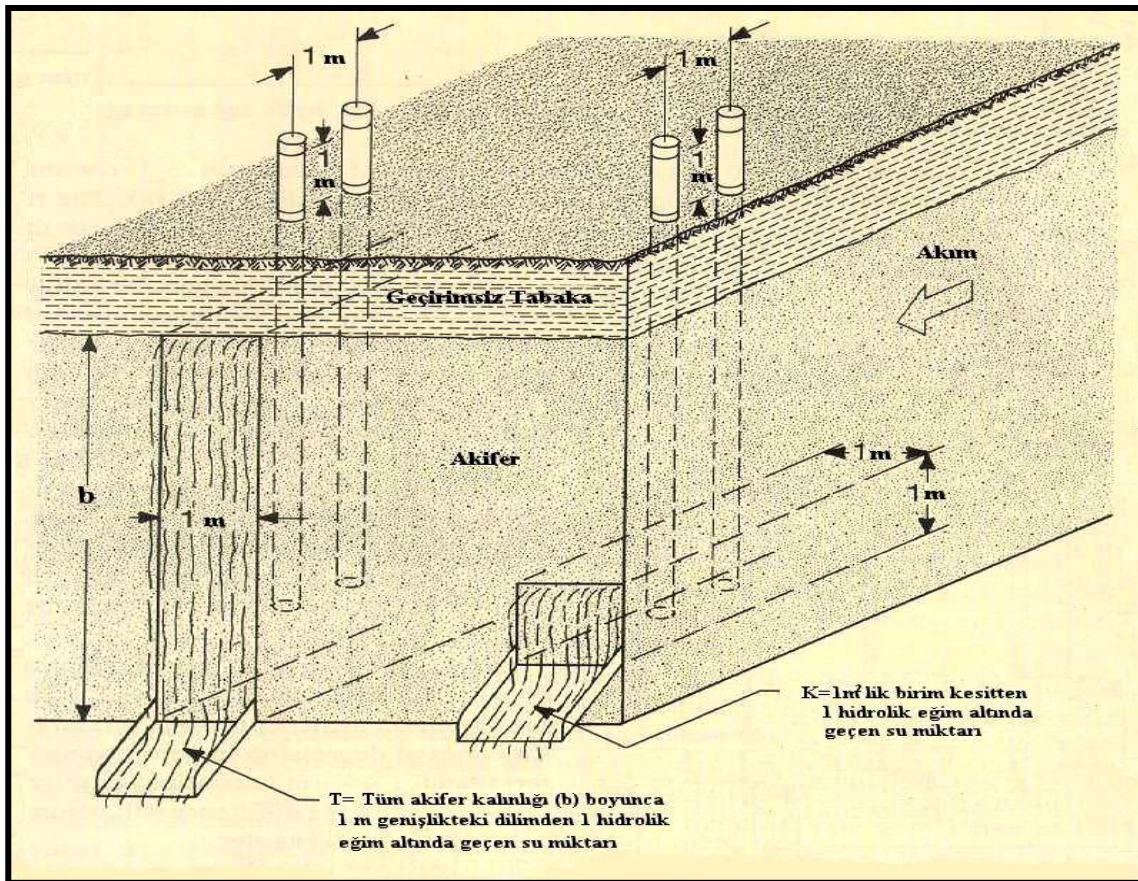
Örneğin, bir kuyuda $3270 \text{ m}^3/\text{gün}$ lük sabit bir debiyile pompaj yapılmakta olsun. Kuyudan $8,5 \text{ m}$ 'lik uzaklıkta düşüm yaklaşık $1,5 \text{ m}$ dir.

Bu durum, düşüm konisinin dış sınırından kuyunun $8,5 \text{ m}$ uzağındaki noktaya kadar $3270 \text{ m}^3/\text{gün}$ debideki suyu formasyon içinde hareket ettirmek için $1,5 \text{ m}$ 'lik bir yüke gerek olduğunu gösterir. Aynı hacimdeki suyu, kuyunun $8,5 \text{ m}$ uzağından $4,3 \text{ m}$ uzağına sevk etmek için ilave $1,5 \text{ m}$ yüke ihtiyaç vardır. Bu noktada düşüm yaklaşık 3 m dir. Toplam düşümün veya yük kaybının kalanı; suyu, formasyonun kuyu etrafındaki son $4,3 \text{ m}$ si içine itmek ve

kuyu filtresinden geçirmek için kullanılır. Kuyudaki toplam düşüm 6,1 m olup bu, 3270 m³/gün debideki suyu (kuyunun düşüm konisi içindeki) akiferden ve kuyu filtresinden geçirmek için gereken (basınç) yüküdür. Bu örnek, sondaj kuyusu çevresinde akım sıkıştığında, belli bir yatay mesafe için daha fazla su yüküne gerek olduğunu gösterir. Suyun içinde hareket ettiği alan, hız arttıkça daralmakta ve neticede kuyuya giden akım yolu boyunca yük kaybı artmaktadır.

Yeraltı suyu akımı ile ilgili formüllerin çıkarılmasından önce üç önemli terimin tanımlanmasına ihtiyaç vardır. Bu terimlerin her biri, ancak pompajla tayin edilebilen akifer özelliklerinden birini temsil eder.

2.1. Etki Yarıçapı (R) (Radius of Influence): Bir kuyunun merkezinden düşüm konisinin sınırına kadar olan yatay mesafedir. Basıncılı akiferlerdeki düşüm konisi, serbest akiferlerin düşüm konisinden daha geniştir.



Şekil.5 Geçirgenlik ve iletkenlik katsayılarının resimle açıklanması. Geçirgenliğin akifer kalınlığı ile çarpılmasıyla iletkenlik katsayısı bulunur.

2.2. Depolama Katsayısı (S) (Coefficient of Storage): Su yükündeki birim değişmeye karşılık birim akifer deposuna giren veya çıkan suyun hacmini ifade eder. Serbest akiferlerde

S, akiferin özgül verimi ile aynıdır. Basıncı akiferlerde S, pompaj etkisiyle su yükünün (basıncı) azalması sonucunda akiferdeki hapsedilmiş olan suyun boşalmasının bir ifâdesidir.

Depolama katsayısı boyutsuz bir rakamdır. S değeri, serbest akiferler için 0,01 ile 0,3, basınçlı akiferlerde ise 10^{-5} ile 10^{-3} arasında değişir.

2.3. İletkenlik Katsayısı (T) (Coefficient of Transmissivity): Akiferin tüm doygun kalınlığı boyunca uzanan 1 m genişliğindeki düşey bir zemin prizmasından, birim yük kaybı altında geçen su miktarıdır. Şekil 5’de geçirgenlik ve iletkenlik kavramları resimle izah edilmiştir. T değerleri $12,4 \text{ m}^2/\text{gün}$ ’ün altında ve $12400 \text{ m}^2/\text{gün}$ ’ün üstünde geniş bir aralıkta değişir. Bir akiferin iletkenliği $12,4 \text{ m}^2/\text{gün}$ değerinin altında ise ancak içme suyu ihtiyacı veya az miktarda kullanım gerektiren durumlar için yeterli su verebilir. İletkenlik $124 \text{ m}^2/\text{gün}$ veya daha fazla olduğunda sanayi, belediye ve sulama ihtiyaçları için yeterli su sağlanabilir.

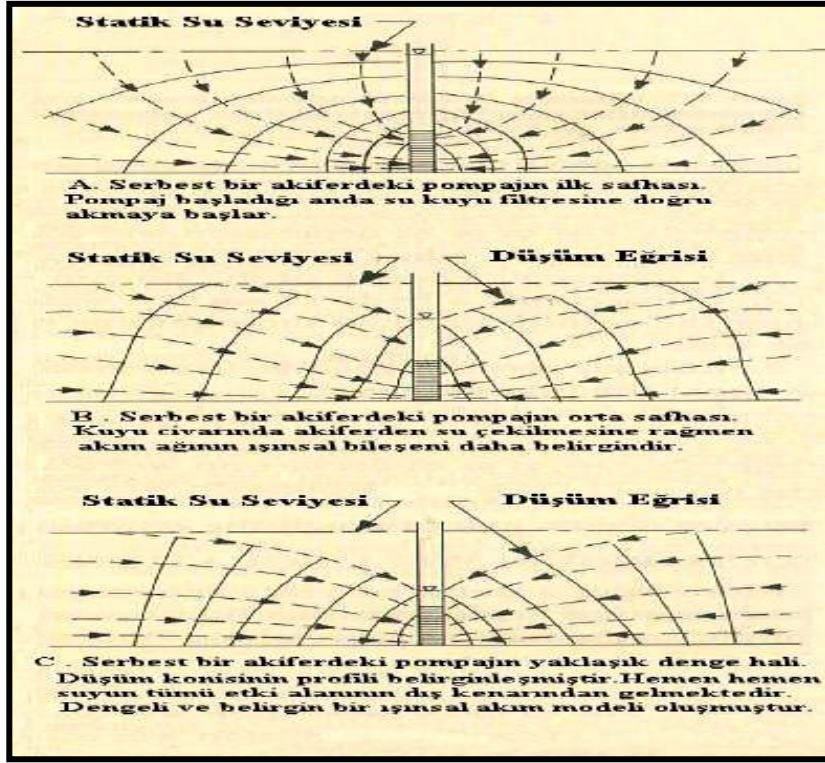
İletkenlik ve depolama katsayıları, su taşıyan bir formasyonun hidrolik özelliklerini belirttikleri için çok önemlidirler. İletkenlik katsayısı, formasyondan ne kadar suyun geçtiğini, depolama katsayısı ise pompaj veya drenaj vasıtasıyla ne kadar su alınabileceğini gösterir. Bir akiferin iletkenlik ve depolama katsayıları tayin edilebildiği takdirde, büyük önem taşıyan bazı ön tahminlerin sağlıklı olarak yapılabilmesi mümkün olur. Bunlardan bazıları şunlardır:

1. Bir pompaj kuyusundan itibaren farklı uzaklıklarda akiferde meydana gelecek düşüm miktarları.
2. Pompajın başlamasından sonra herhangi bir anda kuyuda oluşan düşüm miktarları.
3. Küçük bir alanda birden çok kuyunun birbirini etkileme derecesi.
4. Kuyu randımanı.
5. Çeşitli pompaj debilerinde akiferde meydana gelecek düşüm miktarları.

3. DÜŞÜM KONİSİ

Bir kuyuda pompaja başlandığında, önce kuyu içindeki mevcut su, daha sonra kuyunun yakın çevresindeki akiferin suyu çekilir (Şekil 6). Pompaja devam edildikçe akiferin

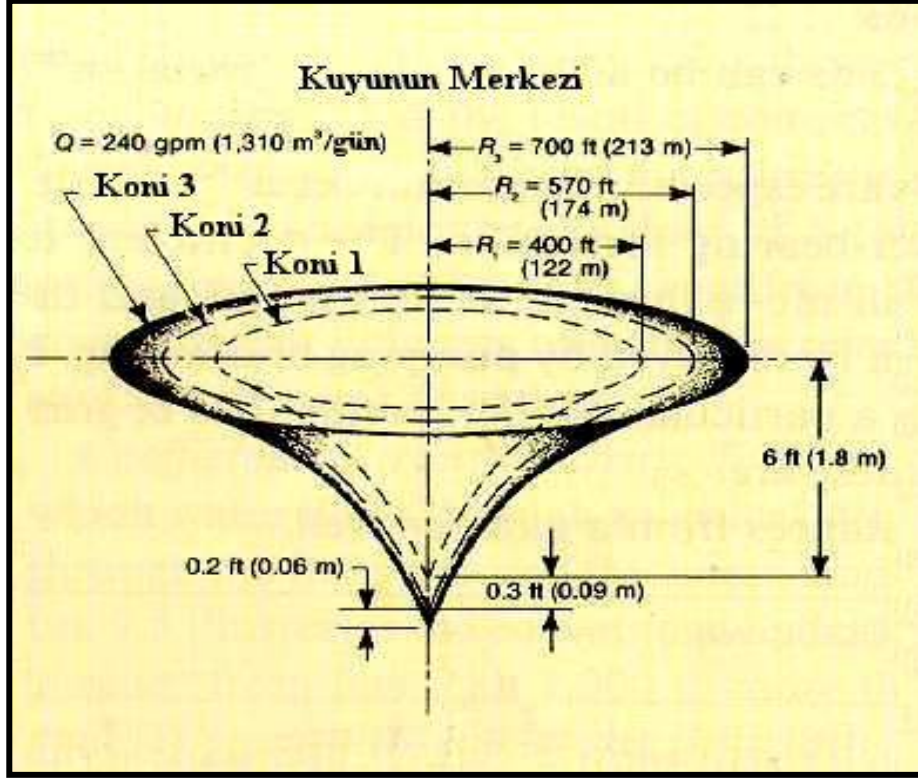
uzak noktalarından da kuyuya su gelmeye başlar. Bu, düşüm konisinin genişlemesi anlamına gelir. Koni genişledikçe etki yarıçapı büyür. Daha uzak mesafelerdeki suyu hareket ettirecek olan ilâve yükü sağlamak için, koni derinleştikçe herhangi bir noktadaki düşüm de artar. Koninin yatay yönde yapmış olduğu her metrelik genişleme sonucunda akifer deposundan sağlanan suyun hacmi arttığından, koninin genişlemesi ve derinleşmesi zamanla yavaşlar.



Şekil.6: Porozitesi %33 olan serbest bir akiferdeki pompaj kuyusunun etrafında gelişen akım çizgileri.

Şekil 7 düşüm konisinin eşit zaman aralıklarında nasıl genişlediğini göstermektedir. Örneğin 10 saatlik bir pompajdan sonra düşüm konisinin yarıçapı 122 m, kuyudaki düşüm 1,8 m olsun. 20 saat sonunda koninin yarıçapı 174 m ye, düşüm 1,9 m ye ulaşsın. İkinci 10 saatte koni dışa doğru 51,8 m genişlediği halde, düşüm değeri sadece 0,1 m artmıştır. Daha sonraki 10 saatte yarıçap genişlemesi sadece 39,6 m, düşüm farkı ise 0,06 m olarak gerçekleşir. Konilerin hacimleri hesaplandığında 2'nci koninin 1'ncinin iki katı, 3'ncü koninin hacminin ise 1'ncinin üç katı olduğu görülür. Çünkü, sabit bir pompaj debisinde 10 saatlik her dönemde

eşit hacimde su alınmaktadır. Böylece eğer kuyudan sabit bir debiyle pompaj yapılıyor ve akifer homojen ise düşüm konisinin hacminde zamana bağlı olarak görülen artış da sabit kalmaktadır.



Şekil.7 Sabit pompaj debisinde eşit zaman aralıklarında düşüm konisinin yarıçapı ve derinliğinde meydana gelen değişiklikler.

Bu örnek, birkaç saatlik kısa süreli pompaj dönemleri sırasında düşüm konisinde meydana gelecek genişleme ve derinleşmeleri fark etmenin çok güç olduğunu göstermektedir. Bu durum, gözlemcilere pompaj devam ederken koninin sabit kaldığı ve artık genişlemeyeceği ve derinleşmeyeceği izlenimini verebilir.

Koninin genişlemesi aşağıdaki bir veya birkaç durumla karşılaşınca kadar devam eder.

- 1- Akifer deposundan, pompaj debisine eşit miktarda su sağlanınca
- 2- Yüzeydeki bir su kaynağından akifer deposuna, pompaj debisini karşılayacak miktarda su girişi olması durumunda

3- Etki yarıçapı içine düşen yağışlar sebebiyle pompaj debisine eşit miktarda düşey beslenme olduğunda

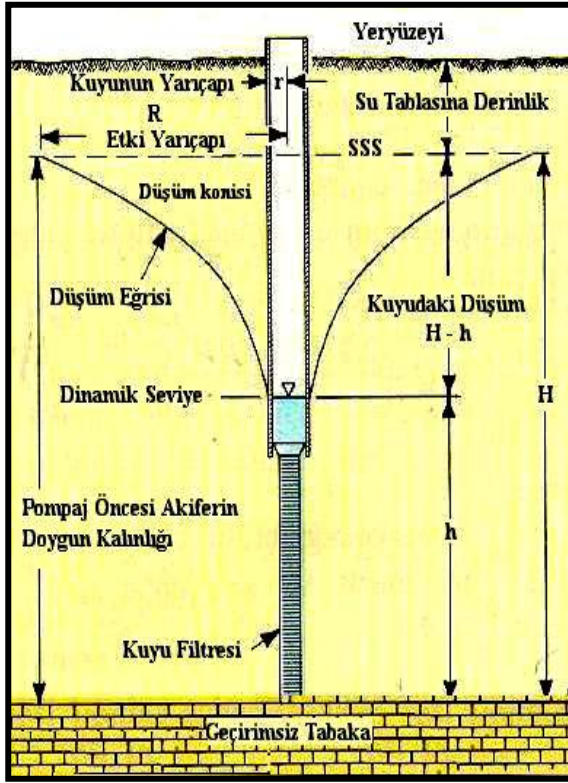
4- Alt ve üstteki formasyonlardan akifere pompaj debisine eşit miktarda süzülme olduğunda

Bu durumlardan bir veya birkaçı ile karşılaşılması halinde düşüm konisinin yayılması durur ve denge meydana gelir. Pompaj devam etse bile daha fazla düşüm olmaz. Bazı kuyularda pompajın başlamasından birkaç saat sonra denge oluştuğu halde bazı kuyularda pompaj yıllarca sürse bile denge sağlanamaz.

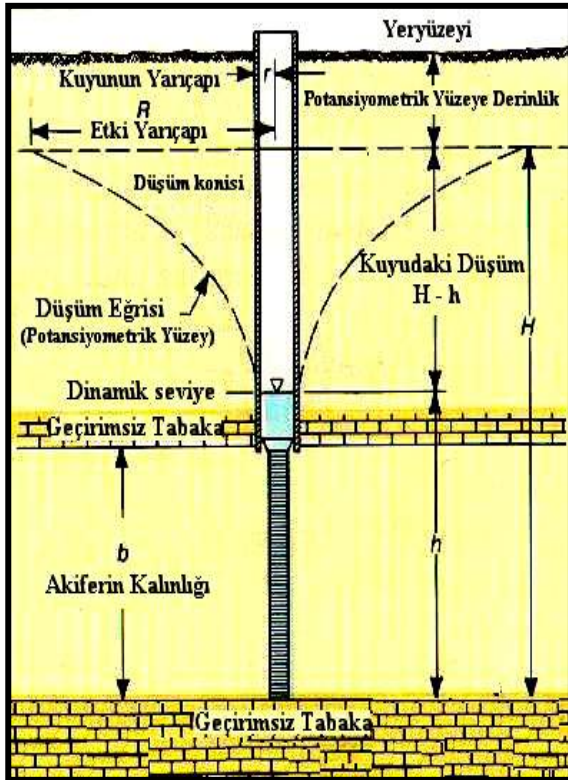
4. DENGE HALİNDE KUYU FORMÜLLERİ

Yüzyıldan daha uzun bir süre, mühendisler, bir pompaj kuyusuna olan yeraltısuyu akımı konusuna Darcy'nin temel akım formülünü uygulayabilmek için uğraşmışlardır. Amaç, zemindeki suyun akış rejimini açıklamak için basit matematiksel formüller geliştirmektir. Çünkü yeraltısuyu hareketinin doğrudan gözlenmesi mümkün değildir. Matematiksel analizler, zemindeki suyun davranışı hakkında kullanışlı ve güvenilir ön bilgiler sağlar.

(Slichter 1899; Turneure ve Russel 1901; Theim, 1906) gibi araştırmacılar denge şartları halinde kuyu debi formülleri çıkarmışlardır. Kuyu boşalımı ile düşüm arasında (akımın düşey boyutunu ihmal ederek) bağlantı kuran bu formüller kuyuya doğru iki boyutlu ışınsal bir akım olduğunu varsayarlar. Biri serbest diğeri basınçlı akiferler için iki adet temel formül vardır. Her iki formülde de kuyudaki ve zemindeki bütün dinamik şartların dengede olduğu kabul edilir. Yani debi sabit, tesir yarıçapı ve düşüm duraylı (stabilized) ve su kuyuya her yönden eşit miktarda girmektedir.



Şekil 8: Denge formüllerinde kullanılan çeşitli terimleri açıklayan serbest akiferde açılmış bir kuyu kesiti.



Şekil 9: Denge formüllerinde kullanılan çeşitli terimleri açıklayan basınçlı akiferde açılmış bir kuyu kesiti.

Her iki formül de düşüm konisinin çevresindeki beslenme sebebiyle akiferin her tarafında yatay akımın olduğunu varsayar. Şekil 8’de serbest bir akiferde açılmış olan bir kuyunun düşey kesiti görülmektedir. Serbest bir akiferdeki kuyu verim formülü şöyledir:

$$Q = \frac{1,366 K(H^2-h^2)}{\log R/r} \quad (1)$$

Q = Kuyu verimi veya pompaj debisi, m³/gün

K = Akiferin geçirgenliği (permeabilite) m³/gün/m², (m/gün)

H = Akiferin tabanından itibaren statik yük, m

H = Pompaj sırasında kuyudaki su derinliği, m

R = Düşüm konisinin yarıçapı, m

r = Kuyu yarıçapı, m

(1) formülüne genellikle denge veya Thiem formülü denir.

Şekil 9 basınçlı akiferdeki bir pompaj kuyusunun düşey kesitini göstermektedir. Basınçlı akifer şartlarında işletilen bir kuyunun verim formülü şöyledir.

$$Q = \frac{2,73 Kb (H-h)}{\log R/r} \quad (2)$$

b: Akifer kalınlığı, m

Diğer terimler (1) formülündekinin aynısıdır.

Yukarıdaki formüller şu kabullere dayanmaktadır.

- 1- Kuyunun etki yarıçapı içinde su taşıyan formasyonun geçirgenliği her yerde aynıdır.
- 2- Akifer homojendir.
- 3- Serbest akiferin pompaj başlamadan önceki doymun kalınlığı, basınçlı akiferde ise akifer kalınlığı sabittir.

- 4- Pompaj kuyusunun randımanı %100'dür. Yani kuyunun içindeki ve hemen dışındaki düşüm seviyeleri aynıdır.(Kuyunun yakın çevresindeki yük kaybı çok azdır.)
- 5- Kuyu, akiferi tabana kadar katetmiştir.
- 6- Su tablası ve piyezometrik yüzey yataydır.
- 7- Kuyunun etki yarıçapı içinde ve akiferin her tarafında laminar akım vardır.
- 8- Düşüm konisi denge haline ulaştığında kuyunun etki yarıçapı ve düşüm, sabit debili pompaj süresince değişmemektedir.

Bu kabuller, yukarıdaki iki formülün kullanımının çok fazla sınırlanmış olduğunu göstermektedir. Fakat gerçekte durum böyle değildir. Örneğin gerçek bir akiferde geçirgenlik her yönde aynı değildir. Fakat pompaj testlerinden bulunan ortalama geçirgenlik değerleri, kuyu veriminin önceden bilinmesi için yeterli hassasiyettir. Basıncılı bir akiferin tüm kalınlığını katetmiş bir kuyu için arada geçirimsiz bantların olması önemli bir sınırlama değildir.

Akifer kalınlığının sabit olması şartı da önemli bir sınırlama değildir, çünkü çoğu hallerde özellikle alüvyal depozitlerde etki yarıçapı içinde akifer kalınlığında önemli bir değişme olmaz. Fakat buzul çökellerinde olduğu gibi akifer kalınlığının değiştiği durumlarda bu husus dikkate alınabilir. Kuyu randımanının %100 olması şartına gelince, eğer kuyu hatalı projelendirilmiş veya inşa edilmiş ise bu durum hesaplanan kuyu veriminde ciddi hatalara yol açabilir. Pompajdan önce su tablasının veya piyezometrik yüzeyin yatay olma şartı gerçekçi değildir. Bununla birlikte hidrolik eğim hemen hemen yataya yakındır ve bu hususun hesaplamalar üzerindeki etkisi çoğu durumlarda gözardı edilebilir. Su tablasının veya piyeozometrik yüzeyin eğimi, düşüm konisinin dairesel şeklinin eliptik olmasına sebep olur.

Akiferin her tarafındaki akımın laminar olduğu kabul edilir. Bazı araştırmacılar bir kuyunun civarındaki türbülant akımın oldukça yüksek basınç(yük) kayıplarına sebep olabileceğini ileri sürmüşlerdir. Laboratuvar ve saha testleri ise bir kuyunun civarında laminar akımdan türbülant akıma geçişin sadece küçük ek basınç kayıplarına yol açtığını göstermişlerdir. (Mogg, 1959)

4.1. Akifer Geçirgenliğinin Tespiti :

Q, H, R değerleri pompaj testinden; b değeri ise sondaj logundan alındığı takdirde (1) ve (2) formülleri değiştirilerek geçirgenlik değeri hesap edilebilir. Serbest bir akifer için K geçirgenlik değeri:

$$K = \frac{Q \log r_2/r_1}{1,366(h_2^2-h_1^2)} \quad (3)$$

r_1 = En yakın gözlem kuyusuna olan mesafe, m

r_2 =En uzak gözlem kuyusuna olan mesafe, m

h_2 =En uzak gözlem kuyusundaki doymun kalınlık, m

h_1 =En yakın gözlem kuyusundaki doymun kalınlık, m

Diğer terimler (1) formülü ile aynıdır. (3) formülünün sağ tarafındaki bütün parametreler pompaj testinden elde edilebilir. h_1 ve h_2 'yi tayin etmek için pompaj kuyusundan uzaklıkları r_1 ve r_2 olan iki gözlem kuyusuna ihtiyaç vardır.

Şekil 10, akifer geçirgenliğini tayin etmek amacıyla serbest bir akifer için planlanmış olan pompaj testini göstermektedir. Bir akiferin geçirgenliğini hesaplayabilmek için gerekli tüm bilgiler bu tür bir testten elde edilebilir.

Basıncılı bir akiferin geçirgenliği, şekil 10'daki gibi bir test yardımıyla ve aşağıdaki formülle tayin edilir.

$$K = \frac{Q \log r_2 / r_1}{2.73 b (h_2 - h_1)} \quad (4)$$

b= akifer kalınlığı, m

h_2 = en uzak gözlem kuyusunda, akifer tabanından itibaren ölçülen basınç (su yükü) değeri

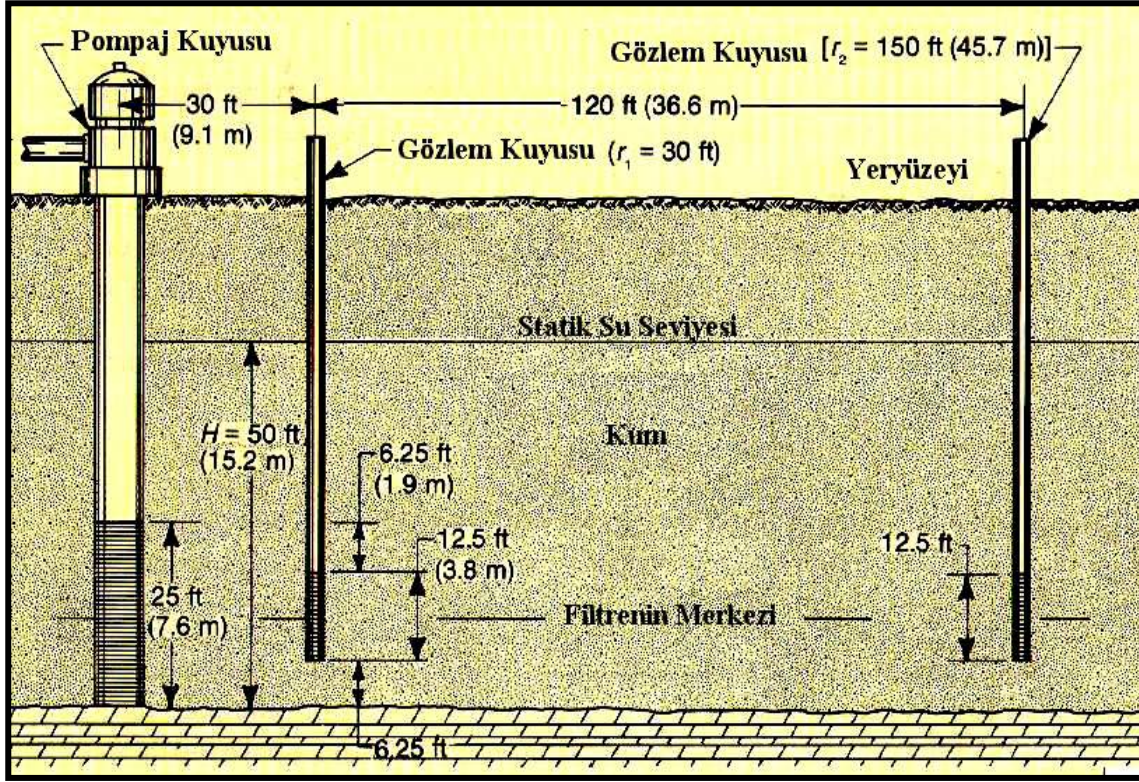
h_1 = en yakın gözlem kuyusunda, akifer tabanından itibaren ölçülen basınç değeri.

Diğer terimler (3) formülü ile aynıdır.

Denge formülleri, akiferin ortalama geçirgenliğini hesaplamada kullanıldığı gibi çeşitli faktörlerin birbiriyle ve kuyu verimi ile olan ilgisini göstermek için de faydalıdır. Örneğin, diğer parametreler eşit olduğunda, kuyu veriminin geçirgenlik ile doğru orantılı olduğu bu formülden görülebilir. Geçirgenlik değeri, diğerine göre iki misli olan bir akiferin veriminin de iki misli olması gerekir.(2) formülü, basınçlı bir akiferde diğer parametreler eşit olduğunda, verimin formasyon kalınlığı ile doğru orantılı olduğunu ifade eder.

4.2. Düşüm ve Verim Arasındaki İlişki

Basınçlı bir akiferde açılmış kuyular için kullanılan (2) formülü, düşümün piyezometrik yüzeyden akiferin üst yüzeyine kadar olan mesafeyi aşmaması şartı ile, verim ile düşüm (***H-h***) arasında doğru bir orantı olduğunu gösterir. Eğer düşüm söz konusu mesafeyi aşarsa, **b** küçülür ve aradaki doğru orantılı bağıntı geçersiz olur. Bu, teorik olarak düşüm iki katına çıktığı takdirde verim de iki kat olur demektir. Diğer bir ifade ile akiferin su seviyesinde değişiklik olmaması şartı ile herhangi bir pompaj debisinde kuyunun özgül debisi sabittir.



Şekil 10 - Serbest bir akiferde geçirgenliğin hesaplanması amacıyla açılmış olan pompaj ve gözlem kuyuları. Basıncı akiferlerde gözlem kuyuları pompaj kuyularından bir miktar uzakta açıldığı takdirde daha güvenilir bilgiler sağlanır.

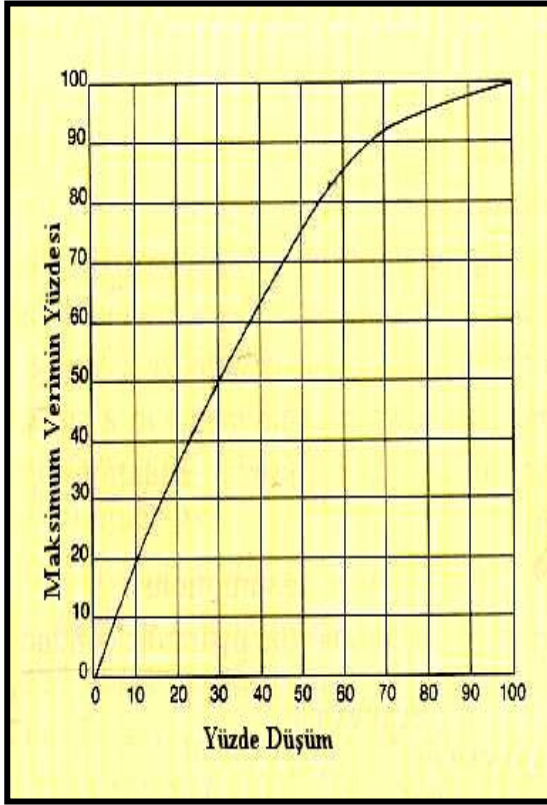
Serbest bir akiferde açılmış olan kuyuda, akiferin düşüm konisi içinde kalan bölümündeki su pompajla çekilmiş durumdadır. Düşüm konisinden çekilen su miktarı düşüm ile verim arasındaki oranı değiştirir. Doygun akifer kalınlığı azaldığı için düşüm iki kat olduğunda kuyu verimi iki kattan daha az olur. Düşümün artmasıyla özgül debi azalır. Şekil 11 serbest bir akiferde düşüm ile verim arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Maksimum düşüm, su seviyesinin kuyu tabanına kadar inmesi anlamına gelir. %50 düşüm, su seviyesinin statik seviye ile kuyu tabanı arasındaki mesafenin yarısına kadar düşmesini ifade eder. Maksimum verim, kuyunun en fazla verebileceği veya %100 düşüm ile alınan verimdir. Örneğin 12,2 m derinliğindeki bir kuyunun statik seviyesi 1,5 m, doymuş akifer kalınlığı 10,7 m olsun. Test sırasında $87 \text{ m}^3/\text{gün}$ debiyle pompaj yapılmış olsun. Dinamik seviye zemin yüzeyinin 4,6 m aşağısında oluşsun veya düşüm 3,1 m.de sabit kalmış olsun. Düşümün 6,1 m, dinamik seviyenin 7,6 m olması durumunda verim ne olacaktır?

Bu örnekte %100 düşüm 10,7 m dir. Test sırasında ölçülen 3,1 m.lik düşüm, mümkün olan toplam düşümün %29'udur. Şekil 11'de %29 düşüme karşılık gelen verim maksimum verimin %50'sidir. 6,1'lik bir düşüm mümkün olan toplam düşümün %57'sidir. Eğriye göre bu düşüm maksimum verimin %82'sine karşılık gelmektedir. Eğer $87 \text{ m}^3/\text{gün}$ debi,

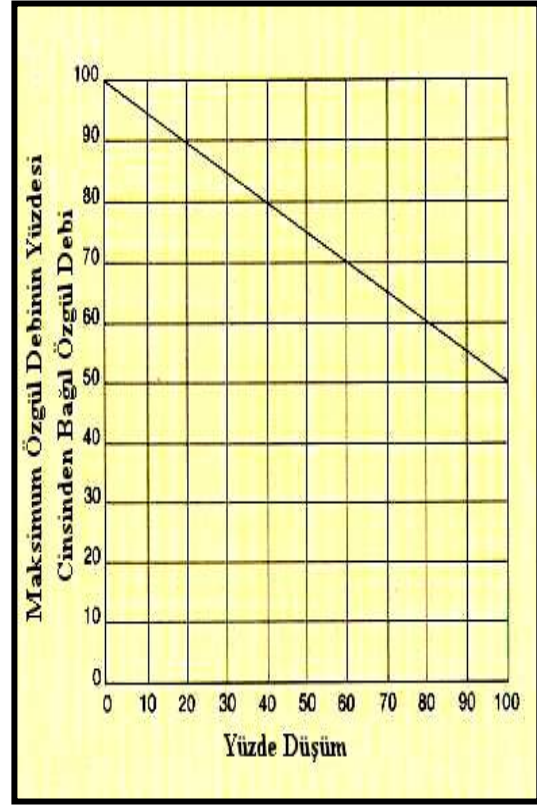
maksimum debinin %50'si olursa, o takdirde maksimumun %82'si $82/50 \times 87 = 142 \text{ m}^3/\text{gün}$ olacaktır. Yani bu kuyudan 6,1 m düşümle 142 m³/gün debi sağlanabilir.

Şekil 12, özgül debinin düşümle nasıl değiştiğini gösterir. Teorik olarak maksimum özgül debi sıfır düşüme karşılık gelir, çünkü akiferin doymun kalınlığında bir azalma söz konusu değildir. Düşüm ve verim maksimum iken özgül debi minimumdur. Minimum özgül debinin maksimum özgül debinin yarısı olduğu dikkati çekmektedir. Önceki örnekte 3,1 m düşümle maksimum özgül debinin %50'si, 6,1 m düşümle %82'si elde edilecektir.

Şekil II bir kuyunun, maksimum düşümün %67'sinden fazla bir düşümle işletilmesinin ekonomik olmayacağını göstermektedir. Maksimum düşümün %67'sinde %90 verim elde edilmektedir. Kalan %10 verimin de alınabilmesi için %33 ilâve düşüm gerekmektedir. Dolayısıyla fazla düşümden dolayı artacak pompaj maliyetinin verimdeki artışla orantılı olmadığı açıkça görülmektedir.



Şekil 11- Serbest ideal bir akiferde kuyunun akifer tabanına kadar açılması (tam penetrasyon) durumunda düşüm-verim ilişkisi.



Şekil 12- Serbest bir akiferde kuyunun akifer tabanına kadar açılması (tam penetrasyon) durumunda özgül debi-verim ilişkisi.

5. DENGESİZLİK HALİNDE KUYU FORMÜLLERİ

Theis, 1935'de dengesizlik halinde kuyu formülünü geliştirmiştir. Theis formülünde kuyu verimi üzerinde pompaj süresinin etkisi de dikkate alınmıştır. Bu, yeraltı suyu hidroliğinde büyük gelişmeler sağlamıştır. Bu formülle pompajın başlamasından sonraki herhangi bir anda düşüm miktarını önceden belirlemek mümkündür. Gözlem kuyularındaki su seviyelerinin sabit duruma gelmesini beklemeden bu formül kullanılarak, daha pompajın ilk safhalarında iletkenlik ve ortalama geçirgenlik (permeabilite) değerleri bulunabilir. (3) ve (4) formüllerinin gereği olan iki gözlem kuyusuna ihtiyaç kalmadan tek bir gözlem kuyusundaki zaman-düşüm ölçümleri yardımıyla akifere ait katsayılar tayin edilebilir.

Theis formülü aşağıdaki kabullere dayanır:

- 1- Akifer uniformdur, geçirgenlik her yönde aynıdır.
- 2- Akifer kalınlığı uniformdur ve yayılımı sınırsız olarak devam etmektedir.
- 3- Akifer hiçbir kaynaktan beslenmemektedir.
- 4- Pompaj kuyusu akiferi tamamen katetmiştir ve bütün akifer kalınlığı boyunca su almaktadır.
- 5- Pompajla alınan su, su seviyesinin duşurulmesiyle oluşan koniden aniden boşalmaktadır.
- 6- Kuyu randımanı %100'dür.
- 7- Kuyudan çekilen suyun tümü akifer deposundan gelmektedir.
- 8- Kuyunun ve akiferin her tarafında laminar akım mevcuttur.
- 9- Su tablası veya piyezometrik yüzey yataydır.

Bu kabuller, düşüm konisi içindeki su seviyelerinin sabit veya dengeye erişmiş olması şartı hariç, denge halindeki formüllerde belirtilen diğer kabullerle esasta aynıdır.

En basit şekli ile Theis formulu:

$$s = \frac{1}{4\pi} \frac{Q}{T} W(u) \quad (5)$$

Burada:

s = Sabit debiyle su çekilen bir pompaj kuyusunun civarında herhangi bir noktadaki düşüm, m

Q = Pompaj debisi, m³/gün

T = Akiferin iletkenlik katsayısı, m²/gün

$W(u)$ = Kuyu fonksiyonu olarak adlanır ve uşlu bir integrali temsil eder.

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad (5a)$$

Burada :

r = Pompaj kuyusundan düşümün ölçüldüğü noktaya olan uzaklık, m.

S = Depolama katsayısı (boyutsuz)

T = İletkenlik katsayısı $m^2/gün$

t = Pompajın başlamasından sonra geçen süre, gün

u kuyu fonksiyonu terimi $W(u)$, ilk defa, merkezinde bir ısı elemanı olan düz bir levhadaki ısı dağılımını ifade etmek üzere kullanılmıştır. Theis, kuyu şartlarında su akışının merkezden çevreye değil de çevreden merkeze doğru olmasına rağmen bu kavramı bir pompaj kuyusunun çevresinde oluşan yeraltısuyu akım düzeni için de kullanılabileceğini göstermiştir. Matematik prensipler temelde aynıdır.

Pompaj testlerinden sağlanan bilgilerin Theis formülünde kullanılmasıyla, her türlü dengesizlik halinde iletkenlik ve depolama katsayılarını tayin etmek mümkündür. Theis metodu, eğrilerin üst üste çakıştırılarak yorumlanmaya ihtiyaç göstermesi ve uygulanmasının zor oluşu sebebiyle çoğunlukla kullanılmamaktadır. Gerçekten çoğu hallerde bu metodun uygulanması sakıncalı olmaktadır. Örneğin pompaj test süresi belli bir değerden büyük veya kuyu ile ölçüm noktası arasındaki uzaklık belli bir değerden küçük ise $W(u)$ fonksiyonu basit bir matematik fonksiyonla değiştirilerek hesaplamada kolaylık sağlanabilir. Theis formülü bölümün sonunda detaylı olarak incelenmiştir. Burada formülün, çoğu durumlarda kolaylıkla uygulanabilen basit bir şekli incelenmiştir.

6. DENGESİZLİK HALİNDE DEĞİŞTİRİLMİŞ THEİS FORMÜLÜ

Theis formülü üzerinde çalışan Cooper ve Jacob(1946), u 'nun yeterince küçük olması halinde, formülün, önemli bir hata olmaksızın aşağıdaki şekilde değiştirilebileceğini göstermişlerdir.

$$s = \frac{0,183 Q}{T} \log \frac{2,25 Tt}{r^2 S} \quad (6)$$

Buradaki terimler (5) ve (5a) formüllerindeki ile aynıdır. u değeri 0,05 den küçük olduğunda (6) formülü (5) formülü ile aynı sonuçları verir. t değeri artar ve r değeri azalırken u değeri küçülür. Bu yüzden (6) formülü, ancak t belli bir değerden büyük, r ise belli bir değerden küçük olduğunda geçerlidir. (6) formülü Theis formülüne benzer, sadece üslü integral fonksiyonu olan $W(u)$, kuyu hidroliğinin pratik uygulamalarında kullanımı kolay olan logaritmik bir terimle yer değiştirmiştir.

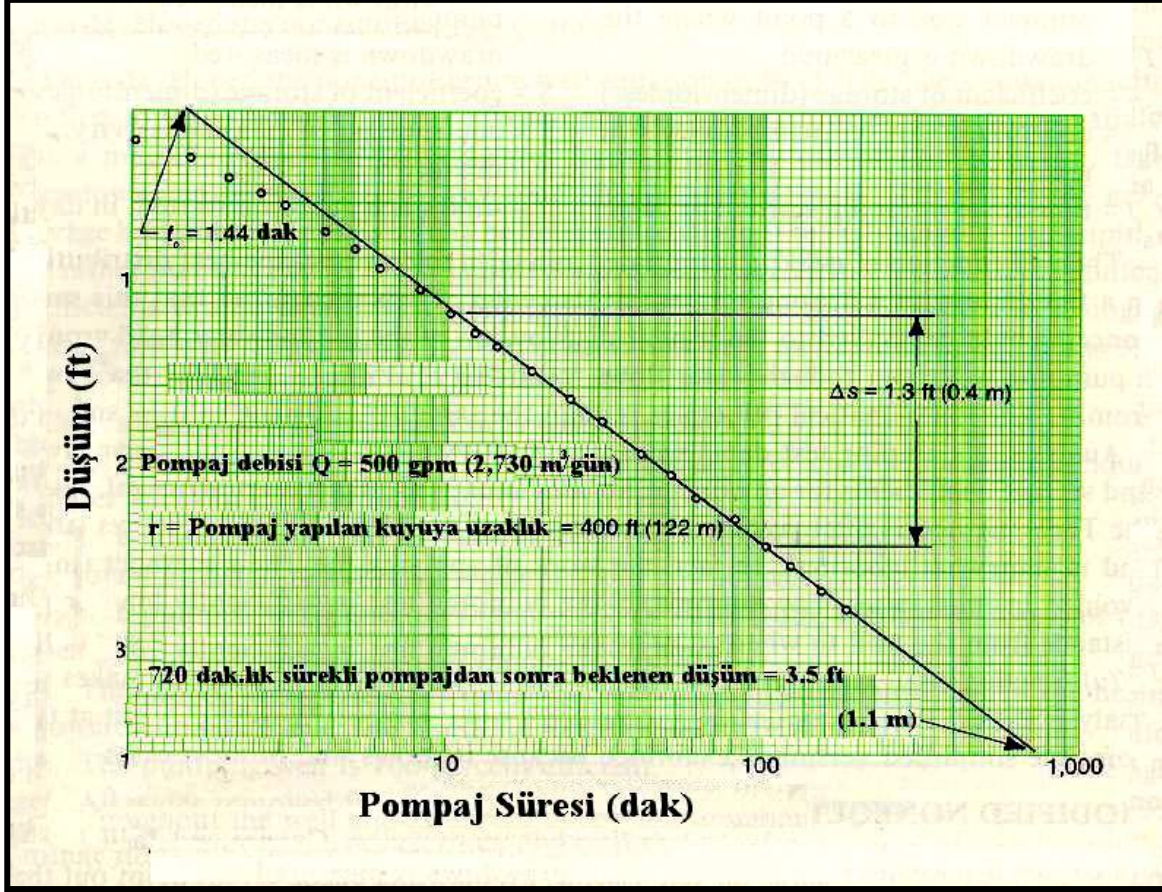
Pompaj debisinin sabit olduğu özel bir durum için Q , T ve S değerlerinin hepsi sabittir. Bu sebeple (6) formülünde u değeri 0,05 den küçük olduğunda s (düşüm), $\log t/r^2$ ile doğru orantılı olarak değişir. Bu bağıntıdan iki önemli sonuç çıkarılabilir:

1- (r değerinin sabit olduğu) bir akiferde s ve t değerleri (6) formülünün değişkenleridir. Bu sebeple $\log C_1 t$ değişirken s değeri de değişir. Buradaki C_1 , formüldeki tüm sabit terimleri temsil eder.

2- Bir akiferde, özel bir t değeri için s ve r değerleri (6) formülünün değişkenleridir. Bu durumda s , $\log C_2/r^2$ 'e bağlı olarak değişir. Buradaki C_2 , t 'nin yukarıdaki özel değeri de dahil olmak üzere formüldeki tüm sabitleri temsil eder.

(6) formülünden çıkarılmış olan bu sadeleştirilmiş bağıntıları kullanarak, bir pompaj testi sırasında elde edilen düşüm ve zaman verilerini grafik haline getirerek akiferin hidrolik özelliklerini belirlemek mümkündür. Veriler, Şekil 13'de görülen yarı logaritmik bir kâğıt üzerine işlenir. Yukarıda sözü edilen faktörlerden t yatay logaritmik eksene, s ise dikey aritmetik eksene işaretlenir. Şekil 13'de görülen diyagram, Tablo 1' deki verilerin yarı logaritmik bir kâğıda işlenmesi ile elde edilmiştir. Bu diyagramdaki noktaların çoğu düz bir

çizgi oluşturur. İlk 10 dakikadaki zaman-düşüm değerleri dışında tüm değerler düz bir çizgi üzerinde sıralanmıştır. İlk 10 dakikadaki u değeri 0,05'den büyük olduğu için testin bu bölümünde değiştirilmiş denge formülü kullanılamaz.



Şekil 13. Tablo 1' deki veriler yarı logaritmik bir kağıda işlendiğinde noktaların çoğunun düz bir çizgi üzerinde sıralandığı görülür. Δs ve t_0 'ın niçin belirlenmesi gerektiği metinde açıklanmıştır.

6.1. İletkenlik

İletkenlik katsayısı, Formül 6'ya göre bulunan zaman - düşüm grafiğinin eğimi ile pompaj debisinden hesaplanır.

$$T = \frac{2,3}{4 \pi} \frac{Q}{\Delta s} = \frac{0,183 Q}{\Delta s} \quad (7)$$

Burada ;

$T = \text{İletkenlik katsayısı } m^2/\text{gün}$

$Q = \text{Pompaj debisi } m^3/\text{gün}$

$\Delta s = \text{İki logaritmik dilim arasındaki düşüme karşılık gelen değişimi belirten zaman-düşüm grafiğinin eğimi}$

Bu örnekte $\Delta s = 0,4 \text{ m}$ dir. Bu değer pompaj testinin başlamasından sonra 10 ve 100'ncü dakikalarda meydana gelen düşümlerdeki değişimdir. $Q = 2730 \text{ m}^3/\text{gün}$ 'dür.

$$T = \frac{0,183 \cdot 2730}{0,4} = 1250 \text{ m}^2/\text{gün}$$

Pompaj süresi dak	Düşüm, s		Pompaj süresi dak	Düşüm, s	
	ft	m		ft	m
1	0.16	0.05	24	1.58	0.48
1.5	0.27	0.08	30	1.70	0.52
2	0.38	0.12	40	1.88	0.57
2.5	0.46	0.14	50	2.00	0.61
3	0.53	0.16	60	2.11	0.64
4	0.67	0.20	80	2.24	0.68
5	0.77	0.23	100	2.38	0.73
6	0.87	0.27	120	2.49	0.76
8	0.99	0.30	150	2.62	0.80
10	1.12	0.34	180	2.72	0.83
12	1.21	0.37	210	2.81	0.86
14	1.30	0.40	240	2.88	0.88
18	1.43	0.44			

Tablo I- Pompaj kuyusundan 122 m uzaklıktaki bir gözlem kuyusunda yapılan ölçümler

6.2. Depolama Katsayısı

Depolama katsayısı, zaman-düşüm grafiği üzerindeki sıfır düşüme karşılık gelen değerin formülde yerine konulmasıyla kolaylıkla bulunabilir. Aşağıdaki formül, 6 no' lu formülden çıkarılmıştır.

$$S = \frac{2,25 T t_0}{r^2} \quad (8)$$

Burada ;

S = Depolama katsayısı

T = İletkenlik katsayısı $m^2/gün$

t_0 = Grafik üzerinde sıfır düşüme karşılık gelen süre, gün

r = Pompaj kuyusu ile düşümlerin ölçüldüğü gözlem kuyusu arasındaki uzaklık, m

Verilen örnekte;

$t_0 = 1.44$ dk veya $0,001$ gün, $T = 1270$ $m^2/gün$, $r = 122$ m olduğundan,

$$S = \frac{2,25 \cdot 1270 \cdot 0,001}{(122)^2} = 1,9 \times 10^{-4}$$

Bu örnekteki veriler 2730 $m^3/gün$ debi ve 240 dk süreyle çalışan bir pompaj kuyusundan 122 m uzaklıktaki bir gözlem kuyusundan sağlanmıştır. Pompaj kuyusuna daha uzak mesafedeki başka bir gözlem kuyusundan alınan ölçümlerin Şekil 13'deki grafiğe işlenmesiyle elde edilen noktaların oluşturduğu çizgi önceki çizgiye paralel fakat onun üstünde yer alır. Eğer bu ölçümlerin alındığı gözlem kuyusu pompaj kuyusuna daha yakın bir noktada olsaydı meydana gelen çizgi ilk örnekteki paralel fakat onun altında yer alacaktı. (*) Bu üç durumda da hesaplanan T ve S değerleri birbirinin aynı olacaktır.

6.3. Zaman-Düşüm Grafiğinden Düşümün Bulunması

Bu grafik, akifer katsayılarının hesabında kullanıldığı gibi gelecekteki düşüm değerlerinin grafik yolla tayininde de kullanılır. Şekil 13'deki düz çizgi grafiğın sağına doğru uzatılmak suretiyle 2730 m³/gün debilik sürekli bir pompajdan sonra pompaj kuyusundan 122 m uzaklıkta bulunan bir gözlem kuyusundaki düşümü önceden belirlemek mümkündür.

Örneğimizde, 12 saat (720 dk)'lık pompajdan sonraki düşüm, grafikteki çizginin uzantısı ile 720 düşey çizgisinin kesiştiğı noktada yer alır. Grafikteki 720 dk ya karşılık gelen düşüm miktarı 1,1 m dir.

** Pompaj kuyusundan hesaplanan depolama katsayısı genellikle güvenilir değildir.*

Eğer 120 saat (7200 dk) sonraki düşüm öğrenilmek istenirse Δs değeri (0,4 m) 12 saatteki düşüm değerine eklenmelidir. Burada 120 saatin 12'nin on katı olduğuna veya 12 saat çizgisinden bir logaritmik dilim ötede yer aldığına dikkat edilmelidir. Δs , bir logaritmik zaman dilimindeki düşüm artışı olarak tanımlanır. Buna göre 2730 m³/gün'lük debiyle 5 gün sürekli pompaj yapıldığında pompaj kuyusundan 122 m uzaklıktaki düşüm değeri $1,1 + 0,4 = 1,5$ m olacaktır.

Bu basit tekniğın kullanışlı olduğu açıkça görülmektedir. Kısa süreli bir pompaj testi yardımıyla zaman-düşüm çizgisinin eğimi tespit edildikten sonra aynı debi ile daha uzun süreli pompajların yapılması durumunda oluşacak düşümleri önceden belirlemek mümkün olmaktadır. Şüphesiz, pompaj sırasında akiferin bazı yerlerinde hidrolik şartların değişik olmasından dolayı zaman-düşüm çizgisinin gidişinde bir takım sapmalar meydana gelebilir. Bunun sebepleri konunun sonunda ayrıca incelenecektir.

Basınçlı bir akiferde zaman-düşüm eğrisinin bulunması için 24 saat süreyle pompaj yapılması uygun olur. Serbest bir akiferde ise 3 gün pompaj yapılmalıdır. Örneğimizdeki 240 dk lık pompaj süresi çoğu durumlar için çok kısadır. Daha uzun süreli testlerden sağlanan bilgiler ve bu bilgiler yardımıyla oluşturulan eğrinin eğimi daha güvenilirdir.

Formül 6'ya göre belli bir akiferde t sabit iken s düşümü pompaj debisi ile doğru orantılıdır. Şekil 13, pompaj debisi 2730 m³/gün iken gözlem kuyusunda 120 dk sonra

meydana gelen düşümün 0,8 m olduğunu gösterir. Eğer pompa debisi 5450 m³/gün olsa idi gözlem kuyusunda 120 dk sonraki düşüm yaklaşık iki kat (1,5 m) olacaktı. Aynı şekilde, 10,900 m³/gün'lük bir debi için s düşüm değeri 3 m olarak bulunacaktı.

Formül 7, belli bir akiferde Δs eğiminin pompaj debisiyle doğru orantılı olduğunu belirtir. Test sonuçları, Δs 'in $Q = 2730$ m³/gün için 0,4 m olacağı gösterir. Eğer $Q = 5.450$ m³/gün olsaydı Δs , ilk değerinin iki katı yani 0,8 m olacaktı.

Bu iki bağıntıdan en iyi şekilde yararlanmak mümkündür. Bu sonuçları, bir veya daha çok gözlem kuyusundan sağlanan verilere uygulamak suretiyle test debisinden farklı pompaj debilerinde, gözlem kuyularında meydana gelecek düşümleri önceden belirlemek mümkün olacaktır. Bu bağıntılar, yüksek pompaj debilerinde kuyu randımanında ve akiferin doygun kalınlığında önemli bir azalma ihtimalinin olmadığı durumlarda, bir işletme kuyusunun verimi hakkında yukarıdakine benzer hesaplamalar yapma imkânını sağlar.

7. ZAMAN-DÜŞÜM GRAFİKLERİNE ETKİ YAPAN HİDROJEOLJİK ŞARTLAR

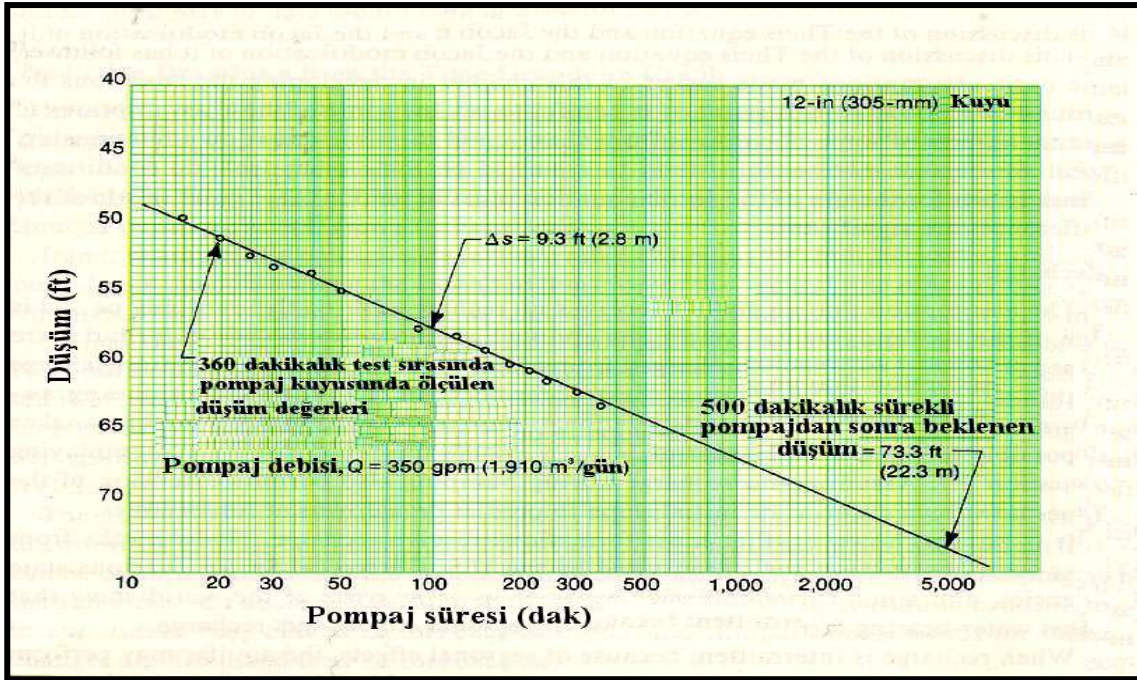
Bu bölümde, yeraltısu akımını açıklayan Theis ve Jacob formüllerinin dayandığı temel kabullerde meydana gelecek farklılıkların zaman-düşüm eğrisi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Gerçek akiferde formüllerde varsayılan jeolojik ve hidrolojik şartlar tam olarak bulunmaz. Bu yüzden farklılıkların önemli olduğu durumlarda, Jacob formülünün kullanılmasına sınırlamalar getirmek mecburiyeti vardır.

7.1. Beslenme

Pompaj sırasında akiferin hiçbir yerden beslenmediğinin kabulü, dengesizlik halindeki kuyu formüllerinin dayandığı altı esastan biridir. Bu sebeple bir kuyudan çekilen bütün suyun akifer deposundan sağlandığı kabul edilir. Pompaj devam ederken düşümün artması ve düşüm konisinin genişlemesi bu durumu doğrular. Bu temel kavram, Formül 7 kullanılarak zaman-düşüm değerlerinden iletkenliğin hesaplanmasını mümkün kılar. Pompaj sırasında akiferin hiçbir yerden beslenmediğinin kabulü ise zaman-düşüm eğrisinin uzatılarak daha sonraki safhalarda meydana gelebilecek düşümlerin önceden tahmin edilmesini sağlar.

Gerçekte ise birçok akiferin beslenmekte olduğu bilinmektedir. Birleşik Devletler Ölçme Dairesinin ve dünyadaki diğer benzeri kuruluşların yapmış oldukları uzun süreli kuyu gözlemlerinden hazırlanan hidrograflar, sulu akiferlerin çoğunun devamlı veya belli aralıklarla beslenmekte olduklarını ortaya koymuştur.

Mevsimin özelliği icabı beslenme aralıklı olduğunda, akifer 1 veya 3 ay hatta daha uzun bir süre beslenme olmadan su verebilir. Ambroggi (1978), bir akiferin hiç beslenme olmaksızın 10 yıl veya daha uzun süre suyunun çekilmesi halinde bile eğer saha normal yağışını alabiliyorsa, su tablasının 1 yıl içinde eski seviyesine gelebileceğini göstermiştir. Bu yüzden burada verilmiş olan zaman-düşüm eğrileri beslenme olmayan dönemlere ait kuyu verimini gösterir. Pompaj testi, akiferin aşırı beslendiği bir dönemde eğer dikkatlice yapılırsa, test sonucu elde edilen zaman-düşüm grafiği bu beslenmeyi yansıtacaktır.



Şekil 14. Beslenmesiz bir akiferde bulunan pompaj kuyusunun zaman-düşüm eğrisi uzatılarak, test süresinden daha uzun pompaj sürelerine karşılık gelen düşümler önceden tahmin edilebilir.

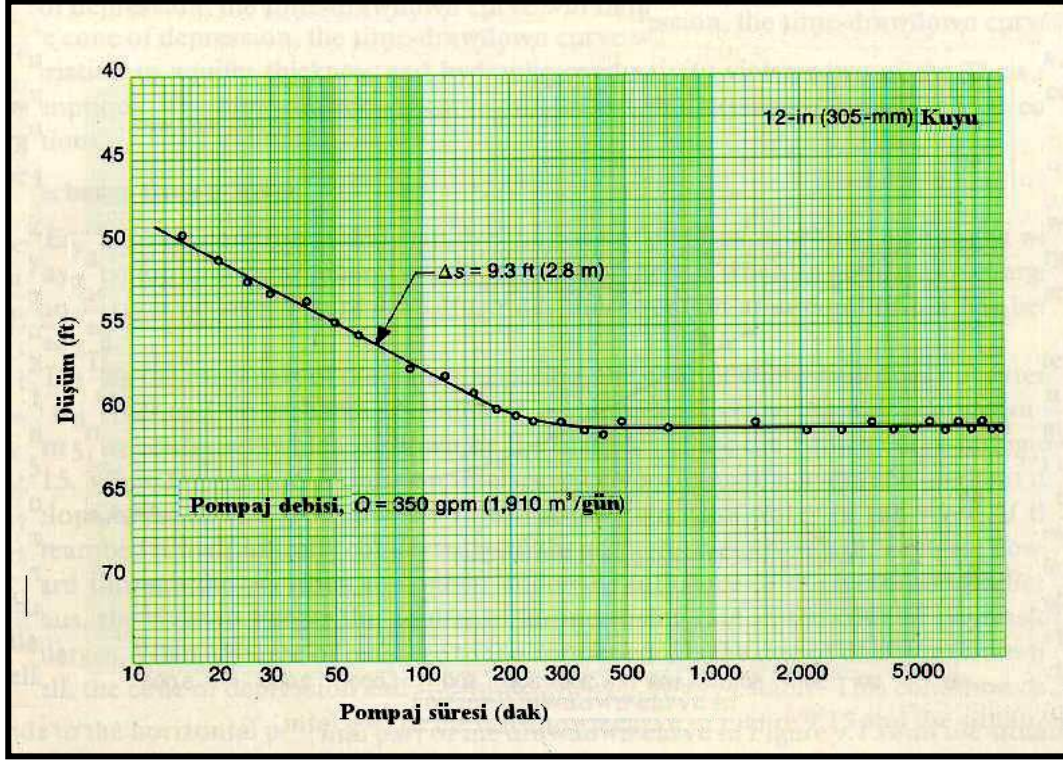
Şekil 14'de beslenmesiz şartlarda işletilen bir pompaj kuyusuna ait zaman-düşüm eğrisi görülmektedir. Kuyuda $1910 \text{ m}^3/\text{gün}$ debiyle 360 dk. süreli pompaj yapılırken belli aralıklarla düşüm değerleri ölçülmüştür. Yarı-logaritmik bir kağıt üzerine işlenen bu değerler

$\Delta s = 2,8$ m olan eğimli düz bir çizgi oluşturur. Daha önce görüldüğü gibi bu düz çizgi uzatılarak; 1910 m³/gün debiyle ve sürekli yapılan pompajın herhangi bir anında kuyuda meydana gelecek olan düşümleri tahmin etmek mümkündür. Bu örnekte 5.000 dk. süren bir pompajdan sonra grafikten bulunan düşüm değeri 22,3 m'dir.

Bu metotla muhtemel dinamik seviye ile pompa fanının devamlı su içinde kalması gereken seviye kolayca belirlenir. Kuyunun civarında açılacak başka kuyuların girişim etkilerinden veya filtre tıkanmasından (incrustation) dolayı kuyu veriminde oluşabilecek değişiklikleri göz önüne alarak hesapla bulunan bu seviyelere bir miktar emniyet payı eklenmelidir.

Sürekli pompaj kelimesi, su seviyesinin tekrar yükselmesine fırsat vermeden bir günde 24 saat devam eden pompajı ifade eder. Eğer bir kuyuda günün sadece belli bir bölümünde pompaj yapılmakta ise kuyuda meydana gelen düşümler, Şekil 14'deki zaman-düşüm grafiği üzerinde 7 , 30 veya 90 güne karşılık gelen tahmini düşümlere uymaz. 12 saat çalışan, 12 saat duran bir pompaj kuyusunda 12 saatlik durma sırasında su seviyesinin tekrar yükseleceği açıktır.

Eğer pompajın durma döneminde yeterli beslenme olmazsa su seviyesi orijinal statik seviyesine yükselmez. Pompaj tekrar başladığında düşüm de başlar ve bir önceki pompaj süresinin başlangıcındaki su seviyesinin biraz altında yeni bir seviye oluşur. Aralıklı pompaj durumunda oluşan kümülatif düşüm konusu daha sonra incelenecektir.

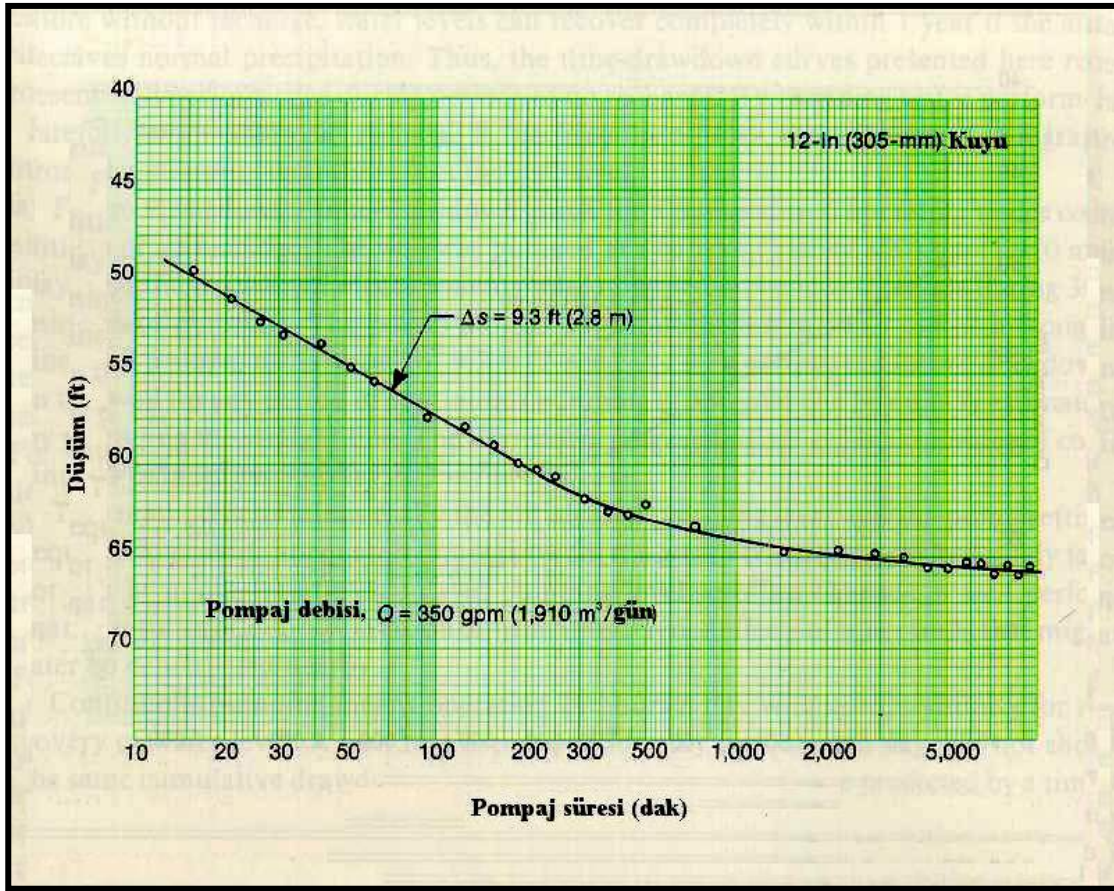


Şekil 15. Kuyunun etki alanı içinde akiferde bir beslenme olursa zaman-düşüm eğrisinin eğimi azalır. Eğrinin yatay kısmı pompajın 240'nci dakikasından sonra boşaltmaya eşit miktarda bir beslenmenin başladığını gösterir.

Kuyu etki alanı içinde pompaja eşit bir beslenme olduğunda düşüm sabit kalır. Pompaja aynı debi ile devam edilirse su seviyesinde düşme olmaz. Şekil 15'de görüldüğü gibi zaman-düşüm eğrisi yatay olur.

Şekil 15'deki eğrinin ilk bölümünde pompajın ilk 240 dak. sı sırasında düşüm konisinin genişlemekte olduğu görülmektedir. 240 dak. dan sonra düşüm konisi veya kuyunun etki alanı bir beslenme kaynağına rastlamıştır. Eğrinin yatay bölümünde, etki alanındaki beslenme miktarı pompaj debisine eşit olduğu için etki alanının her tarafında su seviyesi sabit kalır. Beslenme birdenbire değil de bir zaman süresinin geçmesinden sonra meydana gelir. Beslenme bir gölden veya düşüm konisinin yalnız bir tarafında yer alan bir nehirden olabilir. Beslenme sınırı ile karşılaştıktan sonra da beslenme kaynağından uzaktaki alanlarda denge sağlanıncaya kadar düşüm yavaşça artmaya devam eder.

Bazen düşüm konisi içindeki beslenme debisinin pompaj debisinden az olduğu görülür. Bu, zaman-düşüm eğrisinin eğimini değiştirirse de eğrinin ikinci bölümü tam yatay olmayabilir. Bu yüzden eğim ilk eğimden daha yatık olur. Böyle bir durum, düşüm konisinin pompajın ilk safhasında olduğundan daha yavaş genişlemekte olduğunu gösterir. (Şekil 16) Bir kuyuda pompajın daha sonraki safhalarında herhangi bir anda meydana gelecek olan düşüm miktarları eğrinin ikinci bölümünün uzatılmasıyla bulunabilir.



Şekil 16. Bazen beslenme miktarı pompaj debisinden az olabilir. Bu sebeple zaman-düşüm eğrisinin ikinci bölümü yatay olmaz.

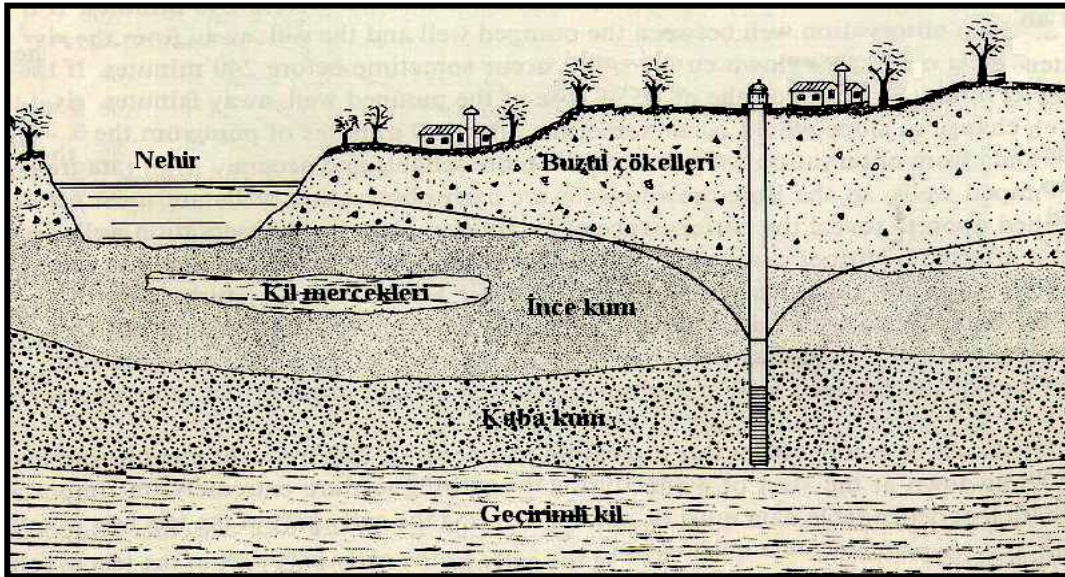
Sürekli bir pompaj döneminden sonra düşüm eğrisinin eğimi değiştiğinde, pompajın bundan sonraki safhalarında meydana gelecek düşüm değerleri ancak grafik metotla bulunabilir. Eğer eğim değişmiyorsa pompajın ileri safhalarındaki düşümler ya Theis formülünden veya grafik metotla tayin edilebilir. Fakat eğimin değişmesi halinde, Theis formülü, eğimin değişmesinden sonraki safhaya uygulanamaz.

Su taşıyan bir formasyonun T iletkenlik katsayısı hesaplanırken eğrinin ilk bölümüne ait Δs değeri kullanılır. Eğrinin ikinci bölümünün eğimi, pompaj test verilerinin analizinde hiçbir önem taşımaz; ikinci Δs değerinin kullanılmayışının sebebi, akiferin kuyudan uzak kısımlarındaki fiziksel özelliklerinin biraz farklı olmasıdır. Örneğin, kuyudan uzaklaştıkça akifer bir veya iki yönde kalınlaşabilir; bu durum zaman-düşüm eğrisinin eğiminde azalmaya yol açar. Burada akiferin geçirgenliği artmamış, sadece çekilebilecek su hacmi artmıştır. Bu sebeple, ikinci Δs akiferin gerçek geçirgenliğini temsil etmez, sadece etki yarıçapı içindeki jeolojik bir anomaliyi belirtir.

Bunun gibi, eğer düşüm konisi içinde geçirgenliği yüksek bir zon ile karşılaşılırsa zaman-düşüm eğrisinin eğimi biraz azalır. Akifer kalınlığında ve geçirgenliğinde meydana gelen önemli değişiklikler Theis formülünün dayandığı kabullerin ikisini bozar. Zaman-düşüm eğrisi, ideal şartlarda meydana gelen bu tür değişimleri yansıtacaktır.

7.2. Akarsudan Beslenme

Bir pompaj kuyusunun çevresindeki düşüm konisini sabit kılan denge şartlarından birisi, bir akarsu veya gölden beslenme durumudur. Şekil 17, dengeye erişmiş böyle bir durumu göstermektedir.



Şekil 17. Düşüm konisi bir akarsu yatağına kadar genişlediğinde akifer ile akarsu arasında hidrolik eğim oluşur ve akifer akarsudan beslenmeye başlar.

Pompajın ilk safhasında, düşüm konisi akarsuya kadar genişlemediği için bir beslenme söz konusu değildir. Şekil 15’de düşüm eğrisinin ilk bölümünde görüldüğü gibi, pompaj

devam ettikçe kuyudaki dinamik seviye düşmeye devam eder. Düşüm konisi bir akarsu yatağına ulaştığında, akiferdeki yeraltısuyla ile akarsu arasında hidrolik eğim oluşur. Eğer akarsu yatağı hidrolik bakımdan akifere bağlantılı ise hidrolik eğimin etkisiyle, akarsu, geçirimli yatağından aşağıya doğru süzülür. Bu sebeple düşüm konisi genişledikçe akarsuyun akiferi beslemesi de o oranda artar. Akifere olan beslenme, kuyudan yapılan pompaj debisine eşit olduğunda düşüm konisi ve dinamik seviye sabit kalır. Bu durum Şekil 15'deki eğrinin yatay kısmında ve Şekil 17'de görülmektedir.

Şekil 15'deki düşüm eğrisinin ilk bölümü uzatılarak 5000 dk. süren bir pompajdan sonra, düşümün 18,7 m olacağı belirlenir. Böyle iken akifere bir beslenme kaynağından su geldiği takdirde, Şekil 14'de görüldüğü gibi aynı pompaj süresi için düşüm 3,7 m azalır.

7.3. Düşey Süzülmeyle Beslenme

Denge şartlarını oluşturan diğer bir durum, pompaj kuyusunun etki alanında düşey beslenmenin olmasıdır. Örneğin bir kuyu, serbest bir akiferde açılmış ve malzeme, zemin yüzeyinden su tablasına kadar olan Vados zonu boyunca geçirimli kumdan meydana gelmiş olsun. Kuyunun düşüm konisi alanında yağış olduğunu kabul edelim. Su tablasına süzülen yağış suyunun miktarı, kuyudan yapılan pompaj miktarına eşit olduğunda düşüm konisinin yayılması durur, akiferdeki ve kuyu içindeki dinamik seviyeler sabit kalır.

Denge şartını sağlamada çok görülen bir beslenme şekli de bir işletme kuyusundan suyu çekilmekte olan bir akiferin üzerindeki doygun seviyelerden akifer içine olan düşey süzülmedir. Üstte bulunan doygun seviyenin geçirgenliği, kuyunun açılmış olduğu seviyenin geçirgenliğinden çok düşük olabilir. Alt ve üst seviye arasındaki geçirgenlik farkı o kadar büyük olabilir ki üst seviyeyi oluşturan malzemenin o akifere ait olduğu anlaşılabilir. Düşüm konisinin alanı on binlerce m² yi bulduğu zaman, üst seviyeden olan toplam düşey süzülme, bu seviyenin geçirgenliği düşük olsa bile, kuyudan yapılan pompaja eşit olabilir ve bu durum dinamik seviyeleri dengeye getirebilir. Benzer durum, sadece alt kısmı filtre ile geçilmiş olan mercekli forasyonlarda da gelişebilir.

7.4. Beslenmenin Gözlem Kuyularındaki Düşüm Üzerindeki Etkisi

Beslenmenin zaman-düşüm eğrisinin şekli üzerindeki etkisi, Şekil 15'de bir pompaj kuyusuna ait olan grafikte görülmektedir. Şurası bilinmelidir ki bir gözlem kuyusunda yapılan ölçümler birbirine benzer zaman-düşüm eğrileri verecektir. Ancak pompaj kuyusu, gözlem kuyusu ve beslenme kaynağının bağlı konumlarına göre eğrinin eğiminde farklılık olur.

Şekil 17'deki durumda, gözlem kuyusu pompaj kuyusu ile nehir arasında ise, düşüm eğrisinin yataya yaklaşması 240 dk dan önce olur. Eğer gözlem kuyusu pompaj kuyusunun diğer tarafında ise eğrinin eğimindeki değişiklik 240 dk lık pompaj süresinden sonra meydana gelir.

Gözlem kuyusundan sağlanan veriler, pompaj kuyusundan alınanlardan daha doğru ve güvenilirdir. Bu yüzden gözlem kuyularında yapılan ölçümlerle hazırlanmış zaman-düşüm eğrileri, akiferin verimini bulmada daha sağlıklı sonuçlar verir. Çünkü gözlem kuyusundan sağlanan veriler, pompaj kuyusunda olduğu gibi pompa debisinde meydana gelen küçük değişiklikler ve kuyu içindeki türbülansın yol açtığı hatalı su seviyesi ölçümleri gibi olumsuzluklardan etkilenmemiştir. İletkenlik katsayısı hesaplanırken zaman-düşüm eğrisinin ilk kısmındaki Δs değeri kullanılmalıdır. Teorik olarak pompaj kuyusu ve gözlem kuyusuna ait düşüm eğrilerinin aynı Δs değerini vermesi gerekir.

Bu incelemelerden anlaşılmaktadır ki sabit debili pompaj testinin başlangıcında düşüm değerlerinin doğru ve sık olarak ölçümü son derecede önemlidir. Testin ilk safhalarında hem kuyu ve hem de akifer veriminin doğru olarak hesaplanabilmesi için yeterince güvenilir bilgi sağlanmalıdır; aksi takdirde daha sonra meydana gelebilecek olan beslenme veya benzeri dış etkenler dengesizlik teorisinin temel kabullerini geçersiz kılar ve sağlanan verilerin hatalı olmasına yol açarlar.

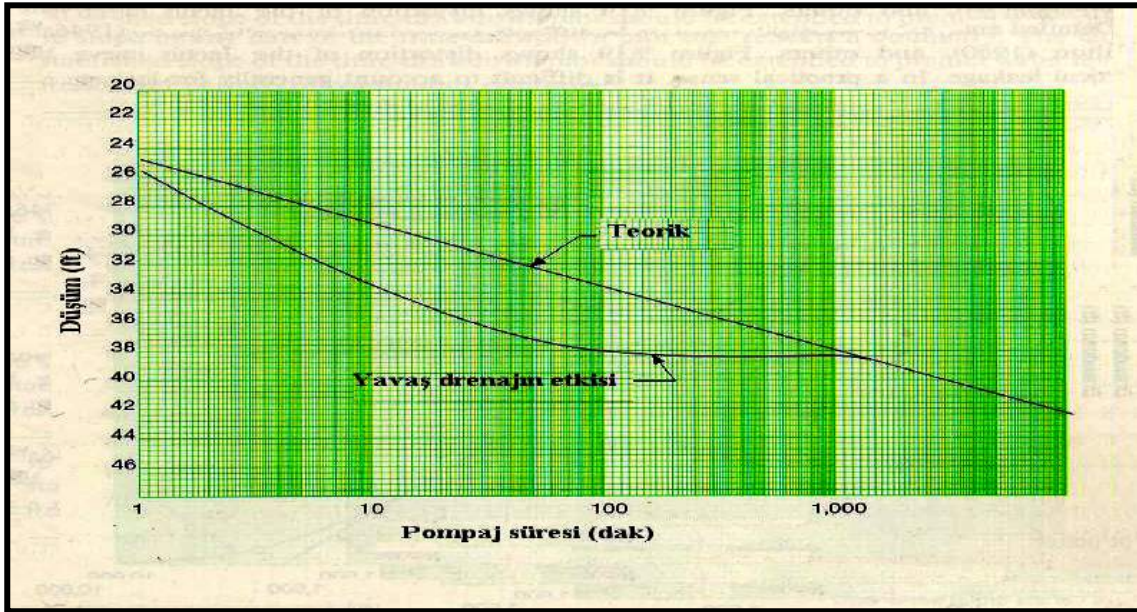
7.5. Eğimli Su Tablası veya Piyezometrik Yüzey

Yeraltısuyunun bir kuyuya akması da dinamik seviyenin sabitleşmesini sağlayan diğer bir durumdur. Beslenme ve boşalım alanları arasında hidrolik eğim oluştuğunda yeraltısuyu harekete geçer. Bu eğim, su tablasının veya piyezometrik yüzeyin eğimidir. Bu yüzeylerin tabii eğimleri çoğu durumlarda oldukça yatay olup kuyu verim eğrileri üzerinde önemli etkileri olmaz. Oldukça dik bir eğim, kuyu çevresindeki düşüm konisinin şeklinin bozulmasına sebep olur. Kuyunun etki alanı daireselden çok eliptik bir şekil alır. Pompaj kuyusuna giren suyun çoğu, her yönden eşit olarak değil de yüksek eğimli olan yönden gelir.

7.6. Yavaş Drenaj (Boşalım)

Serbest akifer şartlarında, düşüm konisi içindeki yavaş drenaj, başlangıçtaki zaman-düşüm verilerinin geçerliliğini olumsuz olarak etkiler. Şekil 18, zaman-düşüm eğrisi üzerindeki böyle bir etkiyi göstermektedir. Yavaş drenajın düşüm çizgisinin eğimi üzerindeki etkisi, pompajın ilk birkaç saatlik başlangıç süresinde kendini gösterir; eğrinin daha sonraki eğimi ise akiferin gerçek özelliklerini yansıtır.

Bu olayın sebebi, bazı sedimentlerde görülen yatay ve düşey geçirgenlik arasındaki büyük farklılık ve birçok akiferin üstünde çok düşük geçirgenlikte sedimentlerin bulunmasıdır. Örneğin buzul sürüntüsü oluşuklarında iri kum ve çakıl seviyeleri ince silt ve kil seviyeleri arasında bulunur. Su yatay yönde serbestçe akabildiği halde düşey yönde büyük ölçüde gecikir. Pompaj başladığında filtreye olan düşey su hareketinin miktarı oldukça azdır, fakat zaman geçtikçe düşüm konisi genişler ve kuyuya düşey yönde daha büyük oranda su girmeye başlar.



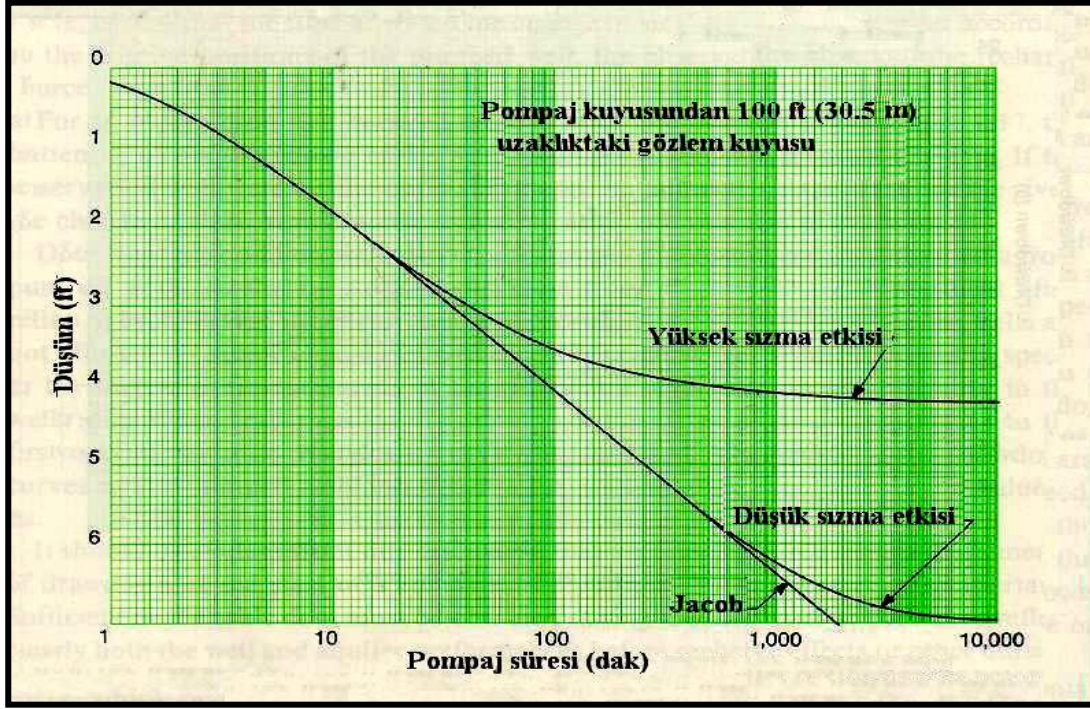
Şekil 18. Bir zaman-düşüm eğrisinin ilk bölümünde yavaş drenajın etkisi.

Yavaş drenaj etkisinin bilinmesi önemlidir, çünkü eğri, birkaç dakikalık pompajdan sonra, bir beslenme sınırına rastlandığı izlenimini verebilir. Gerçek iletkenliğin hesaplanması ancak birkaç saat süren pompajdan sonra mümkün olur. İlk iletkenlik değerleri özel bir akiferi işaret ediyor gibi gözükabilir, fakat depolama değerleri umulandan küçük olur. Depolama katsayıları, çok defa basınçlı akiferde görülen katsayılarla benzeyebilir. Anormal derecede düşük değerler, yavaş drenajın açık göstergesidir. Bu yüzden yavaş drenaj durumunda, sağlanan ilk bilgiler gerçek akifer şartlarını temsil etmez.

7.7. Düşey Sızma (Vertical Leakage)

Yavaş drenaj gibi düşey sızma da bir müddet sonra zaman-düşüm eğrisinin gidişini bozar. Bir akifer, jeolojik olarak, iki akitard (sızmayı geciktirici) tarafından sınırlandırıldığında düşey sızma meydana gelir. Genellikle bu akitardlar, çok sayıda düşey eklem ve faylar ihtiva eden kireçtaşı seviyeleridir. Normal şartlar altında, basınçlı akifere düşey sızma ile su girişi çok azdır. Pompaj sırasında düşüm konisinin basınç yükünde görülen azalma, akiferin hem üstünden hem de altından sızmanın olmasına yol açar.

Jacob(1946 a), Walton(1960) ve diğerleri, sızmanın akifer üzerindeki etkisi hakkında ayrıntılı incelemeler yapmışlardır. Şekil 19, düşey sızmanın Jacob eğrisi üzerindeki etkisini göstermektedir. Sızma etkisinin hesaplanması, bu etkinin çok defa akiferin diğer fiziksel özellikleri tarafından maskelenmiş olması yüzünden pratik yönden zordur.



Şekil 19. Düşük ve yüksek sızma etkisini gösteren düşüm grafiği

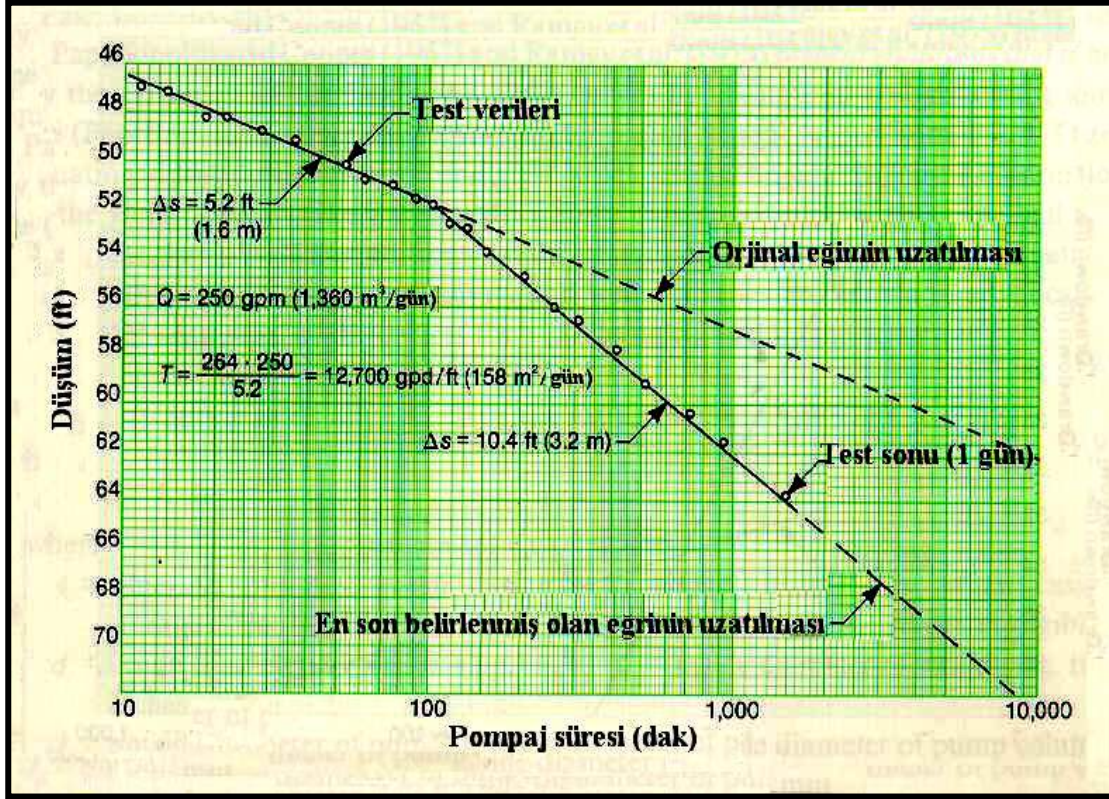
7.8. Geçirimsiz Sınırlar

Pompaj kuyusunun etrafında sonsuz yayılım gösteren akifere tabiatta çok az rastlanır. Birçok yerlerde mevcut jeolojik ve hidrolik sınırlar yüzünden akiferin yayılım alanı birkaç km^2 ile yüzlerce km^2 arasında değişebilir. Bu duruma bilhassa buzul çökeltilerinin olduğu bölgelerde çok rastlanır.

Geçirimsiz sınırın zaman-düşüm eğrisi üzerindeki etkisi, akiferin beslenme etkisinin tam zıddıdır. Sınır etkisi düşüm eğrisinin eğiminde ani dikleşmeye yol açar. Akiferde depolanmış olan suyun kuyuya nasıl ulaştığını düşündüğümüzde bu etki daha iyi anlaşılır.

Daha önce söz edildiği gibi, bir kuyuya su akışı her yönden olmaktadır. Düşüm konisi genişlerken pompa kuyusunun bir tarafında geçirimsiz bir sınıra rastlanırsa kuyu artık bu yönde daha fazla genişleyemez, dolayısıyla o bölgeden su alamaz. Koni, kuyu verimini korumak için diğer yönlerde hızla genişlemek ve derinleşmek zorunda kalır. Şekil 20'de geçirimsiz sınır etkisinin yarı logaritmik eğrinin eğimini dikleştirmiş olduğu görülmektedir.

Yakın civarda geçirimsiz sınırlar veya beslenme kaynakları ile karşılaşma ihtimali olduğunda, akifere ait pompaj test verilerinin değerlendirilmesi sırasında dikkatli olunmalıdır. Eğer sınır etkileri açıkça belli ise akifere ait katsayılar ilk test verilerinden hesaplanmalıdır. Hiçbir zaman, düşüm eğrisinin sınır etkisini gösteren kısmındaki verilere dayanarak hesap yapılmamalıdır. Uzun süreli pompaj sonundaki su seviyesini bulmak için zaman-düşüm eğrisinin son kısmı uzatılmalıdır.



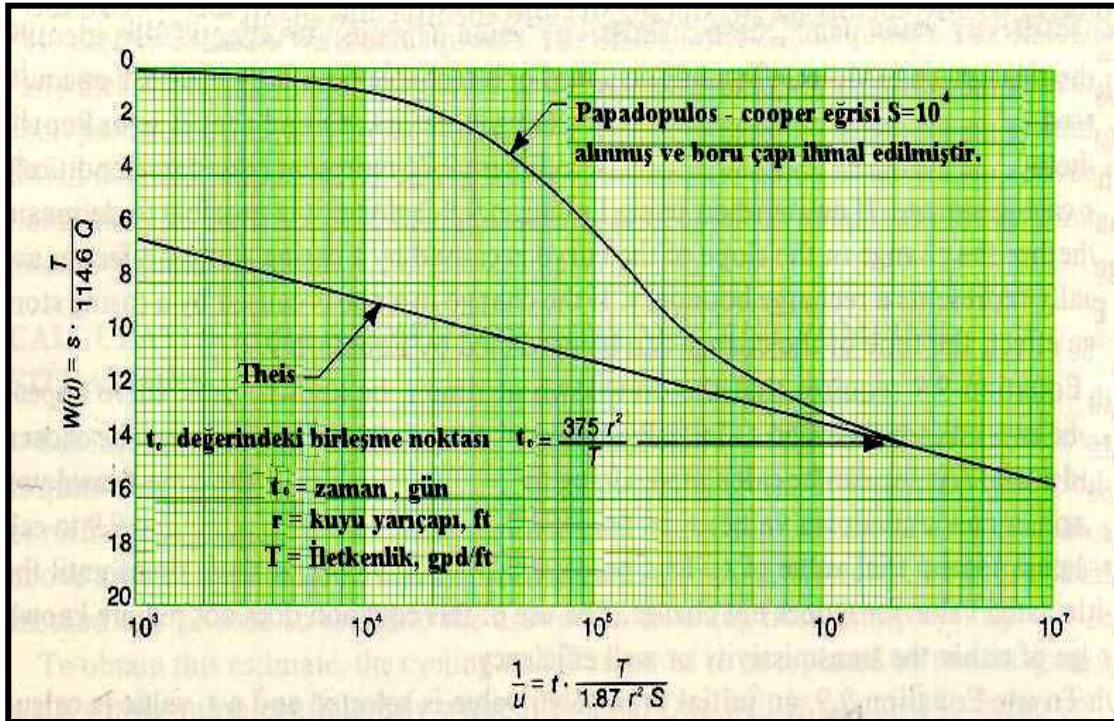
Şekil 20. Yarı logaritmik zaman-düşüm eğrisinin dikleşmesi sınırlı bir akiferi işaret eder. Eğrinin eğiminin değiştiği yerde düşüm konisi bir veya birkaç geçirimsiz sınıra rastlamıştır.

Daha önce, pompaj süresinin basınçlı akiferlerde en az 1 gün, serbest akiferlerde ise 3 gün olması gerektiği belirtilmişti. Şekil 20, pompajın başlamasından 100 dk sonra oluşan bir sınır etkisini göstermektedir. Eğer test süresi 100 dk olsaydı sınır etkisini anlamak mümkün olmayacaktı. Hatta eğrinin birinci kısmının uzatılmasıyla, 1360 m³/gün debide, 7 gün sonraki düşüm 18,9 m olarak görülecekti; halbuki eğrinin ikinci kısmının uzatılmasıyla doğru düşüm değeri 22,3 m bulunmuştur.

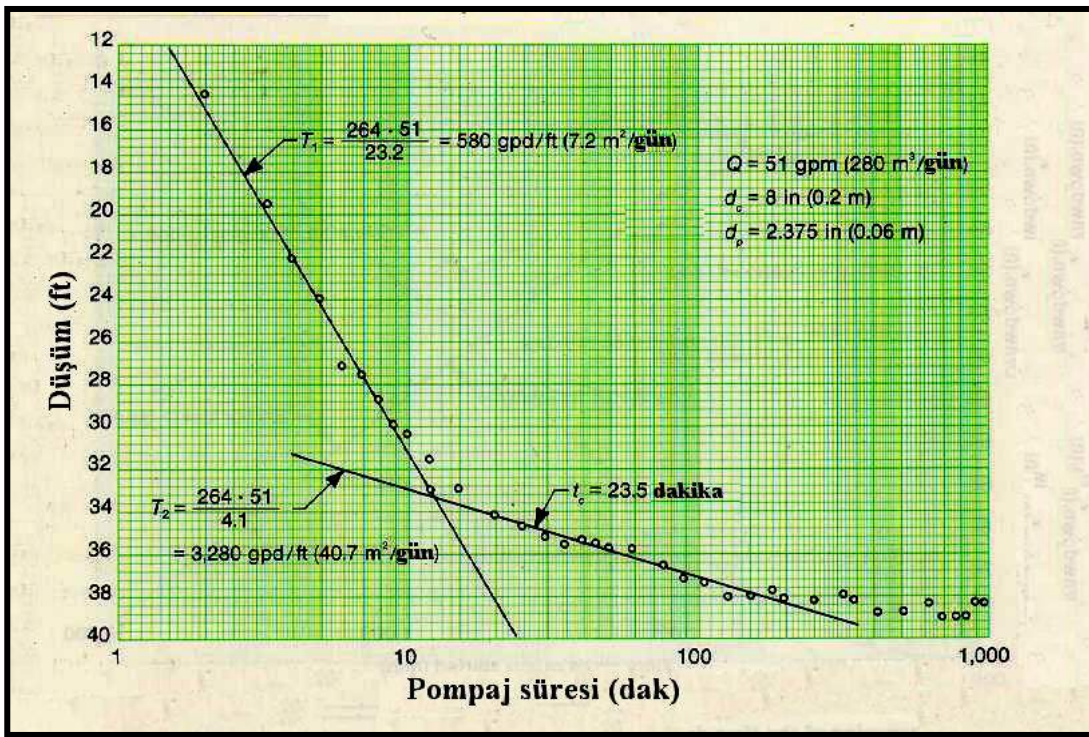
Basıncılı bir akiferde düşüm konisinin yayılımı daha çabuk olur ve 1 günlük bir pompajdan sonra mevcut sınırların tesiri yarı logaritmik diyagramda görülür. Serbest akiferlerde ise koninin yayılması daha yavaştır ve mevcut sınır etkisinin görülmesi için daha uzun süreli pompaj gerekir.

Schafer (1978), ilk pompaj test verilerinin, birçok durumlarda, dengesizlik halindeki Jacob formülüne uymadığını ve ilk Δs değerine göre yapılan hesapların hatalı olduğunu söylemiştir. Pompaj testinin ilk verileri teçhiz borusunda depolanmış olan suyun çekilmesi safhasını temsil eder. Pompaj başladığında önce boruda bulunan su çekilir. Borudaki su seviyesi düştükçe kuyunun çevresindeki akiferden kuyuya su girmeye başlar. Pompaj devam ederken akiferden sağlanan suyun oranı giderek artar. Muhafaza borusu içindeki suyun çekilmesi için gerekli zaman aralığında Δs değeri büyük olduğu için bu değere göre hesaplanan iletkenlik katsayısı gerçekten daha küçüktür.

Şekil 21, muhafaza borusundaki depolanmanın zaman-düşüm eğrisinin ilk kısmında meydana getirdiği bozulmayı gösterir.



Şekil 21. Teçhiz borusunda depolanmış olan suyun, zaman-düşüm eğrisinin ilk bölümünü nasıl değiştirdiğini gösteren pompaj test sonuçları .



Şekil 22. Teçhiz borusunda depolanmış suyu dikkate alan Papadopulos-Cooper formülünün grafik yolla gösterilmesi.

Teçhiz borusunda depolanmış suyun pompaj testleri üzerindeki etkisi bilinmezden önce test verilerini yorumlayanlar eğrinin az eğimli olan ikinci bölümü üzerinde bir beslenme etkisi olduğunu sanmışlardır. Bu etkinin süresi, teçhiz borusunun çapına ve özgül verime bağlı olarak bir kuyudan diğer kuyuya değişir. Teçhiz borusundaki depolanmanın etkisi, çapı geniş ve özgül verimi düşük olan kuyularda daha uzun sürer.

Papadopulos ve Cooper (1967) ve Ramey (1973), teçhiz borusundaki depolanmanın etkisini dikkate alarak Jacob ve Theis eğrilerinin ilk kısmını düzelten formüller geliştirmiştir. (t_c 'nin tayini için kullanılan Papadopulos-Cooper formülleri Şekil 22'de gösterilmiştir.) Bu formüller teçhiz borusu içindeki depolanmanın, kuyu verimine etki edemediği kritik zamanı belirtir. Bu andan itibaren alınan düşüm değerleri akiferin gerçek özelliklerini temsil eder. Fakat bu formüller, ancak iletkenliğin ve kuyu veriminin önceden bilindiği hallerde kullanılabilir.

Schafer söz konusu kritik zamanın şu formülle hesaplanabileceğini göstermiştir:

$$t_c = \frac{0,017 (d_c^2 - d_p^2)}{Q/s} \quad (9)$$

Burada ;

t_c = teçhiz borusundaki depolanmanın artık önemli olmadığı kritik zaman, dakika

d_c = teçhiz borusunun iç çapı, mm

d_p = pompa kolon borusunun dış çapı, mm

Q/s = t_c zamanında kuyunun özgül verimi, m³/gün/m

Gerçek iletkenlik katsayısının tayini, pompaj testinin ilk safhasında teçhiz borusu içindeki suyun etkili olup olmadığının veya bir beslenme kaynağı ile karşılaşp karşılaşmadığının iyi anlaşılması olmasına bağlıdır. Örnek olarak Şekil 21’de verilen pompaj test bilgilerinin sınır şartlarını veya teçhiz borusundaki suyu temsil edip etmediğinin bilinmediğini kabul edelim. (9) formülü kullanılarak birkaç defa hesaplama yapılırsa eğrinin eğimindeki değişikliğin teçhiz borusu depolanmasından ileri gelip gelmediği veya bir beslenme kaynağını temsil edip etmediği anlaşılabilir. Eğer eğimdeki değişiklik teçhiz borusu içindeki sudan dolayı olmuşsa değişme zamanı (9) formülünden bulunabilir.

(9) formülünde t_c zamanındaki düşümün bilinmesi gereklidir; bu sebeple s ve t_c olmak üzere iki adet bilinmeyen ortaya çıkar. Başlangıçta herhangi bir s_1 değeri seçilir ve buradan bir t_c deneme değeri hesaplanır. Bu t_c deneme değeri ve zaman düşüm grafiği kullanılarak yeni bir s_2 düşüm değeri bulunur. s_2 değeri (9) formülünde yerine konularak hesaplanan t_c değeri değişmeyinceye kadar işlem iki veya üç kez tekrarlanır. Bu metot kullanılırken iletkenliğin veya kuyu veriminin bilinmesine gerek yoktur.

(9) formülü kullanılırken bir başlangıç düşüm değeri seçilir ve bir t_c değeri hesaplanır. Örnek olarak; başlangıç s değeri 6,08 m olsun. Buradan t_c değeri:

$$t_c = \frac{0,017(203,2^2 - 60,325^2)}{278,46 / 6,08} = 13,9 \text{ dk.}$$

13,9 dk daki düşüm 10 m dir (zaman-düşüm grafiğinden). Hesaplamaya 6,08 m yerine 10 m kullanılarak devam edildiğinde t_c değeri yaklaşık 22,7 dk olarak bulunur. 22,7 dk daki düşüm 10,4 m dir. Bu değeri (9) formülünde yerine koyarsak 23,5 dk buluruz. Son iki tekrar sırasında t_c değerleri arasındaki farkın sadece 0,8 dk olduğuna dikkat ediniz. Böylece (9) formülü kullanılarak yapılan üç tekrardan sonra teçhiz borusundaki suyun etkisinin 23 dk dan itibaren ihmal edilebileceği anlaşılır. Dolayısıyla eğrinin ilk eğiminin hatalı bir T değeri vereceği ve kuyu verimi tahminlerinin, eğrinin son kısmına göre hesaplanan T değerine dayandırılması gerektiği ortaya çıkar. Eğer eğrinin eğimindeki değişme bir sınır etkisinden kaynaklanıyorsa, bu durumda, eğrinin değişme zamanı (9) formülü ile hesaplanamaz ve bu yüzden kuyu veriminin tahmininde ilk T değerini kullanmak gerekir.

Teçhiz borusu depolama etkisinin söz konusu olduğu pompaj test analizleri T_1 ve T_2 'nin aşağıdaki formüle göre birbiriyle bağlantılı olduğunu göstermiştir.

$$T_2 = \frac{4 T_1}{E} \quad (10)$$

Burada, E kuyunun verimi, T_2 akiferin gerçek iletkenliği, T_1 ise eğrinin teçhiz borusu etkisindeki bölümünden hesapla bulunan sanal iletkenlik değeridir. Elde sadece pompaj kuyusuna ait test sonuçlarının mevcut olduğu hallerde, pompaj testlerinden hesapla bulunan iletkenlik değerleri ve kuyu verimlerinin kontrolü için bu formül kullanılabilir. Formülün sağ tarafındaki 4 rakamı, depolama katsayısının üs değeridir, yani $S = 10^{-4}$ dür. Üs değeri değiştikçe bu rakam da ona göre değişecektir.

Zaman-düşüm ve yükselimin ilk değerlerinin dikkatle toplanması, kuyuların ve akiferlerin özelliklerini öğrenmek için gerekli temel verilerin sayısını çoğaltır. Teçhiz borusunda birikmiş suyun ölçümler üzerindeki etkisi ihmal edilemez. Bu etki, bütün veri analizlerinde dikkate alınmalıdır. t_c değeri (9) formülü yardımıyla önceden tahmin edilerek teçhiz borusunda depolanmış suyun etkilemiş olduğu ve bu yüzden akifer özelliklerinin tayininde kullanılamayacak olan verilerin belirlenmesi mümkün olur. Bu şekilde bulunan iletkenlik ve verim değerleri daha sonra (10) formülü ile kontrol edilir.

8. ARALIKLI POMPAJ DURUMUNDA DÜŞÜM HESAPLARI

İçinde çok sayıda pompaj dönemleri bulunan aralıklı pompaj durumunda kümülâtif düşümün hesabı çok zordur. Eğer arada sınır şartları ve beslenme etkisi de söz konusu ise hesaplama imkânsız olur. Yukarıda anlatıldığı gibi aralıklı pompaj durumunda grafik metotlar kullanılamaz. Pompaj süresince meydana gelen düşümü tahmin edebilmek için kullanılan pratik bir metot şöyledir:

Bunun için aralıklı pompaj yapılan kuyu yerinde sürekli pompaj yapılan iki hayâli kuyunun olduğu varsayılır. Bu kuyulardan birinin, aralıklı pompaj yapılan kuyudan çekilen suyun hacmine eşit miktarda su sağlayacak bir debiyle ve tüm işletme dönemi boyunca sürekli çalıştığı kabul edilir. Diğer kuyunun ise, gerçek pompaj yapılan kuyu ile hayali kuyunun debisi arasındaki farka eşit bir debiyle ve sadece bir pompaj döneminde çalıştığı kabul edilir. Hayâli kuyuların her birine ait düşüm tayin edilip toplanarak gerçek kuyudaki düşüm hakkında güvenilir bir tahmin yapılmış olur.

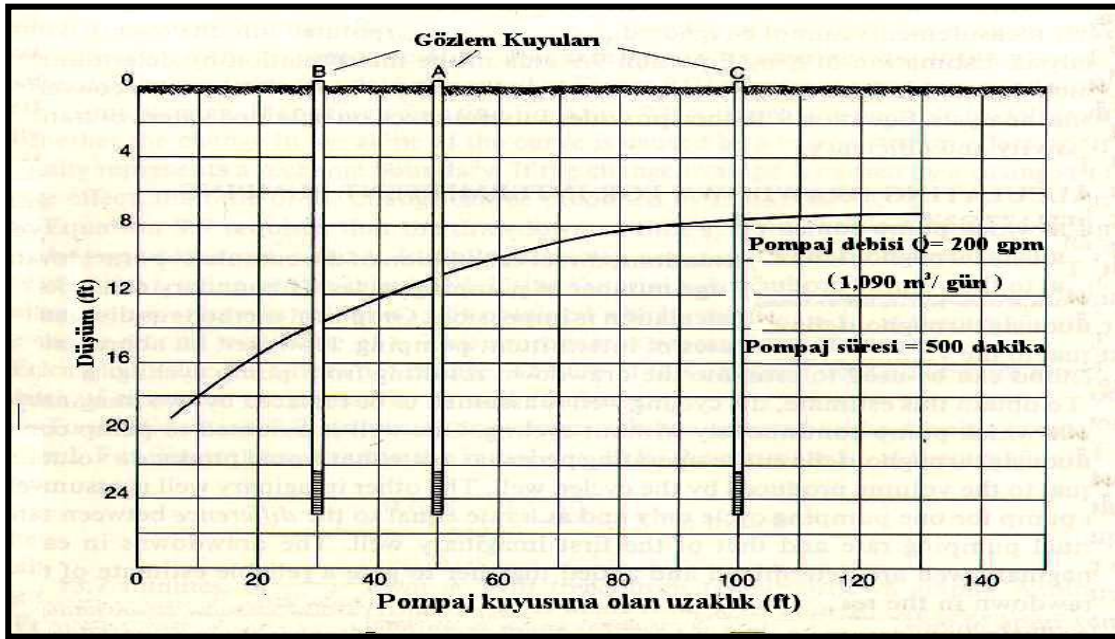
Örnek olarak, debisi $5450 \text{ m}^3/\text{gün}$ olan bir kuyu pompasının günde 18 saat çalıştığını, 6 saat durduğunu ve bu şekilde %75 kapasite ile 90 gün çalışmış olduğunu varsayalım. 90'ıncı günde 18 saatlik pompaj dönemi sonundaki düşümü bulabilmek için bu kuyu, iki ayrı hayâli kuyu gibi düşünülür. Hayâli kuyunun birinde tüm pompaj süresince fiili çekimin $3/4$ 'ü kadar pompaj yapılmakta olduğu, diğerinde ise en son pompaj döneminde, fiilî boşalımın $1/4$ 'i kadar pompaj yapılmış olduğu kabul edilir. Diğer bir ifadeyle, birinci hayâli kuyu 89 gün 18 saat (89,75 gün) boyunca $4090 \text{ m}^3/\text{gün}$ debiyle çalışmış, ikinci hayâli kuyu sadece 18 saatte (0,75 gün) $1360 \text{ m}^3/\text{gün}$ debiyle çalışmıştır. Hayâli kuyulardan sağlanan düşüm değerleri toplanarak istenen tahmin yapılmış olur. Bu metodun matematik bir kesinliği yoktur, fakat mantıklı bir yol olup matematik yolla bulunan değerlere göre hatâ payı % 1-2 ' dir.

9. MESAFE-DÜŞÜM GRAFİKLERİ

Sayfa 15'de verilen (6) formülünün uygulaması için yarı logaritmik bir mesafe-düşüm eğrisi hazırlanır. Hatâsız bir mesafe-düşüm eğrisi elde edebilmek için pompaj kuyusuna farklı uzaklıklarda bulunan en az üç gözlem kuyusuna ait düşüm değerlerine ihtiyaç vardır. Bu değerler, Şekil 23'deki gibi normal bir grafik kağıdına işlendiğinde pompaj kuyusu

çevresindeki düşüm konisinin yarı kesiti elde edilir. Bu eğri, Şekil 4, 8, 9 ve 17'deki eğrilere benzer.

Bu üç gözlem kuyusuna ait düşüm değerleri yarı logaritmik bir kâğıda işlendiğinde, Şekil 24'deki gibi düz bir düşüm eğrisi elde edilir. Pompaj kuyusundan daha uzakta bulunan gözlem kuyularındaki düşüm değerlerine ait noktalar da Şekil 24'deki çizginin biraz altına düşecektir. Çünkü pompaj kuyusundan belli bir uzaklığa kadar u değeri 0,05 den büyüktür. u 0,05'den büyük olduğunda s ile $\log r$ arasındaki doğru orantılı ilişki artık geçerli değildir.



Şekil 23- Üç gözlem kuyusuna ait düşümlerin işlenmesiyle düşüm konisinin yarı kesiti elde edilir.

Düşüm konisinin yarı logaritmik kağıda işlenmesi mesafe-düşüm bağıntısının tatbikini kolaylaştırır. Düz çizginin sağa doğru uzatılmasıyla pompaj kuyusundan herhangi bir uzaklıkta pompajın etkisini tayin etmek mümkün olur. Örneğin, Şekil 24 deki test kuyusunda 500 dk süreyle 1090 m³/gün debiyle pompaj yapıldığında $91,5$ m uzaklıktaki diğer bir kuyudaki düşüm $0,8$ m olacaktır.

9.1. İletkenlik

Formül (6) da yapılan basit dönüşümle, iletkenliğin mesafe-düşüm diyagramından tayini mümkün olur. Zaman-düşüm diyagramının kullanımında olduğu gibi burada da düz çizginin eğimi kullanılır.

$$T = \frac{0,366 Q}{\Delta s} \quad (11)$$

Burada;

T = İletkenlik katsayısı, m²/gün

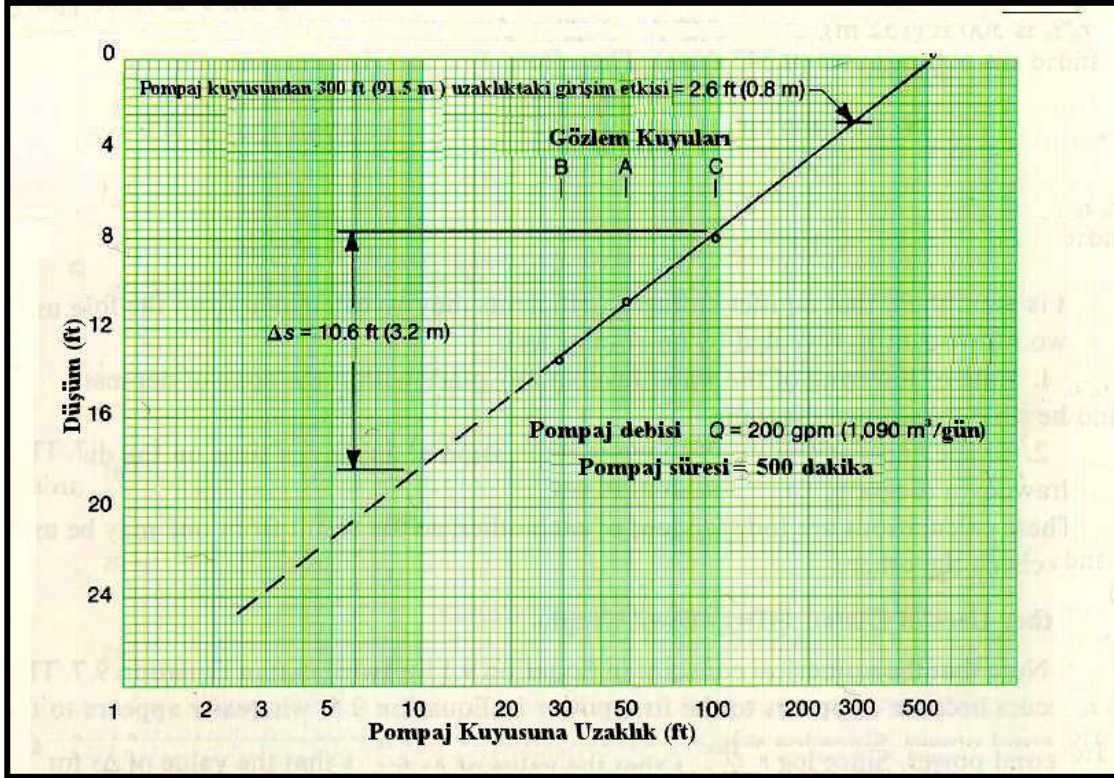
Q = Pompaj debisi, m³/gün

Δs = Mesafe-düşüm grafiğinin eğimi, yarı logaritmik kağıttaki log skalası üzerinde aralarındaki oran 10 olan iki mesafe değeri arasındaki düşüm farkının m cinsinden ifadesi

Şekil 24'deki örnekten,

$$T = \frac{0,366 \cdot 1090}{3,2}$$

$$= 125 \text{ m}^2/\text{gün}$$



Şekil 24- Düşüm konisini belirleyen noktalar yarı logaritmik bir kağıda işlendiğinde düz bir çizgi elde edilir. Her bir gözlem kuyusundaki düşüm değerleri pompajın başlamasını takip eden 500 dk süre içinde ölçülmüştür.

9.2. Depolama Katsayısı

Depolama katsayısı, Formül 6'dan çıkarılmış olan aşağıdaki formülü kullanmak suretiyle mesafe-düşüm diyagramından bulunabilir.

$$S = \frac{2,25 T t}{r_o^2} \quad (12)$$

Burada

S = Depolama katsayısı

T = İletkenlik katsayısı, m²/gün

t = Pompaj süresi, gün

r_o = Mesafe-düşüm çizgisinin sıfır düşüm çizgisiyle kesiştiği noktanın uzaklığı, m

Şekil 24'den $r_o = 152$ m, $T = 124$ m²/gün, $t = 500$ dk (0,347 gün) alındığında;

$$S = \frac{2,25 \cdot 124 \cdot 0,347}{(152)^2}$$
$$= 4,2 \times 10^{-3} \quad \text{bulunur.}$$

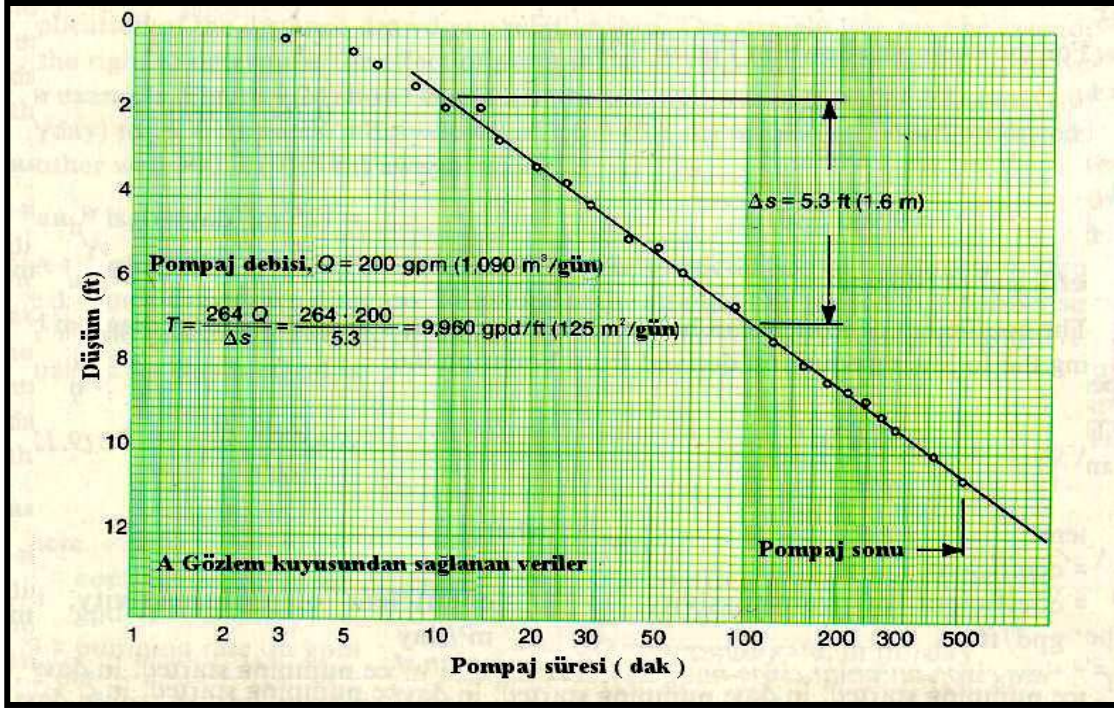
Görülmektedir ki akiferin depolama katsayısı, akifer testi sırasında belirlenmiş olan şu iki bağıntıdan da hesaplanabilir:

- 1- Zaman-düşüm diyagramında düşüm konisi içindeki herhangi bir yerdeki su seviyesinin düşme hızı.
- 2- Mesafe-düşüm diyagramı üzerindeki belli bir zamanda düşüm konisinin şekli ve konumu.

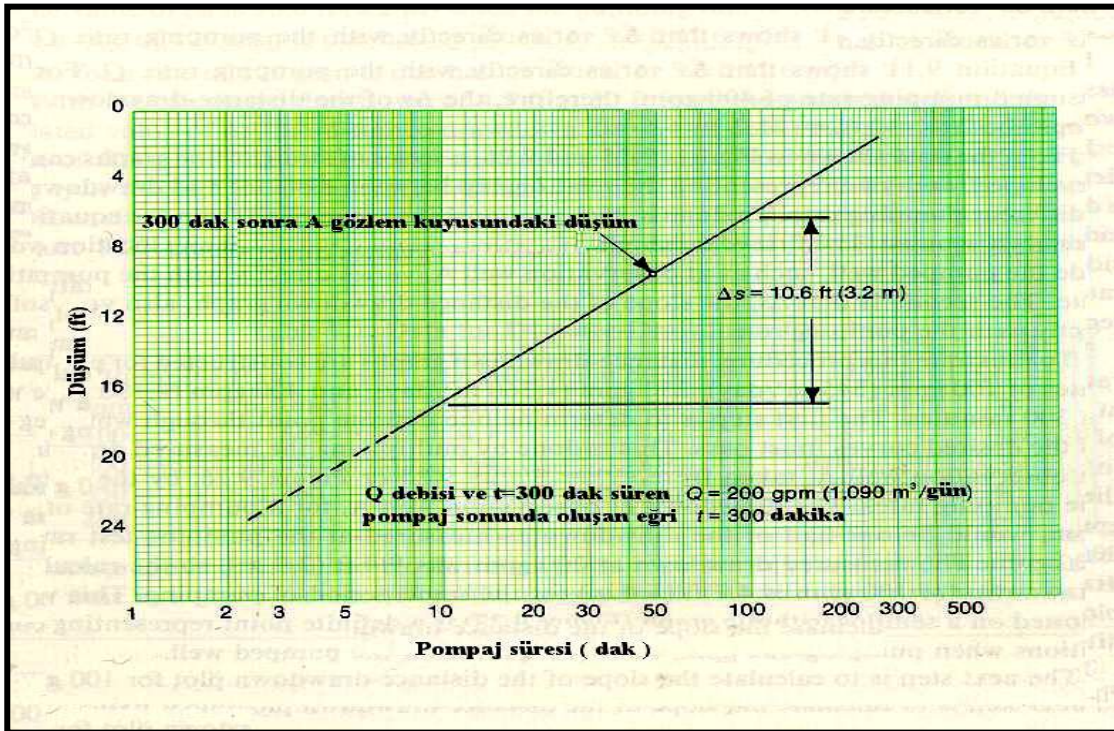
Bu hesaplamalar birbirinden bağımsızdır; birinden alınan sonuç diğerinin kontrolünde kullanılabilir.

9.3. Mesafe-Düşüm Grafiklerinin Diğer Kullanımları

Formül 11'deki sayısal sabitin Formül 7'dekinin iki katı olduğu görülmektedir. Formül 6'da t birinci kuvvet, r ise ikinci kuvvet halindedir. $\log r^2$, $2 \log r$ ile aynı olduğu için mesafe-düşüm grafiğindeki Δs değeri, zaman-düşüm grafiğindeki Δs 'in 2 katı olur. Belli bir akifer ve belli bir pompaj debisi için bu iki düz çizginin eğimleri arasında sabit bir bağıntı vardır. Bu sebepten, bir zaman-düşüm grafiğinden Δs tayin olunduğu zaman, mesafe-düşüm grafiğindeki çizginin eğimi, pompaj debisi aynı olmak şartı ile, birincinin iki katı olmalıdır. Bu durum, tek bir gözlem kuyusunun ölçümlerinden çizilmiş olan zaman-düşüm grafiğinden mesafe-düşüm eğrisinin çizilebilmesini sağlar. Bununla beraber düşüm sadece bir kuyuda (örneğin işletme kuyusunda) gözlenmişse, akifer verimi ile ilgili bağımsız hesaplamalar yapılamaz.



Şekil 25- Pompay kuyusundan 15,2 m uzaklıktaki A gözlem kuyusuna ait zaman-düşüm eğrisi. Akifer $1090 \text{ m}^3/\text{gün}$ 'lük sabit bir pompay debisiyle test edilmiştir.



Şekil 26- Zaman-düşüm değerlerinden hazırlanmış olan mesafe-düşüm eğrisi. Şekil 25, $1090 \text{ m}^3/\text{gün}$ 'lük, bir debiyle 300 dk pompay yapıldıktan sonra düşüm konisinin durumunu gösterir.

Aşağıdaki örnek, zaman - düşüm grafiğinden mesafe - düşüm eğrisinin hesaplanmasını anlatmaktadır. Şekil 25’de bundan önceki iki şekilde gösterildiği gibi pompaj kuyusundan 50 ft (15,2 m) uzaklıktaki bir gözlem kuyusuna ait yarı logaritmik bir zaman - düşüm grafiği görülmektedir. Zaman- düşüm noktasından bulunan Δs 1,6 m olup Şekil 24’deki mesafe-düşüm eğrisinden bulunan Δs değerinin yarısı kadardır.

Şekil 25’de görüldüğü gibi, 300 dk süren bir pompaj sonucu hazırlanmış olan bir mesafe-düşüm eğrisinde, A gözlem kuyusunda 300 dk sonraki düşüm 9,4 ft (2,9 m) dir. Şekil 26’da görüldüğü gibi bu ölçüm değeri, yeni bir diyagram üzerinde 50 ft (15,2 m) çizgisi ile 9,4 ft (2,9 m) düşüm çizgisinin kesim noktası üzerine işlenir. Daha sonra bu noktadan $\Delta s=2 \times 5,3=10,6$ ft (3,2 m) olan düz bir çizgi çizilir. Böylece 1090 m³/gün bir debiyle 300 dk yapılan pompaj sonucunda oluşacak düşüm konisini temsil eden mesafe-düşüm çizgisi elde edilir.

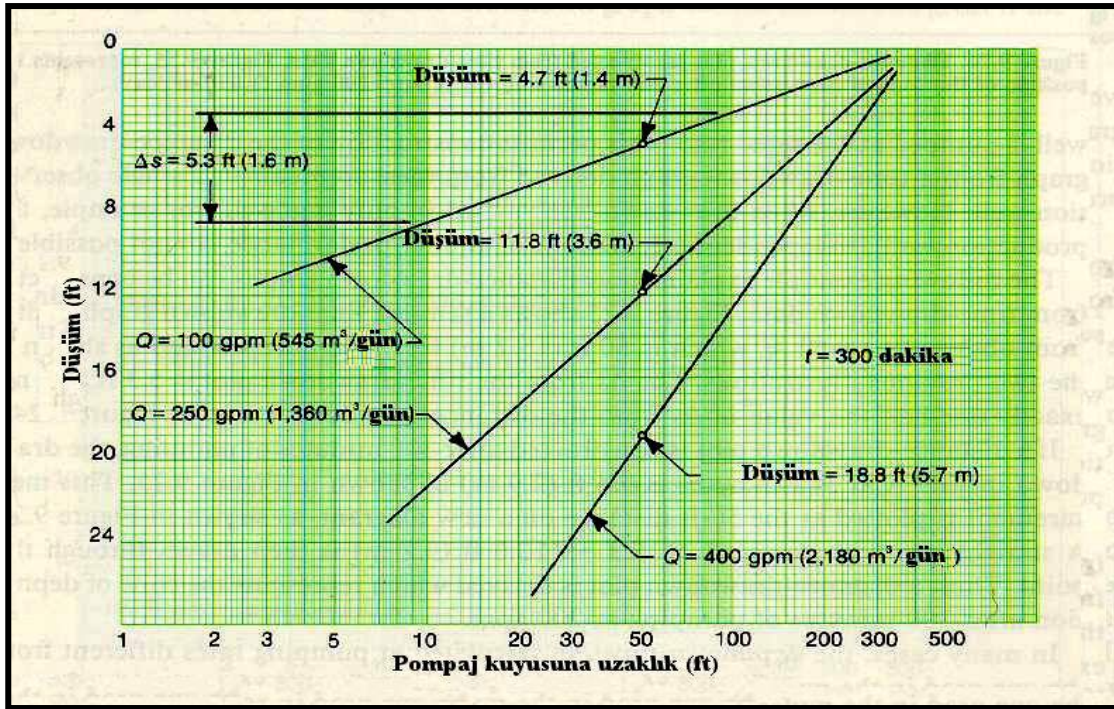
Birçok hallerde pompaj testinde uygulanan debiden farklı debilerde de düşüm değeri hesaplanmalıdır. Çeşitli pompaj debilerinde bir kuyunun diğer kuyular üzerindeki girişim etkilerini hesaplamak için bu bilgilere ihtiyaç vardır. Örneğin, test kuyusunun yerinde inşa edilecek olan 2180 m³/gün debili sabit bir işletme kuyusunun, kendisinden 91,5 m uzaklıktaki başka bir kuyu üzerindeki etkisini hesaplamak gerekebilir.

Formül 11, Δs ’in pompaj debisi Q ile doğru orantılı olduğunu gösterir. Bu sebeple, örneğin, 2180 m³/gün’lük bir pompaj debisi için mesafe - düşüm Δs değeri $2 \times 10,6 = 21,2$ ft (6,5 m) olacaktır.

Şekil 25 ve 26’daki bilgilerin yardımıyla bir seri grafik çizilebilir. Bu eğrilerin her biri, farklı pompaj debilerindeki mesafe-düşüm arası bağıntıyı ifade eder. Bunu yapabilmek için daha önce incelenen formüllerdeki bağıntılardan yararlanır. Bu bağıntılardan birincisi, pompaj kuyusunun çevresindeki (örneğin A gözlem kuyusundaki) düşümün pompaj debisi ile doğru orantılı olarak değişmesidir. İkincisi, mesafe-düşüm eğrisinin eğimi olan Δs ’ in pompaj debisiyle doğru orantılı olarak değişmesidir.

Bunu açıklamak için şöyle bir örnek verelim:

Her biri 300 dk süren 545 m³/gün, 1360 m³/gün ve 2180 m³/gün pompaj debileri için mesafe-düşüm eğrileri hazırlanacak olsun. Bunun için yapılacak ilk iş, istenen eğrilerin her birinin geçmesi gereken belirli bir noktayı tayin etmektir. Bu, Şekil 25 veya 26'dan alınan ve A gözlem kuyusuna ait olan ölçülmüş düşüm değerinin pompaj debilerinin oranıyla çarpılmasıyla bulunur. 545 m³/gün' lük debi için A gözlem kuyusundaki düşüm, 990 m³/gün' lük bir pompaj debisinin oluşturduğu düşümün yarısı kadar olacaktır. Pompaj süresi eşit kalmak şartıyla 990 m³/gün debilik pompaj sonunda ölçülen düşüm 2,9 m olduğuna göre 545 m³/gün debilik bir pompaja karşılık gelen düşüm hesap yoluyla 1,4 m bulunur. Şekil 27'deki yarı logaritmik bir grafik üzerine işlenen bu değer, pompaj kuyusundan 15,2 m uzaklıkta, 545 m³/gün debiyle pompaj yapılması durumunu temsil eder. Bundan sonraki iş, 545 m³/gün debi için mesafe-düşüm eğrisinin eğimini hesaplamaktır. Bu, Şekil 26'da gösterilmiş olan eğimi, pompaj debilerinin birbirine olan oranlarıyla çarpılarak bulunur. Pompaj debisi 990 m³/gün olduğunda Δs değeri 3,2 m dir. 545 m³/gün debi için Δs değeri bunun yarısı yani 1,6 m dir.



Şekil 27- Şekil 25'deki bilgileri kullanarak hazırlanmış olan çeşitli pompaj debileri için mesafe-düşüm grafikleri. Bunların her biri, üzerlerinde yazılmış olan debilerde 300 dk pompaj yapılması durumunu temsil eder.

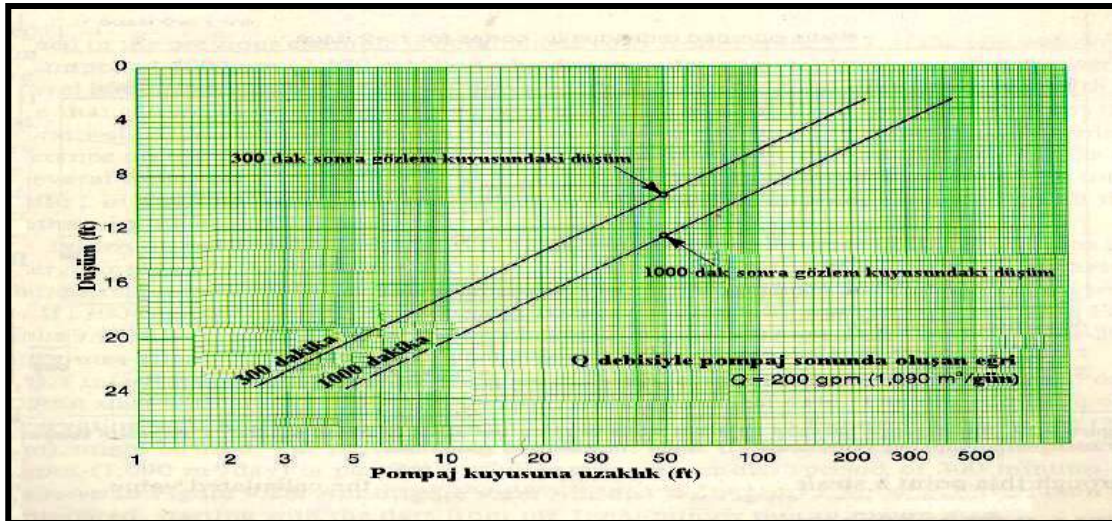
Pompaj kuyusundan 15,2 m uzaktaki bir nokta için hesapla bulunmuş olan 1,4 m' lik düşüm ile yine hesapla bulunmuş olan Δs değerini kullanarak 545 m³/gün' lük pompaj debisi

için mesafe-düşüm eğrisini çizmek mümkündür. Şekil 27'nin üst bölümünde görüldüğü gibi, bu işlem, pompaj kuyusundan 15,2 m uzaklıktaki 1,4 m lik düşüm değerini temsil eden noktadan, her bir logaritmik dilim başına 1,6 m eğimli düz bir çizgi geçirilerek yapılır. Şekil 27'deki diğer grafiklerin çizilebilmesi için gereken bilgiler Tablo 2'de verilmiştir.

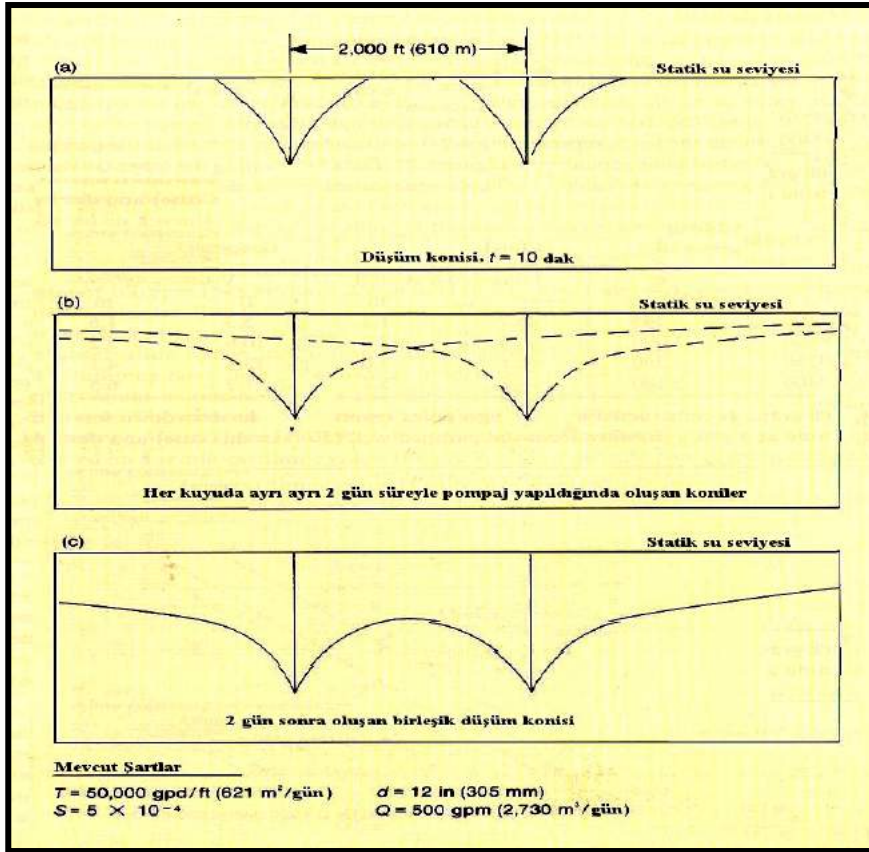
Tablo 2- Mesafe-Düşüm Grafiklerinde Kullanılan Bilgiler

Pompaj debisi		(50 ft) 15.2 m deki düşüm		s değeri	
gpm	m ³ /gün	ft	m	ft	m
100	545	4.7	1.4	5.3	1.6
200	1,090	9.4	2.9	10.6	3.2
250	1,360	11.8	3.6	13.3	4.1
400	2,180	18.8	5.7	21.2	6.5

Grafikler, pompaj kuyusundan belli bir uzaklıkta (örneğimizde 15,2 m) belli bir zamanda oluşan düşüm değerini temsil eden bir noktanın işaretlenmesi ve bu noktadan geçen ve hesaplanmış Δs eğimine sahip düz bir çizginin çizilmesiyle hazırlanır.



Şekil 28- 1090 m³ gün' lük sabit bir debiyle 300 dak ve 1000 dak sürelerle pompaj yapıldıktan sonraki düşüm konisinin konumlarını gösteren mesafe – düşüm grafikleri.



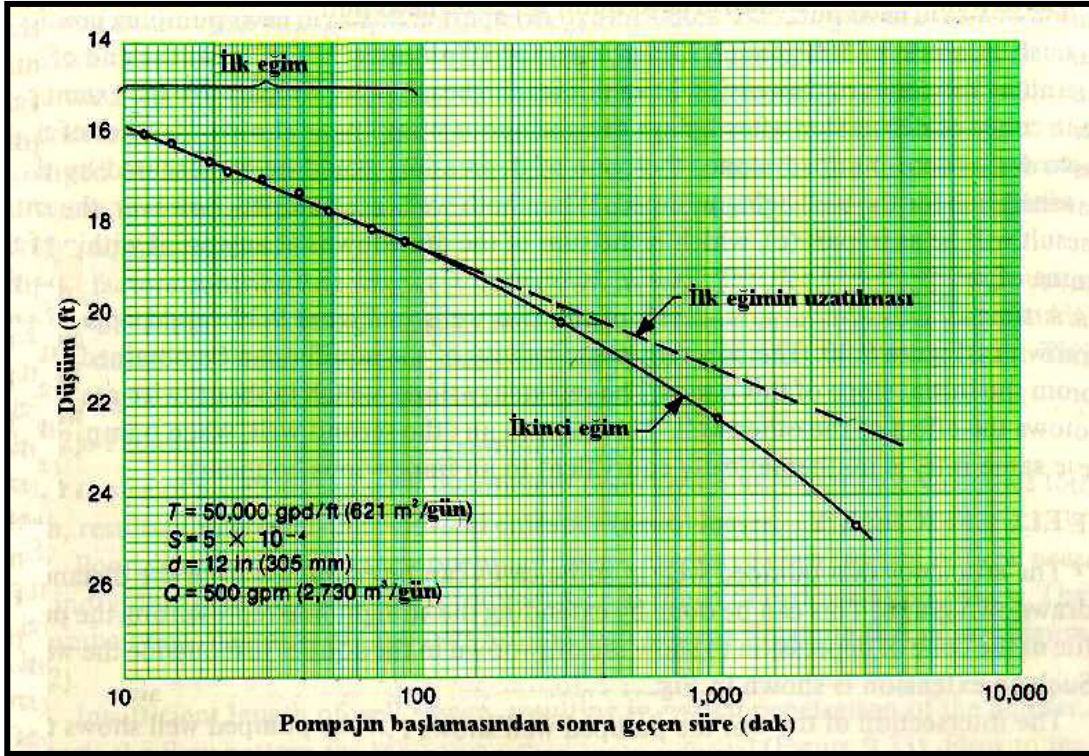
Şekil 29- Basınçlı bir akiferde açılmış olan yakın kuyular arasındaki girişim. Belli şartlar altında ve aynı anda pompaj yapılan her iki kuyuda birleşik düşüm konisi oluşur.

10. KUYU GİRİŞİMİ

Bir önceki örneğimizde sözü edilen pompaj kuyusundan 91,5 m uzaklıktaki diğer bir kuyuda oluşan girişim veya düşüm miktarları Şekil 27'den elde edilmiştir. Test kuyusundaki pompaj debisi 2180 m³/gün olsaydı, 91,5 m uzaklıktaki bir noktada meydana gelecek düşüm değeri mesafe-düşüm eğrisinden 0,7 m olarak bulunacaktı. Bu takdirde toplam düşüm, kuyunun kendi pompajının sebep olduğu düşüm ile ilk kuyudaki 0,7'lik düşümün toplamı kadar olacaktır. Her iki kuyuda 2180 m³/gün debiyle pompaj yapıldığı takdirde, ikinci kuyunun çalışması da birinci kuyu üzerinde aynı derecede girişim etkisi yapacaktır. Birbirlerinden çeşitli uzaklıklarda açılmış olan birçok kuyunun girişim etkileri de aynı metotla bulunabilir. Herhangi bir kuyudaki toplam etki, gruptaki diğer bütün kuyuların oluşturduğu düşüm miktarlarının toplamı kadardır.

Bu incelemedeki kuyu girişim hesapları, 300 dk süren bir pompaj sonrasındaki akifer şartları için geçerlidir. Şekil 26 bu esasa göre çizilmiştir. Şekilde işlenmiş olan ilk nokta, pompaj başladıktan 300 dk sonra A gözlem kuyusundaki durumu temsil eden zaman-düşüm grafiğinden alınmıştır. Şekil 27, Şekil 26'dan faydalanılarak hazırlandığı için Şekil 27'deki bütün mesafe-düşüm eğrileri sadece pompajdan 300 dk geçtikten sonraki an için geçerlidir.

Eğer farklı pompaj süreleri sonunda meydana gelecek olan girişim miktarları öğrenilmek istenirse, orijinal test verilerinden bir başka nokta seçilmek suretiyle işe başlanmalıdır. Örneğin, Şekil 25'deki A gözlem kuyusuna ait eğriden, 1000 dk sonra oluşan 3,8 m (12,3 ft)' lik düşüm değeri kullanılabilir. Daha sonra Şekil 28'deki 1000 dk eğrisindeki noktadan başlayarak Şekil 27'dekilere benzeyen diğer eğri takımları çizilebilir.



Şekil 30- Şekil 29'daki her bir kuyu için çizilmiş olan zaman-düşüm eğrisi, düşüm konilerinin birbirini kesmesi halinde meydana gelen kuyu girişim etkisini gösterir.

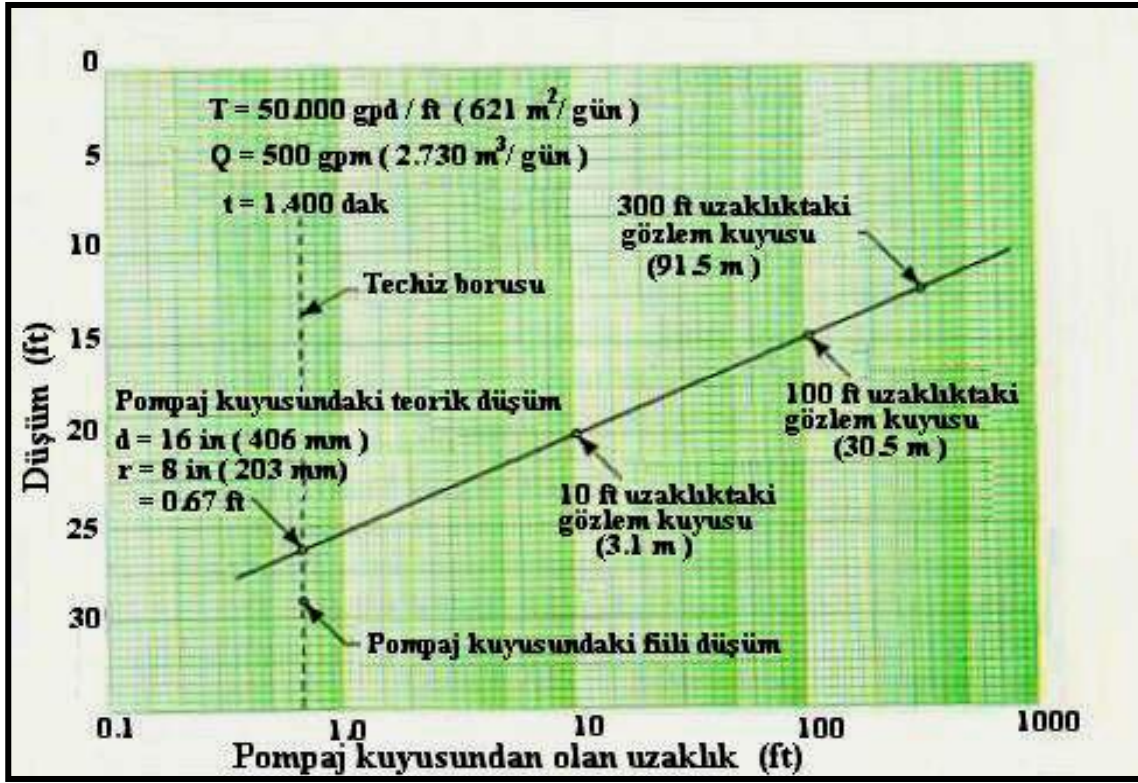
Çeşitli kuyulara ait konilerin birbiri üzerine geldiği bir işletme sahasında net bir girişim şekli elde edebilmek ve bunların doğru yorumunu yapabilmek için Şekil 29 dikkatle

incelenmelidir. Şekil 29(a) da birbirinden 610 m uzaklıkta iki kuyunun profili görülmektedir. Her iki kuyuda da 10 dk süre ile $2730 \text{ m}^3/\text{gün}$ debiyle sürekli pompaj yapılmıştır. 10 dk sonunda düşüm konilerinin henüz birbirine ulaşmadığı, (b) de ise 2 gün sürekli pompaj sonunda düşüm konilerinin genişlemiş oldukları görülmektedir. Her bir kuyunun yalnız başına çalışmaları halinde oluşan düşüm konisi kesikli çizgi ile gösterilmiştir. İki kuyu birlikte çalıştığı takdirde meydana gelecek olan birleşik düşüm (c) de görüldüğü gibi, her iki kuyunun etki sahası içindeki herhangi bir noktadaki düşümlerin toplamıdır.

Şekil 29'daki iki kuyunun her biri için çizilen zaman-düşüm eğrisi Şekil 30'da gösterilmiştir. Akiferin gerçek iletkenlik katsayısı bu eğrinin ilk bölümünün eğiminden yararlanarak hesaplanır. Eğrinin ikinci bölümünün eğimi birincinin iki katı olup diğer kuyunun etkisini gösterir. Aynı debiyle pompaj yapılmak şartıyla, ikinci kuyunun birleşik düşümü matematiksel olarak geçirimsiz bir sınır etkisiyle eşdeğerdir.

11. KUYU RANDIMANI

Bir pompaj kuyusunun randımanı, bazı durumlarda mesafe-düşüm eğrisinden bulunabilir. Bunun için düşüm konisinin profilini temsil eden düz çizgi uzatılarak kuyunun yakın çevresindeki akiferde meydana gelecek olan düşüm belirlenir. Şekil 31'de böyle bir uzatma işlemi görülmektedir. Uzatılan çizginin pompaj kuyusunun yarıçapı ile kesiştiği yer %100 randımanlı bir kuyunun teorik düşümünü gösterir. (Çakıl zarfı olan bir kuyuda yarıçap, kuyunun merkezinden çakıl zarfının dış yüzüne olan mesafedir) Bu kural tabanına kadar filtrelenmiş basınçlı bir akifer için geçerlidir. Verilen örnekte teorik düşüm 8 m (26,3 ft) dir. Kuyudaki gerçek düşüm ise 8,8 (29 ft) dir. Buradan kuyunun randımanı, $8 : 8,8 = \%91$ olarak bulunur.



Şekil 31- Pompa kuyusundaki teorik düşüm ile gerçek düşümü karşılaştırmak için mesafe-düşüm çizgisi, yatay eksen üzerinde kuyu yarıçapının işaretlenmiş olduğu noktaya kadar uzatılır.

Kuyunun çalışması sırasında akiferin doymun kalınlığında önemli bir azalma olduğunda, ekstra düşüm meydana gelir. Ekstra düşüm, başlıca serbest akiferlerde açılmış olan kuyularda görülür. Böyle bir durum kuyunun randımsızlığı şeklinde yorumlanmamalıdır. Akiferden kısmen su çekildiği durumda, kuyu randımanının daha hassas olarak belirlenmesi için teorik düşümü düzelten bir formül verilmiştir.

Pompa sırasında serbest bir akiferin doymun kalınlığında %20 den çok azalma olduğunda, Jacob formülü kullanılarak yapılan hesaplarda fiilî iletkenlik değerini bulabilmek için düşümün düzeltilmesi gerekir. Dengesizlik durumundaki kuyu formülünde, basınçlı bir akiferde olduğu gibi, pompa sırasında akiferin kalınlığının sabit kaldığı varsayılmıştır. Fakat yüksek debiyle pompa yapılan birçok serbest sığ akiferlerde düşüm konisi, akiferin önemli bir bölümünün suyunu çekecek kadar geniş olur. Doymun kalınlık azalırken özgül verim de azalır. Meydana gelen ekstra düşüm, kısmen suyu çekilmekte olan akiferin fiilî iletkenliğindeki azalmayı yansıtır. Akiferin tam doymun durumundaki gerçek iletkenliğini bulmak için, ölçülen düşüm değeri şu formül yardımıyla düzeltilir.

$$s_t = s_a - \left(\frac{s_a^2}{2b} \right)$$

Burada, s_t düzeltilmiş (teorik) düşüm değeri, s_a fiilî veya ölçülmüş düşüm, b pompaj yapılmadığı durumda serbest akiferin doygun kalınlığıdır. Düzeltilmiş (teorik) düşüm değerinin ölçülen düşüm değerinden daima az olacağı formülden açıkça görülmektedir.

Kuyularda aşırı düşüme (randımsızlığa) yol açan faktörler iki gruba ayrılır. Birincisi kuyunun projelendirilme safhasında yapılan tercihlerle ilgili faktörler, ikincisi kuyunun inşa safhası ile ilgili faktörlerdir. Aşağıda bu iki grup faktör hakkında özet bilgi verilmiştir.

11.1. Proje Faktörleri

1- Filtre açıklığı yüzdesi yeterli olmayan filtre tipinin seçimi, suyun kuyuya giriş hızını arttırarak normalin üstünde yük kaybına yol açar.

2- Filtre açıklığının seyrek dağılımı, akımın açıklıkların etrafında toplanmasına sebep olur. Bu durum, (aynı miktarda debiyi sağlayabilmek için) düşüm miktarının iki katına çıkmasına yol açabilir. Şekil 32'deki kuyu filtresi civarındaki akım ağı böyle bir durumu gösterir.

3- Filtre boyunun yetersiz oluşu akiferin kısmi penetrasyonuna ve kuyunun etrafındaki akım ağının bozulmasına sebep olur (Şekil 32). Bu takdirde filtreye giren akımın yatay bileşeni yanında önemli ölçüde düşey bileşeni de olur. Düşey geçirgenlik, yatay geçirgenlikten genellikle düşük olduğu için düşey akımdan dolayı önemli yük kayıpları meydana gelir. Ekstra düşüm meydana gelse bile zorunlu proje şartlarından dolayı bazı durumlarda kısa filtre kullanma gereği doğabilir. Akiferde kısmî penetrasyonun etkisi daha sonra incelenecektir.

4- Köşeli ve yassı malzemedan oluşan uygunsuz boyuttaki çakıl zarfı, filtreden kuyuya su girişini zorlaştırır. Tane şekli, büyüklüğü ve tane boyu dağılımı da çakıl zarfının geçirgenliğini etkiler.

11.2. İnşâ Faktörleri

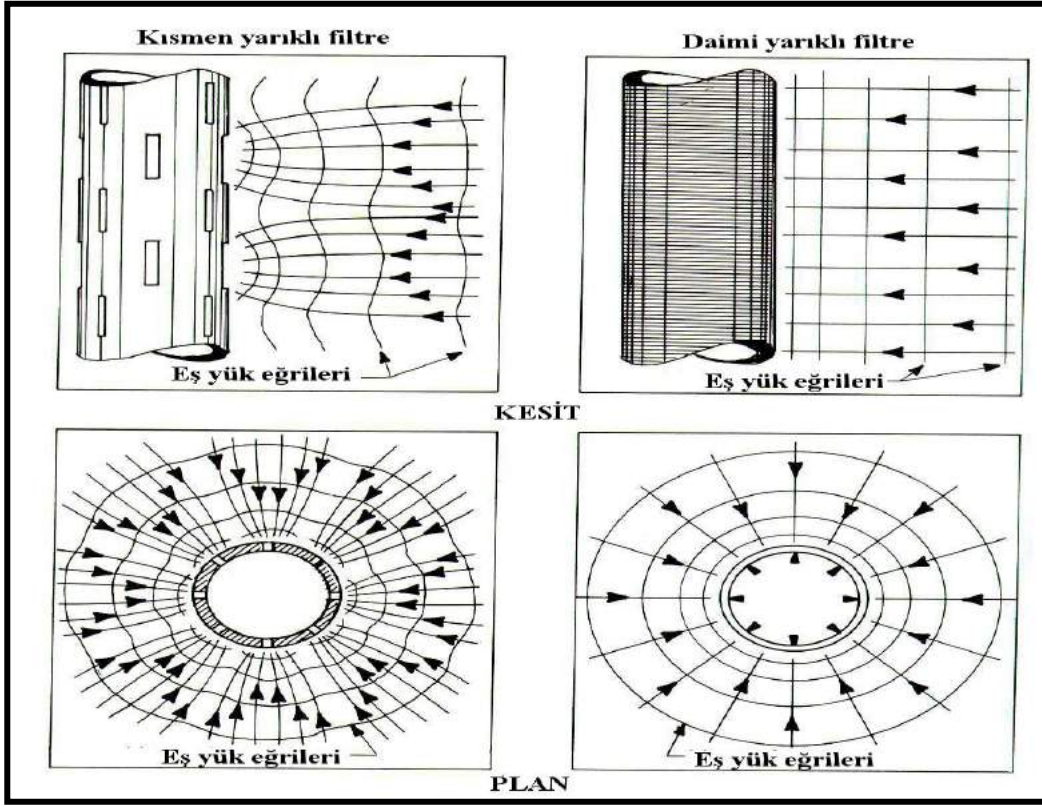
1- Kuyunun inkişafı yeterince yapılmadığı zaman sirkülasyon çamuru temizlenemez; formasyon içinde filtre etrafında kalan küçük kil parçacıkları geçirgenliğin azalmasına sebep olur. Sondaj müteahhitleri toplam filtre açıklığı az veya yarıklarının dağılımı seyrek olan filtreler kullandıklarında inkişaf sırasında büyük zorluk çekerler.

2- Filtrenin en çok su taşıyan seviyenin karşısına indirilmemesi de hatalı bir inşâ tekniğidir.

12. ETKİ YARIÇAPI

Bir kuyunun etki yarıçapı, birçok durumlarda, mesafe-düşüm eğrisinden tayin edilebilir. Yüksek verimli kuyu sahipleri bu bilgiyi isterler, çünkü bununla düşüm konisinin kuyudan ne kadar uzağa yayılacağı önceden bilinebilir. Mesafe-düşüm eğrisi, düşüm eksenini üzerindeki “ 0 ” noktasına kadar uzatılarak etki mesafesi pratik olarak bulunabilir. Bu mesafenin formül 12’deki r_0 ile aynı olduğuna dikkat ediniz.

Bazıları, kuyular arasında herhangi bir girişimden kaçınmak için kuyu aralıklarının belirlenmesinden önce etki yarıçapının tayin edilmesi gerektiğini savunurlar. Bu tür bir yaklaşım, düşüm konileri 1 ilâ 2 km veya daha uzaklara yayılan basınçlı akiferlerde açılmış yüksek debili kuyular için pratik olmaz.



Şekil 32- Filtre çevresinde oluşan akım ağları. Su filtre yarığına ok yönünde yaklaşır. Kısımli yarıkli filtrelerde akım ağı yarık etrafında toplanır. Daimi yarıkli filtrelerde akım çizgileri daha az bozulur.

Bir pompaj testinde, düşüm konisinin dengeye gelmesi sırasında etki yarıçapının genişlemesi çok yavaş olur. Yağışla beslenme, akifere altındaki ve üstündeki doymun seviyelerden süzülme, kuyuya doğru oluşan yeraltısu akımı gibi sebeplerle düşüm konisi dengeye ulaşabilir. Bir göl veya akarsu ile pompaj kuyusu arasında hidrolik eğimin meydana gelmesi durumunda bu su kaynaklarından kuyuya olan beslenme etkisiyle de denge sağlanabilir.

13. BESLENME VE SINIR ETKİLERİ

Beslenme durumunda, düşüm konisinin beslenme kaynağına doğru gidişi diğer yönlere göre daha diktir. Göl veya akarsu yakınında, pompaj kuyusu ile beslenme kaynağı arasındaki gözlem kuyularından yapılan ölçümler, normalden dik bir mesafe-düşüm eğrisini gösterir. Çünkü beslenme kaynağına yakın gözlem kuyularındaki düşüm miktarları diğer

gözlem kuyularındakinden az olur. Eğer beslenme kaynağı oldukça uzak ve gözlem kuyuları pompaj kuyusuna oldukça yakınsa, pompaj testlerinden çizilen mesafe-düşüm eğrisinin eğimi her yönde aynıdır. Beslenme kaynağının yakında olduğu hallerde, mesafe-düşüm eğrisinin eğimi, beslenme etkisi dikkate alınmazsa, akifer iletkenlik hesabı için güvenilir bir temel oluşturur.

Beslenme olması halinde, depolama katsayısının hesaplanması için aynı şey söylenemez. Beslenme olayı mesafe-düşüm eğrisinin düşey durumunu etkiler ve r_o değerini beslenmenin olmadığı durumdakinden daha küçük yapar. Bu ise hesaplanan depolama katsayısının gerçek değerinden büyük çıkmasına sebep olur.

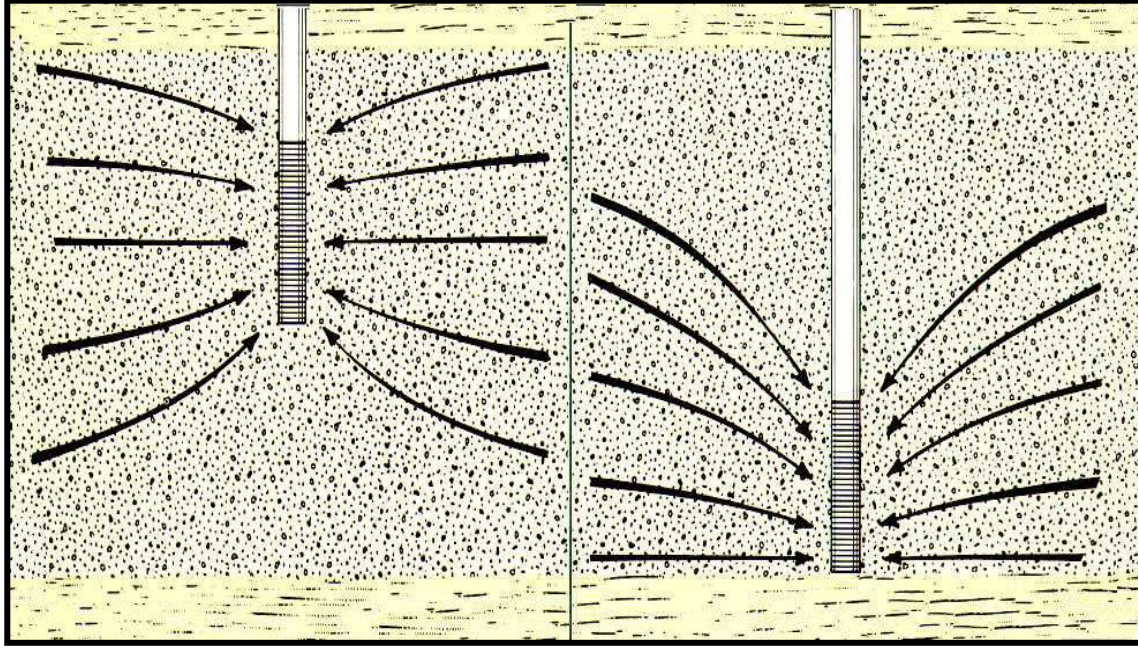
Geçirimsiz sınırların mesafe-düşüm eğrisi üzerindeki etkisi beslenme etkisinin tam zıddıdır. Eğer geçirimsiz sınıra olan uzaklık, gözlem kuyularına olan uzaklıktan çok fazla ise eğrinin eğimi üzerinde sınır etkisi çok az olur. Geçirimsiz sınıra yakın olan gözlem kuyuları normalden daha çok düşüm gösterirler ve elde edilen mesafe-düşüm eğrisinin eğimi biraz daha yatık olur. Bu durum, hesaplanmış olan iletkenlik katsayısının gerçek değerden yüksek çıkmasına sebep olur. Depolama katsayısının hesaplanmış olan değeri gerçek değerden daha küçüktür, çünkü mesafe-düşüm eğrisi akifer sınır etkisinden dolayı yarı-logaritmik diyagram üzerinde aşağıya doğru yer değiştirmiştir. Anormal derecede düşük depolama katsayıları, pompaj kuyusunun etki alanı içinde geçirimsiz bir sınır etkisinin olduğunu gösterir.

14. YARI-LOGARİTMİK EĞRİLERİN BİRLEŞİK KULLANIMI

Yukarıda gösterildiği gibi, zaman-düşüm eğrilerinden yapılan hesaplamalar, mesafe-düşüm eğrilerinden yapılan hesapların kontrolünde kullanılabilir. Eğer pompaj kuyusu yaygın ve homojen bir akiferden su alıyorsa her iki eğri aynı sonucu verir. Bir eğriden yapılan hesaplamalar diğerinden yapılan hesaplamalardan bağımsız olup mesafe-düşüm eğrisinin üç veya daha çok gözlem kuyusundan sağlanan bilgilerle çizildiği varsayılmıştır. Pompaj testi sırasında beslenme etkisi görülür veya genişleyen düşüm konisi geçirimsiz bir sınıra rastlarsa, bunların her iki grafik üzerindeki etkileri çok farklı olur. Tablo 3 de bu farklılıklar özetlenmiştir.

Farklı etkiler hakkında bilgi sahibi olunması, akifer testinin yorumunda fayda sağlar. Örneğin, bir test yapıldığını ve üç gözlem kuyusundan düşüm miktarlarının ölçülmekte

olduğunu kabul edelim. Yine diyelim ki zaman-düşüm değerleri sadece düz bir çizgi göstermektedir. Bu çizginin eğiminden hesaplanmış olan iletkenlik, mesafe-düşüm eğrisinden bulunan iletkenliğin yaklaşık yarısıdır. Bu sonuç, bir sınır etkisinin düşüm değerlerini pompajın başlarında saptırdığını ve zaman-düşüm noktalarının eğimindeki değişimin anlaşılacağı şüphesini doğurur. Şekil 13’de verilen örnekte pompajın ilk 10 dakikasındaki herhangi bir sapma yarı-logaritmik diyagramdan anlaşılabilir.



Şekil 33- Kuyunun filtreli bölümünün boyu akiferin tam kalınlığından az ise kısmî penetrasyon oluşur. Bu durum, akım eğrilerinin bükülmesine ve büyük yük kayıplarına sebep olur.

Verilen örneğimizdeki depolama katsayılarının karşılaştırmalı hesaplamalarında, eğer zaman-düşüm eğrisinden sağlanan değer mesafe-düşüm eğrisinden bulunan değerden büyük ise, bu sınır etkisinin varlığı konusundaki şüpheleri doğrular. Bu durumda depolama katsayısı değerlerinin hiçbirisi doğru değildir. Gerçek değer, hesapla bulunan iki limit değer arasında olmalıdır. Eğer gözlem kuyuları, pompaj kuyusuna yeterince yakın ise ilk 10 dakikalık pompaj sırasında sınır etkisi olmayacağından mesafe-düşüm eğrisinden gerçek iletkenlik katsayısı elde edilebilir.

Buraya kadar kuyu verimi ile ilgili yorumlarımızda sondaj kuyusuna olan akımın tamamen yatay olduğu varsayılmıştır. Şekil 2, bu durumu göstermektedir. Burada tüm akım çizgileri yatay olup düşey bileşenleri yoktur. Burada akım ışınsaldır.

Çünkü;

- 1- Basıncı bir akifer vardır.
- 2- Filtre boyu akifer kalınlığına eşittir.
- 3- Kuyunun çevresindeki formasyon pompajla sürekli su vermektedir.

Tablo 2- Yarı-logaritmik Eğriler Üzerindeki Beslenme ve Sınır Etkilerinin Karşılaştırılması

Pompaj sırasında beslenme etkisi	
Zaman – düşüm grafiği	Mesafe – düşüm grafiği
<p>1- Eğrinin eğimi azalır. Böyle bir eğriden hesaplanan iletkenlik gerçek değerden büyük olur.</p> <p>2- Bu az eğimli düz çizginin uzatılmasıyla çok düşük bir t_0 değeri elde edilir. Bu değerden hesaplanan depolama katsayısı gerçek değerden küçük olur.</p>	<p>1- Eğer beslenme kaynağı oldukça uzak ve gözlem kuyuları pompaj kuyularına oldukça yakın ise düz çizginin eğimi değişmeden kalır. Grafikten hesaplanan iletkenlik gerçek değerine yakın olur.</p> <p>2- Düz çizgi yukarı doğru kayar. Grafiğin sıfır düşüme uzatılmasıyla çok düşük bir r_0 değeri bulunur. Bu değerden hesaplanan depolama katsayısı, gerçek değerden büyüktür.</p>
Pompaj sırasında sınır etkisi	
<p>1- Eğrinin eğimi dikleşir. Bu dik eğimli eğriden hesaplanan iletkenlik gerçek değerinden küçük olur.</p> <p>2- Bu dik eğimli çizginin uzatılmasıyla çok yüksek bir t_0 değeri bulunur. Bu değerden hesaplanan depolama katsayısı gerçek değerden yüksek olur.</p>	<p>1- Eğer sınıra olan mesafe, gözlem kuyularının mesafesine göre çok büyük ise düz çizginin eğimi değişmez. Grafikten hesaplanan iletkenlik değeri gerçek değere yakındır.</p> <p>2- Düz çizgi aşağı doğru kayar. Çizginin sifira kadar uzatılmasıyla bulunan r_0 değeri çok yüksektir. Bu değerden hesaplanan depolama katsayısı gerçek değerden küçüktür.</p>

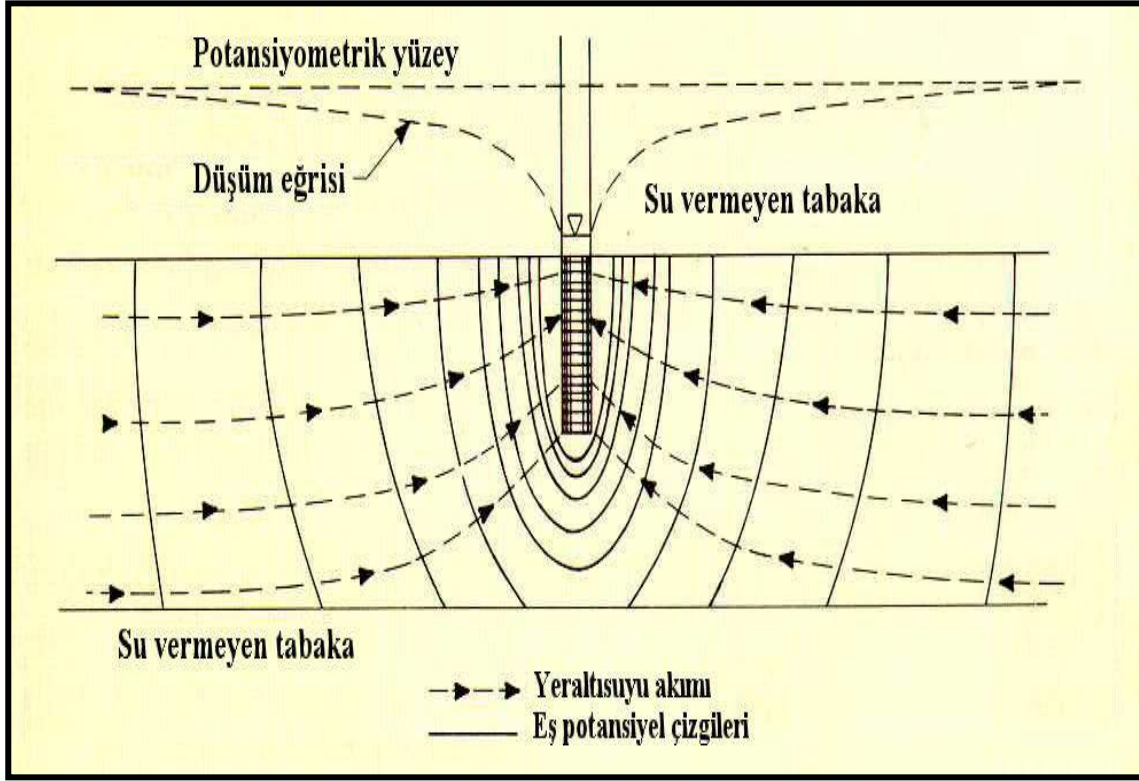
15. KISMİ PENETRASYONUN ETKİSİ

Akım tam ışınsal değilse, akım paterni ve dūşümler Őimdiye kadar verilmiŐ olan formüllerle hesaplanandan biraz farklı olacaktır. Őekil 34'de üst yarısı filtrelenmiŐ bir akifer görülmektedir. Buradaki oklar, formasyondan kuyuya hareket etmekte olan bazı tipik akım çizgilerini veya su taneciklerinin yollarını temsil eder. IŐınsal akımdan olan sapma açıkça görülmektedir.

Akiferin alt yarısındaki su, filtreye ulaşmak için eğik akım çizgileri boyunca yukarıya doğru hareket edecektir. Bu esnada su, ışınsal akım çizgilerinden biraz daha uzun bir yol almıŐ olacaktır. Aynı şekilde akım çizgileri, kısa olan filtreye yaklaşırken küçük bir enine kesit boyunca birbirine yaklaşımıŐ olacaktır. Akım yolunun uzunluğu ve küçük enine kesit alanı, sonuçta, yük kaybında artışa yol açar. Bu sebepten, sabit bir verim için pompaj kuyusundaki dūşüm, Őayet filtre akifer kalınlığının bir kısmına yerleŐtirilmiŐse, daha büyük olacaktır. Sabit bir dūşüm için, kısmen filtrelenmiŐ olan bir kuyudan elde edilen verim, akiferin tüm kalınlığı boyunca filtrelenmiŐ olan kuyudan elde edilen verimden daha az olacaktır.

Őekil 34 bir pompaj kuyusu yakınındaki dūşümlerin basınçlı akiferde derinlikle beraber deęiŐtięini göstermektedir.

Burada gösterilmiŐ olan piyezometrik dūşümler basıncın, derinlikle birlikte deęiŐtięini ifade eder. Derinlięe bağlı bu deęiŐim, kuyunun etrafında açıkça görülmekte olup kuyudan uzaklaŐtıka azalmaktadır. Akifer kalınlığının 2 katı bir uzaklıkta akiferdeki dūşümü temsil eden çizgi dūŐey olup bu, dūşümün tüm derinliklerde aynı olduğunu gösterir. Bu mesafenin ötesinde ışınsal akım geçerlidir.



Şekil 34- Bir kuyunun filtreli kısmının basınçlı akifere kısmen girmesi durumunda, akım çizgileri, akiferin tabanına kadar filtrelenmiş olan bir kuyudaki ışınsal akım çizgilerinden bir miktar sapma gösterir.

Homojen akiferlerde kısmî penetrasyon problemlerinin matematiksel analizini yapmak çok zordur. Fakat tabakalı akiferler için bir formül geliştirmek ise hemen hemen imkânsızdır. Şekil 35’de homojen basınçlı akiferlerde kısmen penetre olmuş kuyulardaki sonuçları tahmin etmeye yarayan basit bir metot sunulmuştur. Bu diyagram Kozeny (1933) formülünden elde edilmiştir.

$$\frac{Q/s_p}{Q/s} = L \left(1 + 7 \sqrt{\frac{r}{2bL}} \cos \frac{\pi L}{2} \right) \quad (13)$$

Burada;

Q/s_p = Kısmî penetrasyonlu bir kuyunun özgül debisi ($m^3/gün/m$)

Q/s = Tam penetrasyonlu bir kuyuda mümkün olan maksimum özgül debi ($m^3/gün/m$) eşitliğin sol tarafı kısmî penetrasyonlu bir kuyunun özgül debisinin, tam penetrasyonlu bir kuyunun özgül debisine olan oranını ifade eder.)

r = Kuyu çapı (ft veya m)

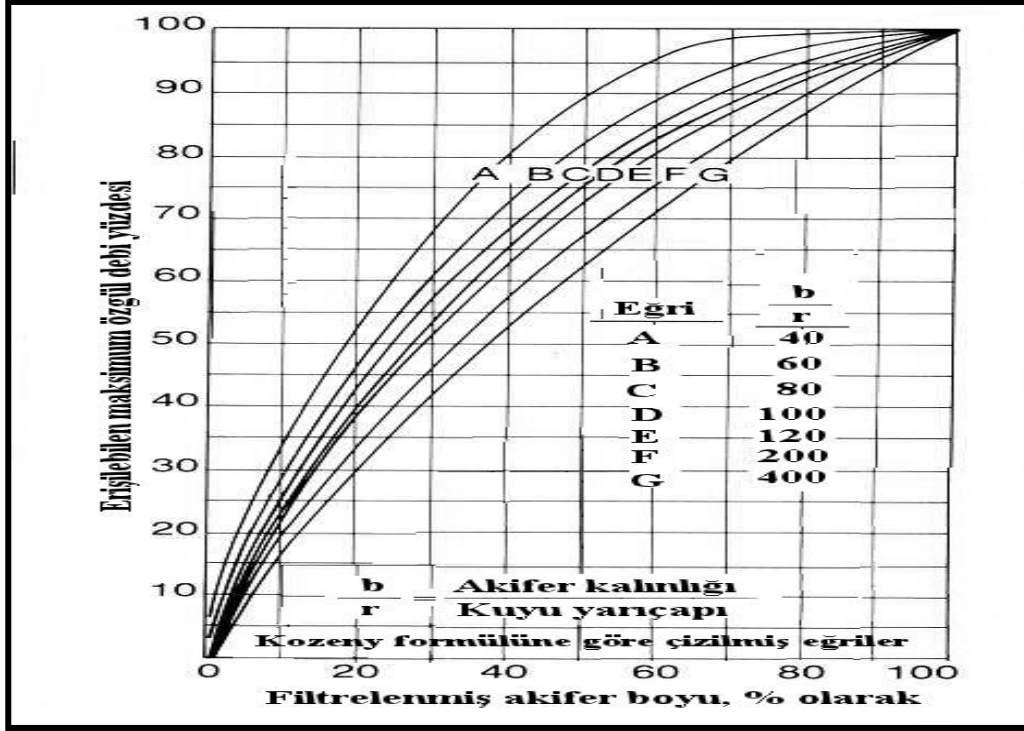
b = Akifer kalınlığı (ft veya m)

l = Akifer kalınlığının yüzdesi cinsinden filtre boyu.

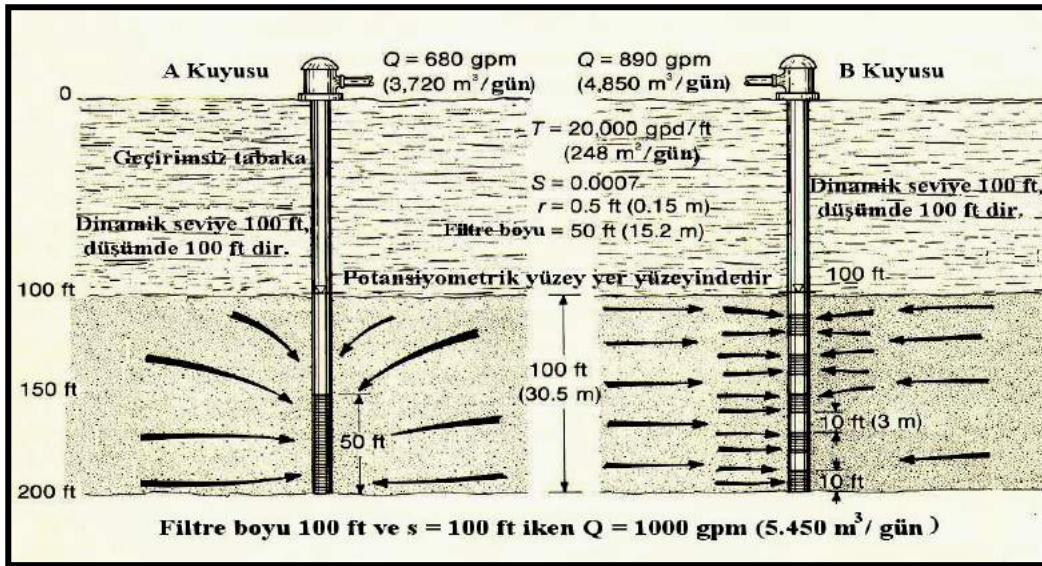
Bu formül, akifer kalınlığının az, penetrasyon yüzdesinin büyük, kuyu çapının geniş olduğu durumlarda geçerli değildir. Şekil 35 deki eğriler, formülün geçerlilik sınırlarını göstermektedir.

Bu eğriyi kullanabilmek için, filtre boyu akifer kalınlığının yüzdesi cinsinden ifade edilmelidir. Bu değeri yatay ölçekte yerine koyduktan sonra düşey çizgi boyunca, akifer kalınlığının kuyu çapına oranını gösteren eğriyi kesinceye kadar yukarı çıkılır. Sonra bu noktadan yatay yönde ilerlenerek düşey eksenini kestiği noktadaki yüzde değeri okunur. Bu, kısmî penetrasyonlu kuyunun özgül debisi olup tam penetrasyonlu (akiferin tabanına kadar filtrelenmiş) bir kuyudan sağlanan özgül debinin yüzdesi cinsinden ifade edilir. Burada, tam penetrasyonlu bir kuyunun özgül debisi, kuyudan sağlanabilen maksimum debi olarak kabul edilmektedir.

Şekil 36'da bu eğrilerin pratikteki kullanımına ait kuyu projeleri görülmektedir. Her iki kuyu 12 inç (305 mm) çapında ve 50 ft (15,2 m) derinlikte inşa edilmiştir. Akiferin basınçlı ve homojen karakterde olduğu kabul edilmiştir. A kuyusunda, filtre akiferin alt yarısına yerleştirilmiş olup b/r oranı 200'dür. Şekil 35'deki grafikten bu kuyudan, mümkün olan maksimum özgül debinin ancak %68'i kadar verim sağlanabileceği görülmektedir. 5 no'lu formülü kullanarak tam penetrasyonlu ve çapı 6 inç (152 mm) olan bir kuyunun özgül debisi 24 saatlik bir pompajdan sonra $173 m^3/gün/m$ olarak hesaplanır. A kuyusundan beklenen özgül debi bu değer %68'i yani $122 m^3/gün/m$ ' dir. Akiferin üstüne kadar olan düşüm 100 ft (30,5 m) olduğundan kuyunun verimi $122 \times 30,5 = 3720 m^3/gün$ ' dür.



Şekil 35- Basınçlı homojen akiferlerdeki kuyularda kısmî penetrasyon ile özgül debi arasındaki ilişki.



Şekil 36- Kalın bir akiferde birden çok filtre kullanılarak kısmî penetrasyonun etkisini azaltmak ve kuyu verimini arttırmak mümkündür. Toplam filtre boyu her iki kuyuda da aynıdır.

B kuyusunda 15,2 m olan filtre uzunluğu 3 m' lik 3 ayrı parçaya ayrılmıştır. Filtreler, aralarındaki 4 kapalı boru ile birbirinden ayrılmıştır. Bu düzenleme ile 30,5 m kalınlığındaki akifer her biri 6,1 m kalınlığında ve %50'si filtrelenmiş 5 ayrı akifer haline dönüşür. Bu durum b/r oranını değiştirir. 6,1 m kalınlığında (b/r = 40) olan bir akiferin %50'si filtreli geçildiğinde %89 maksimum özgül verim elde edilebilir. Buna göre B kuyusunun tahmini verimi 4850 m³/gün olup A kuyusundan %31 daha fazladır. (Karşılaştırmayı kolaylaştırmak için kuyuya girişteki yük kayıpları ihmal edilmiştir.)

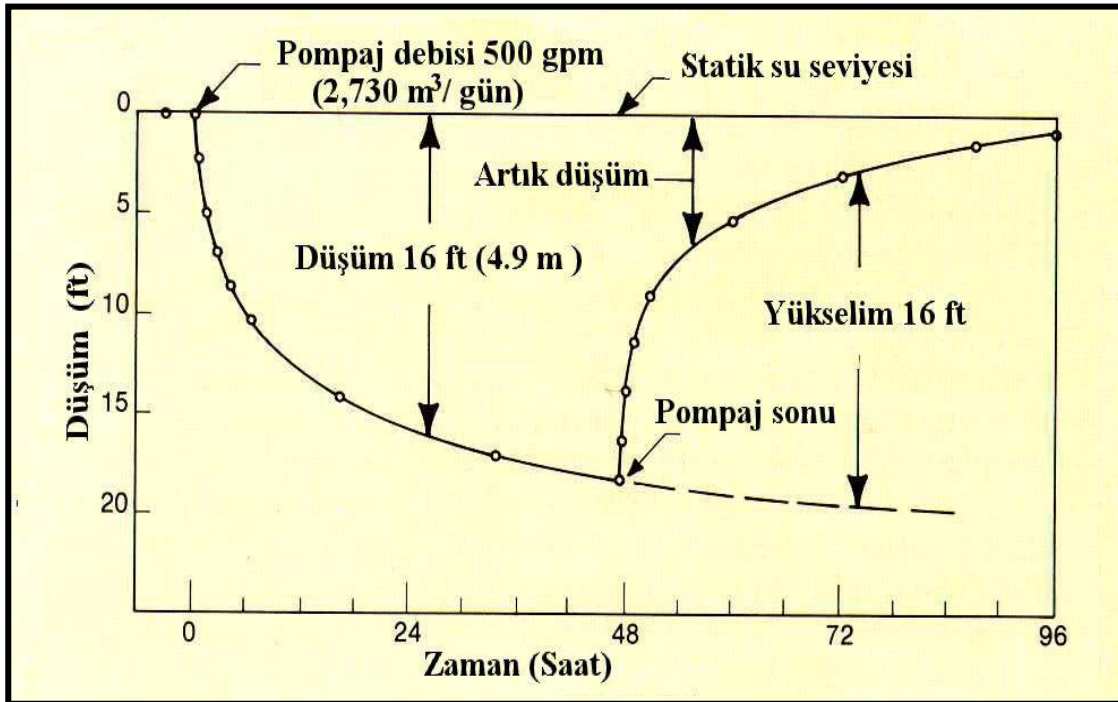
Serbest akiferde açılmış bir kuyuda, pompajla, su taşıyan formasyonun üst kısmının suyu çekilmekte olduğu için, kısmî penetrasyon problemi daima göz önünde bulundurulmalıdır. Böyle bir durum, suya doymun olan kalınlığı azaltır, dolayısıyla kuyunun su alma boyunu kısaltır. Böyle bir kuyuda; pompaj sonucunda elde edilen düşüm değeri, akifer kalınlığının büyük bir kısmına karşılık gelir. Bu durumda ışımsal akımdan büyük ölçüde ayrılan, bir akım modeli oluşur. Şekil 11 ve 12'de serbest akiferlerde açılmış olan kuyularda kısmî penetrasyonun ve su çekmenin (dewatering) etkilerini tahmin etmeye yarayan iki grafik sunulmuştur.

16. SU SEVİYESİ YÜKSELİM DEĞERLERİ

Pompaj durdurulduğunda kuyu ve akiferin su seviyesi pompaj öncesi seviyesine yükselir. Yükselim oranı, iletkenliğin ve su seviyesinin hesaplanmasında kullanılır. Bu sebeple zaman-yükselim kayıtları akifer testinin en önemli kısmını teşkil eder. Pompaj sırasında yapılan zaman-düşüm ölçümleri ile yükselim sırasında alınan zaman-yükselim ölçümleri, bir akifer testinde kullanılan, iki ayrı bilgi kaynağını oluşturur. Yükselim değerlerinin analizinden sağlanan bilgiler, pompaj kayıtlarına göre yapılmış hesapların kontrolünde faydalıdır. Pompaj testi sırasında meydana gelen düşüm değişimlerinin kolaylıkla ölçülebileceği bir mesafede açılmış olan bir gözlem kuyusunda yapılan su seviyesi yükselimi ile ilgili ölçümler, akiferin hidrolik özelliklerini gösterir. Gözlem kuyusu olmadığı takdirde pompaj kuyusundan alınan yükselim değerleri, akiferin kapasitesi hakkında ancak sınırlı hesaplamalarda kullanılabilir. Mümkün olduğu kadar en az bir, gerekirse iki veya daha çok gözlem kuyusu açılmalıdır. Her durumda hem pompaj hem de gözlem kuyularındaki su seviyeleri mutlaka ölçülmelidir.

Pompaj testinin sabit bir debide yapılması halinde yükselimle ilgili ölçümler aşağıdaki gibi analiz edilebilir. Fakat kademeli düşüm testi gibi değişken debili testlerin peşinden alınan yükselim değerleri kullanılamaz. Pompajın başlama ve durma zamanları ile pompaj debisinin değişimleri ve bu değişim zamanları hassasiyetle kaydedilmelidir. Yükselim eğrileri akiferin su seviyesindeki zamana bağlı değişimleri gösterir. Yükselim değerlerinin ölçümünde en önemli husus, ölçüm zamanlarının tam olarak kaydedilmesidir. Bütün kuyuların aynı anda ölçümleri mecburiyeti yoktur, fakat okumalar arasındaki zaman aralıkları her biri için yaklaşık aynı olmalıdır. Ölçüm noktasının kotu (çoğunlukla kuyu muhafaza borusunun en üstünden itibaren) her kuyu için ayrı ayrı tespit edilmelidir. Su seviyesini doğru olarak ölçmek için elektrikli veya sesle çalışan veyahut da ağırlıklı çelik metre gibi ölçüm aletlerine ihtiyaç vardır.

Şekil 37 bir kuyudaki su seviyesinin zamanla nasıl değiştiğini göstermektedir. Şeklin sol tarafı pompaj dönemini, sağ tarafı ise yükselim dönemini göstermektedir. Yükselim eğrisi düşüm eğrisinin kabaca tersine çevrilmiş şeklindedir.



Şekil 37- 48 saat süreyle sabit bir debi ile (2730 m³/gün) çalıştırılan ve peşinden iki gün süre ile yükselime bırakılan pompaj kuyusundaki tipik düşüm ve yükselim eğrileri

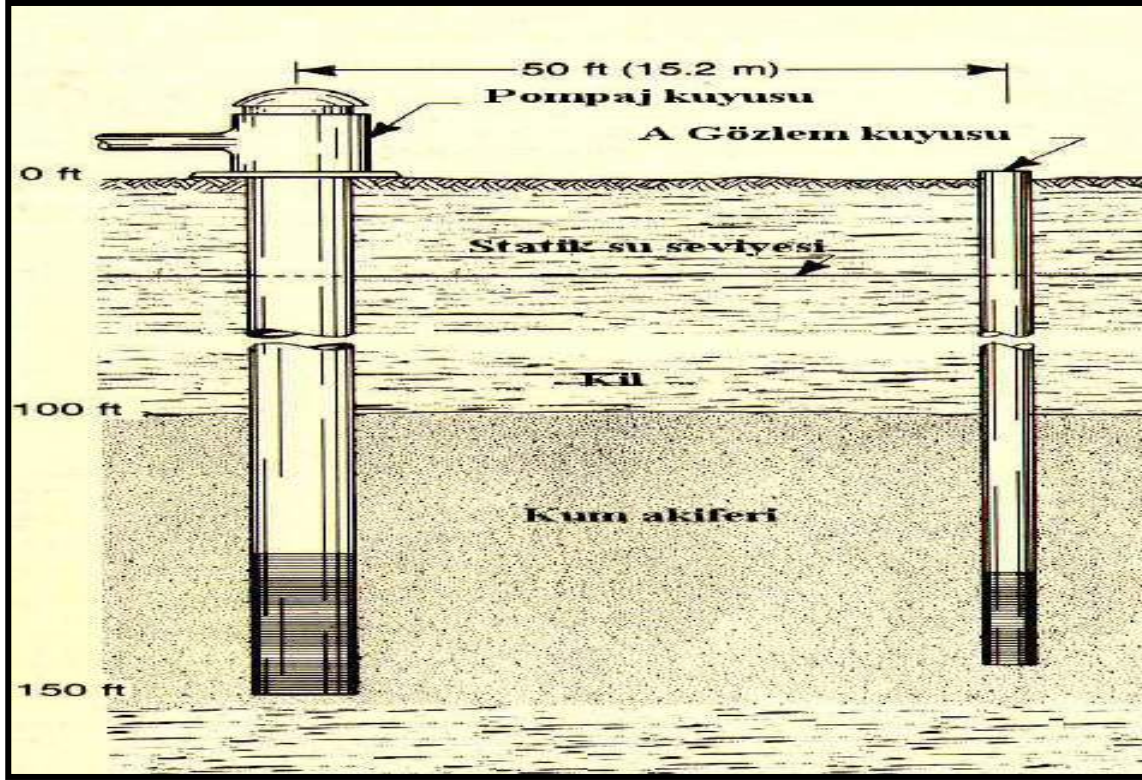
Yükselim eğrisinin çiziminde kullanılan noktalar, yükselim dönemi sırasında kuyudaki artık düşümü temsil eder. Her bir nokta yükselim dönemi sırasındaki belli bir anda, orijinal statik su seviyesi ile suya olan derinlik arasındaki farkı ifade eder.

Su seviyesi yükselim ölçümlerinde dinamik su seviyesi baz kabul edilir. Kuyu ve akifer verimi ile ilgili hidrolik teoride, yükselim döneminde su seviyesindeki değişikliklerin, hayâli bir beslenme kuyusundan gelen sudan kaynaklandığı varsayılmaktadır. Şayet böyle bir kuyu pompaj kuyusunun boşalttığı kadar akiferi beslemekte ise belli bir andan sonra her iki kuyu aynı anda çalıştığında yükselim eğrisi Şekil 37'deki gibi olacaktır. Hayali kuyudan beslenme sebebiyle su seviyesindeki yükselim, zaman-düşüm eğrisinin uzantısı ile fiilî zaman-düşüm eğrisinin arasındaki düşey uzaklıktır. Yani yükselim, pompaj durduktan sonra belli bir anda gözlem kuyusunda ölçülen su seviyesi ile bu ana kadar pompaj sürdüğü takdirde su seviyesinin ineceği seviyenin arasındaki fark demektir.

Bu şekilde bir tarif yapıldığında, pompaj döneminin bitmesinden sonra herhangi bir anda su seviyesindeki yükselimin derecesi, teorik olarak, pompaj dönemi sırasında aynı zamandaki düşüme eşittir. Diğer bir ifade ile pompajın durmasından sonraki 24 saatlik yükselim, pompaj başladıktan 24 saat sonraki düşüme eşit olmalıdır. Tam yükselim, genellikle bir önceki pompaj döneminden biraz daha uzunca bir süreyi gerektirir. Burada pompaj ve yükselim dönemleri arasında akifere beslenme olması gibi durumları ayrı tutmak gerekir.

Şekil 38'deki gibi 6 inç (152 mm) çapında bir test kuyusu ile bunun 50 ft (15,2 m) uzağında bir gözlem kuyusunun olduğunu varsayalım. Kuyuda 500 dk süreyle 1090 m³/gün debiyle pompaj yaptıktan sonra pompajı durduralım ve yükselim döneminin ilk 400 dakikasında su seviyesi ölçümleri yapalım.

Tablo 4, gözlem kuyusunda ölçülen su derinliklerini ve hem pompajın başlangıcından hem de yükselim döneminin başlangıcından itibaren geçen zaman aralıklarındaki artık düşümleri göstermektedir. Bu aralıklar, sırasıyla, t ve t' olarak tabloda ayrıca gösterilmiştir.



Şekil 38- Basınçlı bir akiferin testinde kullanılan işletme ve gözlem kuyusu

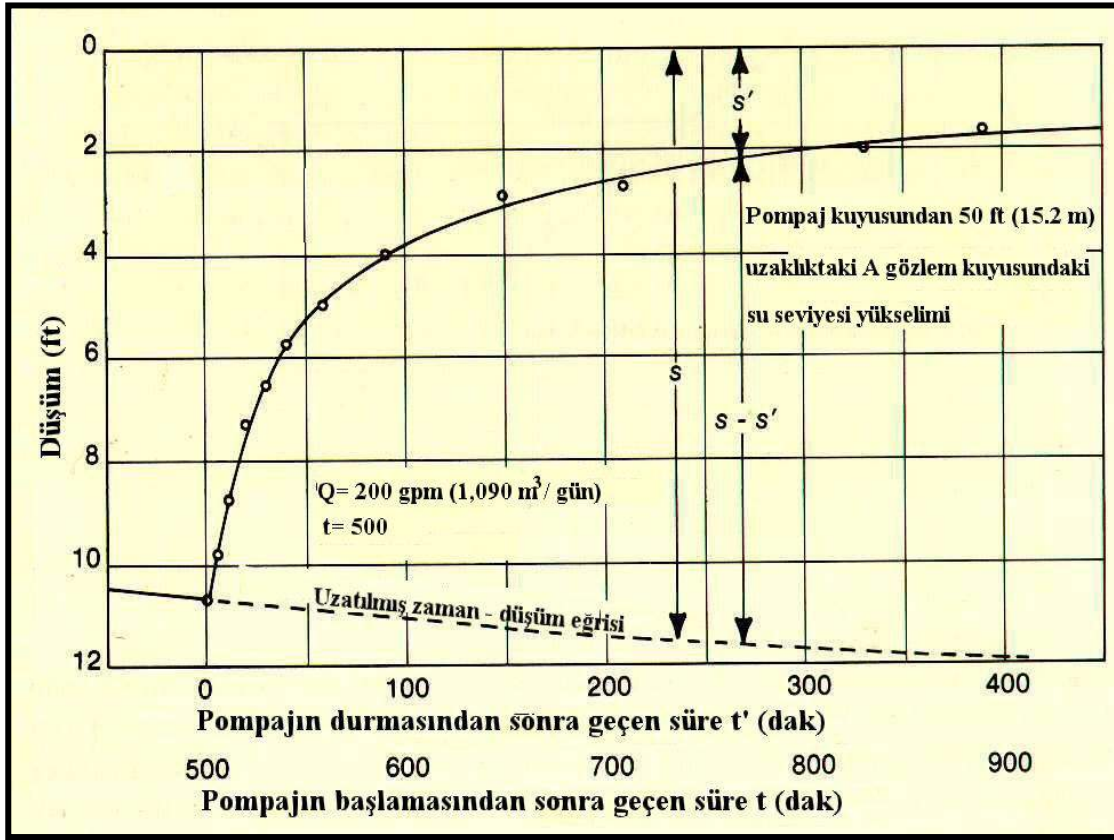
Şekil 39, gözlem kuyusunda yapılan ölçümler sonucu çizilmiş yükselim eğrisini göstermektedir. Önceki düşüm eğrisinin uzantısı, pompaaj devam ettiği takdirde düşümün nasıl olacağını temsil etmektedir. Muhtelif zaman aralıkları için su seviyesindeki yükselim, şekilde görülen eğriler arasındaki farka eşittir. Değerler Tablo 4’de gösterilmiştir.

Tablo 4- Gözlem kuyusuna ait artık düşüm ve yükselim değerleri

Başlangıçtan itibaren pompaaj süresi t dak	Pompaaj durduktan sonra geçen zaman t' dak	Oran t/t'	Statik seviyeye olan mesafe *		Artık düşüm *		Pompaaj eğrisinden bulunan düşüm **		Hesaplanan yükselim (s - s')	
			ft	m	ft	m	ft	m	ft	m
500	0	—	18.60	5.67	10.60	3.23	10.60	3.23	0.00	0.00
501	1	501.00	18.55	5.66	10.55	3.22	10.60	3.23	0.05	0.01
502	2	251.00	18.50	5.64	10.50	3.20	10.60	3.23	0.10	0.03
503	3	168.00	18.40	5.61	10.40	3.17	10.61	3.23	0.21	0.06
504	4	126.00	18.09	5.52	10.09	3.08	10.61	3.23	0.52	0.15
506	6	84.00	17.72	5.40	9.72	2.96	10.62	3.24	0.90	0.28
508	8	64.00	17.22	5.25	9.22	2.81	10.63	3.24	1.41	0.43
510	10	51.00	16.64	5.07	8.64	2.63	10.64	3.24	2.00	0.61
520	20	26.00	15.27	4.66	7.27	2.22	10.67	3.25	3.40	1.03
530	30	17.70	14.50	4.42	6.50	1.98	10.70	3.26	4.20	1.28
540	40	13.50	13.63	4.16	5.63	1.72	10.73	3.27	5.10	1.55
560	60	9.35	12.95	3.95	4.95	1.51	10.80	3.29	5.85	1.78
590	90	6.55	12.01	3.66	4.01	1.22	10.96	3.34	6.95	2.12
650	150	4.33	10.80	3.29	2.80	0.85	11.15	3.40	8.35	2.55
710	210	3.38	10.70	3.26	2.70	0.82	11.35	3.46	8.65	2.64
770	270	2.85	10.06	3.07	2.06	0.63	11.56	3.52	9.50	2.89
830	330	2.51	9.96	3.04	1.96	0.60	11.76	3.59	9.80	2.99
890	390	2.28	9.60	2.93	1.60	0.49	11.95	3.64	10.35	3.15

* Statik seviye 8 ft (2,44 m)

** Pompaj dönemi öncesindeki ortalama pompaj debisi $1090 \text{ m}^3/\text{gün}$ idi.



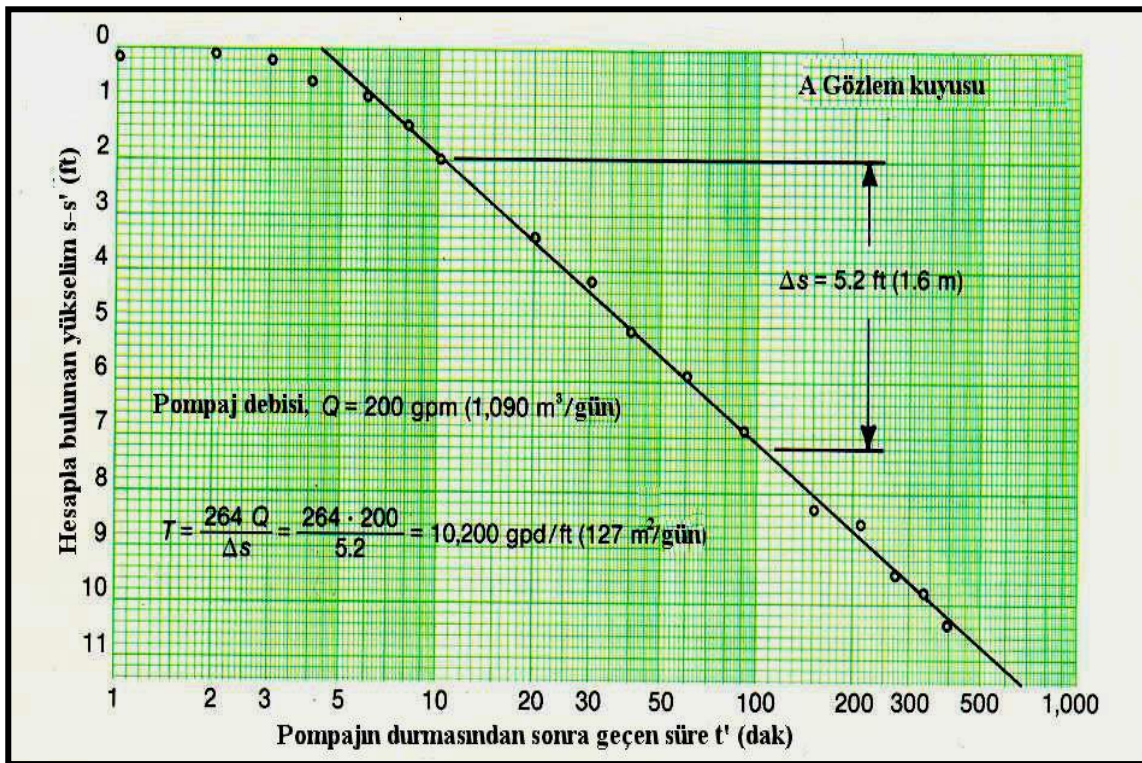
Şekil 39- Gözlem kuyusundan yapılan ölçümlerle çizilen artık düşüm eğrisi. Zaman-düşüm eğrisinin uzatılmasıyla yükselim döneminin herhangi bir anındaki yükselim miktarı hesaplanabilir. İşletme kuyusu 500 dk süreyle ve $1090 \text{ m}^3/\text{gün}$ debiyle çalıştırılmıştır.

Şekil 39'da çizilmiş olan yükselim eğrisini matematiksel analiz yoluyla tanımlamak zordur. Bu analiz işlemi aşağıda gösterilmiş bulunan Theis'in dengesizlik formülü veya Jacob'un değiştirilmiş dengesizlik formülü ile basitleştirilebilir. Pompaj dönemindeki zaman-düşüm eğrisi, yarı logaritmik diyagramda düz bir çizgi oluşturmaktadır. Bu basitleştirme işlemi zaman-yükselim eğrisinin çiziminde de yapılabilir. Burada yatay ölçek, yükselim dönemi sırasındaki zamanın logaritmasını, düşey ölçek su seviyesi yükselimi ($s - s'$) temsil etmektedir.

Tablo 4'deki bilgiler Şekil 39'da grafik olarak gösterilmiştir. Bulunan eğri, aynen akifer testinin pompaj dönemine ait zaman-düşüm eğrisine benzemektedir. Test edilen akiferin özellikleri Theis formülünün temel kabullerine uygunsa, düşüm ve yükselim değerleri, teorik olarak birbirine eşit olmalıdır.

Pompaj kuyusundan sağlanan zaman-yükselim ölçümleri, gözlem kuyusunda uygulanan metotla grafik halinde çizilebilir. Pompaj kuyusunun zaman-yükselim değerleri, zaman-düşüm değerlerinden daha doğrudur, çünkü yükselim sırasında su seviyesi ölçümleri, pompa titreşimlerinden ve pompaj debisindeki anlık değişimlerden etkilenmez.

Zaman-yükselim eğrisinin analizinde en önemli husus eğrinin eğimidir. Şekil 40'daki düz çizginin eğimini iki faktör belirler. Biri, önceki pompaj dönemi sırasındaki ortalama pompaj debisi, diğeri akiferin iletkenliğidir.



Şekil 40- Bir önceki zaman-düşüm diyagramında olduğu gibi, yarı logaritmik bir kağıt üzerine çizilen gözlem kuyusuna ait zaman-yükselim değerleri düz bir çizgi oluşturur.

Şekil 40'da, su seviyesi yükselimleri logaritmik ölçekte, düz çizginin eğimi ise sayısal ölçekte gösterilmiştir. Bu $\Delta (s - s')$ olarak ifade olunmuştur. Şekil 40'da bu değer 1.6 m (5,2 ft) olup pompaj durduktan sonra 10'ncü ve 100'ncü dakikalar arasında meydana gelen yükselimi gösterir.

Bundan sonra akiferin iletkenliği aşağıdaki formüle göre hesaplanır.

$$T = \frac{0,183 Q}{\Delta (s - s')} \quad (14)$$

Bu formül, (7) no' lu formüle benzemektedir. Şekil 40'da T değeri yaklaşık 127 m²/gün olup Şekil 25'deki zaman-düşüm eğrisinden hesapla bulunmuş olan değerle bir karşılaştırma yapılabilir. Eğer test şartları istenen standartları sağlıyor ve ölçümler dikkatli yapılmışsa her iki sonuç birbirine oldukça yakın bulunur.

Verilerin değerlendirilmesinde ikinci bir metot, zaman-düşüm çizgisini uzatarak yükselimi hesaplamadan doğrudan doğruya artık düşümün kullanılmasıdır. Burada artık düşümün, t/t' oranının logaritmasıyla ilgili olduğu şu şekilde ifade edilir:

$$s' = \frac{0,183 \cdot Q}{T} \log t/t' \quad (15)$$

Bu formül, s' değerleri ile buna karşılık gelen yarı-logaritmik kağıt üzerindeki t/t' değerlerinin noktalanmasıyla düz bir çizgi elde edildiğini göstermektedir. Şekil 41'de, Tablo 4'den sağlanan bilgilerin yarı logaritmik bir kağıt üzerinde değerlendirilmesi verilmiştir. Burada s' düşey eksen ve aritmetik ölçekte, t/t' ise yatay eksen ve logaritmik ölçekte gösterilmiştir. Buna göre iletkenlik aşağıdaki formülle hesaplanabilir:

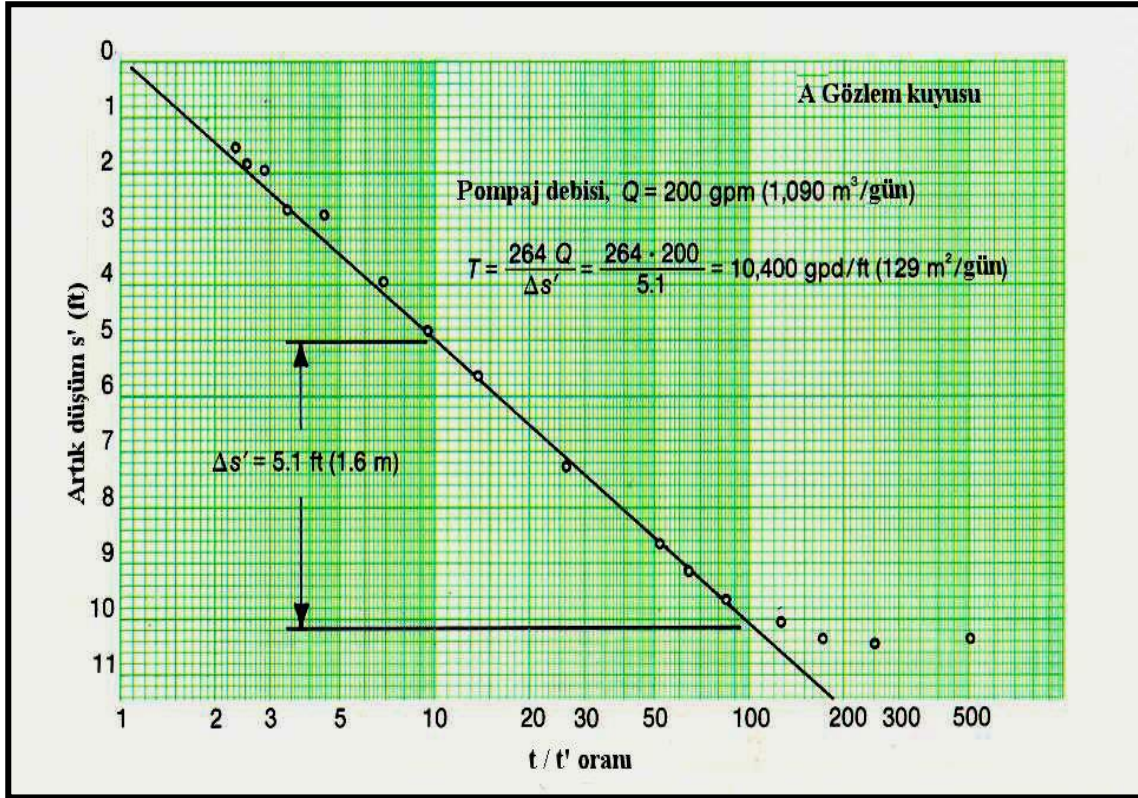
$$T = \frac{0,183 Q}{\Delta s'} \quad (16)$$

Şekil 41'e dikkat edildiğinde yükselim dönemi sırasında, zamanın grafiğin soluna doğru arttığı görülür. Halbuki zaman-düşüm ve zaman-yükselim grafiklerinde zaman, sağa doğru artmaktadır.

İletkenliğin hesaplanmasında Şekil 41'deki artık düşüm grafiği, Şekil 40'daki yükselim grafiğine tercih edilmektedir. Şekil 41'deki metot, pompaj döneminde hesaplanan

sonuçlar üzerinde daha bağımsız bir kontrol imkânı sağlar. Şekil 40’da kullanılan metot, yükselim dönemi süresince zaman-düşüm eğrisinin uzatılmasını gerektirir. Bu sebeple düşüm eğrisinin bizzat kendisi, yükselim eğrisinde kullanılan değerleri belirtmektedir ve düşüm eğrisindeki herhangi bir yanlışlık doğrudan doğruya yükselim eğrisine yansiyacaktır.

Eğer hiçbir gözlem kuyusu yoksa pompaj kuyusundan sağlanan yükselim değeri, akiferin iletkenliğinin hesaplanmasında genellikle en güvenilir bilgileri oluşturur.



Şekil 41- Artık düşüm ve t/t' oranlarının yarı logaritmik kağıt üzerine işlenmesiyle iletkenliğin hesaplanmasını sağlayan düz bir çizgi elde edilir. Bu diyagramda yükselim dönemi sırasında, zaman sola doğru artar.

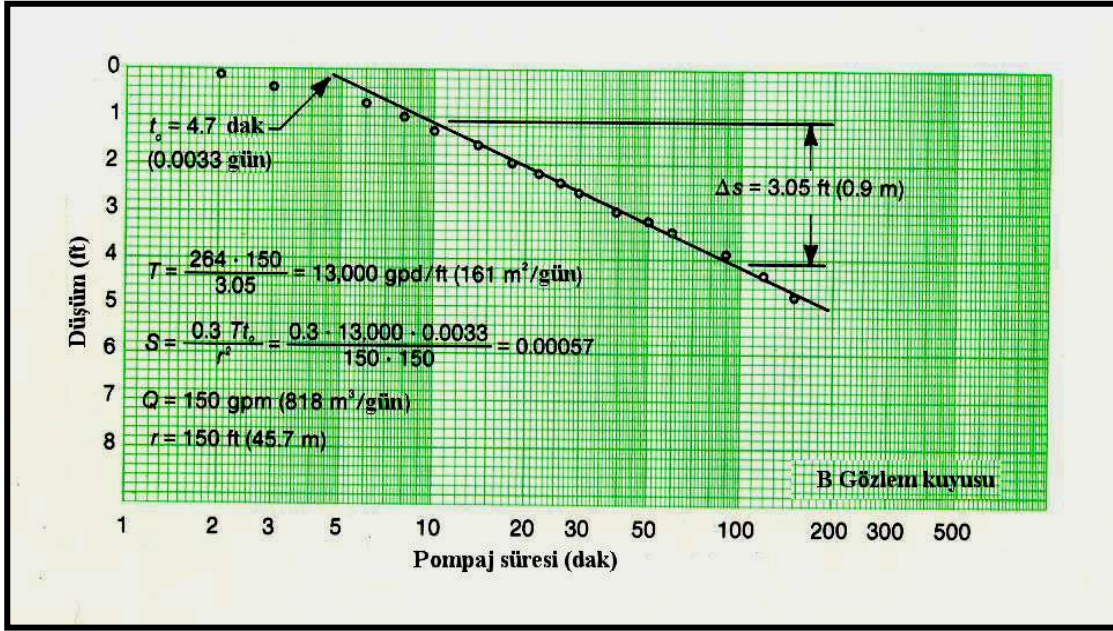
16.1. Yükselim Değeri Yardımıyla Depolama Katsayısının Bulunması

Eğer yükselim dönemi sırasında en az bir gözlem kuyusunda ölçüm yapılmışsa bu bilgilerden faydalanarak depolama katsayısı bulunabilir. Bu bilgiler Şekil 40’da gösterildiği gibi bir grafik haline dönüştürülmelidir. Artık düşüm eğrisi, iletkenliğin hesaplanması için geçerli ise de depolama katsayısının belirlenmesinde kullanılamaz.

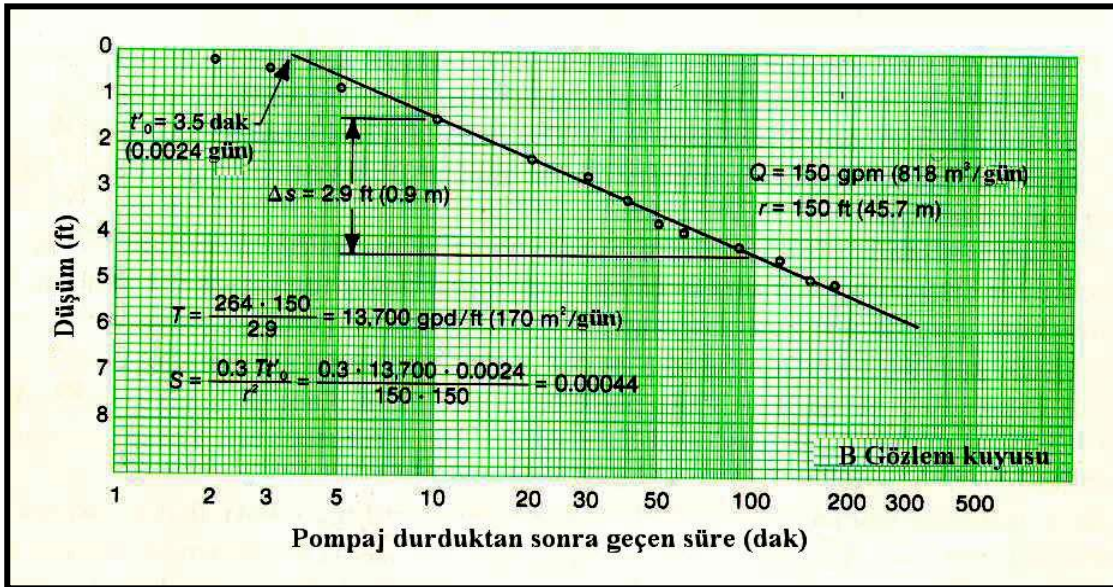
Şekil 42 ve 43, zaman-düşüm ve zaman-yükselim diyagramlarından depolama katsayısının hesaplanması konusunda benzerlik gösterirler. (7) ve (8) no’lu formüller

kullanılarak Şekil 42’de gösterilen gözlem kuyusunun zaman-düşüm ölçümleri sırasıyla $T = 161 \text{ m}^2/\text{gün}$ ve $S = 5,7 \times 10^{-4}$ değerlerini verir. Şekil 43’de Δs yerine $\Delta(s-s')$, t_o yerine t_o' kullanılarak yapılan benzer hesaplamalarla $T = 170 \text{ m}^2/\text{gün}$, $S = 4,4 \times 10^{-4}$ değerleri bulunur. Bu iki tür hesaplamanın birbirine oldukça yakın sonuçlar verdiği söylenebilir.

Şekil 41’deki artık düşüm eğrisinden t_o' nün elde edilemeyeceği görülmektedir. Yatay eksen boyutsuz bir oranı temsil etmektedir. Bu eğrinin, sıfır düşüm çizgisi ile kesişimi, grafik üzerinde tamamen farklı bir anlam ifade etmektedir. Bunun için bir akifer testinin hem pompaj dönemi ve hem de yükselim dönemi için geçerli olan formülün dayandığı temel kabulleri gözden geçirmek gerekmektedir. Bir akifer bu temel kabullere uygunsa, artık düşüm eğrisi Şekil 41’de olduğu gibi sola doğru uzatıldığında, t/t' oranının 1 olduğu yerde sıfır düşüm noktasından geçmelidir. Yükselim dönemi eğrisi uzatıldığında ise t/t' oranı 1’e yaklaşır.



Şekil 42- Bir pompaj kuyusundan 45,7 m uzaklıkta açılmış olan gözlem kuyusundaki ölçümlerden zaman-düşüm eğrisinin çizilmesi. (S) depolama katsayısının hesaplanması için gerekli olan t_0 değeri, düşüm çizgisinin, diyagramın solundaki sıfır düşüme kadar uzatılmasıyla bulunur.



Şekil 43- Bir gözlem kuyusuna ait zaman-yükselim eğrisi. (S) depolama katsayısını bulmak için gereken t_0' değeri, eğrinin sola doğru uzatılmasıyla bulunur.

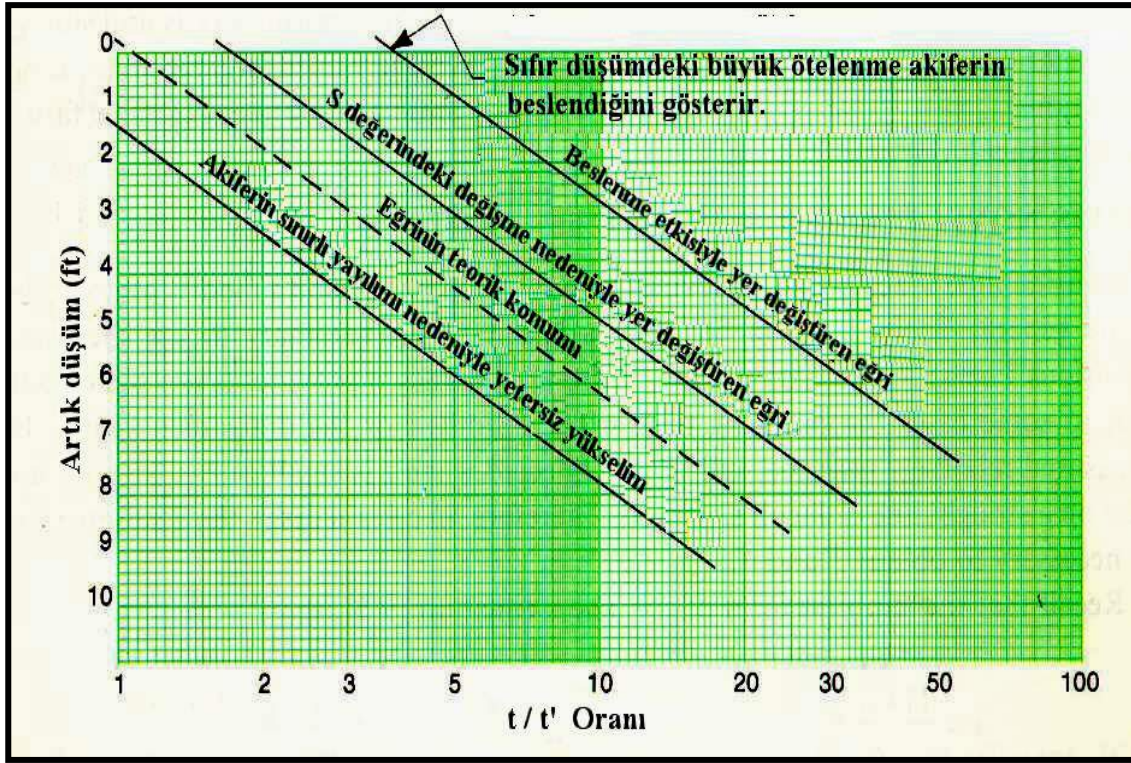
Uzun süreli bir yükselimden sonra, t/t' 1'e yaklaşırken, artık düşümün de sifıra yaklaşmasıyla birlikte akiferin içindeki su seviyesi orijinal statik seviyesine erişmeye başlar. Bu sebeple artık düşüm eğrisi teorik olarak Şekil 41'deki diyagramın köşesinden geçmelidir.

Fiilî akifer testleri yardımıyla çizilen artık düşüm eğrisinin incelenmesiyle, eğrinin, diyagramın orijini denilen bu noktadan her zaman geçmediği görülür. Eğri orijinden geçmediği zaman, akifer şartlarının kabul edilen ideal şartlara uymadığı sonucuna varılır.

Artık düşüm grafiği yardımı ile teorik akiferden farklı olan üç türlü durum ayırt edilebilir. Eğer grafik üzerinde t/t' oranı 2 veya daha büyük iken sıfır düşüm görülüyorsa, pompaj sırasında akiferde beslenme etkisinin olduğu anlaşılır. Bu beslenme etkisi ile oldukça kısa bir yükselim döneminde, t/t' oranı henüz 1'e yaklaşmadan çok önce yükselim eğrisi orijinal statik su seviyesine erişir. Şekil 44'deki üst eğri böyle bir durumu yansıtmaktadır.

Diğer bir durum, sola doğru uzatılan eğrinin, t/t' oranı 1'e yaklaşırken, birkaç inç veya daha büyük bir artık düşüm göstermesidir. Böyle bir durum, beslenmesi olmayan ve sürekli pompaj sonucu, statik seviyesi düşmekte olan ve yayılımı sınırlı akifer şartlarında meydana gelir. Şekil 44'ün en altındaki eğri böyle bir durumu temsil etmektedir.

Üçüncü durumda, artık düşüm eğrisinde küçük bir ötelenme söz konusudur. Bu S depolanma katsayısındaki değişiklikten ileri gelmektedir. Teoride, depolama katsayısının testin hem pompaj ve hem de yükselim döneminde sabit kaldığı kabul edilmektedir. Fakat pratikte S genellikle değişmekte, pompaj döneminde yükselim dönemine göre daha büyük olmaktadır.



Şekil 44- Gerçek akifer şartları, teorik akifer şartlarından farklı olduğunda artık düşüm eğrisi diyagramdaki gibi ötelenme sonucu 3 ayrı durumda bulunur.

Basınçlı bir akiferde S değeri formasyonun elâstik özelliklerine bağlıdır. Eğer akifer tam elâstik değilse, su seviyesinin yükselmesi sırasında formasyonda düşey yönde oluşan esneme, düşüm sırasındaki sıkışma kadar hızlı olmaz.

Serbest bir akiferde yapılan pompaj sırasında, formasyonun düşüm konisi içindeki bölümünden su çekilmekte olduğu için kalan boşluklar hava ile dolar. Formasyonun birim hacmi başına çekilen suyun hacmi S değerini verir. Pompaj durdurulduğunda su tablası yükselirken kumun boşluklarındaki bazı hava kabarcıkları hapis olur. Bu yüzden formasyonun su alınan kısmındaki su hacmi biraz azalır ve neticede yükselme sırasındaki S değeri de o nispette azalmış olur. S değerindeki değişmelerin artık düşüm üzerindeki etkisi Şekil 44’de gösterilmiştir. Eğrinin, sıfır düşüm çizgisini t/t' oranının 1 ile 2 arasında bulunduğu yerde kestiğine dikkat ediniz.

Artık düşüme ait bilgilerin analizi, sabit debili pompaj testlerinin yorumunda faydalı ise de bu bilgiler mesafe-düşüm eğrisini elde etmede kullanılamazlar. Pompajın herhangi bir anında iki veya daha çok gözlem kuyusunda ölçüm yaparak düşüm konisinin genişlemesi belirlenebilir. Pompajın durmasından hemen sonra, düşüm konisi içindeki su seviyesinin yükselmesi, pompaj kuyusunun etrafındaki gözlem kuyularındaki artık düşüm değerlerinin eşitlenmesini sağlar.

Burada, S değerindeki değişmeler ile bir pompaj testinden sağlanan bilgilerden S 'nın her zaman hesaplanamayacağı konusu üzerinde fazlaca durulduğu gibi bir düşünce akla gelebilir. Buradaki ifadeden söz konusu sınırlamaların, akifer analizinde kullanılan temel metotları geçersiz kıldığı gibi bir anlam çıkarmamalıdır. S değerinde yapılan büyücek bir hata bile kuyu verimi ve kuyular arasındaki girişim ile ilgili hesapları fazla etkilemez.

Depolama katsayısını test sonuçlarından hesaplamak mümkün olmasa bile testten, başka faydalı bilgiler elde edilebilir. Akiferin basınçlı veya serbest oluşuna göre depolama katsayısı için bir kabul yapılabilir. Mevcut jeolojik bilgiler bu konuda yardımcı olabilir. Basınçlı bir akifer için S değeri 5×10^{-4} , serbest bir akifer için 0,1 olarak alınabilir. Bu şekilde yapılan hesaplamalar, gerçek depolama katsayısına göre yapılanlara kıyasla bir miktar hatalı sonuç verse bile çoğu durumlar için amaca yeterli hassasiyeti sağlamaktadır.

Birçok akiferlerin Theis ve Jacob tarafından kabul edilen teorik şartlara uymamasına rağmen, bu formüllerin kullanılması ve grafiklerinin çizilmesiyle elde edilen sonuçlar genelde yeterli olmaktadır. Uniform olmayan akiferlerde formasyon içindeki karmaşık hidrolik ilişkiler, iletkenlikleri farklı lokal bölgeler arasında sürekli düzeltme yapma gereğini ortaya çıkarır. Böyle bir durumda düşüm konisi, akiferin genel iletkenlik ve depolama özelliklerini yansıtacak şekilde derinleşme ve genişleme gösterir. T ve S değerleri geniş alanları temsil eden ortalama değerler olduğu için bazı bağımsız kuyuların verimindeki değişiklikler, yapılan akifer testlerinin sonuçlarına göre önceden tahmin edilmelidir.

17. THEİS'İN DENGESİZLİK HALİNDE KUYU FORMÜLÜ

Theis formülünün Jacob tarafından yapılan değişikliğine uygulamalarda oldukça geniş yer verilmiştir. Birçok hallerde karmaşık Theis metodunu kullanmanın gereği yoktur, çünkü bu formülün sağlamış olduğu aşırı hassasiyet fazla önemli değildir. Fakat bazı durumlarda pompaj zamanı kısıtlı veya kuyunun yakınında düşüm ölçülmemiş olabilir. t küçük veya r büyük olması durumunda sağlanan bilgilerle Jacob'un metodunda düz bir çizgi elde edilemez. Bu yüzden bazı durumlarda T ve S değerlerinin belirlenmesi için Theis metodu gereklidir.

Theis formülünün (5) basit şekli şöyle idi.

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

u 'nun kuyu fonksiyonu olan $W(u)$ üslü integralin bir kısaltmasıdır.

$$\int_u^{\infty} \frac{e^{-x}}{x} dx = W(u) = -0,5772 - \log_e u + u - \frac{u^2}{2.2!} + \frac{u^3}{3.3!} - \frac{u^4}{4.4!} + \dots \quad (17)$$

(5 a) formülü u değerini,

$$u = \frac{r^2 S}{4 T t} \quad \text{olarak verir.}$$

Burada r , pompaj kuyusunun merkezinden düşümün ölçüldüğü noktaya olan m cinsinden uzaklıktır.

Eğer iletkenlik ve depolanma katsayıları biliniyorsa bu değerler ve diğer terimler bu formülde yerine konularak bilinmeyenler bulunur.

Örneğin basınçlı bir akiferin iletkenliği 620 m²/gün, depolama katsayısı da 5 x 10⁻⁴ olsun. Bu değerler, basınçlı bir akifer için tipik rakamlardır. Bir günlük sürekli bir pompajdan sonra 305 mm çapında bir kuyuda *Q/s* özgül debi ne olacaktır? Bu durumda r = 0,15 m t = 1 gün' dür. Önce *u* değerini hesaplayalım.

$$u = \frac{(0,15)^2 \cdot 5 \times 10^{-4}}{4.620.1}$$

$$= 4,5 \times 10^{-9}$$

Daha sonra, bu *u* değerine uyan *W(u)* değeri **TABLO 5'** den okunur. Bu örnekte *W(u)* değeri 18,64 tür (5) formülünü yeniden düzenlersek :

$$\frac{Q}{s} = \frac{4 \pi T}{W(u)}$$

$$= \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 620}{18,64}$$

$$= 418 \text{ m}^3/\text{gün/m} \text{ bulunur.}$$

Hesaplanmış olan özgül debiden faydalanarak pompaj kuyusunda herhangi bir pompaj debisinde meydana gelecek olan düşüm miktarı kolaylıkla hesaplanabilir. Eğer pompaj debisi 1090 m³/gün ise

$$s = \frac{Q}{Q/s} = \frac{1090}{418} = 2,6 \text{ m}$$

Bu hesaplamalarda pompaj kuyusunun %100 randımanla çalıştığı kabul edilmiştir. Eğer pompaj kuyusu 1090 m³/gün debiyle çalışmakta ise 1 günlük bir pompajdan sonra kuyunun 305 m uzağındaki düşüm ne olur?

$$\begin{aligned}
 u &= \frac{r^2 S}{4 T t} \\
 &= \frac{(305)^2 \cdot 5 \times 10^{-4}}{4 \cdot 620 \cdot 1} \\
 &= 0,0188
 \end{aligned}$$

Bu u değeri için *TABLO 5'* den $W(u) = 3,46$ bulunur. Bunu (5) formülünde yerine koyarsak:

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{1}{4 \pi} \frac{Q}{T} W(u) \\
 &= \frac{1090 \cdot 3,46}{4 \cdot 3,14 \cdot 620} \\
 &= 0,48 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Hesaplanan bu düşüm pompaj kuyusunun randımanından bağımsızdır.

Bir pompaj testinden, Theis formülünü kullanarak T ve S ' nı tayin edebilmek için en az bir gözlem kuyusunda düşüm ölçümleri yapmak gereklidir. Bu ölçümler, pompajın başlamasından sonra belli aralıklarla yapılır. Birden fazla gözlem kuyusunda yapılmış ölçümler de kullanılabilir.

(5) ve (17) formüllerinden doğrudan hesaplama mümkün değildir.

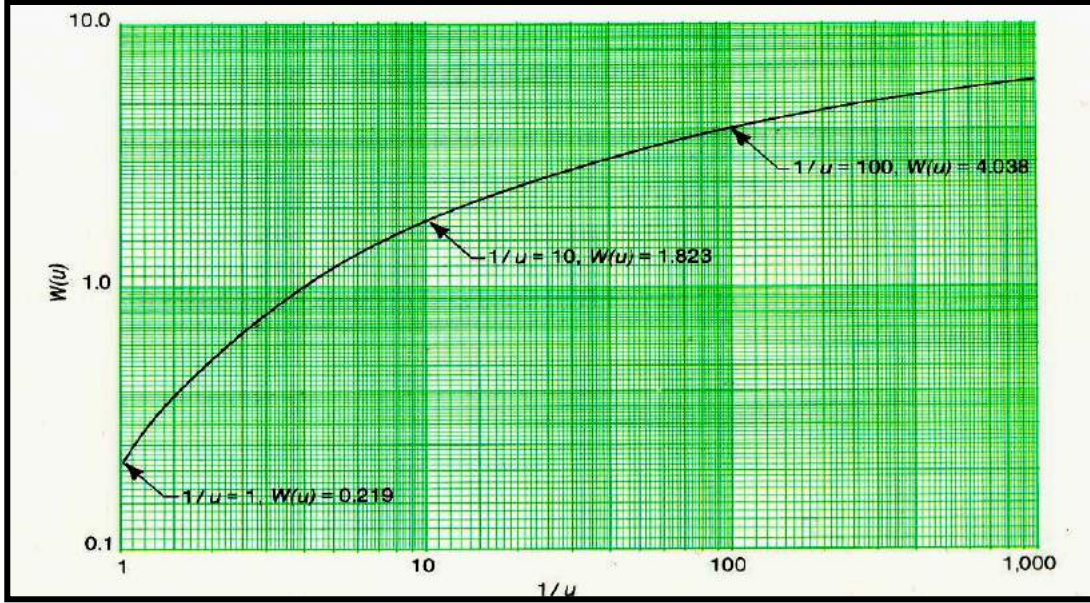
Theis, diğ er terimler bilindiğ i takdirde T ve S' nı veren grafik bir ç özüm üzerinde ç alış mış tır. Bu metot, özel bir pompaj testinden elde edilmiş olan eđ riyi tip bir eđ riyle ç akış tırma esasına dayanır. ř ekil 45'de gösterildiğ i gibi tip eđ ri, logaritmik bir kađ ıt üzerinde dű sey eksene $W(u)$ deđ erlerini, yatay eksene I/u deđ erlerini yerleş tirerek elde edilmiş tir. Bunun iç in **TABLO 5** 'deki deđ erler kullanılır. Pompaj testinden elde edilen veriler tip eđ rinin ölç eđ indeki logaritmik bir kađ ıt üzerine iř lenir.

Tablo 1, bir pompaj testine ait bilgileri göstermektedir. Eđ rinin incelenmesinden, dű ř ümün önce hızla arttıđ ı, zamanla artıř hızının azalarak su seviyesinin giderek sabitleř tiđ i görölür. 240 dk'lık pompajdan sonra su seviyesi halen dű ř mekte olduđ undan, burada (2) no'lu denge formölü kullanılamaz. Bu teste ait veriler ancak dengesizlik halinde Theis formölüne göre deđ erlendirilebilir.

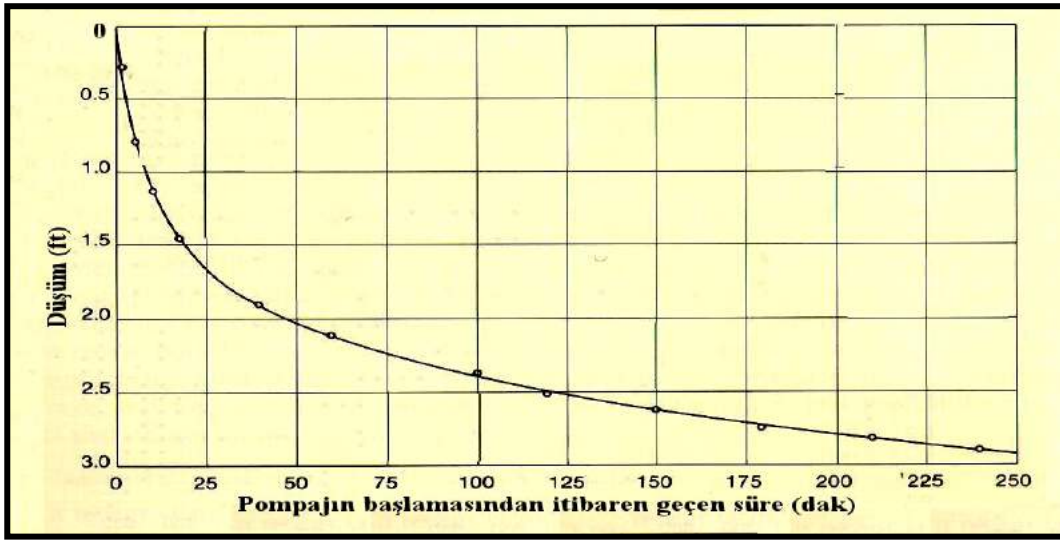
Teste ait veriler ař ađ ıdaki metotların birine göre grafik haline getirilebilir :

<u>Metod</u>	<u>Dű sey log ölç ek</u>	<u>Yatay log ölç ek</u>
(a)	Dű ř üm, s	t
(b)	Dű ř üm, s	t/r^2
(c)	Dű ř üm, s	$1/r^2$

(c) metodu test sırasında 3 veya daha ç ok gözlem kuyusunun olduğ u hallerde uygulanır.



Şekil 45- Theis'in dengesizlik halindeki formülünün grafik çözümü. u 'nun kuyu fonksiyonu olan $W(u)$ ve buna karşılık gelen $1/u$ değerleri logaritmik bir kağıt üzerine işlenmiştir.



Şekil 46- Tablo 1'deki veriler normal grafik kağıdına işlenmiş olup, bunlar, pompaj süresince düşümde meydana gelen değişimleri gösterir. Başlangıçta düşüm hızlıdır. Pompaj $2730 \text{ m}^3/\text{gün}$ debiyle devam ederken düşüm hızı azalır. Test sonuçlarının en iyi şekilde analizi için Theis'in dengesizlik formülü kullanılır.

Dengesizlik halindeki formülün kullanımı için veriler Şekil 47'deki gibi logaritmik bir kağıda işlenir. Burada (a) metodu uygulanmıştır. Düşümler, düşey eksen üzerine, pompajın başlangıcından itibaren geçen zaman ise yatay eksen üzerine işlenmiştir. Daha sonra bu grafik, tip eğri ile karşılaştırılır. Böylece bazı noktalar tip eğrinin bazı kısımları üzerine gelir veya eğrinin bazı bölümleri ile uyuşur. Bu işlem sırasında her iki grafiğin eksenlerinin birbirine paralel olmasına özen gösterilmelidir.

Tam bir çakışma noktası bulunduğunda bu nokta iyice belirlenir. Bu çakışma noktası grafik üzerinde başka uygun bir noktada (örneğin $u = 1,10$ veya 100, veya $s =$ tam bir sayı) olabilir. Fakat çakışma noktası Şekil 48'de görüldüğü gibi en iyi çakışan alanın merkezinde seçilir. Şekil 48'deki çakışma noktası, eğri üzerinde $1/u$ ' nun 100, $W(u)$ ' nun 4,308 olduğu noktada yer alır. Zaman-düşüm diyagramında bu noktaya karşılık gelen (s) düşüm değeri 0,7 m, t 0,058 gündür. Bunları (5) formülünde yerine koyarsak:

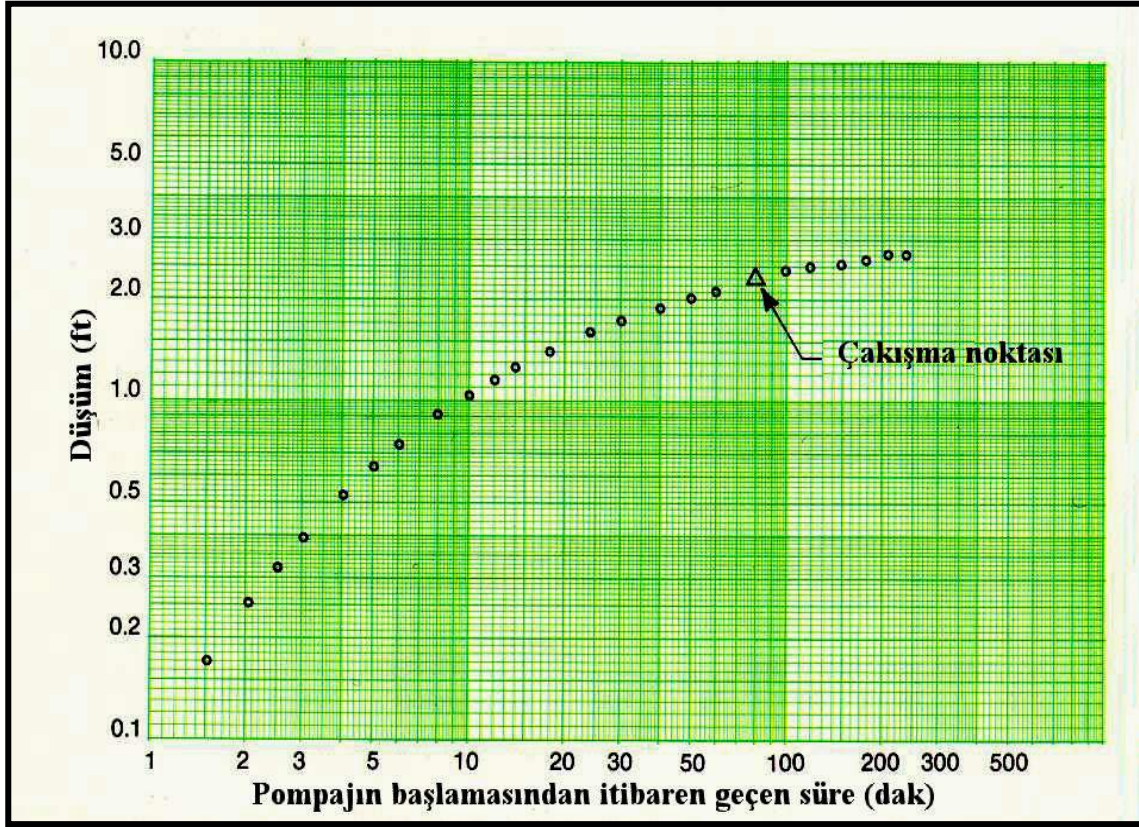
$$\begin{aligned} T &= \frac{1}{4\pi} \frac{Q}{s} W(u) \\ &= \frac{1}{4 \cdot 3,14} \frac{2730}{0,7} \cdot 4,308 \\ &= 1250 \text{ m}^2/\text{gün} \text{ bulunur.} \end{aligned}$$

T ' yi belirledikten sonra aşağıdaki formülden S değerini buluruz.

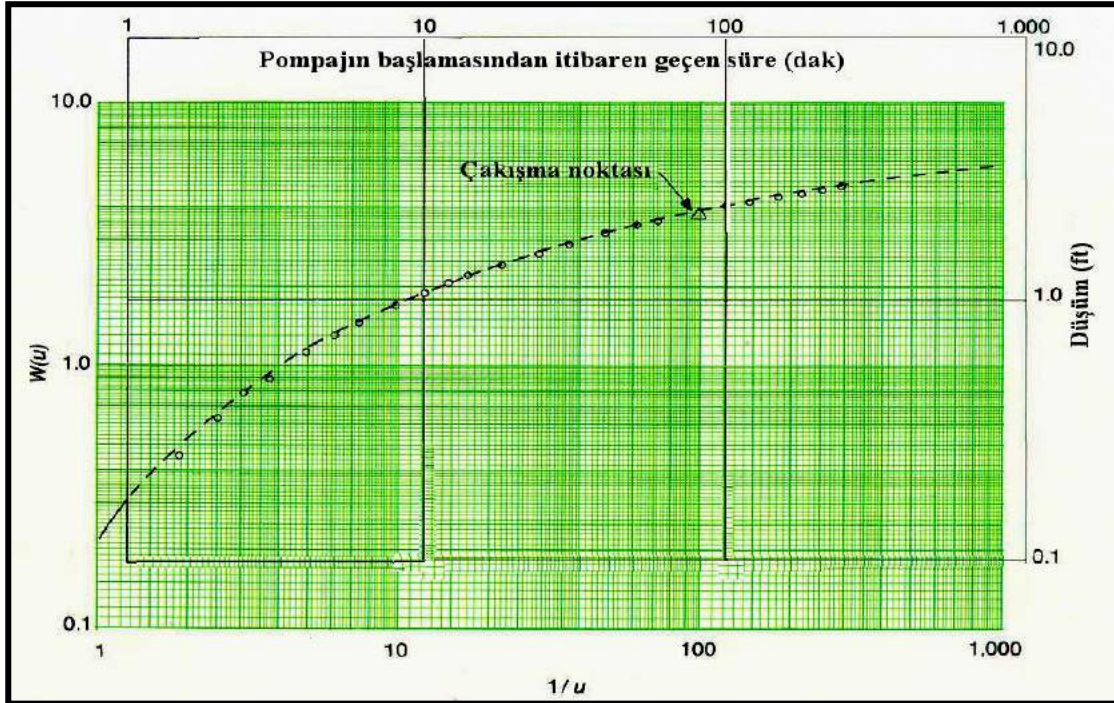
$$S = \frac{4 u T t}{r^2}$$

Bu örnekte pompaj kuyusu ile gözlem kuyusu arasındaki r uzaklığı 122 m ' dir. Buradan;

$$\begin{aligned} S &= \frac{4 \cdot 1 \cdot 1250 \cdot 0,058}{100 \cdot (122)^2} \\ &= 1,9 \times 10^{-4} \text{ bulunur.} \end{aligned}$$

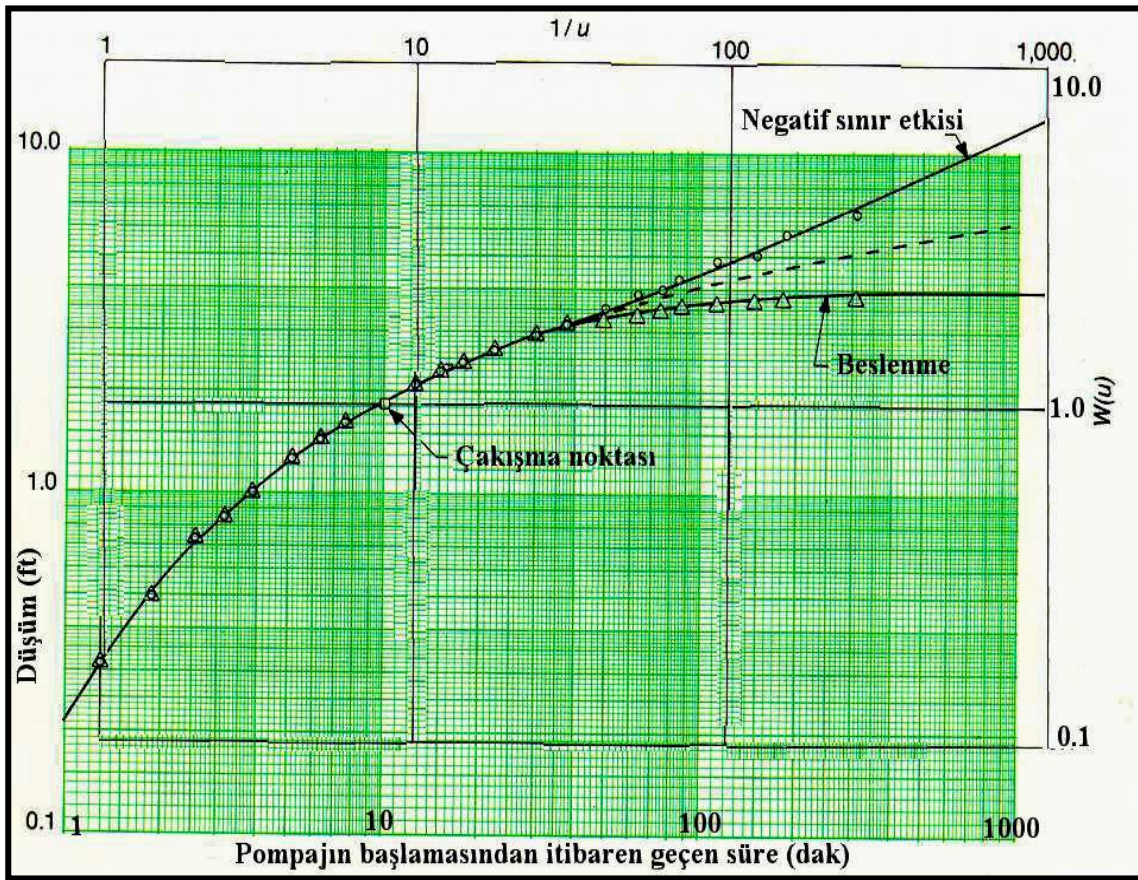


Şekil 47- Tablo 1'deki veriler logaritmik kağıt üzerine işlenerek Şekil 45'deki tip eğriye benzer bir eğri elde edilmiştir.



Şekil 48- Pompaj test sonuçlarının işlenmesiyle elde edilen diyagram tip eğri ile karşılaştırılmıştır. Seçilen çakışma noktası $1/u = 100$ 'e karşılık gelmektedir.

Belli bazı hidrojeolojik şartlarda, pompaj test değerleri tip eğriye göre sapma gösterebilir. Örneğin Şekil 49'da beslenme ve negatif sınır etkisinin, pompaj test değerlerinden çizilen eğrinin tip eğriden belirgin bir şekilde sapmasına yol açtığı görülmektedir. Tip eğriden olan sapma, Theis metodunun dayandığı temel kabullerden bir veya birkaçının bozulmuş olduğuna işaret eder. Pompaj testi sırasında oluşan sızma (leakage), muhafaza borusu depolaması (casing storage) ve mekanik güçlükler, elde edilen eğrinin tip eğriye tam olarak uymasını engeller.



Şekil 49- Theis eğri çakıştırma metodu kullanıldığında pompaj test sonuçları üzerindeki beslenme ve negatif sınır etkileri. Bu örnekte her iki sınır da pompaj kuyusuna eşit uzaklıktadır.

