



# ARAŞTIRMA MAKALESİ

## Basıncılı akiferlerdeki kuyuların etki yarıçapının ve güvenilir pompaj süresinin belirlenmesi

Yazışma yazarı:

Mesut Çimen

mesutcim@mmf.sdu.edu.tr

Mesut Çimen

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta, Türkiye

Referans:

Çimen M., (2008), Basıncılı akiferlerdeki kuyuların etki yarıçapının ve güvenilir pompaj süresinin belirlenmesi, Su Kaynakları, 1, 33-38

Makale Gönderimi : 1 OCAK 2008  
Online Kabul : 1 ŞUBAT 2008  
Online Basım : 1 MART 2008

**Özet** Dünyada çeşitli su temini amaçları için yeraltı suyundan sıkça yararlanılmaktadır. Bu amaçla, yeraltı suyundan yararlanmanın bir şekli pompaj kuyuları yoluyla olmaktadır. Yeraltı suyunu bulduran akiferler genel olarak basıncılı, serbest yüzeyle ve sızdıran akiferler olarak ayrılırlar. Akiferlerden kuyular vasıtasıyla güvenilir bir çekim yapmak; arzu edilen debinin her zaman tedariki, yeraltısuyunun kirlenmesinin önlenmesi ve toprak çökmelerinin önüne geçilmesi bakımlarından önemlidir. Bu, halen üzerinde çalışılan yaygın bir konudur. Bu çalışmada, basıncılı akiferlerde açılmış birbirine yakın iki farklı pompaj kuyusu için her bir kuyunun etki yarıçapının ve güvenilir pompaj süresinin belirlenmesi için bağıntılar teklif edilmiştir. Burada sözü edilen kuyu etki yarıçapı, literatürdekilerden farklı olarak, birbirine yakın iki kuyu arasında meydana gelen ve düzenli bir düşüm konisini oluşturan yarıçap olarak ele alınmıştır. Bu yarıçapı veren süre de, güvenilir pompaj süresi olarak tanımlanmıştır. Bu bağıntılar, debisi diğerinden küçük pompaj kuyusunun boyutsuz zaman faktörü ( $u$ ) değerinin hemen hemen kararlı hali gösteren 0.001 e eşit olduğu kabulü ile geliştirilmiştir. Teklif edilen bu bağıntıların, pompaj debilerinin birbirine eşit ya da farklı olmasına göre nasıl kullanılabileceği bir yöntem ile anlatılmıştır. Literatürde tek bir pompaj kuyusunun etki yarıçapının belirlenmesi için teklif edilmiş birçok bağıntı olmasına rağmen, bu bağıntıların kullanılmasında bazı dezavantajlar bulunmaktadır. Elde edilen formüller ve yöntem, problemin daha iyi anlaşılabilmesi için kuyulardan çekilecek teorik debilere göre değerlendirilmiş ve bir uygulama yapılarak konu tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Etki yarıçapı, pompaj süresi, kuyu, basıncılı akifer, yeraltı suyu, düşüm konisi

## Determining radius of influence and reliable duration of pumping of wells in confined aquifers

**Extended Abstract** Groundwater for various purposes of water supply in all the word is often used. A method of benefiting from the groundwater is with the aid of the pumping wells. Aquifers which is involved the groundwater are generally separated as the ones of confined, unconfined and leaky. To withdrawal reliably from the aquifers is important from point of the following views: to provide desired pumping amount all the time; to prevent the groundwater contamination and the land collapse. This is a topic which is still studied on.

During the pumping in confined aquifers, around the well occurs, in radial, a depression cone due to pressure differences. The depression cone has smaller radius in the beginning of pumping while it increases in the late pumping times. The hydraulic parameters (transmissivity and storage coefficient) of the aquifer, the pumping discharge and the radius of the well effect to this physical phenomenon. In the groundwater flux towards the relatively small-diameter pumping well, the response (depression cone) of the confined aquifer due to the pumping with the constant rate conforms to Theis 's (1935) equation. This equation implies the unsteady state flux of groundwater, and shows which the radius of depression cone is increased as the pumping continues. This increasing affects to the radius of influence of another pumping well close to the well and, causes to be cut off the each depression cone. In such case, a departure from the Theis curve would be seen. This occurrence would cause undesired aquifer response and withdrawals in the pumping wells with the large distant. The radius of influence is the distance between the pumping well center and the point in the aquifer where the drawdown is equal to zero. In nature exact zero points are possible in the cases of recharges from

the sea and/or a leaky aquifer. However, in practice, the radius of influence should be interpreted as a distance beyond which the drawdown is negligible.

The first study to determine the radius of influence is made by Thiem (1906). He taken into consideration the steady state groundwater flow towards the well, and solved analytically the problem. Later, Sichardt (1927) gave a simple relationship to estimate the radius of influence. This relation depends on the measured steady-state drawdown in the pumping well and the hydraulic conductivity of aquifer only. Finally, the radius of influence is determined with distance-drawdown model of the Cooper and Jacob (1947) method under the unsteady state conditions. In this model, it can approximately be obtained from the storage coefficient relationship. However, this model requires readings of at least at three observation wells.

In this study, the multiple wells (two wells) are taken into consideration. Therefore, the radius of influence for such wells is important due to their depression cones. The depression cones must be cut off each other because desired withdrawal only becomes with following the Theis curve of the depression cones for each well. This is provided which a suitable duration of pumping is established in the radiuses of influence of wells. These radiuses occur between two wells close to each other. The larger the pumping discharges is the larger the radius of influence. The larger radius of influence causes to the smaller duration of pumping. For this purpose, the dimensionless time factor in the pumping well with the smaller discharge is been equal to 0.001. This value implies a quasi-steady state case from the pumping well center to the radius of influence for that well while the other well has unsteady state flow. Later, a formula is given to estimate the radius of influence from this dimensionless time factor. By using the Theis equation together with the derivative according to the radial distance of the drawdown of the equation, a procedure for the radius of influence and reliable duration of pumping is suggested for each well. A hypothetical example is presented to demonstrate how these parameters are determined.

**Keywords.** Radius of influence, duration of pumping, well, confined aquifer, groundwater, depression cone

## 1. Giriş

Bir kuyuda pompaj devam ederken zamanla düşüm konisinin artışı, o kuyuya yakın bir diğer pompaj kuyusunun etki alanına girmesine ve düşüm konilerinin birbirini kesmesine sebep olmaktadır. Birbirine yakın iki farklı kuyunun düşüm konilerinin birbirini keserek ilerlemesi halinde, her iki kuyunun etrafındaki düşüm konileri Theis denkleminin işaret ettiği düşüm konisinden sapacaktır. Bu ise, daha uzak mesafelerdeki başka kuyuların etki alanına girmeyi kolaylaştıracak ve arzu edilmeyen akifer davranışına ve çekimlere neden olabilecektir.

Bir pompaj kuyusunun etki yarıçapı, kuyudan belli bir mesafedeki düşümün sıfır olduğu mesafe olarak tanımlanır. Doğadaki basınçlı akiferlerde, bu sıfır noktaları yalnızca beslenmelerin (denizlerden, sızıntılı bir başka akiferden) olması hallerinde mümkündür. Bir kuyunun etki yarıçapı direkt olarak bilinemez, fakat iyi bir tahmin geçmişteki tecrübelerden ya da bazı amiprik formüllerden yapılabilmektedir (Şen, 1995). Bu konuda yapılmış amiprik formüllerden ilki Thiem'in (1906) kararlı haldeki akım denkleminde elde edilebilmektedir. Bu denklemde sıfır düşümün görüldüğü mesafe (etki yarıçapı,  $R_0$ ) aşağıdaki gibi yazılabilmektedir:

$$R_0 = r \exp\left(\frac{2\pi T}{Q} s(r)\right) \quad (1)$$

Burada  $s(r)$  pompaj kuyusu merkezinden itibaren bir  $r$  radyal mesafede ölçülen düşümü ( $L$ ),  $T = Km$  akiferin iletim kapasitesini ( $L^2 T^{-1}$ ),  $K$  akiferin hidrolik iletkenlik katsayısını ( $L T^{-1}$ ),  $m$  akiferin kalınlığını ( $L$ ) ve  $Q$  sabit pompaj miktarını ( $L^3 T^{-1}$ ) göstermektedir. Daha sonra, Sichardt (1927) pompaj kuyusundaki düşümü ( $s_w$ ) göz önüne alarak aşağıdaki formülü teklif etmiştir:

$$R_0 = 3000s_w \sqrt{K} \quad (2)$$

Etkili yarıçapın daha güvenilir tahmini ise Cooper ve Jacob (1947) metodunun mesafe-düşüm modeli ile yapılabilmektedir (Şen, 1995). Bu yöntem, Theis denkleminin geç zamanları ile en az üç gözlem kuyusunun eş zamanlı yapılan ölçümlerini göz önüne alır. Geç zamanlarda ölçülmüş düşüm değerlerinin mesafe-düşüm grafiğinde işaretlenmesiyle etki yarıçapı aşağıdaki bağıntıdan yaklaşık olarak hesaplanabilmektedir:

$$R_0 = 1.5\sqrt{t_0 T/S} \quad (3)$$

Burada  $S$  akiferin depolama katsayısını (boyutsuz) ve  $t_0$  ise etki yarıçapının görüldüğü zamanı göstermektedir.

Yukarıda verilen Denklemler (1) ve (2), hemen hemen kararlı hale ulaşmış akımlar için elde edilirken, Denklem (3) kararsız hal akımlar için elde edilmiştir. Denklemler (1) ve (2)'nin uygulanabilmesi için akifer davranışının kararlı hale gelmiş olması gerekmektedir. Pratikte böyle bir durum asla olmamakta, fakat hemen hemen kararlı haldeki gözlemlerden etki yarıçapı tahmin edilebilmektedir. Denklem (3) ise, pompaj kuyusu etrafında en az üç gözlem kuyusunu gerektirdiğinden bu denklemin de kullanılması çok ekonomik olmayacaktır. Ayrıca, bunlar yalnızca bir pompaj kuyusunun etki yarıçapını belirleyen ifadeler oldukları için, birbirine yakın pompaj kuyularında her bir kuyunun güvenilir/istenilen (düşüm konilerinin birbirini kesmediği) etki yarıçapını bulmaktan uzaktır. Literatürde birbirine yakın pompaj kuyuların (çoklu kuyular) etki yarıçapını farklı fiziksel problem durumları için belirleyen bazı yöntemler bulunmaktadır. Dahler (1924), birbirine yakın olan kuyular için bir  $i$  noktasındaki birleşik düşümü,  $s_i(r)$ , bulmak için aşağıdaki denklemi teklif etmiştir (USACE, 1992; Şen, 1995):

$$s_i(r) = \frac{1}{2\pi T} \sum_{j=1}^n Q_j \ln \frac{R_j}{r_{i,j}} \quad (4)$$

Burada  $n$  toplam kuyu sayısını,  $Q_j$  ve  $R_j$  sırasıyla  $j$ . kuyunun debisini ve etki yarıçapını ve  $r_{i,j}$   $i$  noktası ile  $j$ . kuyu arası mesafeyi göstermektedir. Bu ifade hemen hemen kararlı hal akımlar için çıkarılmış olup ya her bir kuyunun etki mesafesinin önceden bilinmesiyle birleşik düşümün hesabını ya da  $i$  noktasındaki düşümün belirlendikten sonra ortalama bir etki mesafesinin bulunmasını verebilmektedir.

Bu çalışmada, sonsuz yayımlı, tektür ve izotrop basınçlı bir akiferde açılmış çoklu kuyulardan farklı miktarlardaki pompaj durumu ele alınmıştır. Çalışmada, pompajın kararsız halinde düşüm konilerinin birbirini kesmemesi için gerekli olan etki mesafesinin ve bu mesafenin elde edilmesi için gerekli olan pompaj süresinin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

## 2. Analiz

Akiferlerdeki yeraltı suyunun hareketi Darcy kanunu olarak bilinen aşağıdaki doğrusal denklem ile tanımlanır:

$$q(r) = KI \quad (5)$$

Burada  $q(r)$  bir  $r$  mesafesinde yeraltı suyunun hızını (L/T) ve  $I$  ise akiferin hidrolik eğimini (boyutsuz) göstermektedir. Basınçlı akiferlerde yapılan bir pompaj sırasında, pompaj kuyusu etrafındaki düşümü ifade eden aşağıdaki ifade, Theis (1935) tarafından akifer hidrolik parametrelerinin belirlenebilmesi için elde edilmiştir:

$$s(r,t) = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^\infty \frac{e^{-x}}{x} dx \quad (6)$$

Bu eşitlikte  $s(r,t)$  basınçlı akiferin  $r$  mesafesinde piyezometredeki düşümü (L),  $Q$  sabit pompaj miktarını ( $L^3 T^{-1}$ ),  $u = Sr^2/4Tt$  boyutsuz zaman faktörünü, ve  $t$  ise pompajın başlamasından itibaren zamanı göstermektedir. Bu ifadenin mesafeye göre türevi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\frac{\partial s(r,t)}{\partial r} = -\frac{Q}{2\pi T} \frac{e^{-Sr^2/4Tt}}{r} \quad (7)$$

Denklem (5),  $m$  kalınlığındaki basınçlı bir akiferde bir pompaj kuyusuna doğru akım için aşağıdaki gibi tekrar yazılabilir:

$$\frac{ds(r)}{dr} = -\frac{Q(r)}{2\pi T} \frac{1}{r} \quad (8)$$

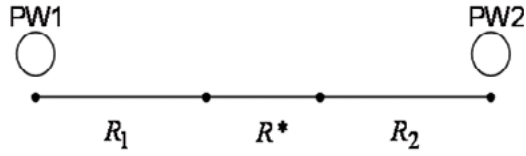
Bu ifade ile Denklemler (7) nin birbirine eşit olduğu görülmektedir. Bu iki eşitlikten aşağıdaki ifade elde edilebilir:

$$Q(r) = Qe^{-Sr^2/4Tt} \quad (9)$$

Bu, pompaj kuyusundan radyal doğrultuda ilerledikçe, akifer içerisindeki debinin pompaj kuyusundan çekilen debinin bir eksponansiyeli şeklinde azaldığını ve bu azalışın bütün pompaj süreleri için geçerli olduğunu gösterir. Boyutsuz zaman faktörü  $u=Sr^2/4Tt=0.001$  için, bu ifade  $Q(r) \cong Q$  olur. Bu şart Cooper ve Jacob (1947) a göre, pompajın geç zamanlarını ( $u \leq 0.01$  için) ifade etmektedir. Yani, akım pompaj kuyusundan bir r radyal mesafesinde (etkili yarıçap, R) hemen hemen kararlı hale gelmiştir. Böyle bir eşitliğin tesis edilmesindeki hata %0 1den küçüktür. Bu şart altında, bu denklem aşağıdaki gibi amaca uygun olarak yazılabilir:

$$R = \sqrt{0.004 \frac{T}{S} t} \quad (10)$$

Böylece, akiferin difüzyon katsayısı  $D = T / S$  bilinmesi halinde pompaj süresine bağlı olarak etkili yarıçap ya da etkili yarıçapa bağlı olarak güvenilir (yeterli) pompaj süresi elde edilebilir. Bu problem, birden fazla pompaj kuyusunun bulunması durumunda önem kazanır. Şöyle ki, birbirine yakın iki kuyudan yapılan rastgele (uzun) pompajlar sonucunda etkili yarıçap mesafesi geçilecek ve kuyu etrafında oluşan düşüm konileri birbirini kesecektir. Böyle bir problem, çeşitli yönlerden istenmeyen bir durum olarak karşımıza çıkabilir. Şekil 1 de birbirinden L mesafesi kadar uzak olan iki pompaj kuyusu görülmektedir. Bu iki kuyudan pompaj yapılması durumunda düşüm konilerinin birbirini kesmemesi arzu edilir. Bu durumda, iki kuyunun etki yarıçapları çekilecek pompaj debilerinin büyüklüklerine göre farklı olacak ve debisi büyük olanın etki yarıçapı diğerine göre daha büyük olacaktır. Pompaj sürelerine bakıldığında ise, teorik olarak, debisi büyük olan kuyunun çekim süresi daha küçük olmalıdır.



Şekil 1. Birbirinden L mesafesi uzaklıkta iki pompaj kuyusu ve etki yarıçapları

Şekil 1 deki toplam mesafe iki kuyunun etkili yarıçapı ile aralarındaki bir güvenlik mesafesinin ( $R^*$ ) toplamını verir.

$$L = R_1 + R^* + R_2 \quad (11)$$

Şayet her iki kuyunun pompaj miktarları eşit ise, Denklem (10) her iki kuyu içinde geçerlidir. Yani etki yarıçapları birbirine eşittir ( $R_1 = R_2$ ) ve bu etki yarıçapa ulaşmak için gerekli pompaj süresi de birbirine eşittir ( $t_1 = t_2$ ). Böylece, her bir kuyunun gerekli pompaj süresi, Denklem (10)'un bu eşitlik içerisinde yazılmasıyla, aşağıdaki ifadede kolayca bulunabilir.

$$t_{1,2} = \frac{(L - R^*)^2}{0.016D} \quad (12)$$

Kuyuların debileri birbirine eşit değil ise kuyuların etki yarıçapları ve pompaj süreleri birbirine eşit olmayacaktır. Bu durumda, çekim debisi küçük olan kuyu hesaplamaların başında göz önüne alınmalıdır. Bu kuyu için Denklem (9) daki eşitliğin sağlanması, ancak boyutsuz zaman faktörünün  $u=0.001$  olması halinde mümkündür. Böylece, debisi büyük olan diğer kuyunun ise boyutsuz zaman faktörü değerinin 0.001 den daha büyük olması beklenir. Debisi büyük olan kuyunun gerekli pompaj süresi ve etki yarıçapı ise birinci kuyunun etki yarıçapında meydana gelen düşüm değeri (Denklem 6) ile mesafeye göre düşümün türevini gösteren Denklem (7)'den elde edilir. Öncelikle Denklem (6) göz önüne alınır, birinci kuyudaki düşümün etki yarıçapındaki değeri ( $u_1=0.001$  için integralin değeri 6.33 dür) bilinen Q ve T değerlerinden kolayca bulunur. Debisi küçük olan kuyu için bulunan bu düşüm değeri, debisi büyük ikinci kuyunun etki yarıçapındaki düşüm değerine eşit olmalıdır. Eğer eşit olmazsa,  $R^*=0$  için, düşümler arasında bir fark meydana gelecektir. Böylece Denklem (6)'dan, böyle bir eşitlik için, ikinci kuyunun boyutsuz zaman faktörü ( $u_2$ ) elde edilir. Bundan sonra Denklem (7) göz önüne alınır, her iki kuyunun etki yarıçapındaki eğimleri birbirine eşitlenir. Bu eşitlikten aşağıdaki ifade yazılabilir:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_1}{R_2} e^{-u_2} \quad (13)$$

Bu ifade de bilinmeyenler yalnızca, etki yarıçapı terimleridir. Bu eşitlik Denklem (11)'de yerine yazılırsa, bilinen  $L-R^*$  değeri için her bir kuyunun etki yarıçapı kolayca bulunur.

Daha sonra, önceden değerleri belli olan boyutsuz zaman faktörleri için bu değerler yerine yazılırsa her bir kuyunun gerekli pompaj süreleri belli olur.

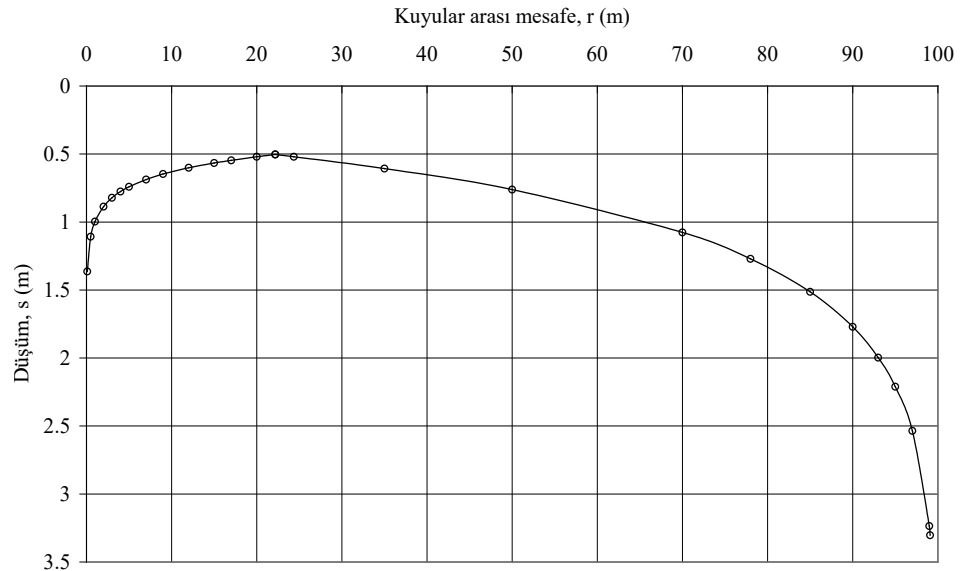
## Değerlendirmeler

Şekil 1 de birbirine  $L$  mesafede açılmış iki pompaj kuyusu görülmektedir. Bu şekilde birbirine yakın pompaj kuyularından istenilen miktardaki çekime etki eden parametreler akiferin difüzyifitesi, aralarındaki mesafe ve her bir kuyunun pompaj süresidir. Önceki kısımda iki kuyunun pompaj debilerinin birbirine eşit veya farklı olmasına göre kuyuların etki yarıçapının ve güvenilir pompaj süresinin belirlenmesi için izlenen adımlar anlatılmıştı. Bu yöntem aşağıda bir örnek üzerinde gösterilmiştir.

Pompaj debileri her iki kuyuda da eşit olduğunu ( $Q_1 = Q_2 = 100 \text{ m}^3/\text{gün}$ ) varsayalım. Difüzyifite katsayısı  $D=1.10^5 \text{ m}^2/\text{gün}$  ve  $L-R^*=100 \text{ m}$  için, Denklem (12)'ye göre her bir kuyunun akiferden çekebilecekleri süre bir birine eşit ( $t_1 = t_2 = 6.25 \text{ gün}$  olarak) bulunur. Tabii olarak bu süre yüzeyden sızmalar sonucunda, yeraltı suyunun denge haline gelip pompaja başladıktan sonraki süreyi ve özellikle, sulama mevsiminde her bir kuyudan çekilebilecek toplam süreyi vermektedir. Etki yarıçapları da, kuyu debileri birbirine eşit olmasından dolayı, yine birbirine eşit olarak ( $R_1 = R_2 = 50 \text{ m}$ ) bulunur. Etki yarıçapındaki düşümün değeri de, Denklem (6) dan,  $u=0.001$  ve  $T=100 \text{ m}^2/\text{gün}$  için,  $0.504 \text{ m}$  olarak elde edilir.

Güvenilir pompaj sürelerinin hesabında kuyulardan çekilen eş büyüklükteki debilerin önemli olmadığını belirtmek gerekir. Çünkü Denklem (6)'nın integrasyon ifadesi,  $u=0.001$  için  $6.33$  sabit değerini verir. Bu ise, ancak etki yarıçapında ölçülecek düşüm yüksekliklerine etki eder. Denklem (7)'ye bakıldığında, mesafeye göre eğimlerin her iki kuyu için aynı olduğu ( $-0.003183$ ) görülür.

Yukarıdaki örneği farklı pompaj debileri  $Q_1 = 100 \text{ m}^3/\text{gün}$  ve  $Q_2 = 400 \text{ m}^3/\text{gün}$  için tekrar çözmekte problemin daha iyi anlaşılması bakımından yarar vardır. Birinci kuyunun debisi daha küçük olduğundan, birinci kuyunun boyutsuz zaman faktörü  $u_1=0.001$  alınır. Denklem (6)'dan bu zamana ve  $Q_1$  pompaj debisine ait düşüm  $0.504 \text{ m}$  olarak (önceki örnek ile aynı) bulunur. Ancak bu kuyunun etki yarıçapı ve güvenilir pompaj süresi belli değildir. Bu düşüm değeri, yine Denklem (6)'da yerine konulup ikinci kuyunun pompaj değeri için çözüm yapılırsa, bu kuyunun boyutsuz zaman faktörü değeri  $u_2=0.1309$  olarak bulunur. Bu değer Denklem (13)'de yerine yazılırsa,  $R_1/R_2=0.285$  eşitliği elde edilir. Yani birinci kuyunun etki yarıçapı ikinci kuyunkinden  $0.285$  kat daha azdır. Bu eşitlik Denklem (11)'de yerine yazılırsa etki yarıçapları  $R_1=22.177 \text{ m}$  ve  $R_2=77.823 \text{ m}$  olarak elde edilir. Bu mesafeler boyutsuz zaman faktörlerinde yerlerine yazılırsa, her bir kuyunun güvenilir pompaj süreleri  $t_1=1.23 \text{ gün}$  ve  $t_2=0.12 \text{ gün}$  olarak belirlenmiş olur. Denklem (7)'den mesafeye göre eğimlerin, her iki kuyu için aynı olduğu ( $-0.003585$ ) elde edilebilir.



Şekil 2. İki kuyudan yapılan pompajın güvenilir pompaj sürelerine ilişkin mesafe-düşüm grafiği

Akifer kesitinde bu durumu canlandırmak için Şekil 2 çizildi. Bu şekle bakarsak: 1) her iki kuyunun da etki yarıçapında aynı düşüm değerinin ( $0.504 \text{ m}$ ), 2) kuyuların hemen yakınlarında farklı düşüm değerlerinin (sırasıyla  $1.36 \text{ m}$  ve  $3.3 \text{ m}$ ) ve 3) düşüm konilerinin

Theis eğrisinin işaret ettiği düşüm konisinin elde edildiği görülmektedir. Birinci kuyunun pompaj süresinde ve etki yarıçapında hemen hemen kararlı bir hale yaklaşıldığı ve akımın, Denklem (9) göz önüne alındığında, bu mesafede pompaj debisine eşit olduğu elde edilmiştir. Fakat ikinci kuyuda ise  $U_2=0.1309$  için akımın kararsız halde olduğu ve bu boyutsuz zaman faktörü değerinin herhangi bir pompaj analizinde bu değer erken pompaj süresini verdiği (bu etki yarıçapında akifer debisi  $350.92\text{m}^3/\text{gün}$ ) görülmektedir.  $R^*$  ile gösterilen bir güvenlik mesafesinin böyle bir sistemde ne kadar büyüklükte olacağını takdiri, uygulayıcıya bağlı olup bu mesafe ancak her iki kuyudaki proje debilerinin güvenilir bir şekilde alınması için gereklidir.

## Sonuçlar

Bu çalışmada, iki kuyunun birbirine yakın olması halinde her bir kuyunun düşüm konilerinin birbirini kesmemesi için gerekli pompaj süresinin ve etki yarıçapının belirlenmesi için bir yöntem sunulmuştur. Yöntem, diğerine göre daha küçük debili olan kuyunun boyutsuz zaman faktörü değerini 0.001 e eşitleyerek, bu değerden Theis denklemine göre düşümün hesaplanmasını ve daha sonra, elde edilen bu düşüm değerinin diğer debisi büyük olan kuyunun yine Theis denkleminde yerine konulmasını göz önüne alır. Debisi küçük olan kuyudan yapılan güvenilir bir pompaj süresinden sonra kuyu merkezinden itibaren etki yarıçapına kadar akımın hemen hemen kararlı bir hale geldiği görülmüştür. Etki yarıçapına kadar akiferin her yerinde, pompaj ve akifer debileri arasındaki fark %01 den daha küçük olarak elde edilmiştir. Bununla birlikte, debisi büyük olan kuyunun etki yarıçapında kararsız halde bir akım elde edilmiştir. Her iki kuyu için elde edilen pompaj süreleri, pompajdan sonraki zamanlarda yeraltısuyu piyezometrik hattının denge haline (eski haline) geldikten sonra tekrar aynı pompaj süreleri ve etki yarıçapları geçerli olmaktadır. Güvenlik yarıçapı olarak kabul edilen bir mesafenin etki yarıçaplarında gerekli debinin alınabilmesi ve düşüm konilerinin devamı bakımlarından gereklidir ve bu mesafe uygulayıcı tarafından belirlenmelidir.

## Kaynaklar

- Theis, C.V., (1935). The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using ground water storage. Transactions American Geophysical Union, 16, 519-524.
- Thiem, G., (1906). Hydrologische Methoden, Gebhardt, Leipzig.
- Cooper, H.H., Jr. ve Jacob, C.E., (1946). A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history. Transactions American Geophysical Union, 27, 526-534.
- Dahler, R., (1924). Grundwasserströmung, 92, Verlag Julius Springer, Vienna.
- Sichardt, V., (1927). Das fassungsvermögen von bohrbrunnen und eine bedeutung für die grundwasserersenkung insbesondere für grossere absentiefen, Dissertation, Tech. Hochschule, Berlin.
- Şen, Z., (1995). Applied hydrogeology for scientists and engineers, 444, CRC Lewis Publisher, New York, USA.
- Theis, C.V., (1935). The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using ground water storage. Transactions American Geophysical Union, 16, 519-524.
- Thiem, G., (1906). Hydrologische Methoden, Gebhardt, Leipzig.
- USACE, 1992. Engineering and design - design, construction, and maintenance of relief wells. (<http://www.usace.army.mil/publications/eng-manuals/em1110-2-1914/>), (12.11.2007).