

## KADEMELİ POMPALAMA TESTLERİ İLE KUYU PERFORMANSININ ZAMAN İÇİNDE DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ

*Gökçen ERYILMAZ TÜRKKAN* \*  
*Serdar KORKMAZ* \*\*

Alınma:04.05.2017; düzeltme:20.11.2017; kabul:31.05.2018

**Öz:** Bu çalışmanın amacı, kademeli pompalama testi ile kuyu performansının yıllar içerisindeki değişimini incelemektir. Çalışmada Neojen Mühendislik tarafından Bursa Küçük Sanayi bölgesindeki serbest akiferde açılan 27 metre derinliğindeki kuyu kullanılmıştır. İlk olarak 2 Kasım 2012 tarihinde bir adet kademeli pompalama testi yapılmıştır. Kademeli pompalama testi, aynı kuyuda 23 Mart 2017 tarihinde tekrar yapılmıştır. Arazi çalışması sonucu elde edilen kademeli pompalama test verileri Hantush-Bierschenk ve Rorabaugh analitik metotları ile çözülüp kuyu performans parametreleri elde edilmiştir. İki testin uygulandığı tarih arasında kuyu verimindeki ve özgül kapasitedeki değişim incelenmiştir. Kuyu performansının artırılması için öneriler sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Pompaj kuyusu, Kademeli pompalama testi, Kuyu verimi

### Investigation of the Variation in Well Performance over Time Using Step Drawdown Tests

**Abstract:** The purpose of this study is to investigate the variation in well performance over years by performing step drawdown test. The well used in this study was drilled by Neojen Engineering in the unconfined aquifer in Bursa Küçük Sanayi region and is 27 meters deep. The first step drawdown test was carried out on November 2, 2012. The test was repeated on March 23, 2017 in the same well. The step drawdown test data obtained from the field study were solved by the Hantush-Bierschenk and Rorabaugh analytical methods and the well performance parameters were obtained. The change in well efficiency and specific capacity were investigated between the dates of the two tests. Suggestions are presented to increase the well performance.

**Keywords:** Pumping well, Step drawdown test, Well efficiency

## 1. GİRİŞ

İnsan hayatında su, oksijenden sonra gelen önemli bir unsurdur. Dünyada içme sularının önemli bir kısmı yeraltı sularından sağlanmaktadır. Bu kadar kıymetli olan yeraltı suyunu akılcı kullanmak önemlidir. Su temini için kullanılan yeraltı suyu kuyularının verimi zamanla düşmektedir. Bu durumda kuyu bakım maliyetleri artmaktadır.

Kuyu performans testleri olarak bilinen kademeli pompalama testleri kuyu kaybı katsayısını ve akifer kaybı katsayısını belirlemeyi amaçlamaktadır. Hantush-Bierschenk metodu (Hantush, 1964; Bierschenk, 1963) basınçlı, sızıntılı, serbest akiferlerde uygulanır ve bu metotla kuyu

\* Bayburt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 69000, Bayburt

\*\* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 16059, Bursa  
İletişim Yazarı: Gökçen Eryılmaz Türkkkan (geryilmaz@uludag.edu.tr)

performans parametreleri elde edilir. Eden-Hazel metodu (1973) ile basınçlı akiferlerde kuyu performans parametreleri bulunur ve ayrıca geçirgenlik değerine ulaşılır. Rorabaugh (1953) ve Sheahan (1971) metotları ise basınçlı, sızıntılı ve serbest akiferlerde uygulanır ve kuyu performans parametreleri bulunur.

Literatürde kuyu verimi üzerine yapılan bir çok çalışma söz konusudur. Bierschenk (1963) kademeli pompalama testleri ile kuyu veriminin belirlenmesi üzerine çalışmıştır. Huang vd. (2007) çalışmalarında akifer parametrelerinin tahmininde sensitivite analizini kullanmışlardır. Maréchal vd. (2008) karstik sistemlerde pompalama testlerinin yorumlanması üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Avcı vd. (2010) akifer ve kuyu kaybı parametrelerinin belirlenmesi üzerine bir çalışması mevcuttur. Polak vd. (2011) kuyu veriminin tahmini üzerine çalışması mevcuttur. MWDOC (2012)'de gelgitlerin kuyu verimine etkisi incelenmiştir. Avcı vd. (2013) çalışmalarında akifer sistemlerinin ve parametrelerinin belirlenmesi üzerine yeni bir metot geliştirmişlerdir. Rafini vd. (2017) çalışmalarında bağlantılı komşu akiferlerde gerçekleştirilen pompalama test verilerini sayısal olarak incelemişlerdir. Zhanga vd. (2017) derin basınçlı akiferlerde pompaj-yağış ilişkisini arazi çalışmalarıyla incelemişlerdir. Zhang vd. (2018) yeraltı duvarının pompalama testlerine etkisini incelemişlerdir.

Bu çalışmanın amacı, günlük su temini amacıyla kullanılan bir kuyunun performansının zamanla değişiminin incelenmesidir. Bu çalışmada kullanılan kuyu, Neojen Mühendislik tarafından Bursa Küçük Sanayi bölgesindeki serbest akiferde 2012 yılında açılmış olup 27 metre derinliğindedir. Bu kuyuda 2 Kasım 2012 tarihinde bir adet kademeli pompalama testi yapılmıştır (Eryılmaz ve Korkmaz, 2015). Aynı test, 23 Mart 2017 tarihinde tekrar edilmiştir. Arazi çalışması sonucu elde edilen kademeli pompalama test verileri Hantush-Bierschenk ve Rorabaugh analitik metotlarıyla çözülüp kuyu kaybı, akifer kaybı parametreleri elde edilmiştir. Debiye karşı kuyu verimi ve özgül kapasite hesaplanmıştır. 2012-2017 yılları arasında kuyu verimindeki ve özgül kapasitedeki değişim incelenmiştir.

## 2. KADEMELİ POMPALAMA TESTİ

Kademeli pompalama testi tek bir kuyuda yapılan bir testtir. Öncelikle düşük sabit debi ile pompalama yapılır. Su seviyesi sabit hale geldiğinde debi artırılır ve pompalama işlemine su seviyesi tekrar sabitlenene kadar devam edilir. Bu süreç en az 3 kademe tekrarlanır. Her kademe yaklaşık olarak eşit süre alır. Bu süre yaklaşık olarak 30 dakika ile 2 saat arasında değişir. Bunu ilk olarak Jacob (1947) çalışmıştır. Jacob pompaj kuyusundaki düşü için aşağıda verilen Jacob eşitliğini geliştirmiştir (Jacob, 1950; Bear, 1979).

$$s = B(Re, t)Q + CQ^2 \quad (1a)$$

$$B(Re, t) = B_1(r_c, t) + B_2 \quad (1b)$$

$B_1(r_c, t)$ =Lineer akifer kaybı katsayısı

$B_2$ =Lineer kuyu kaybı katsayısı

$C$ =Non-lineer kuyu kaybı katsayısı

$R_e$ =Etki yarıçapı

$r_c$ =Kuyunun gerçek yarıçapı

$t$ =Pompalama süresi

$s$ =Düşü

Akifer kaybı; laminar akımın bulunduğu kısımdaki yük kaybıdır. Kuyu kaybı; lineer yük kaybı ve non-lineer yük kaybı olarak ikiye ayrılır. Lineer kuyu kayıpları kuyu açılırken akiferin delinmesi esnasındaki tahribattan kaynaklanır. Non-lineer kuyu kayıpları ise türbülanslı akımın



Hantush (1964) yukarıda bahsedilen Jacob eşitliğine (1a) süperpozisyon prensibini uygulayarak kademeli pompalama testinin  $n$ . kademesi boyunca kuyudaki düşüyü aşağıdaki şekilde ifade etmiştir:

$$s_{w(n)} = \sum_{i=1}^n \Delta Q_i B(R_e, t - t_i) + C Q_n^2 \quad (4)$$

$s_{w(n)}=t$  zamanında  $n$ . kademe boyunca kuyudaki toplam düşü

$R_e$ =Kuyunun etki yarıçapı

$t_i$ = $i$ . kademe başlangıcındaki zaman

$Q_n$ = $n$ .kademe sırasındaki sabit debi

$Q_i$ = $i$ .kademe sırasındaki sabit debi

$\Delta Q_i=Q_i-Q_{i-1}$

Her bir kademenin başlangıcından sabit bir zaman aralığı ( $\Delta t$ ) alınarak yine her bir kademe için  $\Delta s_{w(i)}$  düşülerin toplamı eşitlik (5)'deki gibi yazılmıştır.

$$\sum_{i=1}^n \Delta s_{w(i)} = s_{w(n)} = B(R_e, \Delta t) Q_n + C Q_n^2 \quad (5)$$

$\Delta s_{w(i)}=i$ . kademe ile bunu izleyen kademe arasındaki düşü

Arazide alınan ölçümler kullanılarak, yarı logaritmik kağıtta yatay logaritmik eksene zaman, düşey eksene ise düşü değerleri aktarılır. Her bir kademedeki düşü ayrı ayrı belirlenir. Bir kademedeki düşü, o kademenin sonundaki toplam düşüden bir önceki kademenin sonundaki düşü değeri çıkartılarak bulunur. Toplam düşü, her bir kademede bulunan düşülerin tümü toplanarak (5)'de belirtildiği gibi  $s_{w(n)}=\Delta s_{w(1)}+\Delta s_{w(2)}+\dots+\Delta s_{w(n)}$  şeklinde hesaplanır. (5) nolu eşitliğin her tarafı  $Q_n$  ile bölünürse:

$$\frac{s_{w(n)}}{Q_n} = B(R_e, \Delta t) + C Q_n \quad (6)$$

elde edilir. Aritmetik kağıdın düşey eksenine  $\frac{s_{w(n)}}{Q_n}$  (özümlü düşü) değerleri, yatay eksenine ise  $Q_n$  değerleri işaretlenir. Bu noktalardan geçen bir doğru çizilir. Bu doğrunun eğimi  $C$ 'dir. Doğrunun  $\frac{s_{w(n)}}{Q_n}$  eksenini kestiği nokta ise  $B$ 'dir.

## 2.2. Rorabaugh

Aşağıda belirtilen kabuller altında bu metot uygulanır (Rorabaugh 1953);

1. Akifer basınçlı, sızıntılı veya serbest olabilir.
2. Akifer, yatay düzlemde sonsuz büyüklüğe sahiptir.
3. Akifer, homojen, izotropik ve sabit kalınlıktadır.
4. Pompalamadan önce, piyezometrik yüzey yatay durumdadır.
5. Her kademede pompalanan debi sabit ve bir önceki kademedeki yüksek olmalı.
6. Kuyuya giren su yatay yönde iletilir.
7. Kuyudaki akım kararsız haldedir.
8. Non-lineer kuyu kayıpları tahmin edilebilir düzeydedir ve  $CQ^P$  değerine bağlıdır.

Süperpozisyon prensibi, (3) nolu eşitliğe (Rorabaugh eşitliği) uygulanırsa düşü ifadesi (7) halini alır.

$$\sum_{i=1}^n \Delta s_{w(i)} = s_{w(n)} = BQ_n + CQ_n^P \quad (7)$$

Eşitlik (7)'nin iki tarafı da  $Q_n$ 'e bölünürse (8) elde edilir.

$$\frac{s_{w(n)}}{Q_n} = B + CQ_n^{P-1} \quad (8)$$

(8) düzenlenirse (9) halini alır.

$$\log \left( \frac{s_{w(n)}}{Q_n} - B \right) = \log C + (P - 1) \log Q_n \quad (9)$$

Öncelikli olarak yarı logaritmik kağıtta yatay logaritmik eksene zaman, düşey aritmetik eksene ise düşü değerleri aktarılır. Her bir kademede düşü teker teker belirlenir Toplam düşü, her bir kademede okunan düşülerin tümü toplanarak  $s_{w(n)} = \Delta s_{w(1)} + \Delta s_{w(2)} + \dots + \Delta s_{w(n)}$  şeklinde hesaplanır. Her kademe için tahmini  $B_i$  değerleri alınır. Her bir kademe için  $\left( \frac{s_{w(n)}}{Q_n} - B_i \right)$  değerleri hesaplanır. Tam logaritmik kağıdın düşey eksenine  $\left( \frac{s_{w(n)}}{Q_n} - B_i \right)$ , yatay eksenine ise  $Q_n$  değerleri işlenir. Farklı  $B$  değerleri için bu işlem tekrarlanır. Çıkan eğrilerden düz bir çizgi halinde olan seçilir. En düz çizgisini veren  $B_i$  değeri,  $B$ 'nin gerçek değeridir. Düz çizginin eğimi bulunur. Bulunan eğim,  $(P-1)$ 'e eşittir.  $Q_n = 1$  eksenini ile bu düz çizginin kesişim noktası bulunur. Düşey eksenden okunan  $\left( \frac{s_{w(n)}}{Q_n} - B \right)$ 'nin bu değeri  $C$ 'ye eşittir. Eşitlik (3)'de bulunan  $B$ ,  $C$  ve  $P$  değerleri yerine konularak istenilen debi değerindeki düşü bulunmaktadır.

### 2.3. Kuyu Verimi ve Özgül Kapasite

Kuyu verimi teorik düşünün kuyuda ölçülen düşüye oranı olarak tanımlanmaktadır (Kresic, 2007). Aynı zamanda akifer kaybının kuyu içinde ölçülen düşüye oranıdır (MWDOC, 2012).

$$E = 100 \frac{BQ}{s_w} = \frac{100}{1 + \frac{CQ}{B}} \quad (10)$$

$E$ =Kuyu verimi

$B$ =Akifer kaybı katsayısı

$C$ =Non-lineer kuyu kaybı katsayısı

$Q$ =Debi

$s_w$ =Kuyu içindeki düşü

Özgül kapasite pompaj kuyusundaki birim düşü için kuyudan çekilebilecek su miktarıdır. Özgül kapasite aşağıda yer alan eşitlikteki gibi tanımlanmaktadır.

$$SC = \frac{Q}{s_w} \quad (11)$$

$SC$ = Özgül kapasite

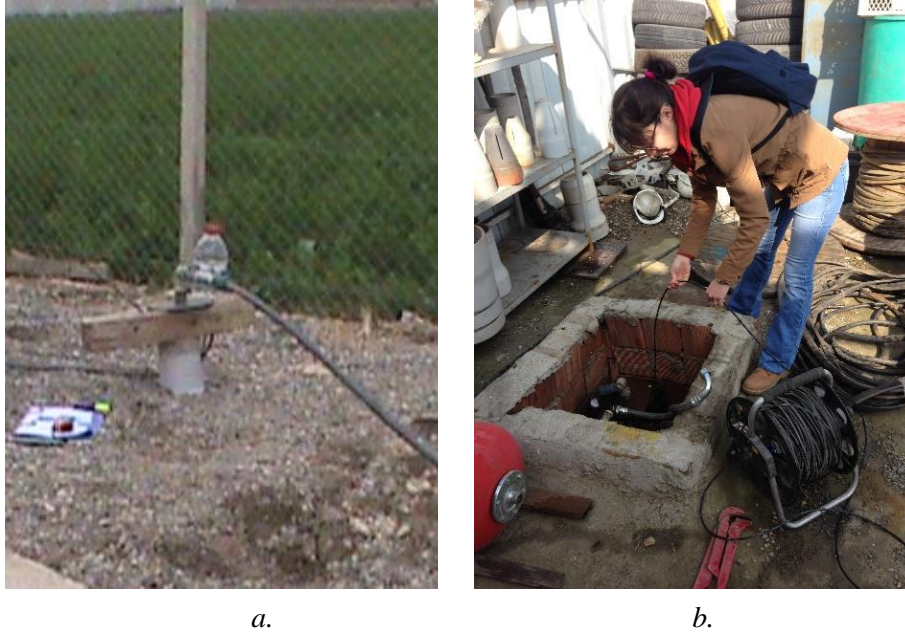
$Q$ =Debi

$s_w$ =Kuyu içindeki düşü

### 3. ARAZİ ÇALIŞMASI

Bu çalışmada Bursa Küçük Sanayi bölgesinde Neojen Mühendislik firması tarafından 27 metre derinliğinde bir kuyu açılmıştır. Kuyunun açıldığı akifer geniş, düzlük bir ovada yer almakta olup doğal sınır koşullarından (nehir, kayalık gibi) uzakta bulunmaktadır. Kuyu delme işlemleri esnasında geçirimsiz sınıra dayanıldığından daha derine inilememiştir. Bu sebeple kuyu akiferi tamamen delmektedir. Bunun yanında kuyu açılması esnasında belirli aralıklarla alınan numune örneklerinden ve bölge jeolojisinden akiferin yaygın, serbest akifer olduğu anlaşılmıştır (Eryılmaz, 2013). Ayrıca çalışmada yapılan testlerin, kuyuya 33 metre mesafede yer alan bir başka kuyuyu etkilemediği görülmüştür. Bu sebeple akiferin yatay düzlemde sonsuz büyüklüğe sahip olduğu varsayılmıştır.

İnkişafı yapılarak temizlenen ve hazır hale getirilen kuyuda 2 Kasım 2012 tarihinde kademeli pompalama testi yapılmıştır. Bu çalışmanın sonuçları Eryılmaz ve Korkmaz (2015) tarafından sunulmuştur. Zaman içinde kuyu performansındaki değişimi gözlemlemek amacıyla aynı kuyuda kademeli pompalama testi 23 Mart 2017 yılında tekrarlanmıştır (Şekil 2).

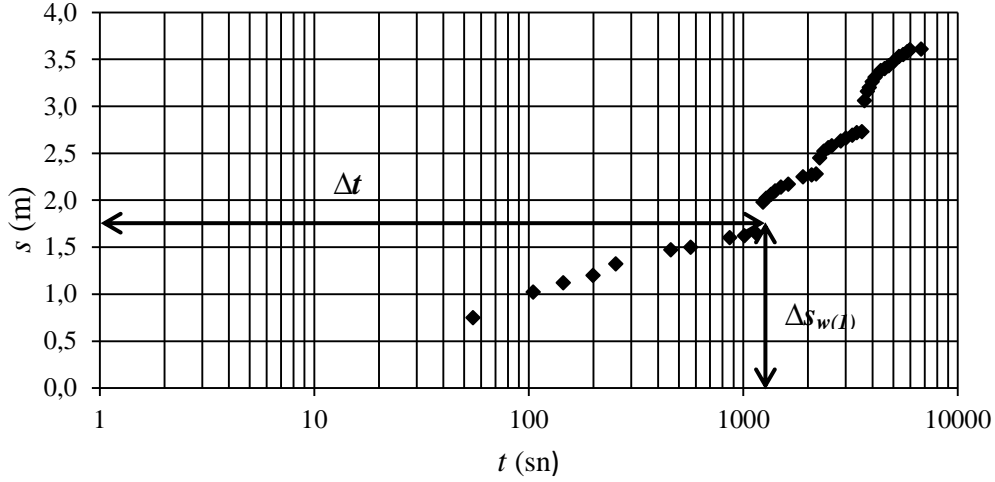


**Şekil 2:**  
*a. 2 Kasım 2012 arazi çalışması b. 23 Mart 2017 arazi çalışması*

#### 3.1. Kademeli Pompalama Test Analizleri

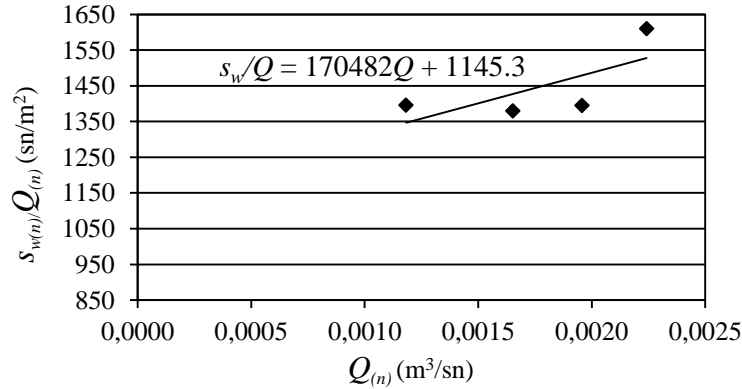
Arazide ilk kez 2 Kasım 2012 tarihinde yapılan kademeli pompalama testi 4 kademe olarak uygulanmıştır. Kuyudaki statik seviye 4,595 metredir. Hantush-Bierschenk metodu kullanılarak yapılan analitik çözüm sonucunda kuyu kaybı katsayısı  $C=100570 \text{ sn}^2/\text{m}^5$ , akifer kaybı katsayısı  $B=885,62 \text{ sn}/\text{m}^2$  olarak bulunmuştur (Eryılmaz ve Korkmaz, 2015). 2 Kasım 2012 tarihindeki teste Rorabaugh metodu uygulandığında ise  $C=18000 \text{ sn}^2/\text{m}^5$ ,  $B=860 \text{ sn}/\text{m}^2$ ,  $P=1,75$  olarak bulunmuştur (Tablo 2).

Daha sonra 23 Mart 2017 tarihinde tekrarlanan kademeli pompalama testi yine 4 kademe olarak gerçekleştirilmiştir. Bu tarihte kuyudaki statik seviye 4,240 metredir. Kademeli pompalama testinde zamana bağlı düşü değerleri ölçülmüştür. Arazide alınan ölçümler Şekil 3'de görüldüğü gibi yarı logaritmik kağıda aktarılmıştır.



**Şekil 3:**  
Kademeli pompalama testi düşü-zaman eğrisi (23 Mart 2017)

Şekil 3'de 4 ayrı kademe belirgin bir şekilde görülmektedir. Bir kademedeki düşü hesaplanırken o kademenin sonundaki toplam düşüden bir önceki kademenin sonundaki düşü değeri çıkartılır. Her bir kademedeki düşü belirlendikten sonra toplam düşü; eşitlik (5) ile hesaplanır. Yapılan hesaplamalar Tablo 1'de sunulmuştur. Aritmetik kağıdın düşey eksenine  $\frac{s_w(n)}{Q_n}$  değerleri, yatay eksenine ise  $Q_n$  değerleri işaretlenmiştir. Bu noktalardan geçen bir doğru çizilmiştir. Bu doğrunun eğimi  $C=170482 \text{ sn}^2/\text{m}^5$ , doğrunun  $\frac{s_w(n)}{Q_n}$  eksenini kestiği nokta ise  $B=1145,3 \text{ sn}/\text{m}^2$  olarak elde edilmiştir (Şekil 4). 23 Mart 2017 tarihindeki teste Rorabaugh metodu uygulandığında  $C=30000 \text{ sn}^2/\text{m}^5$ ,  $B=1000 \text{ sn}/\text{m}^2$ ,  $P=1,66$  olarak bulunmuştur (Tablo 2).



**Şekil 4:**  
Özgül düşü-debi grafiği (23 Mart 2017)

**Tablo 1. Kademeli pompalama testi sonuçları (23 Mart 2017)**

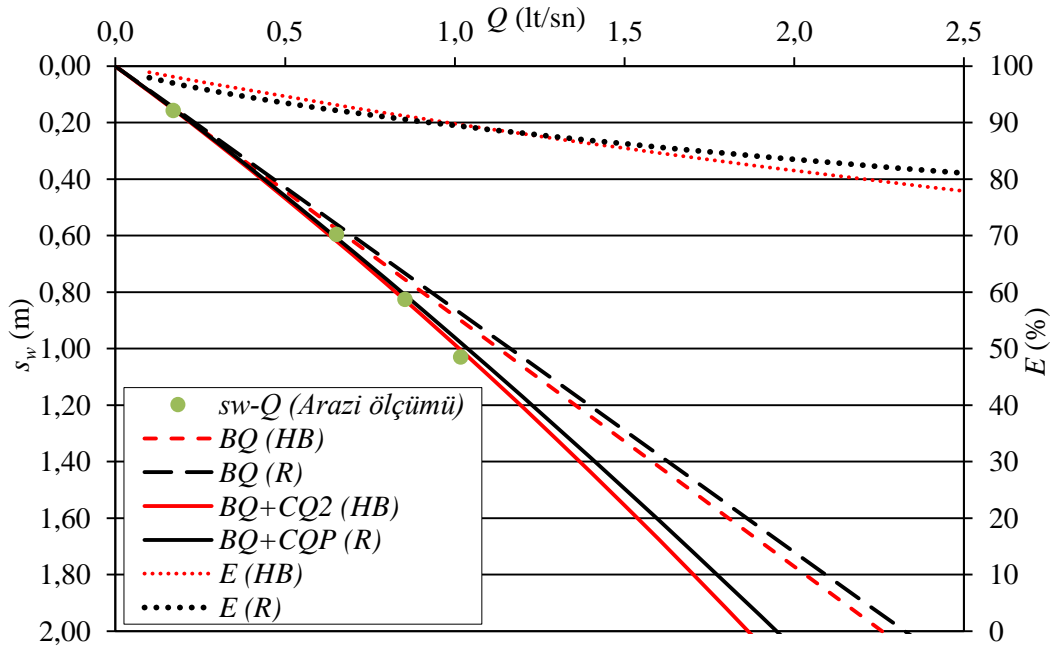
Kademe no	$\Delta s_{w(n)}(\text{m})$	$s_{w(n)}(\text{m})$	$Q_n(\text{m}^3/\text{sn})$	$s_{w(n)}/Q_n(\text{sn}/\text{m}^2)$
1	1,650	1,65	0,0012	1395,90
2	0,630	2,28	0,0017	1379,40
3	0,450	2,73	0,0020	1395,03
4	0,880	3,61	0,0022	1610,06

**Tablo 2. Akifer kaybı ve kuyu kaybı katsayıları**

YILLAR	Hantush-Bierschenk metodu		Rorabaugh metodu		
	$B$ (sn/m <sup>2</sup> )	$C$ (sn <sup>2</sup> /m <sup>5</sup> )	$B$ (sn/m <sup>2</sup> )	$C$ (sn <sup>2</sup> /m <sup>5</sup> )	$P$
2012	885,62	100570	860	18000	1,75
2017	1145,3	170482	1000	30000	1,66

### 3.2. 2012 – 2017 Yılları Arası Kuyu Veriminin ve Özgül Kapasitenin Karşılaştırılması

Şekil 5’de 2 Kasım 2012 tarihindeki kademeli pompalama testi sonucu elde edilen kuyu verim analizi grafiğine yer verilmiştir. Aynı kuyuda 23 Mart 2017 tarihinde yapılan kademeli pompalama testi sonucu elde edilen kuyu verim analizi grafiğine ise Şekil 6’da yer verilmiştir. Şekil 5 ve Şekil 6’da farklı debiler için düşü ve kuyu verimi değerleri yer almaktadır.

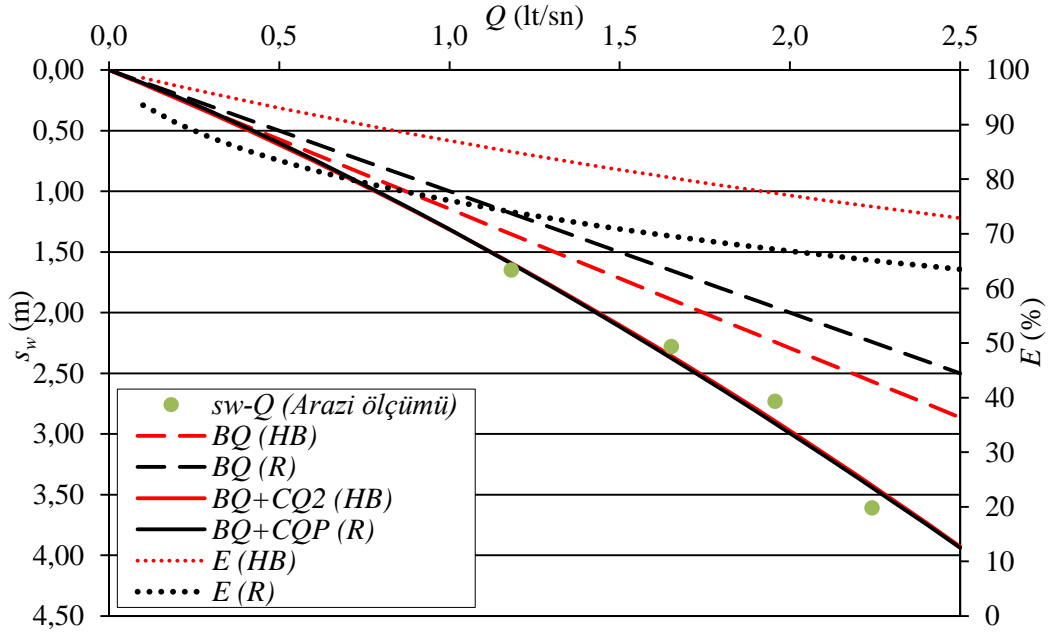


**Şekil 5:**

*Kuyu verimi analizi (2 Kasım 2012) (HB:Hantush-Bierschenk metodu, R:Rorabaugh metodu)*

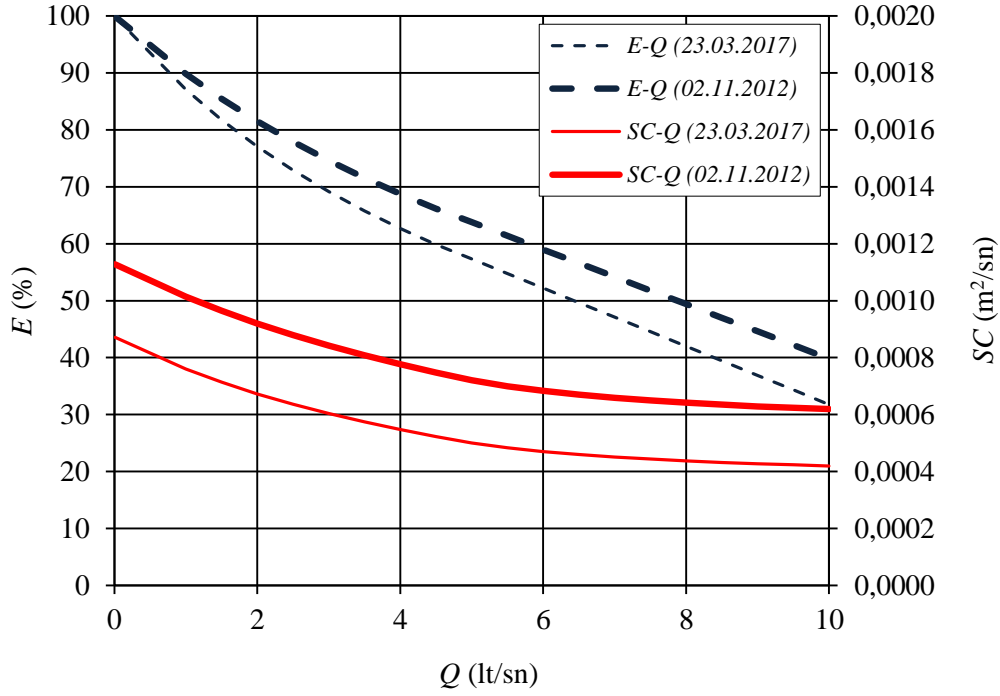
Şekil 5 ve Şekil 6’dan görüldüğü üzere Hantush-Bierschenk, Rorabaugh metotları ile bulunan düşü değerleri ve arazi ölçümlerindeki düşü değerleri oldukça yakın çıkmıştır. *RMSE* (root-mean-square error) değerleri Hantush-Bierschenk ve Rorabaugh metotları için hesaplanmıştır. *RMSE* değeri istatistikte hata olarak değerlendirilir. Bu değerin sifıra yakınlığı, tahmin edilen değerin veya kullanılan metodun daha gerçekçi olduğu anlamına gelmektedir. Hantush-Bierschenk metodu ile hesaplanan *RMSE* değerleri hem 2012 hem de 2017 yılında sifıra daha yakın çıkmıştır (Tablo 3). Bu sebeple Tablo 4’de sadece Hantush-Bierschenk metodu ile bulunan  $B$  ve  $C$  değerleri kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Tablo 4’de örnek olarak  $Q=2,5$  lt/sn’lik bir debi için Hantush-Bierschenk metodu ile yapılan çözüme yer verilmiştir. Buna göre yıllar içerisinde kuyu verimi %77,9’dan %72,9’a düşmüştür. Kuyunun kullanımı sonucu kuyu veriminin yanı sıra özgül kapasitenin de yıllar içerisinde düştüğü görülmüştür (Şekil 7).





**Şekil 6:**

Kuyu verimi analizi (23 Mart 2017)(HB:Hantush-Bierschenk metodu, R:Rorabaugh metodu)



**Şekil 7:**

Debi-kuyu verimi-özgül kapasite ilişkisi (E: Kuyu verimi, SC: Özgül kapasite, Q: Debi)

**Tablo 3. RMSE değerleri**

YILLAR	Hantush-Bierschenk metodu (m)	Rorabaugh metodu (m)
2012	0,017	0,027
2017	0,133	0,136

**Tablo 4.  $Q=2,5$  lt/sn için Kuyu Verimleri ve Özgül Kapasiteler**

Kademeli pompalama test tarihi	Akifer kaybı, $BQ$ (m)	Kuyu kaybı $CQ^2$ (m)	Düşü $s_w$ (m)	Kuyu verimi $E$ (%)	Özgül kapasite $SC$ (m <sup>2</sup> /sn)
2 Kasım 2012	2,214	0,629	2,843	77,9	0,00088
23 Mart 2017	2,863	1,066	3,929	72,9	0,00064

#### 4. SONUÇLAR

Çalışmada Bursa Küçük Sanayi bölgesindeki serbest akiferde 2 Kasım 2012 tarihinde bir adet kademeli pompalama testi yapılmıştır. Kademeli pompalama testi, aynı kuyuda 23 Mart 2017 tarihinde kuyu performansını incelemek amacıyla tekrar edilmiştir. Arazi ölçümleri sonucu elde edilen kademeli pompalama test verileri Hantush-Bierschenk ve Rorabaugh analitik metotlarıyla çözülmüş ve kuyu performans parametreleri bulunmuştur. 2012 yılından 2017 yılına kuyu kullanımına bağlı olarak akifer kaybı katsayısının ( $B$ ) ve kuyu kaybı katsayısının ( $C$ ) arttığı görülmüştür (Tablo 2). 2012 ve 2017 yılları bazında karşılaştırma yapıldığında Hantush-Bierschenk metoduna göre akifer kaybı katsayısının ( $B$ ) 1,29 katına, kuyu kaybı katsayısının ( $C$ ) 1,69 katına, Rorabaugh metoduna göre ise akifer kaybı katsayısının ( $B$ ) 1,16 katına, kuyu kaybı katsayısının ( $C$ ) 1,66 katına çıktığı hesaplanmıştır.

Hantush-Bierschenk ve Rorabaugh metotları ile bulunan ve arazi ölçülen düşü değerleri oldukça yakın çıkmıştır (Şekil 5 ve Şekil 6). Ancak Hantush-Bierschenk metodu ile hesaplanan *RMSE* değerleri hem 2012 hem de 2017 yılında daha düşük çıkmıştır (Tablo 3).

Aynı zamanda bu çalışmada farklı debi değerleri için kuyu verimi ve özgül kapasite hesaplanıp, kıyaslanmıştır. Yıllar içerisinde kuyu veriminin ve özgül kapasitenin düştüğü görülmüştür (Tablo 4, Şekil 7). Yıllar içinde kuyudan aynı debiyi çekerken kuyuda daha fazla düşü oluşmakta ve buna bağlı olarak pompanın basma yüksekliği de zamanla artmaktadır.

Akiferde bir değişiklik olmamasına rağmen yıllar içerisinde kuyu veriminin düşmesi, kuyu kaybı katsayısının artması kuyu gözeneklerinin tıkanıp anlamına gelmektedir. Bu durumda kuyunun yüksek basınçlı havayla temizlenerek inkişaf işleminin yeniden yapılması kuyu gözeneklerin açılmasına ve verimin artmasına imkan sağlayacaktır. Kuyu gözeneklerinin açılması için yapılacak rehabilitasyon çalışmaları pompa ömrünün uzamasını ve kuyu veriminin artmasını sağlayacaktır.

#### TEŞEKKÜR

Arazi çalışmalarında destek olan Neojen Mühendislik (Bursa) firmasına teşekkür ederiz.

#### KAYNAKLAR

1. Avcı C. B., Ciftci E., Sahin A. U. (2010). Identification of Aquifer and Well Parameters from Step-Drawdown Tests. *Hydrogeology Journal*. 18: 1591 – 1601. Doi: 10.1007/s10040-010-0620-2

2. Avcı C. B., Sahin A. U., Ciftci E. (2013). A New Method for Aquifer System Identification and Parameter Estimation. *Hydrological Processes*, 27, 2485–2497. Doi: 10.1002/hyp.9352
3. Bear J. (1979) *Hydraulics of Groundwater*, McGraw-Hill, New York, 569p.
4. Bierschenk, W. H. (1963) Determining Well Efficiency by Multiple Step-Drawdown Tests. *International Association of Scientific Hydrology*, 64:493-507.
5. Eden, R. N., Hazel C. P. (1973) Computer and Graphical Analysis of Variable Discharge Pumping Tests of Wells. *Civil Engineering Trans., Inst. Engrs., Australia*. pp. 5-10.
6. Eryılmaz, G. (2013). Kuyu Testlerine Dayalı Analitik ve Sayısal Yöntemlerle Akifer Hidrolik İletkenliğinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa.
7. Hantush, M.S. (1964) *Hydraulics of Wells*, in: *Advances in Hydroscience*, V.T. Chow (editor), *Academic Press*, New York, pp. 281-442.
8. Huang, Y. C., Yeh H. D. (2007) The Use of Sensitivity Analysis in On-Line Aquifer Parameter Estimation, *J. Hydrol.*, 335, 406–418. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2006.12.007
9. Jacob, C.E. (1947) Drawdown Test to Determine Effective Radius of Artesian Well. *Transactions ASCE*. V.112, pp. 1047-1070.
10. Jacob, C.E. (1950) *Flow of Groundwater*. In: Rouse H, editor. *Engineering hydraulics*. New York: Wiley: 321–86.
11. Kresic N. (2007) *Hydrogeology and Groundwater Modeling*. Second Edition. CRC Press, Taylor&Francis Group, 807pp.
12. Kruseman, G.P., de Ridder N.A. (1990) *Analysis and Evaluation of Pumping Test Data*. (2nd ed.), Publication 47, Intern. Inst. for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands, 370pp.
13. Lennox, D.H. (1966) Analysis and Application of Step-Drawdown Tests. *Journal of Hydraulics Div., ASCE*. Hy. 6, pp.25-47.
14. Maréchal J.C., Ladouche B., Dörfliger N., Lachassagne P. (2008) Interpretation of Pumping Tests in a Mixed Flow Karst System. *Water Resources Research*. Vol: 44, W05401. Doi:10.1029/2007WR006288.
15. MWDOC (2012) *Aquifer Pumping Test Analysis and Evaluation of Specific Capacity and Well Efficiency Relationships SL-1 Slant Well Doheny Beach, Dana Point, California*, Technical Memorandum, Municipal Water District of Orange County.
16. Polak, K., Klich J., Kaznowska K. (2011) The Method of Wells' Efficiency Estimation. *Mine Water-Managing the Challenges*, pp. 153-157.
17. Rafini S., Chesnaux R., Ferroud A. (2017) A Numerical Investigation of Pumping-Test Responses from Contiguous Aquifers. *Hydrogeology Journal*. Vol: 25, Issue 3, pp 877–894. doi: 10.1007/s10040-017-1560-x
18. Rorabaugh, M.I. (1953) Graphical and Theoretical Analysis of Step-Drawdown Test of Artesian Wells. *Proc. Am. Soc. Civ. Eng. Hyd. Div.* v.19, no 1,pp. 362.1-362.23.
19. Sheahan, N.T. (1971) Type-Curve Solution of Step-Drawdown Test. *Ground Water*. v. 9, pp.25-29. Doi: 10.1111/j.1745-6584.1971.tb03528.x
20. Türkkan Eryılmaz, G., Korkmaz S. (2015) Kuyu ve Akifer Testlerine Uygulanan Analitik ve Sayısal Yöntemlerle Hidrolik İletkenliğin Belirlenmesi. *Teknik Dergi*, Cilt 26 Sayı 1. Pp 6969-6991.

Eryılmaz Türkan G., Korkmaz S.: Kademeli Pompalama Testleri ile Kuyu Performansının Zaman İçinde Değişiminin İncelenmesi

21. Zhang M., Tong L. (2018) Characterization of Barrier Effect of Underground Wall in Pumping Tests. 2<sup>nd</sup> International Symposium on Asia Urban GeoEngineering. Pp 155-163. Doi: 10.1007/978-981-10-6632-0\_12
22. Zhanga Y., Lia M.,Wanga J. ,Chena J., Zhub Y.(2017) Field Tests of Pumping-Recharge Technology for Deep Confined Aquifers and Its Application to A Seep Excavation. Engineering Geology. Vol.: 228, Pp 249-259. Doi: 10.1016/j.enggeo.2017.08.019