



Yerbilimleri, 2021, 42 (1), 144-178, DOI: 10.17924/yerbilimleri.899989  
Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni  
Bulletin of the Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University

## Eklenik Sapma Yaklaşımı ile Türetilen Yağış-Seviye İlişkisinden Yeraltısuyu Beslenimi Tahmin Modeli: Gazipaşa (Antalya) Ovası Akiferi Örneği

*Groundwater Recharge Estimation Model from Rainfall-Groundwater Level Relationship Derived by Cumulative Departure Model: Case of Gazipaşa (Antalya) Plain Aquifer*

MEHMET EKMEKÇİ<sup>1,2\*</sup>, ŞÜKRAN AÇIKEL<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Hacettepe Üniv., Jeol. Müh. Böl., Hidrojeoloji Prog., 06800, Beytepe, ANKARA

<sup>2</sup>Hacettepe Üniv., Uluslararası Karst Su Kayn. Uyg. ve Araş. Merkezi., 06800, Beytepe, ANKARA

Geliş (received): 22 Mart (March) 2021 Kabul (accepted): 21 Nisan (April) 2021

### Öz

Yeraltısuyu beslenimi, su kaynakları potansiyelinin hesaplanmasında ihtiyaç duyulan temel parametrelerden biridir. Yeraltısuyu beslenme miktarının tahmin edilmesinde çeşitli yöntemler uygulanmakla birlikte, süzülme ve vadoz zon hidrolojisinin karmaşıklığı nedeniyle her yöntemin olumlu ve olumsuz yönleri bulunmaktadır. Karmaşık teoriye dayanmayan, temsil ediciliği düşük ve elde edilmesi zor parametreler gerektirmeyen, sonuçları görece yüksek güvenilirliğe sahip, kolay uygulanabilir bir yöntem arayışı halen sürmektedir. Yeraltısuyu seviyesinde meydana gelen yükselimin yağıştan süzülen suyun doymun zona ulaşması sonucu olduğu varsayımıyla, yağışların eklenik etkilerinden yola çıkılarak beslenme miktarının tahmin edilmesi yaklaşımı, görece az sayıda veri gerektirmekte ve kolay uygulanabilirken, aynı zamanda belirli bir düzeyde güvenilir sonuçlar vermektedir. Bu çalışmada, ortalamadan eklenik sapma yaklaşımının kuramsal temelleri açıklanmış, yöntem Antalya-Gazipaşa Ovası akiferine uygulanmıştır.

<https://doi.org/10.17824/yerbilimleri.899989>



M. EKMEKÇİ, [ekmekci@hacettepe.edu.tr](mailto:ekmekci@hacettepe.edu.tr)

<sup>1</sup>Hacettepe Üniv., Jeol. Müh. Böl., Hidrojeoloji Prog., 06800, Beytepe, ANKARA ORCID 0000-0002-6729-7457

<sup>2</sup>Hacettepe Üniv., Jeol. Müh. Böl., Hidrojeoloji Prog., 06800, Beytepe, ANKARA ORCID 0000-0001-9534-4380

Yapılan analizler sonucunda, gözlenen yeraltısuyu seviyelerinin yüksek determinasyon katsayılarıyla türetilmesi mümkün olmuştur. Ayrıca yöntemle, yeraltısuyu seviye değişimine neden olan, akarsu yatağından sızma ve pompaj gibi dış etkileri analiz etmek mümkün olmuş, ova akiferinin açık bir sistem yapısında olduğu ortaya konmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Beslenme, eklenik sapma, Gazipaşa ovası, yağış, yeraltısuyu.

### **Abstract**

*Groundwater recharge is one of the basic parameters required in water resources potential calculations. There are several methods applied to estimate groundwater recharge, however, every method has its own advantages and disadvantages, due to the fact that the theory of infiltration and the vadose zone hydrology is highly complex. Search for a method based on less complex theory, which requires readily available and representative parameters, and gives reliable results is still of interest. Groundwater recharge estimation based on the assumption that the groundwater level in the saturated zone rises as a result of the cumulative rainfall may well meet these expectations. It requires less data, easy to calculate and gives relatively reliable results. In this paper, following an explanation of the theoretical basis, the method is applied to Antalya-Gazipaşa plain aquifer. The analyses have revealed that the method can produce the deviations in observed groundwater based on the cumulative rainfall departure, with high coefficients of determination. The method was also used to analyse the external effects, such as percolation from river beds and groundwater pumping, on the deviations of groundwater levels from the average, which suggests that the plain aquifer constitutes an open system.*

**Keywords:** Recharge, cumulative departure, Gazipaşa Plain, rainfall, groundwater.

### **GİRİŞ**

Yeraltısuyu besleniminin sağlıklı bir şekilde belirlenmesi, hidrojeoloji mühendisliğinin en sorunlu alanlarından birini oluşturmaktadır. Bu nedenle, hidrojeoloji literatüründe yeraltısuyu beslenimine ilişkin çok farklı yaklaşım, teknik ve yöntemle karşılaşılmaktadır (Simmers, 1988; Sharma, 1989; Lerner vd., 1990; Gieske, 1992; Breckenkamp vd., 1995; Kinzelbach vd., 2002; Beekman ve Xu, 2003; Şen, 2019).

Her yaklaşımın kendine özgü olumlu ve olumsuz yönleri bulunmakta, farklı yeraltısuyu sistemlerinde beslenme miktarını aynı düzeyde doğrulukla veren, görece kolay uygulanabilir genel bir yaklaşım veya yöntem bulunmamaktadır. Yağıştan süzülerek doymun zona ulaşan su miktarı olarak tanımlanabilecek olan “beslenme”, doğal olarak akiferdeki yeraltısuyu seviyesinde yükselime neden olur.

Doğal koşullar altında yeraltısuyu seviyesindeki değişimler akiferin doğal beslenimi ve boşalımı ile ilgilidir. Akiferi oluşturan malzemenin depolama katsayısı (serbest akiferler için özgül verim) bilindiğinde belirli bir zaman aralığı için akifere yağıştan gelen beslenme miktarı, söz konusu zaman aralığında yeraltısuyu seviyesinde meydana gelen değişim kullanılarak hesaplanabilir (Freeze ve Cherry, 1979; Bear, 1979, Todd, 1980). Bu kapsamda, “akiferin birim yüzey alanında, piyezometrik seviyede birim değişime neden olan su hacmi” olarak ifade edilen depolama katsayısı tanımının matematiksel eşitliklerinden yararlanılabilir. Doğal koşullarda, bir akiferde belirli bir  $\Delta t$  süresinde meydana gelen yeraltısuyu seviye değişiminden beslenme miktarı aşağıda verilen eşitliklerden belirlenebilir.

$$\Delta h = \frac{\Delta V}{A.S_y} \quad (1)$$

Burada,

$\Delta h$ : yeraltısuyu seviyesindeki değişim, (L)

$\Delta V$ : akiferde doymun zona ulaşan yağış miktarı, ( $L^3$ )

A: akiferin alanı, ( $L^2$ )

$S_y$ : özgül verim, (-)

Yağışın belirli bir  $\Delta t$  süresinde doymun zona ulaşan kısmı beslenme ( $Re=\Delta V$ ) olarak tanımlandığına göre, bu miktar eşitlik (1)'in aşağıdaki şekilde düzenlenmesini gerektirir.  $\Delta t$  süresi günlük, aylık, yıllık veya daha uzun olabilir. Beslenme, bu nedenle L/T boyutunda ve genellikle mm/ay veya mm/yıl biriminde ifade edilir.

$$Re = \Delta h. A. S_y \quad (2)$$

Bu yaklaşım görece kolay uygulanabilir görünse de, uygulamada önemli belirsizliklere neden olan güçlüklerle karşılaşılır. Akiferi temsil eden bir depolama

katsayısı/özgül verim değerinin elde edilmesi ile yeraltısuyu seviyesindeki değişime neden olan yağışların belirlenmesi karşılaşılan başlıca güçlüklerdir.

Belirli bir zaman aralığında meydana gelen seviye değişimi ile bu zaman aralığında akiferin beslenme alanına düşen yağış miktarı arasında genellikle doğrudan bir korelasyon söz konusu olmamaktadır. Akiferin beslenme alanına düşen yağışın doygun zona ulaşması belirli bir süre aldığından, yağışın yeraltısuyu seviyesine etkisi belirli bir gecikmeyle gerçekleşir. Öte yandan, bu gecikmeli etki nedeniyle ard arda meydana gelen yağışların eklenik etkilerinin sözkonusu olacağı açıktır. Örneğin, yeraltısuyu seviyesindeki değişimlerin ortalama yağıştan eklenik sapma ile ilişkilendirilmesi çalışmaları 1930'lu yıllara kadar gitmektedir. Wenzel (1936) ortalama yağıştan eklenik sapma ile yeraltısuyu seviyeleri arasında ilişki kurmaya çalışmış, Jacob (1944) ise geçmiş dönemlerdeki yağışların etkisini dikkate almaya yönelik olarak hareketli ortalama yaklaşımını uygulamıştır.

Türkiye'de Korkmaz (1978), boşalım kotuna göre seviye değişimleri ile yıllık yağışlar ve ortalama yağıştan eklenik sapma ile korelasyon analizleri gerçekleştirmiş, akiferlerin yıllık yağışların etkisi altında olanlar ile eklenik yağışların etkisi altında olanlar şeklinde sınıflanabileceğini ileri sürmüştür. Yağışlarla seviyeler arasındaki ilişkileri, yağışlı aylar ile kurak aylar için farklı regresyon eşitlikleri ile tanımlayabilmiştir. Bununla birlikte, yeraltısuyu seviyelerini yağışlardan itibaren yeniden türetebilecek bir ilişki ortaya koymamıştır.

Dolayısıyla, Korkmaz (1978)'de tanımlanan yöntemin sağlıklı bir sonuç verebilmesi, akifer malzemesinin özgül veriminin değeri ile birlikte yeraltısuyu seviyesini etkileyen yağışların doygun zona ulaşma süresi (gecikme) ve eklenik etki yaratan geçmiş yağış dönemi bilgilerini gerektirir. Akiferi besleyen yağışlar ile aynı dönemi kapsayan ve aynı zaman ölçeğinde elde edilmiş yeraltısuyu seviyelerine ait zaman serilerinin karşılaştırılarak incelenmesiyle bu kritik bilgiler belirli ölçüde elde edilebilir. Doğal ortamlarda akiferler kapalı sistemlerden çok, yüzey sularıyla etkileşim içinde olan açık sistemler oluştururlar. Bu nedenle yağış-seviye ilişkilerinde, yeraltısuyu seviyesinin değişiminde etkili olabilecek doğal yapılara (akarsu, kaynak vb.) yakınlık veya pompaj ve benzeri sistemlerle insanlar tarafından yeraltısuyu çekimi yapılan üretim kuyularının etki alanı içinde bulunma koşullarının dikkate alınması gerekir.

Bu çalışmada, yeraltısuyu besleniminin eşitlik (2) yardımıyla hesaplanabilmesi temelinde yer alan yağış-seviye ilişkilerinin belirlenmesine yönelik eklenik sapma

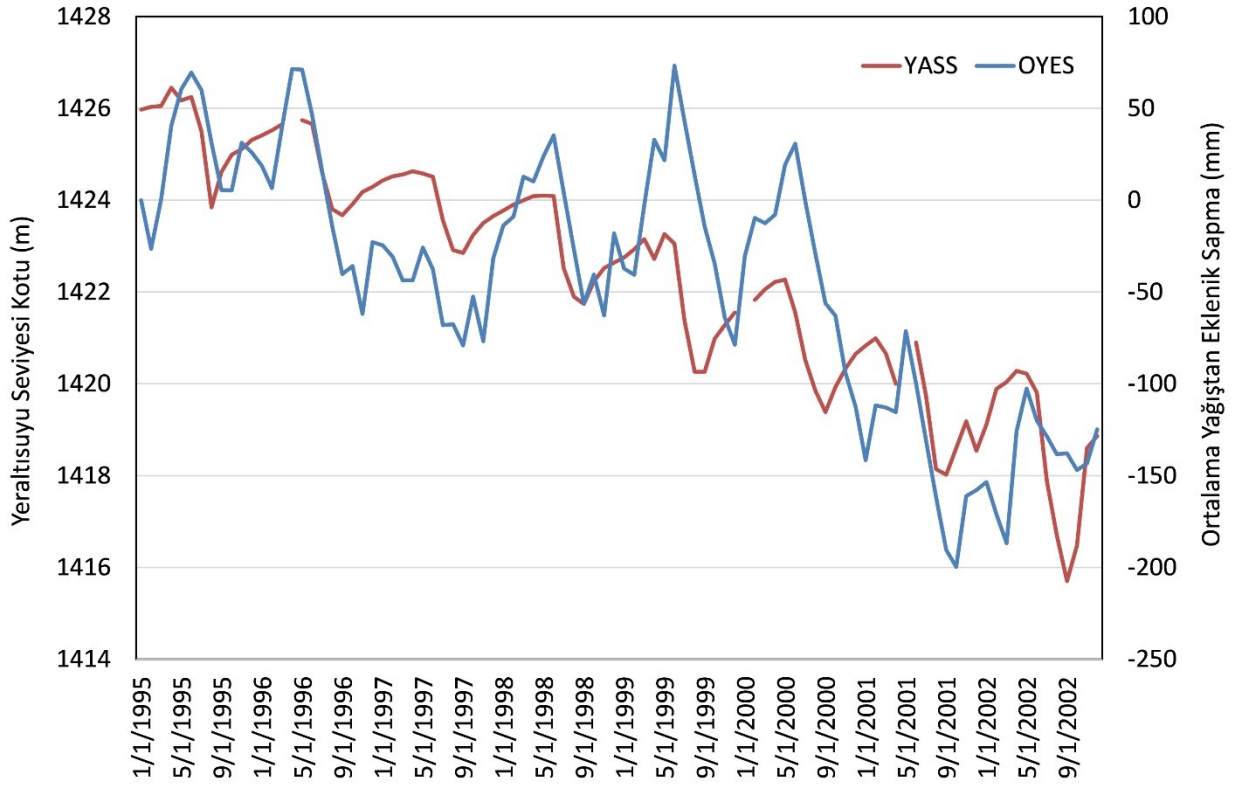
yöntemi Botha ve Bredenkamp, 1993; Bredenkamp vd., 1995; Xu ve Van Tonder, 2001; Sun vd., 2013 tarafından yapılan çalışmalardan yararlanılarak tanımlanmış ve yöntem Antalya Gazipaşa Ovası alüvyon akiferine uygulanmıştır. Gazipaşa Ovası akiferinin serbest akifer olması, ovada alanı temsil edebilen yağış istasyonu bulunması, ovada yeraltısuyu kullanımının sınırlı olması ve hidrojeolojik konumları farklı iki gözlem kuyusuna ait verilerin varlığı, bu akiferin uygulama alanı olarak seçilmesinin temel nedenlerinin başında gelmektedir.

### **Yöntemin Kuramsal Temelleri**

Yeraltısuyu çekiminin olmadığı doğal koşullarda bir akiferde beslenme ile boşalım arasında bir dinamik dengeye ulaşıldığı kabul edilir. Bu kabule dayanarak yeraltısuyu seviyesinde değişimin beslenimi ve boşalımı denetleyen bileşenlere bağlanabileceği ileri sürülebilir ve ortalama yağıştan eklenik sapma yaklaşımında “denge koşullarında akiferin ortalama beslenimi akiferden oluşan ortalama kayıplar kadardır” şeklinde ifade edilebilir. Bu yaklaşımı temel alan Jacob (1944), uzun yıllar ortalamasından sapma yerine yağışın hareketli ortalamasından sapmayı kullanmıştır. Bu şekilde, herhangi bir “t” anındaki beslenme üzerinde uzak geçmişte oluşan yağışlarının etkileri ilerleyen zaman içinde gittikçe azaltılmış, aynı zamanda “t” anından sonraki yağışların da etkisinin herhangi bir “t” anındaki beslenmeye olan etkisi de ortadan kalkmış olmaktadır. Bu şekilde, yağış serisinin beslenmeye olan etkileri daha gerçekçi bir şekilde yansıtılmıştır.

Pompaj etkisinin bulunmadığı işletme öncesi koşullarda, yeraltısuyu seviyesindeki dalgalanmalar ile ortalama yağıştan eklenik sapma (OYES) arasında genellikle görsel bir uyum gözlenebilmektedir. Yeraltısuyu işletmelerinin bulunduğu ancak pompaj etkisinin sınırlı olduğu akiferlerde de OYES ile yeraltısuyu seviyesi (YASS) arasında belirgin bir uyum gözlenebilmektedir. Bu ilişkiye örnek olarak Niğde Misli Ovası akiferinde bulunan 34798 nolu DSİ gözlem kuyusunda kaydedilen yeraltısuyu seviyeleri Şekil 1’de verilmiştir.

Botha ve Bredenkamp (1993); Bredenkamp vd., (1995); Xu Y. ve Van Tonder (2001) ve Sun vd., (2013), OYES yöntemini, pompaj etkisinin de dikkate alındığı durumlara uyarlayarak Güney Afrika’daki yarı kurak-kurak bölgelerde yer alan serbest akiferler için başarılı bir şekilde uygulamışlardır.



Şekil 1. Yeraltısuyu seviyeleri değişimi (YASS) ile Ortalama Yağıştan Eklenik Sapma (OYES) arasındaki görsel uyuma bir örnek: Niğde Misli Ovası Akiferi 34798 nolu gözlem kuyusu.

*Figure 1. An example for the visual correlation between the deviations in groundwater levels (YASS) and the cumulative rainfall departure (OYES): well no 34798 in Niğde Misli Plain Aquifer.*

Yeraltısuyu seviyesindeki dalgalanmaların, doğal kararlı koşullarda yağıştan beslenmeyle bağlantılı olması gerektiğini varsayan Botha ve Bredenkamp (1993), OYES ile beslenme arasındaki ilişkiyi aşağıdaki yaklaşım çerçevesinde kurmuş, Lichtenburg akiferinde uygulamış ve OYES ile YASS değişimi arasındaki fonksiyonel ilişkiden yola çıkılarak doymun zondaki hacim değişimine, buradan da beslenme miktarına ulaşılabildiğini göstermişlerdir.

Bredenkamp vd., (1995)'e göre, herhangi bir t anındaki yeraltısuyu seviyesi (h) ve t anındaki ortalama yağıştan eklenik sapma (OYES) arasındaki fonksiyonel ilişki, eşitlik (3), eşitlik (4) ve eşitlik (5) ile;

$$h=f(OYES) \quad (3)$$

doymun zondaki hacimsel değişim (V) cinsinden

$$V=f(OYES) \quad (4)$$

ve bir regresyon eşitliği olarak

$$V=c.OYES+d \quad (5)$$

şeklinde yazılabilir. Bir doğru denklemini temsil eden regresyon eşitliğinde c, doğrunun eğimi (orantı katsayısı) ve d, doğrunun apsisi kestiği nokta, diğer bir ifadeyle doğrusal regresyon sabitidir.

Herhangi bir t anındaki OYES ise tanımı gereği,

$$t=1 \text{ için } OYES_1 = OYES_0 + P_1 - P_{ort}$$

$$t=2 \text{ için } OYES_2 = OYES_1 + P_2 - P_{ort} = P_1 + P_2 - 2P_{ort} + OYES_0$$

$$t=3 \text{ için } OYES_3 = OYES_2 + P_3 - P_{ort} = P_1 + P_2 + P_3 - 3P_{ort} + OYES_0$$

genelleştirilirse eşitlik (6)

$$OYES_i = \sum_{j=1}^{j=i} P_j - i.P_m + OYES_0 \quad (6)$$

şeklinde elde edilir.

Burada,

$P_j = j$  dönemi yağışı

Port= ortalama yağış, ve

ortalama koşullar için  $k= 1$  olmak üzere  $P_m = k.Port$  olarak tanımlanmıştır.

Bu eşitlikte, j beslenme dönemi (kısa hafıza dönemi, m, bu çalışmada m=3 ay); i, veri serisi uzunluğu (uzun hafıza dönemi, n, bu çalışmada n=26 ay),  $P_m$  ise doğal koşullar dışında yeraltısuyu seviyesinde değişime neden olabilecek etkileri (pompaj, akarsudan sızma veya suni beslenme gibi) yansıtan parametreyi temsil etmektedir.

Eşitlikte yeralan k, doğal koşullar ile akiferden pompajla su çekilmesi durumundaki koşulları yansıtan bir katsayı olup, sayısal değerinin hesaplanmasında kullanılan eşitlik aşağıda (eşitlik 9) açıklanmıştır.

Jacob (1944) hareketli ortalamayı kullanarak yeraltısuyu seviyesinde yağışların etkili oldukları dönemleri belirlemeye çalışmıştır. Bredenkamp vd. (1995) ise Jacob (1944)'ten farklı olarak etkili dönemleri "kısa dönem hafıza" ve "uzun dönem hafıza" şeklinde tanımlamışlardır. Kısa dönem hafıza beslenme dönemini, uzun dönem hafıza ise seçilen zaman dilimine göre uzun yıllar/aylar ortalamasını temsil etmektedir. Bu yaklaşımla, OYES aşağıdaki şekilde tanımlanabilir;

$$\frac{m}{n}OYES_i = \frac{1}{m} \sum_{j=i-(m-1)}^{j=i} P_j - k \cdot \frac{1}{n} \sum_{j=i-(n-1)}^{j=i} P_j + OYES_{i-1} \quad (7)$$

Burada,

m: kısa dönem hafıza (beslenmenin gerçekleştiği dönem)

n: uzun dönem hafıza (analizde kullanılan yağış verilerinin oluşturduğu zaman serisi) olarak tanımlanmaktadır.

Kısa dönem hafıza, geriye doğru gidilirse beslenmenin en son hangi yağışlardan etkilenmiş olabileceği ile ilgilidir. Birimi, analizin yapıldığı zaman ölçeğine bağlı olarak yıl, ay, gün olabilir. Örneğin, Mart ayında beslenmeden dolayı yeraltısuyu seviyesindeki değişime neden olan süzülme miktarı (beslenme miktarı) sadece Mart ayı yağışlarından oluşuyorsa bu hafıza “1 ay”, Şubat ve Mart yağışlarından kaynaklıysa beslenmede etkili yağışın 2 ay geriye gideceği anlamı taşır ve bu da kısa dönem hafıza “2 ay”, Ocak, Şubat ve Mart ayı yağışlarından etkileniyorsa, bu durumda kısa hafıza 3 ay olur ki bu da beslenmenin 3 aylık dönemlerde düşen yağışların etkisi altında olduğunu ifade eder. Kısa hafıza, diğer bir ifadeyle beslenme dönemi uzunluğu arttıkça, akiferin daha çok eklenik yağışların etkisi altında olduğu anlaşılır.

Öte yandan, akiferin yapısı, düşey hidrolik iletkenlik katsayısı ve yeraltısuyu seviyesinin derinliğine bağlı olarak yağışlardan süzülen suların doygun zona belirli bir gecikmeyle ulaşabildiği bilinmektedir. Yeraltısuyu seviyesinin yağışlara gecikmeli tepkisi, bu eşitliklerde “i” ile “j” indisleri değerleri ile ayarlanabilmektedir. Yağışların ortalamadan sapması ile yeraltısuyu seviye değişimleri arasındaki korelasyonun en yüksek değerinin elde edilebilmesi için hesaplamaların farklı gecikme süreleri (L) için yinelenmeleri gerekmektedir.

Doygun zonda hacimsel değişim ile ortalama yağıştan eklenik sapma arasındaki ilişkiyi veren eşitlik (5)’te OYES yerine eşitlik (7) yazılarak, eşitlik (8) elde edilir:

$$V_i = c \left[ \frac{1}{m} \sum_{j=i-(m-1)}^{j=i} P_j - k \cdot \frac{1}{n} \sum_{j=i-(n-1)}^{j=i} P_j + OYES_{i-1} \right] + \text{sabit} \quad (d) \quad (8)$$

Doğal kayıpların sabit olduğu varsayımı geçerli olmak üzere, bir örneği Şekil 1’de görüldüğü gibi, pompaj yapıldığında da yeraltısuyu seviyesindeki değişimler OYES ile uyumludur. Eşitlik (6)’da bir terim olarak bulunan  $P_m$ , pompaj etkisinin olduğu durumlarda  $k > 1$  olacağından  $P_{ort}$ ’a eşit olmayacaktır (Bredenkamp vd, 1995). Pompaj durumunda k parametresi eşitlik (9) ile



$$k = 1 + \frac{Q}{A.P_{ort}} \text{ olarak hesaplanabilir.} \quad (9)$$

Burada, A: akifer alanı olarak tanımlanmıştır. Buna göre pompajın olmadığı durumda  $Q=0$  ve  $k=1$  olur.

Öte yandan, su denklığı eşitliği,  $S.dV=(I-O)+R-Q$  şeklinde yazılabilir.

Burada,

S: depolama katsayısı,  $dV$ : hacimsel değişim, R: beslenme, I: giren su hacmi, O: çıkan su hacmi ve Q: pompajla alınan su hacmidir.

Su denklığı hacimsel değişim cinsinden yazılırsa,

$dV_i = \frac{R}{S} + \frac{(I-O-Q)}{S}$  ve beslenme ile yağış arasında doğrusal bir ilişki ( $R=c.P$ ) olduğu varsayımıyla eşitlik (10);

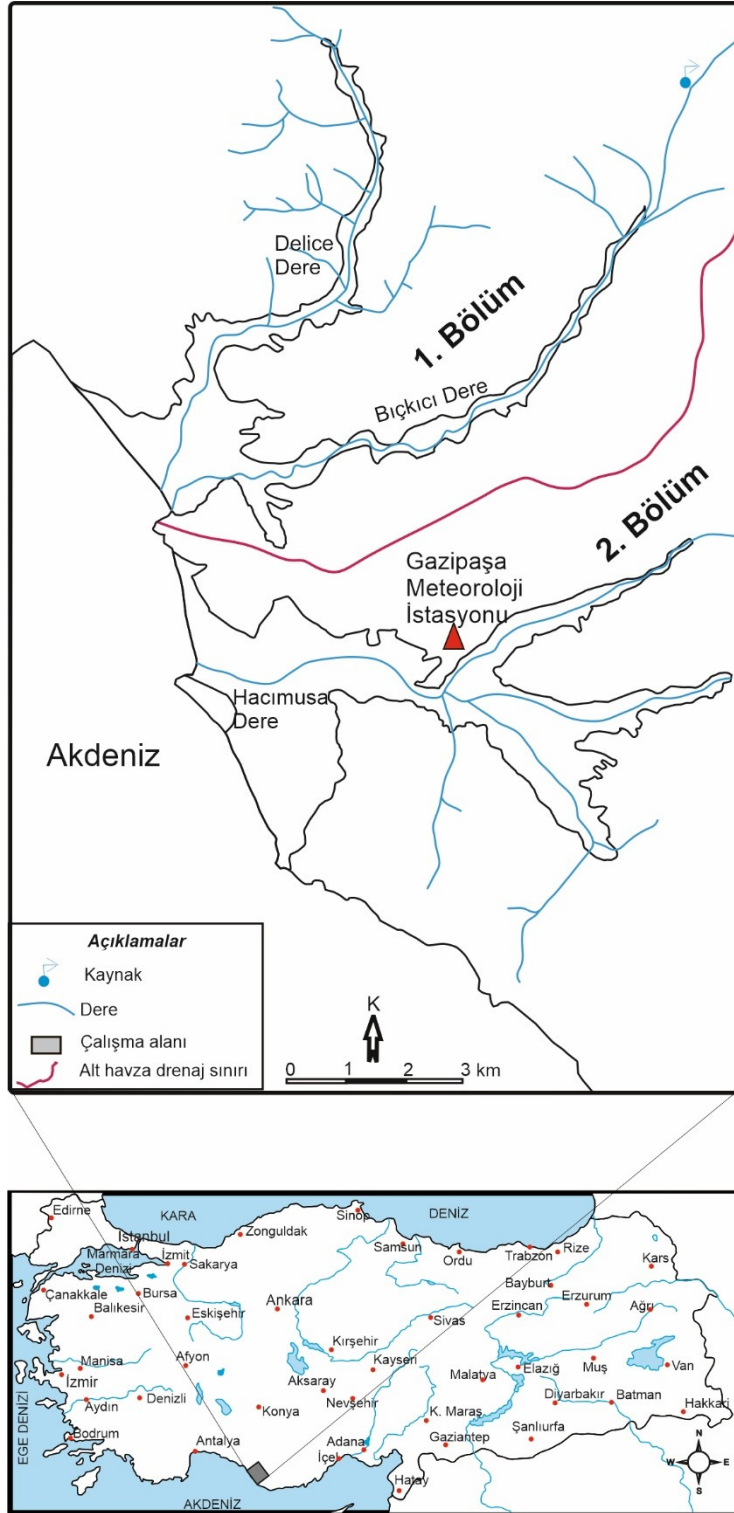
$$dV_i = \frac{c}{S}P_i + b_2 = b_1P_i + b_2 \text{ yazılabilir.} \quad (10)$$

Burada,  $b_1 = \frac{c}{S}$  ve  $b_2 = \frac{1}{S}(I - O - Q)$  olarak tanımlanmıştır.

Dikkat edilirse, eşitlik (10) ile eşitlik (8) benzeşmektedir. Eşitlik (8)'deki  $c, \frac{c}{S}$ ye karşılık gelir. Bu durumda, beslenme, R veya depolama katsayısı S, OYES ile V arasında kurulacak korelasyonla elde edilebilir. Diğer bir ifadeyle, eğer depolama katsayısı (S) bilirse, beslenme, R hesaplanabilir, veya gözlenen yeraltısuyu seviyelerinin türetilmesi için S ve R optimize edilerek en uygun değerleri tahmin edilebilir.

## Örnek Uygulama

Yukarıda kuramsal temelleri açıklanan “ortalama yağıştan eklenik sapma ile yeraltısuyu seviyelerinin türetilerek beslenme miktarının hesaplanması yöntemine” örnek uygulama için Antalya-Gazipaşa Ovası seçilmiştir. Adını Antalya iline bağlı Gazipaşa ilçesinden alan ova, kıyı alüvyonlarından oluşan bir düzlüğü kapsamaktadır (Şekil 2). Ova, topoğrafik olarak iki düzlükten meydana gelmiştir. Yer yer killi-siltli birimlerin görüldüğü ova alüvyonları genellikle kum ve çakıl gibi iri malzemelerden oluşmaktadır.



Şekil 2. Çalışma alanına ait yer bulduru haritası (DSİ, 1973'ten değiştirilerek alınmıştır).

Figure 2. Location map of the study area (modified from DSİ, 1973).

Gazipaşa Ovası akiferi hidrojeolojisi ile ilgili çeşitli çalışmalar literatürde bulunmaktadır (DSİ, 1964; DSİ, 1973; Keleş, 1996; Bozan, 2018). Bu çalışmada, Gazipaşa Ovası akiferinde Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nün (DSİ) 3926 ve 6512 numaralı gözlem kuyularınının 1970-1971 yıllarına ait yeraltısuyu seviye verileri

kullanılmıştır. Korkmaz (1978), 3926 ve 6512 numaralı kuyuların 1970-1971 su yıllarına ait yeraltısuyu seviyelerinden elde ettiği çekilme analizlerinden yararlanarak beslenme hesabı yapmıştır. Bu çalışmada, Korkmaz (1978) tarafından kullanılan kuyuların aynı döneme ait yeraltısuyu seviyeleri analiz edilmiş, bu şekilde iki farklı yaklaşım karşılaştırılabilmiştir. Korkmaz (1978), çalışmasında yağışları dikkate almamış, çekilme döneminde boşalım kotuna göre seviye değişimlerini analiz etmiştir.

Zamansal ölçek olarak aylık ölçümlerin seçildiği çalışmada, yeraltısuyu seviye gözlemlerinin yapıldığı döneme ait yağışlar, Gazipaşa Meteoroloji İstasyonu (GMİ) kayıtlarından alınmıştır.

### **Gazipaşa Ovası Akiferi ve Gözlem Kuyuları**

Gazipaşa Ovasını oluşturan düzlükler Kuvaterner yaşlı alüvyonlarla kaplıdır. Temelde Paleozoyik yaşlı şistler ve bunların üzerine gelen kireçtaşları yer alır. Ova akiferi, alanları sırasıyla 12 km<sup>2</sup> ve 10 km<sup>2</sup> olmak üzere iki bölümden oluşmakta, alüvyon akifer kalınlığı 10 m ile 60 m arasında değişmektedir. Ovada DSİ tarafından araştırma, gözlem ve üretim amaçlı açılan kuyuların alüvyon ve alüvyonun altında bulunan konglomeralardan su aldıkları belirlenmiştir (DSİ, 1973). Ovadaki iklimsel koşullar Gazipaşa Meteoroloji İstasyonunda ölçülen meteorolojik parametrelerle tanımlanabilmektedir. Bu istasyonda kaydedilen uzun yıllar (1970-2020) yağış ortalaması 843 mm, ortalama hava sıcaklığı ise 18.7 °C olarak hesaplanmıştır.

Drenaj alanı 719 km<sup>2</sup> olan ovanın Birinci Bölümünde Bıçkıcı ve Delice dereleri, İkinci Bölümünde ise Hacımusa dere havzanının yüzeysel akışlarını Akdenize ulaştırır (bkz. Şekil 2). Akarsuların 1972 yılında ölçülmüş debilerinin 0.012 m<sup>3</sup>/s ile 5.9 m<sup>3</sup>/s arasında değiştiği görülmektedir (Çizelge 1, DSİ, 1973). Derelerin debileri yüksek değişkenlik göstermekte, bahar aylarında debileri 6 m<sup>3</sup>/s'ye ulaşabilmektedir. Ovada önemli boşalığa sahip en önemli kaynak, Bıçkıcı derenin ovaya girişinden yaklaşık 5 km akışyukarıda boşalan kaynaktır. Bu kaynağın 1970-1971 yıllarında ölçülen debileri 0.378 m<sup>3</sup>/s ile 2.491 m<sup>3</sup>/s arasında değişmektedir (Çizelge 2, DSİ, 1973).

Gazipaşa ova akiferinin Birinci Bölüm olarak adlandırılan kısmında yayılım gösteren serbest akifer için hazırlanan yeraltısuyu bütçesine göre beslenme a) yağıştan doğrudan beslenme ve b) yüzeysel akıştan beslenme olarak gerçekleşmektedir. DSİ (1973) tarafından yapılan hesaplamalar sonucunda beslenme ve boşalım yolları ve miktarlarını gösteren bütçe Çizelge 3'te verilmiştir. Bununla birlikte, ovanın bu kısmı için kurgulanan hidrojeolojik kavramsal modele göre akifere "dağönü beslenme" ve dere yataklarından sızma yoluyla da beslenmenin sözkonusu olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 3). Şematik olarak verilen hidrojeolojik kavramsal modele göre dağönü beslenme ve dere yataklarından sızma ile yeraltısuyuna meydana gelen katkılar bu çalışma kapsamında aşağıdaki bölümlerde açıklanan yöntemle tahmin edilmiştir.

Çizelge 1. Delice ve Bıçkıcı derelerine ait debi ölçüm değerleri (DSİ, 1973).

Table 1. Measured flows of Delice and Bıçkıcı streams (DSİ, 1973).

Akarsu Adı	Debi Ölçü Yeri	Ölçme Tarihi	Debi (m <sup>3</sup> /s)
Delice Dere	Ova girişinde Çalıpınar mevkii	29.03.1972	0.243
Delice Dere	Delice Karayolu Köprüsü	29.03.1972	0.432
Delice Dere	Gölenizlik mevkii denize 150 m mesafede	29.03.1972	0.444
Delice Dere	Ova girişinde Çalıpınar mevkii	25.08.1972	0.11
Delice Dere	Gölenizlik mevkii denize 150 m mesafede	25.08.1972	0.027
Bıçkıcı Dere	Ova girişinde Küçüküklü mevkiinin doğusunda	29.03.1972	5.879
Bıçkıcı Dere	Bıçkıcı Köprüsü	29.03.1972	5.116
Bıçkıcı Dere	Ova girişinde Küçüküklü mevkiinin doğusunda	25.08.1972	0.177
Bıçkıcı Dere	Dere mansabında İncirliyalısı mevkii	25.08.1972	0.012

3926 numaralı kuyu Paşaçiftliği mevkiinde, 24.28 m kotunda ve 153 m derinliğinde araştırma kuyusu olarak açılmıştır. Gözlem amaçlı açılan 6512 numaralı kuyu ise Pazarcı Küçüküklü mevkiinde, 36.18 m kotunda ve 35 m derinliğinde açılmıştır. Her iki kuyuda da kesilen litoloji kil bantlı konglomera olarak tanımlanmıştır (DSİ, 1973). Kuyuların tamamının çakıllanarak filtrelendiği ve yeraltısuyu gözlemlerinin 1967 yılından itibaren başlamış olduğu anlaşılmaktadır.

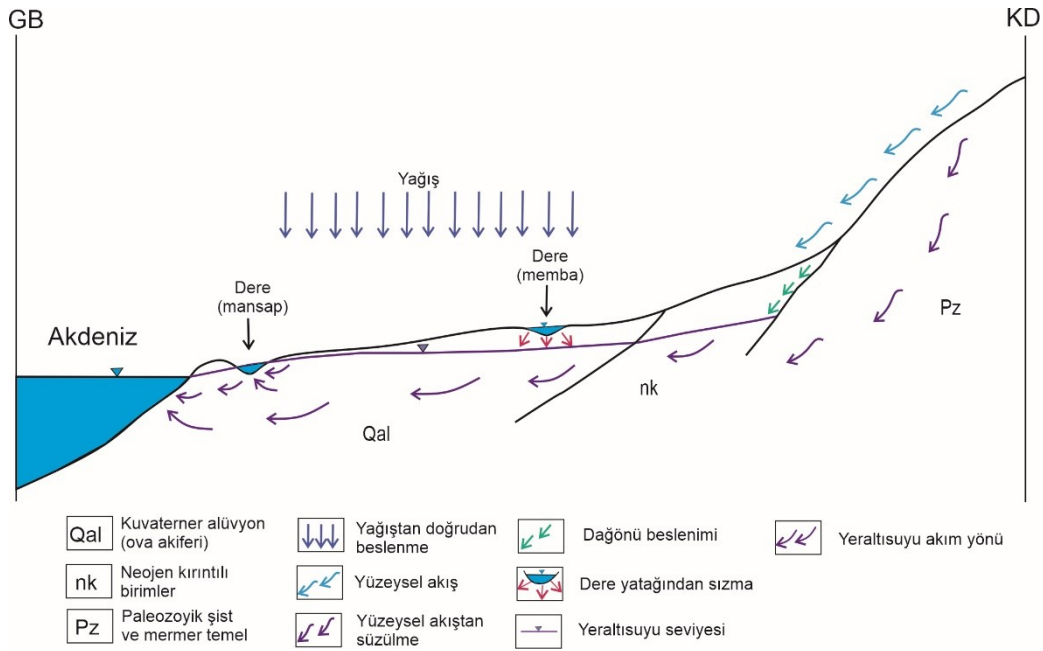
Çizelge 2. Bıçkıcı deresi memba kaynağı debi değerleri (DSİ,1973).

Table 2. Measured flows of Bıçkıcı upstream spring (DSİ, 1973).

Ölçme Tarihi	Debi (m <sup>3</sup> /s)
25.06.1970	0.751
21.07.1970	0.549
17.08.1970	0.481
8.03.1970	0.393
12.10.1970	0.378
28.05.1971	2.491
8.07.1971	0.673
13.08.1971	0.694
24.09.1971	0.448
15.10.1971	0.515
10.11.1971	0.616

Analizlerde kullanılan yeraltısuyu seviyelerinin ölçüldüğü gözlem kuyularının konumu hesaplamalar açısından önemli bir etkiye sahiptir. Kuyuların derelere (beslenme sınır koşulu) veya pompaj yapılan kuyulara (kayıp sınır koşulu) göre konumları,

yeraltısuyu seviyesi ile yağışlar arasındaki ilişkilerin analizlerinde dikkate alınmıştır. Bu çalışmada verileri kullanılan 3926 ve 6512 numaralı gözlem kuyuları Birinci Bölümde yer almaktadır. 3926 numaralı kuyu Bıçkıcı dere yatağına yaklaşık olarak 120 m, 6512 numaralı kuyu ise 500 m uzaklıktadır. Değerlendirmelerin yapıldığı 1970-1971 yıllarında işletme amaçlı az sayıda kuyu bulunduğu, kuyulardan yıllık yaklaşık  $1.0 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  su çekildiği raporlanmıştır (DSİ, 1973). Yeraltısuyu çekiminin yapıldığı kuyu alanlarının 3926 ve 6512 numaralı gözlem kuyularına uzaklıkları sırasıyla yaklaşık 1 km ve 2 km olarak belirlenmiştir (Şekil 4).



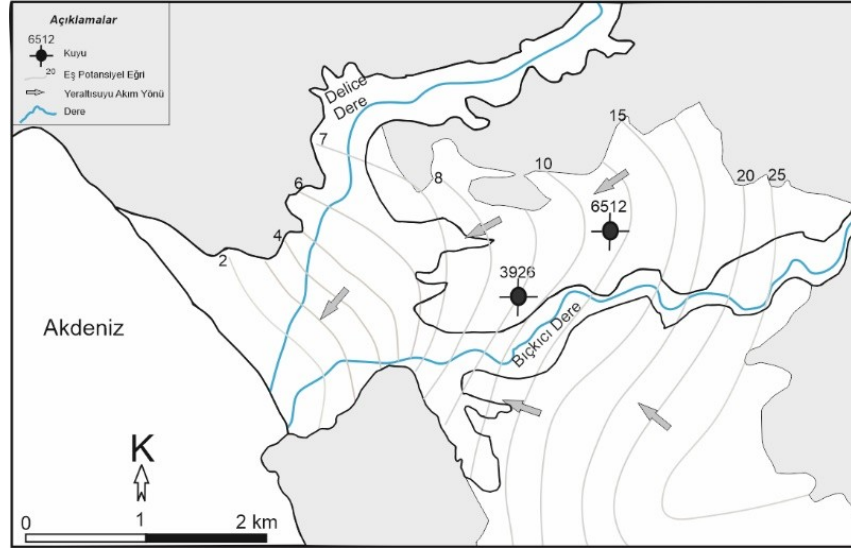
Şekil 3. Gazipaşa ova akiferi birinci kısmına ait şematik hidrojeolojik kavramsal model.

Figure 3. Schematic hydrogeological conceptual model for first part of Gazipaşa plain aquifer.

### Yeraltısuyu Gözlemleri ve Yağış Kayıtları

Bu çalışmada kullanılan 3926 ve 6512 numaralı kuyuların 1970 ve 1971 su yıllarına ait yeraltısuyu seviyeleri hidrolik yük olarak Çizelge 4'te verilmiştir. Çalışmada dikkate alınan dönem içinde 3926 nolu kuyuda yeraltısuyu seviyesinin kot olarak en düşük değeri Kasım 1971 ayında (8.76 m), en yüksek değeri (12.98 m) ise Nisan 1970 ayında kaydedilmiş, yeraltısuyu seviyesinin bu dönem içinde 4.22 m değiştiği

gözlenmiştir. Benzer şekilde, 6512 nolu kuyuda ise yeraltısuyu seviyeleri en düşük (10.78 m) ve en yüksek (16.24 m) olarak sırasıyla Kasım 1971 ve Mart 1970'te kaydedilmiş, yeraltısuyu seviyesi değişiminin 5.46 m olarak gerçekleştiği gözlenmiştir.



Şekil 4. Sadeleştirilmiş hidrojeoloji haritası.

Figure 4. Simplified hydrogeological map of the study area.

Çizelge 3. Gazipaşa ova akiferi birinci bölümü yeraltısuyu bütçesi özeti (DSİ, 1973)

Table 3. Summary of groundwater budget of first part of Gazipaşa plain aquifer (DSİ, 1973)

<b><u>BESLENİM</u></b>	<b><math>m^3/yıl</math></b>	<b><u>BOŞALIM</u></b>	<b><math>m^3/yıl</math></b>
Yağıştan Süzülme:	$2 \times 10^6$	Sığ Kuyularla Çekim:	$1 \times 10^6$
Yüzeysel Akıştan Süzülme:	$7 \times 10^6$	Buharlaşma-Terleme:	$1.5 \times 10^6$
		Akdeniz'e Boşalım:	$6.5 \times 10^6$
<b>TOPLAM</b>	<b><math>9 \times 10^6</math></b>		<b><math>9 \times 10^6</math></b>

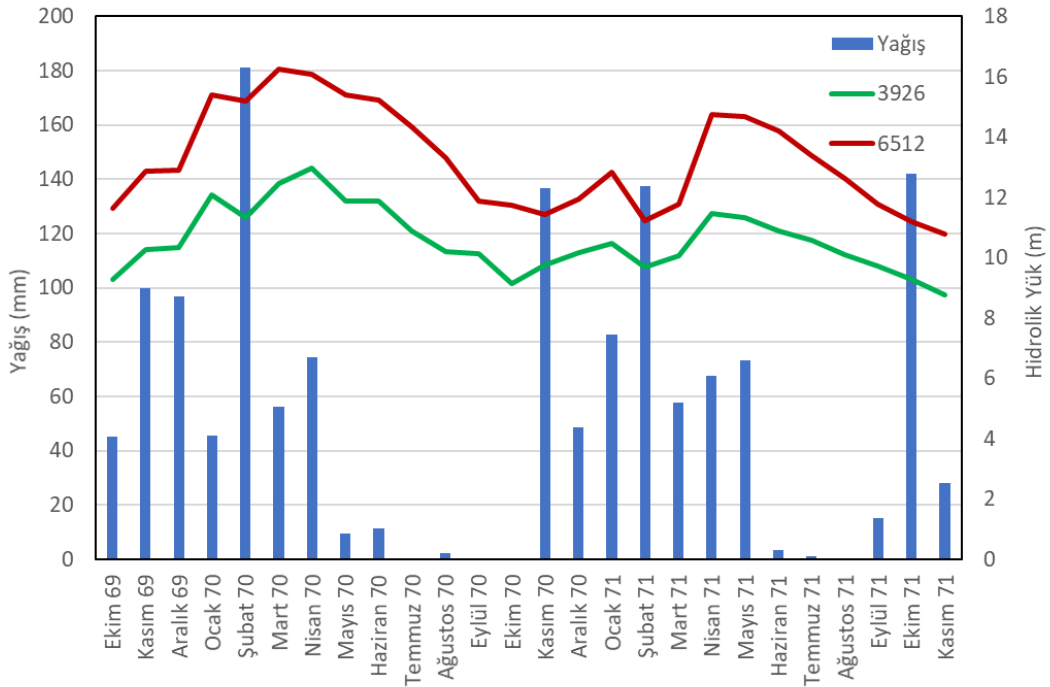
Çizelge 4. Bu çalışmada kullanılan yeraltısuyu seviyeleri ile yağışlara ait veriler.

Table 4. Groundwater levels and rainfall data used in this study.

Tarih	Yeraltısuyu Kotu (m)		Aylık Yağış (mm)	Yeraltısuyu Seviyesi	
	3926	6512		Ortalamadan Sapma (m)	
Ekim 69	9.28	11.64	45.2	-1.302	-1.623
Kasım 69	10.27	12.88	99.7	-0.312	-0.383
Aralık 69	10.35	12.89	97	-0.232	-0.373
Ocak 70	12.07	15.4	45.4	1.488	2.137
Şubat 70	11.34	15.18	181	0.758	1.917
Mart 70	12.46	16.24	56.3	1.878	2.977
Nisan 70	12.98	16.07	74.4	2.398	2.807
Mayıs 70	11.88	15.39	9.5	1.298	2.127
Haziran 70	11.86	15.22	11.4	1.278	1.957
Temmuz 70	10.88	14.33		0.298	1.067
Ağustos 70	10.2	13.3	2.4	-0.382	0.037
Eylül 70	10.13	11.89		-0.452	-1.373
Ekim 70	9.14	11.74	0	-1.442	-1.523
Kasım 70	9.75	11.44	136.8	-0.832	-1.823
Aralık 70	10.18	11.96	48.7	-0.402	-1.303
Ocak 71	10.48	12.84	82.6	-0.102	-0.423
Şubat 71	9.68	11.23	137.3	-0.902	-2.033
Mart 71	10.06	11.77	57.6	-0.522	-1.493
Nisan 71	11.48	14.76	67.6	0.898	1.497
Mayıs 71	11.33	14.69	73.1	0.748	1.427
Haziran 71	10.88	14.19	3.6	0.298	0.927
Temmuz 71	10.58	13.39	1.2	-0.002	0.127
Ağustos 71	10.1	12.64		-0.482	-0.623
Eylül 71	9.72	11.78	15.2	-0.862	-1.483
Ekim 71	9.28	11.19	141.9	-1.302	-2.073
Kasım 71	8.76	10.78	28.1	-1.822	-2.483

Bu çalışmada yapılan analizlerde yararlanılan yağış verileri, ova alanı içinde 21 m kotunda bulunan Gazipaşa Meteoroloji İstasyonu kayıtlarından elde edilmiştir. Analizlerin gerçekleştirildiği dönemde kaydedilen toplam yağışlar Çizelge 4'te verilmiştir. Şekil 5'te kuyularda kaydedilen yeraltısuyu seviyeleri hidrolik yük cinsinden yağışlarla birlikte grafik üzerinde gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi yeraltısuyu seviyeleri ile yağışlar arasında genel bir uyumdan söz edebilmek kolay

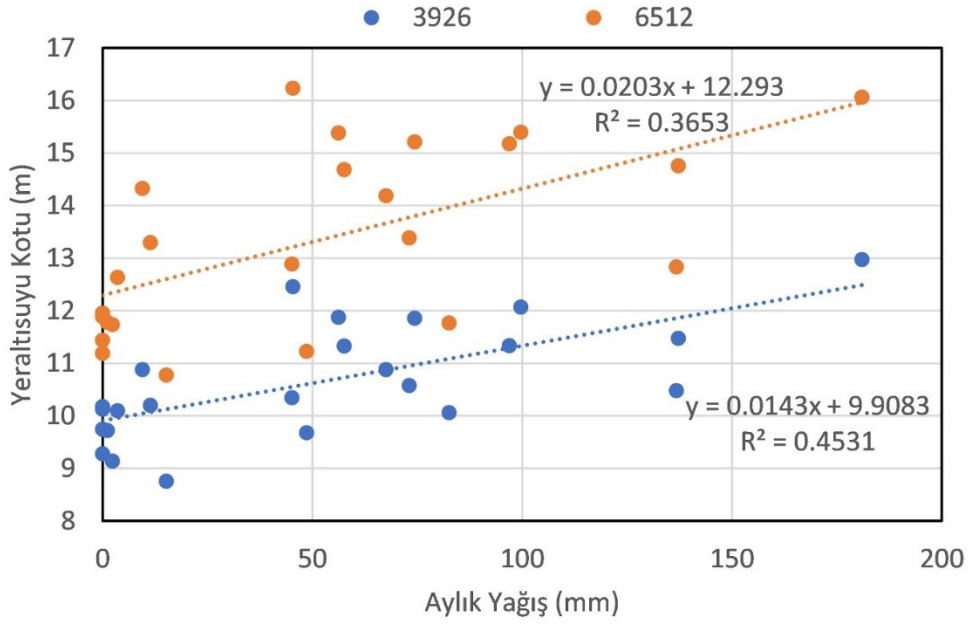
değildir. Bununla birlikte, yüksek yağışların yeraltı suyu seviyelerine etkilerinin 2 aylık bir gecikmeden sonra meydana geldiği çıkarılabilir. Yağışla, 2 ay sonraki yeraltı suyu seviyeleri arasındaki ilişkinin zayıflığına işaret eden dağınıklık Şekil 6'da verilen grafikten de görülebilmektedir. Regresyon eşitlikleri incelendiğinde, 3926 nolu kuyuda ölçülen seviyelerin aylık yağışlarla daha yüksek bir korelasyon sunduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 5. 1970 ve 1971 su yıllarına ait 3926 ve 6512 nolu kuyuların yeraltı suyu seviyeleri ile Gazipaşa Meteoroloji İstasyonu yağışları.

Figure 5. Groundwater levels measured in wells 3926 and 6512 and rainfall data for water years 1970 and 1971.



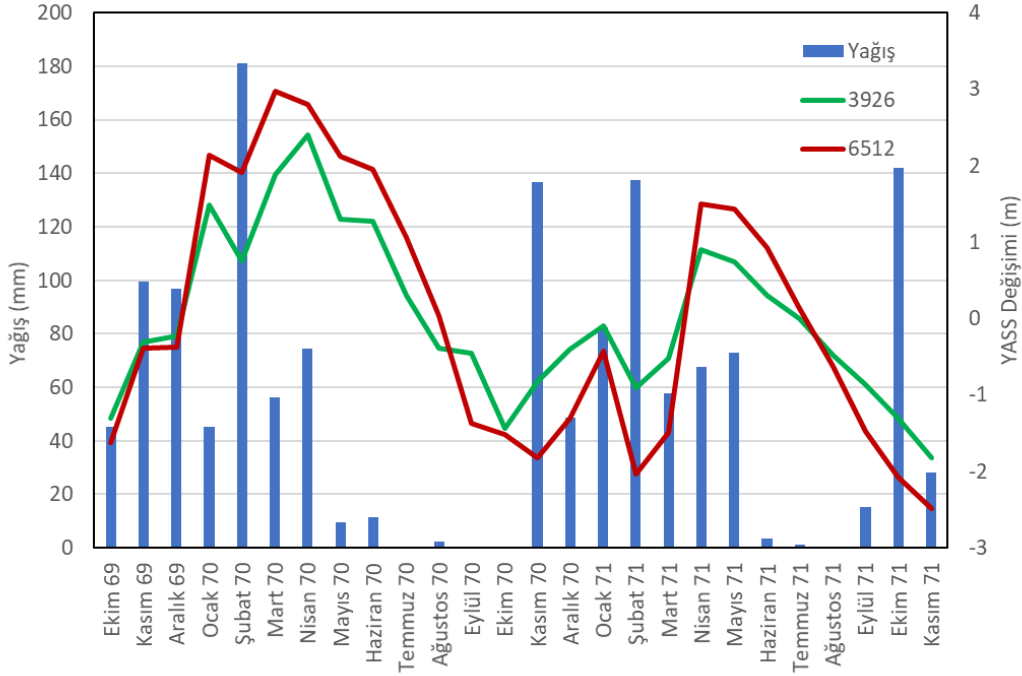


Şekil 6. Aylık toplam yağışlarla, 2 ay gecikmeyle 3926 ve 6512 nolu kuyulara ait yeraltısuyu seviyeleri arasındaki ilişki.

Figure 6. Relationship between groundwater levels measured in wells 3926 and 6512 and monthly rainfall with time lag of 2 months.

### Yeraltısuyu Seviyelerinde Ortalamadan Sapma

Yeraltısuyu seviyelerindeki dalgalanmaların daha açık bir şekilde görülebilmesi amacıyla seviyelerin ortalama seviyeden sapma miktarları hesaplanmıştır. Çizelge 4'te görülen sapmaların 3926 nolu kuyu için -1.822 m ile +2.398 m arasında; 6512 nolu kuyu için -2.483 ile +2.977 m arasında olduğu görülmektedir. Yeraltısuyu seviyelerinin hesaplanan ortalamadan sapmaları yağışlarla deneştirilmiş, yağışlarla olan ilişkinin daha belirgin bir hale gelmesi sağlanmıştır (Şekil 7). Grafikten yağışların yeraltısuyu seviyelerine yansımalarının 2 ay gecikmeyle gerçekleştiği daha belirgin bir şekilde gözlenebilmektedir. Bu nedenle, örneğin Ekim 1971 yılında 141.9 mm düzeyinde gerçekleşen toplam yağışın henüz yeraltısuyu seviyelerine herhangi bir etkisi olmadığı görülmektedir. Öte yandan benzer yağışların yeraltısuyu seviyelerine aynı düzeyde etki etmedikleri beslenme mekanizmasının doğrusal olmadığının bir göstergesi olarak değerlendirilmelidir.



Şekil 7. Aylık toplam yağışlarla 3926 ve 6512 nolu kuyulara ait yeraltısuyu seviyelerinin ortalamadan sapmaları arasındaki ilişki.

Figure 7. Relationship between departure of groundwater levels from the average in wells 3926 and 6512 and the monthly rainfall.

### Yağışlardan İtibaren Yeraltısuyu Seviyelerinin Türetilmesi

Yeraltısuyu seviyelerindeki değişimlerin doğrudan yağışla ilişkilendirilmesi, beslenme miktarının hesaplanmasında temel varsayımların başında gelmektedir. Yeraltısuyu sisteminin açık bir sistem olmadığı, akarsu yataklarından sızma yoluyla akifere bir katkının söz konusu olmadığı, benzer şekilde yeraltısuyu seviyesinin düşmesine neden olabilecek pompajla boşalım gibi bir dış etkinin bulunmadığı kabul edilmektedir. Bu varsayımlarla 7 ve 10 nolu eşitliklerden yararlanılarak yeraltısuyu seviyesi 3926 ve 6512 nolu kuyular için yeniden türetilmiştir. Dış etkinin bulunmadığı varsayımıyla gerçekleştirilen analizlerde eşitlik (7)'deki ilgili parametre bu varsayıma uygun olarak  $k=1$ , ve eşitlik (10)'da boşalım (O) ve pompaj (Q) etkisinin olmadığını belirtmek üzere  $O=Q=0$  alınmıştır. Her iki kuyuda gözlenen yeraltısuyu seviyelerinin yağışlardan yaklaşık 2 aylık bir gecikmeyle etkilendikleri gözönünde bulundurularak analizlerde gecikme süresi 2 ay olarak alınmıştır. Öte yandan, eşitlik (7)'de "uzun dönem hafıza" serinin tamamını kapsayacak şekilde 26 ay olarak alınmıştır. Beslenmeye katkıda bulunan süreyi temsil eden "kısa dönem hafıza" ve depolama katsayısı/özgül verim ise "gözlenen seviye-hesaplanan seviye" arasında en yüksek ilişkiyi verecek şekilde optimize edilerek sırasıyla 3 ay ve 0.1 olarak belirlenmiştir. Her

iki kuyu için “gözlenen seviye-hesaplanan seviye” arasındaki en yüksek korelasyon 2 aylık gecikme süresi, 3 aylık kısa dönem hafıza ve 0.1 özgül verim değeriyle elde edilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan parametreler ve değerleri Çizelge 5’te, her iki kuyu için elde edilen sonuçlar ise Çizelge 6’da verilmiştir. Aylık yeraltısuyu seviyelerinin ( $YASS_i$ ) iki su yılı ortalamasına ( $YASS_{ort}$ ) göre sapması olarak tanımlanan dalgalanma

$$dYASS = YASS_i - YASS_{ort} \quad (11)$$

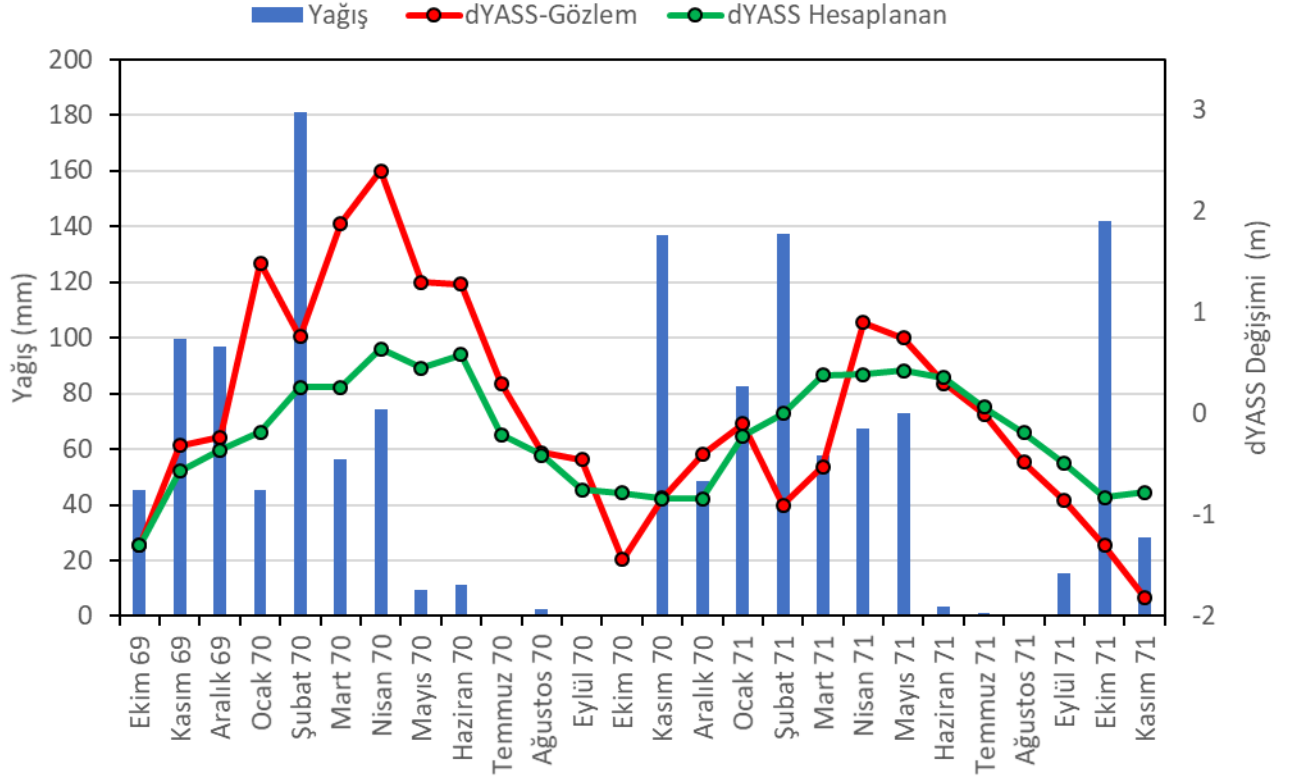
eşitliği ile hesaplanmıştır.

3926 nolu kuyu için OYES yöntemiyle hesaplanan yeraltısuyu seviyesindeki dalgalanma ile gözlenen seviye dalgalanmaları yağış verileriyle birlikte Şekil 8’de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi ortalamadan eklenik sapma yöntemiyle türetilen yeraltısuyu seviyesindeki dalgalanma ile gözlenen seviye dalgalanmaları arasında genel bir uyum elde edilmesine karşın, özellikle ekstrem (düşük-yüksek) değerlerde fark daha önemli hale gelmektedir.

Çizelge 5. Hesaplamalarda kullanılan parametre, değişken ve değerleri.

Table 5. Parameters, variables and their values used in calculations.

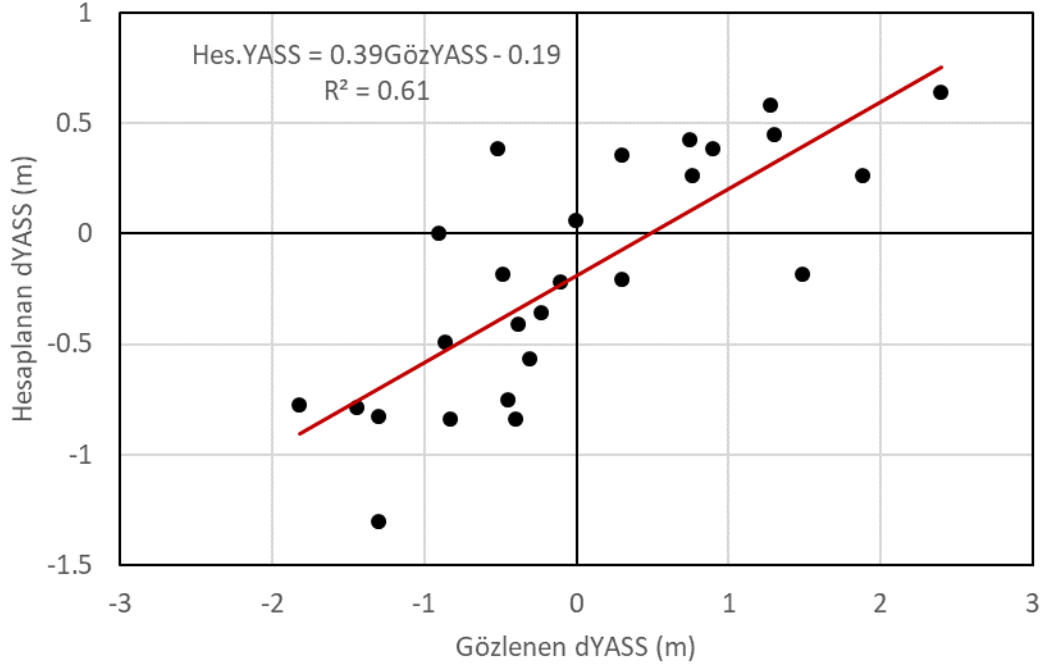
Parametre/Değişken	Simge	Değer
Seri uzunluğu/uzun hafıza (ay)	n	26
Beslenme dönemi/kısa hafıza (ay)	m	3
Gecikme süresi (ay)	L	2
Uzun dönem ortalama aylık yağış (mm/ay)	$P_{ort}$	61.57
Etkin gözeneklilik/Özgül verim	$S_y$	0.1
Havza/Beslenme Alanı (km <sup>2</sup> )	A	12
Doğal koşullar için pompaj debisi (m <sup>3</sup> /ay)	Q	0
Doğal koşullar için pompaj etki katsayısı	k	1
Pompaj debisi (m <sup>3</sup> /ay)	-Q	Her aydaki değeri için bkz. Çizelge 6
Dereden sızma debisi (m <sup>3</sup> /ay)	Q	



Şekil 8. 3926 nolu kuyu için dış etkilere kapalı sistem varsayımıyla OYES yöntemiyle türetilen yeraltısuyu seviyesi ile gözlenen seviye.

Figure 8. Observed and calculated groundwater levels for well no applying CRD for 3926 assuming a closed system.

3926 nolu kuyu için hesaplanan değerler ile gözlenen değerler arasındaki ilişki düzeyini de ifade etmekte kullanılan determinasyon katsayısı ( $R^2$ ) Şekil 9'da verilen regresyon grafiğinde 0.61 olarak belirlenmiştir. Bu değer,  $r=0.78$ 'lik bir Pearson korelasyon katsayısına karşılık gelmektedir. Bu değer, istatistiksel olarak, hesaplanan ile gözlenen değerler arasında önemli düzeyde bir korelasyonun varlığına işaret etmektedir. Şekil 9'da negatif sapmalarda noktaların daha dağınık, dolayısıyla korelasyonun daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durum, yağışlı dönemlerdeki uyumun, kurak dönemlere oranla daha yüksek olduğu anlamı taşımaktadır.



Şekil 9. 3926 nolu kuyu için dış etkilere kapalı sistem varsayımıyla OYES yöntemiyle türetilen yeraltısuyu seviyesi ile gözlenen seviye arasındaki ilişki.

*Figure 9. Regression between the observed and calculated groundwater levels for well no applying CRD for 3926 assuming a closed system.*

Benzer şekilde, OYES yöntemiyle türetilen yeraltısuyu seviyesindeki dalgalanmalar ile 6512 nolu kuyuda gözlenen yeraltısuyu seviye değişimleri Şekil 10'da gösterilmiştir. Bu kuyu için yapılan analizlerde, gözlenen ile hesaplanan dalgalanmalar 3926 kuyusuna göre daha düşük bir uyum göstermiştir. Şekil 10'da görüldüğü gibi, uyumun düşük olduğu noktalar, benzer şekilde yüksek yağış dönemleri ile kurak dönemleri temsil eden ekstrem değerlere karşılık gelmektedir.

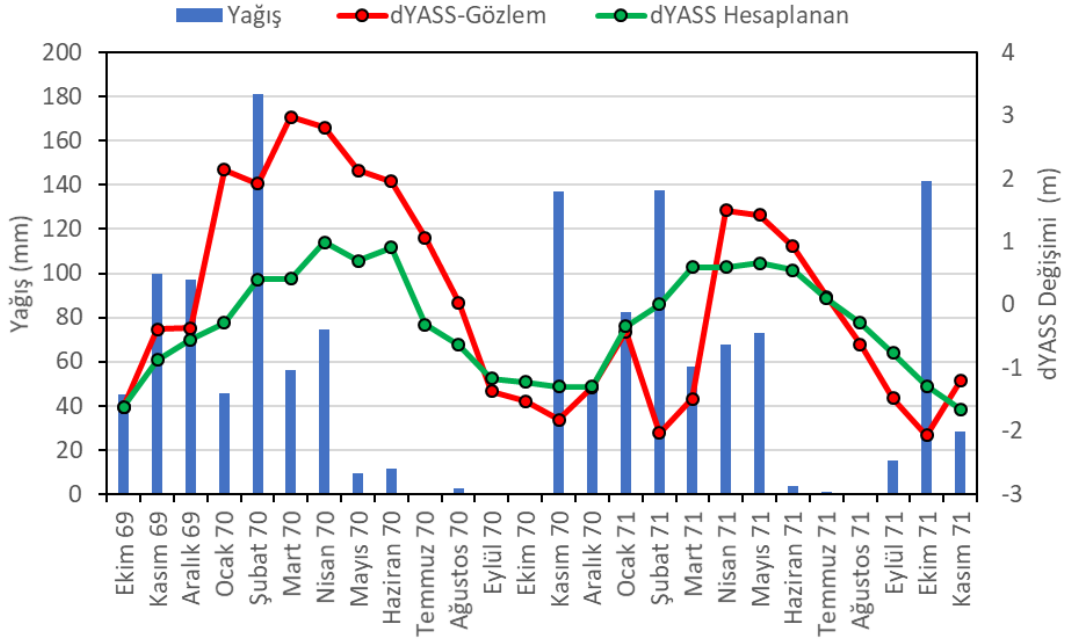
Gözlenen sapmalarla hesaplanan sapmalar arasındaki uyumun sayısal değerinin belirlenmesi için gerçekleştirilen regresyon analizi, regresyon eşitliği ve determinasyon katsayısı ile birlikte Şekil 11'de grafiksel olarak gösterilmiştir. 6512 nolu kuyuda determinasyon katsayısı 0.57 olarak belirlenmiştir. Pearson korelasyon katsayısı  $r=0.75$  olup istatistiksel olarak yüksek bir korelasyondan söz edilebilir.

Çizelge 6. Çalışmada kullanılan kuyularda, dış etkilere kapalı sistem varsayımıyla, gözlenen ve hesaplanan yeraltısuyu seviyelerinin *ortalamadan sapması*.

Table 6. Observed and calculated deviations of groundwater levels from the average for well no applying CRD for the wells used in this study assuming a closed system.

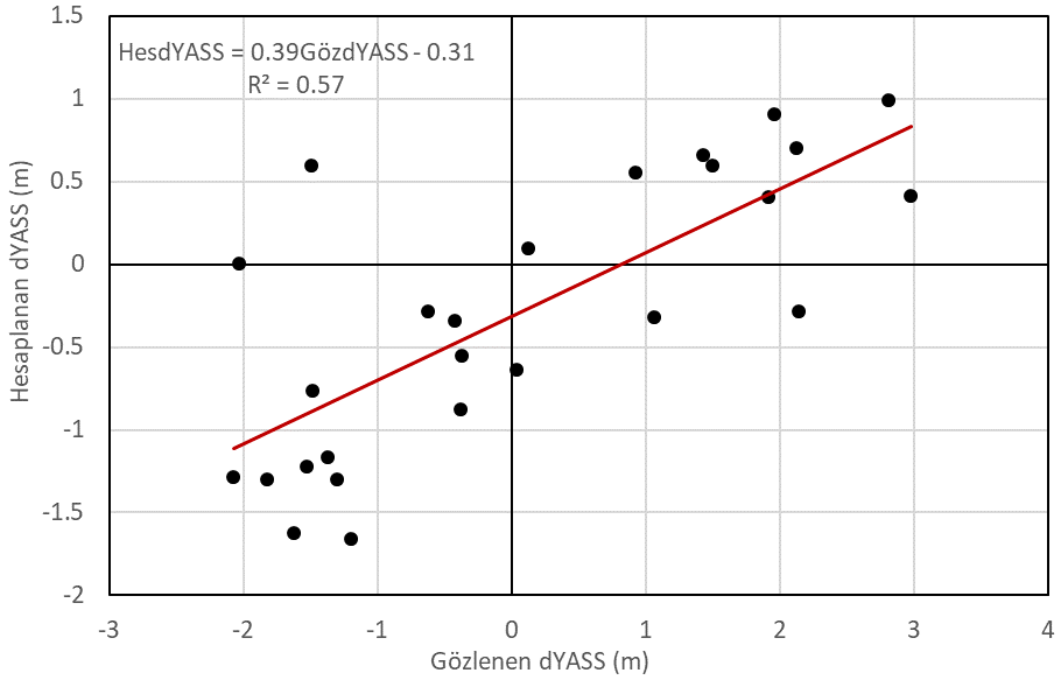
Aylar	Yağış (mm)	3926 nolu Kuyu		6512 nolu Kuyu	
		dYASS Gözlenen	dYASS Hesaplanan	dYASS Gözlenen	dYASS Hesaplanan
Ekim 69	45.2	-1.302	-1.302	-1.623	-1.623
Kasım 69	99.7	-0.312	-0.566	-0.383	-0.878
Aralık 69	97.0	-0.232	-0.358	-0.373	-0.556
Ocak 70	45.4	1.488	-0.183	2.137	-0.284
Şubat 70	181.0	0.758	0.263	1.917	0.408
Mart 70	56.3	1.878	0.264	2.977	0.409
Nisan 70	74.4	2.398	0.638	2.807	0.989
Mayıs 70	9.5	1.298	0.451	2.127	0.699
Haziran 70	11.4	1.278	0.584	1.957	0.906
Temmuz 70		0.298	-0.205	1.067	-0.317
Ağustos 70	2.4	-0.382	-0.411	0.037	-0.638
Eylül 70		-0.452	-0.753	-1.373	-1.168
Ekim 70		-1.442	-0.786	-1.523	-1.219
Kasım 70	136.8	-0.832	-0.838	-1.823	-1.300
Aralık 70	48.7	-0.402	-0.838	-1.303	-1.300
Ocak 71	82.6	-0.102	-0.220	-0.423	-0.342
Şubat 71	137.3	-0.902	0.004	-2.033	0.006
Mart 71	57.6	-0.522	0.383	-1.493	0.595
Nisan 71	67.6	0.898	0.386	1.497	0.598
Mayıs 71	73.1	0.748	0.427	1.427	0.662
Haziran 71	3.6	0.298	0.358	0.927	0.555
Temmuz 71	1.2	-0.002	0.063	0.127	0.097
Ağustos 71		-0.482	-0.186	-0.623	-0.288
Eylül 71	15.2	-0.862	-0.491	-1.483	-0.762
Ekim 71	141.9	-1.302	-0.827	-2.073	-1.283
Kasım 71	28.1	-1.822	-0.774	-1.200	-1.657

Şekil 11’de verilen grafikteki noktaların dağılımı incelendiğinde, dağınıklığın gözlenen değerlerin negatif olduğu kesimde daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum, 3926 nolu kuyuda olduğu gibi, kurak dönemlerde korelasyonun düştüğü anlamına gelmektedir. Şekil 9 ve Şekil 11’de verilen her iki kuyuda da yağışlı dönemleri temsil eden pozitif sapmaları gösteren kesimlerde de daha düşük sayıda da olsa bazı noktalarda dağınıklık olduğu dikkati çekmektedir. Grafiklerin pozitif kesimlerinde dağınıklığı arttıran noktaların aylık yağışların çok yüksek olduğu, yüzeysel akışın taşkın dönemlerine karşılık geldiği anlaşılmaktadır.



Şekil 10. 6512 nolu kuyu için dış etkilere kapalı sistem varsayımıyla OYES yöntemiyle türetilen yeraltısuyu seviyesi ile gözlenen seviye.

Figure 10. Observed and calculated groundwater levels for well no applying CRD for 6512 assuming a closed system.



Şekil 11. 6512 nolu kuyu için dış etkilere kapalı sistem varsayımıyla OYES yöntemiyle türetilen yeraltısuyu seviyesi ile gözlenen seviye arasındaki ilişki.

Figure 11. Regression between the observed and calculated groundwater levels for well no applying CRD for 6512 assuming a closed system.

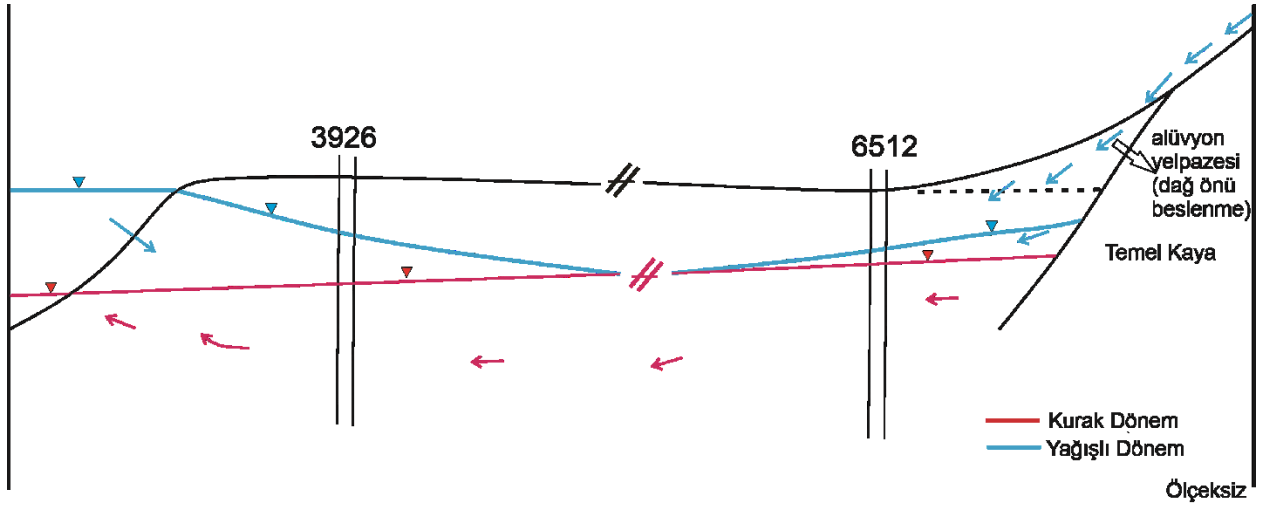
Yukarıda açıklanan analizler sonucunda, gözlenen yeraltısuyu seviyelerindeki dalgalanmalara sadece yağıştan süzülmeyle beslenmenin neden olmadığı, aynı zamanda dış etkenlerin bulunduğu sonucuna varılmıştır. Sulama mevsimini kapsayan kurak dönemlerde etkisi belirginleşen ve genellikle sulama amaçlı yeraltısuyu çekimleri yapay dış etken olarak dikkate alınmıştır. Benzer şekilde, özellikle yüksek miktarda yağışların olduğu dönemlerde yüzeysel akışa geçen suların dere yataklarından sızmayla yeraltısuyuna katılımları ise söz konusu dağınıklıklara neden olan doğal dış etkiler olarak değerlendirilmiştir.

### **Pompaj ve Yüzeysel Akış Etkilerinin Yeraltısuyu Seviyesine Etkilerinin Analizi**

Yukarıda yapılan analizler ve değerlendirmeler sonucunda yeraltısuyu seviyesindeki dalgalanmaların salt “yağıştan doğrudan beslenme” etkisi altında olmadığı, özellikle yağışlı dönemlerde dere yataklarından sızma ve kurak dönemlerde pompaj gibi dış etkenlerden etkilendiği anlaşılmaktadır. Söz konusu dış etkilerin de değerlendirilmesi amacıyla OYES yöntemi pompaj ile boşalım ve dere yataklarından beslenmeyi de dikkate alacak şekilde yeniden uygulanmıştır. Bu uygulamada, eşitlik (7)’de yer alan ve pompaj etkisini tanımlayan terim,  $k > 1$  olarak alınmıştır.  $k$ , pompaj debisine ve akifer alanına bağlı olarak hesaplanmaktadır (bkz. eşitlik (9)).

Çalışmada kullanılan kuyuların yer aldığı Gazipaşa ovasının 12 km<sup>2</sup>’lik bir alana sahip Birinci Bölüm olarak tanımlanan kesiminde havzayı drene eden Bıçkıcı deresi akımları yağışlı dönemlerde 5 m<sup>3</sup>/s’den daha yüksek değerlere ulaşmaktadır. Olasılıkla dere yatağında su derinliği ve genişliği artmakta, dere yatağından sızma miktarı önemli oranlara yükselmektedir. Bu sızma, kuyudaki su seviyelerine yansımaktadır (Şekil 12).





Şekil 12. 3926 ve 6512 nolu kuyuların hidrojeolojik konumları ve bu konumlarından dolayı yeraltısuyu seviyelerine beklenen etkileri gösteren şematik kesit.

Figure 12. A schematic cross-section depicting the expected effects on groundwater levels in wells 3926 and 6512 owing to their locations in the hydrogeological system.

Dere yatağından sızma miktarı ve etkinin kuyuya ulaşma süresi, etkinin yayılım hızını denetleyen hidrolik difüzyon katsayısına ( $\omega$ ) bağlıdır. İletimlilik katsayısının ( $T$ ) depolama katsayısına ( $S$ ) oranı şeklinde tanımlanan hidrolik difüzyon katsayısı Gazipaşa ovası akiferi için  $6080 \text{ m}^2/\text{gün}$  ve  $17770 \text{ m}^2/\text{gün}$  olarak hesaplanmıştır. Hesaplama, iletimlilik katsayısı değeri DSİ (1973)'ten alınmıştır. DSİ (1973), ayrıca, yeraltısuyu işletmesi yapılan kuyulardan çekilen yıllık toplam su miktarının  $0.31 \times 10^6 \text{ m}^3$  dolayında olduğunu bildirmektedir.

3926 nolu kuyu, Bıçkıcı deresine yaklaşık 120 m uzaklıkta konumlandırılmıştır. Kuyuda gözlenen yeraltısuyu Bıçkıcı derenin yatağından ortalama 12-15 m daha düşük kottadır. Bu kuyuda gözlenen yeraltısuyu seviyelerinde meydana gelen değişimlerin taşkın dönemlerinde Bıçkıcı dereden etkilendiği, bu nedenle seviyede yağıştan doğrudan süzülmenin yarattığı yükselmeye ek olarak dere yatağından sızan suların da yaklaşık 2 aylık bir sürede gözlem kuyusunda ölçülen yeraltısuyuna ulaşması gerektiği anlaşılmaktadır. 6512 nolu kuyu ise, Bıçkıcı dereden yaklaşık 500 m uzaklıktadır. Bununla birlikte bu kuyu, ova düzlüğünün sınırında, topoğrafik yükselmenin başladığı alanda açılmıştır. Ova düzlüğünün sınırında çeşitli boyutlarda yelpaze oluşumu ile karşılaşılmaktadır. Yelpaze üzerinde veya yakınında

konumlanan kuyularda yeraltısuyu seviyeleri yüzeysel akışa geçen suların doğrudan etkisi altında kalmaktadır (bkz. Şekil 12).

Öte yandan, akiferden pompajla su çekimi yapılan ve kurak döneme karşılık gelen yaz aylarında beklenen yeraltısuyu seviyesindeki düşüm, sadece yağışlardaki azalmaya bağlanamamaktadır (bkz. Şekil 8 ve Şekil 10). Ortalama yeraltısuyu seviyesinden negatif sapmaların bulunduğu kesimlerde korelasyonu düşüren bir dağınıklık gözlenmesi bu çıkarımı desteklemektedir (bkz. Şekil 9 ve Şekil 11). Gözlem kuyularında yeraltısuyu düşümü doğal koşullarda akifer karakteristikleri ve doğal boşalım alanının konumu ve türü (kaynak, baz akım vb) ile ilgilidir (Ekmekçi, 2015).

Dış etkilere açık sistem varsayımıyla 3926 ve 6512 nolu kuyularda yeraltısuyu seviyesinin ortalamadan sapma değerlerinin yüksek bir korelasyonla türetilmesi için yağışlı dönemlerde “dreden/yelpazeden beslenme” ve kurak dönemlerde “pompaj” miktarlarının aylara göre dağılımları Çizelge 7’de verilmiştir.

Çizelge 7’de verilen yağıştan doğrudan beslenme dışında dere yatağından ve/veya alüvyon yelpazesinden sızan su ile pompaj miktarı incelendiğinde aşağıdaki çıkarımlar yapılabilir. Beslenmenin kış ve ilkbahar aylarında gerçekleştiği, yağışların azaldığı ancak yüzeysel akışın yüksek olduğu Mayıs-Haziran aylarında da beslenmenin devam ettiği anlaşılmaktadır. Öte yandan, kurak aylar olan Ağustos, Eylül, Ekim ve Kasım aylarında ise pompaj etkisi görülmektedir. 3926 nolu kuyu için yapılan hesaplamalarda dere yatağından sızan su miktarının ortalama olarak 615 l/s, pompaj/boşalım etkisini temsil eden miktarın ise ortalama 280 l/s dolayında olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu değerler 6512 nolu kuyu için sırasıyla 1880 l/s ve 500 l/s dolayındadır. İki kuyu arasındaki bu önemli farklar, kuyuların hidrojeolojik konumlarıyla yakından ilgilidir. Kasım 1970 ayında meydana gelen yüksek yağış miktarına (136.8 mm) karşın yeraltısuyu seviyesinde yükselme bir yana düşümün devam etmesi hesaplamalarda dikkati çeken bir durum olmuştur. Bu durum, bir yandan yağışların etkisinin 2 ay gecikmeyle gözlenmesi, öte yandan çekim/boşalım etkisinin devam ettiği yönündeki değerlendirmeyi desteklemektedir. Benzer değerlendirme, Ekim 1971 ayı için de geçerlidir. Ekim 1971 ayında da yüksek yağış (141.9 mm) gerçekleşmiş, ancak bu yüksek yağışın yeraltısuyuna etki etmediği görülmektedir. Bu gözlemlere dayanarak, kurak aylarda anlık yüksek yağışların yeraltısuyu beslenmesine katkılarının olmadığı veya ihmal edilecek düzeyde olabildiği sonucuna varılabilir.

Çizelge 7. Çalışmada kullanılan kuyularda, dış etkilere açık sistem varsayımıyla, gözlenen ve hesaplanan yeraltısuyu seviyelerinin ortalamadan sapması.

Table 7. Observed and calculated deviations of groundwater levels from the average for well no applying CRD for the wells used in this study assuming an open system.

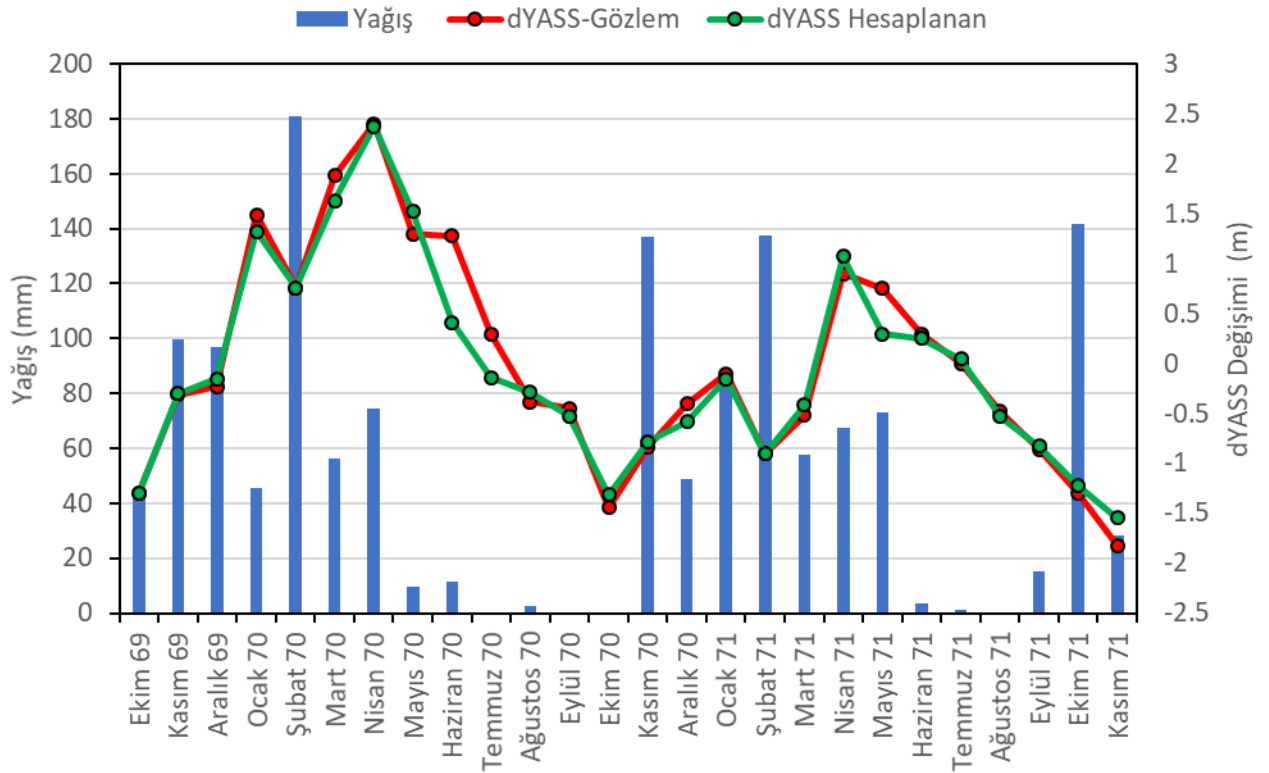
Aylar	Yağış (mm)	3926 nolu Kuyu				6512 nolu Kuyu			
		dYASS Gözlenen	dYASS Hesaplanan	Sızma (m <sup>3</sup> /ay)	Pompaj (m <sup>3</sup> /ay)	dYASS Gözlenen	dYASS Hesaplanan	Sızma (m <sup>3</sup> /ay)	Pompaj (m <sup>3</sup> /ay)
Ekim 69	45.2	-1.302	-1.302			-1.623	-1.623		
Kasım 69	99.7	-0.312	-0.445	120000		-0.383	-0.878	90000	
Aralık 69	97.0	-0.232	-0.299	120000		-0.373	-0.556	20000	
Ocak 70	45.4	1.488	1.175	1800000		2.137	-0.284	2700000	
Şubat 70	181.0	0.758	0.758	4000000		1.917	0.408	4000000	
Mart 70	56.3	1.878	1.488	1800000		2.977	0.409	3500000	
Nisan 70	74.4	2.398	2.233	2400000		2.807	0.989	2900000	
Mayıs 70	9.5	1.298	1.378	1500000		2.127	0.699	2500000	
Haziran 70	11.4	1.278	0.264			1.957	0.906	1700000	
Temmuz 70		0.298	-0.288			1.067	-0.317	1700000	
Ağustos 70	2.4	-0.382	-0.433			0.037	-0.638		
Eylül 70		-0.452	-0.672			-1.373	-1.168		-1050000
Ekim 70		-1.442	-1.459		-950000	-1.523	-1.219		-1200000
Kasım 70	136.8	-0.832	-0.925		-240000	-1.823	-1.300		-1600000
Aralık 70	48.7	-0.402	-0.732			-1.303	-1.300		-1100000
Ocak 71	82.6	-0.102	-0.299			-0.423	-0.342		
Şubat 71	137.3	-0.902	-0.902			-2.033	0.006		
Mart 71	57.6	-0.522	-0.560			-1.493	0.595		-950000
Nisan 71	67.6	0.898	0.930	1000000		1.497	0.598	1000000	
Mayıs 71	73.1	0.748	0.154			1.427	0.662	1400000	
Haziran 71	3.6	0.298	0.106			0.927	0.555	1000000	
Temmuz 71	1.2	-0.002	-0.101			0.127	0.097		
Ağustos 71		-0.482	-0.677		-500000	-0.623	-0.288		-470000
Eylül 71	15.2	-0.862	-0.971		-600000	-1.483	-0.762		-800000
Ekim 71	141.9	-1.302	-1.368		-800000	-2.073	-1.283		-1800000
Kasım 71	28.1	-1.822	-1.692		-1250000	-1.200	-1.657		-2700000

Bu çıkarımlar, gerek gözlem kuyusu için en uygun yer seçiminde, gerekse gözlem yapılmakta olan kuyulardan elde edilen verilerin değerlendirilmesinde dikkate alınması gereken hidrojeolojik koşulların önemini ortaya koymaktadır. Hidrojeolojik konumları nedeniyle yeraltısuyu seviyeleri açısından yağışa ve dış etkilere farklı tepkiler veren kuyuların hidrojeolojik kavramsallaştırma ve karakterizasyon çalışmalarında bu yönleriyle değerlendirilmeleri büyük bir önem taşımaktadır.

3926 nolu kuyu için, yağışlı dönemde akarsudan beslenme, kurak dönemlerde ise pompaj etkisi dikkate alınarak tekrarlanan OYES analizleri ile elde edilen sonuçlar Şekil 13'te gösterilmiştir. Hesaplamalar sonucunda elde edilen yeraltısuyu seviyesindeki değişimin gözlenen değişimlerle uyumunda, Şekil 8'de verilenle karşılaştırıldığında yüksek düzeyde bir düzelme olduğu görülmektedir. Söz konusu uyumun düzeyi sayısal olarak gözlenen değerler ile hesaplanan değerler arasındaki korelasyonla ortaya konmuştur. Şekil 14'te verilen regresyon grafiğinde

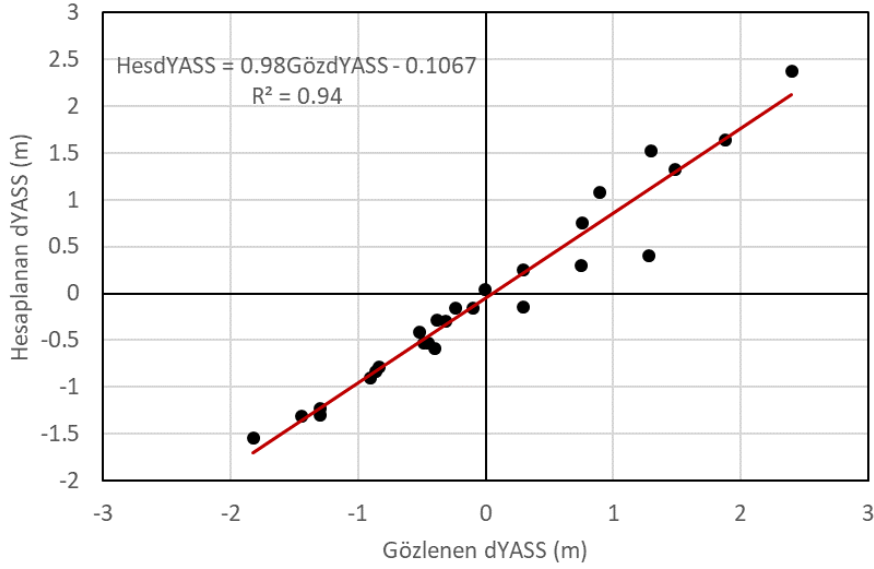
determinasyon katsayısının  $R^2=0.94$ 'e, Pearson korelasyon katsayısının  $r=0.97$ 'ye yükseldiği görülmektedir. Şekil 14'te özellikle, pompaj etkisinin yansıtıldığı kurak dönemi temsil eden negatif sapma kesiminde düzelme dikkati çekmektedir. Regresyon doğrusunun 1:1 doğrusuna yakın (eğim=0.98) olması söz konusu korelasyonun gözlenen değer ile hesaplanan değer arasındaki yüksek uyumun yanı sıra değerlerin de birbirine yakın olduklarını göstermektedir.

Benzer hesaplamalar 6512 nolu kuyu için gerçekleştirilmiş ve yağışlı dönemde alüvyon yelpazesinden/dere yatağından beslenme, kurak dönemlerde ise boşalım/pompaj etkisi dikkate alınarak tekrarlanan OYES analizleri ile elde edilen sonuçlar Şekil 15'te gösterilmiştir. Dış etkilere açık sistem varsayımıyla yapılan hesaplamalarla türetilen yeraltısuyu seviyesindeki değişimin gözlenen değişimlerle uyumunda, Şekil 10'da verilene e kıyasla çok ileri düzeyde bir düzelme olduğu görülmektedir. Uyum düzeyinin sayısal olarak ortaya konması amacıyla gerçekleştirilen regresyon analizi Şekil 16'da gösterilmiştir. Şekilde verilen regresyon grafiğinde determinasyon katsayısının  $R^2=0.97$ 'ye, Pearson korelasyon katsayısının  $r=0.98$ 'e yükseldiği görülmektedir.



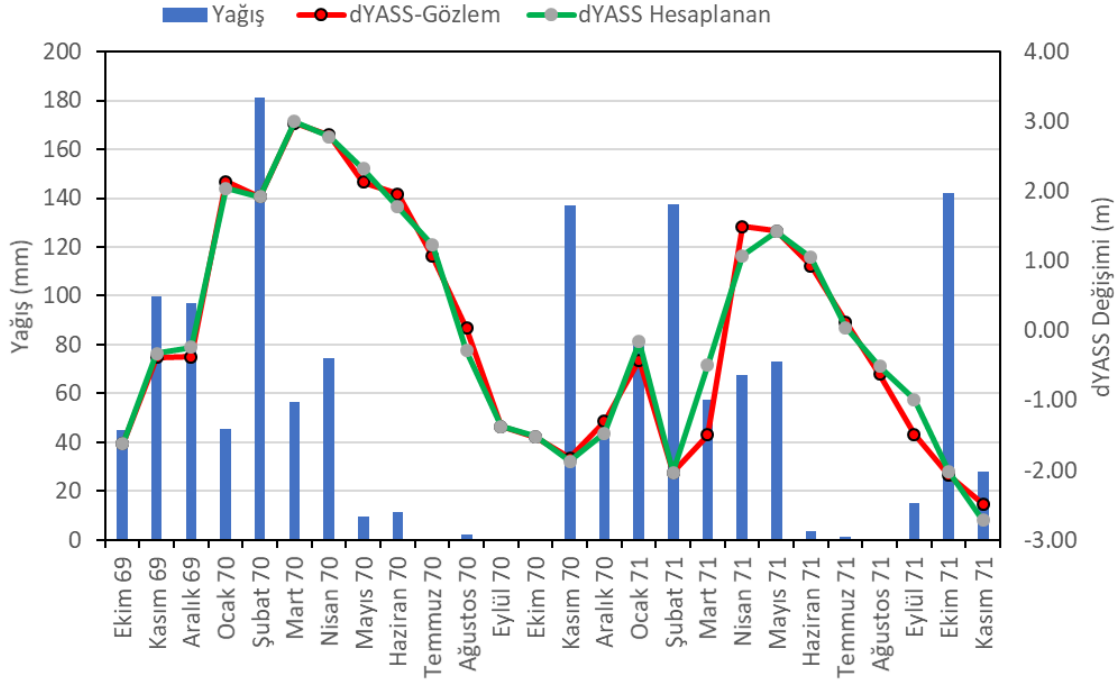
Şekil 13. OYES yöntemiyle pompaj ve dereden beslenme gibi dış etkilere açık sistem varsayımıyla 3926 nolu kuyu için hesaplanan ve gözlenen yeraltısuyu seviyesi dalgalanmaları.

Figure 13. Observed and calculated groundwater levels for well no applying CRD for 3926 assuming an open system affected by external factors such as pumping and percolation through river bed.



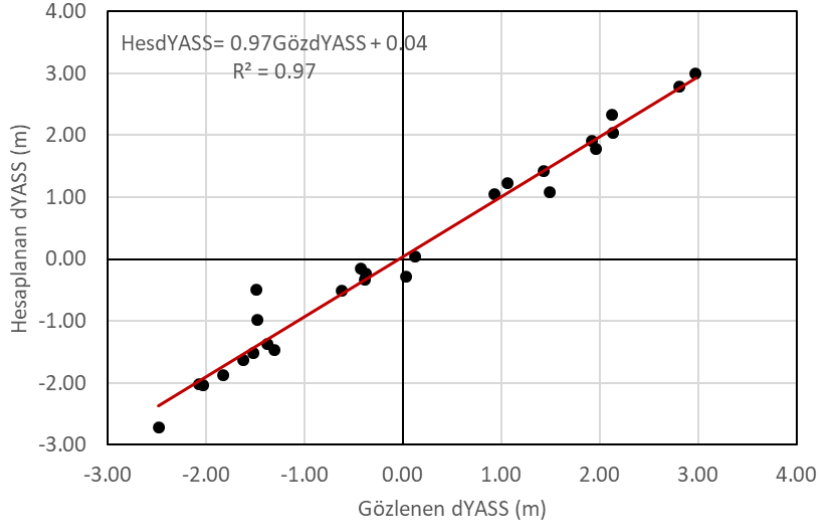
Şekil 14. OYES yöntemiyle pompaj ve dereden beslenme gibi dış etkilere açık sistem varsayımıyla 3926 nolu kuyu için hesaplanan ve gözlenen yeraltısuyu seviyesi dalgalanmaları arasındaki korelasyon.

Figure 14. Regression between observed and calculated groundwater level fluctuations in well no 3926, assuming an open system affected by external factors such as pumping and percolation through river bed.



Şekil 15. OYES yöntemiyle pompaj ve dereden beslenme gibi dış etkilere açık sistem varsayımıyla 6512 nolu kuyu için hesaplanan ve gözlenen yeraltısuyu seviyesi dalgalanmaları.

Figure 15. Observed and calculated groundwater level fluctuations in well no 6512, assuming an open system affected by external factors such as pumping and percolation through river bed.



Şekil 16. OYES yöntemiyle pompaj ve dereden beslenme gibi dış etkilere açık sistem varsayımıyla 6512 nolu kuyu için hesaplanan ve gözlenen yeraltısuyu seviyesi dalgalanmaları arasındaki korelasyon.

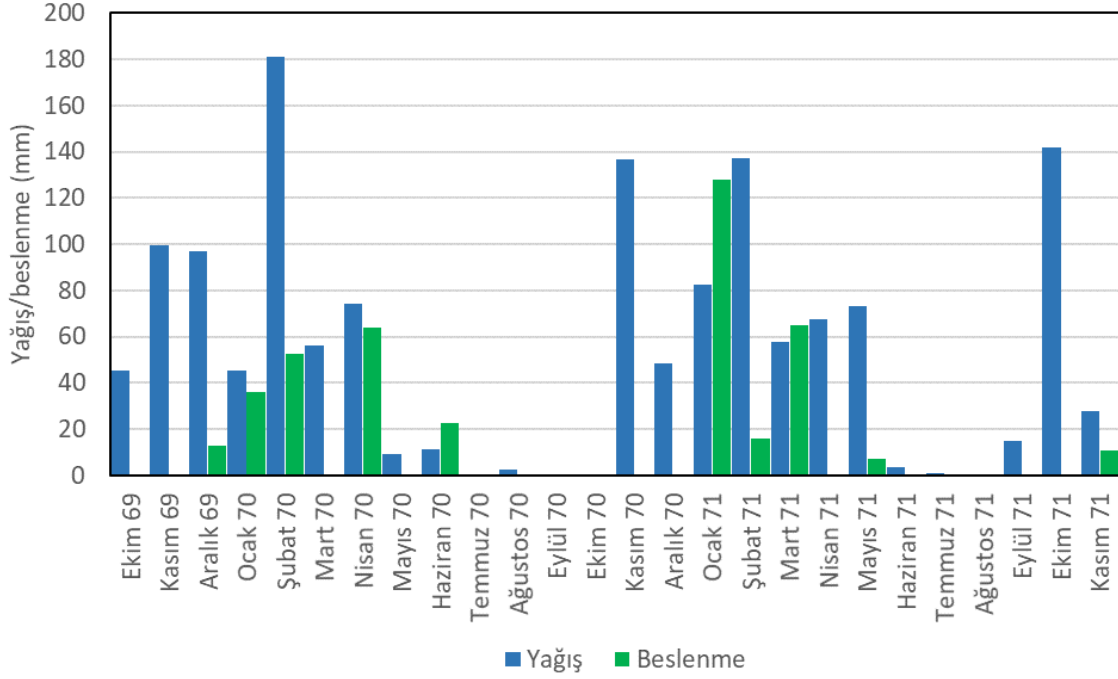
*Figure 16. Regression between observed and calculated groundwater level fluctuations in well no 6512, assuming an open system affected by external factors such as pumping and percolation through river bed.*

Regresyon doğrusunun 1:1 doğrusuna yakın (eğim=0.98) olması söz konusu korelasyonun gözlenen değer ile hesaplanan değer arasındaki uyumun yanı sıra değerlerin de birbirine yakın olduklarını göstermektedir. 3926 nolu kuyudaki durumdan farklı olarak, Şekil 16'da verilen grafiğin negatif sapmaların yer aldığı kesimde dağınıklığın daha yüksek oranda olduğu görülmektedir. Bu durum, 6512 nolu kuyuda pompaj etkisinin, kuyunun konumu nedeniyle daha karmaşık süreçlere bağlı olduğu şeklinde değerlendirilebilir.

### **Yıllık Beslenme Miktarının Kestirimi**

Yeraltısuyu seviyesindeki değişimlere neden olan dış etkilerin de dikkate alınması, yağıştan doğrudan beslenme miktarının daha gerçekçi bir şekilde belirlenebilmesini sağlamaktadır. Bu çalışmada yeraltısuyu seviyeleri Gazipaşa Meteoroloji İstasyonunda kaydedilen yağışlarla birlikte analiz edilen 3926 ve 6512 nolu gözlem kuyuları için yapılan hesaplamalar, eşitlik (10)'dan yararlanılarak beslenme hesabında kullanılmıştır. Aylık ölçekte hesaplanan beslenme miktarı, aylık toplam

yağışlarla Şekil 17’de gösterilmiştir. Şekilde verilen sütun grafikte, toplam aylık yağışlar ile beslenme miktarı arasında doğrusal bir ilişkinin bulunmadığı görülmektedir. Bu durum 2 temel nedenden kaynaklanmaktadır: 1) yağışların doymun zona ulaşması için geçen süre (gecikme süresi=2 ay) , 2) beslenmeye etki eden yağış döneminin 3 ay sürmesi (kısa dönem hafıza etkisi).



Şekil 17. Çalışma alanında yağıştan doğrudan beslenme miktarı ve toplam yağışların aylara göre dağılımı.

*Figure 17. Distribution of monthly total rainfall and the calculated direct recharge from rainfall in the study area.*

OYES yaklaşımında, gecikmenin olmadığı (gecikme süresi 0 ay) ve beslenmenin sadece ilgili ayda düşen yağıştan gerçekleştiği (kısa dönem hafıza = 1 ay) duruma uygun sistemlerde, beslenme ile toplam yağışlar arasında daha yüksek bir korelasyon elde edilebilir. Yeraltısuyu seviyelerindeki değişimlerin ortalama yağıştan eklenik sapmadan yola çıkılarak türetildiği OYES yaklaşımında, gecikme süresi ile beslenme dönemi uzunluğu optimizasyonu ile, incelenen yeraltısuyu sisteminin dış etkilere açık olup olmadığı, beslenmede etkili olan yağışlar ile yağışların doymun zona ulaşma süreleri ile ilgili değerlendirmeleri yapmak mümkün olabilmektedir. Bu değerlendirmeler, yeraltısuyu sistemine ait hidrojeolojik kavramsal modelin temsil edici olma niteliğini arttıracak bilgiler sağlamaktadır.

Çalışma alanı için yapılan beslenme miktarı hesaplamaları sonucunda 1970 su yılında toplam yağış 622.3 mm, yıllık toplam beslenme miktarı ise 108 mm bulunmuştur. 1971 su yılı için toplam yıllık yağış 623.7 mm, yıllık toplam beslenme miktarı ise 113.5 mm olarak hesaplanmıştır. Aylık ölçekte, değişeceği gözönünde bulundurularak, bu değerlere göre yağıştan yıllık beslenmenin, 1970 ve 1971 su yılları için toplam yağışın sırasıyla %17.4 ve %18.2'i (ortalama % 17.8) oranında gerçekleştiği anlaşılmaktadır.

Bu değer, DSİ (1973) tarafından yeraltısuyu bütçesi hesaplamalarında kullanılan Thorthwaite-Mather yöntemiyle elde edilen değerden (182 mm/yıl) ortalama % 40 oranında daha düşüktür.

## SONUÇLAR

Yeraltısuyu kaynakları potansiyelinin yıllık değişiminin belirlenmesinde ihtiyaç duyulan yağıştan doğrudan beslenme miktarının kestirilmesi, mevcut yöntemlerin içerdiği belirsizlikler nedeniyle hidrojeoloji mühendisliğinin en güç konularından biridir. Yeraltısuyu seviyesinin su yılı boyunca değişiminden yararlanan hesaplama yöntemlerinin temelinde bulunan akiferin “dış etkilerden bağımsız, kapalı bir sistem olarak davrandığı” geçerliliği doğal sistemlerde genellikle sorgulanabilir bir varsayımdır. Bu nedenle, bu tür hesaplamalarda öncelikle gözlenen yeraltısuyu seviyelerinin yağış, akarsu yataklarından sızma gibi beslenme ve doğal ve/veya pompajla boşalım ile olan ilişkilerinin irdelenmesi gerekmektedir. Kısaca ortalama yağıştan eklenik sapma olarak adlandırılan yaklaşımla, öncelikle yağışların yeraltısuyu seviye değişimine olan etkileri dikkate alınarak yeraltısuyu seviyelerindeki sapmaların türetilbileceği ortaya konmuştur. Bu şekilde türetilen yeraltısuyu seviye değişimleri ile gözlenen yeraltısuyu seviye değişimleri arasındaki korelasyon düzeyine bağlı olarak incelenen yeraltısuyu sisteminin dış etkilere açık veya kapalı olma durumu tanımlanabilmektedir. Açık sistem olması durumunda, bu yaklaşımla gözlenen yeraltısuyu seviye değişimlerinin yüksek korelasyonla türetilmesi ve dış etkilerin düzeyinin tahmin edilebilmesi mümkün olmaktadır. Yeraltısuyu seviyesindeki değişim, aynı zamanda doygun zondaki hacim değişimi anlamına geldiğinden, akifer



alanı ve depolama katsayısı/özgül verim değerlerinden yağışların doymun zona kattığı su hacminin de hesaplanması olanaklıdır. Bu şekilde, aylık veya yıllık toplam yağışlardan meydana gelen beslenme hesaplanabilmektedir. Yöntem, yağışların doymun zona ulaşma süresi olarak tanımlanabilecek “gecikme süresi” ve “beslenmenin geriye doğru hangi yağışların etkisinde kaldığı” (beslenme dönemi-kısa dönem hafıza) konusunda da değerlendirme yapma olanağı vermektedir.

Antalya-Gazipaşa ovası akiferinde DSİ tarafından izlenen iki gözlem kuyusu verileri kullanılarak uygulanan yaklaşımla gözlenen yeraltısuyu seviye değişimleri %98’lik bir korelasyonla yağışlardan itibaren türetilenmiştir. Yapılan optimizasyon ile Gazipaşa ovası akiferinin, gerek dere yatağından/alüvyon yelpazesinden sızma, gerekse doğal boşalım/pompajla çekim gibi dış etkiler nedeniyle bir açık sistem oluşturduğu sonucuna varılmıştır. Benzer şekilde, yağışların yeraltısuyu seviyelerine etkileri 2 ay gecikmeyle gerçekleşmekte ve beslenme geriye doğru 3 aylık dönemde meydana gelen yağışlardan kaynaklanmaktadır. Yıllık beslenme miktarı ise toplam yıllık yağışların % 18’i oranında gerçekleşmektedir. DSİ (1973)’e göre yağıştan doğrudan beslenme toplam yağışın yaklaşık % 25’i kadardır. İki yöntem arasındaki fark % 40 düzeyindedir.

Örnek uygulamada, ortalama yağışlardan eklenik sapma yöntemi uygulandığında, beslenme miktarının tahmin edilmesinin yanı sıra akiferin ortalama özgül verimi, yeraltısuyu sisteminin sınır koşulları ve hidrojeolojik davranışı ile dış etkilere karşı tepkilerinin şiddeti ve zamanı ile ilgili olarak da önemli bilgiler elde edilebilmektedir. Bu bilgiler ışığında, iklim değişiklikleri ve/veya yeraltısuyu işletmeleri nedeniyle pompaj programında yapılacak değişikliklerin yeraltısuyu sisteminde yaratacağı birleşik etkilerin kestirilmesi söz konusu olabilmektedir.

## **TEŞEKKÜR**

Yapıcı eleştirilerini hızlı bir şekilde sağlayan hakemler değerli görüş ve önerileriyle makalenin anlaşılabilirliğini arttırmışlardır. Yazarlar, bu katkıları nedeniyle hakemlere, ve basım sürecinde yardım ve çabalarını esirgemeyen Editör Sayın Prof. Dr. M. Tekin YÜRÜR ile Teknik Editör Sayın Dr. Gülbanu TEKBULUT’a teşekkür ederler.

## KAYNAKLAR

- Bear, B., 1979. *Hydraulics of Groundwater*. McGraw-Hill, Inc., New York.
- Beekman H.E, Xu Y. 2003. Review of groundwater recharge estimation in arid and semi-arid southern Africa. In: Xu Y and Beekman HE (eds.) *Groundwater Recharge Estimation in Southern Africa*. UNESCO International Hydrological Programme, Paris.
- Botha L.J., and Bredenkamp, D.B., 1993. Lichtenburg: a case study incorporating the cumulative rainfall departures. Technical Report, Directorate Geohydrology, Dept. of Water Affairs, Pretoria.
- Bozan Ç., 2018. Gazipaşa Kıyı Ovasının Hidrojeolojik İncelemesi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara (yayımlanmamış).
- Bredenkamp, D.B., Botha, L.J., Van Tonder, G.J. and Van Rensburg, H.J. 1995. Manual on quantitative estimation of groundwater recharge and aquifer storativity: Based on practical hydro-logical methods. Water Research Commission, rapor no. 353. Pretoria, İngilizce. DSİ, 1973. Gazipaşa Ovası hidrojeolojik etüt raporu. Ankara (yayımlanmamış).
- DSİ, 1964. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Gazipaşa Ovası rezerv raporu, Ankara (yayımlanmamış, Türkçe).
- DSİ, 1973. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Gazipaşa Ovası hidrojeolojik etüt raporu. Ankara (yayımlanmamış, Türkçe).
- Ekmekçi, M., 2015. Yeraltısuyu potansiyelinin belirlenmesi: Su bilançosu yaklaşımları. DSİ Jeoteknik ve Yeraltısuları Dairesi Başkanlığı Yeraltısuları Semineri, İstanbul.
- Freeze, R. A., Cherry, J.A., 1979. *Groundwater*. Prentice-Hall, NJ.
- Gieske A., 1992. Dynamics of Groundwater Recharge, Ph. D. Thesis, Free University, Amsterdam (yayımlanmamış).
- Jacob, C.E., 1944. Correlation of groundwater levels on Long Island, New York. *Transactions American Geophysical Union*, Vol. 25, 928-939.
- Keleş, A., 1996. Gazipaşa (Antalya) Ovası hidrojeoloji incelemesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta (yayımlanmamış).

- Kinzelbach, W., Aeschbach, W., Alberich, C., Goni, I.B., Beyerle U., Brunner, P., Chiang, W-H., Rueedi, J. and Zoellmann, K., 2002. A Survey of methods for groundwater Recharge in arid and semi-arid regions. Early Warning and Assessment Report Series, UNEP/DEWAR/RS.02-2. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.
- Korkmaz, N., 1978. Akiferlerde su seviye rasatlarından faydalanılarak boşalım katsayısının hesaplanması. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara (yayımlanmamış).
- Lerner, D.N., Issar, A.S., Simmers, I. 1990. Groundwater Recharge, IAH, International Contributions to Hydrogeology, 8, Verlag Heinz Heise, Hannover.
- Sharma, M.L., 1989. Groundwater Recharge. Balkema, Rotterdam.
- Simmers, I., 1988. Estimation of Natural Groundwater Recharge. D. Reidel Publishing Company, Dordrecht.
- Sun, X., Xu, Y., Jovanovic, N.Z., Kapangaziwiri, E., Brendonck, L., Bagan, R.D.H., 2013, Application of the rainfall infiltration breakthrough (RIB) model for groundwater recharge estimation in most coastal South Africa. WaterSA, Vol. 39 (2).
- Şen. Z., 2019. Groundwater recharge level estimation from rainfall record probability match methodology. Earth Systems and Environment, 3, 603-612.
- Todd, D. K., 1980. Groundwater Hydrology. John Wiley&Sons, New York.
- Xu, Y. and Van Tonder, G.J., 2001. Estimation of recharge using a revised CRD method. Water SA, Vol.27, No. 3, 341-343.
- Wenzel, L.K., 1936. Several methods of groundwater levels. Transactions American Geophysical Union, Vol.17, 400-405.