

BASINÇLI AKİFER PARAMETRELERİNİN ŞEN EĞİM EŞLEŞTİRME YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ VE RİSK ANALİZİ

Eyüp ŞİŞMAN^{1,2} (ORCID: 0000-0003-3696-9967)*

¹*Istanbul Medipol Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kavacık, 34810, İstanbul.*

²*Istanbul Medipol Üniversitesi, İklim Değişikliği Uygulama ve Araştırma Merkezi (İKLİMER), Kavacık, 34810, İstanbul.*

Geliş / Received: 15.03.2019

Kabul / Accepted: 17.06.2019

ÖZ

Yeraltı jeolojik tabakaları genelde rastgele yapıda olduğundan, akiferlerin potansiyelinin belirlenmesinde kullanılan parametreler konum ve zamanla değişir. Tektür (homojen) ve tekyönlü (izotrop) kabul edilen ortamlarda, bu parametreler varsayımlara bağlı basit matematik modeller yardımıyla ortalama olarak tek bir değere sahiptir. Buna karşın akifer ortamının çok tür (heterojen) ve çok yönlü (anizotropik) olması durumunda, analizler sonucu konum ve zamanla farklı değerlere sahip akifer parametreleri elde edilir. Bu çalışmada Şen eğim eşleştirme yöntemi ile bulunan akifer parametrelerinin farklı değerlerinin aşılma olasılıkları belirlenerek, çeşitli risk seviyelerine göre akifer potansiyeli değerlendirilmiştir. Çalışma alanı için klasik yöntemler kullanılarak bulunan akifer parametreleri ile, bu çalışmaya ait sonuçlar karşılaştırıldığında, klasik analitik ve sayısal yaklaşımlar yerine belli aşılma olasılıkları üzerinden kurulan model grafiklerinin profesyonel ve tecrübeye dayalı değerlendirilmesinin sonuçlarının daha anlamlı olduğu görülmektedir.

Anahtar kelimeler: Basınçlı akifer, iletkenlik katsayısı, depolama katsayısı, Şen eğim eşleştirme yöntemi, risk analizi

DETERMINATION OF CONFINED AQUIFER PARAMETERS USING ŞEN SLOPE MATCHING METHOD AND RISK ANALYSIS

ABSTRACT

The parameters which are used in the determination of the aquifer potential vary according to the location and time because of the random nature of the underground geological layers. In the settings which are assumed as homogeneous and isotropic, these parameters can be determined on average as a single value, using simple mathematical models, which are based on the assumptions. On the other hand, if the aquifer is heterogeneous and anisotropic, as a result of the analysis, aquifer parameters with different values at each special location and time are obtained. In this study, the exceedance probabilities of the different parameter values, which were found by the Şen curve matching method, were determined and the aquifer potential was evaluated according to various risk levels. The professional and based-on-experience evaluation of the model graphs that were set on the specific exceedance probabilities instead of the classical analytical and numerical approaches is seen more meaningful once the aquifer parameters that were found using the classical methods for the field of study is compared to the results that belong to this study.

Keywords: Confined aquifer, transmissivity coefficient, storage coefficient, Şen slope matching method, risk analysis

*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 216 681 56 20; e-mail / e-posta: esisman@medipol.edu.tr

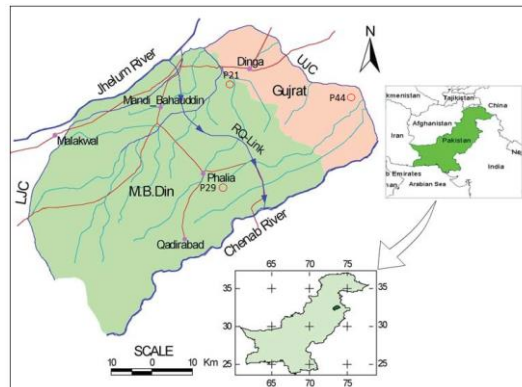
1. GİRİŞ

Yeraltı suları dünyada pek çok ülkede stratejik açıdan çok önemli su kaynağıdır. Yeraltı sularının potansiyelinin doğru şekilde belirlenerek işletilmesi için kullanılacak yöntem karar verilmesi, uzmanlar açısından en önemli adımlardan birisidir. Konuyla ilgili geliştirilen klasik yaklaşımlarda akifer türlerine, her bir akiferin geometrisine ve suyun temin edildiği kuyuların tasarım ve şekline göre kabullerde bulunularak çeşitli modeller geliştirilmiştir. Literatüre baktığımızda ilk çalışma olarak karşımıza, 1856 yılında Henry Darcy tarafından sunulan, gözenekli ortamlarda geçerli Darcy kanunu çıkmaktadır [1]. Sonrasında yapılan çalışmalar incelendiğinde, benzer konunun üzerinden geliştirilmiş çok sayıda yeni araştırmaya rastlanılmaktadır [2-8]. Yeraltı suyu potansiyelinin belirlenmesinde dengeli akım şartları yanında, dengesiz akım şartları da araştırılmıştır. İlk olarak basınçlı akiferlerde dengesiz yeraltı suyu akımıyla ilgili yeni bir model yaklaşımı Theis tarafından ortaya konulmuştur [9]. Akifer potansiyelinin belirlenmesi için akifer parametrelerini matematik denklemlerden ziyade geometrik şekil bilgisi üzerinden bir grafik ile çözüme ulaştıran model önerisinde bulunmuştur. Sonrasında bu model üzerinden farklı yaklaşımlarda bulunularak bu konu çevresinde pek çok araştırmaya imza atılmıştır [10-12]. Tektür (homojen) ve tek yönlü (izotrop) ortamlar için geçerli olan ve pek çok kısıtlayıcı kabule bağlı bu yaklaşımların kullanımı çok tür ve çok yönlü ortamlar için geçerli değildir. Şen [13] tarafından önerilen ve bu araştırma çalışması için seçilen eğim eşleştirme yöntemi, akifer ortamları için kolaylıkla anlaşılabilir ve aynı zamanda pek çok akifer tip eğrisi içinde kullanılabilir basit ve yenilikçi bir yaklaşımdır. Yöntemin kullanımına kuyu sınamalarına (testlerine) ait ilk iki düşünme-zaman verisinin belirlenmesiyle başlanabilir. İlk parametre tahminleri bu veriler üzerinden yapılır. Sonrasında her bir ilave okuma ile hesaplar tekrarlanarak akifer parametreleri bulunur. Sonuç olarak akifer veriminin (potansiyelinin) belirlenmesi için elimizde idealleştirilen ortam için geçerli tek bir akifer parametresi değeri yerine, doğal ortam özelliği ile değişkenlik gösteren çok sayıda parametre değeri vardır. Bu model yaklaşımı sayesinde parametrelerin ve belirsizliklerin istatistiksel ve olasılıksal yaklaşımlar ile yorumlanıp, değerlendirilmesinin önü açılmıştır. Yeraltı suyu çalışmalarında basit olasılık ve istatistik risk hesaplama yaklaşımı ilk olarak Şen tarafından 1986 senesinde ortaya konulmuştur. Sonrasında benzer model yaklaşımına bağlı risk çözümlemesi çok sayıda çalışmada kullanılmıştır [14-17].

Bu çalışmanın amacı akifer potansiyelini klasik yaklaşımlardan daha esnek bir yöntem ile belirlemektir. Makalede, genel itibarı ile Şen eğim eşleştirme (1986) yöntemi bir arazi verisi üzerinde kullanılarak, akifer parametre tahminlerinde risk faktörü de hesaba katılmıştır. Elde edilen sonuçlar, oldukça tatminkâr olup, akifer parametre çalışmalarında risk hesabının yapılmasını önemli kılmaktadır.

2. ÇALIŞMA ALANI VE VERİLER

Bu çalışmada kullanılmak için seçilen veriler bilimsel pek çok yayında da kullanılan Pakistan'ın Chaj Doab bölgesindeki kuyu pompaj tecrübelerinden elde edilmiştir. Bölgeye ait temsili harita ve bu araştırmanın uygulama kısmı için seçilen P29 numaralı ana pompaj kuyusunun genel yerleşimdeki konumu Şekil 1'de görülmektedir. Kuyu yerleşimi Chenab nehrine yakın konumlanmıştır. Chaj Doab bölgesi boylam olarak $74^{\circ} 30'$ E ve $72^{\circ} 10'$ E ve enlem olarak $31^{\circ} 00' N$ ve $33^{\circ} 00' N$ arasında yer alır.

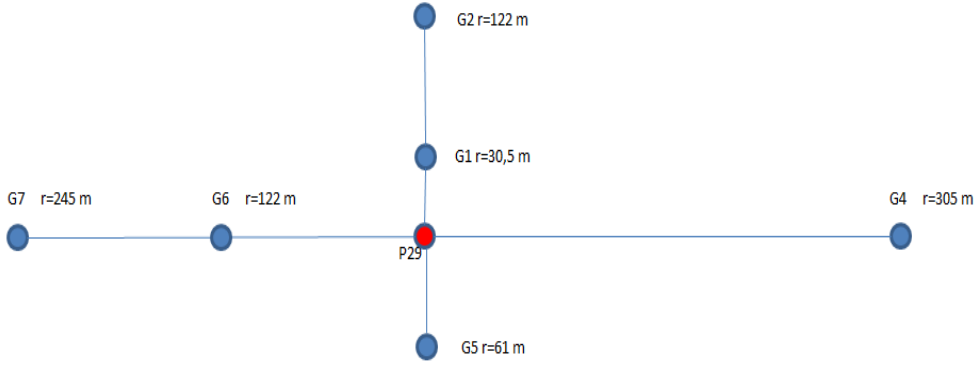


Şekil 1. Chaj Doab Bölgesi ana yerleşim planı [20]

BASINÇLI AKİFER PARAMETRELERİNİN ŞEN EĞİM EŞLEŞTİRME YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ VE RİSK ANALİZİ

P29 numaralı ana pompaj kuyusu ve akifer sınamaları (testleri) için hazırlanmış 6 gözlem kuyusuna ait yerleşim planı Şekil 2’ de görülmektedir. Akifer iletkenlik ve depolama katsayılarını belirlemek için, ana kuyuda pompaj yapılarak gözlem kuyularında zaman düşüm ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Su ve Toprak Araştırma Merkezi ile Su ve Güç Geliştirme Merkezlerinin çalışmaları sonucunda akifer sınamaları tamamlanmıştır. Bölgede tarım faaliyetlerinin sürdürülebilmesi için yeraltı sularına ihtiyaç duyulmaktadır. Nehirlerden ve mevsimlik yağışlardan temin edilen su miktarı kısıtlı olduğu için sürdürülebilir tarımsal faaliyetleri açısından yeraltı sularının kullanımı kritik öneme sahiptir. Yeraltı jeolojik yapısının depolama alanı boyunca farklılık göstermesi sebebiyle yeraltı suyu veriminin belirlenmesinde ve yeraltı suyunun işletilmesinde klasik yaklaşımların kullanılması tecrübe ile sınanmalıdır. Yaz mevsiminde muson yağışları görülmekte olup, yağışların görüldüğü aylar Temmuz, Ağustos ve Eylül’dür. Bölgenin iklim özellikleri dikkate alındığında yeraltı suyunun zaman içerisindeki beslenmesinden kaynaklı farklılık da akifer parametrelerinin farklılaşmasına neden olmaktadır. Bölgenin su toplama havzasının güney kısmında yıllık ortalama 12 cm, kuzey kesiminde ise ortalama 50 cm yağış gözlenir [18-19].



Şekil 2. P29 numaralı ana kuyu ve gözlem kuyuları planı [20]

3. ŞEN EĞİM EŞLEŞTİRME YÖNTEMİ VE RİSK ANALİZİ

Akiferlerde depolanan suyun miktarı ve taneler arasından suyun geçme özellikleri iletim (T) ve depolama (S) katsayılarının öngörülmesiyle mümkündür. Akifer parametrelerinin belirlenmesi için, belli standartlarda arazi testleri yapılarak ölçüme dayalı veriler (zaman-düşüm) elde edilir. Elde edilen verilerin bünyesindeki bilgiler uygun modeller yardımıyla açığa çıkarılır. Klasik yaklaşımlar ile elde edilen sonuçları, genelde ortalama olarak tek bir sayısal değere karşılık gelmektedir. Doğal akiferler içerisinde klasik yaklaşımlar da ifade edildiği şekilde tektür, eşit yönlü, eşit kalınlıkta ve sonsuz uzanımlı yeraltı yapısına nadiren rastlanır.

Akifer parametrelerinin bulunması için ihtiyaç duyulan pompaj sınamalarına bağlı olarak su temin edildikçe zaman içerisinde düşüm konisi sürekli genişler ve bu hayali koninin gelişimi ile akifer parametrelerinin değişimi arasında bir matematiksel ilişki kurulabilir. Şen (1986) bu problemin çözümü ve akifer parametrelerinin bulunması konusunda Theis tip eğrisinin eğim değerleriyle düşüm-zaman verilerinden elde edilen eğim değerlerini eşleştirerek bir model önerisinde bulunmuştur.

Şen eğim eşleştirme (çakıştırma) metodolojisinin uygulamasına başlamak için ardışık iki zamana ait düşüm verisinin bulunması yeterlidir. Akifer testlerinde zaman aralıkları hayali düşüm eğrisinin gelişimi göz önünde bulundurularak pompajın başında kısa, düşüm konisinin geometrik değişiminin yavaşladığı pompajın ilerleyen döneminde ise uzun seçilebilir. Düşüm konisi eğiminin belirlenebilmesi için farkların hesaplanabileceği ardışık zaman-düşüm ölçümlerin bilinmesi ile birlikte depolama ve iletme ait akifer parametreleri hesap edilir. Şen modeli çözümlenmesi ile akifer parametrelerinin zamanla değişimi de ortaya konulmaktadır. Şen Theis teorik eğrisini kullanarak α analitik eğim eşitliği 1 numaralı denklem ile tanımlanmıştır. Şen tarafından Theis tip eğrisi kullanılarak elde edilen eğim eşleştirme yöntemi eğim değerleri Tablo 1’ de yer almaktadır.

$$\alpha = \frac{e^{-u}}{W(u)} \quad (1)$$

Tablo 1. Şen Eğim Eşleştirme Yöntemi Eğimleri (α) [13]

| u | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|---------|
| $x10^0$ | -1,680 | -2,762 | -3,830 | -4,820 | -6,125 | -6,885 | -7,599 | -8,828 | -10,284 |
| $x10^{-1}$ | -0,497 | -0,671 | -0,814 | -0,958 | -1,103 | -1,220 | -1,342 | -1,449 | -1,564 |
| $x10^{-2}$ | -0,245 | -0,293 | -0,328 | -0,372 | -0,385 | -0,409 | -0,0434 | -0,455 | -0,476 |
| $x10^{-3}$ | -0,158 | -0,177 | -0,191 | -0,201 | -0,210 | -0,219 | -0,226 | -0,233 | -0,239 |
| $x10^{-4}$ | -0,116 | -0,126 | -0,133 | -0,138 | -0,142 | -0,146 | -0,149 | -0,153 | -0,155 |
| $x10^{-5}$ | -0,091 | -0,098 | -0,102 | -0,105 | -0,107 | -0,109 | -0,111 | -0,113 | -0,114 |
| $x10^{-6}$ | -0,076 | -0,080 | -0,082 | -0,084 | -0,086 | -0,087 | -0,089 | -0,090 | -0,091 |
| $x10^{-7}$ | -0,064 | -0,067 | -0,069 | -0,071 | -0,072 | -0,073 | -0,074 | -0,074 | -0,075 |
| $x10^{-8}$ | -0,056 | -0,058 | -0,060 | -0,061 | -0,062 | -0,062 | -0,063 | -0,063 | -0,064 |
| $x10^{-9}$ | -0,050 | -0,051 | -0,052 | -0,053 | -0,054 | -0,054 | -0,055 | -0,055 | -0,056 |
| $x10^{-10}$ | -0,045 | -0,046 | -0,047 | -0,047 | -0,048 | -0,048 | -0,049 | -0,049 | -0,049 |
| $x10^{-11}$ | -0,040 | -0,042 | -0,042 | -0,043 | -0,043 | -0,044 | -0,044 | -0,044 | -0,044 |
| $x10^{-12}$ | -0,037 | -0,038 | -0,039 | -0,039 | -0,039 | -0,040 | -0,040 | -0,040 | -0,040 |
| $x10^{-13}$ | -0,034 | -0,035 | -0,035 | -0,036 | -0,036 | -0,036 | -0,036 | -0,037 | -0,037 |
| $x10^{-14}$ | -0,032 | -0,032 | -0,033 | -0,033 | -0,033 | -0,033 | -0,034 | -0,034 | -0,034 |

Şen eğim eşleştirme yönteminin uygulama adımları 5 madde halinde aşağıda sıralanmıştır.

1. Modelin ilk adımında kuyulardaki düşüm-zaman ölçümlerinden 2 numaralı eşitlik yardımıyla eğim değerleri hesaplanır.

$$\alpha = \frac{\ln(s_i/s_{i-1})}{\ln(t_{i-1}/t_i)} \quad (2)$$

2. 2 numaralı denklem ile hesaplanan her bir düşüm konisi eğimine karşı, teorik u değeri Tablo 1' den eşleştirilir. Eğim eşleştirmesinde ara eğim değerleri için ara hesaplama (enterpolasyon) yapılır.
3. İlk iki adımda elde edilen, eğim α ve u değerleri 1 numaralı denklemde yerine konularak kuyu fonksiyonu $W(u)$ hesaplanır.

$$W_i(u) = \frac{e^{-u}}{\alpha_i} \quad (3)$$

4. Theis tarafından geliştirilen 4 ve 5 numaralı akifer parametreleri eşitliklerinden faydalanılarak T ve S akifer parametreleri aşağıda verilen denklemler ve Tablo 1'den yararlanarak hesap edilir.

$$W(u) = \frac{4\pi T}{Q} s(r, t) \quad (4)$$

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

5. Ardışık zaman-düşüm ölçüm verilerinin eklenmesiyle, yukarıda belirtilen ilk dört adımdaki işlemlerin tekrarlanmasıyla her bir zaman için akifer parametreleri T ve S tekrar tekrar hesaplanır.

Akifer parametreleriyle ilgili çok sayıda model çıktı verisinin yorumlanıp değerlendirilmesi için Şen tarafından önerilen olasılık yaklaşımına dayalı ikinci bir model kurgulanmıştır. İhtimal hesaplarının yapılabilmesi, bu hesaplar üzerinden model kurulabilmesi ve değişkenlerin almış olduğu her bir değerlere karşılık gelen ihtimallerin belirlenebilmesi için, o değişkenle ilgili teorik ihtimal yoğunluk fonksiyonunun belirlenebileceği yeter sayıda veriye ihtiyaç vardır. Bu model bölümündeki en önemli noktalardan biri veri kümesindeki her bir değere karşılık aşılma veya aşılmama ihtimallerinin belirlenmesidir. Şen eğim eşleştirme yönteminde hesap sonucu bulunan akifer parametrelerinin risk analizi yaklaşımı ile değerlendirilmesi için sırasıyla aşağıdaki adımların uygulanması gerekir.

- İlk olarak elde edilen n adet model çıktısı veri değerleri en küçükten en büyüğe doğru sıralanır.
- İkinci olarak küçükten başlanarak her bir değere karşılık küçüklük mertebesi değeri $m=1, 2, \dots, n$ belirlenir.
- Bu sıralamadan faydalanılarak aşağıdaki 6 numaralı denklem yardımıyla her bir akifer parametresinin aşılmama ihtimali ortaya konulur. $P(T < T_d)$ ifadesi küçüklük mertebesi m olan değişken değerinin aşılmama ihtimalini gösterir.

$$P(T < T_d) = (m/n+1) \quad (6)$$

- Akifer parametreleri için model sonuçlarının aşılmama (güven) veya aşılma (risk) ihtimallerinin belirlenmesinden sonra saçılma grafiklerinin hazırlanması aşamasına geçilir.
- Saçılma grafiklerinde eksenlerden biri akifer parametresi model sonucunu diğeri aşılma (risk) veya aşılmama (güven) ihtimal değerini gösterir.
- Saçılma grafikleri hazırlanırken Şen eğim eşleştirme model sonucunda bulunan akifer parametresi

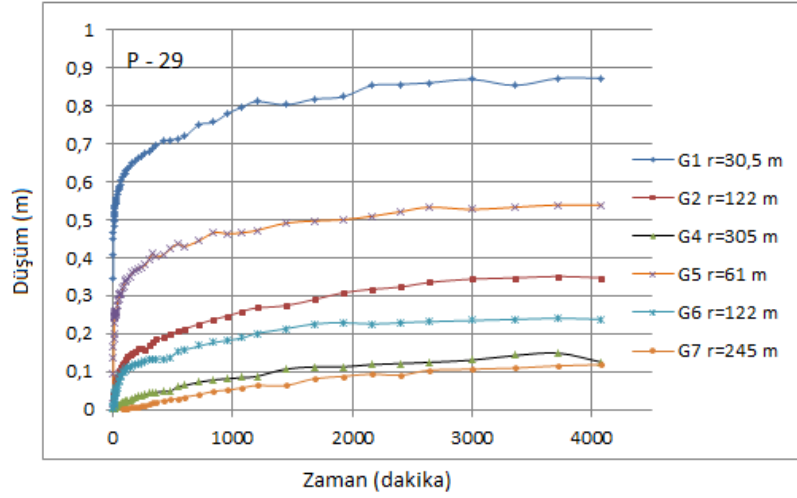
BASINÇLI AKİFER PARAMETRELERİNİN ŞEN EĞİM EŞLEŞTİRME YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ VE RİSK ANALİZİ

değişim aralığına ve her bir model sonucunun ihtimaline göre uygun ölçekte (aritmetik, logaritmik vs) saçılma grafikleri elde edilmelidir.

- MATLAB yazılımı komutları ile Gamma, Lognormal, Extreme Value (Gumbel), Generalized Extreme Value (Pearson III), Weibull ihtimal yoğunluk fonksiyonları arasından belirlenen saçılımlara en uygun olanına, en küçük kareler yöntemi ile karar verilmiştir.

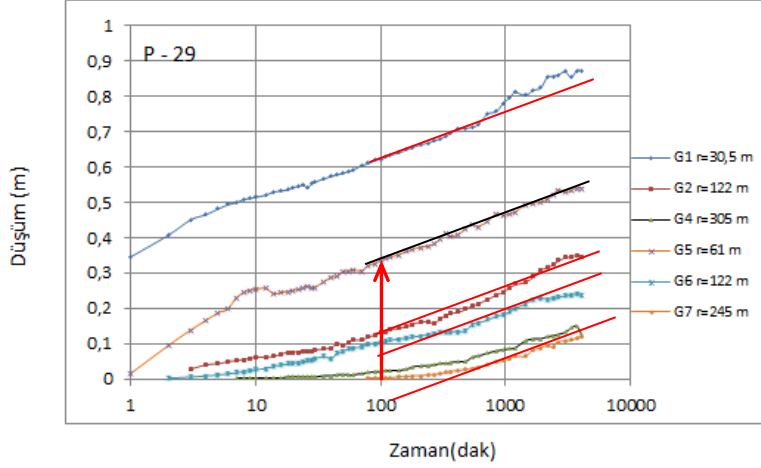
4. MODEL UYGULAMALARI VE BULGULAR**4.1. Arazi Veri Analizleri**

Kuyulardan toplanan verilerin saçılma grafiklerinden istifade edilerek akifer ve kuyularla ilgili ilk değerlendirmelere bu bölümde yer verilmiştir.



Şekil 3. Gözlem kuyuları düşüm-zaman eğrileri (0-4080 dak) [20]

Şekil 3' te verilen grafiklerin yorumlanmasına ilk olarak ana kuyudan eşit mesafede fakat farklı yönlerde yer alan G2 ve G6 gözlem kuyularından başlanabilir. Zamanla düşüm değerlerinin farklılık göstermesinden dolayı akifer malzemesinin çok tür ve farklı yönlü yapıda olduğu anlaşılmaktadır. G2 kuyusunda ölçülen düşümler G6 gözlem kuyusundakine göre büyüktür. Bu durum bize G2 kuyusuna doğru zemin yapısının daha az geçirgen olduğunu söylemektedir. G7 ve G4 gözlem kuyularına ait eğrileri inceleyip yorumladığımızda ise, eş zamanlı ölçümlerde ana kuyuya daha yakın konumda olan G7 gözlem kuyusunda düşüm değerlerinin, daha uzak olan G4 gözlem kuyusu düşüm değerlerinden küçük olduğu görülmektedir. Bu gözlem sonucu da akifer yapısının tektür ve eşit yönlü olmadığını diğer bir göstergesidir. Akifer tektür ve eşit yönlü olsaydı, yakın olan G7 kuyusu düşüm değerleri uzak olan G2' ye göre daha büyük olacaktı. Dolayısıyla G4 gözlem kuyusu çevresindeki zemin geçirgenliği, G7 gözlem kuyusu çevresindeki zemin geçirgenliğinden daha yüksektir [20]. Ayrıca tüm bu değerlendirmelere ilave olarak aynı yöndeki G6 ve G7 ile farklı yönlerdeki G2 ve G4 birlikte değerlendirildiğinde, G6-G7 yönünde zeminin daha geçirgen yapıya sahip olduğu çıkarımında da bulunulabilir [20].



Şekil 4. P29 Gözlem kuyuları düşüm-zaman grafikleri (yarı logaritmik) [20]

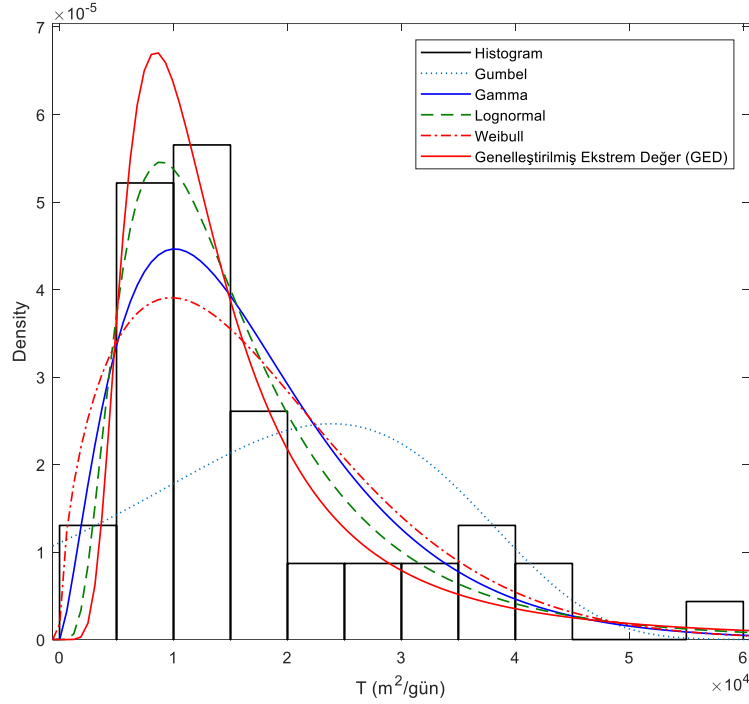
Yeraltı suyu çalışmalarında gözlem kuyularında düşümlerin zamanla olan gidişatının değerlendirilmesi Şekil 4' te görüldüğü gibi düşüm-zaman grafiklerinin yarı logaritmik ölçekte hazırlanan grafikleri üzerinden yapılmıştır. Zaman değerleri logaritmik eksende gösterilmiştir. G2 ve G6 ile G4 ve G7 arasında yapılan değerlendirme bu grafik üzerinden de tekrarlanabilir. Ayrıca klasik zaman-düşüm yaklaşımına göre tektür ve eşit yönlü ortamlarda geç zaman düşüm değerlerinin bir doğru etrafında saçılması beklenmektedir. Ancak şekilden görüldüğü kadarıyla genelde hem ideal doğrular bulunmamakta hem de gözle geçirilen en uygun doğruların her birinin zaman başlangıçları ve aralıkları farklılık göstermektedir. Misal olarak Şekil 4' te görüldüğü gibi yüz dakikalık bir ölçümden sonra, G5 kuyusuna ait geç zaman doğrusu yaklaşık olarak gözle tespit edilmiştir. Şayet akifer tektür ve eşit yönlü olsa, diğer gözlem kuyularında geç zaman düşüm eğrisinin bu doğruya yakın olması beklenir. Ancak aynı doğru yüz dakika üzerinden diğer kuyuların saçılma grafikleri ile eşleştirildiğinde Şekil 4' te görüldüğü gibi farklılıklar açıkça görülmektedir. G7 kuyusunda doğru 1000 dakikalık süreden sonra saçılıma uygun iken, G4 kuyusu geç zaman doğrusu farklı bir eğime sahiptir. Diğer gözlem kuyularında da doğru etrafında noktaların saçılımları fazladır. Buradan çıkan sonuca göre bu tür uygulamalar için klasik analitik ve sayısal yaklaşım yerine olasılık temelli bir yaklaşımın tercih edilmesi uzmanların tecrübelerinin yansıtılmasını da sağlayacaktır. Geç zaman verileri için Şekil 4' te örnek olarak belirlenen doğruların eğimlerinin farklılığı akifer jeolojik yapısının yöne ve konuma bağlı olarak değiştiğinin göstergesidir.

4.2.Şen Eğim Eşleştirme Yöntemi ve Risk Analizi

Belirsizliklerin fazla olduğu akifer ortamlarında, yeraltı suyu veriminin öngörülmesi için kullanılan az sayıda basit analitik çözüm yöntemi vardır. Bunlar içerisinde Şen tarafından geliştirilen eğim eşleştirme yaklaşımı çok türlü ve çok yönlü ortamlar için bu araştırma çalışmasında tercih edilmiştir. Bu yöntem yardımıyla elde edilen çok sayıda parametrenin değerlendirilmesi için istatistik ve olasılık metotlarından faydalanılabilmektedir. Bu sayede analitik ve sayısal yaklaşımlar sonucunda elde edilen tek bir akifer değeri yerine istatistik ve olasılık yaklaşımlarının kullanıldığı uzman görüşü ile desteklenebilen ve profesyonel tecrübenin aktarılabilceği çıkarımların yapılması mümkündür.

P29 ana kuyu pompaj sınavında kuyudan eşit mesafedeki G2 ve G6 gözlem kuyularında gerçekleşen düşüm- zaman okumaları kullanılarak akifer iletim ve depolama katsayısı değerleri Şen eğim yöntemi kullanılarak, geliştirilen bilgisayar programı yardımıyla hesaplanmıştır. Şen eğim eşleştirme yöntemi kullanılarak bulunan akifer parametrelerinin model sonuçları Şişman [20] tarafından yapılan tez çalışmasında yer almaktadır. Her bir kuyu verisinden elde edilen akifer parametresi için teorik ihtimal yoğunluk fonksiyonlarına (İYF' lere) en uygun İYF belirlenerek akifer iletim ve depolama katsayısı risk modelleri çıkarılarak Şekil 6-11 arasında model grafikleri sunulmuştur. Şekil 10 ve 11' de ana kuyudan eşit mesafedeki G2 ve G6 kuyularının iletim ve depolama risk modelleri aynı grafikte kıyaslama için birlikte verilmiştir. Bu modeller konunun uzmanı sahayı tanıyan uzmanların yeraltı suyu konusunda tecrübelerine dayalı yaklaşımlarını aktarabilecekleri hesaplamalara imkân tanımıştır.

BASINÇLI AKİFER PARAMETRELERİNİN ŞEN EĞİM EŞLEŞTİRME YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ VE RİSK ANALİZİ



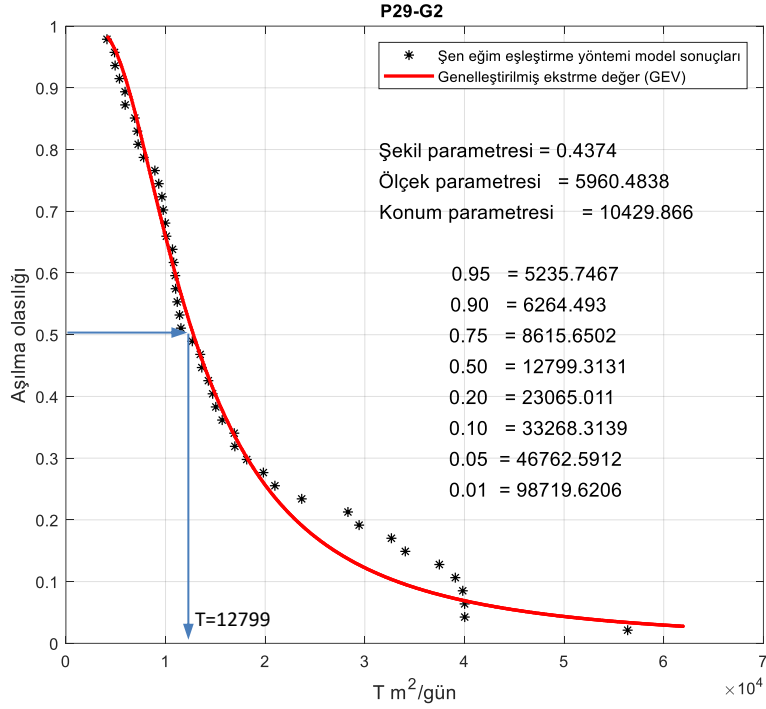
Şekil 5. P29-G2 kuyusu Şen eğim eşleştirme yöntemi model sonuçlarına ait histogram ve teorik olasılık dağılım fonksiyonları

Tablo 2. P29/G2 kuyusu verileri için olasılık dağılım fonksiyonu seçim tablosu

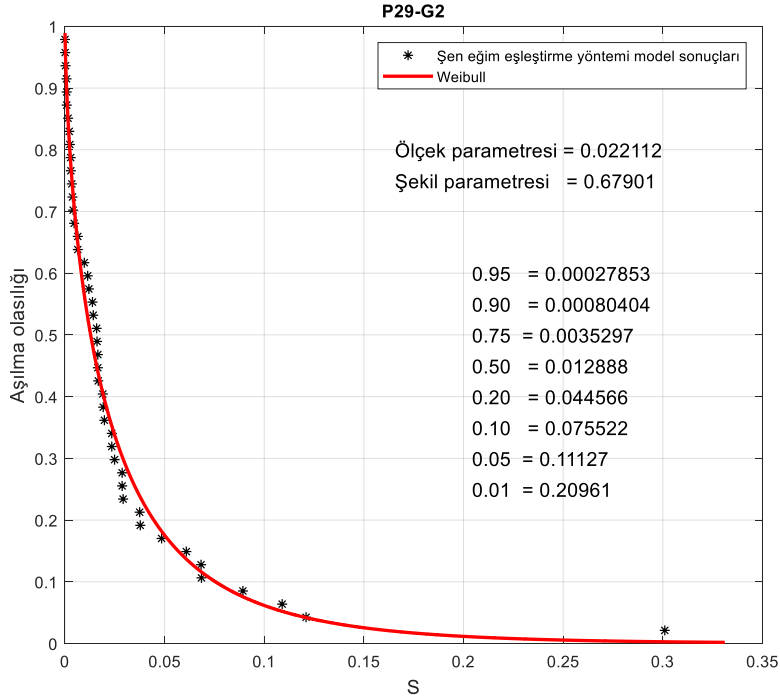
| Olasılık Dağılım Fonksiyonu | Log likelihood | Dağılımın fonksiyonu ortalaması | Dağılım fonksiyonu varyansı |
|-----------------------------|----------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Gumbel | -508.793 | 15260 | $3.66 \cdot 10^8$ |
| Gamma | -486.344 | 17151 | $1.21 \cdot 10^8$ |
| Lognormal | -484.033 | 17120 | $1.59 \cdot 10^8$ |
| Weibull | -488.166 | 17314 | $1.31 \cdot 10^8$ |
| GED | -483.801 | 18356 | $9.32 \cdot 10^8$ |

Model sonuçlarına bağlı olasılık model grafiklerine geçmeden, G2 kuyusuna göre bulunan iletim katsayılarının histogramı ve teorik İYF' ler Şekil 5' de verilmiştir. Gözle değerlendirme yapıldığında Genelleştirilmiş Ekstrem Değer (GED) ve Lognormal İYF' lerinin histograma en uygun olduğu görülmüştür. Matlab yazılımı kullanılarak teorik İYF' leri ile verilerimiz için geçerli Log likelihood (Logaritmik olabilirlik) değerlerine bakıldığında Tablo 2' den görüldüğü gibi GEV ve Lognormal fonksiyonlar ön plana çıkmaktadır.

E. ŞİŞMAN



Şekil 6. P29-G2 kuyusu akifer iletim katsayısının aşılma olasılıkları

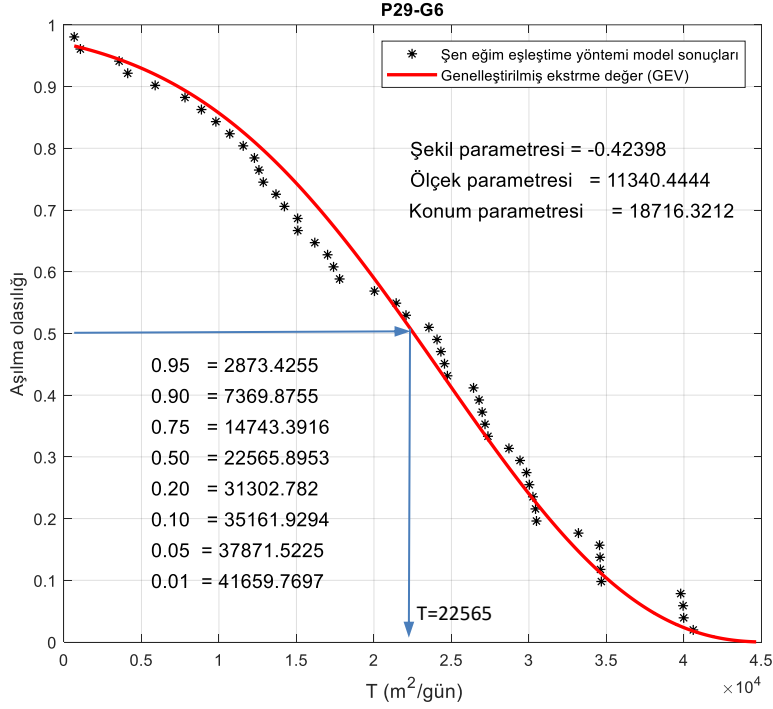


Şekil 7. P29-G2 kuyusu akifer depolama katsayısının aşılma olasılıkları

P29 numaralı ana kuyuda pompaja başlandıktan sonra G2 gözlem kuyusunda gerçekleştirilen okumalar sonrası elde edilen düşüm-zaman verileri Şen eğim eşleştirme yöntemi yardımıyla işlenmiş ve model sonucu bulunan her bir akifer parametresi değeri için Şekil 6 ve 7 de görülen aşılma olasılığı (risk) grafikleri hazırlanmıştır.

BASINÇLI AKİFER PARAMETRELERİNİN ŞEN EĞİM EŞLEŞTİRME YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ VE RİSK ANALİZİ

İletim katsayısı parametresinin İYF GEV fonksiyonu ile akiferin depolama sabiti Weibull fonksiyonu ile ifade edilmiştir. Grafik üzerinde belli aşılma olasılıklarına karşı (95, 90, 75, 50, 20, 10 vb.) akifer parametrelerinin değerleri öngörülmüştür. Farklı risk seviyeleri için hazırlanan grafikler yardımıyla akifer parametreleri bulunabilir. Risk seviyesi uzman kişiye ve onun tecrübesine bağlı olarak değişiklik gösterir. Bu akifer veriminin belirlenmesinde yapılan araştırmalar için bir fayda sağlamaktadır. Analitik ve sayısal yaklaşımlarda ortaya çıkabilecek büyük hatalar su dengesi eşitliklerini önemli derecede etkilemektedir.

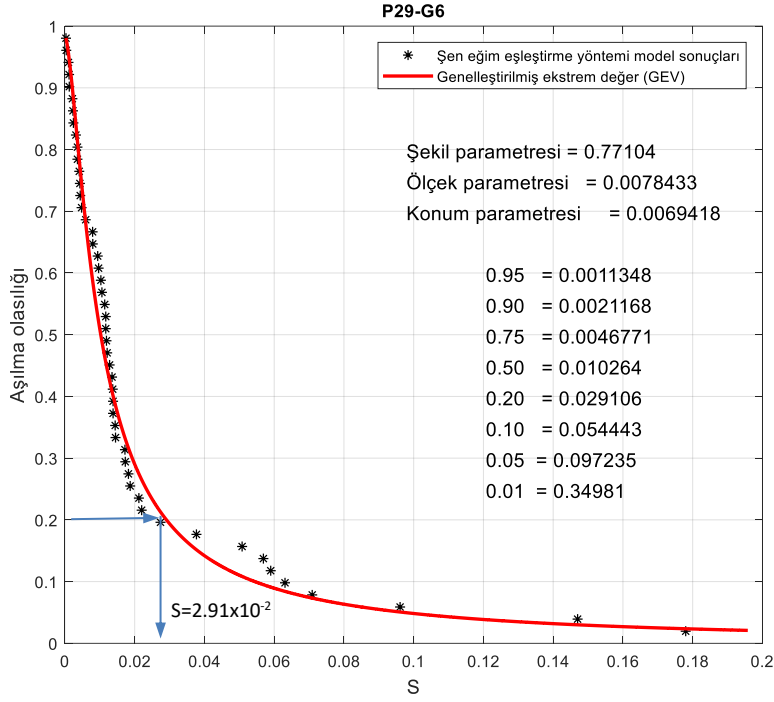


Şekil 8. P29-G6 kuyusu akifer iletim katsayısının aşılma olasılıkları

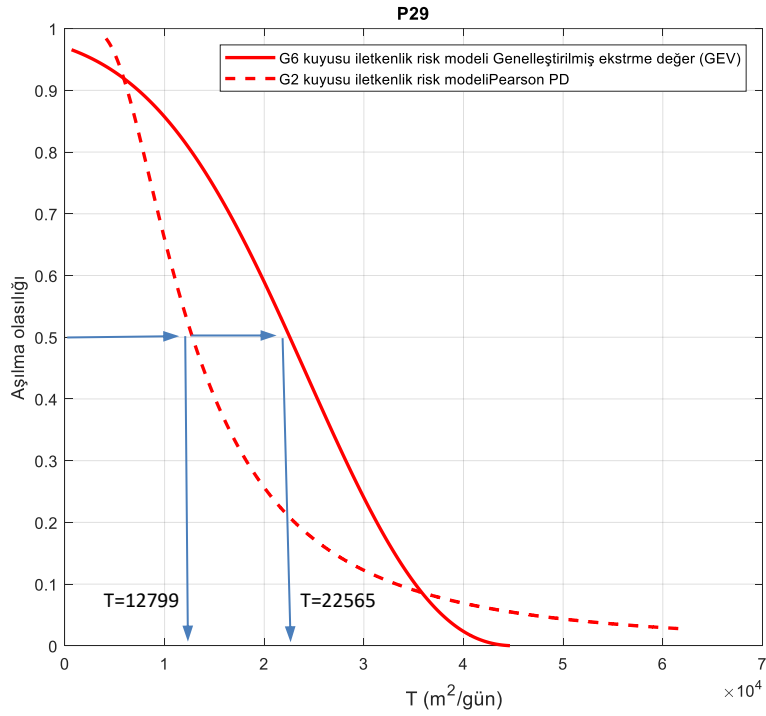
P29 ana kuyusundaki pompaj ile bağlantılı bir diğer kuyu olan G6' ya göre iletim ve depolama katsayısı risk modelleri Şekil 8 ve 9'da görülmektedir. Ortalama bir tahmin değeri olan %50 aşılma olasılığına göre bir değerlendirme yapıldığında, akiferin iletim katsayısının 22,565 m²/gün olduğu tahmin edilmektedir. Bu akiferin oldukça yüksek verime sahip olduğunu göstermektedir. Yine %50' lik bir risk seviyesi için depolama katsayısı kabul edilip buna göre planlamalar yapılabilir. Bunun yanı sıra Şekil 9' daki eğriden görüldüğü gibi %20' lik bir risk seviyesi de çok daha anlamlı olabilir. Bunun kararı kolaylıkla uzman görüşüne başvurularak ortaya konulabilir.

Olasılıkçı yaklaşımlar sonucu ortaya konulan akifer iletkenlik ve depolama katsayıları risk modeli için teorik eğriler Şekil 10 ve 11' de aynı grafik üzerinde sunulmuştur. Uygulama için seçilen akiferde ana kuyudan eşit mesafede gözlem kuyularından alınan veriler işlenerek ortaya konulan akifer parametreleri model sonuçlarının, belli risk seviyeleri arasında farklılaşması grafiklerden görülmektedir. Klasik yaklaşımlar tek bir değer üzerinden değerlendirmeye giderken, olasılıkçı yaklaşımın faydaları bu şekillerin yorumlanması ile ortaya konulabilir. Akifer parametrelerinin geniş bir aralıkta değerler alması diğer taraftan klasik yaklaşımları benimsemiş uzmanlar için de güçlük çıkarabilir. Şekil 10 üzerinde G6 gözlem kuyusunun tahminlerine göre akifer iletkenlik değerleri, G2 gözlem sonuçlarına göre çok daha yüksektir. Depolama katsayısı için ise %100-%50 risk aralığında her iki kuyu sonuçları depolama katsayısı ortak iken %50-%0 aralığında model sonuçları farklılaşmaktadır.

E. ŞİŞMAN

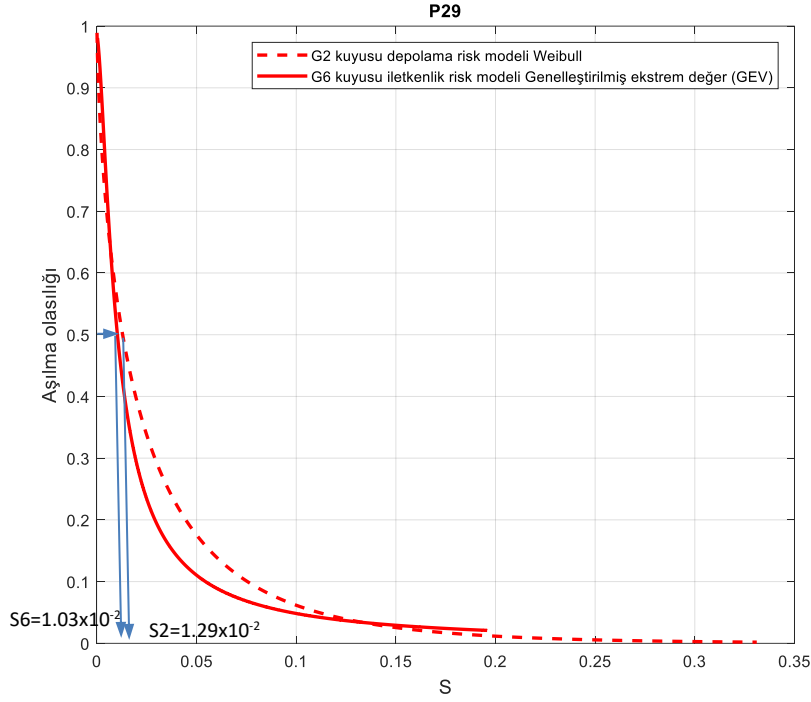


Şekil 9. P29-G6 kuyusu akifer depolama katsayısının aşılma olasılıkları



Şekil 10. P29-G2 ve G6 kuyusu akifer iletkenlik risk modeli

BASINÇLI AKİFER PARAMETRELERİNİN ŞEN EĞİM EŞLEŞTİRME YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ VE RİSK ANALİZİ



Şekil 11. P29-G2 ve G6 kuyusu akifer depolama risk modeli

5. SONUÇLAR

Akiferlerden temin edilen yeraltı suları birçok yerleşim yeri için çok önemlidir. Akiferlerin jeolojik yapısının çöktür (heterojen) ve çok yönlü (anizotrop) olması durumunda, tektür (homojen) ve eş yönlü (izotrop) ortamlar için geliştirilen klasik yaklaşımlar parametre tahminlerini etkilemektedir. Çöktür ve çok yönlü ortamlar için bu çalışmada tanımlanan yöntemlerin klasik analitik ve sayısal yöntemlere göre bazı faydaları söz konusudur ve aşağıdaki önemli çıkarımların yapılabilmesini sağlar.

- Yeraltısuyu kaynaklarının verimleri, hidrojeolojik risk değerlendirmesini konu alan sayısal yöntem yardımıyla öngörülebilir.
- Akifer parametreleri için tecrübeye bağlı olasılıkları da göz önünde bulundurarak çeşitli seçenek tahminleri üreten esnek bir yapıya sahip modeller ortaya konulabilir.
- En yüksek olasılıklı bakımından en iyi tahmini ortaya koyan olasılıkçı yaklaşıma sahiptir.
- Yeraltısuyu veriminin belirlenmesi ve işletilmesinde riske dayalı değerlendirme görüşüne geçişi sağlayabilecek bir yöntemin kullanımını sağlar.

Klasik yaklaşımlar, Şen eğim eşleştirme yönteminin aritmetik ortalaması, kısmi Theis eğri çakıştırma ve bu araştırma kapsamında olasılıkçı risk yaklaşımı model sonuçları aşağıda Tablo 3-7'de sunulmuştur. Theis eğri çakıştırma, Jacob doğrusal yöntemleri ve Chow klasik modellerinin doğru sonuçlar verebilmesi için varsayımların uygulama alanı için geçerlilikleri önemlidir. Bu yöntemlerin kullanımı için asgari koşullara uygun şartların bulunmaması durumunda güvenilir sonuçlar elde edilemez. Doğal ortamlar genelde varsayımlar dışında şekillenmiş olup, akifer parametreleri zamanla değişkenlik gösterir. Bu durumda Şen eğim eşleştirme yöntemi ve/veya kısmi Theis tip eğri çakıştırma grafik yöntemi önerilmiştir. Tüm bu model sonuçları aşağıdaki tabloda verilmiştir. P29 ana kuyusundan eşit mesafedeki G2 ve G6 gözlem kuyuları verilerine göre akifer parametreleri model sonuçları, her bir yaklaşım için değişkenlik göstermektedir. Farklı modeller dikkate alınarak yapılan çözümler sonrası akiferlerin iletim ve depolama katsayılarındaki bu önemli farklılıkların yorumlanması oldukça güçtür. Akiferin gerçek durumunu yansıtan model sonucunun ne olduğu tartışma konusudur. Ancak, özellikle klasik yaklaşımların tek model sonucu vermesi, yorum ve değerlendirmeyi kısıtlamaktadır. Bunun yanı sıra, Şen eğim eşleştirme yöntemi, Theis tip eğri çakıştırma modeli ve bu çalışmada ele alınan olasılıkçı risk yaklaşımı akifer veriminin daha esnek ve tecrübeye dayalı öngörülebilmesine imkân tanımaktadır. G2 gözlem kuyusunda en yüksek akifer iletim katsayısı Theis eğri çakıştırma yöntemi sonucunda bulunmuştur. Şen

E. ŞİŞMAN

eğim eşleştirme yöntemi, kısmi Theis eğri çakıştırması sonucu bulunan model sonuçlarının aritmetik ortalaması ve Chow model sonuçlarına göre iletkenlik katsayıları aşağı yukarı birbirine yakındır. Doğrusal yöntem sonuçlarına göre akifer iletkenlik katsayıları zaman-düşüm yaklaşımı ile 10.549 (m²/gün) ve birleşik değişken yöntemi ile 11.316 (m²/gün) olarak belirlenmiştir. Şen eğim eşleştirme yöntemi G2 kuyusu zaman düşüm verilerine uygulanıp akifer iletkenlik katsayısının zaman içerisindeki değişimi ortaya konulduktan sonra, elde edilen model sonuçlarına uygun aşılma olasılığı (risk) grafiklerinden %50 aşılma olasılığı için akifer iletkenlik değerinin 12.799 (m²/gün) olacağı söylenebilmektedir. Bu değer doğrusal yöntemler arasında zaman-düşüm ve birleşik değişken yöntem sonuçlarına oldukça yakındır. Theis eğri çakıştırma sonucu, risk grafikleri üzerinden analiz edildiğinde bulunan sonucun aşılma olasılığı %20 civarındadır. Theis eğrisinin verdiği akifer için yüksek verim değerinin gerçekleşme olasılığı oldukça düşük görünmektedir. Pompaj verileriyle birlikte uzman görüşlerin değerlendirilmesi sonucu profesyonel olarak belirlenen risk aralığı üzerinden yapılacak değerlendirmeler ile akifer verimi daha açık şekilde ortaya konulabilir. Bunlara benzer ve hatta daha kapsamlı değerlendirmeler, akifer parametreleri için bu çalışmadaki yöntemler ile kolaylıkla ortaya konulabilecektir. Uzman kişiler Şen eğim eşleştirme ve olasılıklı yaklaşımı birlikte kullanarak tecrübeleri ölçüsünde akifer potansiyelini gerçeğe çok daha yakın öngörebilir.

Tablo 3. G2 ve G6 Kuyuları akifer iletkenlik katsayısı ve depolama katsayıları risk seviyesi model sonuçları

| P29 Risk (%) | G2 | | G6 | |
|-----------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
| | T m ² /gün | S | T m ² /gün | S |
| 95 | 5235 | 2.78x10 ⁻⁴ | 2873 | 1.13x10 ⁻³ |
| 90 | 6264 | 8.04x10 ⁻⁴ | 7369 | 2.12x10 ⁻³ |
| 75 | 8615 | 3.529x10 ⁻³ | 14743 | 4.68x10 ⁻³ |
| 50 | 12799 | 1.2888x10 ⁻² | 22565 | 1.026x10 ⁻² |
| 20 | 23065 | 4.4566x10 ⁻² | 31302 | 2.91x10 ⁻² |
| 10 | 33268 | 7.5522x10 ⁻² | 35161 | 5.444x10 ⁻² |
| 5 | 46762 | 1.1127x10 ⁻¹ | 37871 | 9.723x10 ⁻² |
| 1 | 98719 | 2.0961x10 ⁻¹ | 41659 | 3.4981x10 ⁻¹ |

Tablo 4. P29 / G2 ve G6 gözlem kuyuları kullanılarak hesaplanan akifer depolama katsayısı değerlerinin farklı model sonuçları [20]

| P 29 | Theis | Zaman Düşüm | Doğrusal Yöntemler | | | | |
|------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | | Mesafe-Düşüm | | | | Birleşik Değişken |
| | | | 120 dak | 420 dak | 1200 dak | 4080 dak | |
| G2 | 5.10x10 ⁻³ | 3,49x10 ⁻² | 1,82x10 ⁻² | 4,98x10 ⁻² | 9,77x10 ⁻² | 2,44x10 ⁻¹ | 2,83x10 ⁻² |
| G6 | 1.40x10 ⁻² | 3,76x10 ⁻² | | | | | 1,50x10 ⁻² |

Tablo 5. P29 / G2 ve G6 gözlem kuyuları kullanılarak hesaplanan akifer depolama katsayısı değerlerinin farklı model sonuçları [20]

| P 29 | Chow | Şen Eğim Yönt. Aritmetik Ortalama | Kısmi Theis Eğri Çakıştırma | |
|------|-----------------------|--------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | | | Aritmetik ortalama | Zamansal ağırlıklı ortalama |
| G2 | 2,42x10 ⁻² | 2,92x10 ⁻² | 1,86x10 ⁻² | 3,68x10 ⁻² |
| G6 | 2,42x10 ⁻² | 2,31x10 ⁻² | 1,93x10 ⁻² | 3,22x10 ⁻² |

BASINÇLI AKİFER PARAMETRELERİNİN ŞEN EĞİM EŞLEŞTİRME YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ VE RİSK ANALİZİ**Tablo 6.** P29 / G2 ve G6 gözlem kuyuları kullanılarak hesaplanan akifer iletkenlik katsayısı değerlerinin farklı model sonuçları [20]

| P 29 | Theis | Zaman Düşüm | Doğrusal Yöntemler | | | | Birleşik Değişken |
|------|-------|-------------|--------------------|---------|----------|----------|-------------------|
| | | | Mesafe-Düşüm | | | | |
| | | | 120 dak | 420 dak | 1200 dak | 4080 dak | |
| G2 | 24356 | 10549 | 5761 | 5296 | 4881 | 4747 | 11316 |
| G6 | 20244 | 16018 | | | | | 20650 |

Tablo 7. P29 / G2 ve G6 gözlem kuyuları kullanılarak hesaplanan akifer iletkenlik katsayısı değerlerinin farklı model sonuçları [20]

| P 29 | Chow | Şen Eğim Yönt. Aritmetik Ortalama | Kısmi Theis Eğri Çakıştırma | |
|------|-------|--------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | | | Aritmetik ortalama | Zamansal ağırlıklı ortalama |
| G2 | 16530 | 17152 | 18573 | 10663 |
| G6 | 20919 | 35040 | 22867 | 16818 |

KAYNAKLAR

- [1] DARCY, H., “Les Fontaines Publiques de La Ville de Dijon”, Victor Dalmont, Paris, France, 1856.
- [2] DUDGEON, C.R., Flow of water through coarse granular materials, Report No. 76, 109, Water Res. Lab., Univ. of New South Wales, 1964.
- [3] LAUSHEY, L.M., ve POPAT, Y., Darcy’s law during unsteady flow, Ground Water, (pp.284-299), International Association Science Hydraulics, General Assembly of Bern, 1980.
- [4] KUTİLEK, M., “Non-Darcian flow of water in soils (Laminar Region).”, 1st IASH Symp. Fundamentals, 327-340. Israel, 1969.
- [5] SLEPİCKA, F., “The laws of filtration and limits of their validity”, International Association Hydraulic Research Proceedings 9th Convention, 383-394. 1961.
- [6] SWARTZENDRUBER, D., “The applicability of Darcy’s law.”, Soil Sci. Soc. Am. Proc., 32. 1969.
- [7] WİLKİNSON, J.K., “The flow of water through rock fill and its application to the design of dams.”, Conference on SMEE Proceedings 2nd Australia, 141. New.Zealand, 1956.
- [8] BASAK, P., “Analytical solutions for tworegime well flow problems.”, Journal of Hydrology, 38, 147-159, 1978.
- [9] THEİS, C.V., “The relation between lowering of the piiezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using ground water storage”, 16.th Annual Meeting Trans. Am. Geophys. Uni, 519-524. 1935.
- [10] COOPER, H. H., ve JACOP, C. E., “A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history.”, Trans.Am.Geophys. Union, 27(4), 526-534, 1946.
- [11] ŞEN, Z., “Straightline method generalization for aquifer parameter estimations”, J Irrig Drain Eng, 138(12),1082–1087, 2012. doi:10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000521
- [12] ŞEN, Z., “Dimensionless straight line fitting method for hydrogeological parameter determination”, Arabian J. Geosci, 2012. doi: 10.1007/s12517-012-0783-3
- [13] ŞEN, Z., “Determination of aquifer parameters by the slope matching method”, Ground Water, 24(2), 217–223, 1986.

E. ŞİŞMAN

- [14] ŞEN, Z., “Groundwater Risk Management Assessment in Arid Regions.”, *Water Resources Management*, 26(15), 4509–4524, 2012.
- [15] SEN, Z., AS-SEFRY, S., ve AL-HARİTHY, S., “Strategic management of groundwater resources in the Arabian Peninsula: Wadi Na'man case”, *Arabian Journal of Geosciences*, 10(3), 2017.
- [16] ŞEN, Z., ve AL-BARADİ, A., “Sample functions as indicators of aquifer heterogeneities.”, *Nordic Hydrology*, 22.1, 37-48, 1991.
- [17] ŞEN, Z., “Hydrogeophysical concepts in aquifer test analysis.”, *Hydrology Research*, 25(3), 183-192, 1994.
- [18] AHMAD, N., Evaluation of groundwater resources in the upper middle part of Chaj Doab area, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 1998.
- [19] GAZİOĞLU, A., Dengesiz Akım Durumunda Serbest Yüzlü Akiferlere Ait Karakteristiklerin Belirlenmesi için Yeni Bir Model ve Uygulaması, Yıldız Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi, İstanbul, 1999.
- [20] ŞİŞMAN, E., Basınçlı akifer parametrelerinin bulunması için alternatif yöntem uygulaması ve farklı modellerle karşılaştırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 2016.