

KUYULAR ARASI DOLAŞIMLI İZLEYİCİ TESTLERİNİN DÖNÜŞ PROFİLLERİNE ETKİ EDEN PARAMETRELERİN İNCELENMESİ

İ.İskender SOYASLAN^{1*},¹

¹ Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Bucak Emin Gülmez Teknik Bilimler MYO, 15100 Bucak/ Burdur

Özet

Gözenekli ortamda taşınma mekanizmasının anlaşılması için kullanılan en yararlı yöntemlerden birisi izleyici testleridir. İzleyici testleri günümüzde yeraltısuyu ve petrol sahalarında, kuyu yakın çevresinin akış mekanizması ve bu mekanizmayı etkileyen hidrojeolojik parametrelerin belirlenmesi amacıyla, yaygın olarak kullanılmaktadır. Taşınma mekanizmasının anlaşılmasına yönelik olarak bu çalışma da, kuyular arası dolaşimli izleyici testlerinin dönüş profillerinin belirgin özellikleri ve bu özellikleri etkileyen parametreler incelenmiştir. Bu amaçla, önceki çalışmalarda, akiferlerde izleyici ve petrol rezervuarlarında sıcak su enjeksiyonu için daha önce geliştirilen matematiksel bir modelin, uygun bir çözümü kullanılmıştır. Bu çözüm denklemindeki parametrelerin test verilerinden tahmin edilmesinde, fortran77 dilinde yazılmış ve eğri çakıştırma programından değiştirilerek düzenlenen bilgisayar programı kullanılmıştır. Heterojen ve homojen sistemler arasındaki en önemli fark akış yolu genişliğidir. Akış yolu genişliğine bağlı olarak, heterojen sistemde ilk geliş zamanı daha geçtir ve homojen sistemlerde ise kuyruklanma görünmemektedir. Sonuçta jeolojik yapının, dönüş profillerini etkileyen en önemli parametresinin akış yolu genişliği olduğu belirlenmiştir. Geliştirilen matematik modelin, hem izleyici taşınması ve hem de ısı taşınması için kullanılabilceği örneklendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gözenekli ortam, izleyici testi, taşınım, dönüş profili

INVESTIGATION OF THE PARAMETERS AFFECTING TO RETURN THE PROFILES OF INTERWELL TRACER TESTS WITH RECIRCULATION

Abstract

Solute and heat transport in porous media is a frequently involved process in porous media. Tracer testing is most useful tool to understand the flow and transport in porous media. Tracer testing is widespread used to define the flow mechanism near the wells and hydrogeological parameters affecting this mechanism in the groundwater, geothermal and petrol fields. To understand the transportation mechanism in porous media, we have investigated the characteristics of the return profiles of interwell tracer tests with recirculation and the parameters affecting those characteristics in interwell tracer tests with recirculation have been examined. For this aim an appropriate solution of mathematical model that has been developed in previous studies for hot water injection in petrol reservoirs and tracer in aquifers has been used. A computer programme that was written in the language of fortran77 and that has been arranged being changed from mixing curves programme in predicting test data in this solution equation.

The most important difference between heterogeneous and homogeneous systems, the width of the flow path. Depending on the width of the flow path, the first arrival time is later in the heterogeneous system and tailing does not seem in the homogeneous systems. In the result, we have determined that the parameter which affects return profiles most is the width of flow path. It is defined that the mathematical model that was developed can be used for both tracer transport and heat transport.

Keywords: Porous media, tracer tests, transport, return profiles

* E-posta: isoyaslan@mehmetakif.edu.tr

1. GİRİŞ

Bu çalışmada, önceden geliştirilen matematik modeller [1], [2] kullanılarak, akiferlerde izleyici ve jeotermal rezervuarlarda sıcak su enjeksiyonunda geçerli olan akış ve taşınma parametrelerinin, kuyular arası dolaşımli akış testlerinin dönüş profilleri üzerindeki etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Taşınma mekanizmasının anlaşılmasına yönelik olarak bu çalışmada kuyular arası dolaşımli izleyici testlerinin, dönüş profillerinin belirgin özellikleri ve bu özellikleri etkileyen parametreler incelenmiştir.

Lauwerier (1955) [3] termal enjeksiyon için geliştirdiği matematik modelde, petrol rezervuarlarına sıcak su enjeksiyonunun sonucunda, rezervuardaki ve onu çevreleyen tabakalardaki petrolün hareketini incelemiştir. Dolaşımli izleyici testlerinin ilk örneklerinden birini, Webster ve diğerleri (1979) [4], yüksek seviyeli radyoaktif atıkların dönemsel muhafazasını ön çalışma olarak gerçekleştirmişlerdir. Bu araştırmacılar, düz sahil sedimentleri ile yaklaşık 1000 ft kalınlığında kapatılmış temel kayalarda yapılan iki yıllık bir izleyici testinin teorik çalışmasını yapmışlardır.

Chen (1986) [1] ise izleyici taşınmasında temel oluşturabilecek olan, gözenekli formasyondaki tek kırık için enjeksiyon kuyusundan radyonüklid taşınımını incelemiş ve Laplace dönüşümü tekniği ile geliştirilen iki farklı model tanımlamış ve bu iki modeli kuyu içindeki iki farklı sınır şartlarında çözmüştür.

Kocabaş (1996) [5], jeotermal rezervuarlardaki termal enjeksiyon testlerinin gözlenen test profillerini yorumlamıştır. Ayrıca ısı taşınmasının gerçekleştiği jeotermal rezervuarlardaki reenjeksiyon işlemleri ile jeolojik yapı arasındaki etkileşimi amaca yönelik olarak açıklamıştır. İzleyici testlerinin dönüş profillerinin yorumlanması çalışmalarında, Kocabaş ve arkadaşları (1996)[6], İzlanda' nin Telamork jeotermal sahasında üretim ve enjeksiyon kuyularını birleştiren doğal çatlaklar içindeki akış ve taşınmayı etkileyen özelliklerin belirlemesi amacıyla yapılmış izleyici testinin dönüş profillerini yorumlamışlardır.

Çalışmada kullanılan bilgisayar programı ise, eğri çakıştırma programından [2], değiştirilerek düzenlenmiştir.

2. YÖNTEM

Gözenekli ortamlarda çözelti ve ısı taşınması çok yaygın bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Kıyı akiferlerinde tuzlu su girişi, çeşitli atık depolarından ve depolama tanklarından sızan kirletici sıvıların akiferlere karışımı dolayısıyla yeraltısuları kirlenmesi, tarım alanlarında kullanılan ilaçların gözenekli ortamdaki hareketi, akiferlerde sıcak su yoluyla enerji depolanması, jeotermal rezervuarlarda enjeksiyon işlemleri ve gözenekli ortamda ısı taşınması gibi proseslerin hepsi özde çözelti taşınmasıdır.

Bu kadar zengin bir uygulama alanı olan gözenekli ortamda taşınmanın modellenmesi çalışmalarında en yararlı araçlardan birisi ise izleyici testleridir. İzleyici testleri ise hem deney ve hem de modelleme yoluyla çözelti taşınmasında etkili proses ve parametrelerin belirlenmesi açısından önem taşırlar. Çünkü izleyici taşınmasına etki eden proses ve parametreler, çözelti taşınmasında etkili olanların aynıdır. Bir başka deyişle izleyicilerin de bir tür çözelti ve ısının ise bir tür izleyici olması izleyici testlerinden elde edilen bilgilerin diğer çözeltilerin ve ısının taşınmasında doğrudan kullanımını sağlar.

Çözelti taşınmasında etkili olan prosesler hidrodinamik ve hidrokimyasal olarak iki ana kısımda incelenebilir. Hidrodinamik prosesler taşınmaya doğrudan etki ederler ve iki ana mekanizmaya ayrılırlar [7]. Bunlar adveksiyon ve mekanik dispersiyondur. Bunlardan adveksiyon hidrojeolojik bir değişken olan ortalama akış hızına bağlıdır. Mekanik dispersiyon ise vektörel bir büyüklük olan hızın hem boyut ve hemde yön açısından yerel değişimlerine bağlıdır. Hidrokimyasal prosesler ise diffüzyon, adsorbsiyon, absorpsiyon ve çeşitli kimyasal reaksiyonlardan oluşur. Bunlardan diffüzyon dışındakiler taşınmaya yavaşlatma yoluyla etki ederler. Son olarak da mekanik dispersiyon ile diffüzyon birlikte hidrodinamik dispersiyonu oluştururlar. Hidrodinamik dispersiyonla taşınma genellikle akış mesafesine bağlı olup adveksiyonla taşınmanın yaklaşık onda biri kadardır. Bir başka deyişle toplam akış mesafesi L ise dispersiyon katsayısı $\alpha L=0.1L'$ dir. Yukarıda belirtilen proseslerle ilgili olarak tanımlanan değişken ve parametreler nadiren tek başına kullanılırlar. Aşağıda verilen boyutsuz parametre ve değişkenler kullanılır [8].

- Pe : Peclet sayısı,
- U : Akış hızı,
- L : Akış mesafesi,
- D : Boyuna dispersiyon katsayısı,
- t_D : Dispersif taşınma için boyutsuz zaman parametresi,
- x_D : Boyutsuz değişken mesafe,

X : Akış yolu boyunca değişken mesafe,
t : Taşınım denklemindeki değişken zaman olmak üzere,

$Pe=(UL/D)$, $t_D=(Ut/L)$ ve $x_D = X/L$ olarak ifade edilebilir [8].

Eldeki jeolojik veriler ile uyumlu ve konsantrasyon-zaman eğrisince tanınmış olası yorumlama modeli belirlendiğinde, kuyu testlerinin analizinde ikinci adım modeldeki parametre değerlerinin belirlenmesidir. Göz önünde bulundurulan sistem için geçerli olacak bir modelden aynı debi zaman giriş verisine karşı elde edilen konsantrasyon zaman çıktısı ile gerçek sistem çıktısının “en iyi çakışmasını” sağlayacak şekilde model parametre değerleri tahmin edilir. Parametre tahmininde (i) grafiksel doğru analiz yöntemi, (ii) Manuel (elle) eğri çakıştırma yöntemi ve (iii) bilgisayar destekli doğrusal olmayan eğri çakıştırma yöntemi olmak üzere üç farklı yöntem bulunmaktadır [10].

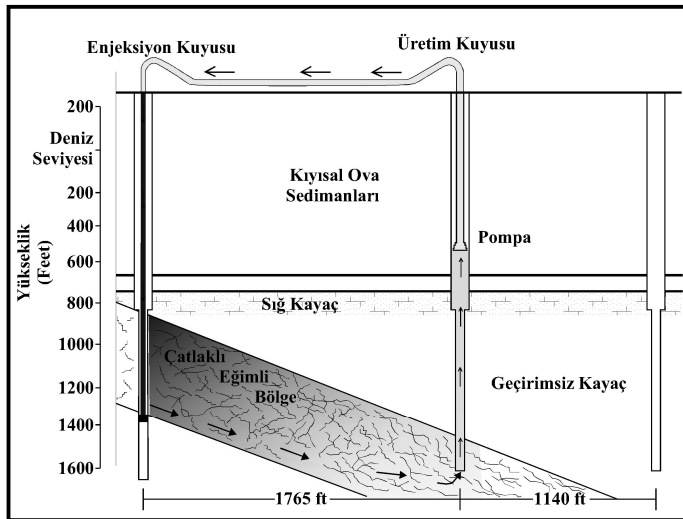
Bilgisayar destekli doğrusal olmayan (non-linear) eğri çakıştırma yöntemi, parametre tahmininde en küçük kareler yöntemini esas alır. Model konsantrasyon-zaman (ve/veya türev-zaman) verilerinin ölçülmüş saha konsantrasyon-zaman (ve/veya türev-zaman) verileri ile bilgisayar destekli çakıştırması bulgular bölümünde verilen fonksiyonun bilinmeyen model parametre vektörüne göre minimize edilmesiyle gerçekleştirilir. Doğrusal olmayan parametre tahmin yöntemi, elde edilen çakışmanın ve parametrelerin güvenilirliğini nicel olarak belirlemek için istatistiksel yöntemlerin (RMS, %95 güvenilirlik aralıkları, parametreler arası ilişileşim, vb.) parametre tahminine entegre edilmesinde olanak tanımaktadır [10].

3. BULGULAR

3.1. Kuyular Arası Dolaşım İzleyici Testleri

İzleyici testleri, testin yapılışına (i) kuyular arası dolaşım izleyici testleri, (ii) kuyular arası dolaşısız izleyici testleri ve (iii) tek kuyu enjeksiyon-geri akış izleyici testleri olmak üzere üç gruba ayrılabilir. Kuyular arası dolaşım izleyici testlerinin temel amacı, sahanın ilgililenen bölgesinde etkili olan temel akış ve taşınma mekanizmasını ortaya çıkarmaktır. Testin dolaşım olmasının avantajları, (1) dolaşım bir test ortamda kararlı akışı sağlamak ve sürdürmek açısından daha uygun olması, (2) bu tür testlerin daha geniş bir mesafe ve alanın incelenmesine imkân tanınması ve (3) bu testler sistemde dolaşabilir sıvı hacminin tespitini sağlaması olarak sayılabilir [8].

Dolaşım bir izleyici testinde, bir sıcak veya soğuk su rezervuarının suyu, bir üretim kuyusundan belli bir debiyle çekilip, yine aynı debiyle bir enjeksiyon kuyusuna basılarak dolaşıma konur (Şekil 1). Bu işlem rezervuarda kararlı bir akış safhasına ulaşıncaya kadar sürer. Kararlı akışa ulaşıncaya, izleyici enjeksiyon kuyusundan rezervuara girmekte olan su içine bırakılır. Suyun sistemde dolaşımı sürerken, üretim kuyusundan alınan örneklerin izleyici konsantrasyonları ölçülür ve bu konsantrasyonların zamana karşı çizilen grafiğinden izleyicinin dönüş profili elde edilir.



Şekil 1. Kuyular arası dolaşım izleyici test uygulaması [4]

3.2. Kuyular Arası Doluşumlu İzleyici Testleri Dönüş Profillerinin Yorumlanması

Gözenekli ortamda izleyici taşınması tek boyut için en genel haliyle aşağıdaki boyutsuz denklem tarafından kontrol edilir (Denklem 1) [2].

P_e : Peclet sayısı

C : Çatlaktaki taşınım denkleminin değişen konsantrasyonu

X_D : Boyutsuz mesafe

q_D : Boyutsuz kaynak

t_D : Enjeksiyon periyodu boyunca ısı transferi tarafından katedilen mesafedeki ölçekli ters çevrilmiş Peclet sayısı olmak üzere;

$$\frac{1}{P_e} \frac{\partial C}{\partial X_D^2} - \frac{\partial C}{\partial X_D} - q_D - \frac{\partial C}{\partial t_D} = 0 \quad (1)$$

Bu denklemin gerçek saha şartlarına uygun olarak düzenlenen başlangıç ve sınır şartlarına göre elde edilen çözümleri, izleyici testlerinden elde edilen ve dönüş profili olarak adlandırılan izleyici konsantrasyon-zaman grafiklerinin yorumlanmasında kullanılırlar. Bu denklemin çözümünün yorumlamada kullanılabileceği deneyler arasında, izleyicinin giriş noktasından hemen önce sıvı içerisine bırakılıp, çıkış noktasından alınan sıvı örneklerinde ölçülmesi en yaygın deney şeklidir. Bu tür enjeksiyon ve ölçme tekniği, fluks-enjeksiyon ve fluks-ölçümü olarak adlandırılır. Bu nedenle de elde edilen konsantrasyon-zaman grafiği fluks konsantrasyon dönüş profili olarak adlandırılır. Fluks konsantrasyonu dönüş profillerinin yorumlanması bir tek enjeksiyon ve bir tek üretim kuyusu için Denklem 2'nin kullanılması gereken çözümü aşağıdaki gibidir [9].

s : Enjeksiyon zamanına karşılık gelen Laplace parametresi

q_D : Boyutsuz kaynak

P_e : Peclet sayısı olmak üzere;

C : Çatlaktaki taşınım denkleminin değişen konsantrasyonu

$$C = 1 - \exp\left[\left(1 - \sqrt{1 + 4s(1 + q_D(s)/P_e)}\right)P_e / 2\right]^{-1} \quad (2)$$

Özellikle jeotermal sahalarda sözkonusu olan birden fazla enjeksiyon kuyusu kullanılması durumu ise farklı çözümlerin kullanılmasını gerektirecektir (Denklem 3 ve 4) [5]

C : Çatlaktaki taşınım denkleminin değişen konsantrasyonu

C_{ji} : Birinci enjeksiyon kuyusundan enjekte edilen konsantrasyon

C_{ii} : İkinci enjeksiyon kuyusundan enjekte edilen konsantrasyon olmak üzere;

$$C = \frac{1}{\frac{1 - \sum C_{ji}}{\sum C_{ii}} - 1} \quad (3)$$

C_{ii} : Enjeksiyon kuyusundan enjekte edilen konsantrasyon

s : Enjeksiyon zamanına karşılık gelen Laplace parametresi

q_D : Boyutsuz kaynak

P_e : Peclet sayısı olmak üzere;

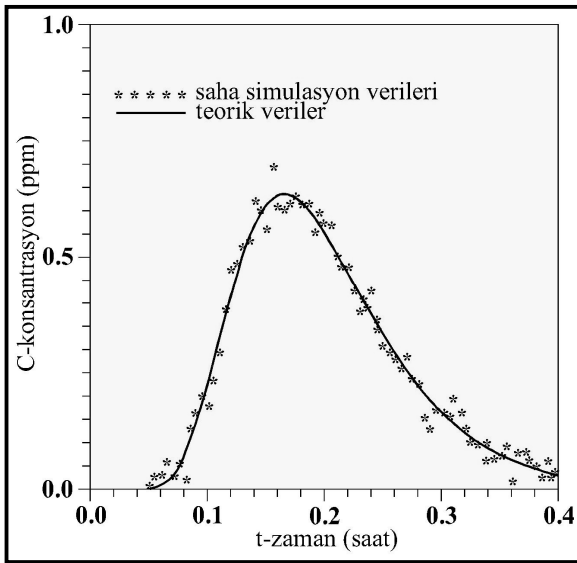
$$C_{ii} = \exp\left(-1 + \sqrt{1 + 4s(1 + q_D(s)/P_e)}\right) \quad (4)$$

İzleyici testlerinin yorumunda kullanılan en etkili tekniklerden birisi non-lineer eğri çakıştırma yöntemidir. Bu teknikle deney sonuçları teorik bir modele bilgisayar yardımıyla çakıştırılır ve en uygun çakışmayı veren parametre değerleri sistemin çözelti taşınımını kontrol eden parametre değeri olarak kabul edilirler.

Teorik bir veri seti üretilerek, model denklemindeki parametre değerleri girilmiş ve belli zamanlar için denklemden konsantrasyonlar hesaplanmıştır. Daha sonra bu veri seti bir istatistik yöntem olan tesadüfi dağılım yöntemi ile benzetim verilerine dönüştürüldü. Bu yöntem bir kara kutu yöntemi olarak kullanılmıştır. Bir diğer deyişle veriler girildi ve program bize benzetim verilerini geri verdi. Daha sonra bu benzetim verileri eğri çakıştırma yöntemi ile yorumlandı. Bu yöntemde verilen bir model denklem için, programa saha verilerinin nonlinear parametrelerini verdiğimizde verilere göre en uygun tahmin değerlerini geri verir.

Homojen bir sistemde elde edilen bir izleyici dönüş profili ve bu profilin çakıştığı teorik model eğrisi şekil 2' de gösterilmiştir. Homojen sistemler için seçilen model parametreleri, L toplam akış mesafesi, D moleküler difüzyon, U akış hızı, olmak üzere dispersif taşınma için zaman parametresi $t_D=L/D$ ve advaktif taşınma için zaman parametresi $t_w=L/U$ olarak seçilmiştir [8].

Bu parametrelerden t_D dispersif, t_w ise advaktif taşınma için karakteristik zaman parametreleridir. Karakteristik zaman parametresi büyüdükçe ilgili prosesin etkisi azalır. Şekil 2 ile ilgili eğri çakıştırma yönteminin sonuçları tablo 1.' de özetlenmiştir.

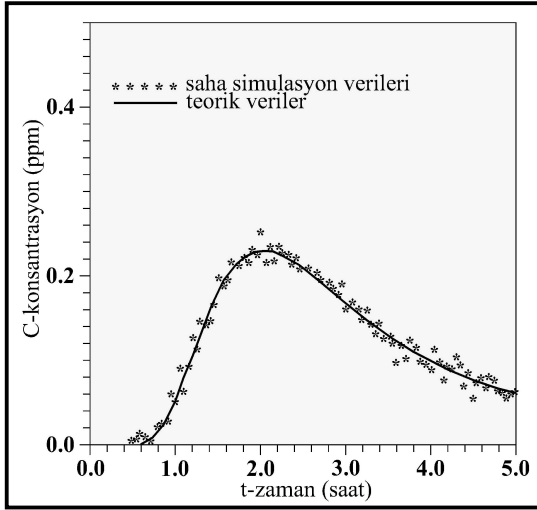


Şekil 2. Homojen bir akiferde izleyici verilerinin eğri çakıştırılması

Tablo1. Homojen sisteme ait eğri-çakıştırmadan elde edilen parametreler

Parametre	Gerçek Değer	Başlangıç Tahmini	Hesaplanan Değer
t_D	30.0	20.0	30.0
t_w	2.5	1.8	2.5

Heterojen bir sistemden elde edilen tipik bir dönüş profili ve bu profilin çakıştığı teorik eğri ise şekil 3' de verilmiştir. Şekildeki sistem homojen bir ortamı ikiye ayıran bir hızlı akış kanalının varlığıyla bilinir ve üç karakteristik zaman parametresiyle tanımlanır. Bu parametreler $t_D=L/D$ ve $t_w=L/U$ ile t_i yanıl transfer için zaman parametresi, V_f akış yolu toplam hacmi, ϕ kaya matrisinin porozitesi, A akışa açık kesin alanı, D_m sudaki moleküler difüzyon katsayısı olmak üzere hızlı akış yoluyla durgun gözenekli ortam arasındaki materyal değişimini temsil eden $t_i=(V_f/\phi A)/D_m$ 'dir.



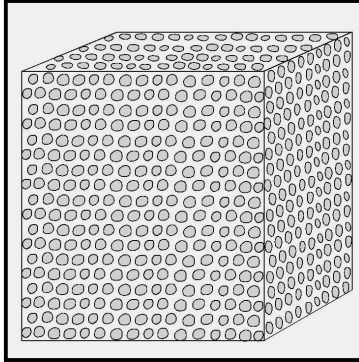
Şekil 3. Heterojen bir akiferde izleyici verilerinin eğri çakıştırılması

Şekil 3 ile ilgili non-lineer eğri çakıştırma yönteminin sonuçları tablo 2' de özetlenmiştir.

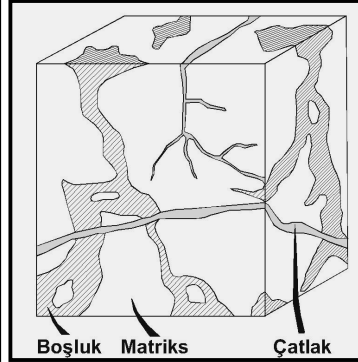
Tablo 2. Heterojen sisteme ait eğri çakıştırılmadan elde edilen parametreler.

Parametre	Gerçek Değer	Başlangıç Tahmini	Hesaplanan Değer
td	30.0	20.0	30.0
tw	2.0	1.5	2.01
ti	2.5	3.0	2.56

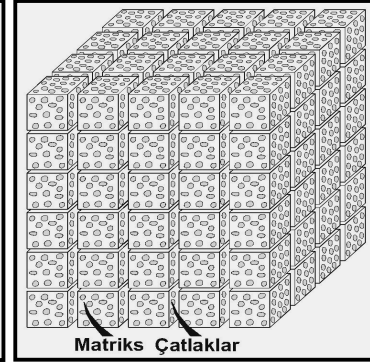
Homojen bir sistem çatlaklı bir rezervuarda sadece çatlaktaki akışın incelenmesini gerektiren kavramsal modeldir (Şekil 4). Heterojen bir sistem ise hem çatlak hemde gözenekli matrisi gözönüne alan kavramsal bir modeldir (Şekil 5 ve Şekil 6).



Şekil 4. Fiziksel ve kavramsal homojen model



Şekil 5. Fiziksel heterojen model



Şekil 6. Kavramsal heterojen sistem

Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6 Warren ve Root, 1963'den [11] değiştirilerek alınmıştır.

Homojen ve heterojen sistemlerin dönüş profillerinin ayırıcı özellikleri ilk geliş zamanı ve profilin kuyruklanma özelliğinde belirginleşir. İlk geliş zamanı homojen sistenler için daha erken olup ve kuyruklanma yoktur. Heterojen sistemlerde tepe noktasından sonra önemli miktarda kuyruklanma görülür. Bu özellik homojen kısımla olan materyal transferinin bir sonucudur.

4. SONUÇLAR

Yeraltularının kirlenmeden korunma tedbirlerinin alınması ve kirlenme söz konusu olduğunda da ıslah şeklinin belirlenip uygulanması çalışmalarının başarısı gözenekli ortamda çözelti taşınması prosesinin anlaşılmasıyla doğru orantılıdır. Çözeltinin taşınma prosesinin anlaşılmasında ise hem deney hem de modelleme aşamalarında izleyici testlerinin yapılması ve dönüş profillerinin yorumlanması önemli bilgiler sağlar. Bu bilgiler üzerinde çalışılan sistemde yani akiferde etkili olan proses ve parametrelerin tayin edilmesidir.

Homojen ve heterojen sistemlerin dönüş profillerinin ilk geliş zamanı ve profilin kuyruklanması ayırıcı özellik olarak belirlenmiştir. Homojen sistemlerde ilk geliş zamanı heterojen sisteme göre daha erken olup ve kuyruklanma görülmemektedir. Heterojen sistemlerde ise tepe noktasından sonra önemli miktarda kuyruklanma görülür. Bu durum homojen kısımla olan materyal transferinin sonucunda ortaya çıktığı tespit edilmiştir.

Bu çalışma izleyici testlerinin dönüş profillerinin yorumlanmasında iki önemli noktayı vurgulamaktadır. Bunların ilki gerçek sistemi yeterince temsil edecek bir matematik model seçilmesi ikincisi ise bu modelin deney şartlarıyla uyumlu olan çözümünün kullanılmasıdır. Uyumlu çözüm olarak modelin fluks konsantrasyonu çözümünün kullanılması gerektiği belirtilmiştir. Matematik model olarak ise heterojenliklerin büyüklüklerinin akış mesafesine olan oranına göre homojen veya heterojen bir model kullanılabilir. Bu çalışmada her iki seçeneğe de birer örnek verilmiş ve aralarındaki farklılıklar da belirtilmiştir.

5. KAYNAKLAR

- [1] Chen, C.H., "Solution for radionuclide transport from an injection well into a single fracture in a porous formation", Water resources research, vol.22, no.4, pages 508-518, 1986.
- [2] Kocabaş, İ., "Analysis of injection-backflow tracer test", Stanford geothermal program interdisciplinary research in engineering and earth sciences, Stanford Univ., Stanford, California, pp. 1-117, 1986.
- [3] Lauwerier, H. A., "The transport of heat in an oil layer caused by the injection of hot fluid", Appl. Sci. Res., section A, vol. 5, pp.145-150, 1955.
- [4] Webster, D. S., Proctor, J. F. and Marine, I. W.: "Two-Well Tracer Test in Fractured Crystalline Rock," U.S. Geol. Surv. Water Supply Pap., 1544-1, 215-230, 1964.
- [5] Kocabaş, İ., "Using well test data to determine the interaction between geological structure and reinjection processes in geothermal reservoirs", S.D.Ü. Jeoloji Müh. Böl. Isparta, s. 1-13, 1996.
- [6] Kocabaş, İ., et. al. "Interpretation of a tracer test in the thelawork geothermal field ", Iceland, proc. 21.st Workshop on geothermal reservoirs Eng. Stanford, VA, 1996
- [7] Gorelick, S.M., Freeze, R.A., Donohue, D. and Keely, J.F., Groundwater contamination: Optimal capture and containment, Levis Publishers, Chelsea, Michigan, 385 p., 1993.
- [8] Soyaslan, İ.İ., "Devir-Daimli İzleyici Testlerinin Yorumlanması ve Uygulama Örnekleri", Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, pp. 40, 1996.
- [9] Onur, M., Kocabaş, İ., Zeybek, M. ve Satman, A., "Akifer testlerinin önemi ve değerlendirilmesinde yeni yaklaşımlar", İSKİ-İTÜ İstanbul ve civarı su kaynakları sempozyumu, İstanbul, 22-25 Mayıs, 1994
- [10] Onur, M., "Jeotermal rezervuarlarında kuyu basınç testleri ve analizi" VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir, s. 167-205, 23-26 Kasım, 2005.
- [11] Warren, J. E. and P. J. Root, The behavior of naturally fractured reservoirs, Society of Petroleum Engineers Journal, Transactions, AIME, 228, pp. 245-255, 1963.