



TR0300082

YERALTISUYU GEÇİŞ SÜRESİ DAĞILIMI İÇİN DENGELİ VE DENGESİZ TÜMSEL MODELLER

STEADY AND UNSTEADY LUMPED-PARAMETER MODELS FOR DETERMINATION OF GROUNDWATER RESIDENCE TIME DISTRIBUTION

N. Nur ÖZYURT

Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Hidrojeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı,
Beytepe 06532, Ankara (nozyurt@hacettepe.edu.tr)

ÖZET

Yeraltısuyu geçiş süresi (GSD) dağılımı akifer sistemlerinin taşınım mekanizmasının aydınlatılması açısından önemli bir bilgidir. Akım sisteminin geometrik, hidrolik ve jeohidrolojik özellikleri hakkında yeterli ve güvenilir verilerin bulunmadığı durumlarda sistemi bir bütün olarak ele alan tümsel modelleme yaklaşımı GSD'nın belirlenmesi için alternatif yaklaşımlardan birisini oluşturmaktadır. Tümsel modeller, idealize edilmiş akım koşullarını yansıtan piston ve tam karışım tümsel modelleri ile bunların çeşitli kombinasyonlarından oluşurlar. Bu modellerde ölü hacim ve hızlı akım gibi akifer içi etkilerin dikkate alınması da mümkündür. Dengeli ve dengesiz akım koşullarına uygulanabilen bu modeller ile akifer sistemlerin kavramsal modellere uygunluğu ve geçiş süresi dağılımı gibi bilgiler pratik ve hızlı biçimde üretilebilir.

Anahtar Kelimeler: Çevresel izleyiciler, Tümsel model, Geçiş süresi dağılımı

ABSTRACT

Groundwater's residence time distribution is an important information to identify the transport mechanism in aquifer systems. In the absence or scarcity of geometric, hydraulic and geohydrologic data needed to describe a flow system, lumped parameter models, that handle the flow system as a whole, exist as an alternative to determine the residence time distribution. Lumped parameter models comprise of idealized models of piston and well-mixed flow and their combinations. Aquifer properties such as, dead volume and by-pass flow can also be included in these models. With the aid of these models, conceptual aquifer models can be tested and residence time distribution of groundwater can be determined.

Key words: Environmental tracer, Lumped model, Residence time distribution

GİRİŞ

Geçiş süresi dağılımı (GSD), farklı mühendislik alanlarında çeşitli problemlere çözüm üretmek için sıklıkla kullanılan bir deneysel yöntemdir. GSD yöntemi deney koşullarının sağlandığı her boyuttaki sistem için uygulanabilir. GSD yöntemi ile çözüm üretilen sistemlere örnek olarak farklı

amaçlar için kullanılan kimyasal reaktörleri, akışkan taşıma hatları, atık arıtma sistemeleri verilebilir. Bu sistemlerin tümünde GSD yönteminin uygulanmasını gerektiren ortak nokta sistemlerdeki akışkan hareketinin benzeştirilmesine duyulan ihtiyaçtır. Benzer nedenlerle yöntem hidrojeolojik çalışmalarda da 1960'lı yıllardan bu yana kullanılmaktadır (Maloszewski and Zuber, 1982; Zuber, 1986a,b). Hidrojeolojik sistemler gerek büyüklükleri gerekse yeraltısu akışını kontrol eden parametrelerin sistem boyunca gözlenemeyen/öngürülemez alan ve zamandaki heterojeniteleri nedeniyle yeraltısu hareketinin benzeştirilmesi oldukça güçtür. Bu nedenle sistemin bütünü ele alarak sistemi tanımlamaya yönelik yöntemlere sıklıkla başvurulmaktadır. Sistemleri bütün olarak inceleyen modelleme yaklaşımı tümsel modelleme olarak adlandırılmaktadır. Bu çalışmada, yeraltısu sistemlerinin tümsel modellemesinde sistem parametresi olarak GSD kullanılmaktadır. Bu çalışmada tümsel modellerin matematiksel ayrıntılarına girilmeksizin genel özelliklerine değinilecek, GSD teorisinin temel özelliklerinin yanısıra bu yaklaşımın hidrojeolojik sistemlerde, özellikle çevresel izleyiciler kullanılarak nasıl uygulanacağı üzerinde durulacaktır. Konuyla ilgili ayrıntılı bilgi diğer kaynaklardan edinilebilir (Levenspiel, 1999; Maloszewski, 1996; Niemi, 1990; Thereska, 2000).

YERALTISUYU (YAS) YAŞI VE GEÇİŞ SÜRESİ DAĞILIMI

İnsanlar için yaş varolmalarından sonra seçilen bir zamana kadar geçen süredir. Herhangi bir kaynaktan akifer sistemine giren bir su molekülü için de benzer tanımlama yapılabilir. Bu durumda molekülün yaşı, yeraltısu sistemine girişi ile seçilen zaman (örnekleme anı) arasında geçen süreyi belirtmektedir. Canlı topluluklarında olduğu gibi su moleküllerinin de YAS sisteminde örnekleme anına kadar geçirdikleri süre –ideal bir durum olan piston akım koşulları dışında- farklılık gösterir. Bu durum, farklı su moleküllerinin çeşitli etkenlerden dolayı farklı akım hızlarına sahip olmalarından kaynaklanmaktadır. Örneğin, su tablasına aynı anda giren komşu iki su molekülünün aynı kuvvet alanı (hidrolik gradyan) etkisi altında, sistemin çıkış (örnekleme) noktasına ulaşmaları için gereken süre bu moleküllerin karşılaştıkları ortam hidrolik direnci tarafından belirlenecektir. Yüksek hidrolik dirence maruz kalan molekül diğerine oranla daha yavaş hareket edecek ve sistem çıkış noktasına daha geç ulaşacaktır. Yukarıda belirtilen yaş tanımı dikkate alındığında, çıkış noktasına önce ulaşan molekül genç, diğeri ise daha yaşlı olarak tanımlanacaktır. Benzer şekilde genç molekülün YAS geçiş süresi kısa, yaşlı molekülün YAS geçiş süresi daha uzun olmaktadır. Akifer sistemleri, heterojen bileşimleri, kırıklı-çatlaklı yapıları, farklı yüzey ve sınır geometrisi gibi nedenlerle, YAS akımına farklı noktalarda farklı direnç gösterirler. Benzer nedenlerle hidrolik gradyanda uzayda ve zamanda değişiklik göstermektedir. Bu durumda, belirli bir anda, örneğin bir yağış olayı sonrasında YAS sistemine birlikte giren su moleküllerinin sistemde geçirdikleri süreler (geçiş süreleri) farklı olmaktadır. Böylece, sistemin çıkış (örnekleme) noktasından bakıldığında, bu noktaya ulaşan moleküllerin farklı yaşta olacakları anlaşılmaktadır. Sonuç olarak, akifer sistemleri için tek bir yeraltısu yaşından çok, yeraltısu yaş dağılımından bahsedilmesi daha doğru bir yaklaşım olmaktadır. Bu yaklaşımla, genel olarak sığ dolaşıma sahip akifer sistemlerinin bağıl olarak genç, derin dolaşıma sahip akifer sistemlerinin ise bağıl olarak yaşlı su içermeleri gerektiği anlaşılmaktadır.

YAS yaş dağılımının belirlenmesi pek çok hidrojeolojik problemin çözülmesi için gerekli olduğu gibi özellikle YAS ile kirletici taşınımından kaynaklanan risklerin değerlendirilmesi açısından önem taşımaktadır.

YAS GEÇİŞ SÜRESİ DAĞILIMININ (GSD) BELİRLENMESİ

Akifer sistemlerinin örnekleme noktalarında (ya da kesitlerinde) YAS geçiş süresi dağılımının belirlenmesi için iki temel unsura gereksinim duyulur. Bunlardan birincisi büyüklüğü YAS'nın yaşı ile ilişkili bir ya da daha fazla sayıda çevresel izleyici, diğeri ise farklı zamanlarda YAS sistemine giren izleyicilerin geçiş süresi dağılımının belirlenmesinde kullanılacak bir hesaplama yaklaşımıdır. Burada çevresel (environmental) izleyici ile akiferdeki su ile birlikte hareket eden, diğeri bir deyişle onu izleyen, ölçülebilir nitelikteki bir madde kastedilmektedir. Atmosferik trityum (^3H), kripton-85 (^{85}Kr) gibi zayıf radyoaktif sıvı ve gazlar ile kloroflorokarbonlar (CFC-11, CFC-12, CFC-113 vb), sülfür hegzaförür (SF_6) gibi gazlar hidrojeolojik amaçlı GSD hesaplamalarında kullanılan atmosfer kaynaklı başlıca çevresel izleyicilerdir. Öte yandan, DDT gibi kimyasallar da alansal olarak uygulanmaları durumunda GSD dağılımının hesaplamalarında kullanılabilirler. Tüm çevresel izleyicilerde aranan ilk özellik atmosferik derişimlerinin zaman içinde değışken olmasıdır. Atmosferik derişimi zamanda sabit olan maddeler, YAS'ndaki derişimlerinin de zamanda sabit olması nedeniyle diğeri özellikleri açısından izleyici niteliğine (örğ. su ile birlikte hareket etmek) sahip olsalar bile GSD hesaplamalarında kullanılamazlar.

Örnekleme noktasından alınan suyun içerdiği izleyici derişimi, YAS yaşı ve GSD tanımlarına uygun olarak, geçmişte farklı zamanlarda akifer sistemine giren izleyicilerin kendilerini taşıyan ve farklı yaşlardaki suların hacimlerine ağırlıklandırılan ağırlıklı ortalama bir değıerdir. Örneğın, basit bir yaklaşımla örnekleme noktasına ulaşan su hacminin yarısının 20 yaşındaki sudan, diğeri yarısının ise 10 yaşındaki sudan oluşması durumunda bu suyun hacim ağırlıklı ortalama yaşı (ya da geçiş süresi; $20 \cdot 0.5 + 10 \cdot 0.5 =$) 15 yıl olacaktır. Geçiş süresi dağılımı açısından bakıldığında ise örnekleme noktasına ulaşan suyun yarısının 20 yıllık, diğeri yarısının ise 10 yıllık geçiş süresine sahip oldukları anlaşılmaktadır. Diğeri bir deyişle, akiferin hidrolik, geometrik ve jeohidrolojik (hidrolik iletkenlik, etkin porozite, depolama katsayısı vb) özelliklerinin ortak etkisi nedeniyle beslenme anından itibaren bir kısım suyun örnekleme noktasına ulaşması 20 yıl sürmüş iken, diğeri bir kısım suyun bu noktaya ulaşması 10 yılda gerçekleşmiştir.

Yukarıda belirtilen geçiş süresi dağılımlarının belirlenmesi için matematiksel modeller kullanılmaktadır (bkz. Tezcan, L., 2002). Bu amaçla kullanılan modellerin bir kısmı doğrusal Darcy yasasına temelinde, sonlu farklar ya da sonlu elemanlar uzaysal parçalama (spatial discretization) tekniklerine dayalı modellerdir. Öte yandan, akım ağı (streamline) fonksiyonunun benzer yaklaşımlarla çözülmesi yoluyla akifer içi hız dağılımının belirlenmesi ve istenilen akım kesitleri için kabaca hız/yol = zaman yaklaşımı ile YAS yaş ya da GSD'nın belirlenmesi mümkündür. Dağılık parametrelili (distributed parameter, DP) model sınıfındaki bu hesaplama araçları matematiksel tasarımları itibariyle akım sisteminin tanımlanması açısından diğeri sınıflardaki modellere göre büyük üstünlüğe sahip olmalarına karşın, akım sisteminin geometrik, hidrolik ve jeohidrolojik (G-H-J) özellikleri açısından sağlıklı verilere gereksinim duyarlar. Özellikle geniş ölçekli akım sistemlerinde, söz konusu verilerin temin edilmesinde karşılaşılan güçlükler nedeniyle bu gibi modellerin kalibre edilmesinde çevresel izleyicilere dayalı iyileştirme yaklaşımlarına gereksinim duyulmaktadır (bkz. Doğdu ve Tezcan, 2002). Bu tür modellerde gereksinilen güvenilir jeohidrolojik verilerin temin edilmesi amacıyla yeni jeofizik yöntemlere (GPR, Ground Penetrating Radar; TDR, Time Domain Reflectometry; BR, Borehole Radar vb) dayalı çalışmalar günümüzün ileri hidrojeolojik araştırma konuları arasındadır.

Akım sisteminin akıma etkiyen G-H-J özelliklerinin belirlenmesinin güç olduğu durumlara karşılık gelen çoğunlukla geniş ölçekli akifer sistemlerinde YAS GSD dağılımının belirlenmesi amacıyla kullanılan matematiksel yaklaşımlardan birisi de Odasal Modeller'dir (Compartmental Models, CT). Bu tür modellerde akım sistemi benzer YAS iletme özelliğine sahip olduğu düşünülen odalar (compartment) ile temsil edilir ve her bir oda içindeki geçiş süresinin sabit olduğu varsayılır (Yurtsever and Payne, 1985; Adar, 1996; Tezcan, 1993). Odaların hacımsal büyüklükleri, geçiş süreleri ve kendi aralarındaki bağlantı ilişkileri uygulayıcı tarafından saha koşulları dikkate alınarak belirlendiğinden CT modeller akım sistemi hakkında kısmen de olsa fiziksel (quasi-physical) bilgi sağladıklarından GSD'nın belirlenmesinin yanısıra akifer sisteminin tanınması açısından da yararlıdırlar.

Akım sisteminin G-H-J özelliklerine ilişkin belirsizliklerin yoğun olduğu durumlarda GSD'nın belirlenmesi için uygulanabilecek yaklaşımlardan birisi de Tümsel parametrelili (Lumped parameter, LP) modellerin kullanılmasıdır.

TÜMSEL PARAMETRELİLİ MODELLER

Tümsel parametrelili modellerde akifer sisteminin yeraltısuyu akım hızına etkiyen G-H-J özelliklerinin tümünün sistem tepkisi (system response) adı verilen bir fonksiyon tarafından temsil edildiği varsayılır. Tümsel modellerdeki sistem tepkisi, sisteme olan girdiyi (örğ. beslenme), sistemden olan çıktıya (örğ. boşalım) dönüştüren bir işlemci olarak değerlendirilebilir. Örneğin, sisteme olan girdi hammadde, sistemden olan çıktı ürün olarak ele alındığında sistem tepkisi fabrikada gerçekleşen tüm üretim süreçlerinin toplam yansıması olmaktadır. Dolayısıyla, tümsel modelleme yaklaşımı girdiyi çıktıya dönüştüren süreçlerin ayrıntılarının bilinmediği durumlarda, girdi ve çıktı bilgilerini kullanarak bu üretim süreçlerinin tamamını içeren bir fonksiyonun (sistem tepki fonksiyonu) belirlenmesi ya da tahmin edilmesi işlemidir. Bu nedenle, bu tür modeller kara-kutu (black box) model olarak da adlandırılırlar.

Sisteme ait girdi değişiminin (fonksiyonunun) bilinmesi ve sisteme bir tepki fonksiyonu atfedilmesi (tahmin edilmesi) durumunda sistem çıktı fonksiyonunun hesaplanması mümkündür (Şekil 1). Konvolüsyon (convolution= örme) olarak adlandırılan bu yöntemde girdi ve sistem tepki fonksiyonları herbirini temsil eden farklı renklerdeki ipliklerle yapılan örme işlemine benzemekte, sonuçta sistem çıktı fonksiyonu "örgü" olarak ortaya çıkmaktadır. Öte yandan, sistemin girdi ve çıktı değişimlerinin (fonksiyonlarının) bilinmesi durumunda dekonvolüsyon (deconvolution= sökme) yöntemleri (örğ. Linear spline, fast Fourier transform, Languer function yöntemleri) ile sistem tepki fonksiyonunun belirlenmesi mümkündür. Buradaki işlem ise, örgünün (çıkı fonksiyonunun) sökülmesi yoluyla uygulanan örme tekniğinin (sistem tepki fonksiyonu) belirlenmesini amaçlamaktadır.

Tümsel modeller sistemin içsel işleyişi konusunda net bilgilerin mevcut olmadığı ya da ayrıntılı bilgilere başvurulmaksızın ön değerlendirmelere gereksinim duyulan her disiplinde kullanılmaktadırlar. Tümsel model uygulamalarının günümüzde hidrojeoloji dışındaki belli başlı uygulama alanları kimya ya da nükleer enerji mühendisliğinde reaktör tasarımı, tıpta kan ve diğer dolaşım sistemlerinin, oşinografi ve limnolojide deniz-göl karışım sistemlerinin araştırılması gibi çalışmaları kapsamaktadır.

Girdi Fonksiyonu	Sistem Tepki Fonksiyonu	Çıktı Fonksiyonu	Matematiksel Çözüm Tekniği
verilen	verilen	hesaplanan	Konvolusyon
verilen	hesaplanan	verilen	Dekonvolusyon

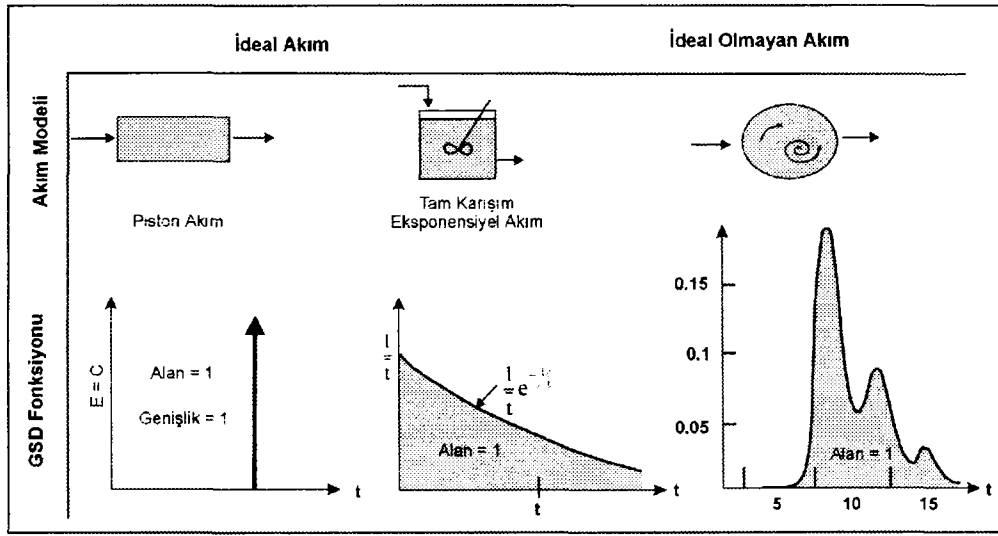
Şekil 1: Konvolusyon ve dekonvolusyon yaklaşımlarının şematik gösterimi.

HİDROJEOLOJİDE TÜMSEL PARAMETRELİ MODELLER

Tümsel modellerin hidrojeolojideki başlıca uygulama alanı geniş ölçekli ve hakkında yeterli G-H-J verilerinin mevcut olmadığı akifer sistemlerinde GSD'nın belirlenmesidir. Bu amaçla, atmosferik çevresel izleyici derişiminin zamansal değişimi sistem girdi fonksiyonu olarak kullanılmakta, konvolusyon tekniğiyle bu fonksiyon sistemin uyduğu varsayılan tepki fonksiyonu tarafından çıktı fonksiyonuna, yani sistemden kaynak-kuyu vb yollarla çıkan izleyici derişiminin zamanda değişimine dönüştürölmektedir. Bu yolla hesaplanan zamansal izleyici çıktı derişimlerinin belirli zamanlarda gözlenen izleyici derişimleri ile uyuşması durumunda kullanılan sistem tepki fonksiyonunun incelenen akifer sisteminde YAS GSD'nı temsil ettiği kabul edilmektedir. Bu açıdan bakıldığında, bir akifer sisteminin belirli bir zamanda kendisine olan izleyici girdisini iletmesi açısından iki ve birbirinden tamamen farklı durum söz konusudur. Sistem, belirli bir andaki izleyici girdisini ya önceki zaman adımlarındaki girdiler ile hiç karıştırmadan ileticek, ya da izleyici daha önceki anlara ait izleyici girdileri ile tamamen karışarak iletilecektir. Bu yaklaşımlardan ilki piston akım (piston flow), ikinci tam karışımli akım (well mixed flow) yaklaşımı olarak adlandırılırlar. Bu iki yaklaşım, doğada karşılaşılabilecek izleyici iletim (taşınım) mekanizmaları açısından olası iki ekstrem (uç) durumu (end-members) temsil etmektedirler. Doğal olarak, söz konusu taşınım mekanizmaları ile doğada karşılaşıması mümkün olmakla birlikte, tüm doğal sistemlerin bu şekilde davranması beklenemez. Bu nedenle, bu iki ekstrem durum arasındaki izleyici karışım ve iletim durumlarına uygun tümsel model sistem tepki fonksiyonları türetilmiştir. Bu türetmeler genellikle piston akım ve tam karışım modellerinin çeşitli kombinasyonlarından oluşmaktadır (Şekil 2).

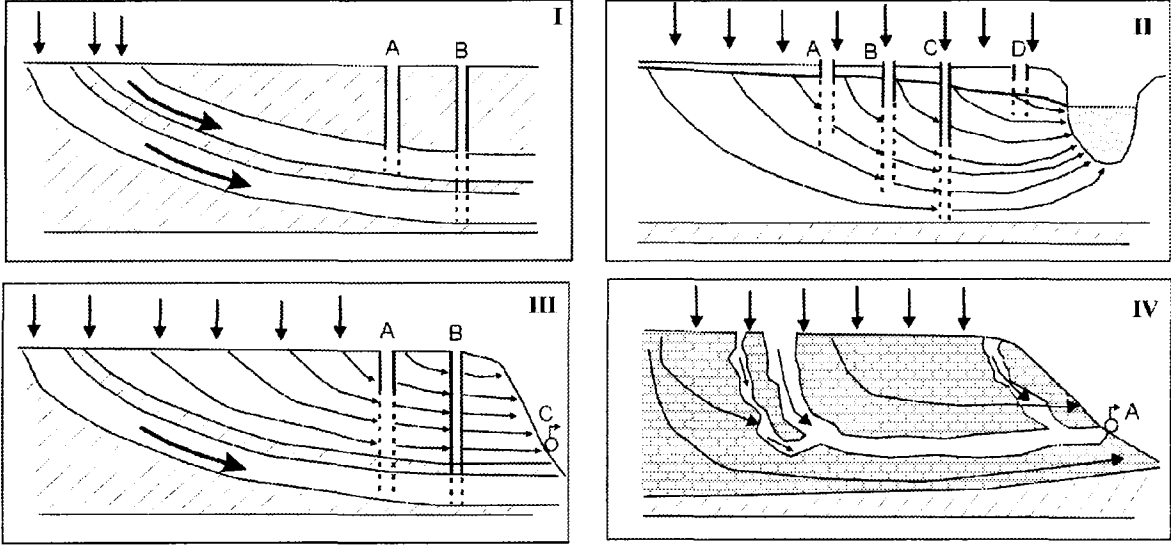
İdeal bir durum olarak ele alınan piston akım modelinde ardışık yıllara ait beslenimlerini takip eden fakat birbirleriyle karışmayan bir biçimde sistem içinde ilerlediği varsayılmaktadır (Şekil 2). Bu durumda, YAS'nun beslenim ve örneklenmesi arasındaki süre dengeli akım koşullarında sabit olup, geçiş süresi dağılımı söz konusu değildir. Beslenim ve örnekleme anları arasındaki süre sistemin geçiş süresine ya da YAS'nun yaşına eşittir. Diğer bir ideal durumu yansıtan tam karışım modelinde ise her yılki beslenim, geçmiş beslenimlerle tam olarak karışmakta ve bu beslenimin sistemi teorik olarak $t > 0$ anı ile $t = +$ sonsuz arasında parça parça terk ettiği varsayılmaktadır. Sistem çıkışından boşalan suda geçmiş yıllardaki beslenimin ağırlığı genç sulardan yaşlı sulara doğru eksponansiyel biçimde ve sistemin ortalama geçiş süresine bağlı olarak azalmaktadır. Gerek piston akım koşulları için öngörölen ardışık beslenimlerin birbirleri ile hiç karışmadıkları şeklindeki varsayımın ve gerekse tam karışım modelinde öngörölen herhangi bir beslenimin sistemi terk etmesinin + sonsuza kadar süreceği şeklindeki varsayımın doğa koşullarında geçerli olması beklenen bir durum değildir. Bu nedenle, her iki "ideal" koşulun değişik biçimlerde birleştirilmesinden oluşan tümsel modellerin kullanılması daha mantıklı görünmektedir. Diğer bir deyişle piston ve tam karışım modellerin idealize edilmiş, "ideal" akım koşullarını, bunların kombinasyonları ile oluşturulan modellerin ise "ideal olmayan" fakat daha gerçekçi akım sistemlerini temsil edecekleri söylenebilir.

Çok kaba bir yaklaşımla basınçlı akiferlerin piston, serbest akiferlerin ise tam karışım modeline uygun oldukları söylenebilirse de, uygulayıcı yukarıda belirtilen uyarıları dikkate almalıdır. Çeşitli hidrojeolojik saha koşullarına ya da kavramsal akifer modellerine uyan tümsel model kombinasyonlarından bazıları Şekil 3’de gösterilmiştir. Bu şekillerden tümsel modelleme çalışmalarında uygulayıcının öncelikle saha koşullarını dikkate alan bir taslak kavramsal (conceptual) akım modelini oluşturması gerektiği anlaşılmaktadır. Daha sonra kavramsal modele en uygun tümsel model seçilmelidir. Örneğin örnekleme noktasının hem basınçlı, hem de serbest akiferden su alması durumunda birbirine paralel bağlanmış piston ve tam karışım modellerini içeren bir tümsel modelin kullanılması gerekecektir. Diğer yandan, ideal piston akım koşullarının basınçlı akiferlerin doğasına tam olarak uymamaları nedeniyle, piston akım modeli yerine bu modelin farklı akım dirençlerine sahip litolojilerden kaynaklanan makro dispersiyon etkisini içermek üzere değiştirilmiş bir türevi olan dispersif akım modelinin kullanılması da mümkündür.




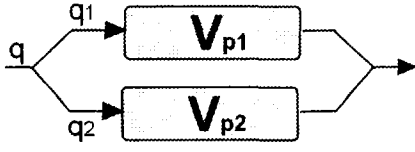

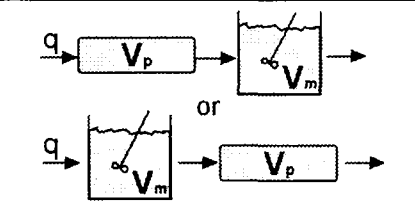
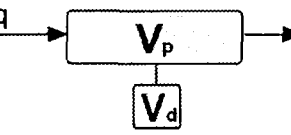
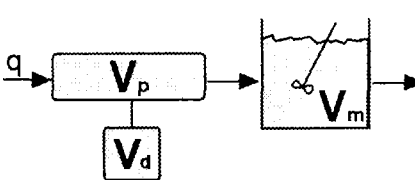
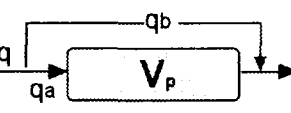
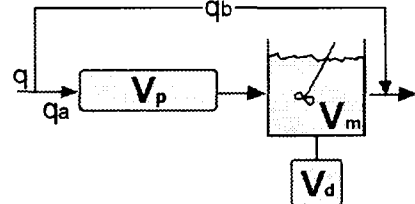
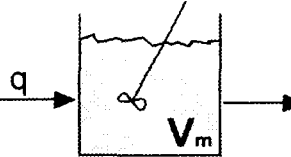
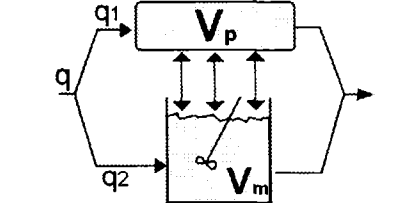
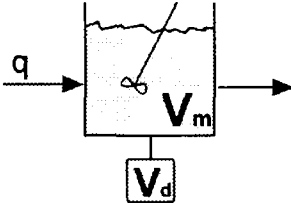
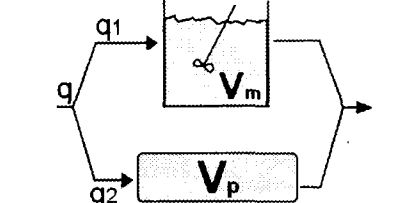
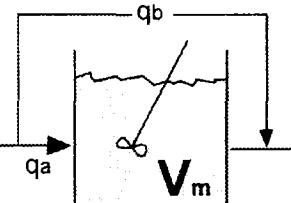
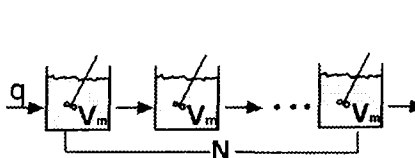
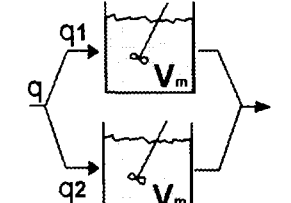
Şekil 2: İdeal ve ideal olmayan akım koşulları için GSD fonksiyonları.

Yukarıda verilen örneğe benzer şekilde, istenilen sayıda piston ve tam karışım akım modellerinin paralel ve/veya seri bağlanması yoluyla saha koşullarına dayalı kavramsal modele daha uygun tümsel modellerin oluşturulması da mümkündür. Ayrıca, akiferlerde karşılaşılması olası ölü hacim ve hızlı akım bileşenleri de bu tür modellerde içerilebilirler. Burada “ölü hacim” ile akım sisteminde akışın sistemin diğer yerlerine göre durağan olduğu hacimler tanımlanmaktadır. Benzer şekilde “hızlı akım” terimi sistemin diğer bölümlerine göre yüksek hıza sahip olan akım bileşenini temsil etmektedir. Bu benzeri gibi geliştirilmiş tümsel modeller aracılığı ile sistemin tanımlanan alt bileşenlerine ait hacimlerin ve/veya bu bileşenlerde geçerli olan akımların tahmin edilmesi de mümkündür. Bu durumda, tümsel modeller klasik “kara kutu” yaklaşımının ötesinde sistem hakkında bazı fiziksel verilerin elde edilebildiği yaklaşık-fiziksel (quasi physical) modellere dönüşmektedirler.



Şekil 3: Hidrojeolojik kavramsal modelden uygun tümsel modele geçiş örnekleri.

Bu yaklaşımla tasarlanmış tümsel model kombinasyonlarından bazı örnekler Şekil 4'te gösterilmiştir. Diğer yandan, her tür modelde olduğu gibi anılan kombinasyonların genişletilmesi ile orantılı olarak toplam varyansın büyüyeceği, belirli bir aşamadan sonra üretilen çıktı fonksiyonunun önemli düzeyde belirsizlikler içereceği unutulmamalıdır.

Model Tipi	Model Yapısı	Model Tipi	Model Yapısı
Model 1: Piston		Model 8: Paralel Piston	
Model 15: Makro Dispersiyon		Model 9: Piston ve Tam Karışım seri bağlı	
Model 2: Piston + Ölü Hacim		Model 10: Piston ve Tam Karışım seri bağlı ve Ölü Hacim içeriyor	
Model 3: Piston ve Hızlı Akım		Model 11: Seri bağlı Piston ve Tam Karışım, Ölü Hacim ve Hızlı Akım bileşeni içeriyor	
Model 4: Tam Karışım		Model 12: Piston ve Tam Karışım seri bağlı ve aralarında akım geçişi var	
Model 5: Tam Karışım ve Ölü Hacim		Model 13: Paralel bağlı Tam Karışım ve Piston	
Model 6: Tam Karışım ve Hızlı Akım		Model 14: Seri bağlı Tam Karışım	
Model 7: Paralel bağlı Tam Karışım			

Şekil 4: Tümsel model kombinasyonlarına ait bazı örnekler.

TÜMSEL PARAMETRELİ MODELLERDE DENGELİ VE DENGESİZ AKIM

Bir akım sisteminde beslenme ve boşalım miktarları arasında önemli farklılıkların oluşması akifer ya da akiferi oluşturan alt akifer parçalarında önemli hacim değişimlerine neden olabilmektedir. Bu durumda uygulayıcı, modelin kapsadığı zaman dilimi içerisinde dengeli ya da dengesiz akım koşullarının ne denli geçerli olduğuna öncelikle karar vermelidir. Doğal olarak dengesiz akım koşullarının hüküm sürdüğü bir akifer sistemine dengeli akım tümsel modellerinin uygulanması önemli bir kural ihlali olacaktır.

Günümüzden 15 yıl öncesine kadar dengesiz rejim koşullarının yalnızca dağınık parametrelili ve odasal modeller ile temsil edilebilmekte, bu koşulları kapsayan tümsel model eşitliklerinin matematiksel çözümünün mümkün olmadığı düşünülmekteydi. Bununla birlikte, son 10 yıl içinde ortaya çıkan gelişmeler ile tümsel modellerin de dengesiz akım koşullarını temsil edecek biçimde çalıştırılmasına olanak sağlamaktadır.

GEÇİŞ SÜRESİ DAĞILIMI VE ORTALAMA GEÇİŞ SÜRESİ

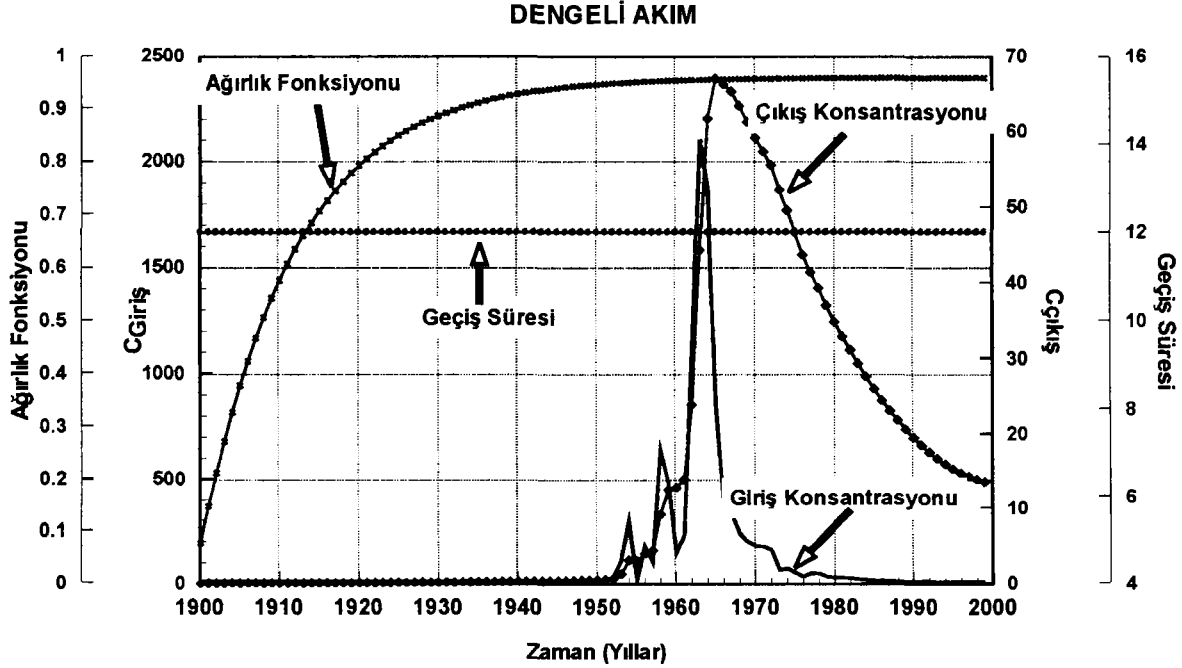
Yukarıda da belirtildiği gibi bir tümsel model girdi fonksiyonunu çıktı fonksiyonuna sistem tepki fonksiyonu aracılığı ile dönüştürmektedir. Sistem tepki fonksiyonu aynı zamanda girdilerin çıktı üzerindeki ağırlıklarını da belirlediğinden, ağırlık fonksiyonu olarak da adlandırılmaktadır. Bu açıdan bakıldığında, ağırlık fonksiyonunun olasılık yoğunluk fonksiyonu ile benzer işleve sahip olduğu söylenebilir.

Ağırlık fonksiyonunun değişik zaman adımlarında alacağı değerler ise ilgili matematiksel eşitliğin genel formuna ve akım sisteminin geçiş süresine bağlıdır. Dengeli akım koşullarında akım sistemi tek bir geçiş süresine sahip iken, dengesiz akım koşullarındaki geçiş süresi her bir zaman adımındaki girdi-çıkıtı debileri ile sistem hacmi tarafından belirlenmektedir.

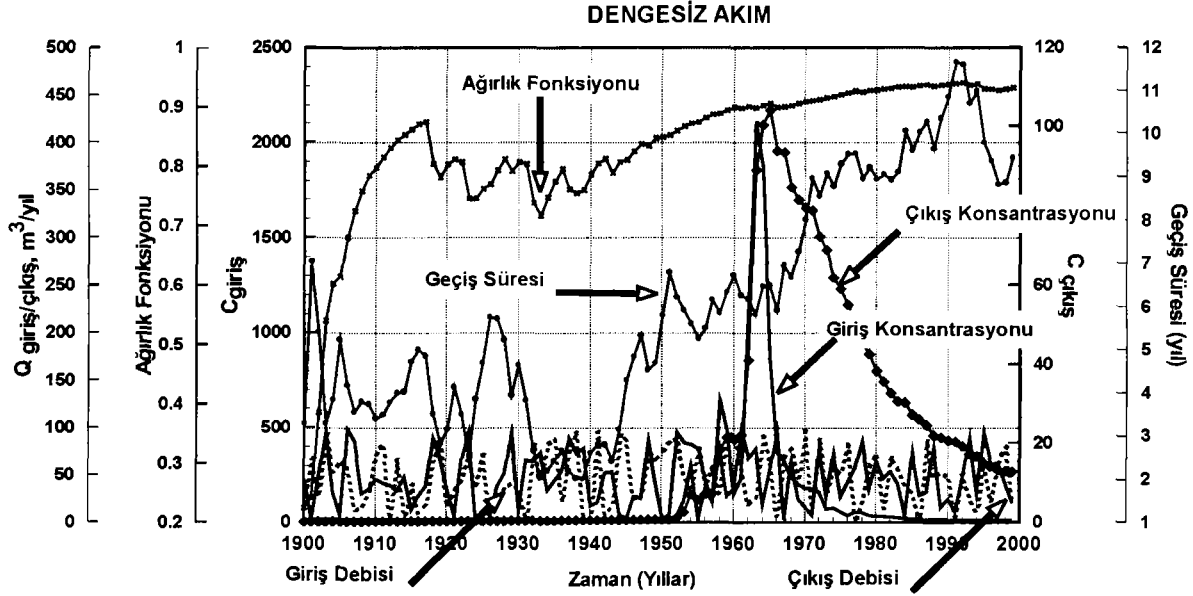
Şekil 5'te dengeli akım koşullarına ait bir tam karışım modeline ait girdi-çıkıtı derişimleri ile, geçiş süresi ve ağırlık fonksiyonunun değişik zaman adımlarında aldığı değerler gösterilmiştir. Ağırlık fonksiyonunun zaman içindeki değişimi exponansiyel formda olup, fonksiyonun belirli zaman adımlarındaki değeri, o zaman adımlarındaki girdi ağırlığını belirlemektedir. Bu uygulamada, geçiş süresi her bir zaman adımı için aynı olup, ortalama geçiş süresi ile aynı değere sahiptir. Geçiş süresi sistem hacminin sistemdeki akışa oranı olduğundan (V/q) ve dengeli akım koşullarında sistem hacmi ve akış (debi) sabit olduğundan, her zaman adımında geçiş süresinin aynı değeri alması beklenen ve olağan bir durumdur.

Şekil 6'da dengesiz akım koşullarında tam karışım modeli için girdi-çıkıtı derişimleri ile ağırlık fonksiyonu ve geçiş süresinin zamana bağlı değişimi gösterilmektedir. Giriş ve çıkış debilerinin değişmesine ve bunlara bağlı olarak sistem hacminin her bir zaman adımında değişmesinden dolayı, dengesiz akım koşullarında tek bir geçiş süresinden bahsetmek mümkün değildir. Genel olarak giriş debisi, çıkış debisini aştıkça sistem hacmi büyümekte, buna bağlı olarak da ilgili geçiş süresi artmaktadır. Bu durumun bir sonucu olarak, tam karışım modelinin eksponansiyel bir eşitlik ile ifade edilmesine karşın, dengesiz akım koşullarına ait ağırlık fonksiyonu Şekil 5'te olduğu gibi genel eksponansiyel formunu koruyamamaktadır (bkz. Şekil 6). Ağırlık fonksiyonu değerlerinin düzensiz değişimi değişik zaman adımlarındaki izleyici girdi derişimlerinin çıktı derişimi

üzerindeki etkisinin de her bir zaman adımı için değişmesine neden olmaktadır. Dolayısıyla dengesiz akım koşullarının egemen olduğu akifer sistemlerine ait izleyici çıkış derişimleri daha büyük zamansal salınım göstermektedirler. Bu durum, hesaplanan ve gözlenen çıktı derişimlerinde daha sağlıklı çakıştırmaların yapılmasını olanaklı kılmaktadır. Böylece, akım sisteminin varsayılan kavramsal model uygun olup olmadığı konusunda uygulayıcı daha güvenli kararlar verebilmekte, sistem hacmi konusunda daha sağlıklı ipuçlarına ulaşabilmektedir.



Şekil 5: Dengeli akım koşullarında tam karışım modeli için girdi-çıkı derişimleri ile ağırlık fonksiyonu ve geçiş süresinin zamana bağlı değişimi.



Şekil 6: Dengesiz akım koşullarında tam karışım modeli için girdi-çıkış derişimleri ile ağırlık fonksiyonu ve geçiş süresinin zamana bağlı değişimi.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Akifer sistemlerde geçiş süresi dağılımının belirlenmesinde dağınık parametrelili modeller, fiziksel sistemin daha iyi tanımlanmasına olanak verdiklerinden büyük bir üstünlüğe sahiptirler. Bununla birlikte, akış sistemine ait geometrik, hidrolik ve jeohidrolojik verilerin sınırlı ya da belirsiz olduğu durumlarda tümsel modeller geçiş süresi dağılımının belirlenmesi için kullanılabilir bir araç olarak ortaya çıkmaktadırlar. Geçen 10 yıl içindeki çalışmalar sonucunda bu modellerin dengesiz akım koşullarını da içerecek biçimde geliştirilmesi bu modellerin incelenen sistemlerin kavramsal modele uygunluğunun yanısıra, girdi-çıkış debileri ile hacimlerinin de beklenen sınırlarda olup olmadığının belirlenmesine olanak vermektedir. Diğer yandan, hangi türden olursa olsun bir modelin yalnızca gerçekteki doğanın bir yakınsaması olduğu unutulmamalı, uygulamada gözlenen ve hesaplanan değerlerinin tam çakışmasından çok, modelin incelenen sistemi temsil etmedeki yeterliliği dikkate alınmalıdır. Bu açıdan, tümsel modellerin esas olarak kavramsal model hipotezlerinin test edilmesi amacıyla kullanılması daha yaygın bir kullanım alanı olarak görünmektedir.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Adar, E.M., 1996. Quantitative evaluation of flow systems, groundwater recharge and transmissivities using environmental tracers, Manual on Mathematical Models in Isotope Hydrogeology, IAEA-TECDOC-910, 113-154.
- Doğdu, N., Tezcan, L., 2002. Hidrojeolojik modellerin izotoplar yardımıyla modellenmesi, DSİ Hidrojeolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu, 21-25 Ekim 2002, Adana.
- Levenspiel, O., 1999. Chemical Reaction Engineering. 3rd edn. John Wiley & Sons, New York, 578 pp.

- Maloszewski, P., 1996. LP models for the interpretation of environmental tracer data. In: Manual On Mathematical Models In Isotope Hydrology, IAEA-TECDOC-910. Vienna, Austria, pp.9-58.
- Maloszewski, P., Zuber, A., 1982. Determining the turnover time of groundwater systems with the aid of environmental tracers, I-Models and their applicability. *Journal of Hydrology* 57(3-4), 207-231.
- Niemi, A.J., 1990. Processes with variable flows and volume. In *Guidebook on Radioisotope Tracers in Industry*, Chapter4.5, IAEA, Vienna, 74-91.
- Tezcan, L., 2002. İzotop hidrolojisi çalışmalarında kullanılan matematiksel modelleme yaklaşımları ve yeraltısuyu yaşı kavramı, DSİ Hidrojeolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu, 21-25.Ekim.2002, Adana.
- Tezcan, L., 1993. Karst akifer sistemlerinin trityum izotopu yardımıyla matematiksel modellemesi.Hacettepe Üniversitesi, Doktora Tezi, 125s.
- Thereska, J., 2000, Radiotracer and sealed source techniques and applications, Training Course Handbook, IAEA, Vienna.
- Yurtsever, Y., Payne, B.R., 1986. Time-variant linear compartmental model approach to study flow dynamics of a karstic groundwater syste by the aid of envirnmental tritium (A case study of south-eastern karst area in Turkey), *Karst Water Resources*, IAHS Publication No.161, 545-561.
- Zuber,A., 1986a. Mathematical models for the interpretation of environmental radioisotopes in groundwater systems. In: Fritz, P., Fontes, J.Ch. (Eds.), *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry*. Elsevier, Amsterdam. 1-59 pp.
- Zuber, A. 1986b. On the interpretation of tracer data in variable flow systems. *Journal of Hydrology* 86 (1-2), 45-57.