

HİD481 İzotop Hidrolojisi

9. Hafta Yeraltısuyu Yaşı Hesabı "Tritiyum"

Prof.Dr. C. Serdar BAYARI, Jeoloji Mühendisliği Bölümü Hidrojeoloji Anabilim Dalı



Kaynak kitap: Clark & Fritz, Environmental Isotopes in Hydrology



İZLEYİCİ GİRDİ SERİSİ

Bir izleyici derişiminin zamanla değişimi "İzleyici Girdi Zaman Serisi", "İzleyici Girdi Fonksiyonu" ya da "İzleyici Girdi Serisi" olarak adlandırılır. Benzer biçimde bir nokta da gözlenen izleyici derişiminin zamana göre değişimi ise "İzleyici Çıktı Zaman Serisi", "İzleyici Çıktı Fonksiyonu" ya da "İzleyici Çıktı Serisi" olarak adlandırılır.

Bu terimlerden "İzleyici Girdi Serisi" ve "İzleyici Çıktı Serisi" daha yaygın kullanılır. İzleyici çıktı serisinin zamansal değişimini

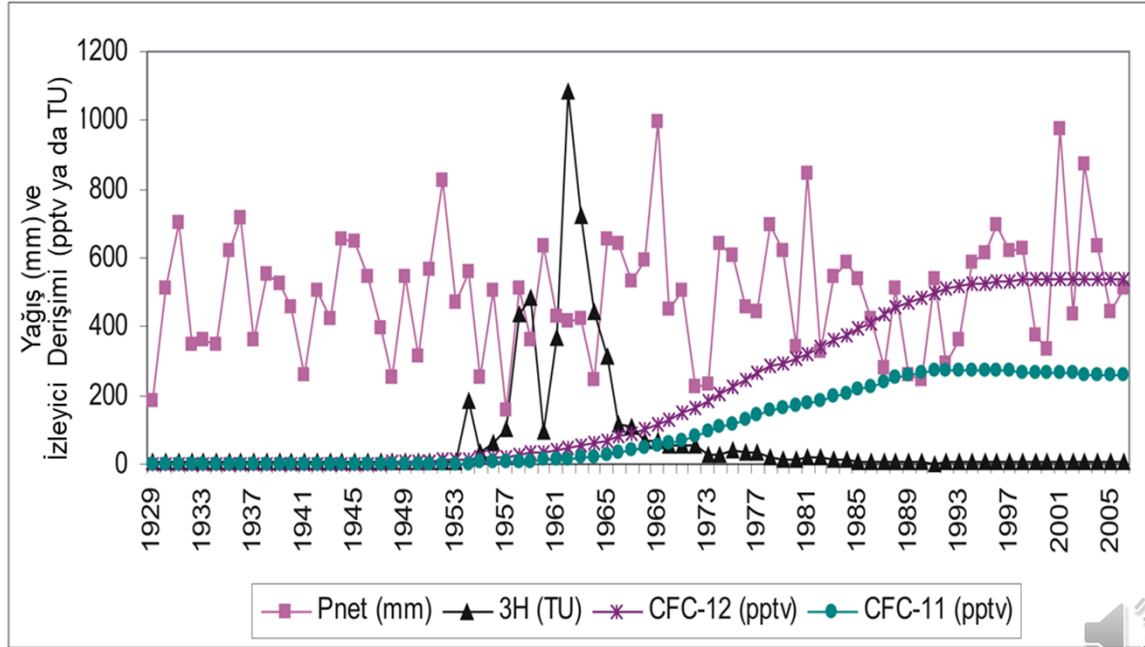
- İzleyici Girdi Serisi,
- Sistem Tepki Fonksiyonu (STF)
- İzleyici derişiminin zamanla değişmesi (bozunma) belirler.

Sistem Tepki Fonksiyonu Girdi Serisini Çıktı Serisine dönüştüren hidrojeolojik sistemin davranışının matematiksel bir ifadesidir.

Bazı izleyiciler için (örneğin Karbon-14 ya da radyokarbon, ^{14}C) İzleyici Girdi Serisi'nin değeri zamanda sabittir (^{14}C için 100 pmc).

Buna karşın, trityum izotopunun İzleyici Girdi Serisi zamanda değişkendir. Bunun nedeni yağıştaki trityum içeriğinin insan etkisi ile (yani antropojenik= insan kökenli nedenlerle) zaman içinde değişmesidir.

Aşağıdaki gafikte Kırıkgöz kaynakları (Antalya) beslenim alanı için hazırlanmış İzleyici Girdi Serisi tritium izotopu ile CFC-11 ve CFC-12 gazları için gösterilmiştir. Triyum izotopu İzleyici Girdi Serisi yağışta gözlenen tritium içeriğine dayalı olup, bu serinin STF'una uygulanmadan önce yıllık yağış miktarlarına göre ağırlıklandırılması gerekmektedir. Grafikteki İzleyici Girdi Serilerinden gözlenen zamansal değişimin nedeni antropojeniktir.



İZLEYİCİ GİRDİ SERİSİ (Tritium)

Yağıştaki trityumun başlıca üç kaynağı vardır:

- Kozmojenik
- Jeojenik
- Antropojenik

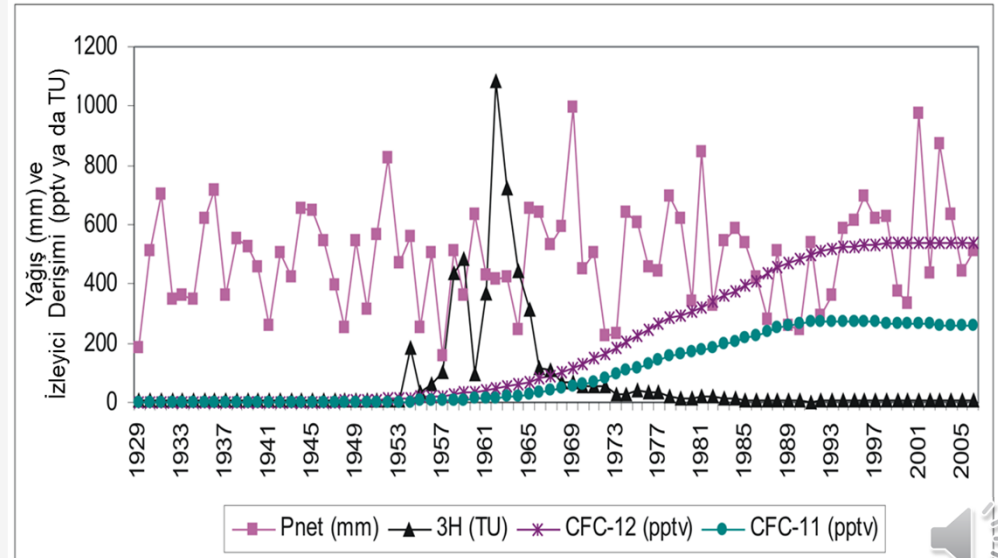
Asıl kaynağı oluşturan kozmojenik tritium dış uzaydan gelen kozmik nötronların stratosfer troposfer sınırı yakınlarında azot gazının çarpışması sonucunda oluşur. $3H$ daha sonra oksijenle birleşerek trityumlu su molekülünü (H^3HO) oluşturur. Bu yolla oluşan trityum yağıştaki doğal fon değerini (natural background level) oluşturur. Enleme, içinde bulunulan yarıküreye ve aya göre bu değer 5-10 TU arasında değişir.

Jeojenik trityum kayalarındaki lityumun yine kayalarda gerçekleşen radyoaktif bozunma reaksiyonlarından kaynaklanan nötron ile çarpışması sonucunda oluşur. Pek çok durumda bu yolla oluşan trityum miktarı önemsizdir.

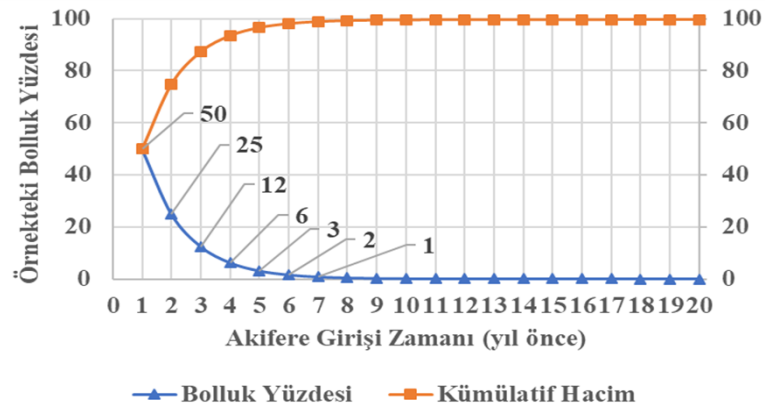
Antropojenik trityum nükleer reaktörler, nükleer yakıt işleme tesisleri ve atmosfere açık termo-nükleer bomba denemelerinden kaynaklanır. Bomba denemeleri antropojenik trityumun ana kaynağıdır.

Albert Einstein'ın kuramsal hesaplamalar sonucu " $E = m \cdot c^2$ " önermesi kütlenin enerji içerdiğine işaret etmektedir. Bu enerjinin açığa çıkartılması için gerçekleştirilen yoğun çalışmalar sonucunda "atom bombası" olarak bilinen nükleer silahlar geliştirilmiştir. Geliştirilen silahların test edilmesi sürecinde atmosfere yoğun miktarda trityum izotopu karışmış olup bazı yerlerde yağışın trityum içeriği 3000 TU değerini geçmiştir. İçme suyunda izin verilen sınır değer 800 TU'dir.

Bu durumun küresel bir risk oluşturması nedeniyle atmosfere açık nükleer bomba denemeleri 1963 yılında yasaklanmıştır. Bu sürece bağlı olarak 1950'li yıllar öncesinde doğal fon değerindeki yağış trityum içeriği 1963 yılına değin artış, bu tarihten sonra ise radyoaktif bozunmadan dolayı azalış eğilimine girmiştir. Günümüzde yağışın trityum içeriği doğal fon değer aralığına ulaşmıştır. Tritium beta bozunması ile (çekirdekten elektron atılması) duraylı helium-3 (3He) izotopuna dönüşmektedir.



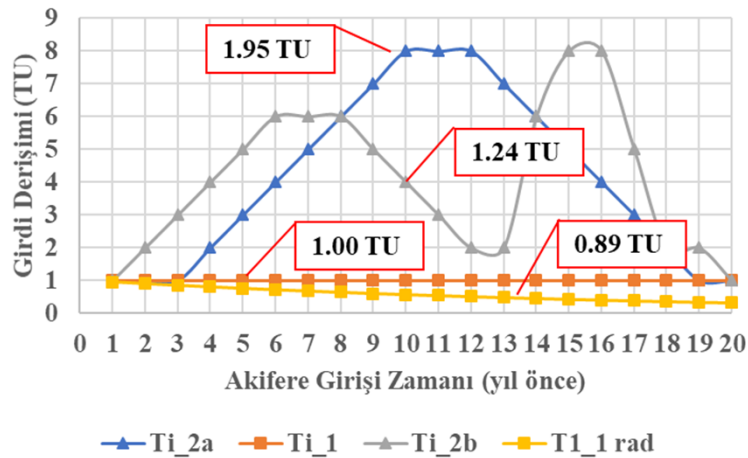
İZLEYİCİ GİRDİ SERİSİ > YERALTISUYU YAŞ DAĞILIMI > İZLEYİCİ ÇIKTI SERİSİ



Sol üstteki grafikte "dengeli rejim" koşullarında boşalan bir kaynağa ait hipotetik yaş dağılımı gösterilmektedir.

Bir hidrolik sistem için dengeli rejim belirli bir zaman dilimindeki beslenme ve boşalmanın eşit olması durumudur. Yaş tayini hesaplamalarında bu zaman dilimi genellikle bir yıl olarak seçilir. Dengesiz rejimde beslenme ve boşalım birbirine eşit değildir, biri ya da diğeri büyük olabilir. Bu durumda grafikte gösterilen yaş dağılımı farklı olacaktır.

Grafikteki yaş dağılımına göre T=0 yılında kaynaktan boşalan suyun %50'si 1 yıl, %25'i 2 yıl, %12'si 3 yıl..... yaşındadır. Bu örnekte ağırlıklı ortama yaş 2 yıldır.



Sol alttaki grafikte 3 farklı izleyici girdi değişiminin zamana bağlı değişimi gösterilmektedir. Gözlem anı T=0 yıl'dır. Ti_1 izleyicisinin değişimi geçmişteki tüm yıllar için 1 TU değerine sahiptir. Ti_2a ve Ti_2b izleyicilerinin değişimleri zamanda değişkendir. Ti_2a izleyicisinin geçmişte 1 adet, Ti_2b izleyicisinin ise geçmişte 2 adet piki vardır.

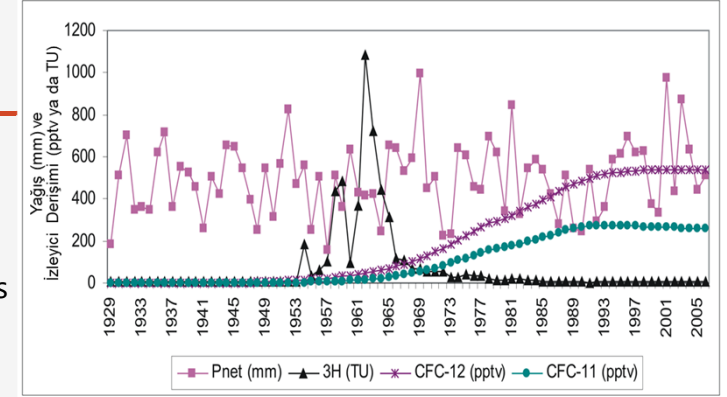
Sol üst grafikte gösterilen bolluk yüzdeleri kullanıldığında T=0 yılında kaynaktan gözlenen izleyici değişimi T0_1= 1.00 TU, T0_2a= 1.24 TU, T0_2b= 1.95 TU olacaktır. Bu değerler, izleyicinin radyoaktif ya da başka bir nedenle bozunmaya uğramaması durumunda geçerlidir.

Örnekteki izleyicinin radyoaktif trityum (^3H) izotopu olması durumunda burada verilen örnek için gözlenen değişimi T0_1= 0.89 TU olacaktır. Radyoaktif bozunmadan dolayı grafikteki geçmiş izleyici girdi değerlerinin T=0 yılındaki karşılıklarının azaldığına dikkat ediniz.

YERALTISUYU YAŞININ BELİRLENMESİ (Trityum)

Trityum izotopu ile yeraltısuyu yaşının belirlenmesinde üç farklı yaklaşım uygulanır:

- Niteliksel Yaklaşım
- Niceliksel Yaklaşım (Dağıtık parametrelili modeller, İng. Distributed-parameter models)
- Niceliksel Yaklaşım (Tümsel parametrelili modeller, İng. Lumped-parameter models)



Niteliksel Yaklaşım: Trityum içermeyen YAS'nun 50 yıldan daha yaşlı olduğu söylencesine (masalına) dayanır. Bu argümanın bilimsel bir temeli ve pratikte bir kullanım alanı yoktur. Kabaca 1963 yılında 100 TU düzeyindeki YAS trityum içeriğinin zaman içinde radyoaktif bozunma ile doğal fon değerine azalacağı düşüncesinden kaynaklanmaktadır. Trityum içermeyen bir YAS on binlerce yıl yaşında olabileceği gibi trityum içeren bir yeraltısuyu binlerce yıl yaşında olabilir. Örneğin, 10 TU trityum içeren 10 yaşında bir YAS ile 5 pmc karbon-14 izotopu içeren 40,000 yıl yaşındaki bir YAS'nu eşit miktarlarda karıştırdığınız karışım suyunun yaşı 20,005 yıl olacaktır. Bu tür karışımlar akifer ortamında doğal olarak ya da yapay çekim sonucu oluşurlar.

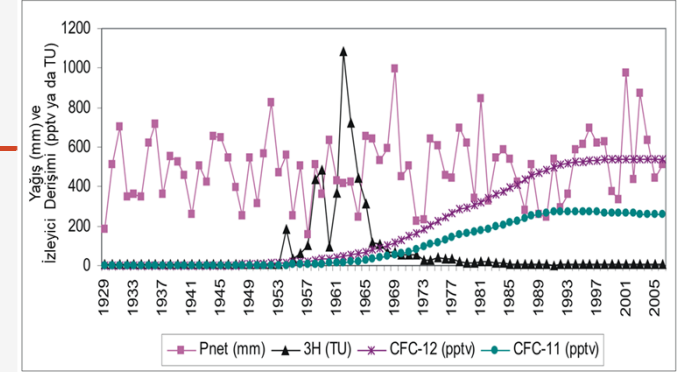
Niceliksel Yaklaşım: Dağıtık parametrelili "DP" modeller (İng. Distributed-parameter models) YAS akışını tanımlayan parametrelere (örğ. hidrolik gradyan, hidrolik iletkenlik, etkin gözeneklilik, net beslenme, boşalım vb) dayalı sayısal akım modelleridir. Bu akım modelleri ile herhangi bir izleyici yer ve zamana bağlı olarak YAS ortamında taşınabilir, radyoaktif, fiziksel ve kimyasal reaksiyonlara uğratılabilir. DP modellere gereksindikleri parametrelerin yanı sıra zaman bağlı Trityum Girdi Serisi" de girdi olarak verilir ve modelin bu girdiyi yer ve zamana bağlı olarak akış sistemi içinde taşıması sağlanır. Belirli bir noktadaki YAS trityum içeriği o noktaya ulaşan farklı yıllara ait beslenimlerin trityum içeriklerinin gözlem zamanına bağlı olarak radyoaktif bozunmaya uğratılması ve elde edilen değerlerin ağırlıklı ortalamasının alınması ile belirlenir. Bu değerler gözlem noktalarındaki (örğ. YAS üretim kuyusu, kaynak vb) ölçülmüş YAS tritium içerikleri ile karşılaştırılarak model parametrelerinde gerekli düzeltmeler yapılarak model önce kalibre (İng. calibration) edilir, sonra da doğrulanır (İng. verification). Bununla birlikte bir DP parametrelili model kalibrasyon ve doğrulama yapılmadan hipotez testi amaçlı olarak da kullanılabilir.

DP modeller ile belirlenen tritium (ve diğer izleyici) yaşlarının geçerliliği model parametrelerinin doğruluğuna çok bağlıdır. Oldukça başarılı DP modellerin yapılması oldukça güçtür. Buna karşın, bir kez güvenilir DP model oluşturulduğunda akış sisteminin her yerinde YAS yaşı hesaplanabilir.

YERALTISUYU YAŞININ BELİRLENMESİ (Tritium)

Tritium izotopu ile yeraltısuyu yaşının belirlenmesinde üç farklı yaklaşım uygulanır:

- Niteliksel Yaklaşım
- Niceliksel Yaklaşım (Dağıtık parametrelili modeller, İng. Distributed-parameter models)
- Niceliksel Yaklaşım (Tümsel parametrelili modeller, İng. Lumped-parameter models)



Niceliksel Yaklaşım: Tümsel parametrelili “TP” modeller (İng. Lumped-parameter models) YAS akışını tanımlayan parametrelerin (örğ. hidrolik gradyan, hidrolik iletkenlik, etkin gözeneklilik, net beslenme, boşalım vb) değerlerinin bilinmesinin mümkün olmadığı durumlarda kullanılan sayısal akım ve taşınım modelleridir. Bu modellerde izleyicinin taşınımına etkiyen tüm süreçlerin bir tek fonksiyon ile tanımlanabileceği varsayılır. Modelin bir (örğ. eksponansiyel dağılım modeli) ya da birden fazla (örğ. üç parametrelili gama dağılımı modeli) parametresi olabilir. TP modeller kullanılan fonksiyon tiplerine ve bunlar arası bağlantı şekillerine göre adlandırılır (Örğ. Eksponansiyel model, piston akım modeli, seri bağlı eksponansiyel-piston akım modeli). TP modeller dengeli rejim ya da dengesiz rejim akış koşullarında kullanılabilir. Dengesiz rejim TP modelleri daha gerçekçi sonuçlar verir. Eksponansiyel TP model YAS yaş dağılımının eksponansiyel olduğunu (normal dağılıma uyduğunu) varsayar. Piston Akım modelinde ise yaş dağılımının bir hortum içinde birbirini takip eden ardışık pistonlar gibi birbirine karışmayan tekil yaşlardan oluştuğunu varsayar. Bu iki model doğadaki durumların uç bileşenlerini (end-members) oluştururlar ve gerçek durumların büyük kısmı bu ikisi arasında ama eksponansiyel modele daha yakın konumda yer alır. TP modeller İzleyici Girdi Serisini (ve dengesiz akış modellerinde net yağış girdisi serisi yeraltısuyu boşalım serisi) ve sisteme ilişkin olası hacim aralığı verisini kullanarak olası bütün durumlar için İzleyici Çıktı Serileri oluştururlar. Daha sonra bu seriler izleyici gözlem serileri ile karşılaştırılarak en iyi uyumu sağlayan model(ler) belirlenir. Modelin çıktısı YAS yaş dağılımı ve beslenme ağırlıklı ortalama YAS yaşıdır. Gözlem serisi ne kadar uzun zaman aralığını kapsıyor ve ne denli çok gözlem noktası içeriyorsa TP model de o denli başarılı olur.

Belirsizlik ve doğruluk: Bilimde hiçbir ölçüm mutlak doğru değildir. Değerlendirmelerde kullanılan bütün ölçümler kabul edilebilir düzeyde ölçüm belirsizliğine ve doğruluğa sahiptir. Bu nedenle ölçüm verileri tekil sayılar olmaktan çok ölçümün standart hatası dikkate alınarak kullanılmalıdır. Örneğin, 3.5 TU tek başına anlamlı değildir. 3.5 TU (+/- 1.0 TU, 1 sigma standart sapma) ifadesi doğru sayının % 67 olasılıkla (1 sigma) 3.5-1.0= 2.5 TU ile 3.5+1.0= 4.5 TU arasında herhangi bir değer olduğunu belirtir. 2 sigma aralığı 1.5-5.5 TU şeklinde olup, gerçek değer %99.5 olasılıkla bu aralık içindedir. Standart sapmanın küçüklüğü ölçüm belirsizliğinin düşük olduğunu gösterir. Ölçümü doğruluğu eş zamanlı Standart Referans Malzemesi ölçümleri ile kontrol edilmelidir.



TÜMSEL PARAMETRELİ MODELLER (Dengeli ve Dengesiz Akış Rejimi)

Girdi Fonksiyonu	Sistem Tepki Fonksiyonu	Çıktı Fonksiyonu	Matematiksel Çözüm Tekniği
bilinir	tahmin edilir	hesaplanır	Konvolusyon

$$C_{\check{C}}(t) = \int_0^t C_G(t - \tau) STF(\tau) d\tau$$

Dengeli Akış Rejimi Eşitliği

$$C_{\check{C}}(t) = \int_0^{\infty} C_G(t - \tau) \frac{Q_G(t - \tau)}{Q_{\check{C}}(t)} STF(\tau, t) d\tau$$

Dengesiz Akış Rejimi Eşitliği

τ : geçiş süresi, t : gözlem anı

Giriş/Çıkış debileri

İzleyici giriş konsantrasyonu

İzleyici çıkış konsantrasyonu

Sistem Tepki Fonksiyonu
İzleyici Çıkış Derişimi Ağırlık Fonksiyonu

Doğada dengeli akış rejimi nadiren karşılaşılan bir durumdur.

YERALTISUYU YAŞ TAYİNİNDE KULLANILAN TP MODEL YAZILIMLARININ TARİHSEL GELİŞİMİ

FLOWPC 3.2, Maloszewski, 1996
(H-3, C-14, O18-D, H3-He)

BOX MODEL, Zoellmann & Aeschbach-Hertig, 2000
(H-3, CFC-11, CFC-12, CFC-113)

TRACER, Bayari, 2001
(H-3, CFC-11, CFC-12)

LUMPED; Ozyurt & Bayari, 2003
(H-3, CFC-11, CFC-12, CFC-113, SF6, Kr-85)

LUMPED Unsteady; Ozyurt & Bayari, 2005
(H-3, CFC-11, CFC-12, CFC-113, SF6, Kr-85)

**DENGELİ
AKIŞ REJİMİ**

**DENGESİZ
AKIŞ REJİMİ**

- Ozyurt, N.N. and Bayari, C.S., 2003, LUMPED: A Visual Basic Code Of Lp Models For Mean Residence Time Analysis In Groundwater Systems, Computers & Geosciences 29/1, 79-90.
- Ozyurt N. N., and Bayari C.S., 2005, LUMPED UNSTEADY: A Visual Basic code of unsteady-state lumped-parameter models for residence time distribution analyses of groundwater systems, Computers and Geosciences, 31(3), 329-341.

Doğada dengeli akış rejimi nadiren karşılaşılan bir durumdur.



KIRKGÖZ KAYNAKLARI YERALTISUYU YAŞI (Trityum)

Kırgöz Karst Kaynakları (Antalya Traverten Platosu):

Kırgöz karst kaynakları Dünya'nın en büyük (650 km²) tatlı su traverten çökeli olan Antalya Traverten Platosu (ATP) üzerinde yer alır. ATP büyük oranda bu kaynaklar tarafından oluşturmuştur. Kaynakların ortalama debisi 18 m³/sn düzeyindedir (584.8 milyon m³/yıl). Bu debi değeri kabaca saniyede bir su tankerini dolduracak büyüklüktedir. Mağara dalışları ile kaynakların gerisinde, akiferin doygun bölümünde Asya'nın suya doygun en büyük karst boşluğu belirlenmiştir. Boşluk bir stadyum büyüklüğündedir.

Kaynakların akiferinde akış büyük oranda erime boşluk ve kanallarında gerçekleştiğinden akım hızı yüksektir, Reynolds sayısının değeri 2300'ün üzerine çıkmakta olup akış laminardan türbülanslıya dönüşmekte; böyle Darcy yasasının uygulanma alanı dışına çıkmaktadır. Akiferdeki akışın DP modellerle tanımlanması bu nedenle güçtür.

Kaynaklardan boşalan su Antalya şehrinin içme suyu ihtiyacının yanı sıra sulamada ve elektrik üretiminde kullanılmaktadır.

Kırgöz Kaynaklarına ait YAS yaş dağılımı trityum izotopu kullanılarak TP modelleme tekniği ile Özyurt (2008) tarafından belirlenmiştir.

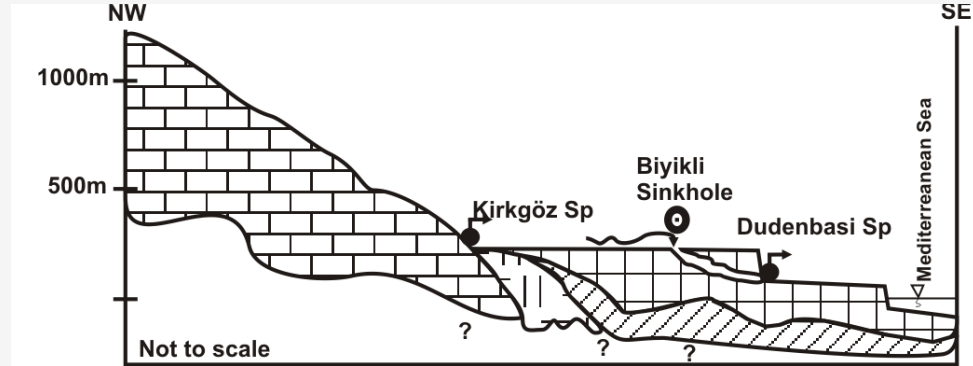
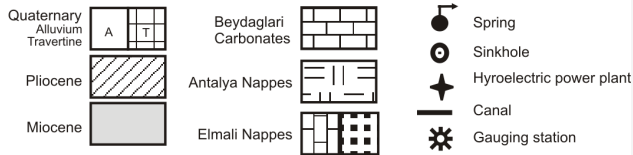
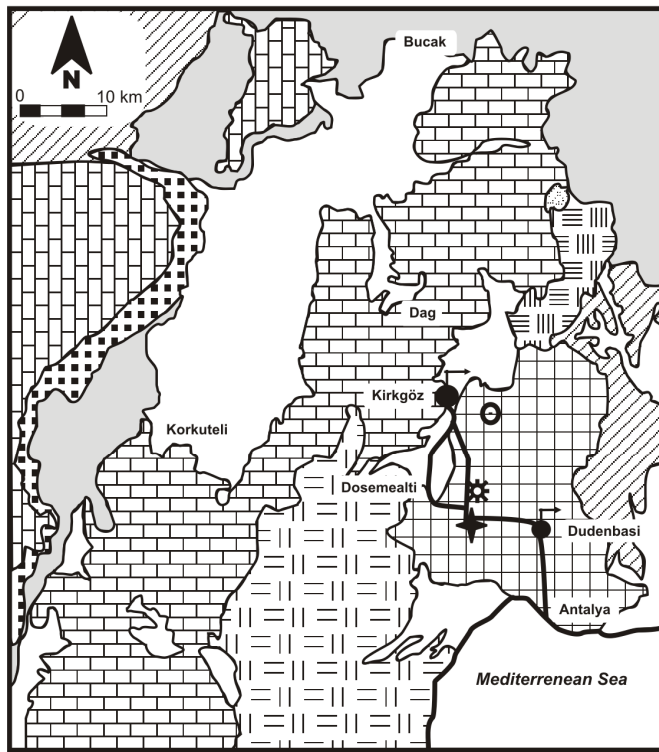
Residence time distribution in the Kirkgoz karst springs (Antalya-Turkey) as a tool for contamination vulnerability assessment

N. Nur Ozyurt

Environ Geol (2008) 53:1571–1583



KIRKGÖZ KAYNAKLARI YERALTISUYU YAŞI (Trityum)



Kırkgöz Karst Kaynakları (Hidrojeoloji):

Kırkgöz karst kaynakları ATP üzerinde 300 m kotunda, Mesozoyik yaşlı Beydağları Karbonatları ile traverten dokanağında yer alır. Bu kesimde karstik karbonatlar içindeki yeraltısuyu akışının önü geçirimsiz karakterli Elmalı ve Antalya Napları ile kesilmektedir. Kaynak geçirimsiz birim sınırının en düşük kotlu kesiminde yer alır. Kaynağın ortalama beslenme alanı yükseltisi 1,000 m dolayındadır. ATP geç Pliyosen'den günümüze kaynak suyunca sağlanan karbonatın çökelişi sonucu oluşmuştur. Kaynaktan boşalan su bir kanal aracılığı ile önce Kepez Elektrik Santrali'ne, buradan Düden Şelalesine daha sonra da denize iletilir. Suyun bir bölümü içme suyu olarak, bir bölümü ise sulama suyu olarak kullanılır.

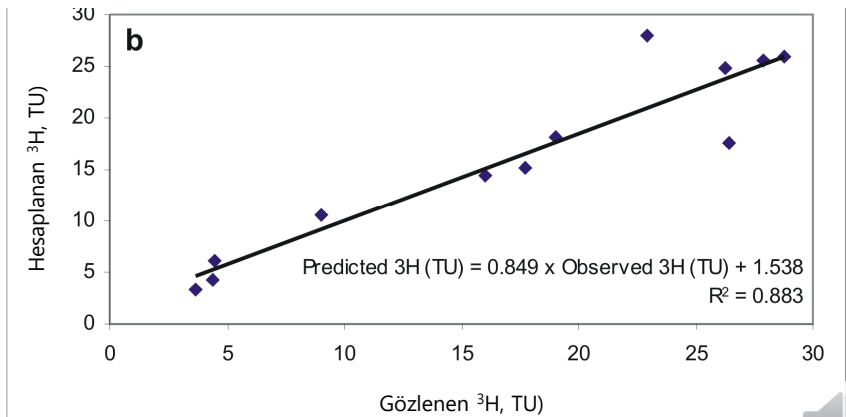
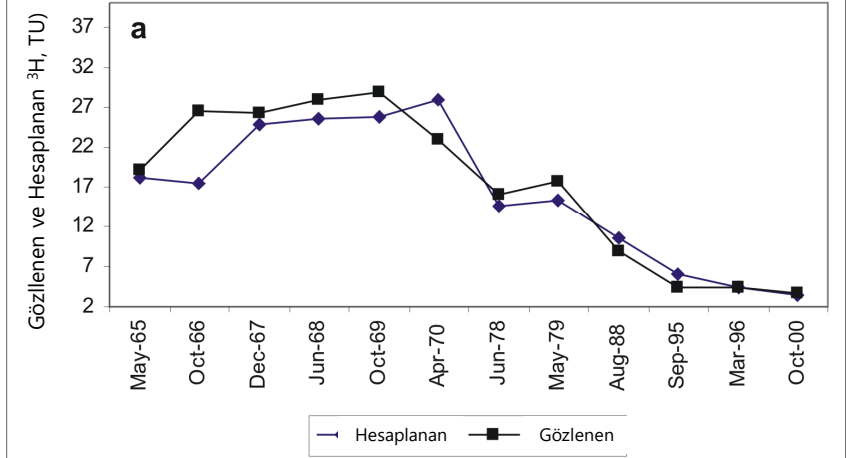
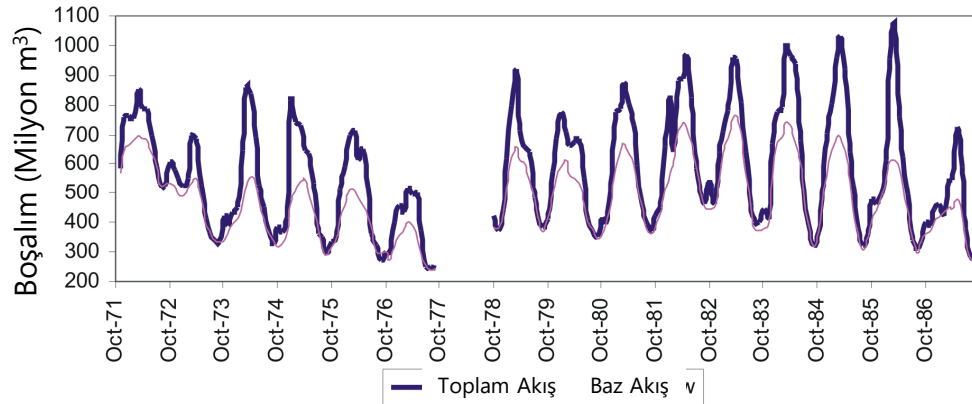
KIRKGÖZ KAYNAKLARI YERALTISUYU YAŞI (Tritiyum)

Kırgöz Karst Kaynakları (TP Modelleme):

Kırgöz karst kaynaklarında yeraltısuyu yaşı TP Modelleme tekniği kullanılarak Dengesiz Akış Rejimi koşullarında belirlenmiştir (Özyurt, 2008). Modelde aşağıdaki grafikte gösterilen aylık debi değerleri, GNIP Antalya İstasyonu'na ait trityum gözlemleri, kaynakta gerçekleştirilmiş uzun yıllara ait trityum gözlemleri kullanılmıştır.

Sağ üstteki grafikte model tarafından hesaplanan ve gözlenen trityum değerlerinin zamanla değişimi gösterilmektedir. Hesaplanan ve gözlenen değerler arasındaki uyum özellikle trityum ölçüm hatasının az olduğu günümüze yakın dönemde daha iyidir.

Sağ alttaki X-Y grafiğinde gösterildiği gibi $R^2 = 0.88$ olup, oldukça iyidir.



KIRKGÖZ KAYNAKLARI YERALTISUYU YAŞI (Tritiyum)

Kırgöz Karst Kaynakları (TP Modelleme, sonuçlar):

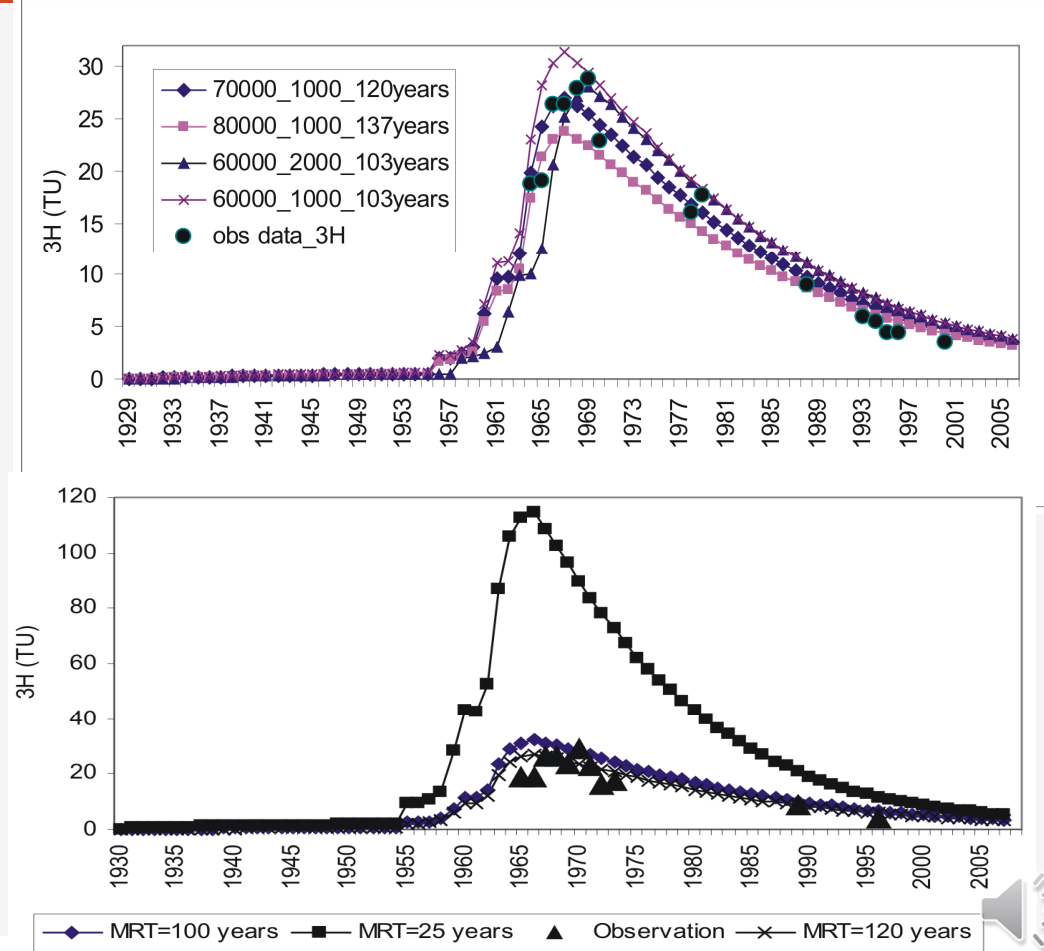
Sağ üstteki grafik farklı yeraltısuyu geçiş süreleri (= boşalıma olan katkı ağırlıklı YAS yaş değeri) için Dengesiz Akış Rejiminde TP Model çıktıları göstermektedir.

Buna göre YAS yaşı 103, 137 ve 120 yıl olan model çıktıları gözlenen trityum değerleri ile iyi uyum sağlamaktadır. En iyi uyum 120 yıllık YAS yaş değeri için elde edilmiştir.

Sonuçlar iki açıdan önemlidir:

1. Tritiyum izotopu ile 50 yıldan uzun yaş değerlerinin hesaplanamayacağı söylencesinin geçersiz olduğu gösterilmiştir..
2. Kırgöz Kaynaklarında yeraltısuyu ortalama geçiş süresinin (Mean Residence Time, MRT= ağırlıklı ortalama YAS yaşı) 25 yıl olduğu şeklindeki eski önermelerin geçersiz olduğu gösterilmiştir.

Sağ alttaki grafikte Kırgöz Kaynaklarına ait trityum gözlemleri ile 100, 120 ve 25 yıllık MRT değerlerine ait model çıktıları karşılaştırılmıştır. Görüldüğü gibi Kırgöz Kaynakları için ağırlıklı ortalama YAS yaşı değerinin 25 yıl olması olası değildir.



KIRKGÖZ KAYNAKLARI YERALTISUYU YAŞI (Tritiyum)

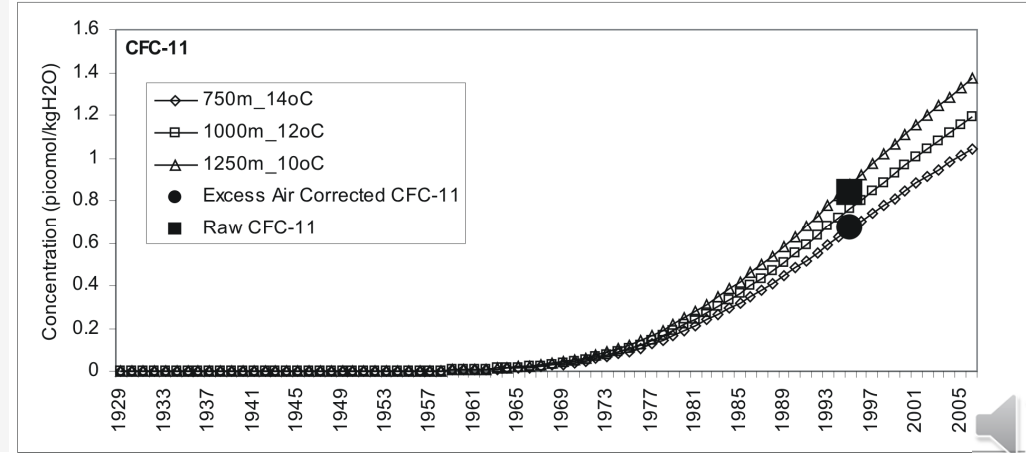
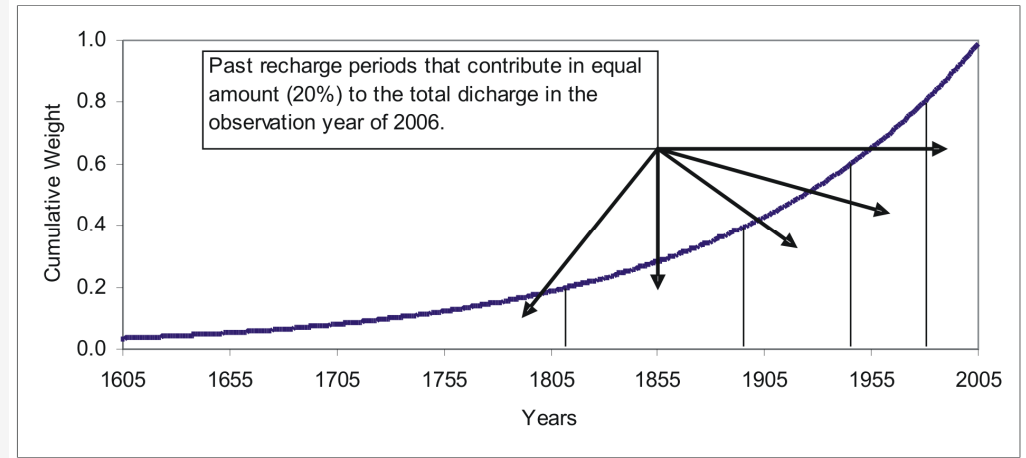
Kırgöz Karst Kaynakları (YAS Yaş Dağılımı):

Sağ üstteki grafik beslenme yılı katkısı ağırlıklı YAS yaşı= 120 yıl için önceki yıllardaki beslenimlerin son gözlem yılı olan 2006'daki boşalma katkı oranlarını göstermektedir.

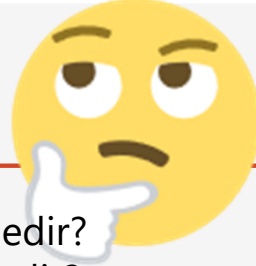
İşaretlenen her bir dilimin 2006 yılındaki boşalma katkı oranı %20'dir.

- Her bir dilimin kapsadığı zaman aralığı geçmişe gidildikçe uzamaktadır.
- Katkının en yaşlı %20'lik dilimi 1805 yılı ve öncesindeki beslenimlere aittir.
- Antropojenik kirleticilerin 1955 yılından sonra YAS sistemine girdiği varsayılırsa, kirletici derişimlerinin önceki beslenimlerin katkı oranlarından dolayı % 60 oranında seyreceği anlaşılmaktadır. Yani, 1 birim kirletici derişimi 0.4 birime inecektir.
- Bu durum YAS yaşı büyüdükçe seyrelmeden dolayı antropojenik kirlenme riskinin azaldığına işaret etmektedir. Bu açıdan yaşlı yeraltısuları stratejik öneme sahiptir.

Sağ alttaki grafikte triyuma dayalı Dengesiz Akım Rejimi TP Modeli ile belirlenen yukarıdaki yaş dağılımının kullanılması durumunda farklı beslenme yükseltisi ve sıcaklığı değerleri için kaynaktan gözlenmesi gereken ve gözlenen CFC-11 izleyici derişimleri karşılaştırılmıştır.



Neler öğrendik ?



- İzleyici Girdi Serisi nedir?
- İzleyici Çıktı Serisi nedir?
- İzleyici Girdi Serisi nasıl hesaplanır?
- Yağıştaki trityum izotopunun başlıca kaynakları nelerdir?
- Trityum izotopunun İzleyici Girdi Serisi zamanla nasıl değişim gösterir?
- Yeraltısuyu yaş dağılımı nedir?
- Belirli bir yeraltısuyu yaş dağılımı için İzleyici Girdi Serisi gözlenen izleyici derişiminin nasıl etkiler?
- Trityum izotopu ile yeraltısuyu yaşının belirlenmesinde hangi yaklaşımlar nasıl kullanılır?
- Dağıtık parametrelili modeller ile YAS yaşı nasıl hesaplanır?
- Dağıtık parametrelili modellerin YAS yaşı hesabında iyi ve kötü yanları nelerdir?
- Tümsel parametrelili modeller ile YAS yaşı nasıl hesaplanır?
- Tümsel parametrelili modellerin YAS yaşı hesabında iyi ve kötü yanları nelerdir?
- Dengeli ve dengesiz akış rejimlerinin tümsel parametrelili model eşitlikleri arasındaki fark nedir?
- YAS yaşı hesabında kullanılabilecek model yazılımları nelerdir?
- Kırkgöz karst kaynaklarının özelliklerini anlatınız.
- Kırkgöz karst kaynaklarının TP modele dayalı YAS yaş değer aralıklarını tartışınız.
- Kırkgöz karst kaynaklarında yaş dağılımını ve bunun önemini tartışınız.
- Neden yaşlı yeraltısuları stratejik öneme sahiptir, tartışınız.

