



# ARAŞTIRMA MAKALESİ Havza Koruma Alanlarının Yeraltı Suyu Kirleticilerin Taşınımı Bakımından Değerlendirilmesi

Yazışma yazarı:

Alper ELÇİ

alper.elci@deu.edu.tr

Referans:

Elçi A., Karadaş D., Gündüz O., (2009), Havza Koruma Alanlarının Yeraltı Suyu Kirleticilerin Taşınımı Bakımından Değerlendirilmesi, Su Kaynakları 2, 41-48

Makale Gönderimi : 1 OCAK 2009  
Online Kabul : 1 ŞUBAT 2009  
Online Basım : 1 MART 2009

Alper ELÇİ<sup>1</sup>, Deniz KARADAŞ<sup>2</sup>, Orhan GÜNDÜZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Müh. Bölümü, Tınaztepe Kampüsü, 35160 Buca-İzmir.

<sup>2</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tınaztepe Kampüsü, 35160 Buca-İzmir.

**Özet** Sunulan çalışmanın amacı, bir coğrafi bilgi sistemi (CBS) yazılımı ile kısa sürede ve kolay elde edilebilecek verilerle bir içme suyu havzasındaki yeraltı suyu kirliliğinin herhangi bir alıcı ortama ulaşma sürelerinin karmaşık matematiksel modellere başvurmadan da elde edilebileceğini göstermektedir. Bu amaçla İzmir Büyükşehir bölgesinin su ihtiyacının yaklaşık %36'sının karşılandığı Tahtalı Baraj Gölünü besleyen Tahtalı Çayı havzası örnek uygulama ve çalışma sahası olarak seçilmiştir. İlgili yönetmeliklerde tanımlanan koruma alanları yeraltı suyu kirletici taşınımı açısından değerlendirilmiştir. Çalışma sahasındaki kuyularda ölçülmüş yeraltı suyu derinlik verileri kullanılarak interpolasyon yöntemiyle yeraltı suyu seviye haritası oluşturulmuştur. Ayrıca bölgenin jeoloji haritası esas alınarak hidrolik iletkenlik ve etki porozite katsayıları belirlenmiştir ve CBS ortamında çalışma sahasına ait veri katmanları oluşturulmuştur. Bu veri katmanları ile çalışma sahasındaki yeraltı suyu sızma hızların ve akım yönlerinin konumsal dağılım haritaları hesaplanmıştır. Daha sonra yeraltı suyunda bozunmaya uğramayan bir kirleticinin Tahtalı Baraj Gölünün orta mesafeli koruma alan sınırından itibaren yeraltı suyu akım yönünde parçacık izleme yöntemiyle ileriye doğru izlenmiştir. Parçacık izleme işlemi yine CBS ortamında gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda orta mesafeli koruma alanının ötesindeki olası bir yeraltı suyu kirlenmesinin göle ulaşması için en uygunsuz koşullar dikkate alındığında en az 110 gün geçmesi gerektiği tahmin edilmiştir. Buna ilave olarak belirli bölgelerde oluşabilecek yeraltı suyu kirliliğinin çalışma bulgularına göre göle ulaşmasının pek olası olmadığı ve dolayısıyla o bölgelerdeki herhangi bir kirliliğin gölü daha az tehdit edebileceği öngörülebilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Yeraltı Suyu, Cbs, Parçacık İzleme, Tahtalı Çayı Havzası, Koruma Alanları

## The assessment of basin protection zones with respect to groundwater contaminant transport

**Extended Abstract** The goal of the presented study is to demonstrate that arrival times of groundwater contaminants in a freshwater basin can be estimated in a short time and fairly easily using a methodology applied within a geographical information system (GIS) framework without the application of complex mathematical models describing contaminant transport in groundwater. To accomplish this goal the Tahtali stream basin of the Tahtali freshwater reservoir which meets about 36% of the water demand of the İzmir Metropolitan area was selected as the case study site. Protection zones defined in relevant regulations were evaluated in terms of groundwater contaminant transport and the vulnerability of the reservoir to groundwater contaminants. According to the regulations protection zones for a freshwater reservoir are divided into four categories: 1) absolute protection zone (0-300 m from shoreline), 2) short-range (300-1000 m), 3) medium-range (1000-2000 m) and 4) long-range (> 2000 m). The presence of any residential or industrial facility is strictly forbidden for the absolute and short-range protection zones, and conditionally restricted beyond the medium-range protection zone. In this study, any potential groundwater contamination from the medium-range protection zone was evaluated assuming that contaminants already infiltrated to the water table.

The method is based on the implementation of certain extensions of a GIS. All tasks in this study were carried out under ArcGIS 9.1. Water table depth values measured at selected wells in the study area were linearly interpolated to produce a groundwater level map that formed the basis of the method. Furthermore GIS data layers of hydraulic conductivity and porosity values were set up using information from a geological map of the study area. Using these data layers groundwater seepage velocities and directions were calculated and their spatial distributions were illustrated on maps. Hypothetical particles representing a conservative groundwater contaminant were placed at the boundary of the medium-range protection zone for the Tahtali reservoir, and subsequently tracked forward using the particle tracking algorithm of the GIS framework

to estimate contaminant arrival times at the freshwater reservoir.

It was evident from the study results that it would take at least 110 days for any potential groundwater contamination beyond the medium-range protection zone to reach the reservoir. Furthermore it was shown that it is very unlikely for any contamination originating east of the reservoir to be transported to the reservoir and hence pose a threat to the freshwater supply. Any potential groundwater contamination in the west of the reservoir does not pose any significant threats in the short-term because of the long travel times for conservative contaminants; however it is a region that needs to be monitored depending on the type of the contaminant. All results of this study are based on the assumption that the contaminant being studied is non-reactive and that its transport is advection-dominated, which warrants the use of the particle tracking method. The inclusion of other transport mechanisms would be feasible with the application of a more data- and time-intensive and more complex mathematical contaminant transport model. Consequently, a case study and application of an easy method was demonstrated for Izmir's important freshwater resource to evaluate arrival times of groundwater contaminants. It is feasible that this method can be applied also for other significant freshwater basins in Turkey.

**Keywords.** Groundwater, Gis, Particle Tracking, Tahtali Stream Basin, Protection Zones

## 1. Giriş

Yeraltı suyu içme, sulama ve endüstriyel kullanma suyu olarak yaygın kullanılan önemli bir su kaynağıdır. Yeraltı suyu kullanımının toplam su kullanımına oranı son yıllarda önemli artış göstermiştir, çünkü bir taraftan kalite olarak yüzeysel sulara göre genellikle daha uygun olabilmektedir, diğer taraftan da kullanılabilir yüzeysel su kaynakları kirlenme nedeniyle azalmaktadır. Günümüzün en önemli sorunlarından biri temiz ve sürdürülebilir su kaynaklarına olan ihtiyaçtır. Özellikle dünya genelinde etkileri gözlenmeye başlanan iklim değişikliği, artan sulama suyu ihtiyacı, kullanılmış suların gelişigüzel doğal ortama verilmesi gibi faktörlere bağlı olarak kullanılabilir yüzeysel su kaynaklarının miktarı azalmakta ve kalitesi de bozulmaktadır. Gerek yüzeysel sular için gerekse yeraltı sularının kalitesi açısından havza ve su kaynaklarının etkin yönetimi önem verilmesi gereken bir konudur. Bu amaçla Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından çıkarılan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY, 2004) esas alınmak suretiyle bazı yerel yönetimler de su havzalarının uzun vadeli ve etkili korunması için havza koruma yönetmeliklerini yürürlüğe koymuşlardır. İzmir Büyükşehir Belediyesi, İzmir Su ve Kanalizasyon İdaresinin (İZSU) 2002 yılında çıkarmış ve yürürlüğe koymuş olduğu Su Havzaları Koruma Yönetmeliği (İZSU, 2002) de bu yönetmeliklere güzel bir örnek teşkil etmektedir. Bu ve benzeri yönetmelikler ile içme ve kullanma suyu temin edilen ve edilecek olan yüzey ve yeraltı suyu kaynaklarının evsel, endüstriyel, tarımsal ve hayvancılık faaliyetlerinden kaynaklanan atıklar ile kirlenmesini önlemek için su kaynakları etrafında mutlak, kısa, orta, uzun ve dere mutlak koruma alanları teşkil edilmiş ve bu alanlarda alınacak tedbirlerle toplum sağlığının korunması amaçlanmıştır. Yüzey ve yeraltı sularının dinamik olarak etkileşimde buldukları Tahtalı Barajı Havzası'nda hidrolojik sistemin her iki bileşeninin de kontrol altında tutulması büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle hazırlanan Su Havzaları Koruma Yönetmeliği ile Büyükşehir Belediye sınırları içerisinde yer alan tüm içme suyu havzalarında kaçak olarak yapılan konut, sanayi tesisi ve tarımsal faaliyetlerin tespitleri yapılmakta ve gerekli önlemler alınmaktadır. Bu kapsamda söz konusu yönetmelik ile İZSU tarafından mutlak, dere mutlak, kısa mesafeli, orta mesafeli ve uzun mesafeli koruma alanları ilan edilmiş ve bu alanlar içerisinde tüm faaliyetler kontrol altına alınmıştır.

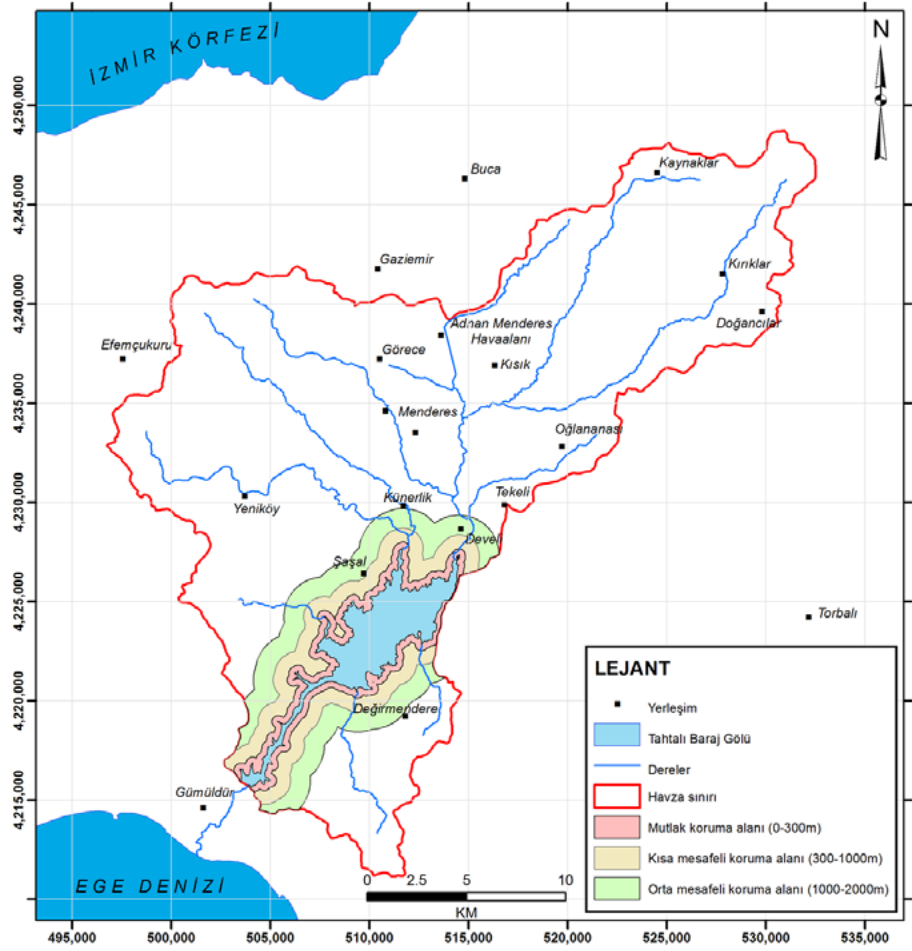
Bu çalışma ile bir içme suyu havzasındaki yeraltı suyu kirliliğinin alıcı noktalara ulaşma sürelerinin coğrafi bilgi sistemi (CBS) desteği ile değerlendirilmesinin bir örnek uygulama ile sunulması amaçlanmıştır. Bu amaçla İzmir şehrinin önemli su kaynaklarından olan Tahtalı Baraj Gölü havzası örnek çalışma sahası olarak seçilmiştir. Su Havzaları Koruma Yönetmeliği (İZSU, 2002) ile tanımlanan koruma alanlarını esas alınarak, pratik olarak uygulanabilecek CBS tabanlı bir parçacık izleme aracı ile koruma alanlarında oluşabilecek bir yeraltı suyu kirliliğinin göle ulaşması için geçecek sürenin tespiti yapılmıştır. CBS programı içerisinde hazır olarak programlanmış parçacık izleme aracı ile yeraltı suyundaki kirlenici taşınım süreleri hesaplanmış ve havza koruma alanları ile ilişkilendirilmiştir. Burada sunulan yöntem, herhangi bir matematiksel modelleme tekniğine dayanmayan göreceli olarak basit bir yöntemdir. Buna karşılık oldukça az veri ile tatminkâr sonuçlar verebilen bir metod olması nedeniyle, su kaynakları yönetimi konusunda çalışan yetkili kişi ve kurumlar tarafından kolaylıkla kullanılacak bir araç olması beklenmektedir.

## Çalışma sahasının tarifi

Bu çalışma İzmir il merkezinin 40 km güneyinde yer alan Tahtalı çayı havzası için yapılmıştır (Şekil 1). Havza İzmir'in önemli su kaynaklarından olan Tahtalı Baraj Gölünün su toplama alanını oluşturması bakımından önemlidir. Havzada bulunan 38 adet yerleşimin 2000 yılı itibariyle toplam nüfusu yaklaşık 60.000'dir (İleri vd., 2007). Çalışma alanı ve çevresi tipik Akdeniz iklimi etkisi altındadır. Yıllık ortalama sıcaklık 17°C'dir ve 26 yıllık yağış gözlem verilerine göre yıllık ortalama yağış 659 mm'dir (DMİ, 2005). Tahtalı Baraj Gölünü besleyen çalışma sahasındaki en önemli yüzey suları Değirmendere, Kocaçay, Kona, Tahtalı, Sarıçay, Sandı, Balaban ve Deliömer dereleridir. Derelerin tümü sürekli akışlı olmayıp, genellikle yaz aylarının sonlarına doğru kurumaktadır (Karadaş v.d., 2007). Uydü fotoğrafları yardımıyla hazırlanan arazi kullanım haritası esas alınarak yapılmış analizlere göre havzanın %42,1'i orman alanı, %31,8'i tarım alanı, %3,1'i su kütleleri, %1,8'i yerleşim alanı ve %0,2'si de sanayi alanıdır (DEÜ, 2007).

Çalışma sahasının jeolojik yapısı ile ilgili daha önce birçok çalışma yapılmıştır (Şimşek v.d., 2007; Koca, 1995; Erdoğan, 1990). Bunlara göre çalışma sahasında çakıl, kum ve silt materyallerinden oluşan Kuvaterner yaşlı alüvyon Tahtalı Çayı boyunca yerleşmiştir. Özellikle çakıllı ve kumlu seviyeleri, hidrojeolojik açıdan yeraltı suyu beslenimi ve çekimine uygun bir yapı sunarken, yer yüzeyinden akifere sızma yoluyla yeraltı suyu kirlenmesi bakımından da olumsuz bir durum oluşturabilmektedir. Diğer taraftan çalışma alanının batısında ve doğusunda geniş alanlarda yayılım gösteren Bornova filizi hidrolik iletkenlik bakımından çok az geçirirli olarak nitelendirilebilir. Bu formasyonun porozitesi %5'e kadar düşebileceğinden, düşük hidrolik iletkenliğine karşın kirlenici taşınımı bağlamında kirlenmelerin formasyonda hızlı taşınması beklenmelidir. Çalışma sahasında görülen diğer jeolojik birimler Neojen yaşlı konglomera, killi kireçtaşı ve tüftür. Allohton kireçtaşları ise çalışma alanının doğu kesimlerinde ve yüksek rakımlarda görülür.

İzmir için yürürlükte olan Su Havzaları Koruma Yönetmeliği'ne (İZSU, 2002) göre, Tahtalı Baraj Gölü'nün maksimum su seviyesinin kara ile oluşturduğu çizgiden itibaren belirli mesafelerde, göl etrafında mutlak, kısa mesafeli, orta mesafeli ve uzun mesafeli koruma alanları belirlenmiştir (Şekil 1). Yine aynı yönetmeliğe göre mutlak ve kısa mesafeli koruma alanlarında kirlenici kaynağı olabilecek herhangi bir yapı ve tesisin bulunmasına izin verilmemektedir. Benzer olarak, orta mesafeli koruma alanı içerisinde ise yeni kurulacak endüstriyel tesislere, hayvancılık tesislerine, depolama tesislerine, akaryakıt istasyonu ve depolarına ve toplu konutlara izin verilmemektedir. Mutlak koruma alanı 300m ile sınırlı olup hiçbir faaliyete izin verilmemektedir. Mutlak koruma alanı İZSU tarafından ağaçlandırılmış ve etrafı dikenli tellerle çevrilmiştir. Kısa mesafeli koruma alanı ise 300 - 1000m arasında sınırlandırılmış olup sadece sözleşmeli ekolojik tarıma izin verilmektedir. Bunun dışında kirlenici kaynağı olabilecek herhangi bir yapı ve tesisin bulunmasına izin verilmemektedir. Orta mesafeli koruma alanı 1000 - 2000m'lik bir alanı kapsayacak şekilde belirlenmiştir; yönetmeliğe göre bu alanda yapılacak imar ve inşaat faaliyetleri su koruma alanları çevre düzeni planı ile uygulama imar planı kararlarına uyularak yapılmalıdır. Ancak bunun yanında yeni endüstriyel kuruluşlarına, hayvancılık tesislerine, akaryakıt istasyonu ve depolarına ve toplu konutlara izin verilmemektedir. Uzun mesafeli koruma bandında 2000 m'nin ötesindeki havzanın su toplama alanı dikkate alınmıştır. Bu alanda da imar ve inşaat faaliyetleri su koruma alanları çevre düzeni planı ile uygulama planı kararlarına uygun olmalıdır. Bunlara ek olarak göle ulaşan dereler boyunca da dere mutlak koruma alanları tanımlanmıştır. Buna göre, mutlak koruma bandı uygulanacak dereler net olarak belirleninceye kadar, göle ulaşan derelerin her iki yanındaki 100'er metrelik bant dere mutlak koruma bandı olarak tespit edilmiştir. Bu bantın içerisinde herhangi bir yapı veya tesise izin verilmemekte ve var olanlarında uzaklaştırılması gerekmektedir.



Şekil 1. İzmir-Tahtalı Baraj Gölü havzası ve Su Havzaları Koruma Yönetmeliğine göre tanımlanan koruma alanları

## Materyal ve yöntem

Havzadaki potansiyel yeraltı suyu kirleticilerin yüzeysel akiferdeki taşınımının izlenmesi ve Tahtalı Baraj Gölüne olan taşınım sürelerinin tahmin edilmesi çalışmanın odak noktasını oluşturmaktadır. Çalışma, sahaya ait verilerin saklanması, işlenmesi, kirlenme izleme simülasyonları ve haritaların oluşturulması aşamalarından oluşmaktadır. Çalışma aşamalarının tamamı ESRI Inc. firması tarafından geliştirilmiş olan ArcGIS 9.1 platformunda gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan tüm veriler çalışma sahasının karesel hücrelere bölünmesi esasına dayanan raster biçimindeki katmanlar olarak hazırlanmıştır. Verilerin başka bir biçimde bulunması durumunda raster biçimine dönüştürülmesi yapılmıştır.

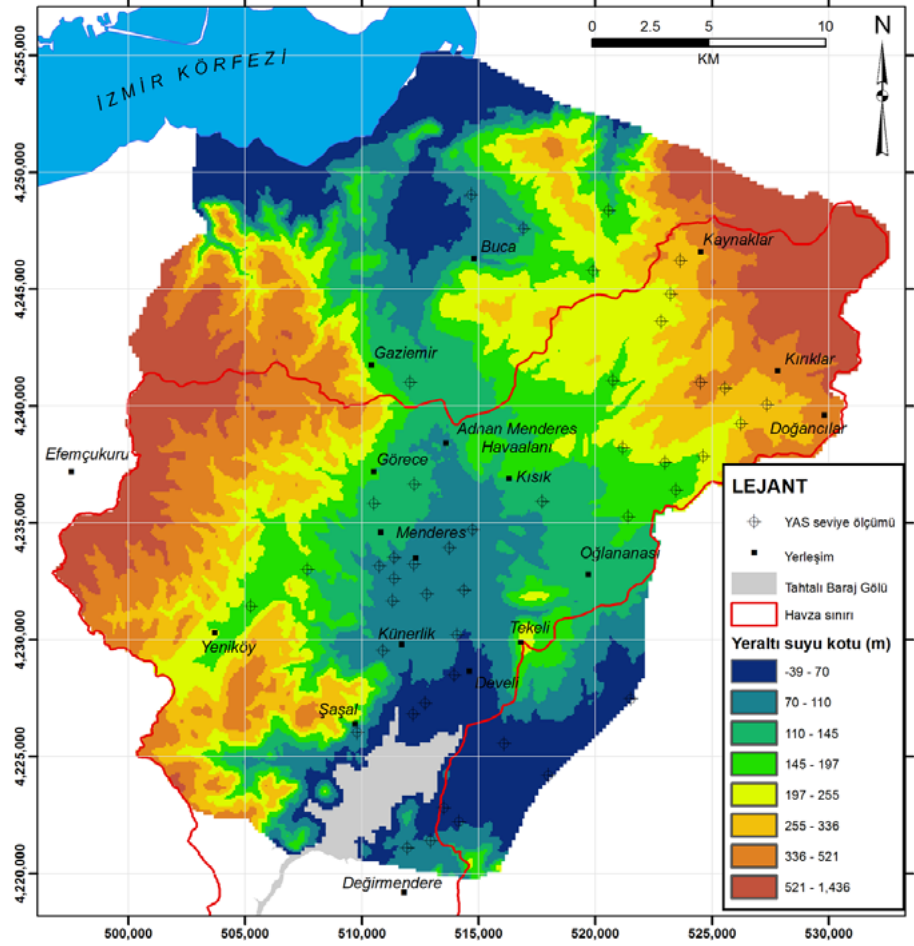
Doygun gözenekli ortamlardaki herhangi bir kirlenici parçacığın taşınım hızını, başka bir deyişle yeraltı suyu sızma hızını, hesaplayabilmek için Darcy yasasından yararlanmak mümkündür:

$$v = - \frac{K}{n} \frac{dh}{dl} \quad (1)$$

Denklemden  $v$  yeraltı suyu sızma hızını (parçacık taşınım hızı),  $K$  akiferin hidrolik iletkenliğini,  $n$  akiferin etkin porozitesini ve  $(dh/dl)$  belirli bir yöndeki hidrolik yük gradyanını temsil etmektedir. Burada kirlenici parçacıkların dispersiyonu veya bunların maruz kalabileceği herhangi bir kimyasal veya biyokimyasal bozunma süreci ihmal edilmiştir. Denklemden son terim bu çalışma için aynı zamanda yeraltı suyu tablasının eğimidir. Bu noktadan hareketle çalışma için sahanın jeolojik yapısına göre değişen hidrolik iletkenlik ve porozite, yeraltı suyu seviye kotları ve bunlara bağlı olarak hesaplanan yeraltı suyu tablası eğimleri ayrı veri katmanları olarak hazırlanmıştır.

Çalışma sahasına ait olan jeolojik haritayı esas alarak öncelikle hidrolik iletkenlik ve etkin porozite değerlerini gösteren raster haritalar oluşturulmuştur. Bunun için literatürden (Spitz ve Moreno, 1996) sahadaki her bir jeolojik formasyon için tipik değerler alınmıştır (Tablo 1). Daha sonra, Mayıs 2007'de yapılan bir arazi çalışmasıyla 59 adet kuyuda

ölçülen yeraltı suyu derinlikleri (Karadaş, v.d., 2007) ve çalışma sahasına ait topoğrafya verilerini kullanarak yeraltı suyu seviye haritası oluşturulmuştur. Topoğrafya verileri olarak 90 m çözünürlüklü SRTM verisi (NASA Shuttle Radar Topography Mission) kullanılmıştır. Kuyularda ölçümleri temsil eden noktasal değerlerin doğrusal interpolasyonu yapılarak tüm çalışma sahası için yine raster biçiminde yeraltı suyu derinlik katmanı oluşturulmuştur. Zemin yüzey kotunu temsil eden topoğrafya veri katmanından yeraltı suyu derinlik katmanının çıkarılmasıyla Şekil 2’de gösterilen yeraltı suyu seviye haritası elde edilmiştir. Elde edilen tüm bu veri katmanları ArcGIS yazılımının “Spatial Analyst” eklentisinde yer alan “Darcy Flow” ve “Darcy Velocity” araçlarıyla işlenmiş ve çalışma sahasındaki yeraltı suyu akım yönleri ve hızlarını gösteren haritalar oluşturulmuştur.



Şekil 2. Yeraltı suyu seviye ölçüm verilerinin doğrusal interpolasyonu sonucu oluşan yeraltı suyu seviye haritası

En son aşama olarak orta mesafeli koruma alanı dışındaki olası kirleticilerin baraj gölüne olan taşınım sürelerini tahmin edebilmek için yine ArcGIS'in “Spatial Analyst” eklentisinde mevcut olan “Particle Track” aracından yararlanılmıştır. Bu amaçla orta mesafeli koruma alan sınırı boyunca rastgele ve eşit aralıklı olarak 44 adet varsayımsal parçacık konmuştur ve bunlar yeraltı suyu akım yönünde ileriye doğru izlenmiştir. Parçacıkların oluşturduğu iz koordinatları, iz mesafeleri, bu mesafeleri kat etme süreleri ve parçacık baraj gölüne ulaşırsa göle ulaşma süreleri kaydedilmiştir. Elde edilen sonuçlar, oluşabilecek yeraltı suyu kirliliğinin etki alanı, yönü ve ayrıca koruma alanları da dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

Tablo 1. Çalışma sahasındaki jeolojik formasyonlar için literatürden alınan hidrolik iletkenlik ve porozite değerleri

Formasyon	Hidrolik iletkenlik, K (m/sn)	Etkin porozite, n (%)
Bornova Filişi	$3.5 \times 10^{-5}$	5
Konglomera	$1.2 \times 10^{-3}$	30
Alüvyon	$1 \times 10^{-2}$	20
Killi kireçtaşı	$1 \times 10^{-10}$	35
Kireçtaşı	$1.5 \times 10^{-4}$	1
Tüf	$2.3 \times 10^{-6}$	10

## Bulgular

Tahtalı Havzası'nın orta mesafeli koruma mesafesinden uzak noktalarda yüzeysel akifere sızabilecek kirleticilerin baraj gölüne olan etkilerini tahmin etmek amacıyla CBS ortamında çeşitli veri katmanları ve haritalar oluşturulmuştur. Tahtalı Baraj Gölü'nün yakın çevresindeki yeraltı suyu seviyeleri ve sızma hızların konumsal dağılımı Şekil 3'te gösterilmiştir. Sızma hızları hidrolik iletkenliğe ve su tablası eğimlerine bağlı olarak büyük değişkenlik göstermiştir. Özellikle alüvyon olan gölün kuzeyinde ve doğusunda sızma hızının genellikle 10 m/d'den yüksek olduğu ve yer yer bu hızların 200 m/gün mertebesine kadar çıkabileceği görülmüştür. Yeraltı suyu akım yönleri bakımından ise gölün batı ve kuzeyinde hakim yönün göle doğru olduğu ancak diğer bölgelerde net bir doğrultu tespit etmenin güç olduğu anlaşılmıştır.

Yeraltı suyu akım yönleri parçacık izleme sonuçlarına göre daha net olarak belirlenbilmiştir. Şekil 4'te orta mesafeli koruma alanının sınırına bırakılan ve oradan itibaren izlenmiş olan parçacıkların izleri gösterilmiştir. Parçacık izleri incelendiğinde göle kuzey ve batı yönünde ulaşan 8 parçacığın ulaşabileceği görülmüştür. Geri kalan 36 parçacık, hidrolik iletkenlik, porozite ve yeraltı su seviyesi eğimine bağlı olarak farklı yönlere giderek göle ulaşmamıştır veya göle doğru ilerlerken izlenmesi kesilmiştir. ArcGIS'in parçacık izleme yönteminde parçacıklar düşüm konilerine rastladığı zaman parçacığın bir kuyu tarafından çekildiği varsayımıyla izlenmesi kesilmektedir.

Göle ulaşan parçacıkların ulaşma süreleri yerine göre büyük değişkenlik göstermiştir. Örneğin gölün kuzeyinden ortalama ulaşma süreleri 110 gün olarak belirlenmiştir. Diğer taraftan gölün batısında ulaşma süreleri 10 yıllar mertebesinde olduğu hesaplanmıştır. Bu bölgedeki jeolojik yapının tuf olması ve dolayısıyla buradaki akiferin göreceli olarak düşük hidrolik iletkenliğinden dolayı sızma hızları 0.05 – 0.95 m/gün arasında değişim göstermiştir. Alüvyondaki sızma hızları ise 3 – 100 m/gün arası hesaplanmıştır. Sızma hızlarındaki bu farklılıklar ulaşım sürelerine de mertebe farkı olarak yansımıştır. Gölün doğu yönüne baktığımızda parçacıkların akım yönlerinin göle doğru olmayıp, birçoğunun ters yöne doğru ilerlediği gözlemlenmiştir.

## Sonuç ve tartışma

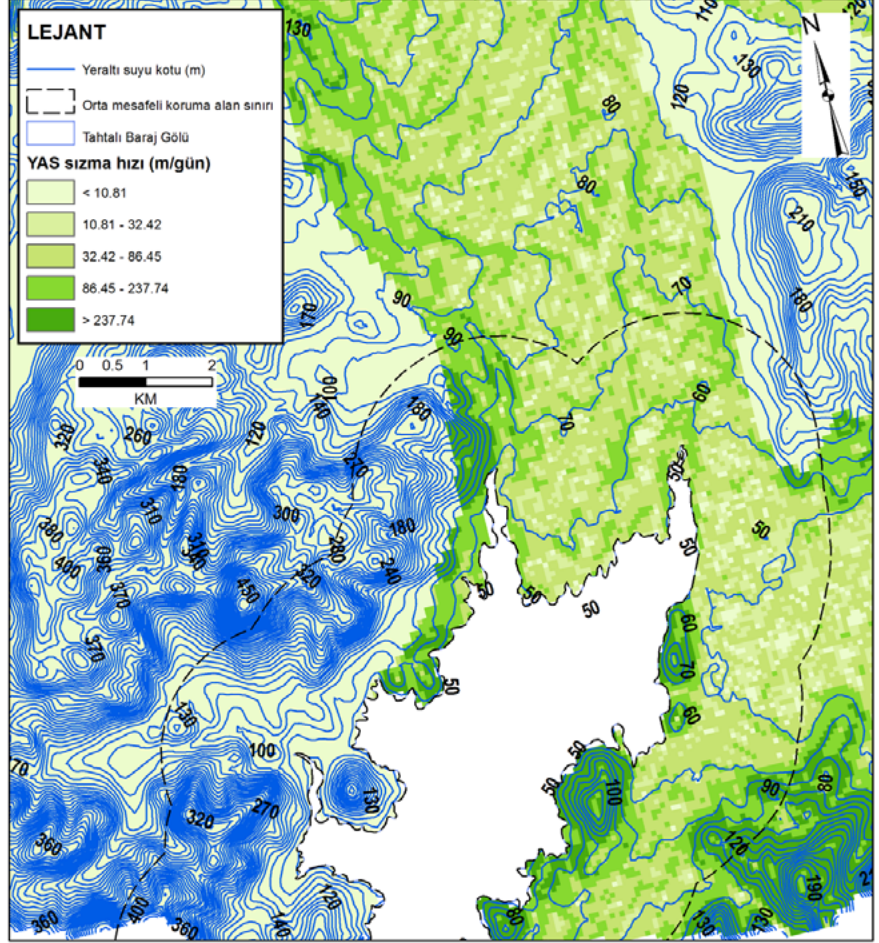
Burada sunulan çalışma ile bir CBS yazılımı ile kısa sürede ve kolay elde edilebilecek verilerle bir içme suyu havzasındaki yeraltı suyu kirliliğinin herhangi bir alıcı ortama ulaşma sürelerinin karmaşık matematiksel modellere başvurmadan da elde edilebileceği gösterilmiştir. İzmir'deki önemli bir su havzası için örnek bir uygulama gösterilmiştir ancak gerektiğinde Konya kapalı havzası veya Türkiye'nin diğer önemli su havzaları için bu tarz bir çalışma rahatlıkla tekrarlanabilir. Çalışma sonucunda yapılan tahminler bazı varsayımlara dayanmaktadır; bunlardan ilki ve en önemlisi kirleticinin herhangi bir seyrelmeye, yayılmaya veya bozunmaya maruz kalmadığı ve sadece yeraltı suyunun hareketiyle (adveksiyon) taşındığıdır. Diğer taşınım mekanizmalarının önemli olduğu durumlarda akiferdeki kirletici taşınımını ifade edebilmek için daha çok veri ve emek isteyen matematiksel modellere başvurmak gerekmektedir. Doğruluğu kabul edilen bir diğer varsayım ise, incelenen gölün yüzeysel akiferle hidrolik olarak doğrudan bağlantılı olduğudur. Özellikle yılın kurak dönemlerinde yeraltı suyu tablası göl tabanının altına düşebileceği için bu varsayım geçerliliğini yitirebilir. Son olarak akiferin hidrolik iletkenlik olarak büyük ölçüde homojen olduğu da kabul edilmiştir.

Yapılan simülasyonlar sonucunda, çalışmanın uygulandığı İzmir-Tahtalı Baraj Gölü havzasında orta mesafeli koruma alanının dışındaki olası bir yeraltı suyu kirlenmesinin göle ulaşması için en uygunsuz koşullar dikkate alındığında en az 110 gün geçmesi gerektiği tahmin edilmiştir. Buna ilave olarak gölün doğu tarafında oluşabilecek yeraltı suyu kirliliğinin çalışma bulgularına göre göle ulaşmasının pek olası olmadığı ve dolayısıyla bu bölgedeki herhangi bir kirliliğin gölü daha az tehdit edebileceği öngörülmüştür. Diğer taraftan özellikle gölün kuzeyindeki alüvyonda meydana gelebilecek kirliliğin gölün su kalitesini tehdit edebileceği tespit edilmiştir. Bu bağlamda orta mesafeli koruma alanının sınırında gerçekleştiği varsayılan bir kirlenmenin göle ulaşması için en az 110 günlük bir sürenin geçmesi gerektiği bulunmuştur. Gölün batısındaki uzun taşınım süreleri dikkate alındığında ise bu yönden gelen kirliliğin kısa vadede tehdit oluşturmayacağı ancak kirleticinin türüne göre takip edilmesi gerektiği sonucu çıkarılabilir. Örneğin kirleticinin bozunabilir nitelikte olması ile uzun taşıma süreleri birleştiğinde gölün su kalitesi bakımından daha olumlu bir tablo ortaya çıkmaktadır.

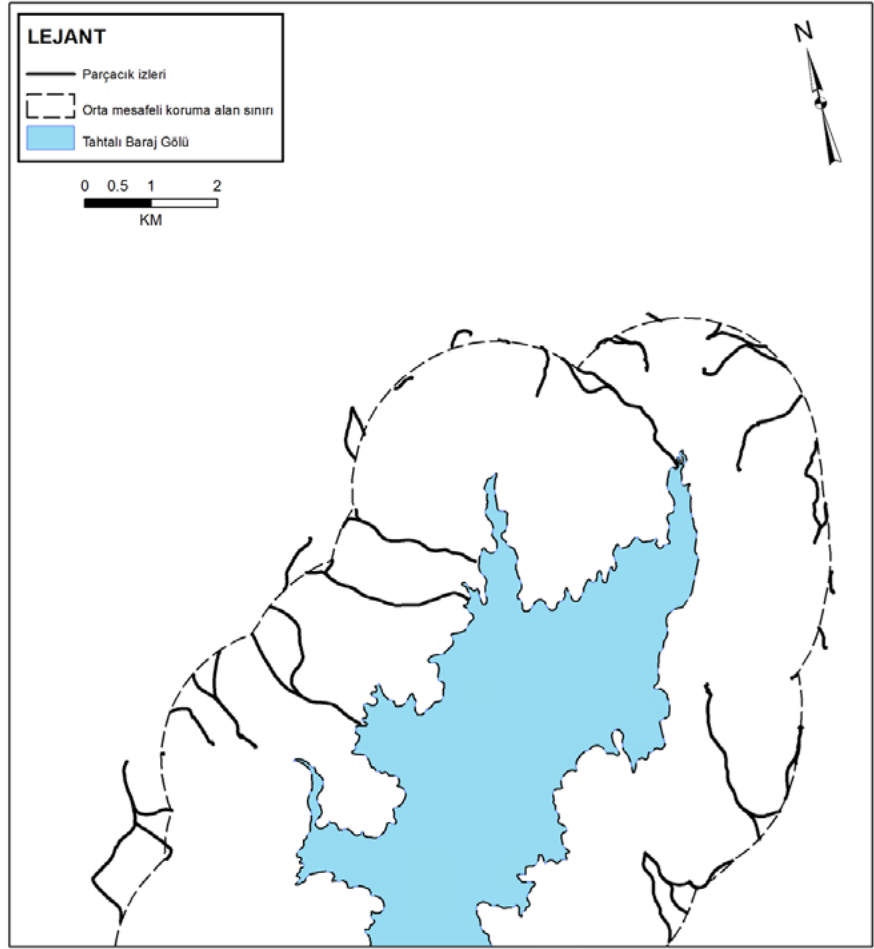
Bu tip çalışmalarda elde edilen sonuçların geçerliliği doğal olarak veri kalitesiyle doğru orantılı olarak artmaktadır. Bu nedenle yeraltı suyu derinlik ölçümlerin ve topoğrafya verilerinin doğruluğu, jeolojik formasyon bilgileri ve buna bağlı olarak hidrolik iletkenlik

ve etkin porozite değer seçimleri çalışma sonucuna doğrudan etki etmektedir. Diğer taraftan yeraltı suyu derinlik ölçümlerinden interpolasyonla seviye haritasını oluştururken seçilen jeo-istatistiksel yöntemin zayıf yönlerinin ve sınırlamalarının da farkında olmak gerekmektedir. Bu çalışmada ulaşılan sonuçların daha önce Karadaş vd. (2007) tarafından yapılmış olan yeraltı suyu akım modeli çalışmasında elde edilen akım yönleri ve hızları ile tutarlı olduğu belirlenmiştir.

Havza koruma alanlarının sadece yüzeysel suların kirlenmesini önlemek için değil, aynı zamanda yeraltı suyu kirliliğinin su kalitesine etkisi bağlamında da önemli olduğu ve havza koruma yönetmeliklerin taviz vermeksizin ve yasal yaptırımlarla uygulanması gerekliliği ortadadır. Bu nedenle koruma mesafelerine göre havza içerisinde potansiyel kirlilik yaratmaktan kaçınılmalı, gerek endüstriyel gerekse tarımsal faaliyetlerden kaçınılmalıdır.



Şekil 3. Yeraltı suyu seviyelerini ve hesaplanan sızma hızlarını gösteren harita (eşseviye eğrilerinin aralığı 10 m'dir)



Şekil 4. Orta mesafeli koruma alanı sınırından bırakılan parçacıkların izleri

## Kaynaklar

- DEÜ, (2007). Integrated Modelling of Nutrient Loads and Eutrophication in the Catchment Area of the Izmit Bay, the Tahtalı and the Porsuk River Basins, Turkey. TÜBİTAK uluslararası araştırma projesi ara raporu.
- DMİ, (2005). Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü meteorolojik rasat verileri.
- Erdoğan, B., (1990). İzmir- Ankara Zonu ile Karaburun Kuşağının Tektonik İlişkisi. M.T.A. Dergisi 119, 1-15.
- İleri, B., Gündüz, O., Elçi, A., Şimşek, C. ve Alpaslan, N., (2007). Tahtalı Havzası Yeraltı Suyu Kalitesinin CBS Destekli Değerlendirilmesi, Bildiriler kitabı, 7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, 880-888, İzmir.
- İZSU, (2002). İzmir Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, Su Havzaları Koruma Yönetmeliği.
- Karadaş, D., Elçi, A., (2007), Gündüz, O., Şimşek, C. ve Kazanasmaz, E., (2007). İzmir Tahtalı Çayı Havzasında Mevsimsel Yeraltı Suyu Düşümünün Matematiksel Modelleme İle Belirlenmesi, Bildiriler kitabı, 7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, 41-49, İzmir.
- Koca, M.Y., (1995). Slope Stability Assessment of the Abandoned Andesite Quarries in and Around the İzmir City Centre, Doktora tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Şimşek, C., Elçi, A., Gündüz O. ve Erdoğan B., (2008). Hydrogeological and hydrogeochemical characterization of a karstic mountain region, Environmental Geology, 52, 2, 291-308.
- SKKY, (2004). Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. 31 Aralık 2004 tarih ve 25687 sayılı Resmi Gazete, Ankara.
- Spitz, K. ve Moreno, J., (1996). A practical guide to groundwater and solute transport modeling, John Wiley, New York.