



Çevresel Kirleticilere Karşı Kuyu Koruma Alanının Parçacık Taşınımı ile Değerlendirilmesi: Menderes (İzmir) Örneği

Evaluation of Wells Protection Zone for Environmental Pollutants Using Mathematical Modeling: A Case Study from Menderes (Izmir)

Celalettin Şimşek^{1*}, Nurcihan Taşkın², Murat Ozan Özdayı^{3*}, Vehbi Özacar⁴, Feride Özyol⁵

^{1,2,4,5} Dokuz Eylül Üniversitesi, Torbalı Meslek Yüksekokulu, Torbalı, 35860, İzmir, TÜRKİYE

³ İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Fen Bilimleri Enstitüsü, 35100, İzmir, TÜRKİYE

Sorumlu Yazar / Corresponding Author *: celalettin@deu.edu.tr

Geliş Tarihi / Received: 15.01.2019

DOI:10.21205/deufmd.2019216326

Kabul Tarihi / Accepted: 31.07.2019

Araştırma Makalesi/Research Article

Atıf şekli/How to cite: ŞİMŞEK, C., TASKIN, N., OZDAYI, M.O., OZACAR, V., OZYOL, F.,(2019). Çevresel Kirleticilere Karşı Kuyu Koruma Alanının Parçacık Taşınımı ile Değerlendirilmesi: Menderes (İzmir) Örneği, DEUFMD, 21(63), 979-991.

Öz

İzmir Çevresinde alüvyon ve mermerler yeraltısuyu (YAS) sağlama açısından en önemli akiferlerdir. Alüvyon ve karstik birimlerden su sağlayan kuyuların koruma alanlarının belirlenmesi çevresel kirleticilerden korunması açısından önem arz etmektedir. İzmir Menderes Ovasında karstik birimlerle bağlantılı olan alüvyon akiferde açılan su kuyularının koruma alanlarının belirlenmesinde, farklı çekim değerlerinin etkileri parçacık taşınımı ile değerlendirilmiştir. Bunun için akiferle irtibatlı olan karstik birime bir kirleticici tanımlanmış ve alüvyon akiferden su sağlayan kuyulara varış zamanları elde edilmiştir. Yapılan değerlendirmede, parçacığın hızının yeraltısuyu hidrodinamiğine bağlı olarak etkilendiği, bu hızın özellikle çekim debileri ile denetlediği belirlenmiştir. Alüvyon akiferde açılan sayısız sulama su kuyusu çekime başladığında kirleticiler daha hızlı kuyulara doğru ilerlemektedir. Özellikle kirleticilerin bulunduğu akiferlerde içme suyu kuyusu olarak açılan kuyuların koruma alanlarının belirlenmesi ve korumaya alınması önem taşımaktadır. Bunlara ek olarak, kuyu çekim değerlerinin yeraltısuyu akım hızını denetlemesi nedeniyle belli alanlarda kümelenmiş kuyuların koruma alanlarının belirlenmesinde modelleme yaklaşımı ile belirlenmesinde yarar bulunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Alüvyon Akifer, Mermer Akifer, Koruma Alanı, Parçacık İzleme

Abstract

Alluvium and marble are the most important aquifers in term of groundwater supply in Izmir Region. Determination of the wells protection zone providing groundwater in alluvium and karstic aquifer is very important for the protection from the environmental pollutants. The assessment of protection zone of the groundwater wells drilled in alluvial aquifer connected on marble aquifer was evaluated under differend discharge value by particle tracking. For this reason, a pollutant was defined on karstic unit that is connected to the alluvial aquifer and the groundwater arrival time was estimated to the providing water wells. It is observed that the velocity of the particle is influenced by the hydrodynamics of groundwater, especially by the discharge rate of wells. When a large number of irrifation wells stard the dicharge from the aquifer, pollutant is moving towards the wells faster. It is

vey important that the protection from the pollutants and the determination of protection zone of drinking water wells and the protection from the pollutants. In addition, it is useful that the determination of clustered wells protection zone is need to groundwater modelling because of the well discharge values controls the groundwater flow rate.

Keywords: Alluvial Aquifer, Marble Aquifer, Protection Zone, Particle Tracing

1. Giriş

Su kaynaklarının sürdürülebilir olarak kullanılması için koruma tedbirlerinin alınması gerekmektedir. Özellikle içme suyu sağlayan karstik ve alüvyon akifer gibi verimli akiferlerden sağlanan yeraltısuyunun korunmasına yönelik olarak yönetmeliklerle koruma tedbirleri uygulamaya geçilmiştir [1]. Yeraltısuyu (YAS) potansiyeli açısından hızlı bir beslenme ve boşalım mekanizmasına sahip olan karstik ve alüvyon akiferler kirlenmeye karşı oldukça hassas olmaları nedeni ile üzerinde yapılacak olan faaliyetlerin çok dikkatli yapılması büyük önem taşımaktadır [2 ve 3]. Ege Bölgesinde karstik birimler ova kesimdeki yeraltısuyu çekimin yapıldığı alüvyon akiferleri besleyen bir yapı sunmaktadır. Alüvyon akiferler ise yoğun bir şekilde yerleşim ve sanayi alanı olarak kullanılmaktadır. Birimlerden yeraltısuyu sağlayan su kuyularının bu tür çevresel faaliyetlerden etkilenip etkilenmediğinin belirlenmesine yönelik olarak kuyu etki alanlarının (yakalama zonları) belirlenmesi ile değerlendirmeler yapılmaktadır [4].

Yüzeysel su kütlelerinin koruma alanlarının belirlenmesinde yüzey suyunu besleyen drenaj alanları baz alınmaktadır [5]. Ancak yeraltısuyu sağlayan su kuyularının koruma alanlarının belirlenmesi, doğrudan yeraltısuyu hidrodinamiğine bağlıdır [6]. Yeraltısuyunun akifer içerisindeki hidrodinamiğinin belirlenmesi için, akım hızı, doğrultusu, beslenme ve boşalım alanlarının net olarak ortaya konulması gerekmektedir [6]. Buna ek olarak akiferin porozite ve iletimliliği gibi hidrolojik parametrelerin de belirlenmesi önem taşımaktadır.

Ülkemizde yeraltısuyu sağlayan kuyuların korunması için, belli mesafeler kullanılarak kuyu koruma mesafeleri belirlenmiştir [1]. Bu mesafe karstik ve alüvyon gibi farklı özelliklere sahip akiferler için farklı tanımlanmıştır. Kirleticinin kuyuya ulaşması için gereken zaman, alüvyonel akiferlerde 50 gün, karstik akiferlerde ise 10 gün olarak değerlendirilmektedir.

Yürütülen bu çalışmada, İzmir İli'nin güneyinde bulunan Çileme Köyü civarında yer alan, Paleozoyik yaşlı karstik birimlerle bağlantılı olan alüvyon akiferden yeraltısuyu sağlayan kuyuların, çevresel kirleticilere vereceği tepki ve kirlenme olasılıkları, yeraltısuyu akım modeli ve parçacık kirletici taşınımı ile değerlendirilmiştir. Bunlara ek olarak belli alanda çekim yapan çok sayıda kuyudan yapılan çekimlerin yeraltısuyu dinamiğine etkisi de değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Çalışma alanı İzmir İli'nin güneyinde Menderes İlçesi, Çileme Köyü ve çevresini oluşturmaktadır (Şekil 1). Çalışma alanının kuzey kesimleri ova ile sınırlı olup yoğun bir şekilde tarımsal faaliyetler yürütülmektedir. Çalışma alanının doğu kesimlerinde ise karstik birimlerle irtibatlı alüvyonda açılmış yeraltısuyu sağlayan DSİ kuyuları yer almaktadır. Alüvyon birimi ile irtibatlı olduğu düşünülen mermer biriminin hidrolik parametrelerinin belirlenmesi için alanda araştırma sondajları yapılmıştır. Bunlara ek olarak bölgede yeraltısuyu seviyeleri gerek DSİ, gerekse özel firma ve şahıslar tarafından açılmış olan su kuyularından ölçülmüştür. DSİ tarafından yapılan pompaj deneyleri sonucunda raporlanmış olan kuyu hidrolik parametreler, alüvyon ve karstik akiferin model girdileri için kullanılmıştır [7]. Çalışma alanında bulunan alüvyon yeraltısuyu sağlama açısından en önemli akiferi oluşturmakta, mermeler ise alüvyon akiferi yanal olarak besleyen bir mekanizmaya sahiptir. Eldeki veriler ışığında, birimlerin kavramsal modeli oluşturulmuş ve Şekil 2'de sunulmuştur.

Çalışma alanındaki alüvyon akiferde yeraltısuyu akımlarının benzetimi sonlu-farklar çözüm yöntemini esas alan MODFLOW-2005 YAS akım modeli kullanılarak oluşturulmuştur [8]. MODFLOW-2005 YAS akım modeli 3-B sonlu farklar yöntemini kullanmaktadır (Eşitlik 1). Elde edilen bulgular ışığında karstik birimler üzerinde partikül tanımlanmış ve farklı çekim senaryolarına karşı kuyuların etkilenme süreleri değerlendirilmiştir.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W = S_s \frac{\partial}{\partial t} \quad (1)$$

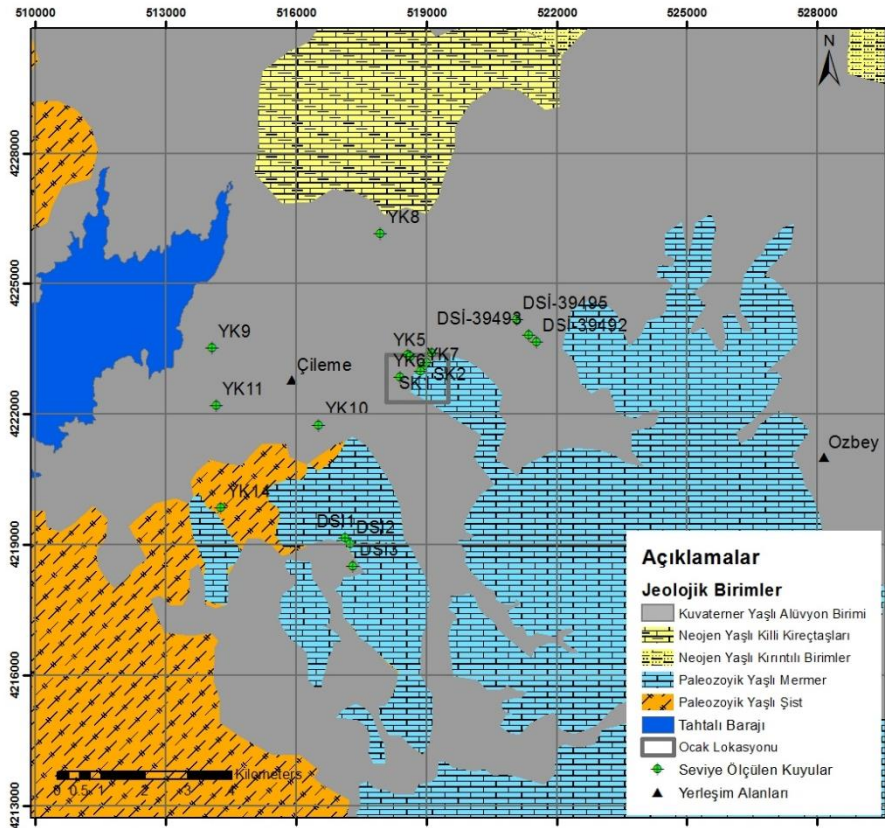
Burada K_{xx} , K_{yy} ve K_{zz} akiferin x , y ve z yönlerindeki hidrolik iletkenlik katsayılarını, h hidrolik yükü (YAS kotunu), S_s akiferin özgül depolama katsayısını, W birim akifer hacmi başına akifer dışından beslenme ya da boşalımı, (x,y,z) kartezyen koordinatları ve t zamanı temsil etmektedir. Söz konusu denklem üç boyutlu uzayda zaman değişkenli (dinamik) Yeraltı suyu (YAS) akımını temsil etmektedir.

3. Çalışma alanının Jeolojik ve Hidrojeolojik Özellikleri

Çalışma alanının temel kayalarını Menderes Masifine ait metamorfik birimler oluşturmaktadır (Şekil 1). Metamorfik birimler genel olarak mikasit, kalk şist, yer yer gnays ve üst seviyelere doğru rekristalize mermerden oluşmaktadır. Mermerler, gri renkli masif görümlü, oldukça kırıklı bir yapı kazanmış olup oldukça geniş bir dağılım sunmaktadır. Mermerlerin alanın

doğusunda şistlerle dokanağı gözlenmekte olup, kalınlıkları güneybatı kesimlerine doğru artmaktadır [9]. Bozdağ ve çevresinde yapılan speleolojik çalışmalarda ise mermerlerin 250 m derinliğe kadar uzandığı ortaya konulmuştur [1, 10-11].

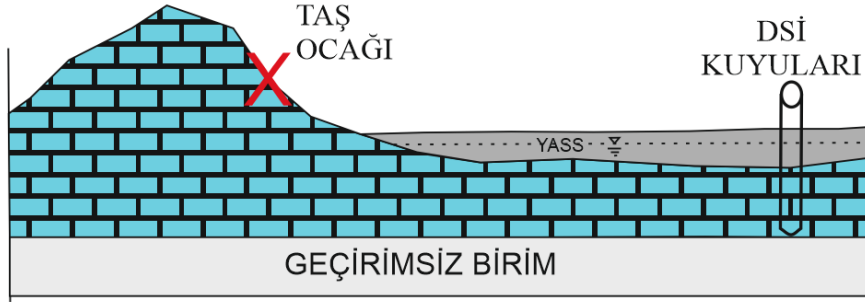
Temel kayaları üzerine uyumsuzlukla Neojen yaşlı seriler gelmektedir. Neojen yaşlı serileri ise kırıntılı birimler ve killi kireçtaşlarından oluşmaktadır. Genel olarak kirli beyaz renkli olan birim, ağırlıklı karbonatlı kiltaşları ile kireçtaşları aralanmasından oluşmaktadır. Birimin bölgesel jeoloji verilerine göre 130 m bir kalınlık sunduğu vurgulanmaktadır [12]. Çalışma alanının kuzey kesimlerinde Kuvaterner yaşlı güncel alüvyonlar gözlenir. Alüvyonlar genel olarak iri ve orta taneli çakıl ve kum boyutunda malzemeden oluşmaktadır. Alüvyon kıyı şeridinde mermerler ile dokanak halinde olup yanal olarak mermerler ile irtibatlıdır. Alüvyonlar çöküntü alanlarında tüm birimleri üstlemektedir. Bölgede en önemli yeraltı suyu sağlayan akiferi oluşturmaktadır.



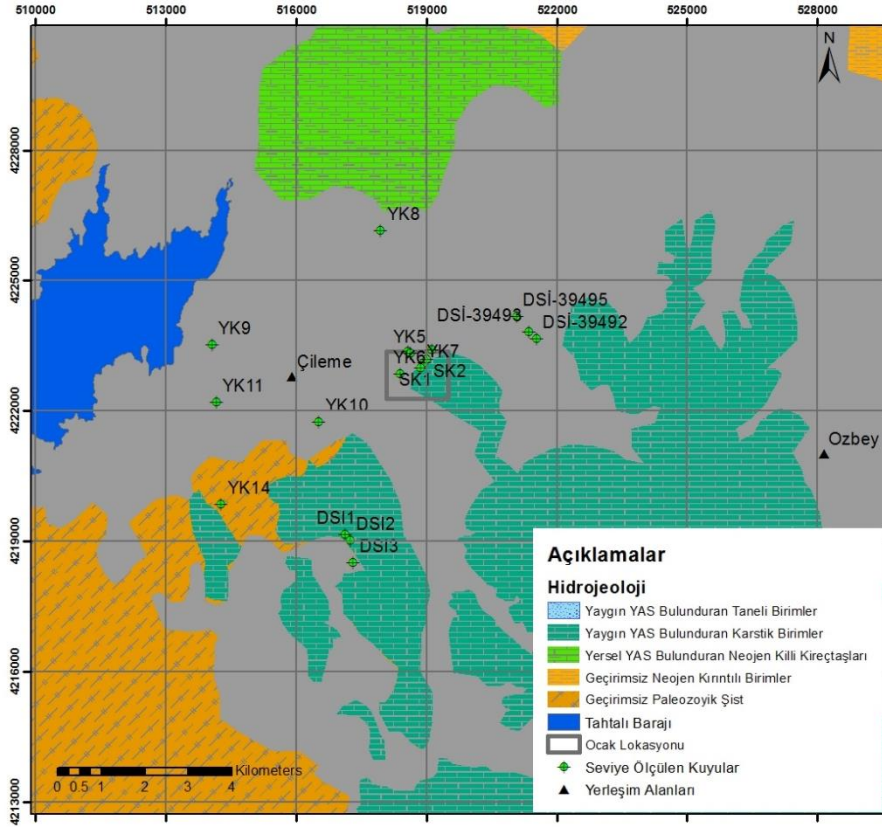
Şekil 1. Çalışma alanının jeoloji haritası

Çalışma alanı yüzey hidrolojisi açısından ele alındığında, akarsu konumunda sürekli akan bir yüzeysel su kütlesi yer almamaktadır. Ancak alanın kuzeybatısında 5 km uzaklıkta yer alan

Tahtalı Barajını besleyen başlıca yüzey suyu kütleleri olarak Kona, Hırsız, Kocaçay, Sarıçay, Sandı, Deliömer, Çamurlu, Darıçay, Balaban, İzmirli boğazı ve Tahtalı dereleridir.



Şekil 2. Çalışma alanının kavramsal hidrojeolojik kesiti



Şekil 3. Çalışma alanının hidrojeoloji haritası

Çalışma alanı ve çevresinde yeraltısuyu sağlayan en önemli kuyular, sulama amacıyla açılmış olan

DSİ kuyularından oluşturmaktadır (Şekil 2). Çalışma kapsamında güvenilir verisi olan DSİ

kuyu verilerine göre kuyu derinlikleri 40-225 m arasında değişmekte olup 2 ile 100 l/s debi değerine sahiptir. Çalışma alanının doğu ve güney bölgelerinde geniş yer kaplayan Paleozoyik yaşlı mermerler, karstik akifer kayalarını oluşturur (Şekil 3). DSİ kuyularından alınan verilere göre, şistler üzerinde uyumlu olan mermerlerin özgül debileri ortalama 32

l/s/m olarak elde edilmiştir. Mermerlerin hidrolik iletkenlik değeri 2,0 - 82,8 m/gün değerleri arasında değişmekte olup ortalaması 31,3 m/gün'dür. Bölgede yapılmış sondaj verileri dikkate alındığında mermerlerin iletkenlik değerleri 186 - 4388 m²/gün arasında değişmektedir (Tablo 1 ve 2).

Tablo 1. Pompaj kuyularından elde edilen Neojen ve Mermer birimlerin hidrolik parametreleri (DSİ, 2000) (UTM ED50).

Kuyu No	X	Y	Z	Derinlik (m)	Qs (L/s/m)	T (m ² /g)	K(m/g)
31482	521258	4227980	52,55	224,0	0,04	-	0,04
36407	517125	4218875	62,00	155,5	1,71	715	6,40
37149	517750	4218600	75,00	150,0	4,60	2370	21,40
41953	516700	4219300	78,00	166,3	6,18	902	8,20
41954	517150	4219125	67,00	118,0	6,02	592	8,40
41955	517300	4219050	72,00	225,0	5,92	972	5,70
41956	516525	4219075	68,00	112,0	-	-	-
39485	522386	4224500	42,93	100,0	30,53	565	8,30
39486	522265	4224284	42,80	100,0	29,07	1520	22,30
39487	521950	4224160	42,57	100,0	22,12	1235	22,10
39488	521775	4224000	43,00	100,0	11,40	1436	25,60
39489-A	522080	4224750	43,00	100,0	16,50	744	12,50
39490	521975	4224850	43,00	100,0	128,20	4388	82,80
39491	521925	4225075	43,00	100,0	116,27	3291	70,80
39492	521600	4223850	43,00	100,0	38,10	1755	29,30
39493	521425	4223975	43,00	93,4	31,30	1755	30,60
39494	521325	4224125	43,00	100,0	61,54	2257	37,60
39495	521097	4224312	42,93	113,0	3,24	186	2,80

Bu verilere ek olarak, taş ocağının bulunduğu alanda açılmış olan 70 m derinliğindeki şahıs kuyusunda pompaj deneyi yapılmıştır. Bu kuyunun 20 ve 50 m yakınına 50 m derinliğinde karotlu gözlem kuyusu açılmıştır. Pompaj kuyusu olarak kullanılan üretim kuyusundan 20 l/s debi ile üretim yapılmış ve karotlu gözlem kuyularından düşüm izlenmiştir. Yapılan pompaj deneyinde mermerlerin hidrolik iletkenlik değeri 16 m/g, 30 m doymuş kalınlık için iletkenlik değeri 480 m²/g olarak hesaplanmıştır. Depolama katsayısı ise 0,0246 olarak elde edilmiştir. Elde edilen hidrolik iletkenlik ve iletkenlik değeri DSİ tarafından elde

edilen kuyu hidrolik parametrelerine uyumlu olarak elde edilmiştir (Tablo 1). Mermerler gibi karbonatlı kayalar yeraltı suyu dolaşımına elverişli karstik boşluklar içerebilir. Sahada gözlenen birimin bazı seviyelerinde erime boşlukları ve su yutan (düden) gibi karst şekilleri gözlenmiştir. Karstik bölgelerde dokanak veya faylar boyunca gelişen birkaç metreden birkaç yüz metre derinliğe kadar ulaşabilen kuyu olarak tanımlanan su yutan (düden) çalışma alanının güney doğusunda 520246 D-4221495 K (UTM ED50 6 derece) koordinatında gözlenmektedir (Şekil 4). Önemli oranda yüzeysuyu, su yutan ile yeraltına süzülmemektedir. Bazı göl ve akarsular,

düdenlerce yutularak yer altı akarsularını oluşturur [1]. Özellikle su temininin zor olduğu yüksek karstik arazilerdeki düdenler, su elde etmek açısından yıl boyunca önemli işlevler

yüklenirler. Bölgedeki mermerlerin karstik yapılarının oldukça gelişmiş olduğu ve yeraltısuyu sağlama açısından önemli bir akifer olduğu bilinmektedir.



Şekil 4. Mermerlerde gelişmiş su yutan

Tablo 2. Torbalı Meslek Yüksekokulu (SK), DSİ ve Yerel Kuyulardan (YK) alınan su kotları (UTM ED50)

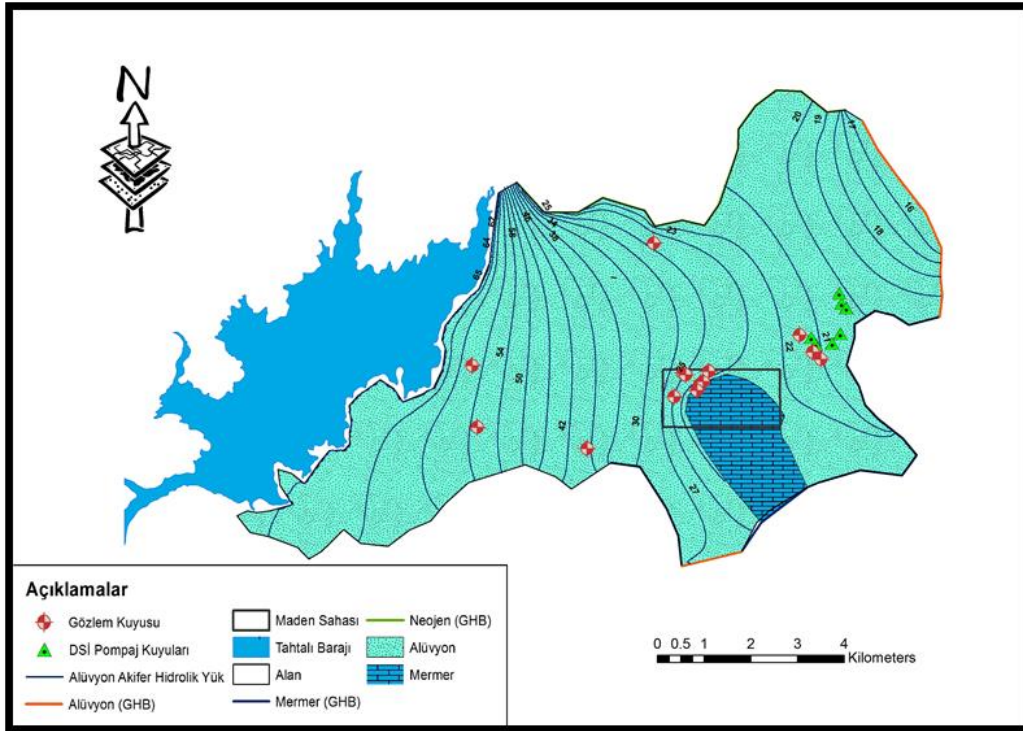
Kuyu No	X	Y	Z	Su derinliği (m)	Su kotu (m)
SK1	518940	4223117	60,00	37,57	22,43
SK2	519014	4223185	55,00	33,98	21,02
DSİ-36407	517125	4218875	62,00	44,70	17,30
DSİ-39492	521600	4223850	43,00	27,00	16,00
DSİ-39493	521425	4223975	43,00	28,00	15,00
DSİ-39495	521097	4224312	43,00	29,00	14,00
DSİ-41954	517150	4219125	67,00	44,27	22,73
DSİ-41955	517300	4219050	72,00	40,38	31,62
YK1	519126	4223401	47,50	35,00	12,50
YK3	518580	4223363	47,90	22,00	25,90
YK4	518636	4223324	47,74	28,00	19,74
YK5	518638	4223325	47,69	27,60	20,09
YK6	518391	4222857	49,50	36,00	13,50
YK7	518873	4222991	60,00	37,83	22,17
YK8	517948	4226144	48,00	24,87	23,13
YK9	514063	4223521	69,00	1,10	67,90
YK10	516526	4221745	57,00	1,10	55,90
YK11	514172	4222201	67,00	3,30	63,70
YK14	514259	4219857	106,00	16,60	89,40

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışma alanında en önemli yeraltısuyu sağlayan alüvyon akifer yeraltısuyu akım modeli kullanılarak modellenmiştir. Alüvyon akiferin sınır koşulları olarak, alanın batı kesimlerinde yer alan Tahtalı Barajı sabit yük sınırı (CHD) olarak kullanılmış ve su kotu olarak 65 m olarak alınmıştır. Alanın kuzeyinde yayılım sunan Neojen killi kireçtaşları ve alanın güneyinde yer alan mermerler genel yük sınırı (GHB) olarak tanımlanmış ve bu birimde açılan kuyu seviyeleri kullanılmıştır. Alüvyon akiferin altında yayılım sunan mermerler farklı bir akifer olarak tanımlanmıştır. Mermerin tabanı ise geçirimsiz birim olarak ele alınmıştır.

Birimlerin hidrolik iletkenlik değerleri olarak yukarıdaki bölümlerde hidrojeolojik özelliklerde

sunulan ortalama değerler kullanılmıştır. Neojen birimlerin hidrolik iletkenlik değeri 9 m/g, mermerlerin ise 32 m/g olarak tanımlanmıştır. Alüvyon akifer biriminin hidrolik iletkenliği 9 m/g olarak tanımlanmıştır. Bölgede akiferlere ait veriler yetersiz olduğu için iletkenlik değeri homojen alınmıştır. Çalışma alanı ve yakın çevresinde yapılan çalışmalara ışığında, alüvyon akifer için yağıştan beslenme değeri olarak yıllık yağış değerinin %25'inin yeraltısuyu beslediği belirtilmektedir [7]. Bölgede yıllık ortalama yağış 600 mm gerçekleşmekte olup yağışın %25'i akiferin beslenme sınır koşulu 172.5 mm/yıl olarak ele alınmıştır. Beslenme değerinin tüm akiferde homojen olarak ele alınmıştır. Bu sınır şartları kullanılarak modelleme alanı 100X200m'lik model hücreler oluşturularak modellenmiştir.

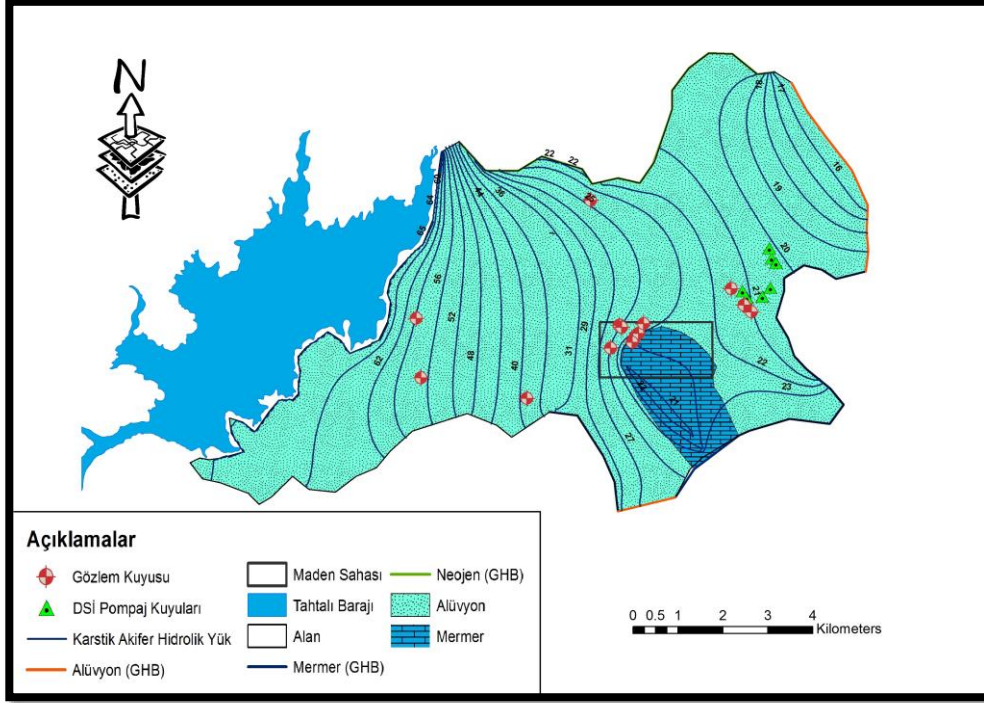


Şekil 5. Modelleme alanının sınır koşulları, model alanı ve alüvyon akifere ait hidrolik yük değerleri ile çizilmiş eş yeraltısuyu eğrileri

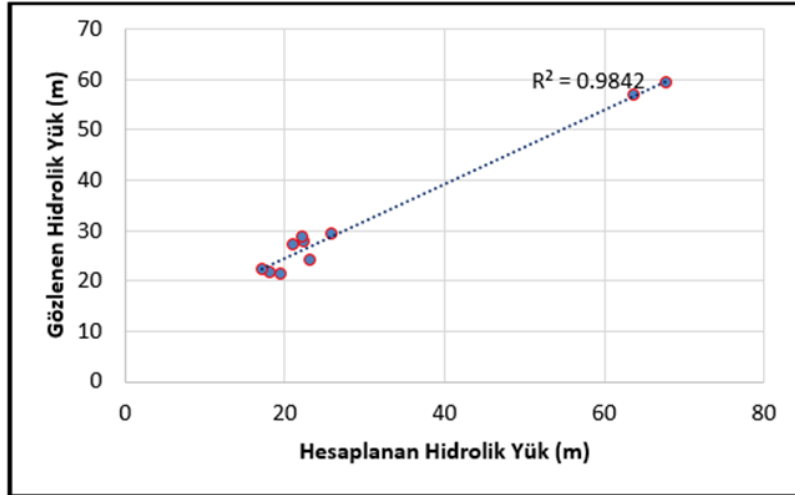
Modellenen alüvyon akiferde yeraltısuyu akım yönü batıdan doğu kesimlere doğrudur (Şekil 5 ve 6). Yağışa bağlı olarak yüzeyden sızmaya ek olarak bölgede yayılım sunan mermerlerden ovaya bir akım söz konusudur. Yeraltısuyu seviye eğrilerine göre Tahtalı Barajı ile yeraltısuyu arasında bir ilişki var gibi gözükse

de, bu alan ayrıca su bölüm hattının geçtiği alandır [6, 13, 14 ve 15]. Bu nedenle bu sınır iki farklı drenaj alanının ayrım çizgisi olarak düşünülmelidir. Çalışma döneminde (Şubat 2017) arazide ölçülen statik seviye ölçümleri modelin kalibrasyonunda kullanılmıştır. Elde edilen kalibrasyon R^2 değeri 0.98 olup, yüksek

korelasyon değeri elde edilmiştir (Şekil 7). yeraltısuyu akım yönü ve elde edilen hidrolik yükler Şekil 5 ve 6'de sunulmuştur.



Şekil 6. Modelleme alanının sınır koşulları, model alanı ve karstik akifere ait hidrolik yük değerleri ile çizilmiş eş yeraltısuyu eğrileri

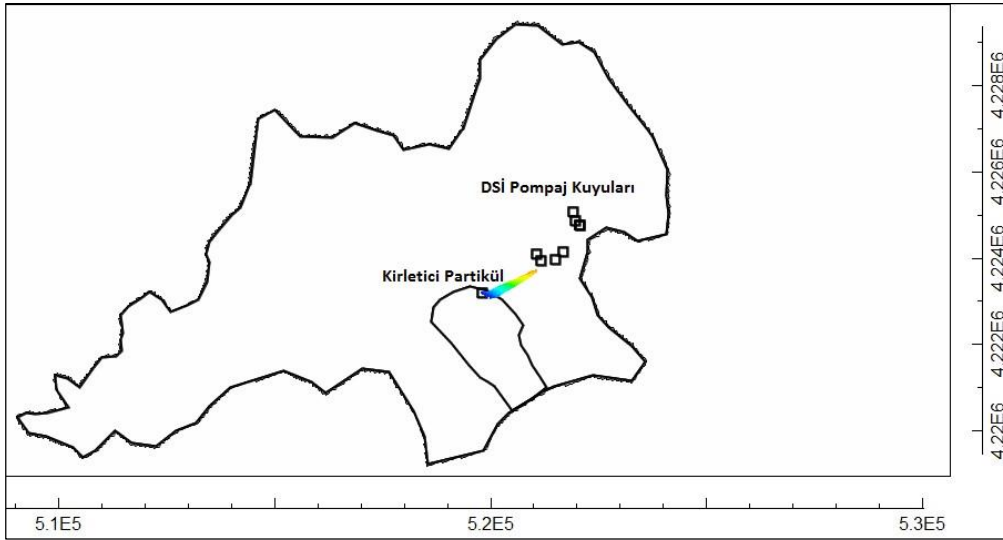


Şekil 7. Kalibrasyon Grafiği

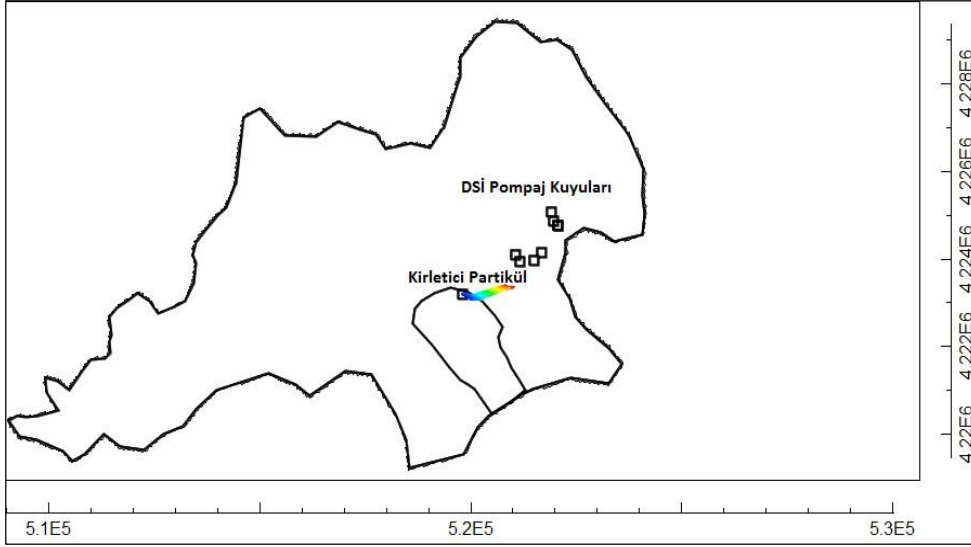
4.1. Kuyu Koruma Alanının Parçacık Taşınımı ile Değerlendirilmesi

Modflow-2005 ile yapılan yeraltısuyu akım modeli 360 gün olarak çalıştırılmıştır. Parçacık izleme çalışması için ModPath Programı kullanılmıştır. Alüvyon akiferi besleyen ve dokanağında yer alan mermerler üzerine açılmış olan taş ocağından bırakılan bir parçacık herhangi bir kuyu ile çekim yapılmadan yalnızca yeraltısuyu akımı ile 360 gün sonunda DSİ pompaj kuyularının olduğu bölgeye ulaşamamaktadır. Çekim etkisinin parçacık taşınımına etkisini ortaya koymak için, aynı koşullarda DSİ pompaj kuyularının bulunduğu bölgede akiferden 4320 m³/gün çekim yapan kuyu sınır koşulu eklenmiştir. Aynı şekilde yüzeyden bırakılan bir parçacık ModPath programı ile izlenmiştir. Parçacığın düşeyde süzülmesi hidrolik parametreler ile beslenme ve kuyu çekimi sınır koşullarının kontrolünde gerçekleşmektedir. Yalnızca Advectif taşınım kabul edilerek yeraltısuyu akımı ve kuyunun

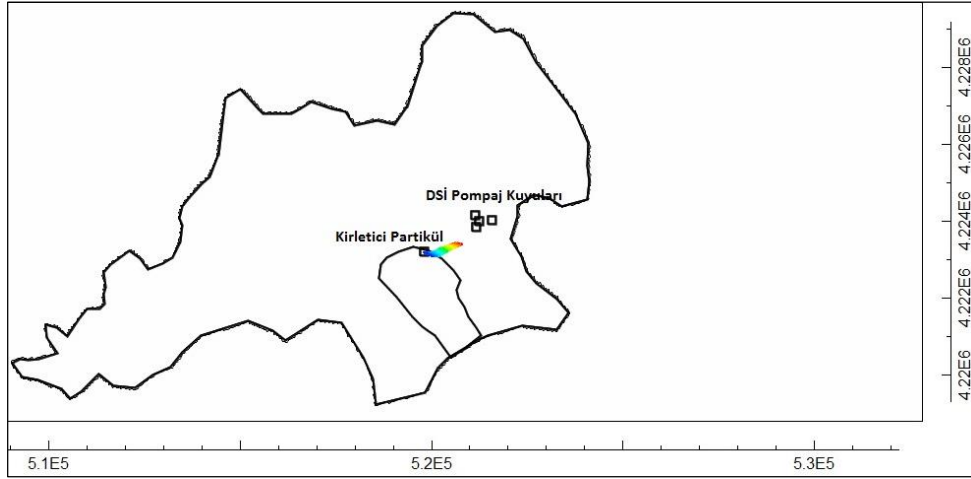
çekim etkisiyle bu parçacık 14 yıl sonunda DSİ pompaj kuyularına yaklaşmaktadır. Partikül taşınım sürecinde mermer yüzeyinden başlayarak düşey hidrolik parametreler ve sınır koşulları kontrolünde alüvyon akifer içerisinde yol almaktadır. (Şekil 8) Ancak bu kirleticinin cinsine, akiferdeki dispersivite katsayısına ve bölgede özel bir durum oluşturan karstik akiferin alüvyon akiferi besleme özelliklerine göre değişecektir. Modelde kuyu sınır koşulu kullanılmadan yalnızca yeraltısuyunun kendi akımı ile çalışma alanından bırakılan partikül ModPath programı ile izlenmiştir. Yapılan denemeler sonucu yalnızca 20 yıl sonra DSİ pompaj kuyularının olduğu bölgeye partikül yaklaşmaktadır. Çoklu kuyudan aynı anda çekim olması durumunda parçacık taşınımının davranışını simule etmek için, kuyuların olduğu alana 4 adet her biri 4320 m³/gün kuyu sınır koşulu tanımlanmıştır. Bu koşullarda yapılan simülasyonlarda kirletici 12 yıl sonunda bölgeye ulaşmaktadır (Şekil 9 ve 10).



Şekil 8. Karstik birimde tanımlanan parçacığın 4320 m³/gün çekim yapan 1 kuyunun bulunduğu alana taşınım süreci



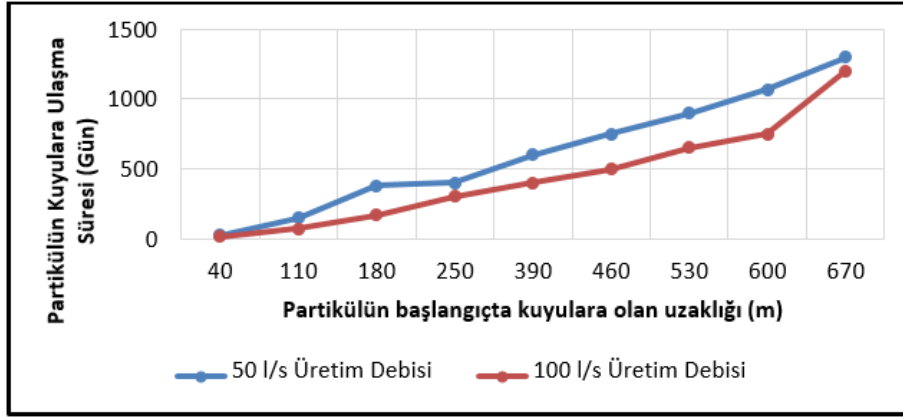
Şekil 9. Karstik birimde tanımlanan parçacığın kuyu çekimi olmadan akım yolu



Şekil 10. Karstik birimde tanımlanan parçacığın 4320 m³/gün çekim yapan 4 kuyunun bulunduğu alana taşınım süreci

Çalışma alanında özel şahıslar tarafından alüvyon ve karstik akiferde açılmış yüzlerce kuyu mevcuttur. Bu kuyuların yaz döneminde sulama amaçlı yeraltısuyundan yapılan çekimin önemli oranda artması akiferdeki yeraltısuyu hidrodinamiğini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu değişen hidrodinamik yapı yeraltısuyu akım hızlarını etkileyecek ve muhtemel bir kirlenicinin kuyulara ulaşım zamanını hızlandıracaktır. Sulama döneminde su çekimlerinin etkisini anlamak için kuyulara belli uzaklıklarda parçacık tanımlanmış ve kuyulardan çekim yapılarak parçacığın ulaşım zamanı değerlendirilmiştir. İkinci olarak çekim değerleri

iki katına çıkarılmış ve aynı mesafelerde tekrar model çalıştırılmıştır. Şekil 11'de sunulduğu üzere parçacıkların kuyuya ulaşım zamanları ile uzaklıkları doğrusal bir eğri sunmaktadır. Çekim debisi artırılması durumunda parçacığın daha kısa sürede kuyuya ulaştığı görülmektedir. Akifer içerisinde açılmış birçok kuyunun aynı dönemde çalışmaya başlaması hem alüvyon hem de karstik akiferde yeraltısuyu hidrodinamiğini değiştirmekte ve kirlenici taşınımı daha hızlı olabilmektedir. Bu nedenle içme suyu kuyusu olarak kullanılan ve birbirine yakın kuyuların koruma alanlarının modellenme yaklaşımı ile belirlenmesinde yarar görülmektedir.



Şekil 11. Kuyulara belli uzaklıklarda tanımlanan partikülün ulaşım zamanları

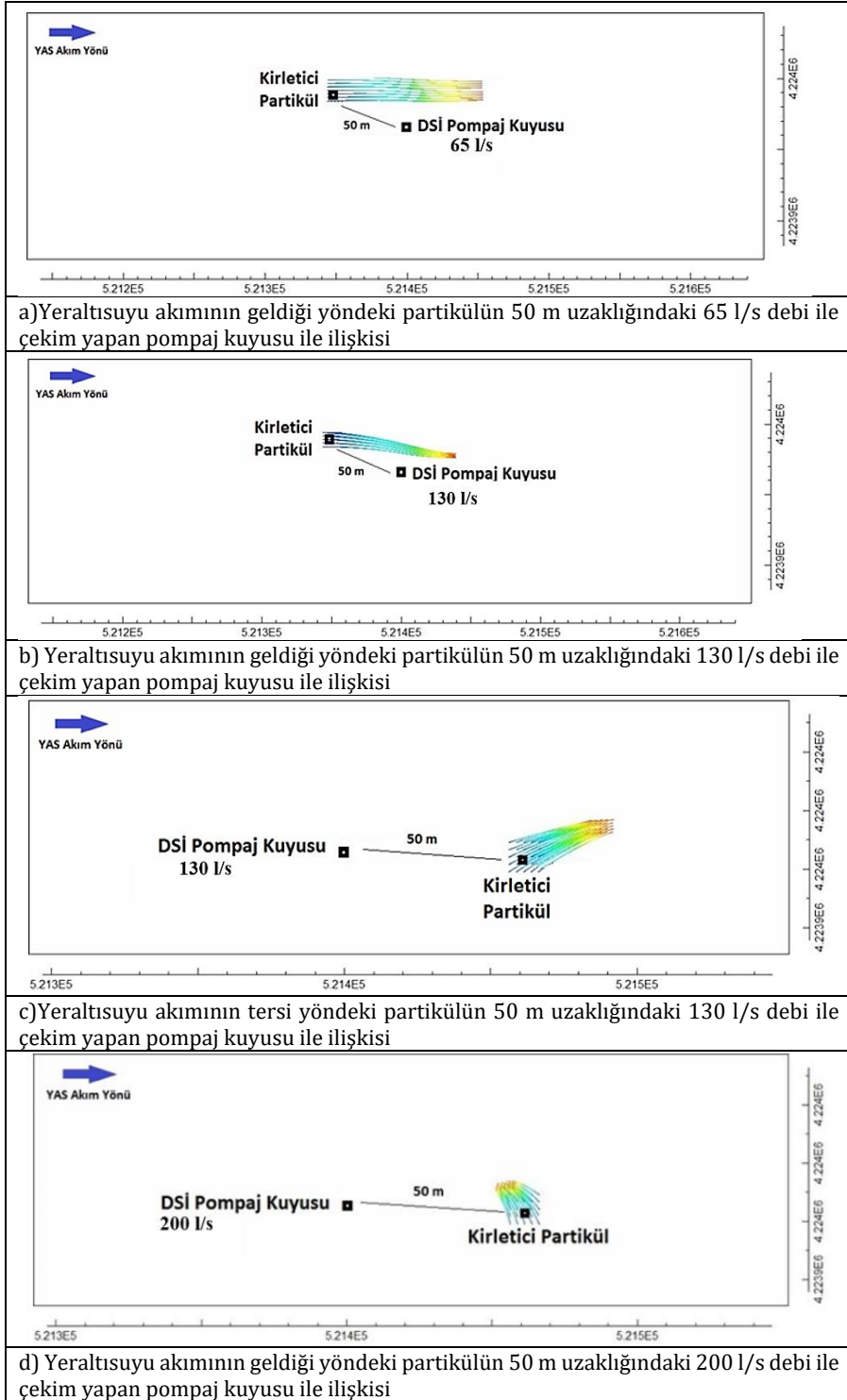
Alüvyon akiferde açılmış kuyuların koruma alanları yönetmelikte 50 gün' lük bir süreyi kat edecek yol olarak tanımlanmaktadır. Bu bağlamda alüvyon akiferde açılan kuyuların koruma alanlarının 50 günlük süreyi kat edecek uzaklık olarak grafikten 40 m olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak bu uzaklığın karstik akiferlerde çok daha kısa olacağı beklenilmelidir.

Bir içme suyu kuyusu için tanımlanan 50 m mesafe birinci derece koruma alanının çevresinde olası bir kirleticinin kuyu çekim miktarına karşı vereceği tepki farklı çekim değerleri ile test edilmiştir (Şekil 12). Bunun için akım yönünde ve akım tersinde aynı uzaklıkta tanımlanan kirletici parçacığının, akım yönünde olması durumunda doğal olarak kuyuya yaklaştığı ancak çekim miktarının bir kuyu için 130 l/s üzerine çıkması durumunda kuyuya daha çok yaklaşmaktadır. Yeraltısu akım yönünün tersinde ise çok daha fazla çekim değerleri ile kuyuya doğru yaklaşmaktadır. Özellikle 200 l/s üzerinde bir çekim olduğunda akım yönünün tersinde kuyuya doğru yönelmektedir. Bu durum bize kuyu koruma alanlarının belirlenmesinde kuyu çekimlerinin önem taşıdığı, özellikle belli alanlara kümelenmiş içme veya sulama suyu kuyularının aynı anda çalıştırılmasında, kirleticinin taşınma

süresini önemli oranda hızlandırabileceği sonucu karşımıza çıkmaktadır.

8. Sonuç ve Öneriler

İnceleme alanında yer alan Paleozoyik yaşlı temel kayaları, Neojen yaşlı birimler ile Kuvaterner yaşlı alüvyonel birimler stratigrafik istifi oluştururlar. Proje sahasında temeli oluşturan Paleozoyik yaşlı şistler geçirimsiz özellikleri nedeniyle yeraltısu bulundurma açısından elverişsizdir. Mermerler bu birimin üzerine uyumlulukla gelmekte olup en önemli karstik akiferlerden birini oluşturur. Neojen killi kireçtaşları ve kırıntılı birimler ise alanın kuzeyinde yayılım sunmaktadır. Bu birimler içerisinde killi kireçtaşları ise lokal akifer özelliği taşımaktadır. Ova kesimde gözlenen gevşek yapılı güncel tortulları oluşturan alüvyonlar ise yaygın yeraltısu bulunduran akifer konumundadır. Çalışma alanında en önemli akifer olan mermerlerin kırık ve çatlak sistemlerinin gelişmiş olduğu ve buna bağlı olarak önemli karstik yapılar içerdiği gözlenmiştir. Bunların en önemlisi ise çalışma alanının güneyinde belirlenen su yutan'dır. Çalışma alanına 2 km mesafede yer alan su yutan yağmur sularını yeraltına drene etmektedir.



Şekil 12. Farklı çekim miktarlarına göre kirlenici tepkileri

Çalışma alanında en önemli akiferler olan karstik birimler alüvyon akifer ile yeraltısuyu açısından ortak çalışan bir sisteme sahiptir. Mermerler ova kesimdeki alüvyonları beslemektedir. Bu nedenle üzerlerinde olası kirleticiler alüvyon akifere doğru ilerleyecektir. Alüvyon ve karstik akifer gibi geçirimli akiferlerden su sağlayan kuyuların koruma alanlarının belirlenmesinde suyun akış yönü, seyahat zamanı, beslenme alanı, kirleticinin sönmülme zamanı gibi birçok kavramın bir arada değerlendirilmesi önem taşımaktadır.

Alanda yer alan alüvyon akifer için oluşturulan yeraltısuyu akım modeli, parçacık taşınımı, kuyu çekimlerine bağlı olarak çalıştırılmış ve çekimlerin yeraltısuyu hidrodinamiğine olan etkisi değerlendirilmiştir.

Bölgede çekim yapılan kuyulara farklı uzaklıklarda tanımlanan parçacıkların kuyulara ulaşım zamanları değerlendirilmiş ve kuyulardan çekimin önemli oranda etkili olduğu görülmüştür. Yönetmelikle belirlenmiş birinci derece koruma alanının kuyunun açıldığı akiferin iletkenlikleri ve yeraltısuyu çekimi önemli oranda denetlenmektedir. Yapılan

analizde, alüvyon akifer için yönetmeliklerde belirlenen birinci derece koruma alanının uygulanabilir olduğu anlaşılmaktadır. Ancak belli alanlara kümelenmiş içme suyu kuyularının aynı anda çalışması durumunda yeraltısuyu akım hızı değişeceğinden bu tür kuyular için koruma alanlarının modellenmeler ile ortaya konulmasında önemli yarar bulunmaktadır.

Çok sayıda kuyudan yapılan çekimlerin yeraltısuyu hidrodinamiğine etkisinin değerlendirilmesi için, farklı çekim miktarlarıyla kuyuya 50 m mesafede bir kirleticinin kuyuya yaklaşımı test edilmiştir. Yapılan simulasyonda çekim miktarı 200 l/s ye kadar normal akım yönünde, 200 l/s den fazla olması durumunda da yeraltısuyu akımının tersi yönde kirleticinin kuyuya daha çok yaklaştığı görülmüştür. Bu durumda kuyulardan yapılacak çekim planlamasında, çekimlerde mümkün olduğu kadar kuyu etki yarıçapına uyulması ve akiferden aşırı çekimden kaçınılması önem taşımaktadır. Yeraltısuyunun miktar açısından korunması su kaynaklarının sürdürülebilirliği açısından büyük önem taşımaktadır.

Kaynakça

- [1] YASAKDY 2012. İçme Suyu Temin Eden Akifer ve Kaynakların Koruma Alanların Belirlenmesi Hakkında Tebliğ.
- [2] Simsek C., Kaya B., Alkan A., Büyüktopçu F., Türk N. and Arisoy Y. 2015. Hydrogeology and hydrochemistry of marble aquifer with point recharge from two deep sinkholes, Menderes Masive. *Acta Carsolica*, 44/2, DOI: 10.3986/ac.v44i2.673.
- [3] Kulaksız S. 2012. Madencilikte Çevre Yönetimi: Taş Ocağı Maden İşletmeciliği ve Çevre Etkisi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Afyon.
- [4] Harrar WG, Sonnenborg , TO, Henriksen HJ 2003., Capture zone, travel time, and solute-transport predictions using inverse modeling and different geological, models. *Hydrogeology Journal*, 11:536-548, DOI 10.1007/s10040-003-0276-2.
- [5] IZSU 2002. Su Havzaları Koruma Yönetmeliği, İzmir Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü.
- [6] Elçi A., Karataş D. 2009. İzmir-Tahtalı Baraj Gölü Koruma Alanı için Kirletici taşınımının Arcgis ile Modellenmesi, TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 02-06 Kasım, İzmir.
- [7] DSİ, 2000. Revize Hidrojeolojik Etüdler Kapsamında Küçük Menderes Havzası Yeraltı sularının İncelenmesi Ve Yönetimi, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [8] Harbaugh, A.W. 2005. MODFLOW-2005: the U.S. Geological Survey modular ground-water model--the ground-water flow process, U.S. Geological Survey, Reston, VA, DOI 10.3133/tm6A16.
- [9] Gungor, T., B. Erdogan 2002. Tectonic significance of mafic volcanic rocks in a Mesozoic sequence of the Menderes Massif, West Turkey. *Int J Earth Sci (GeolRundsch)*, 91,386-397, DOI 10.1007/s00531-001-0231-1.
- [10] Şimşek, C., Elçi, A., Gündüz, O. ve Erdoğan, B. 2007. Hydrogeological and hydrogeochemical characterization of a karstic mountain region. *Environmental Geology*, DOI: 10.1007/s00254-007-0817-4
- [11] Erdoğan, B. 1990. İzmir-Ankara zonunun İzmir ile Seferihisar arasındaki bölgede stratigrafik özellikleri ve tektonik evrimi. *Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni*, 2, 1-20.
- [12] Şimşek, C. 2002. Torbalı ovasının katı atık depolama tesisleri yer seçimine yönelik hidrojeoloji incelemesi, Doktora tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [13] Barış, N. 2008. Tahtalı Baraj Havzasının Hidrojeolojik İncelenmesi Ve Yeraltısuyu Kirlenebilirliğinin AHS-DRASTIC Yöntemi İle Değerlendirilmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [14] TMYO, 2017. Menderes İlçesi Çileme Köyü İldır İnşaat Taş Ocağı ve Çevresinin Hidrojeolojik Etüd Raporu, DEÜ Torbalı Meslek Yüksekokulu Döner Sermaye Raporu.
- [15] Ozdayı OM, Taşkın N, Şimşek C, Ozacar V, Ozyol F. 20018. Çoklu Yeraltısuyu Kuyularından Yapılan Çekim Etkisinin Parçacık Taşınımı ile Analiz Edilmesi, 71. Uluslar arası Katılımlı Jeoloji Kurultayı, 22-26 Nisan, Ankara