itüdergisi/***e***
su kirlenmesi kontrolü
Cilt:21, Sayı:2, 13-22
Kasım 2011

Çift tabakalı filtreler: Türkiye şartlarına uygun bir tasarım ve değerlendirme

Elif SOYER[*1], Ömer AKGİRAY[1], Nursen ÖZ ELDEM[2], Ahmet Mete SAATÇI[1]

[1] Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Göztepe 34722, İstanbul
[2] İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Maslak 34469, İstanbul

Özet

Silika kumu, bütün dünyada en yaygın olarak kullanılan filtre malzemesi olmakla birlikte gelişmiş ülkelerde çift ve daha çok tabakalı filtrelerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Çift malzemeli filtrelerde genellikle antrasit kömürü ve silika kumu birlikte kullanılmaktadır. Ancak Türkiye'deki mevcut büyük arıtma tesislerinde sadece silika kumu kullanımı devam ettirilmektedir. Bu çalışmada, İstanbul'un içme suyunun büyük bir bölümünü sağlayan İkitelli içme suyu arıtma tesisi girişinden temin edilen hamsu ve sentetik olarak hazırlanan sular üzerinde pilot ölçekli hızlı filtrasyon deneyleri yürütülmüştür. Çalışmalarda iki paralel filtre kullanılmıştır. Filtrelerden biri Türkiye'de yaygın olarak kullanılan silika kumunu, diğeri ise antrasit kömürü ve silika kumunu içerecek şekilde çift tabakalı olarak hazırlanmıştır. Deneyler bu iki paralel filtrenin eş zamanlı çalıştırılması ile yürütülmüş ve filtrelerin performansı zamana bağlı olarak bulanıklık, parçacık sayımı ile yük kayıpları ölçülerek mukayese edilmiştir. Çalışmanın temel hedefi değişik filtre malzemesi kombinasyonu kullanımının su kalitesi ve yük kayıplarına olan etkilerini tespit etmektir. Bu çalışmada elde edilen temel neticeler şu şekilde özetlenebilir: (i) Uygun dozajda bir yumaklaştırıcı kullanıldığı takdirde, çift tabakalı (antrasit ve kum) filtrede tek tabakalı (silika kumu) filtredekine eşdeğer çıkış suyu kalitesi elde edilmiştir. (ii) Çift tabakalı filtrede hem temiz yatak (filtrasyon başlangıcındaki) yük kayıpları hem de filtrenin tıkanmasından dolayı ortaya çıkan yük kaybı artışları tek malzemeli kum filtreninkine nazaran mühim ölçüde daha az olmuştur.

Anahtar Kelimeler: *İçme suyu arıtımı, hızlı filtrasyon, filtre malzemesi, silika kumu, antrasit kömürü, parçacık giderimi.*

[*]Yazışmaların yapılacağı yazar: Elif SOYER. elif.soyer@marmara.edu.tr; Tel: (216) 348 1369.
Makale metni 05.06.2011 tarihinde dergiye ulaşmış, 03.011.2011 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.04.2012 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.
Bu makaleye "Soyer, E., Akgiray, Ö., Öz Eldem, N., Saatçı, A.M., (2011) 'Çift tabakalı filtreler: Türkiye şartlarına uygun bir tasarım ve değerlendirme', İTÜ Dergisi/E Su Kirlenmesi Kontrolü, 21: 2, 13-22" şeklinde atıf yapabilirsiniz.

Dual-media rapid filters: Design and evaluation for Turkish water treatment plants

Extended abstract

Silica sand is the most widely used rapid filter medium around the world. The use of dual-media filtration, however, is now widespread in developed countries. Generally anthracite coal and silica sand are used together in dual-media filters. On the other hand, large water treatment plants in Turkey (including all the older and the new plants constructed by İSKİ and DSİ) still employ single-medium sand filters.

A sand/anthracite dual media filter design was evaluated as a possible upgrade of the widely used rapid sand filters in Turkey. Pilot scale direct filtration experiments were carried out using raw and synthetic waters. The raw surface water was obtained from the raw water intake at the İkitelli drinking water treatment plant of Istanbul. Two identical filters were operated in parallel in all the experiments. One filter contained the silica sand medium that is currently used by several large municipalities in Turkey, whereas the other filter contained a layer of the same sand plus an anthracite layer that replaced the topmost 40 cm of the mono-medium sand filter. The properties of the dual media filter were selected such that the currently used sand filters in Turkey can be converted to dual media filters with a minimal amount of effort. Experiments were repeated several times as follows:

(i) without the use of a coagulant,
(ii-iv) with 3 mg/L, 5 mg/L and 10 mg/L of alum, and
(v-vi) with 5 mg/L and 10 mg/L of ferric chloride.

Turbidity, particle counts, and head losses were measured and compared as functions of time. In all the experiments carried out in this work, the following were observed:

(1) Whenever a coagulant was used, the filter containing sand/anthracite dual media produced effluent turbidities and particle counts similar to those obtained with the sand filter.

(2) Sand/anthracite medium generated a smaller clean-bed head loss and smaller clogging head losses than those of the sand filter.

Considering the experience with dual media filters over many years in other parts of the world, these findings are not surprising. These findings are significant, however, because they demonstrate the applicability of dual media filtration under unique local conditions. The following factors are important in this respect:

(1) The sand medium employed in the dual media filter was the same as the currently used sand in local plants. The same sand can be continued to be used after conversion to dual media filtration. All that is necessary is to replace about 40 percent of the sand by anthracite. Furthermore, the currently used media-retaining nozzles and the underdrain system will not have to be changed.

(2) The tests are unique in that, the performance of the particular combination of media sizes and depths used in this study –to the best knowledge of the authors- have not been documented in the literature.

(3) Many of the studies comparing dual media filters with mono-medium filters were carried out long time ago and without particle counters, using turbidity as the sole indicator of particle removal efficiency. The use of on-line particle counters in this study allowed a better comparison of the effluent qualities achievable in single and dual media filters.

It is concluded that the particular sand-anthracite dual media design selected in this study can be employed to decrease and delay filter head loss development. The use of the dual media filter design described here will allow longer filter runs while obtaining essentially the same effluent quality. Another benefit of converting to dual media filtration will be the more widespread use of direct filtration which is currently not preferred by local engineers even when faced with low turbidity raw waters.

Keywords: *Drinking water treatment rapid filtration, filter material, silica sand, anthracite coal, particle removal.*

Giriş

İçme suyu arıtma tesislerinin önemli adımlarından birini oluşturan hızlı filtrelerin tasarımında bazı parametreler mühendisler tarafından kontrol edilebilir veya belirlenebilir. Kontrol edilebilen tasarım parametrelerinin başında filtre malzemesinin türü ve fiziki özellikleri, filtrasyon hızı, yumaklaştırıcının türü ve dozajı, yumaklaştırmaya veya filtrasyona yardımcı bir polimerin kullanılıp kullanılmayacağı, kullanılırsa polimerin türü ve dozajı, ön-ozonlama veya önklorlama gibi bir oksidasyon işleminin uygulanıp uygulanmayacağı, filtre hızı kontrol metodu ve filtre geri yıkama metodu sayılabilir.

Hızlı filtrasyonda değişik tür malzemeler kullanılabilir (Soyer vd., 2010; Aksoğan vd., 2003; Evans vd., 2002; Rutledge ve Gagnon, 2002; Agbanobi, 1999; Uluatam, 1991). Dünyada ve Türkiye'de en yaygın olarak silika kumu kullanılmaktadır. Öte yandan gelişmiş ülkelerde çift malzemeli filtrelerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu tür filtrelerde silika kumunun üzerine daha iri fakat yoğunluğu daha az olan bir malzeme (genellikle antrasit kömürü) yerleştirilir. Daha iri olan bir malzemenin gözenek boyutu da daha büyük olacaktır. Ayrıca, antrasitin küreselliği kuma göre daha düşüktür. Bundan dolayı, malzeme boyutundan bağımsız olarak, antrasitin gözenekliliği kumun gözenekliliğinden daha yüksektir: Antrasit için tipik gözeneklilik değerleri 0.56-0.60, kum için ise 0.42-0.47 aralıklarındadır (AWWA, 2011).

Bir kum filtresi geri yıkandıktan sonra en küçük kum taneleri filtrenin en üstünde, en iri taneler ise yatağın en altında kalırlar. Bu durumda kum yatağı küçükten büyüğe doğru tabakalaşmış olur. Filtrasyon işlemi sırasında yukarıdan aşağıya doğru süzülen kirli su önce en küçük ebattaki kum tabakasından geçer. Bu durumda askıdaki katı maddeler büyük oranda filtrenin yüzeyinde ve en üst tabakalarında tutulurlar. Filtre yatağının üst kısmı hızlı bir şekilde tıkanır. Yük kaybının hızla artması neticesinde filtrenin sık sık geri yıkanması gerekir. Geri yıkama işlemi filtre edilmiş (arıtılmış) su ile yapıldığından bu durum arıtma tesisinin net üretimini azaltır ve işletme maliyeti artar. Çift malzemeli filtrelerde hafif ve iri antrasit kömürü daha küçük fakat daha ağır olan silika kumu ile birlikte kullanılır. Geri yıkamadan sonra antrasit tabakası kumun üstünde kalır. Daha iri olan ve daha büyük gözenekliliğe sahip antrasit, yük kaybı artışının gecikmesini sağlar.

Antrasit tabakasının hem gözenek boyutu hem de gözenekliliği alttaki kuma göre daha büyük olduğu için katı parçacıklar antrasit tabakası derinliği boyunca tutulurlar. Diğer bir deyişle, yüzey tıkanması meydana gelmez ve derin yatak filtrasyonu ("*deep bed filtration*") teşvik edilmiş olur. Bu ise yük kaybının artışını yavaşlatır ve filtrasyon süresinin uzamasını sağlar. En alttaki küçük tane çaplı ("*ince*") kum tabakası antrasit tabakasında tutulmayan küçük parçacıkları tutarak kaliteli bir su elde edilmesini sağlar. Filtrelerde çift malzeme kullanılmasının faydalarından biri de direkt filtrasyonun uygulanmasına yardımcı olmasıdır. Direkt filtrasyonda çöktürme tankları (ve bazen yavaş karıştırıcılar) yoktur. Yumaklaştırıcı eklenen ham su doğrudan filtrelere girer. Arada çöktürme tankı olmadığı için, sadece kum kullanan filtrelerin çabuk tıkanması muhtemeldir. Bunun için filtrelerin önünde pahalı çöktürme birimleri inşa edilmektedir. Antrasit tabakasının kirlilik tutma kapasitesi yüksek olduğu için, çift malzemeli filtreler direkt filtrasyon için uygundur.

Hamsu kalitesinin uygun olduğu yerleşimlerde, çöktürme tanklarını içermeyen direkt filtrasyon uygulaması ile daha düşük dozajda yumaklaştırıcı kullanılabilmekte ve netice olarak çamur miktarları azalmaktadır. Diğer bir deyişle, çift malzemeli filtrelerin kullanımının yaygınlaşması hem ilk yatırım hem de işletme maliyeti bakımından daha ucuz olan direkt filtrasyonun da yaygınlaşmasını sağlayacaktır.

Antrasit ve kum ihtiva eden çift malzemeli filtrelerin kullanımı Türkiye'de henüz yeterince kabul görmemiştir. Bilhassa DSİ ve İSKİ gibi kuruluşların inşa ettiği bütün arıtma tesislerinde tek malzemeli kum filtreleri kullanılmaktadır. Çift malzemeli filtrelere geçilmesinin çeşitli avantajları olacaktır. Bu geçişin gerçekleşmesi için şu adımların atılması gerekmektedir: (i) Çift malzemeli filtrelerin Türkiye şartlarında uygulanabilirliğinin (performansının) ortaya konması, (ii) Bu tür filtrelerin tasarımları için gerekli

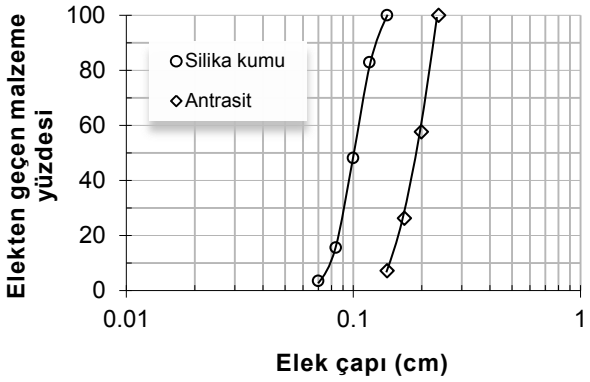
kriterlerin seçilmesi. Belirlenecek olan tasarım kriterleri içinde antrasit ve kum tabakalarının derinlikleri, her tabakadaki malzemenin efektif çapı ve yeknesaklık (üniformluk) katsayısı önde gelmektedir. Bu kriterler Türkiye'de mevcut arıtma tesislerindeki filtre tipleri, filtre derinlikleri ve geri yıkama metotları (pompa ve kompresör kapasiteleri, geri yıkama hızları, drenaj malzemesi, filtre nozıllarının delik ebatları vs.) göz önüne alınarak seçilmelidir. Yurt dışı literatürde kabul görmüş tasarım kriterlerinin (aynen taklit edildikleri takdirde) Türkiye şartlarında başarılı olacağı kesin değildir. Mesela, çift malzemeli filtrelerin en yaygın olarak kullanıldığı ABD'de tipik olarak 0.45-0.55 mm efektif çapında kum ile 0.9-1.1 mm antrasit kullanılmaktadır (AWWA, 2011). İSKİ arıtma tesislerindeki filtrelerde kullanılan nozılların delik boyutu 0.5 mm'dir (halen kullanılan kumun efektif çapı ise 0.8-1.0 mm civarındadır). ABD filtrelerinde kullanılan çapta kum kullanılırsa önemli miktarda kumun drenaja sızması ve/veya nozıllarda tıkanmalar meydana gelmesi muhtemeldir. Nozılların değiştirilmesi mümkündür ama bu hem ilave maliyet getirecek hem de çift malzemeli filtrelere geçiş için gerekli idari kararı zorlaştıracaktır.

Herhangi bir arıtma usulünün başarısı ve etkinliği, arıtılacak suyun özelliklerine göre de değişebilir. Genel kural, belirli bir su için ilk defa uygulanacak bir arıtma metodunun önce pilot tesis ölçeğinde test edilmesidir. Bu çalışmada İstanbul'un içme suyunun büyük bir bölümünü temin eden İkitelli içme suyu kaynağı girişinden temin edilen hamsu ve sentetik olarak hazırlanan sular üzerinde pilot ölçekli filtrasyon deneyleri yürütülmüştür. Filtrelerde Türkiye'deki mevcut altyapıya uygun malzeme özellikleri kullanılmış ve bu filtrelerin performansı sadece silika kumu içeren filtreler ile mukayeseli olarak tespit edilmiştir. Çalışmada parçacık ve bulanıklık giderimi ve yük kaybı artışı temel performans kriterleri olarak kullanılmıştır.

Materyal ve yöntem

Filtre malzemesi

Deneylerde kullanılan kum İSKİ arıtma tesislerinden, antrasit kömürü ise HSC Arıtım ve Kimyevi Maddeler Sanayi Ticaret Ltd. Şti.'den temin edilmiştir. Silika kumu ile yürütülen elek analizi neticesinde malzemenin %10'unun geçtiği elek çapı (d_{10} ya da efektif çap) 0.8 mm olarak bulunmuştur (Şekil 1). Üniformluk katsayısı (malzemenin %60'ının geçtiği elek çapının %10'unun geçtiği elek çapına oranı: d_{60} / d_{10}) ise 1.31 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 1. Kum ve antrasit malzemelere ait elek analizi grafiği

Filtrelerde malzemelerin birbiriyle karışımı önemli bir konudur ve bu durum iki ya da çok tabakalı filtrelerde ardışık tabakalar arasında gözlenir. İstenmeyen bir durum olan aşırı derecede karışım olup olmadığı, kum ve antrasit malzemeler arasında tabakalaşma ve karışma eğilimleri akışkanlaşma (geri yıkama) deneyleri yürütülerek incelenmiştir. Bu analizlerde 5 cm iç çapında ve 1.5 m yüksekliğinde pleksiglas kolonda geri yıkama deneyleri yapılmıştır. Bu deneme sonucunda, ticari olarak temin edilen antrasit malzemenin kaba fraksiyonlarının ara yüzeyde ince kum fraksiyonları ile karıştığı görülmüştür. Çift tabakalı filtrelerde iki malzeme boyutları arasındaki ilişki için "(iri antrasit boyutu) = 3 x (ince kum boyutu)" ifadesi verilmektedir (AWWA, 2011). Bu durumda antrasit boyutunun 2.4 mm'yi fazla aşmaması gerekmektedir. Yukarıda sözü edilen geri yıkama deneyinde, iki malzemenin fazla karışmaması için bu üst sınırın daha uygun olduğu görülmüş ve bu üst sınır, malzemenin 2.38 mm'lik standart elekten geçirilmesi şeklinde tatbik edilmiştir. Şekil 1'de verilen elek analizi eğrisi de bu elenmiş malzeme kullanılarak oluşturulmuş, efektif çap ve üniformluk katsayısı değerleri sırasıyla 1.45 mm ve 1.39 olarak elde edilmiştir.

Filtre yatağı derinliği, filtre çıkış suyu kalitesine ve filtre yük kaybına etki eden bir parametredir. Türkiye'deki mevcut arıtma tesislerinde tipik olarak 1.0 m derinliğinde ve yukarıda verilen özelliklerde silika kumu kullanılmaktadır. Tatbikatta, mevcut filtrelerde antrasit kullanıldığı zaman toplam yatak derinliği aynı kalacaktır. Yani, kum ve antrasit tabakaların toplam derinliği 10 m olmalıdır. Çift tabakalı filtrelerde kullanılacak filtre malzemelerinin her birinin yatak derinliğini belirlemek amacıyla L/d_{10} yaklaşımı tavsiye edilmektedir (MWH, 2005; AWWA, 2011; Kawamura, 1991). Kullanılan her malzeme için (L/d_{10}) oranı hesaplanarak toplanmakta ve bu toplamın konvansiyonel kum filtrelerinde ve çift tabakalı filtrelerde 1000'den büyük olması önerilmektedir (Kawamura, 1991). Bu çalışmada 1.0 m derinliğinde tek tabakalı filtre ve 0.6 m kum tabaka üzerine 0.4 m antrasit yerleştirilerek kullanılan çift tabakalı filtre ile çalışılmıştır. Her iki filtre de bahsedilen kriteri sağlamaktadır. Kum filtre için: L/d_{10} = 1000/0.8 = 1250 ve kum/antrasit filtre için: L/d_{10} = 600/0.8 + 400/1.45 = 1025. Çift tabakalı filtre derinliği İstanbul ya da Türkiye'nin herhangi bir bölgesinde mevcut hızlı kum filtrelerinde yaygın olarak kullanılan 1.0 m derinlik olarak seçilmiştir. Aynı derinliğin kullanımı, mevcut kum filtrelerinin çift tabakalı filtrelere dönüşümünde kolaylık sağlayacaktır.

Filtrasyon deneyleri

Antrasit/kum çift tabakalı filtre yatağı ve silika kumu tek tabakalı filtre performanslarının karşılaştırılması amacıyla fiziki olarak eşdeğer iki filtre paralel olarak çalıştırılmıştır. Pleksiglas malzemeden yapılmış filtre kolonlarının iç çapı 100 mm, yüksekliği 2 m'dir. Her iki filtre kolonunun üstü atmosfere açıktır ve filtrasyon hızı sabit tutulurken yük kayıplarının artması neticesinde filtre kolonlarındaki malzeme üzeri su seviyesi filtre çalışma süresi boyunca artmaktadır. Çalışmanın herhangi bir aşamasında bulanıklık ya da parçacık sayısı açısından kırılma noktası gözlenmemiştir. Deneylerde kullanılan hamsu, ana depodan (1.5 m^3) sabit seviyeli tanka bir santrifüj pompa yardımıyla yükseltilmektedir. Filtrelere yerçekimi ile su ileten sabit seviyeli tank, yer seviyesinden 3.5 m yükseklikte olup 20 L hacmindedir. Sabit seviyeli tank ile filtre girişleri arasındaki bağlantı noktasında kimyasal ilavesi (alum ya da demir klorür) peristaltik pompalar kullanılarak yapılmaktadır. Filtrasyon, sabit 11.5 m/sa hızında yürütülmekte ve hız kontrolü filtre girişlerinde bulunan rotametreler ve küresel vanalar kullanılarak sağlanmaktadır. Düzenekte bulunan sürekli ölçüm yapan cihaz donanımı, bulanıklık (Hach 1720D Low Range Turbidimeter, Hach Company, Loveland-Colorado) ve parçacık sayılarının (ARTI WPC-22 Particle Counter) ham su ve filtre çıkış hatlarında sürekli takibine imkan tanımaktadır. Bu parametrelerdeki değişiklikler veri toplayıcılar kullanılarak kaydedilmekte ve 1 dk. aralıklarla bilgisayara iletilmektedir. Filtre yatağı derinliğince yük kaybı oluşumu, her iki filtre kolonunda farklı derinliklere monte edilen piyezometre boruları vasıtasıyla takip edilmiştir.

Eş zamanlı olarak işletilen her iki filtre yine aynı şekilde eş zamanlı olarak aynı koşullarda geri yıkama yapılarak bir sonraki filtrasyon çalışmasına hazırlanmıştır. Veriler (giriş ve çıkış suları bulanıklık değerleri, parçacık sayıları ve yük kayıpları) aşağıdaki farklı işletme koşulları için kaydedilmiştir:

(i) herhangi bir yumaklaştırıcı kullanımı olmaksızın
(ii) 3 mg/L, 5 mg/L ve 10 mg/L alum ilaveli olarak ($Al_2(SO_4)_3.18H_2O$)
(iii) 5 mg/L ve 10 mg/L demir klorür ilaveli olarak ($FeCl_3.6H_2O$)

Paralel olarak işletilen her iki filtreye aynı kalitede su girişi söz konusu olup çıkış suyu kaliteleri ve yük kayıpları eş zamanlı olarak kaydedilmiştir. Bu sayede her iki filtrenin performansı aynı giriş koşulları altında ve aynı işletme şartlarında karşılaştırılabilimiştir. Her iki filtrenin ayrı ayrı optimizasyonu (örneğin farklı yumaklaştırıcı dozlarında, filtre yardımcısı polimerlerin kullanımı, farklı tipte yumaklaştırıcıların kullanımı ile ya da parçacık giderimini desteklemek amacıyla ön ozonlama uygulaması vs.) ile daha iyi kalitede çıkış suyu elde edilmesi mümkündür. Bununla birlikte bu çalışma kapsamında yürütülen deneylerdeki hedef, filtrelerin tekil olarak optimizasyonu değil, aynı şartlar

altında çalıştırılması ile performanslarının karşılaştırılmasıdır.

Deneysel çalışma sonuçları

Sentetik su ve İkitelli hamsuyu üzerinde yürütülen, yumaklaştırıcı ilaveli ve ilavesiz deneylerle ilgili değerlendirmeler bu bölümde sunulmuştur.

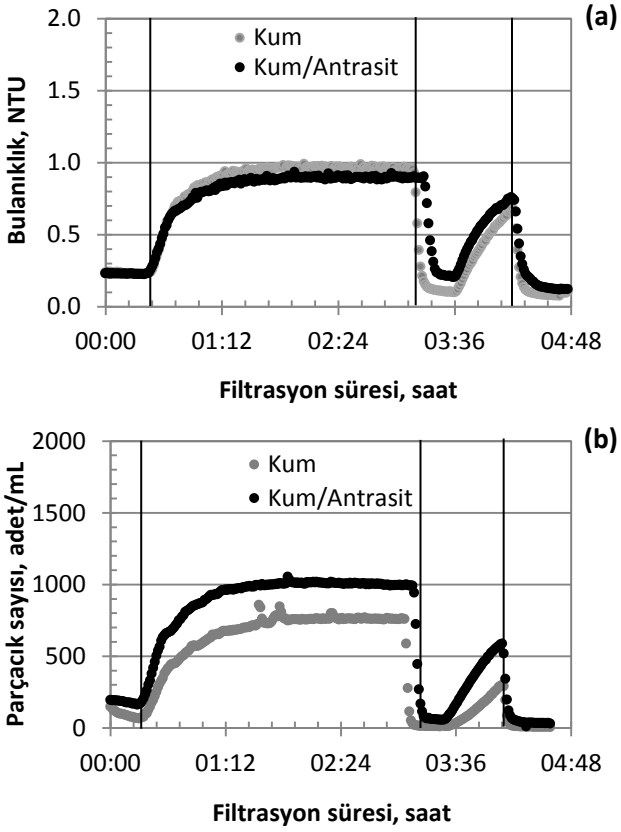
Sentetik su ile yürütülen deneyler

Yumaklaştırma ile yüzeysel suların ön arıtımı, hızlı filtrasyonda etkili bir parçacık giderimi hedefleniyorsa gerekli bir adım olarak kabul edilir. Ancak oksidasyon, çöktürme ve filtrasyon adımları ile demir ve mangan gideriminde genellikle herhangi bir yumaklaştırıcı eklenmesi gerekmez (AWWA, 2011). Herhangi bir yumaklaştırıcı ilave edilmeden yürütülen hızlı filtrasyonun bir diğer uygulaması, yavaş kum filtreleri öncesinde ön arıtma kademesi olarak kullanılmasıdır (AWWA, 2011). Bu uygulama "kaba filtrasyon" olarak adlandırılır. Bu çalışmada yürütülen deneylerin çoğunluğunda bir yumaklaştırıcı kullanılmış olmakla birlikte, yumaklaştırıcı ilavesiz deneylere ait sonuçlar da sunulmuştur.

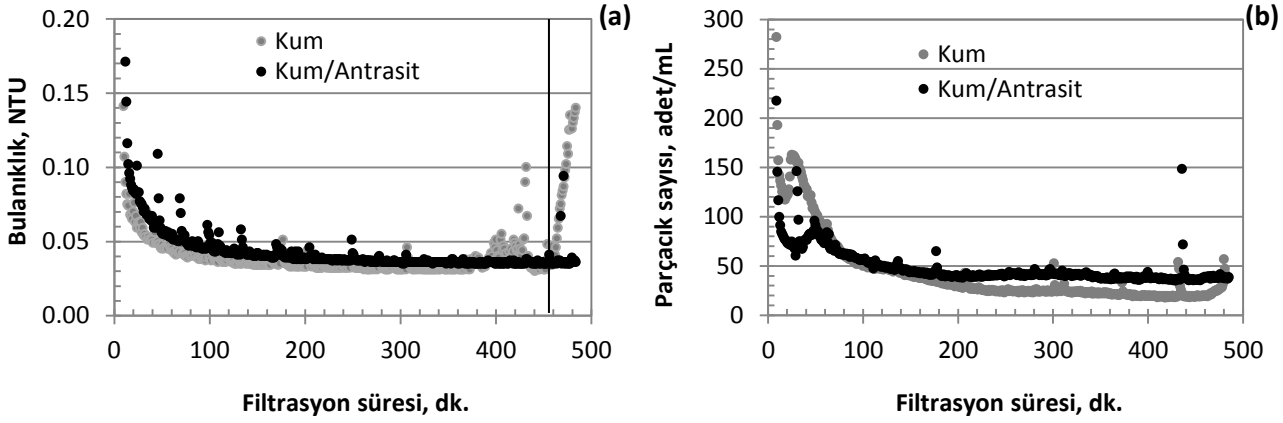
Kil çözeltisinin şebeke suyuna ilavesi ile hazırlanan 2.1 NTU giriş bulanıklığındaki sentetik suyun kullanıldığı filtrasyon deneyi sırasında elde edilen filtre çıkış suyu kalitesi değişim grafikleri Şekil 2a ve 2b'de görülmektedir. Söz konusu çalışmada her iki filtreye ilk 30 dk. süre ile şebeke suyu verilmesinin ardından kil çözeltisi ile giriş suyunu 2.1 NTU değerine yükseltme aşamasına geçilmiştir. Bu değişim, bulanıklık ve parçacık sayısı değerlerinde net olarak gözlenmektedir. Yumaklaştırıcı ilavesinin olmadığı bu kademede, tek tabakalı ve çift tabakalı filtrelerin çıkış suyu kalitesi bulanıklık parametresi cinsinden birbirine yakın değerlerde iken (Şekil 2a), parçacık sayıları (Şekil 2b) arasında fark gözlenmektedir.

Filtrasyon başlangıcından yaklaşık 180 dk. sonra her iki filtrenin de girişine 3 mg/L alum ilavesi yapılmıştır. Bu ilavenin etkisi filtre çıkış suyu grafiklerinde çok net olarak gözlenmektedir. İlerleyen sürelerde yumaklaştırıcı ilavesinin tekrar kesikli olarak durdurulması ve başlatılması ile gözlenen bulanıklık ve parçacık sayısındaki önemli değişim, direkt filtrasyonda filtre öncesi boruya enjeksiyon metodu ile verilen düşük dozdaki yumaklaştırıcının etkisini vurgulamaktadır. Benzer şekilde hazırlanan 4-4.3 NTU giriş bulanıklığındaki sentetik su ile yürütülen 5 ve 10 mg/L alum ilaveli deneylerde her iki filtrenin de yakın çıkış suyu kalitesi verdiği, ancak filtrasyon sırasında oluşan yük kayıplarının kum/antrasit filtrede, kum filtreye göre önemli oranda daha az olduğu gözlenmiştir. 5 mg/L alum kullanılarak yürütülen çalışmada kum ve kum/antrasit filtreye ait yük kaybı artış hızları sırasıyla 7.6 ve 3.0 cm/saat olarak kaydedilirken bu değerler 10 m/L alum kullanılan çalışmada sırasıyla 10.3 ve 3.8 cm/saat'dir. 10 mg/L alum ilaveli deneye ait çıkış suyu kalitesi değişimi Şekil 3'te sunulmuştur.

Deney sonlarına doğru kum filtrenin yumaklaştırıcı ilave noktasındaki pompada arıza sorunu yaşanmış ve yumaklaştırıcı ilavesi durmuştur. Bu durum sonucu çıkış suyu kalitesinde ani kötüleşme net olarak görülmektedir (Şekil 3a).



Şekil 2. Sentetik su ile yürütülen filtrasyon deneyi çıkış suyu kalitesi değişimi



Şekil 3. Sentetik su ile yürütülen filtrasyon deneyi çıkış suyu kalitesi değişimi (10 mg/L alum ilaveli)

İkitelli Arıtma Tesisi giriş suyu ile yürütülen deneyler

İkitelli arıtma tesisi girişinden alınan hamsu kullanılarak yürütülen deneylere ait sonuçlardan bazıları Şekil 4-6'da verilmiştir. Hamsuyun giriş bulanıklık değeri 5.3 NTU olarak ölçülmüştür. Şekil 4a, kum ve kum/antrasit filtrelere ait çıkış suyu bulanıklık ve parçacık sayılarını göstermektedir. Bu deneylerde kullanılan yumaklaştırıcı, 10 mg/L alumdur. Benzer değerlendirme Şekil 4b'de aynı hamsu ve her iki tip filtre için yapılmış olup yumaklaştırıcı dozajı 5 mg/L demir klorürdür. Şekil 5 ise söz konusu deneylerde her iki filtrede oluşan toplam yük kaybı değişimini göstermektedir. Bu şekilde görüldüğü gibi tek tabakalı kum filtre yerine çift tabakalı kum/antrasit filtre kullanımı (aynı süre içerisinde kaydedilen) toplam yük kaybı oluşumunu azaltmaktadır. 5 mg/L demir klorür ilavesi ile yürütülen deneyde filtrasyon süresine bağlı olarak her iki filtre için filtre derinliklerine bağlı olarak yük kaybı gelişimi Şekil 6'da görülmektedir.

Her iki filtre için de yumaklaştırıcı kullanımı durumunda filtre çıkış bulanıklık ve parçacık sayısı değerleri düşüş göstermiştir. Çıkış suyu kalitesi, artan yumaklaştırıcı dozları ile artmıştır. Yumaklaştırıcı kullanılan deneylerde önemli bir bulgu, kum/antrasit filtrenin de sadece silika kumu içeren tek tabakalı filtre ile benzer bulanıklık ve parçacık sayısı değerlerini vermesi ve bunun yanı sıra daha düşük yük kayıpları oluşumu ile daha uzun filtrasyon sürelerinde çalışılmasına imkan tanıması olmuştur. Filtrasyon deneylerinden elde edilen neticeler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Yumaklaştırıcı kullanılmayan deneylerde, kum filtre, çift tabakalı kum/antrasit filtreye göre daha iyi çıkış suyu kalitesi (bulanıklık ve parçacık sayımı) vermiştir. Yumaklaştırıcı kullanılmadığı zaman, yük kaybı artış hızı iki filtrede de çok düşük olmakta, toplam yük kaybı temiz yatak yük kayıplarına yakın kalmaktadır.
2. Yumaklaştırıcı kullanıldığı zaman her iki tip filtrenin de çıkış suyu kalitesi çok önemli oranda iyileşmektedir.
3. Yeterli miktarda yumaklaştırıcı kullanılırsa, iki tip filtrenin çıkış suyu kalitesi arasındaki fark ortadan kalkmaktadır. Başka bir ifade ile, çift tabakalı kum/antrasit filtre kullanımı ile de tek tabakalı kum filtre ile elde edilen kalitede su elde edilebilmektedir.
4. Temiz filtre yük kayıpları çift tabakalı filtrede, tek tabakalı kum filtresine göre takriben % 50 daha düşüktür. Yumaklaştırıcı kullanılsın veya kullanılmasın, çift tabakalı filtrede yük kaybı artışı bütün deneylerde daha az olmuştur. Kum filtredeki toplam yük kaybı artışı (kirlilik birikiminden ve tıkanmadan meydana gelen yük artışı), çift tabakalı filtrede olandan iki misli veya daha fazla olmuştur. Kum/antrasit kullanan filtrede sadece kum kullanan filtreye göre yük kaybı daha azdır. Bu durum üç sebeple meydana gelmektedir:

(i) Antrasit kumdan daha iri olduğu için gözeneklerin mutlak boyutları kum tabakanınkine göre daha büyüktür. Ayrıca antrasitin gözenekliği kumunkinden daha yüksektir. Bu iki faktör, antrasit içeren filtrede temiz yatak yük kaybının daha düşük olmasına sebep olmaktadır.

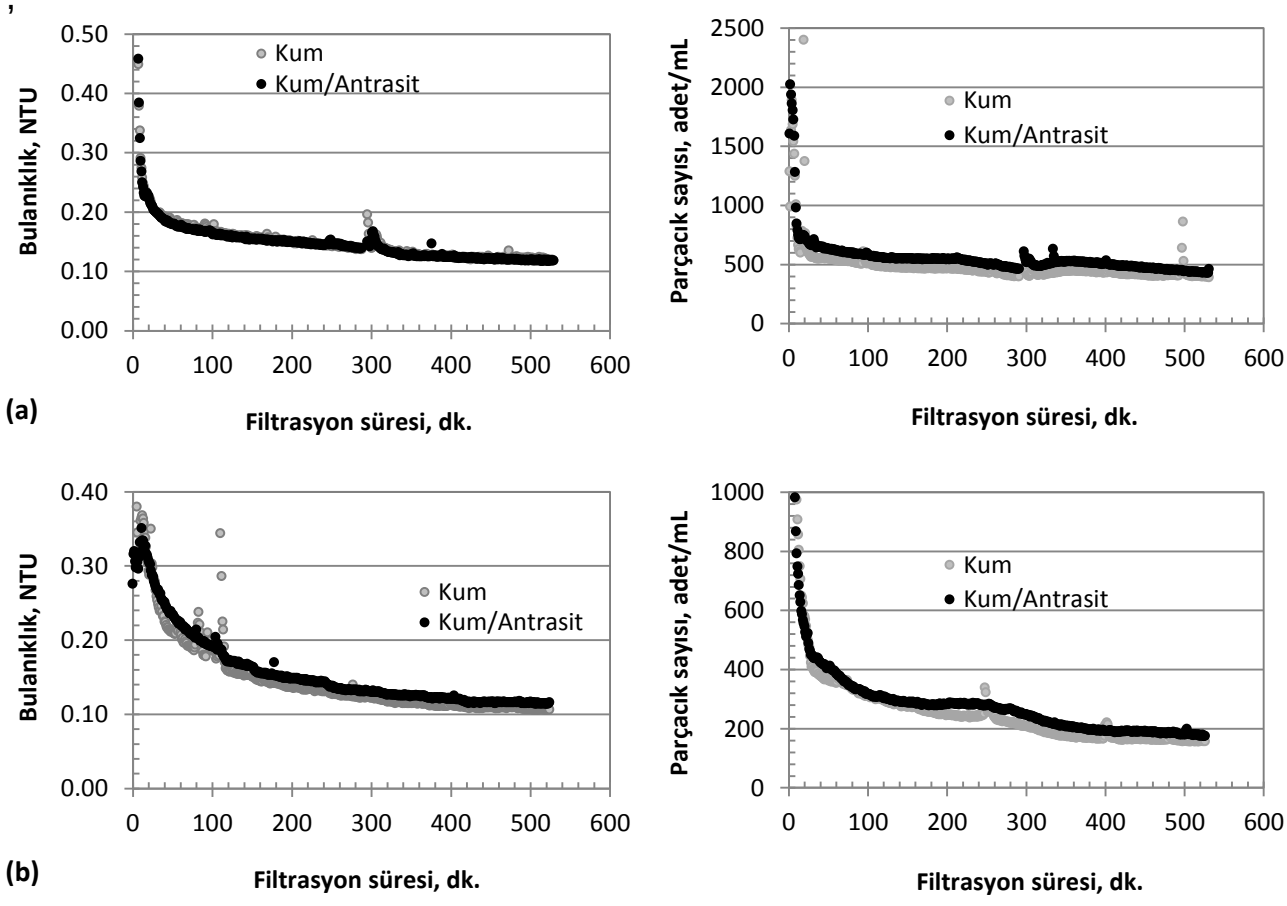
(ii) Kum filtrede kirlilik birikimi üst yüzeye yakın olmakta ve yük kaybı daha hızla artmaktadır. Kum filtresinde yük kaybı yatağın en üstündeki yaklaşık 20 cm'lik tabakada meydana gelmektedir.

(iii) Yük kaybı artış hızı çift tabakalı filtrede daha düşüktür. Antrasit içeren çift tabakalı filtrede kirlilik birikimi ve yük kaybı, filtre derinliğine daha iyi yayılmaktadır.

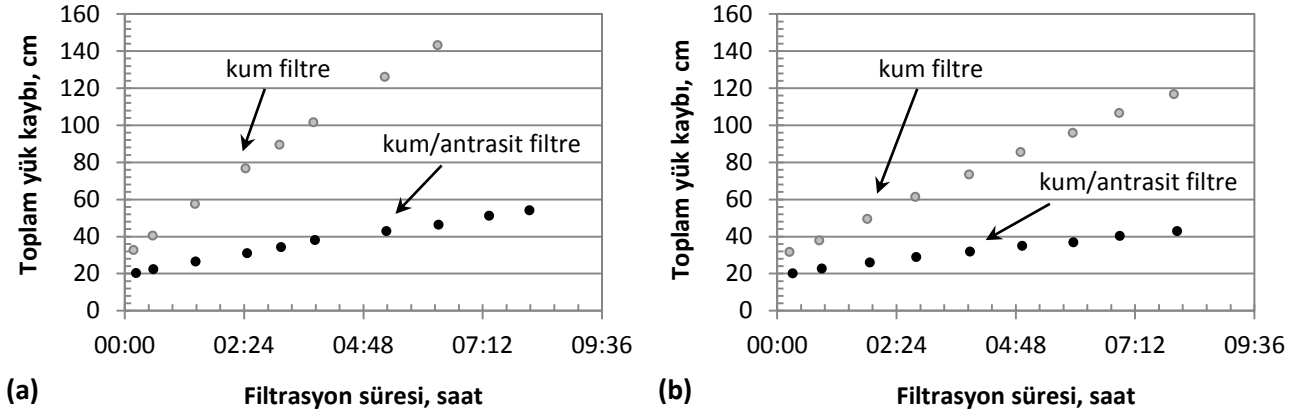
Örneğin, 4 NTU ham su bulanıklığı, 5 mg/L alum ve 11.5 m/saat filtrasyon hızı ile yapılan deneylerde, çift tabakalı filtrede yük kaybı artış hızı yaklaşık 2.8 cm/saat olmuş iken, kum filtresindeki artış hızı 6.8 cm/saat olarak gözlenmiştir.

Bu bulgular, bu çalışmada seçilmiş olan özelliklerdeki çift tabakalı kum/antrasit filtrenin, etkin bir yumaklaştırıcı kullanıldığı takdirde, tek tabakalı kum filtre kadar kaliteli su üretebildiğini göstermektedir. Çift tabakalı filtrenin en önemli avantajı, hem temiz yatak yük kayıplarının hem de filtrelerin kirlenmesinden dolayı meydana gelen yük kaybı artışlarının, kum filtreye göre çok daha az olmasıdır. Çift tabakalı filtre kullanımı ile daha düşük yük kayıpları oluşmasının faydaları şunlardır: (i) Daha uzun süreli filtrasyon (daha seyrek geri yıkama ve daha az geri yıkama suyu kullanımı), (ii) Daha yüksek miktarda kirlilik tutma kapasitesi ve daha bulanık suların direkt filtrasyonla arıtılabilirliği.

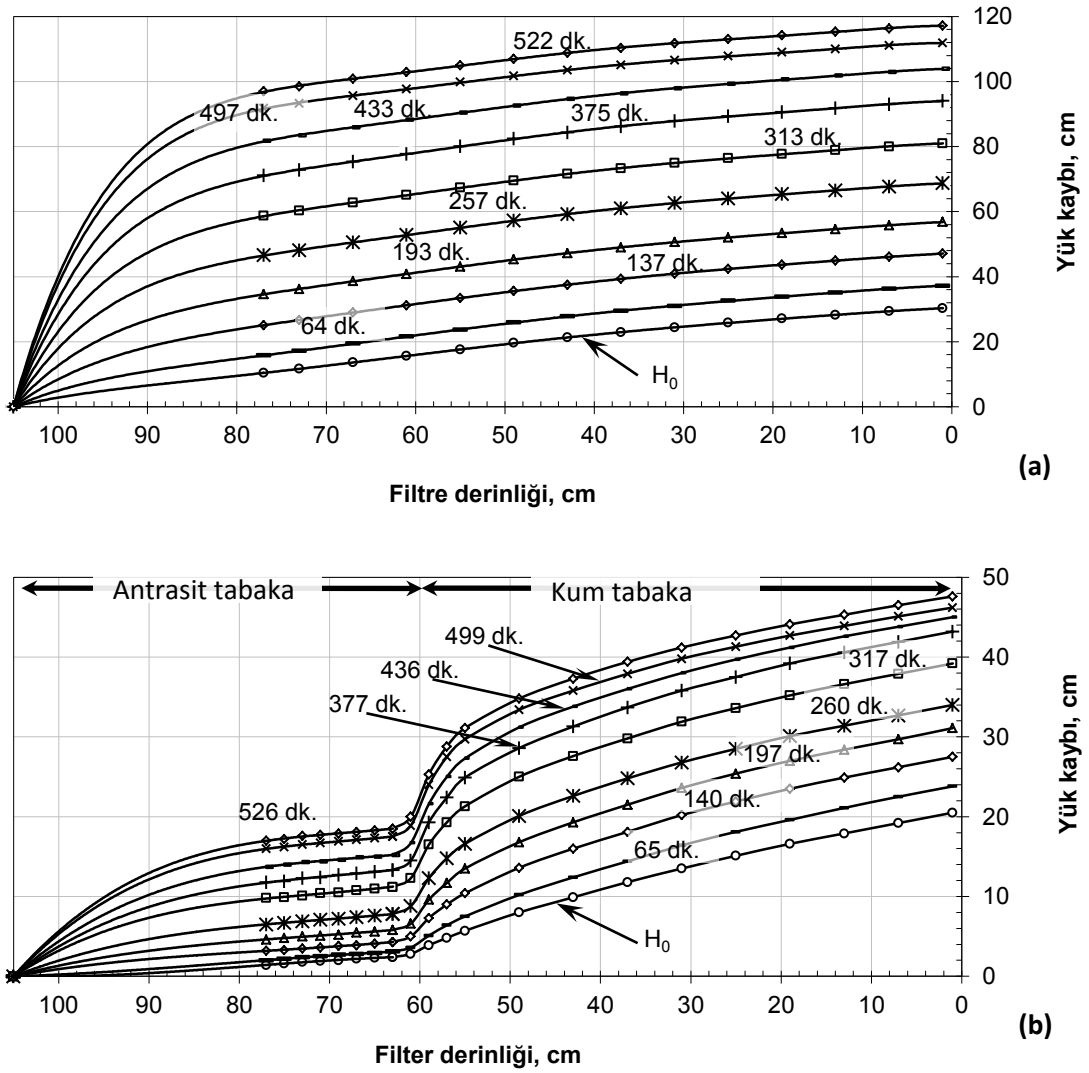
,



Şekil 4. Filtre çıkış suyu bulanıklık ve parçacık sayısı değişimi (İkitelli Arıtma Tesisi giriş suyu, a) 10 mg/L alum b) 5 mg/L demir klorür)



Şekil 5. Yük kaybı değişimi
(İkitelli Arıtma Tesisi giriş suyu, a) 10 mg/L alum b) 5 mg/L demir klorür)



Şekil 6. Filtre derinliği boyunca yük kaybı gelişimi
(İkitelli Arıtma Tesisi giriş suyu, a) kum filtre b) kum/antrasit filtre)

Sonuçlar

Kum ve antrasit malzemeden oluşan çift tabakalı filtre performansı, sadece silika kumu içeren tek tabakalı filtre performansı ile karşılaştırılmıştır. Bu amaçla yürütülen filtrasyon deneylerinde sentetik olarak hazırlanan su ve İkitelli içme suyu arıtma tesisi girişinden temin edilen hamsu kullanılmıştır. Filtrasyon öncesinde yumaklaştırıcı ilavesi olmadan gerçekleştirilen deneyler yanı sıra, 3 farklı alum ve 2 farklı demir klorür dozajında çalışmalar yapılmıştır.

Her koşulda ve sentetik su ya da hamsu ile, kum-antrasit filtrede oluşan başlangıç yük kayıpları (temiz yatak yük kayıpları) ve filtrasyon yük kayıpları (filtrenin tıkanması sonucu oluşan yük kayıpları), tek tabakalı kum filtredeki değerlerden düşük olmuştur. Uygun dozajda yumaklaştırıcı kullanımı ile, her iki filtrenin çıkış suyu kalitesi yaklaşık olarak eşdeğer kalitede olmuş, dolayısıyla kum/antrasit çift tabakalı filtre aynı kalitede suyu daha uzun filtrasyon süreleri boyunca sağlamıştır.

Türkiye'deki arıtma tesislerinde yaygın olarak kullanılmakta olan tek tabakalı kum filtre havuzlarının boyut, drenaj ve nozıl sistemleri gibi bileşenlerinin aynen korunarak, silika kumunun belirli miktarının antrasit malzeme ile değiştirilmesi suretiyle çift tabakalı filtrelere dönüştürülmesi pilot ölçekli deneyler vasıtası ile incelenmiştir. Seçilen malzeme boyutları ve derinlikleri ile kum/antrasit filtre çıkış suyu kalitesi ve oluşan yük kayıpları, kum filtrede elde edilen neticelerle karşılaştırılmış, her iki filtrenin performansları sunulmuştur. Sonuçlar, Türkiye şartlarına uygun çift tabakalı filtrelerin tasarımı ve değerlendirilmesinde yol gösterici niteliktedir.

Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından 101M435 no'lu proje çerçevesinde desteklenmiştir.

Kaynaklar

AWWA, (2011). *Water quality and treatment, a handbook of community water supplies*, 6th Ed., McGraw-Hill, New York, Chapter 8.

Agbanobi, R.O., (1999). Using granulated wood charcoal as a filter medium, *Journal of Environmental Quality*, **28**, 3, 1038-1040.

Elliot, R.W., (2001). Evaluation of the use of crushed recycled glass as a filter medium: Part 1, *Water Engineering and Management*, **148**, 7, 13-18.

Aksoğan, S., Baştürk, A., Yüksel, E., Akgiray, Ö., (2003). The use of crushed shells of apricot stones as the upper layer in dual media filters, *Water Science and Technology*, **48**, 11-12, 497-503.

Evans, G., Dennis, P., Cousins, M., Campbell, R., (2002). Use of recycled crushed glass as a filtration medium in municipal potable water treatment plants, *Water Science and Technology: Water Supply*, **2**, 5-6, 9-16.

Kawamura, S., (1991). *Integrated design and operation of water treatment facilities*, 2nd Ed., John Wiley & Sons, New York.

MWH, Inc., (2005). *Water treatment: Principles and design*, 2nd Ed., John Wiley & Sons, NJ.

Rutledge, S.O., Gagnon, G.A., (2002). Assessment of crushed-recycled glass as filter media for small-scale water treatment applications, *Journal of Environmental Engineering Science*, **1**, 5, 349-358.

Soyer, E., Akgiray, Ö., Eldem, N.Ö., Saatçı, A., (2010). Crushed recycled glass as a filter medium and comparison with silica sand, *Clean – Soil, Air, Water*, **38**, 10, 927-935.

Uluatam, S.S., (1991). Assessing perlite as a sand substitute in filtration, *Journal of American Water Works Association*, **83**, 6, 70-71.