

Fe (II) konsantrasyonunun filtre yük kaybı ve çıkış suyu kalitesine etkisi

Mehmet ÇAKMAKCI*, Cumali KINACI

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Bu çalışmanın amacı sulardaki Fe(II) konsantrasyonunun filtre yük kaybı ve çıkış suyu kalitesine etkisini deneysel olarak incelemektir. Çalışma laboratuvar ölçekli iç çapı 30 mm ve yüksekliği 1000 mm olan pleksiglassdan imal edilmiş silindirik filtre kolonları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kolonlara 0.50-0.59 mm çapları arasında ve 40 cm yüksekliğinde silisli kum doldurulmuştur. Çalışmada musluk suyu, dört farklı Fe (II) konsantrasyonu (0.5, 1.0, 2.5, 5.0 mg/L) ve iki farklı yükleme hızı (5.6, 11.20 m³/m².saat) kullanılmıştır. Ham suyun alkalinite değeri, ani pH değişimlerine karşı 150 mg/L CaCO₃ değerine ayarlanmıştır. Alkalinite ayarlamasında sodyum karbonat ve pH düşürmede karbondioksit kullanılmıştır. Filtre çıkış suyunda su kalitesini temsilen bulanıklık değeri ve filtrenin demir giderim verimini belirlemek için çıkış suyunda toplam demir(TFe) ölçülmüştür. Filtrede oluşan yük kayıpları ve filtre yatağı boyunca yük kaybı değişimi incelenmiştir. Sonuç olarak, 2.5 ve 5.0 mg/L gibi yüksek TFe konsantrasyonlarında yük kaybının 0.5 ve 1.0 mg/L'ye göre çok daha hızlı meydana geldiği ve tıkanmanın tüm filtre yatağı boyunca değil yoğun bir şekilde filtrenin üst kısmında olduğu, 0.5 ve 1.0 mg/L gibi düşük TFe konsantrasyonlarının yük kaybı oluşumunu çok az etkilediği, filtre çıkışında TFe'nin standart değerinin (0.2 mg/L) altında kalması açısından 2.5 ve 5.0 mg/L TFe konsantrasyonlarında 5.60 m/saat ve daha düşük filtre hızlarının uygulanmasının uygun olacağı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Filtrasyon, demir (II) oksidasyonu, yük kaybı, demir giderimi.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Mehmet ÇAKMAKCI. cakmakci@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 67 85.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Programında tamamlanmış olan "Sulardaki Fe(II) konsantrasyonu ile filtre yük kayıpları arasındaki ilişkinin araştırılması" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 03.07.2006 tarihinde dergiye ulaşmış, 31.07.2006 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.03.2007 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Effect of Fe (II) concentration on filter headloss and effluent water quality

Extended abstract

The aim of this study is to determine the effect of Fe(II) concentration on filter headloss and effluent water quality. In the scope of the study, a plexiglas cylindrical columns having inner diameter of 30 mm and height of 1000 mm were employed in laboratory scale studies. These filter columns were filled with silica sands having 0.59 mm equivalent diameter, 2.64 g/cm³ density and shape factor of 0.80. It was ensured that the ratio between inner diameter of filter column and diameter of sand was greater than 50. Settling velocity of silica sand was calculated as 8.07 cm/s by column settling experiment results. The porosity of the sand was determined in the experimental study as 0.36.

Filter columns were fed by a 100 L-tank. The oxygen required for the oxidation process was provided by a fine bubble diffuser set on the bottom of the tank. In this study, tap water having 2.5-3.5 mg/L of total organic carbon, 9.5-11 mg/L of dissolved oxygen and temperature of 15-16 °C was used. Alkalinity value of 90-110 mg CaCO₃/L of tap water was adjusted to 150 mg CaCO₃/L with sodium carbonate (Na₂CO₃). Increased pH value was decreased to 7.0 injecting carbon dioxide. To ensure Fe(II) concentration, desired ferrous ammonium sulfate (FeSO₄(NH₄)₂SO₄·6H₂O) was added to water. Nitric acid (HNO₃) was used to preserve iron samples for metal analysis. Perkin Elmer 2100 DV Induced Coupled Plasma Optical Emission (ICP-OES) was used for iron measurement. Cations and anions of tap water were measured by using DIONEX ICS-1500 Ion Chromatograph (IC).

Experimental studies were carried out at four different Fe(II) concentrations (0.5, 1.0, 2.5 and 5.0 mg/L) and two different filter velocities (5.60 and 11.20 m/h). Turbidity and total iron concentration were measured at the influent and effluent of the filter. 0.81, 1.2, 7.0 and 15.0 NTU of turbidity in the filter influent were obtained by oxidation of Fe(II) in the feed tank. Turbidity in the filter effluent for 2.5 mg/L of iron concentration was increased for first 150 minutes and then decreased. It is thought that this was due to longer ripening period of the filter for 2.5 mg/L of iron concentration. On the other hand, it was observed that low filter velocities had to

be applied for high iron concentrations and turbidity removal efficiency was not changed importantly in the high filtration velocities in the course of time. Total iron concentrations in the filter effluent were apparently decreased by the increasing filtration period. Although filter headloss was increased linearly at all iron concentrations, it was apparently high for 5.0 mg/L of iron concentration according to other concentrations (0.5, 1.0 and 2.5 mg/L). Headloss changes among filter bed height were investigated and it was noted that headloss curves among filter bed were very different. While headloss curves among filter bed height were parabolic for low filter velocities, they were in the shape of two linear curves at 90 minutes and longer for high filter velocities. While headloss was decreasing to 35 cm deep from top of the filter bed linearly, it was suddenly changed its direction following more step linearly. It was observed that headloss was increased by elevated filter velocities.

The results obtained in this study can be summarized as follows:

In the case of 0.5 and 1.0 mg/L total iron concentrations and a porosity of 0.36, iron removal can be achieved by rapid sand filters (5-15 m/h) ensuring water quality standards described in TSS-266 (TSS-266, 1997)

In the higher total iron concentrations such as 2.5 and 5.0 mg/L, headloss occurrence was more rapid than for 0.5 and 1.0 mg/L and clogging happened in top layers of the filter rather than among all the filter height.

It was observed that low concentrations of total iron such as 0.5 and 1.0 mg/L did not affect filter headloss occurrence.

It was determined that filter velocities lower than 5.60 m/h were more appropriate for 2.5 and 5.0 mg/L total iron concentrations to ensure filter effluent quality and TSS-266 standard.

Turbidity removal efficiency was affected by Fe(II) concentration rather than filter velocities.

Maximum filter operation time was calculated according to net headloss occurrence rate, filter velocity and raw water iron concentration using experimental results. It was found that the ratio between velocities 11.20 and 5.60 m/s was 0.5 for maximum operating times.

Keywords: Filtration, ferrous oxidation, filter headloss, iron removal.

Giriş

Günümüzde dünyada 1.5-2.0 milyar insan içme su kaynağı olarak yeraltı sularını kullanmaktadır (Sampat, 2000). Yeryüzünde en çok bulunan dördüncü element olan demir daha çok yeraltı sularında problem teşkil etmektedir (Sharma, 2002a). Bununla birlikte, göllerde tabakalaşma olması, su kütlelerin bulunduğu alanlarda anoksik bölgelerin oluşması, çürümüş hayvansal ve bitkisel artıkların suya temasıyla yüzeysel sular da bünyesinde demir bulundurulabilmektedir. Örnek olarak, İstanbul'da Ömerli ve Alibeyköy Barajlarında tabakalaşma sonucu mevsimsel değişimlerin olduğu dönemlerde demir ve mangan problemi ile karşılaşılmaktadır. Belirli konsantrasyonlara kadar demirin suda bulunması insan sağlığı açısından bir problem teşkil etmemekle birlikte bu parametrenin estetik açıdan suda bulunması istenmemektedir.

Sharma vd. (1999), Sharma vd. (2001), Sharma vd. (2002a ve 2002b), Sallanko vd. (2004) tarafından iki değerlikli demirin adsorpsiyonla giderimi araştırılmıştır. Mouchet (1992), Thremblay (1997), Katsoyiannis ve Zouboulis (2004), Sharma vd. (2005), demirin biyolojik olarak giderimi üzerinde çalışmışlardır. Demirin oksidasyonunu müteakip kum filtresi ile giderim üzerinde Ghosh vd. (1967), Yu (1983), Carlson vd. (1997) tarafından çalışmalar yapılmıştır. Ancak bu çalışmalarda hangi porozite değerinde çalışıldığı ve porozitenin toplam demir (TFe) giderme verimi ve yük kaybına etkisi belirtilmemiştir.

Özellikle mevsimsel değişimler sonucu demir problemi yaşayan bölgelerde oksidasyonunu takiben kum filtreleri kullanılmaktadır. Bu filtrelerde genellikle demir gideriminde problemler yaşanmaktadır (Andersson ve Johansson, 2002).

İyon halinde olan iki değerlikli demir renksiz olup; bulanıklığa neden olmamaktadır. Fakat oksitlenerek üç değerlikli forma dönüşen demir, konsantrasyona bağlı olarak suya sarımsı-kahverengi koyu kırmızıya kadar renk verebilmektedir. Dolayısıyla oksitlenen demir, renk oluşumuna ve bulanıklığa neden olmakta ve ayrıca suyun tadını bozmaktadır.

Fe(II)'nin oksidasyonu için potasyum permanganat, klor, klor dioksit, ozon, hidrojen peroksit ve oksijen kullanılmaktadır. Carlson ve diğerleri (1997), Cleasby (1975) ile Ellis ve diğerleri (2000) yaptıkları çalışmalarda en büyük demir çapının oksijen ile oksidasyon neticesinde elde edildiğini ve demir partikülleri çapının 0.2 µm ile 50.0 µm arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Weiner ve Matthews (2003)'e göre partikül çapı 1.0 µm ve üzerinde ise filtrasyonda etkili giderim mekanizması süzme, çökeltme ve tutulmadır. Sonuç olarak hava ile oksidasyon neticesinde oluşan partiküller Weiner ve Matthews (2003) tarafından belirtilen mekanizmalarla giderilmektedir.

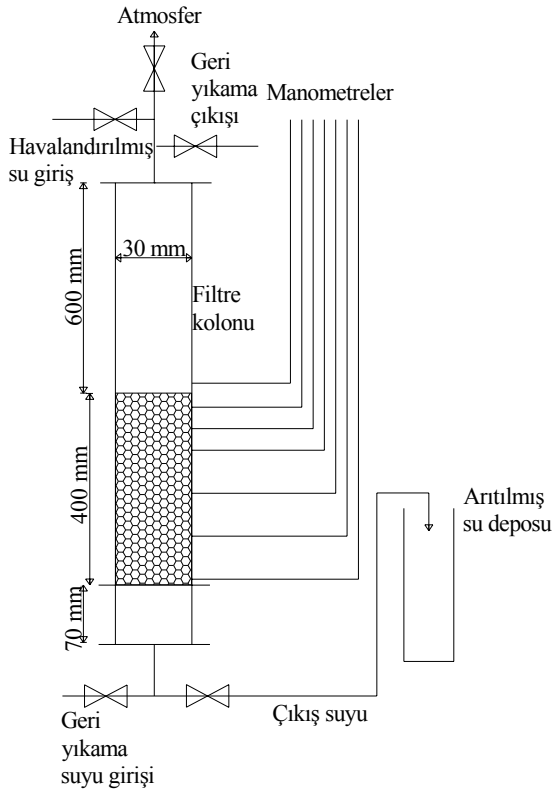
İki ya da daha fazla demir partikülünün bir araya gelmesiyle oluşan demir floklarının doğal olarak çapları 1.0 µm'den büyüktür (Weiner ve Matthews, 2003). Demir konsantrasyonu arttıkça oksidasyon neticesinde doğal olarak oluşan demir partikül miktarı da artmaktadır. Partikül miktarının artması yumak artışına sebep olmaktadır. Oksidasyon havalandırma vasıtasıyla yapıldığından oluşan demir yumakları sarsıntı ve ani pH değişimlerine karşı dayanıklı olup ve ayrıca geniş bir alana yayılan bu yumakların filtreden geçip gitme ihtimali azdır (Lytle vd. 2004). Böylece oluşan demir yumakları kırılmadan havalandırma ünitesinden filtre yüzeyine kadar ulaşabilmektedir. Demir konsantrasyonunun azalması partikül ve yumak miktarının düşmesine sebep olmaktadır. Bu durum birim debi başına filtre yüzeyine ulaşan demir yumak ve partikül miktarı azalmasına yol açmaktadır.

Bu çalışmada, literatürde üzerinde yeterince durulmayan ve günümüzde su şebekelerinde hâlâ bir problem olmaya devam eden Fe(II)'nin oksidasyonu müteakip kum filtresi ile giderilmesinin yük kaybına ve çıkış suyu kalitesine etkisi araştırılmıştır. Özellikle yüksek demir konsantrasyonlarında TS-266'daki (TS-266, 1997) 0.2 mg/L'lik demir standardının sağlanma koşulları ve yük kaybı oluşum hızı üzerinde durulmuştur. Ayrıca farklı koşullar için filtre yatağı boyunca yük kaybı eğrileri belirlenmiştir.

Materyal ve yöntem

Deneysel sistemi

Deneysel çalışmada 30 mm iç çaplı pleksiglasdan yapılmış 1000 mm yüksekliğinde filtre kolonları kullanılmıştır. Filtre malzemesinin yüksekliği 400 mm'dir. Deneysel çalışmada kullanılan düzenek Şekil 1'de görülmektedir. Filtre malzemesi olarak İSKİ Kağıthane İçme Suyu Arıtma Tesisi'nden temin edilen 0.5931 mm eşdeğer çapa sahip silisli kum kullanılmıştır. Kolon çapı (D) ile kullanılan kum çapı (d) arasındaki oran $D/d \geq 50$ şartını sağlayacak şekilde seçilmiştir ($300/0.5931 \geq 50$). ((Darby ve Lawler 1990; Lang vd. 1993; Veerapaneni, 1999).



Şekil 1. Deneysel çalışma düzeni

Su kalitesi

Musluk suyu 100 litrelik silindirik depolama tankına doldurulmuştur. Deneysel çalışmada kullanılan musluk suyunun karakteri Tablo 1'de verilmiştir. Bu sudaki alkalinitenin 150 mg CaCO₃/L değerine yükseltilmesi için hamsuya alkalinite eşdeğeri kadar Na₂CO₃ ilave edilmiştir. Alkalinite ayarlaması pH'ın yükselmesine neden olduğundan

oksidasyona başlamak için pH 7 değerine gelene dek ortama karbondioksit verilmiştir.

Tablo 1. Musluk suyunun karakteri

Parametre	Konsantrasyonu
Sodyum (mg/L)	21.24
NH ₄ (mg N/L)	0.32
Potasyum (mg/L)	3.25
Magnezyum (mg/L)	8.00
Kalsiyum (mg/L)	54.42
Florür (mg/L)	0.09
Klorür (mg/L)	26.23
Nitrat (mg N/L)	0.46
Sülfat (mg/L)	35.32
Alkalinite (mg CaCO ₃ /L)	90-110
TOK (mg/L)	2.5-3.5
pH	7.2-7.4
ÇO (mg/L)	9.5-11.0
Sıcaklık (°C)	15.0-16.0

Kimyasallar

Demir (II) kaynağı olarak Tablo 1'de karakteri verilen musluk suyuna demir amonyum sülfat hegzahidrat (FeSO₄(NH₄)₂SO₄.6H₂O) ilave edilmiştir. Tanktan ve filtre çıkışlarından alınan demir ihtiva eden numunelerde mevcut partiküllerin çözünmesi için nitrik asit, alkalinite ayarı için ise sodyum karbonat, pH'ı 7'ye düşürmek için de karbondioksit kullanılmıştır. Demir (II) oksidasyonu için oksijen, difüzörle havalandırma suretiyle sağlanmıştır.

Analizler

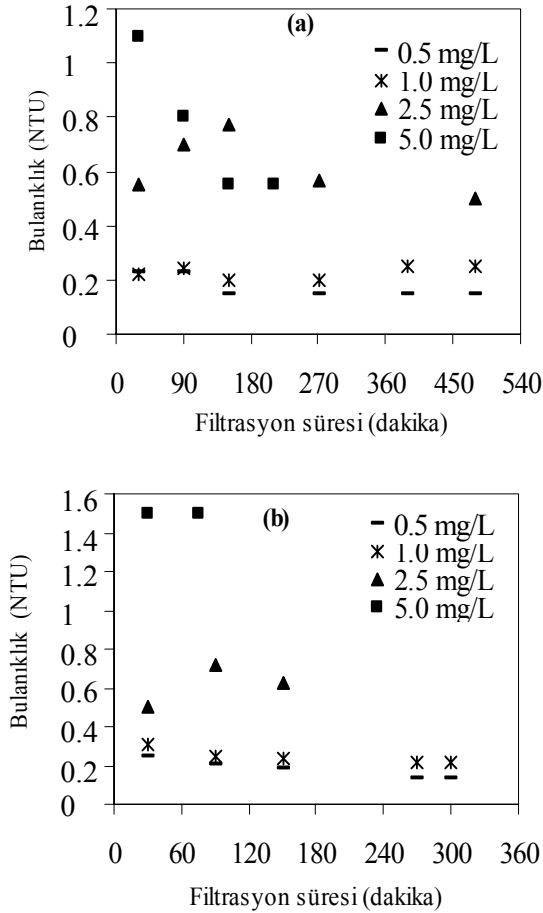
Toplam demir konsantrasyonu İTÜ Kimya Metalurji Fakültesi'nde bulunan Perkin Elmer marka 2100 DV Induced Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer (ICP-OES) kullanılarak ölçülmüştür. Anyon ve katyon ölçümü İTÜ Çevre Mühendisliği Laboratuvarı'nda bulunan DIONEX ICS-1500 marka iyon kromatografi ile gerçekleştirilmiştir. Yük kaybı belirlenmesinde 0.6 mm iç çaplı cam piyezometre boruları kullanılmıştır. Bu-

lanıklık Hach 2100 A türbidimetre, pH ve sıcaklık WTW-315i pHmetre ile ölçülmüştür.

Deneysel çalışma sonuçları

Bulanıklık

Su kalitesi ve yük kaybı filtre performansı belirlemede kullanılan iki parametredir. Bu çalışmada su kalitesini belirleme açısından bulanıklık ve demir seçilmiştir. Fe(II) ilavesi ve oksidasyonu müteakip filtre besleme suyunda 0.5, 1.0, 2.5 ve 5.0 mg/L toplam demir konsantrasyonlarında bulanıklık 0.81, 1.2, 7.0 ve 15.0 NTU olarak ölçülmüştür. 5.60 ve 11.20 m/saat filtre hızlarında bulanıklık değerlerinin zamana göre değişimi Şekil 2’de gösterilmiştir.



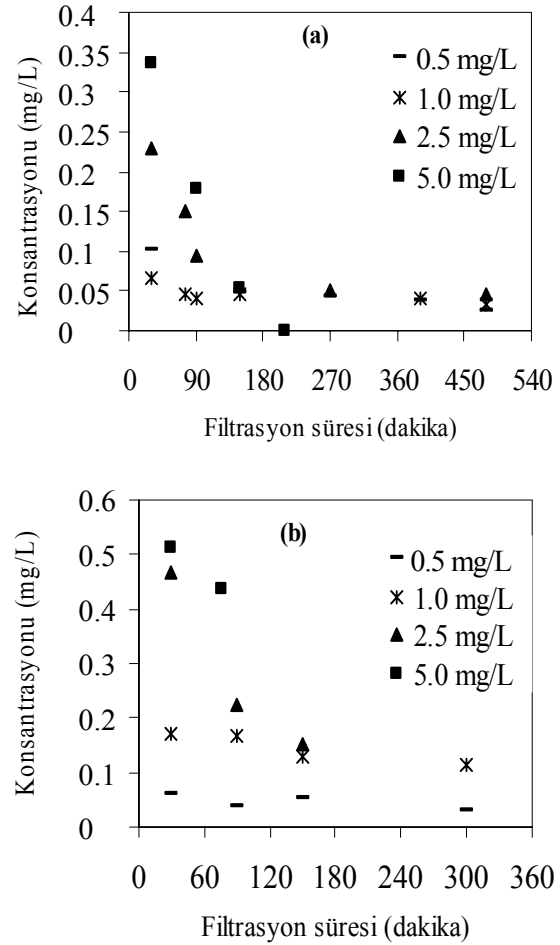
Şekil 2. Filtre çıkışında ölçülen bulanıklık değerleri, (a) 5.60 m/saat filtre hızı, (b) 11.20 m/saat filtre hızı

Filtre çıkışındaki bulanıklık değeri diğer konsantrasyonlar için zamana bağlı olarak azalırken 2.5

mg/L demir konsantrasyonu için ilk 150 dakika da artmış ve daha sonra azalmıştır. Bunun 2.5 mg/L için filtre olgunlaşma süresinin uzun olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Diğer taraftan yürütülen bu deneysel çalışmada yüksek konsantrasyonlar için düşük filtre hızları uygulanması gerektiği, yüksek filtre hızlarında zamanla bulanıklık azalması için verimin önemli ölçüde değişmediği belirlenmiştir.

Filtre çıkışı toplam demir konsantrasyonu

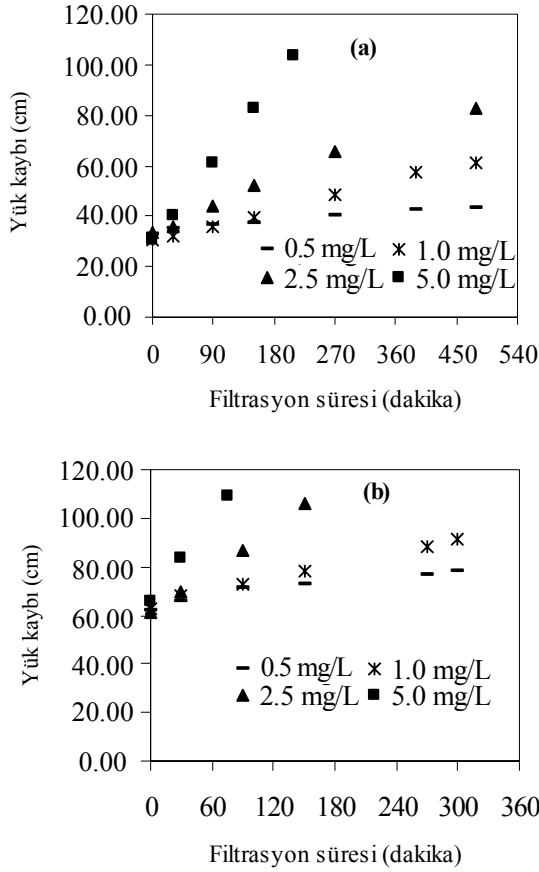
Filtre besleme suyunda 0.5, 1.0, 2.5 ve 5.0 mg/L toplam demir varlığında 0.36 porozite değerine sahip kum filtre çıkışında ölçülen toplam demir konsantrasyonları Şekil 3’de gösterilmiştir. Özellikle düşük filtre hızında çıkış TFe konsantrasyonlarının belirgin bir şekilde azalması dikkat çekmektedir.



Şekil 3. Filtre çıkışında ölçülen toplam demir konsantrasyonu, (a) 5.60 m/saat filtre hızı, (b) 11.20 m/saat filtre hızı

Yük kaybı

Bulanıklık parametresi gibi yük kaybı da filtre performansını belirlemek üzere izlenen bir parametredir. 5.60 ve 11.20 m/saat filtre hızlarında, toplam demir konsantrasyonlarına göre oluşan yük kayıpları Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Filtre çıkışında ölçülen toplam demir konsantrasyonu, (a) 5.60 m/saat filtre hızı, (b) 11.20 m/saat filtre hızı

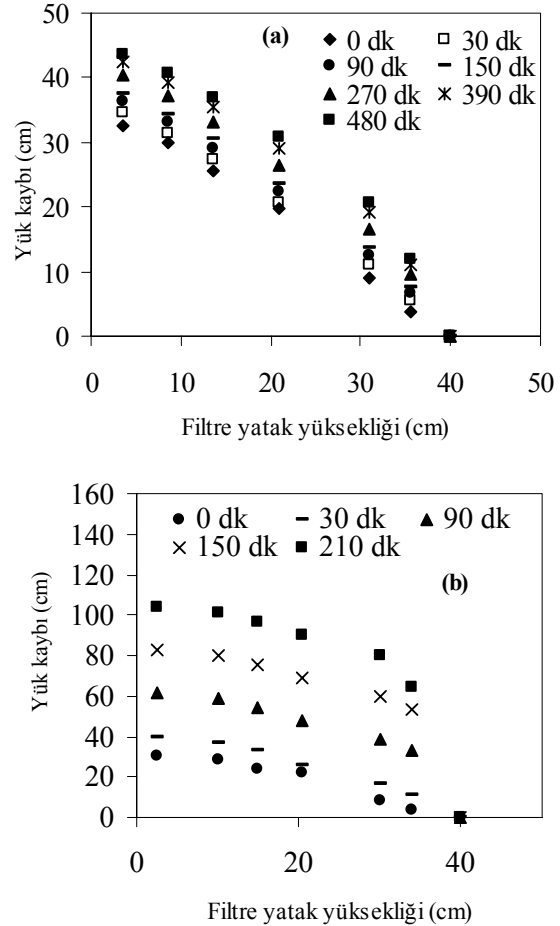
Şekil 4 incelendiğinde artan demir konsantrasyonlarında filtrede oluşan yük kayıplarında artış meydana geldiği sonucuna varılmaktadır. Diğer taraftan yük kaybının filtrasyon süresine göre doğrusal olarak değiştiği görülmektedir.

Filtre yatağı boyunca yük kaybı gelişimi

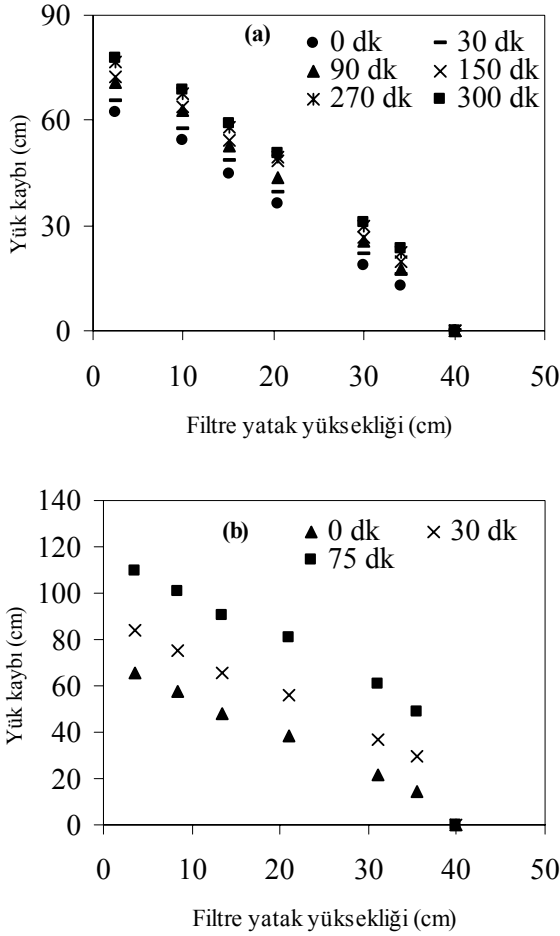
Kirleticilerin filtrede zamanla ne kadar ilerlediklerini filtre yatağında farklı noktalara yerleştirilen manometreler vasatıyla yük kaybı ölçerek belirlemek mümkündür. 0.5 mg/L ve 5.0 mg/L toplam

demir konsantrasyonlarında filtre yatağı boyunca yük kaybı gelişim eğrileri filtrasyon süresine bağlı olarak 5.6 m/saat ve 11.20 m/saat filtre hızları için sırasıyla Şekil 5 ve 6'da grafik olarak gösterilmektedir..

Yatak boyunca yük kaybı değişim eğrileri düşük filtre hızlarında içbükey parabolik iken yüksek filtre hızlarında 90'ncı dakika ve daha yüksek filtrasyon süreleri için iki lineer kısımdan oluşmaktadır. Yüksek filtre hızlarında filtre yatağının üst kısmından 35 cm derinliğe kadar yük kaybı doğrusal olarak azalırken 35 cm civarında aniden kırılmakta ve daha dik bir doğrusal çizgiyi izleyerek filtreyi terk etmektedir. Yüksek filtre hızlarında ise filtrasyon süresi artıkça yük kaybı daha fazla artmaktadır.



Şekil 5. Filtre yatağı boyunca yük kaybı geliştirme eğrileri (a) 5.60 m/saat filtre hızı ve 0.5 mg Fe(II)/L, (b) 5.60 m/saat filtre hızı ve 5.0 mg Fe(II)/L



Şekil 6. Filtre yatağı boyunca yük kaybı geliştirme eğrileri (a) 11.20 m/saat filtre hızı ve 0.5 mg Fe(II)/L, (b) 11.20 m/saat filtre hızı ve 5.0 mg Fe(II)/L

Değerlendirme

0.5 ve 1.0 mg/L toplam demir konsantrasyonlarında düşük ve yüksek filtre hızlarında filtre çıkış bulanıklık değerleri arasında önemli bir fark bulunmamaktadır (Şekil 2). Özellikle 5.0 mg/L konsantrasyonu 5.60 m/saat filtre hızında bulanıklık zamanla azalırken, 11.20 m/saat filtre hızında 75 dakika süresince bulanıklık değerinde herhangi bir değişiklik olmamıştır. Her iki filtre hızında da 2.5 ve 5.0 mg/L konsantrasyonlarında bulanıklık giderme verimi % 90'nın üzerinde iken 0.5 ve 1.0 mg/L konsantrasyonlarında %70 ve üzerinde olmuştur. Dolayısıyla verimde filtre hızından çok hamsu Fe(II) konsantrasyonunun etkili olduğunu söylemek mümkündür.

Filtre çıkışında ölçülen toplam demir konsantrasyonları her iki filtre hızında da zamanla azalmıştır (Şekil 3). Filtrede demirin tutulması filtre boşluk oranını düşürmekte ve böylece çalışma süresi ilerledikçe filtreden geçen demir miktarında düşüş olmaktadır. Her iki filtre hızında filtre besleme suyunda bulunan toplam demir konsantrasyonu 2.5 ve 5.0 mg/L iken, ilk 30 dakika içerisinde filtreden geçen toplam demir konsantrasyonu içme suyu standardı olan 0.2 mg/L'den (TSS266) yüksektir. 5.60 m/saat filtre hızında ilk 30 dakikadan sonra tüm konsantrasyonlarda filtre çıkışı toplam demir konsantrasyonu 0.2 mg/L'nin altına düşmüştür. 0.5 ve 1.0 mg/L konsantrasyonlarında ise her iki filtre hızında da tüm çalışma süresince çıkıştaki toplam demir konsantrasyonu 0.2 mg/L'nin altında kalmıştır.

Toplam demir giderme verimleri tüm demir konsantrasyonlarında % 80'nin üstündedir. 5.0 mg/L toplam demir konsantrasyonunda ve 5.60 m/saat filtre hızında yürütülen deneyin 210'uncu dakikasında filtre çıkışında ölçülen toplam demir konsantrasyonu 0.2µg/L'den daha düşüktür.

Bu sonuçlara göre 0.5 ve 1.0 mg/L toplam demir konsantrasyonu ve 0.36 porozite olması durumunda hızlı kum filtreleri (5-15 m/saat) ile standartları sağlayacak şekilde Fe (II) giderilebilmektedir.

Temiz filtre yük kaybı 5.60 m/saat filtre hızında 30-32 cm iken 11.20 m/saat filtre hızında 60-66 cm değerine yükselmiştir. Net yük kaybı, herhangi bir andaki yük kaybı ile temiz filtre yük kaybı farkının alınması ile bulunmaktadır. Net yük kaybının çalışma süresine bölünmesi ile net yük kaybı oluşum hızı bulunmaktadır. Böylece filtre hızı ve demir konsantrasyonuna bağlı olarak zamanla filtrede oluşacak yük kaybı miktarını bulmak mümkün olmaktadır.

5.60 filtre hızı ve 5.0 mg/L toplam demir konsantrasyonunda net yük kaybı 210'uncu dakikada 72.90 cm olmuştur. 0.5, 1.0 ve 2.5 mg/L toplam demir konsantrasyonlarında ise 480 dakika çalışma sonucunda net yük kaybı sırasıyla 10.90, 30.80 ve 49.60 cm olarak ölçülmüştür. 5.60 m/saat filtre

hızında 0.5, 1.0, 2.5 ve 5.0 mg/L toplam demir konsantrasyonları için net yük kaybı oluşum hızları sırasıyla 0.023, 0.064, 0.103 ve 0.347 cm/dakika olarak hesaplanmıştır. 11.20 filtre hızında 5.0 mg/L'de 75 dakika sonunda 43,40 cm ve 2.5 mg/L'de 150 dakika sonunda 45,50 cm net yük kaybı oluşmuştur. 0.5 ve 1.0 mg/L toplam demir konsantrasyonlarında da 300 dakika sonunda sırasıyla 15,80 ve 28,70 cm net yük kaybı meydana gelmiştir. 11.20 m/saat için 0.5, 1.0, 2.5 ve 5.0 mg/L toplam demir konsantrasyonları için net yük kaybı oluşum hızları sırasıyla 0.053, 0.096, 0.303 ve 0.579 cm/dakika olarak belirlenmiştir. Verilen bu sonuçlar birbiri ile karşılaştırıldığında 11.20 m/saat filtre hızında net yük kaybı oluşum hızının 5.60 m/saat'e göre yaklaşık iki kat daha yüksek olduğu söylenebilmektedir.

Net yük kaybı oluşum hızlarından hareketle filtrelerin maksimum yük kaybına ulaşması için gerekli süre hesaplanabilmektedir. Maksimum yük kaybı olarak American Water Works Association'ın kabul ettiği 2.4 m değeri kabul edilerek ilgili konsantrasyonlarda maksimum çalışma süreleri hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 2'de özetlenmiştir.

Tablo 2. Net yük kaybı oluşum hızlarına göre maksimum çalışma süreleri

	Demir Kons. mg/L	Temiz Filtre Yük Kaybı cm	Maksimum Çalışma Süresi saat
5.60 m/saat	0.5	32.7	150.20
	1.0	30.30	54.60
	2.5	33.20	33.46
	5.0	30.8	10.04
11.20 m/saat	0.5	62.10	55.94
	1.0	62.50	30.84
	2.5	60.90	9.85
	5.0	65.90	5.01

5.60 ile 11.20 m/saat hızlarında üretilecek temiz su miktarları hızların oranı nispetinde, yani 1/2 olmuştur. 5.0 mg/L TFe konsantrasyonunda maksimum çalışma süreleri 5.60 m/saat hızında 10.04 saat ve 11.20 m/saat hızında ise 5.01 saat olarak hesaplanmıştır. Maksimum çalışma süreleri de hızlar oranında (1/2) mertebesindedir. Yani iki filtre hızında da aynı miktar su arıtılabilmektedir.

Su kaliteleri açısından değerlendirildiğinde 5.60 m/saat hızında ilk 30 dakikadan sonra filtre çıkışı TFe konsantrasyonu içme suyu standardının ve bulanıklık değeri ise 1 NTU'nun altına düşmektedir. 11.20 saat hızında 75 dakika sonunda TFe konsantrasyonu 0.2 mg/L'nin ve bulanıklık değeri de 1.0 NTU'nun üzerinde kalmaktadır. Görüldüğü gibi su kalitesi açısından yüksek hamsu Fe(II) konsantrasyonu için düşük filtre hızı uygulanması gerekmektedir.

5.60 m/saat filtre hızı ve 5.0 mg/L TFe konsantrasyonunda ilk 30 dakika sonunda filtre çıkışında TFe konsantrasyonunun 0.2 mg/L'den yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 3). Bu hızda bile ilk 30 dakika içerisinde TS-266 standardı sağlanamamıştır. Bununla birlikte, yük kaybı oluşumunun yavaş ve 30 dakikadan sonra TFe konsantrasyonunun 0.2 mg/L'den düşük olduğu belirlenmiştir.

Şekil 5 a-b'ye göre filtre yatağı boyunca çok belirgin bir yük kaybı oluşumu söz konusu değildir. Buna mukabil Şekil 6 a-b'de filtre yatağı boyunca yük kaybının çok belirgin bir şekilde oluştuğu görülmektedir.

Şekil 5'ten 5.0 mg/L TFe konsantrasyonunda ve 11.20 m/saat filtre hızında demir yumaklarının, 0.36 porozite değerinde bile tüm yatak boyunca ilerlemediği ve filtrenin üst kısmında yoğun bir birikimin olduğu görülmektedir.

Sonuçlar

Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- 0.5 ve 1.0 mg/L TFe konsantrasyonu ve 0.36 porozite olması durumunda demir giderimi hızlı kum filtreleri (5-15 m/saat) ile TSS-266 (TS-266, 1997) standartlarını sağlayacak şekilde gerçekleştirilebilmektedir.
- 2.5 ve 5.0 mg/L gibi yüksek TFe konsantrasyonlarında yük kaybı oluşumu 0.5 ve 1.0 mg/L'ye göre daha yüksektir ve tıkanma tüm filtre yatağı boyunca değil yoğun bir şekilde filtrenin üst kısmında meydana gelmektedir.
- 0.5 ve 1.0 gibi düşük TFe konsantrasyonlarının yük kaybı oluşumuna çok belirgin bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

- Filtre çıkış suyu kalitesi ve TSS-266 Toplam Demir standardının sağlanması açısından 2.5 ve 5.0 mg/L TFe konsantrasyonlarında 5.60 m/saat'ten daha düşük filtre hızlarının kullanılmasının uygun olacağı belirlenmiştir.
- Bulanıklık giderim veriminde filtre hızından çok Fe(II) konsantrasyonu etkilidir.
- Deney sonuçları kullanılarak önce net yük kaybı oluşum hızları, daha sonra filtre hızı ve hamsu demir konsantrasyonlarına göre maksimum filtre çalışma süresi hesaplanmıştır. 5.60 m/saat ve 11.20 m/saat hızları için hem maksimum çalışma süreleri hem de su üretim miktarları arasındaki oran $\frac{1}{2}$ olarak bulunmuştur.

Teşekkür

Bu çalışma İTÜ BAP 30734 No.lu projesi ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Andersson, J., ve Johansson, H., (2002). Iron removal from groundwater in Rakai District, Uganda, *Master's Thesis*, Division of Sanitary Engineering, Lulea University of Technology, Uganda.
- Carlson, K.H., Knocke, W.R., Gertig, K.R., (1997). Optimizing treatment through Fe and Mn fractionation, *Journal of American Water Works Association*, **89**, 4, 162-171.
- Cleasby J.L., (1975). Iron and -manganese removal - Case study, *Journal of American Water Works Association*, **67**, 3, 147-149.
- Darby J.L., ve lawler, D.F., (1990). Ripening in depth filtration - effect of particle-size on removal and head loss, *Environmental Science & Technology*, **24**, 7, 1069-1079.
- Ellis, D., Bouchard, C., Lantagne, G., (2000). Removal of iron and manganese from groundwater by oxidation and microfiltration, *Desalination*, **130**, 3, 255-264.
- Ghosh, M.M., O'Connar, J.T. ve Engelbrecht, R.S., (1967). Removal of iron from ground water by filtration, *Journal of American Water Works Association*, **59**, 7, 878-896.
- Katsoyiannis, I. A., ve Zouboulis, A. I., (2004). Biological treatment of Mn(II) and Fe(II) containing groundwater: kinetic considerations and product characterization, *Water Research*, **38**, 1922-1932.
- Lang, J.S., Giron, J.J., Hansen, A.T., Trussell, R.R., ve Hodges, E., (1993). Investigating filter performance as a function of the ratio of filter size to

- media size, *Journal of American Water Works Association*, **85**, 10, 122-130.
- Lytle, D.A., Magnuson, M.L., Snoeyink, V.L., (2004). Effect of oxidants on the properties of Fe(III) particles and suspensions formed from the oxidation of Fe(II), *Journal of American Water Works Association*, **96**, 8, 112-124.
- Mouchet, P., (1992). From conventional to biological removal of iron and manganese in France, *Journal of American Water Works Association*, **84**, 4, 158-167.
- Sallanko, J., Lakso, E., Lehmikangas, M., (2004). Effect of adsorption on filtration results of groundwater, *Water Science and Technology: Water Supply*, **4**, 5-6, 157-163.
- Sampat, P., (2000). Groundwater shock, *World Watch*, **January/February**, 10-22.
- Sharma, S.K., Greetham, M.R. ve Schippers, J.C., (1999). Adsorption of iron(II) onto filter media, *Journal of Water Supply: Research and Technology - Aqua*, **48**, 3, 84-91.
- Sharma, S.K., Kappelhof, J., Groenendijk, M. and Schippers, J.C., (2001). Comparison of physico-chemical iron removal mechanisms in filters, *Journal of Water Supply: Research and Technology - Aqua*, **50**, 4, 187-198.
- Sharma, S.K., Petrusovski, B. ve Schippers, J.C., (2002a). Characterisation of coated sand from iron removal plants, *Water Science and Technology: Water Supply*, **2**, 2, 247-257.
- Sharma, S.K., Petrusovski, B., Jonoski, A., Ijpelaar, G.F., ve Schippers, J.C., (2002b). Decision support system for optimisation of iron removal from groundwater, *Water Science and Technology: Water Supply*, **2**, 5-6, 257-263.
- Sharma SK, Petrusovski B, Schippers J.C., (2005). Biological iron removal from groundwater: a review, *Journal of Water Supply: Research and Technology - Aqua*, **54**, 4, 239-247.
- Tremblay, M.V., (1997). Biological and physico-chemical removal of iron from potable waters. *Graduate Thesis*, McGill University, Montreal, Canada.
- TS-266, (1997). Sular-İçme ve kullanma suları, *Türk Standartları Enstitüsü*, ICS 13.060.20
- Veerapaneni, S., (1996). Formation and morphology of colloidal deposits in porous media, *PhD Thesis*, Rice University, Houston-Texas-ABD.
- Weiner, R.F ve Matthews, R., (2003). *Environmental engineering*, Fourth Edition Butterworth-Heinemann Elsevier Science (USA).
- Yu, M.J., (1983). Design parameters for filter capacity, *PhD Thesis*, Civil Engineering Department, Sanitary Engineering Major of IOWA State University, USA.