



BİYOLOJİK FİLTRE REAKTÖRLER (BFR) İÇİN DOLGU MALZEMESİ ALTERNATİFLERİ

*(SUPPORT MATERIAL ALTERNATIVES FOR
BIOLOGICAL FILTER REACTORS (BFRs))*

Deniz DÖLGEN*, M. Necdet ALPASLAN*

ÖZET/ABSTRACT

Biyolojik Filtre Reaktörler (BFR) klasik filtre sistemlerinin modifiye edilerek atıksu arıtımı amacıyla kullanıldığı yeni teknolojilerdir. Günümüzde farklı isimler altında geliştirilen biyolojik filtreleri birbirinden ayıran özelliklerin başında filtrelerde kullanılan dolgu malzemeleri gelmektedir. Sunulan makalede “pellet” olarak isimlendirilen, su yumuşatma sistemlerinden atık olarak çıkan bir malzemenin BFR’de dolgu malzemesi olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Bu kapsamda, Türk Standartları Enstitüsü’nün (TSE) ilgili şartnamelerinde açıklanan analiz yöntemleri kullanılarak malzemenin tane boyutu dağılımı, özgül ağırlık, birim hacim ağırlık, porozite, özgül yüzey alanı gibi fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Laboratuvarında kurulu bir filtre kolonundan yararlanılarak malzemenin akışkanlaşma özellikleri (minimum akışkanlaşma hızı) araştırılmıştır. Ayrıca, yukarı akışlı akışkan yatak olarak işlenen bir reaktöre “pellet” doldurularak malzemenin atıksu arıtımı amacıyla kullanılabilirliği incelenmiş; organik madde giderimi esas alınarak arıtma verimi değerlendirilmiştir.

Biological Filter Reactors (BFRs) are modified conventional filter systems which were used for wastewater treatment in recent years. One of the most substantial differences among the BFRs, which are currently developed with various trade names, is the nature of support material. In this study, a new support material called as “pellet” which is the waste material of water softening process was investigated as filter media in the BFRs. The major physical characteristics of pellet such as particle size distribution, specific weight, porosity, specific surface area were determined by using standard test methods set by Turkish Institute of Standards (TSE). Fluidisation characteristics such as minimum fluidisation velocity of pellets were also studied in a deep bed filter column. In addition pellet material was used in an up-flow fluidised bed filter reactor and the performance of the reactor in terms of COD removal was evaluated.

ANAHTAR KELİMELER/KEYWORDS

Dolgu malzemesi, Filtre malzemesi, Taşıyıcı malzeme, Biyolojik filtre, Akışkan yatak reaktörler, Filtre

Support material, Filter material, Carrier material, Biological filter, Fluidised bed reactors, Filter

1. GİRİŞ

Biyolojik Filtre Reaktörler (BFR) klasik arıtma süreçlerine oranla daha az yer kaplamaları, organik maddenin yanısıra besi maddesi (nütrient) giderebilmeleri gibi avantajları nedeniyle evsel ve endüstriyel atıksu arıtımında giderek artan sıklıkta kullanılmaya başlanan yeni teknolojilerdir (Dee vd., 1994; Jepsen ve Jansen, 1993). Son yıllarda özellikle, deşarj standartlarının sıkılaştırılması ve/veya yeni parametrelerin eklenmesi gibi koşullarda mevcut sistemin değişen standartlara uyum sağlayabilmesi ya da mevcut sistemlere kolaylıkla entegre edilebilmesi gibi özellikleri biyofilm teknolojisine olan ilgiyi arttırmıştır (Farrimond ve Upton, 1993; Fruhen vd., 1994). Bu anlayışla klasik filtre sistemleri, akım yönünün değiştirilmesi, akışkan veya sabit yatak olarak işletilmesi, doğal veya sentetik, iri yada küçük çaplı dolgu malzemesi kullanılması, havalandırma uygulanıp uygulanmaması gibi koşullara göre modifiye edilerek değişik ticari isimler altında piyasaya sunulmaktadır (Sekulov ve Oles, 1993; Lazarova ve Manem, 1994). Biocarbon, Biostyr, Biofor, Biopur, Bionet, Biolite, Linpor, Lizpor vb. filtre sistemleri değişik isimler altında çevre teknolojisi piyasasına sunulan, gerçekte birbirlerine oranla küçük modifikasyonların bulunduğu (farklı filtre malzemesi kullanmak, yukarı veya aşağı akışlı işletmek gibi) biyolojik filtre reaktörlerdir (Morper, 1994; Pujol vd., 1994; Rogalla vd., 1994; Meaney ve Strickland, 1994).

BFR'in tasarımında temelde filtrasyon hızı, oksijen miktarı (aerobik olması durumunda) gibi parametreler etkili olurken işletme aşamasında akım yönü, geri yıkama hızı ve frekansı gibi karakteristikler dikkate alınmaktadır. Öte yandan, filtrede kullanılan dolgu malzemesine ait özellikler, filtre malzemesi türü, parçacık çapı, şekli, özgül ağırlığı, boşluk miktarı vb., gerek tasarım gerekse de işletme aşamalarında önemli olmaktadır. Farklı isimler altında geliştirilen biyolojik filtreleri birbirinden ayıran özelliklerin başında filtrelerde kullanılan dolgu (destek) malzemeleri gelmektedir. BFR'de dolgu malzemesi olarak kum, kil, antrasit, cüruf gibi doğal özellikli maddeler kullanılabildiği gibi polipropilen, poliüretan gibi plastik özellikteki malzemeler de tercih edilebilmektedir (Tsubone vd., 1992; Quyang ve Liaw, 1994).

Çalışmada öncelikle geniş bir literatür araştırması yapıp, çok sayıda pilot ve tam ölçekli (full-scale) tesiste kullanılan filtre malzemeleri, arıtılmak istenen kirlilik parametresi dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Daha sonra su yumuşatma sistemlerinden atık olarak çıkan ve "pellet" olarak isimlendirilen bir malzemenin (kireçtaşı kaplı kum tanecikleri) BFR'de dolgu malzemesi olarak uygulanabilirliği incelenmiştir. Bu amaçla öncelikle TSE'nün ilgili şartnamelerinde (TS 130, TS 3526, TS 3529) açıklanan analiz yöntemleri ile malzemenin fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Ardından yaklaşık 1500 mm uzunluğunda ve 100 mm çapında pleksi glaz malzemedan üretilmiş silindirik bir filtre kolonu kullanılarak malzemenin akışkanlaşma özellikleri, akışkanlaşma için gerekli hızlar belirlenerek teorik olarak hesaplanan değerlerle karşılaştırılmıştır. Böylelikle pellet malzemesinin akışkan yatak olarak işletilen bir biyolojik filtre sisteminde kullanılması durumunda sağlanması gereken koşullar ortaya konmuştur. Son olarak pellet malzemesinin biyolojik filtrelerde arıtma amacıyla uygulanabilirliği incelenmiş; bu amaçla yine laboratuvar koşullarında kurulmuş olan paslanmaz çelik malzemedan üretilmiş bir reaktörden yararlanılmıştır. İçerisine pellet doldurulan bu filtre kolonu yukarı akışlı akışkan yatak olarak işletilmiş ve bu koşullarda organik madde giderimi esas alınarak arıtma verimi değerlendirilmiştir.

2. BİYOLOJİK FİLTRE REAKTÖRLERDE (BFR) KULLANILAN DOLGU MALZEMELERİ

Literatür ve mevcut uygulamalar incelendiğinde çevre teknolojisi alanında doğal (mineral kökenli) yada plastik esaslı pek çok malzemenin filtre materyali olarak kullanıldığı görülmektedir. Doğal kaynaklardan elde edilen yada sentetik olarak üretilen malzemeler ayrıca bazı özel işlemlerden geçirilerek (malzeme yüzeyinin aktifleştirilmesi gibi) istenilen amaca uygun hale getirilmekte, böylece malzemeye daha üstün özellikler kazandırılmaktadır. Günümüzde evsel ve endüstriyel atıksu arıtımı, içme suyu arıtımı olmak üzere geniş bir uygulama alanına sahip filtrelerde dolgu malzemesi olarak kil, şist, pişmiş kil, antrasit, cüruf, kum, bazalt, puzolan, kömür, aktif karbon gibi doğal malzemelerin yanısıra polystiren, polipropilen, poliüretan tanecikler, köpük esaslı malzemelerden oluşan sentetik ürünler de yaygın olarak kullanılmaktadır. Burada önemli olan filtrenin türüne ve arıtılmak istenen parametreye uygun özellikte malzemenin tercih edilmiş olmasıdır (Quyang ve Liaw, 1994; Kraft ve Seyfried, 1990). Sekoulov ve Görg, filtre malzemesini belirlerken dikkate alınmasını önerdikleri bazı kriterleri şu şekilde sıralamaktadırlar(Sekoulov ve Görg, 1995):

- i) Biyofilmin tutunması için malzemenin yüzeyi uygun olmalı,
- ii) Yüzey alanı geniş, dane çapı küçük olmalı,
- iii) Hidrolik yüklenme ve geri yıkama hızı uyumlu olmalı,
- iv) Malzeme sağlam ve dayanıklı olmalı, kolayca parçalanmamalı,
- v) Malzemenin porozitesi (içerisindeki boşluklarının oranı)yüksek olmalı.

Bu özellikler arasında özgül yüzey alanı ve boşluk oranına özellikle dikkat çekilmektedir. Çünkü yüzey alanının büyük olması malzeme yüzeyinde daha fazla biyokütle oluşması anlamına gelmekte, bu da tesisin boyutlarını küçültmektedir. Arıtma verimi de bu parametrelerle yakından ilgili olmaktadır. Örneğin azot giderim hızı malzemenin özgül yüzey alanına çok sıkı bağlı olmakta yapılan çalışmalara göre günde 1 kg amonyak giderimi için 614-1024 m² yüzey alanına gereksinim olduğu ifade edilmektedir (O'Neill ve Horan, 1993).

Optimum dane çapı arıtmanın amacına göre değişebilmektedir. Organik madde gideriminde 0.2-2.0 mm arasında değişen dane çaplarının seçilmesi öngörülmektedir. Uygun dane dağılımına sahip (granülometri), yüzeyi gözenekli malzemeler mikroorganizmaların bağlanabileceği yüzey alanını arttırmakta ve sonuçta arıtma verimi yüksek olmaktadır. Ancak, küçük boyutlu tanecikler bir yanda giderme verimini yükseltirken öte yandan filtrelerin tıkanma olasılığını da arttırmaktadır. Benzer biçimde, malzemenin şekli de filtre performansı üzerinde önemli olmakta; silindirik formdaki malzemeler mikroorganizmaların immobilizasyonunu kolaylaştırdıkları için daha avantajlı görülmektedir.

Malzeme seçiminde dikkate alınması gereken başka bir özellik ise malzemenin özgül ağırlığıdır (yoğunluk). Malzemenin özgül ağırlığı özellikle geri yıkama prosesini etkilemektedir. Yüksek yoğunluklu malzemelerin kullanıldığı filtre sistemlerinde geri yıkama işlemi malzeme kaybı olmadan gerçekleşebilmektedir (Quaye, 1987). Buna karşın, plastik, köpük gibi hafif malzemelerin kullanıldığı durumlarda geri yıkama işlemi sırasında malzemenin filtreden kaçması problemi yaşanmaktadır.

Biyolojik filtrelerde kullanılan dolgu malzemesi tanecikli yada kıvrımlı (oluklu) yapıda olabilmektedir. Tanecikli malzemeler geniş yüzey alanı ve yüksek boşluk oranı nedeniyle sabit ve akışkan yataklı filtrelerde özellikle nütrient giderimi söz konusu olduğu durumlarda tercih edilmektedir. Oluklu yada kıvrımlı formdaki plastik malzemelerin kullanımı ise son on yıllık süreçte nispeten daha azalmış durumdadır.

Çizelge 1 ve Çizelge 2'de çalışma kapsamında incelenen akışkan yatak ve sabit yatak olarak işletilen filtre sistemlerinde kullanılan dolgu (filtre) malzemeleri işletim şekli, uygulama alanı, reaktör tipi gibi özellikleri detaylandırılarak verilmektedir. İncelenen

tesislerde, sabit yataklı biyofiltrelerde şist, kil, cüruf, pişmiş kil, antrasit gibi doğal esaslı malzemeler ve granüler polystiren ya da oluklu plastik malzemeden üretilmiş sentetik dolgu malzemelerinin kullanıldığı görülmektedir. Özellikle denitrifikasyon için kullanılan sabit yataklı filtrelerde yüzeyi pürüzlü, uzun ömürlü, özgül yüzey alanı yüksek, etkili dane çapı yaklaşık 2-5 mm arasında değişen ve aynı zamanda düşük maliyetli malzemelerin tercihi söz konusu olmaktadır. Bunlar arasında cüruf, kil, polystiren pellet ve şist yüksek denitrifikasyon kabiliyeti göstermekte, bu nedenle de sıklıkla kullanım imkanı bulmaktadır.

Çizelge 1. Sabit yataklı biyolojik filtre sistemleri ve kullanılan filtre malzemeleri (Dölgen, 1998)

Proses	Havalandırma	Akım Yönü	Filtre Malzemesi	Uygulama Alanı
Biocarbon, (FS)	Hava	AA	Granüler genişletilmiş arduvaz	MW, TT, N
Biocarbon,(PS)	Hava	YA	Genleştirilmiş şist	IW,DW, MW, N
Biocarbon (PS)	Yok	AA	Genleştirilmiş slate	Post-DN Karbon giderimi
Biocarbon	hava/O ₂	AA	Biodamine	MW, IW,TT
Biofor	hava/O ₂	AA	Biolite	MW, IW,TT
Biofor, (FS)	hava	YA		IW
Biofor	hava	YA	Biolite-Genleştirilmiş kil	N, Karbon giderimi
Biofor-C Biofor-N Biofor-DN-P	hava	YA	Biolite	MW, İleri arıtma
Biostyr	hava	YA	Genleştirilmiş polystiren	N, Karbon giderimi
Biostyr, (PS)	hava	YA	Polystiren pellet	Son-DN, Karbon giderimi
Biostyr	hava	YA	Granüler polystiren	N, TT
Nitrazur	hava/O ₂	YA	Biolite	TT, DN,N
Flopac	hava	AA	Biolite-Genleştirilmiş şist	MW, IW, TT
Oxyazur	O ₂	AA	Genleştirilmiş şist	MW, IW, TT
BAF, (LS)	hava	YA	Genleştirilmiş kil	N, Karbon giderimi
BFR, (PS)	hava	AA	Curuf	N, TT
Biopur	hava	AA	Oluklu plastik	N, TT
Biopur-DN Biopur-N,(PS)	hava	AA	İnce oluklu plastik malzeme	MW, İleri arıtma
Fixed-bed (FS)	hava	AA	Liapor-Pişmiş kil	IW, İkincil arıtma
Fixed-bed-DN (FS)	yok	AA /YA	Filtraperl-Genleştirilmiş şist Aquacite-Antrasit	DN

Çizelge 2. Akışkan yataklı biyolojik filtre sistemleri ve kullanılan filtre malzemeleri (Dölgen, 1998)

Proses	Havalandırma	Akım Yönü	Filtre Malzemesi	Uygulama Alanı
BFBR, (FS)	hava	YA	Granüler aktif karbon	IW, MW, GW, TT
Draft-tube R. (LS)	hava	AA	Genleştirilmiş polypropilen	N, Karbon giderimi
FBR (LS)	yok	YA	Temiz kum	
AFBBR	yok	YA	Aktif karbon	MW
Oxitron	O ₂	YA	Kum/ Granüler aktif karbon	MW, IW, N giderimi
Rex prosesi	hava/ O ₂	YA	Kum	N giderimi
3-Fazlı FBR (PS)	hava	YA/ AA	Antrasit	N giderimi
3-Fazlı FBR (LS)	hava	YA/ AA	Kil/Plastik	IW, MW, TT
AFBBR (PS)	yok	YA	Kum	IW
FBR	hava	YA	Kum/Cam	
SBF (PS)	hava	AA	Bionet-Rijid pe.	MW, N giderimi
SBF (PS)	hava	AA	Linpor-köpük	MW, N giderimi
Biobed and Filtabead R., (FS)	hava/yok	AA	Granüler plastik	MW, TT
Dual-media dry bed filt.	hava	AA	Antrasit, Kömür, Basalt, Quartz	KM, Organik madde giderimi
Filtrazur	hava	YA	Genleştirilmiş polystiren	F
Biostyr	hava	YA	Genleştirilmiş polystiren	IW, MW, N-DN
Denipor	yok	YA/ AA	Genleştirilmiş polystiren	DN
Biofilter Reaktör	yok	AA	Genleştirilmiş polystiren	IW, MW, TT

YA: Yukarı Akış; AA: Aşağı Akış; FS: Tam Ölçekli; PS: Pilot Ölçek; LS: Laboratuvar Ölçeği; MW: Evsel Atıksu; IW: Endüstriyel Atıksu; GW: Yeraltı Suyu; DN: Denitrifikasyon; N: Nutrient; KM: Katı Madde; TT: Üçüncül Arıtma; F: Filtre

Akışkan yataklı reaktörlerde ise granüler aktif karbon, kömür, kum, antrasit, kil ve özel işlemlerden geçirilmiş polystiren türü malzemeler kullanılmaktadır. Önceleri katı madde giderimi amacıyla kullanılan kum, son yıllarda biyolojik arıtmayı takiben üçüncül arıtma kademesi olarak nutrient giderimi amacıyla özellikle küçük yerleşimler için önerilmektedir. Tipik arıtma verimleri BOİ için %90-95, azot için %30-45 ve fosfor için %40-60 arasında değişmektedir (Van Der Hoek vd., 1993). Organik madde ve nutrient giderimi için kullanılan kum malzemesinin etkili tane çapı 0.1-0.6 mm ve porozitesi 0.4-0.7 arasında değişmektedir.

Akışkan yataklı sistemlerde tercih edilen bir diğer malzeme de granüle aktif karbondur. Aktif karbon biyolojik gelişim için büyük yüzey alanı sağlaması nedeniyle organik madde, nütrient ve bazı toksik maddelerin giderimi amaçlarıyla kullanılmaktadır. Küçük boyutlu ancak büyük özgül yüzey alanına sahip tanecikler uygulamada tercih edilmektedir.

Yukarıda belirtildiği üzere filtre sistemlerinin verimini arttırmak amacıyla yapılan araştırmalar özellikle filtre malzemeleri üzerinde yoğunluk kazanmaktadır. Bu çalışma kapsamında da aynı gerekçeyle “pellet” olarak isimlendirilen bir malzemenin dolgu (filtre) malzemesi olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Pellet, kristalizasyon prensibine dayalı akışkan yatak su yumuşatma sistemlerinden atık olarak çıkan bir üründür. İnce kum taneleri (0.4-0.7 mm çapında) taşıyıcı malzeme olarak akışkan yataklı reaktöre verilmekte ve yumuşatma amacıyla sisteme dozlanan kirecin kum taneciklerinin üzerine yapışması sağlanmaktadır. Suyun hızı nedeniyle taneli malzeme yüzer halde tutulabilmekte ve hızlı bir reaksiyonla kalsiyum karbonat kristalizasyonunun çekirdek kumun yüzeyinde oluşması sağlanmaktadır. Sistemde kalsiyum karbonat taşıyıcı malzeme üzerinde depolanmakta, kum taneleri büyüyerek pelletlere dönüşmektedir. Bu arada daha büyük ve ağır olan pelletler reaktör tabanından toplanmakta ve buradan periyodik olarak alınarak daha küçük boyutlardaki çekirdek kumlarla değiştirilmektedir.

Son senelerde gelişen “zero discharge-sıfır deşarj” kavramı, makale yazarlarını pelletin filtre malzemesi olarak kullanılabilirliğini incelemek konusunda teşvik etmiştir. Bu anlayışla bir prosten atık olarak çıkan bir maddenin başka bir proste bir anlamda ham madde olarak kullanılmasıyla bir yanda daha az atık oluşumuna katkıda bulunurken diğer yandan da pelletin “çevre dostu” bir malzeme olarak değerlendirilmesi mümkün olabilecektir. Bu amaç doğrultusunda öncelikle malzemenin fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla deneysel çalışmalar yapılmış, ardından biyolojik filtrelerde organik madde giderimi amacıyla kullanımı incelenmiştir.

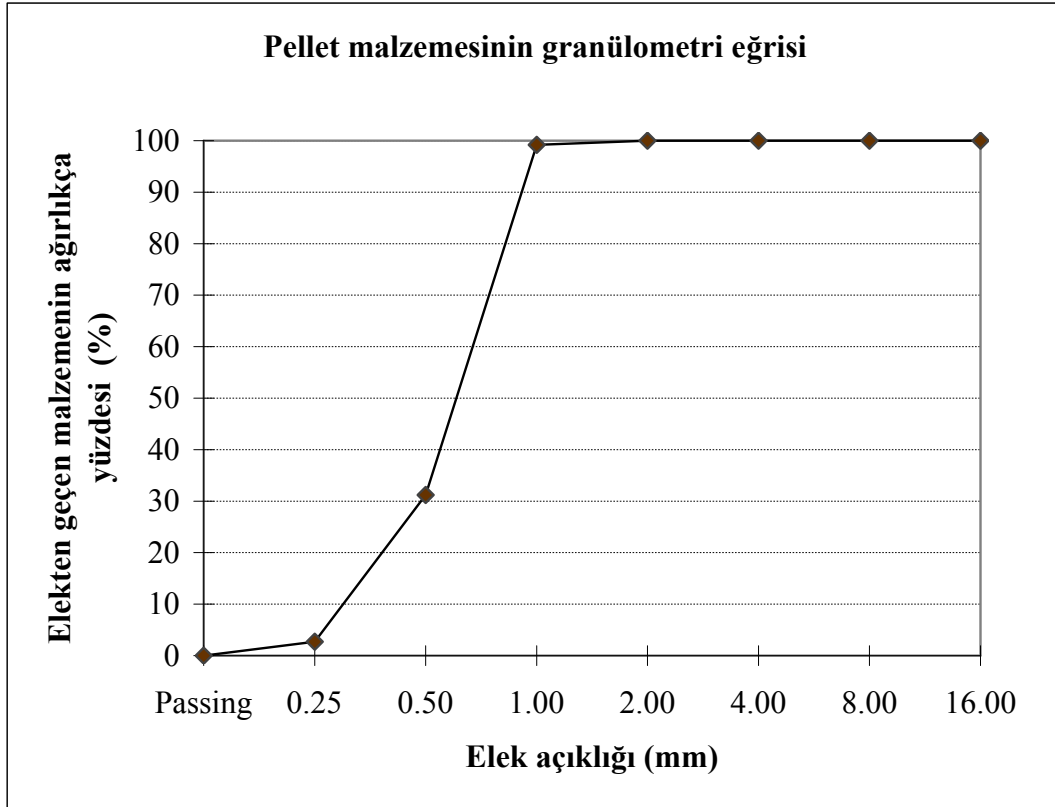
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Pellet'in Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

Deneysel çalışmaların ilk aşaması Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Laboratuvarında gerçekleştirilmiş olup bu kapsamda elek analizi, su emme deneyi ve birim hacim tayini yapılarak malzemenin (pellet) tane boyutu dağılımı, porozite (boşluk oranı), birim hacim ağırlık, özgül ağırlık gibi fiziksel özellikleri belirlenmiştir.

Malzeme granülometrisinin tayini amacıyla TS 130 (agrega karışımlarının elek analizi deneyi için metot) şartnamesinde açıklandığı üzere yaklaşık 1 kg malzeme alınarak çeyrekleme yöntemiyle analiz için gereken miktarda pellet ayrılmıştır. Fırında sabit tartıma gelinceye kadar kurutulan malzeme büyükten küçüğe doğru dizilmiş olan elek serilerinde sarsmak suretiyle eleme işleminden geçirilmiştir. Daha sonra elekler üzerinde ve en altta pota olarak tabir edilen tavada kalan malzeme miktarları tartılmıştır (TS, 1978). Elek analizi sonuçları, elekler üzerinden geçen malzemenin kümülatif ağırlık oranlarının karşıt gelen elek açıklığına göre çizilmesiyle değerlendirilmiş ve buna göre “granülometri bileşimi” ortaya konmuştur. Şekil 1’de grafik olarak granülometrik bileşimi gösterilen malzemenin yaklaşık %100’lük kısmının 1 mm açıklığa sahip elekten, % 5’lik kısmının ise 0.2 mm açıklıklı elekten geçtiği görülmektedir. Bu dağılıma göre malzemenin dane çapının 0.25-1.0 mm aralığında olduğu belirlenmiştir. Malzemenin incelik modülü elekler üzerinde kalan kümülatif malzeme yüzdelere toplamının yüze bölünmesiyle 2.67 olarak bulunmuştur.

Pellet taneciklerinin boşluk oranının (porozite) belirlenmesi için “su emme” deneyi yapılmıştır. Bu amaçla malzeme örneği (kuru malzeme) 24 saat süre su içerisinde bırakılmış, daha sonra sudan çıkartılarak yüzeyi kurutulmuştur (kuru-yüzey-doygun). Kuru-yüzey-doygun olarak tabir edilen malzemedan örnek alınarak etüvde kurutulmuş ve tamamen kuru hale getirilmiştir. Kuru yüzey doygun ve kuru malzemenin tartımları esas alınarak malzemenin porozitesi hesaplanmıştır. Ayrıca, yine standart yöntemler kullanılarak malzemenin özgül ağırlığı, birim-hacim ağırlığı belirlenmiş ve Çizelge 3’de toplu halde sunulmuştur (TS, 1980 a; TS, 1980 b).



Şekil 1. Pellet'in granülometri eğrisi

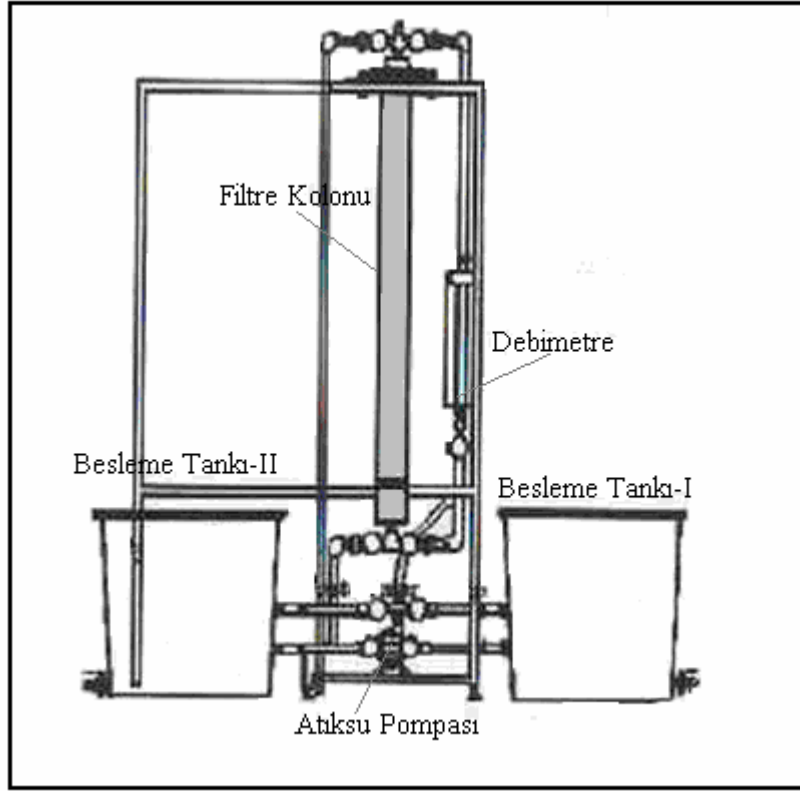
Çizelge 3. Pellet'in fiziksel özellikleri

Malzeme	Dane Çapı (mm)	İncelik Modülü	Porozite	Birim-Hacim Ağırlık (g/cm ³)	Özgül Ağırlık
Pellet	0.25-1.0	2.67	0.34	1,67	2.57

3.2. Pellet İçin Gereken Akışkanlaşma Hızlarının Belirlenmesi

Deneysel çalışmaların ikinci aşamasında malzemenin akışkanlaşması için gerekli hızların belirlenmesine yönelik araştırmalar yürütülmüştür. Bu amaçla Şekil 2’de görülen 100 mm çapında, yaklaşık 1350 mm yüksekliğinde pleksiglas malzemedan imal edilmiş klasik filtre kolonu kullanılmıştır. Sistem atıksu besleme tankı, atıksu besleme pompası, debimetre, debi kontrol düzeneği, boru ve vana gibi ekipmanlardan oluşmaktadır. Kolonun alt kısmında filtre malzemesinin kaçmasına engel olan, ancak suyun geçişine izin veren, gözenek büyüklüğü filtre malzemesinin dane çapından küçük olan ağ (net) şeklinde bir destek elemanı

kullanılmıştır. Ayrıca gerekli bağlantılar yapılarak filtre kolonunun alt kısmından hava pompası ile hava verilmesi sağlanmış ve rotametre ile hava debisi kontrol edilmiştir.



Şekil 2. Filtre kolonunun şematik gösterimi

İkinci kısım deneysel çalışmalar öncesinde öncelikle aşağıda verilen bağıntıdan yararlanılarak, pelletin akışkanlaşması için gerekli minimum teorik su hızı hesaplanmıştır. Bu bağıntı küçük tanecikler için ve Reynolds sayısının yirmiden küçük ($Re_p < 20$) olması halinde geçerli olup ve aşağıdaki bağıntıyla ifade edilmektedir.

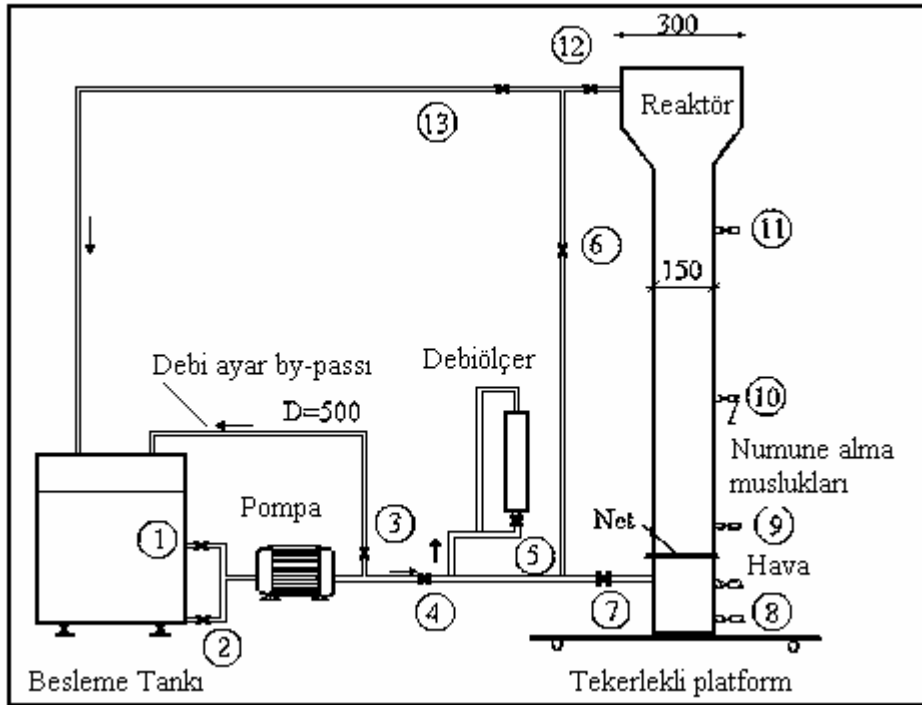
$$\bar{V}_m = \frac{\left(D_p^2 * g * (\rho_p - \rho) \right)}{1650 \mu} \quad (1)$$

Burada D_p : ortalama parçacık çapı (m); ρ_p : malzemenin yoğunluğu (g/cm^3); ρ : sıvının yoğunluğu (g/cm^3); μ : sıvının viskozitesi ($N.s/m^2$); g : yerçekimi ivmesi (m/s^2); V_m : minimum akışkanlaşma hızı (m/s) olarak ifade edilmektedir. Bağıntıda yer alan parametrelerin yerine konması ile pellet için minimum akışkanlaşma hızı $3,98 \times 10^{-3}$ (m/s) olarak hesaplanmıştır. Laboratuvar ortamında yapılan deneysel çalışmalar sırasında ise pelletin akışkanlaşması için gereken minimum hız $4,6 \times 10^{-3}$ (m/s) (5 l/dak atıksu debisine karşılık gelmektedir) olarak bulunmuştur. Uygulamada yüksek hızın sakınca yaratacağı dikkate alınarak akışkanlaşmaya katkıda bulunması amacıyla su ile birlikte hava verilmesi uygun bulunmuştur. Daha yüksek oranda yatak genişlemesi (akışkanlaşma) sağlamak amacıyla hava ve suyun ortak verildiği laboratuvar gözlemlerinden elde edilen bulgular Çizelge 4'de sunulmaktadır. Çizelge 4'ün incelenmesinden su ile birlikte hava verilmesinin akışkanlaşmayı arttırdığı, ancak belli bir değerdan sonra ($>500 \text{ cm}^3/\text{dak}$) havanın yarattığı etkinin tekrar azaldığı gözlenmiştir. Bunun

nedeni, verilen havanın belli su/hava oranlarından sonra filtre yatağı içerisinde adeta bir koridor oluşturup filtreyi hızlı biçimde geçip terk etmesi şeklinde açıklanabilir.

Çizelge 4. Farklı su/hava miktarlarına karşılık elde edilen yatak genişlemesi oranları

Su Debisi (l/dak)	Filtre Yatağı Genişlemesi (%)					
	Hava Debisi (cm ³ hava/dak)					
	0	50	100	200	300	500
1	-	-	-	-	-	-
2	-	0,26	0,26	0,77	0,77	0,25
3	-	0,77	1,27	1,25	1,25	0,75
4	-	1,76	3,00	2,48	2,68	2,44
5	1,25	3,43	3,00	3,87	4,78	5,50



Şekil 3. Deneysel çalışmalarda kullanılan biyolojik filtre reaktörün şematik gösterimi

3.3. Pellet Kullanılan Akışkan Yatak Reaktörde Organik Madde Giderimi

Laboratuvar çalışmalarının son aşamasında dolgu malzemesi olarak pellet kullanılmış, akışkan yatak işletim koşullarında reaktörün organik madde giderme performansı incelenmiştir. Bu amaçla paslanmaz çelik malzemeden imal edilmiş 2000 mm yüksekliğinde, 100 mm çapında, kolon tipte bir reaktör kullanılmıştır. Deney düzeneği reaktör dışında besleme tankı, pompa, kompresör, boru, vana ve bağlantı parçaları gibi elemanlardan oluşmaktadır. Reaktörün üst bölümü filtre malzemesinin reaktörden kaçmasına engel olacak şekilde genişletilmiştir. Alt bölümünde ise dolgu malzemesinin taşıyan, gözenek büyüklüğü filtre malzemesi çapından daha küçük olan bir plaka bulunmaktadır. Pellet reaktörün içerisine

500 mm yüksekliğinde doldurulmuştur. Reaktör boyunca yer alan vanalardan değişik yüksekliklerden örnek alabilme imkanı sağlanmıştır. Şekil 3'te laboratuarda kurulan modelinin şematik görünüşü yer almaktadır.

Laboratuvar çalışmalarında kullanılan sentetik atıksu melas, amonyum klorür (NH_4Cl), potasyum di hidrojen fosfat (KH_2PO_4) ve çeşme suyundan hazırlanmıştır. Bu bileşim içinde karbon kaynağı işlevini yüklenen melas PAKMAYA Fabrikası'ndan ücretsiz olarak alınmıştır. Deneysel çalışmalar süresince sentetik atıksu değişik konsantrasyonlarda hazırlanmış, ancak atıksuyun C/N/P oranları 100/5/1 olacak şekilde ayarlanmıştır. Reaktör orta-yüksek olarak nitelendirilebilecek sentetik atıksu bileşimleriyle çalıştırılmıştır. Buna göre sırasıyla 600-700 mg KOİ/l, 700-800 mg KOİ/l, 900-1000 mg KOİ/l ve 1000-1100 mg KOİ/l konsantrasyonlarında sentetik atıksu hazırlanarak reaktöre beslenmiştir.

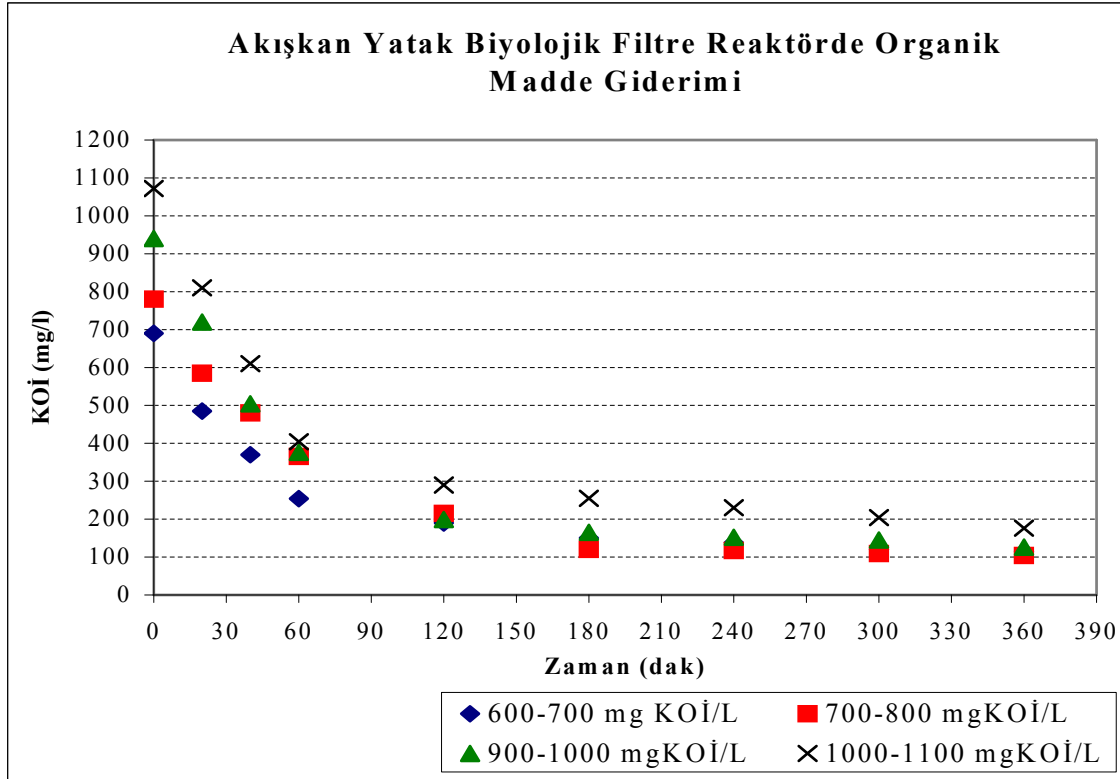
Çalışmalar süresince sistem "ardışık-kesikli" reaktör prensibine göre işletilmiş, tüm bulgular kesikli reaktör esaslarına göre belirlenmiştir. Buna göre reaktörün bir döngüsü *doldurma - reaksiyon - boşaltım (çökeltim) ve bekletme* fazlarından oluşmaktadır. Reaksiyon fazında sistem yukarı akışlı "akışkan" yatak koşullarında çalıştırılmıştır. İşletme sırasında atıksu, besleme tankından reaktöre pompa ile verilmiş, debi akışkan yatak işletim koşullarına göre 4.0-5.0 l/dak arasında ayarlanmıştır. Sistem önce atıksuyun alt bölümden verilmesi ile yukarı akışlı akışkan yatak olarak işletilmiştir. Bu amaçla 1, 2 ve 7 no'lu vanalar besleme yapılabilmesi için açık tutulmuş, kompresör kullanılarak reaktörün taban kısmından hava verilmiştir. Akışkan yatak işletim koşullarını takiben reaktörün akım yönü otomatik olarak açılıp kapanan vanalar yardımıyla ters yöne çevrilerek sistem yukarıdan-aşağıya (düşey akımlı) işletilmiş ve böylece çökeltim tankı kullanılmaksızın katı maddenin reaktör içerisinde tutulması mümkün olmuştur. Reaktörün klasik aşağı akışlı bir filtre olarak kullanılması durumunda ise 7 ve 13 no'lu vanalar kapalı, 6, 8 ve 12 no'lu vanalar açılarak atıksuyun reaktörün üst bölümünden aşağı doğru verilmesi sağlanmıştır. Filtrasyon işleminden sonra arıtılmış su reaktörün tabanından deşarj edilmiştir. Reaksiyon süresini takiben gerçekleşen filtrasyon işlemi sonucunda ortaya çıkan tıkanma problemi geri yıkama operasyonu ile giderilmiş olup geri yıkama periyodu filtredeki toplam katı madde parametresi ve filtrasyon süresi ile ayarlanmıştır.

Başlangıçta reaksiyon süresi olarak 6 saat öngörülmüş ve bu süre boyunca 20, 40, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360 dakika sonunda örnekler alınarak santrifüjlenmiş ve KOİ analizleri yapılmıştır. Böylelikle reaksiyon fazında organik madde gideriminin zamansal olarak ne şekilde değiştiğinin ortaya konması ve buna göre akışkan yatak koşullarında optimum işletme süresinin belirlenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalardan elde edilen veriler toplu olarak Şekil 4'te sunulmuştur. Şekil 4'ten 1. seri çalışmalarda (KOİ giriş=600-700 mg/l) ilk 60 dakika içerisinde organik madde gideriminin çok hızlı bir şekilde olduğu, daha sonra giderim hızının yavaşlayarak devam ettiği görülmektedir. Altı saatlik sürede atıksudan, 20, 40, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360 dakikalarda yapılan ölçümlere göre sırasıyla %30, %46, %63, %72, %78, %80, %83 oranlarında organik madde (KOİ) giderimi elde edilmiştir. Sonuçlardan ilk 60 dakikalık sürede organik maddenin yaklaşık %63'ünün gideriminin sağlandığı görülmektedir.

Giriş KOİ konsantrasyonunun 700-800 mg/l olduğu 2. seride başlangıçta yine hızlı bir giderim izlenmektedir. Bu halde ilk 60 dakika içerisinde organik maddenin yaklaşık yarısı (%53 verim) giderilebilmiştir. Devam eden sürede 2, 3, 4, 5 ve 6 saat sonunda alınan örneklerin ölçüm sonuçlarına göre arıtma verimi sırasıyla %72, %85, %85, %86, %87 olarak hesaplanmıştır.

Üçüncü seri çalışmalarda giriş KOİ konsantrasyonu 900-1000 mg/l olacak şekilde ayarlanmıştır. Şekil 4'ten ilk 60 dakika içerisinde organik madde gideriminin çok hızlı bir

şekilde olduğu, daha sonra bu azalmanın yavaşlayarak devam ettiği görülmektedir. Altı saatlik reaksiyon süresince girişten, 20, 40, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360 dakikalarda yapılan ölçümlere göre sırasıyla %23, %46, %60, %79, %82, %84, %84 ve %87 mertebelerinde giderim elde edilmiştir.



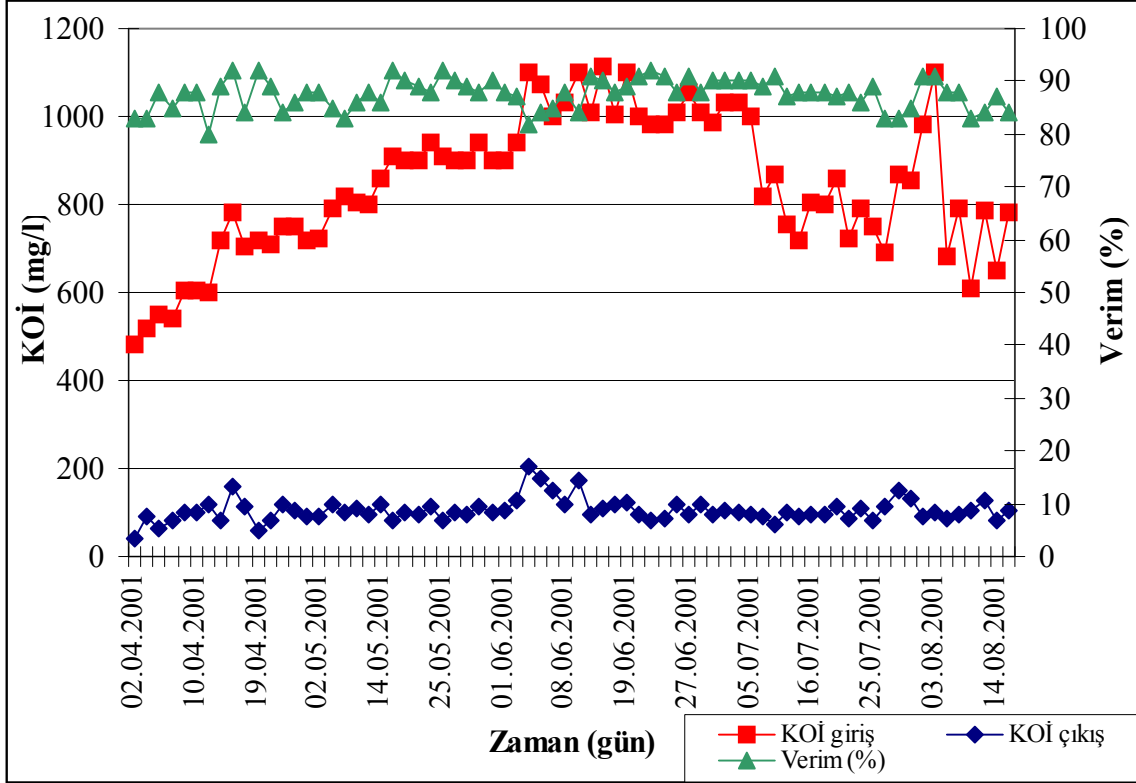
Şekil 4. Dolgu malzemesi olarak pelletin kullanıldığı akışkan yatak biyolojik filtre reaktörde organik madde gideriminin zamanla değişimi

Son grup veriler giriş KOİ konsantrasyonunun 1000-1100 mg/l olması durumunda elde edilmiştir. Diğer seri deneylerden edinilen veriler ile uyumlu olarak ilk 60 dakika içerisinde organik madde gideriminin çok hızlı olduğu, daha sonra bu azalmanın yavaşlayarak devam ettiği görülmektedir. Altı saatlik sürede girişten, 20, 40, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360 dakikalarda yapılan ölçümlere göre sırasıyla %24, %43, %62, %73, %76, %79, %81 ve %84 mertebelerinde KOİ giderimi elde edilmiştir.

Deneyel verilerden özetle akışkan yatak işletim koşullarında ilk 60 dakikalık süre içinde hızlı bir giderim elde edilebildiği sonucu çıkmaktadır. İşletime devam edildiğinde 2, 3, 4, 5 ve 6 saat sonunda sırasıyla %72-79, %76-85, 79-85, %83-86 ve %85 oranında KOİ giderimi elde edilmektedir.

Şekil 5'te beş ay süreyle yapılan ölçümler (giriş-çıkış KOİ değerleri) değerlendirilmiş ve hesaplanan arıtma verimi (performans) grafik olarak sunulmuştur. Bölüm 3.3'de belirtildiği gibi sistem "ardışık-kesikli" reaktör prensibine göre işletilmiş, reaktörün bir döngüsü *doldurma - reaksiyon - boşaltım (çökeltim) ve bekletme* fazlarından oluşmuştur. Beş ay süresince reaktörün yukarıda açıklanan döngüsü günde iki kez olacak şekilde tekrarlanmış, her döngünün giriş ve çıkış KOİ değerleri Şekil 5'te grafik olarak verilmiştir. Şekil 5'ten sistem performansının %85-90 oranında değiştiği görülmektedir. İşletme süresince reaktör içinde gelişen biyofilmin kopması sonucu oluşan katı madde reaktörün düşey akışlı (klasik filtre) olarak çalıştırılmasıyla tutulmuş ve filtrenin geri yıkanmasıyla sistemden

uzaklaştırılmıştır. Geri yıkama periyodu reaktör içerisinde alınan örneklerde toplam katı madde parametresinin ölçümü ve filtrasyon süresi ile ayarlanmıştır. İşletim süresi boyunca reaktörün geri yıkama işlemi haftada iki kez olacak biçimde gerçekleşmiştir. Geri yıkama işlemi besleme tankına doldurulan temiz su ile yapılmış ve ayrı bir toplama kabında biriktirilen geri yıkama suyu atılmıştır.



Şekil 5. Pellet doldurulmuş olan akışkan yataklı biyolojik filtre reaktörde organik madde giderimi

4. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

Biyolojik Filtre Reaktörlerde (BFR) kullanılacak dolgu (destek) malzemesine karar verilirken tane dağılımı, şekli, gözenekli yada gözeneksiz olması, özgül ağırlığı, özgül yüzey alanı, maliyeti, temin edilebilme kolaylığı ve uzun ömürlü olması gibi faktörler etkili olmaktadır. Mevcut literatür ve uygulamadan örneklerin ayrıntılı incelenmesiyle BFR'de özellikle organik madde ve nütrient giderimi esas alındığında gözenekli, düzgün, hafif ve silindirik malzemelerin tercih edildiği ortaya çıkmaktadır. Malzemenin düzgün biçimli ve yüzeyinin gözenekli olması mikroorganizmalarının yüzeye bağlanmasını kolaylaştırmaktadır. Büyük yüzey alanına sahip küçük taneciklerin kullanılması arıtma verimini arttırmakta ancak beraberinde filtrenin tıkanma riski de yüksek olmaktadır. Tıkanma problemini gidermek üzere geri yıkama işlemi uygulanmakta, ancak bu koşullarda malzemenin yoğunluğu önem kazanmaktadır. Hafif malzemeler işletim kolaylığı sağlarken yüksek yoğunluklu malzemenin tercih edilmiş olması malzemenin kaçma riskini azaltmaktadır.

Bu çalışmada sürekli gelişim gösteren filtre teknolojilerinde kullanılan dolgu malzemelerine alternatif olarak önerilebilecek bir malzeme, pellet, farklı yönleriyle incelenmiş ve tanıtılmıştır. Deneysel çalışmalar kapsamında elde edilen bulgular biyolojik filtrelerde ilk kez kullanılan pelletin BFR için uygun niteliklere sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu özellikler özetle aşağıda ifade edilmiştir.

i) Kullanılan pelletin dane dağılımı 0.25-1.0 mm arasında değişmektedir. Mevcut sistemlerde bugüne dek kullanılan malzeme boyutları ile karşılaştırıldığında özellikle organik madde giderimi esas alındığında optimum dane çapı olarak önerilen 0.2-2.0 mm aralığında kaldığı görülmektedir. Ancak, pelletin daha büyük çaplarda üretilme imkanı bulunmaktadır. Bu durum pelletin özellikle askıda katı madde giderimi amacıyla kullanılması halinde uygun olacaktır.

ii) Pelletin düzgün şekilli, küresel ve gözenekli olması mikroorganizmaların tanecik yüzeyine bağlanmasını kolaylaştırmakta ve arıtma verimini olumlu etkilemektedir.

iii) Özgül yüzey alanının büyük olması ($3960 \text{ m}^2/\text{m}^3$) önemli bir avantaj olup, mikroorganizmaların yüzeye yapışarak gelişmesi için daha fazla alana sahip olması anlamına gelmekte ve arıtma veriminin artmasına neden olmaktadır.

iv) Pellet kullanılarak yapılan deneysel çalışmalarda akışkan yatak olarak işletilen biyolojik filtrenin performansının yüksek olması (%85-90 organik madde-KOİ- giderimi) atıksu arıtımı amacıyla kullanılabilmesini ortaya koymaktadır.

v) Pelletin esas itibariyle bir atık olması ve bir prosten atık olarak çıkan bir malzemenin diğer bir süreçte hammadde şeklinde kullanılması malzemeye “çevre ile dost” olarak ifade edilebilecek ayrı bir anlam katmaktadır.

Sonuç olarak yapılan araştırmalar CaCO_3 kaplı kum taneciklerinden oluşan pelletin sadece su arıtımı değil aynı zamanda atıksu arıtımı amacıyla da başarılı bir şekilde uygulanabileceğini ortaya koymaktadır. Ancak, tüm laboratuvar ölçekli çalışmalarda olduğu gibi gerçek ölçekte uygulamalara geçilmeden yapılan araştırmaların genişletilmesinde yarar görülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK-YDABÇAG tarafından desteklenmekte olan 199Y101 No’lu araştırma projesi kapsamında yürütülmektedir. Makalenin yazarları TÜBİTAK kurumuna sağlamış oldukları destekten ötürü teşekkürlerini sunmaktadırlar.

KAYNAKLAR

- Dee A., James N., Jones I., Strickland J., Upton J., Cooper P. (1994): “Pre-or Post-Denitrification at Biological Filter Works? A Case Study”, Water Science and Technology, Vol. 29, No. 10-11, pp. 145-155.
- Dölgem D. (1998): “Treatment of Wastewater by 3F (Fluidised-Fixed and Filter) Reactor”, Doktora Tezi, Yön. Necdet Alpaslan, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Farrimond M., Upton J. (1993): “A Strategy to Meet the Nutrient (N and P) Standards of the Urban Wastewater Directive”, Water Science and Technology, Vol. 27, No. 5-6, pp. 297-306.
- Fruhen M., Kühn W., Dohmann M. (1994): “Upgrading of a Wastewater Treatment Plant Utilizing Existing Trickling Filters and a New Filter Stage”, Water Science and Technology, Vol. 29, No. 12, pp. 59-67.
- Jepsen S.E., La Cour Jansen J. (1993): “Biological Filters for Post-Denitrification”, Water Science and Technology, Vol. 27, No. 5-6, pp. 369-379.
- Kraft A., Seyfried C.F. (1990): “Biologically Intensified Filtration (Dual-Media Dry Bed Filter) for Advanced Wastewater Treatment”, Water Science and Technology, Vol. 22, No. 1-2, pp. 317-328.

- Lazarova V., Manem J. (1994): "Advances in Biofilm Aerobic Reactors Ensuring Effective Biofilm Reactors", *Water Science and Technology*, Vol. 29, No. 10-11, pp. 319-327.
- Meaney B.J., Strickland J.E.T. (1994): "Operating Experiences with Submerged Filters for Nitrification and Denitrification", *Water Science and Technology*, Vol. 29, No. 10-11, pp. 119-125.
- Morper M.R. (1994): "Upgrading of Activated Sludge Systems for Nitrogen Removal by Application of The Linpor®-CN Process", *Water Science and Technology*, Vol. 29, No. 12, pp. 167-176.
- O'Neill M.J., Horan N.J. (1993): "Design Criteria for Tertiary Nitrifying Biological Filters", Chapter 2.2, *Attached Growth Process for the Removal of Ammonia and Nitrogen*, pp. 67-72.
- Ouyang C.F., Liaw C.M. (1994): "The Optimum Medium of the Suspended Bio-Medium Aeration Contactor Process", *Water Science and Technology*, Vol. 29, No. 10-11, pp. 183-188.
- Pujol R., Hamon M., Kandel X., Lemmel H. (1994): "Biofilters: Flexible, Reliable Biological Reactors", *Water Science and Technology*, Vol. 29, No. 10-11, pp. 33-38.
- Quaye B.A. (1987): "Predicting Optimum Backwash Rates and Expansion of Multi-media Filters", *Water Research*, Vol. 21, No. 9, pp. 1077-1087.
- Rogalla F., Lomouche A., Specht W., Kleiber B. (1994): "High Rate Aerated Biofilters for Plant Upgrading", *Water Science and Technology*, Vol. 29, No. 12, pp. 207-216.
- Sekoulov I., Oles J. (1993): "Multiple Use of Filter Units in Wastewater Treatment", *Proc. Europ. Wat. Filt. Congress, March, Oostende, Belgium*, pp. 2.109-2.119.
- Sekoulov I., Görg S. (1995): "Endüstriyel Atıksu Arıtımında Sabit Yataklı Sistemler", *Su Kirliliği ve Kontrolü Dergisi*, Cilt 5, Sayı 2, s. 9-16.
- Türk Standartları (1978): "Agrega Karışımlarının Elek Analizi Deneyi İçin Metod", TSE, Ankara.
- Türk Standartları (1980a): "Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini", TSE, Ankara.
- Türk Standartları (1980b): "Beton Agregalarının Birim Ağırlıklarının Tayini", TSE, Ankara.
- Tsubone T., Osaki Y., Yoshi Y., Takahashi M. (1992): "Effect of Biomass Entrapment and Carrier Properties on the Performance of an Air-Fluidized-Bed Biofilm Reactor", *Water Environment Research*, Vol. 64, No. 7, pp. 884-889.
- Van Der Hoek J.P., Jong R.C., Kappelhof J.W., Hijnen W.A., Creusen A.J., Bekkers A.J., Feij L.A. (1993): "Nitrate Removal from Groundwater by Biological Filtration Using the Fixed Bed/Ethanol Process", *Proc. Europ. Wat. Filt. Congress, March, Oostende, Belgium*, pp. 2.55-2.