



**MODİFİYE AKTİF KARBONLA KLOR
GİDERİMİNİN SÜREKLİ SİSTEMDE
İNCELENMESİ**

Nazan YILMAZ

**Yüksek Lisans Tezi
Biyomühendislik Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Muhammet Şaban TANYILDIZI
ELAZIĞ-2017**

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MODİFİYE AKTİF KARBONLA KLOR GİDERİMİNİN SÜREKLİ
SİSTEMDE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NAZAN YILMAZ

(122132101)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26.12.2016

Tezin Savunulduğu Tarih : 12.01.2017

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Muhammet Şaban TANYILDIZI (Fırat Üniv.)

Diğer Jüri Üyeleri: Prof. Dr. Hamdi Soner ALTUNDOĞAN (Fırat Üniv.)

Yrd. Doç. Dr. Hakan YOĞURTÇU (Munzur Üniv.)

OCAK-2017

TEŞEKKÜR

Bu tez konusu TUBİTAK tarafından 2210-C programı ve FÜBAP M.F.15.20 nolu proje ile desteklenmiştir.

Bu araştırma konusunu yüksek lisans tezi olarak öneren ve çalışmalarım sırasında bilgi ve deneyimleri ile beni yönlendiren, bana büyük emeği geçen saygıdeğer hocam Sayın Doç.Dr. Muhammet Şaban TANYILDIZI'na teşekkür ederim.

Çalışmalarımı gerçekleştirdiğim deney düzeneğinin kurulmasında maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen başta Satış Müdürüm Sayın Zafer Kemal ÇAKIOĞLU olmak üzere Fresenius Medical Care'e teşekkür ederim.

Çalışmalarımın analiz aşamalarında yardımlarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. H. Soner ALTUNDOĞAN'a, Sayın Doç. Dr. M. Deniz TURAN'a, Sayın Yrd. Doç.Dr. Yavuz DEMİRCİ'ye ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Yunus ÖNAL'a teşekkür ederim.

Ayrıca laboratuvar çalışmalarında yardımcı olan birlikte yüksek lisans öğrenimi gördüğüm Yunus Emre ÖZ'e teşekkür ederim.

Nazan YILMAZ

Elazığ-2017

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET	IV
SUMMARY	V
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VI
TABLolar LİSTESİ	VIII
KISALTMALAR LİSTESİ.....	IX
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	2
2.1. Kronik Böbrek Yetmezliği ve Hemodiyaliz	2
2.2. Hemodiyalizde Suyun Önemi	2
2.3. Hemodiyalizde Klorun Yeri ve Giderim Yöntemleri	6
2.3.1. Sulara Klor Eklenmesi.....	6
2.3.2. Klor Giderim Teknikleri.....	7
2.3.3. Aktif Karbon ve Klor Etkileşimi	9
2.4. Hemodiyalizde Mikrobiyal Kontaminantlar	12
2.5. Nanopartiküllerin Özellikleri ve Antimikrobiyal Etkileri.....	14
2.5.1. Gümüş Partiküllerin Kullanım Alanları ve Antimikrobiyal Özellikleri.....	15
2.5.2. Bakır Nanopartiküllerin Kullanım Alanları Ve Antimikrobiyal Özellikleri .	18
2.6. Nanopartiküllerin Çevresel Riskleri	19
2.7. Literatür Özeti.....	21
3. MATERYAL VE METOT.....	24
3.1. Materyal	24
3.1.1. Partikül Filtre.....	24

3.1.2.	Yumuşatma Ünitesi	24
3.1.3.	Granüler Aktif Karbon.....	25
3.1.4.	AgO Kaplı Granüler Aktif Karbonların Hazırlanması	25
3.1.5.	CuO Kaplı Granüler Aktif Karbonların Hazırlanması	26
3.2.	Metot.....	26
3.2.1.	Yapılan Analizler.....	29
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA	33
4.1.	SEM ve EDX Sonuçları.....	33
4.2.	Yüzey Alanı Analiz Sonuçları	37
4.3.	pH Ölçüm Sonuçları	38
4.4.	İletkenlik Ölçüm Sonuçları.....	41
4.5.	Sertlik Ölçüm Sonuçları.....	43
4.6.	Toplam ve Serbest Klor Sonuçları.....	44
4.7.	Çıkış akımındaki Gümüş ve Bakır Konsantrasyonu Değişimi	47
4.8.	Adsorpsiyon İşlemi Sonrası SEM ve EDX Sonuçları.....	49
4.9.	Adsorpsiyon İşlemi Sonrası FTIR Sonuçları	55
4.10.	Mikrobiyal Kirlilik Sonuçları.....	57
4.11.	Endotoksin Analiz Sonucu	58
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER	61
6.	KAYNAKLAR.....	63
	ÖZGEÇMİŞ.....	73

ÖZET

MODİFİYE AKTİF KARBONLA KLOR GİDERİMİNİN SÜREKLİ SİSTEMLERDE İNCELENMESİ

YILMAZ, Nazan

Yüksek Lisans Tezi, Biyomühendislik Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Muhammet Şaban TANYILDIZI

Ocak 2017, 73 Sayfa

Hemodiyaliz için su saflaştırma sisteminin ön arıtım ünitelerinde bulunan granüler aktif karbon (GAK) filtre sistem içerisindeki en önemli mikrobiyal kirlilik kaynağıdır. Bu çalışmada, antimikrobiyal etkiye sahip olan gümüş oksit ve bakır oksit parçacıklarıyla yüklü GAK'ın klor gideriminde kullanımıyla mikrobiyal kirliliğin azaltılması amaçlanmıştır. Gümüş oksit ve bakır oksit partikülleri çeşitli kimyasal yöntemlerle sentezlendikten sonra GAK yüzeyine tutunması sağlanmıştır. Modifiye edilmiş granüle aktif karbonun gözenek ve yüzey özellikleri SEM, EDX, FT-IR ve BET analizleriyle incelenmiştir. Modifiye edilmiş ve modifiye edilmemiş aktif karbon filtrelerin giriş ve çıkış noktalarında belirli zaman aralıklarıyla pH, serbest ve toplam klor, sertlik, iletkenlik, mikrobiyal kirlilik ve endotoksin miktarı takip edilmiştir. Bu çalışmanın sonunda modifiye edilmemiş aktif karbona oranla, %0.04 AgO kaplı aktif karbonun %68 oranında, %1 AgO kaplı aktif karbonun %83, %3 CuO kaplı aktif karbonun %64, %5 CuO kaplı aktif karbonun %75 oranında mikrobiyal büyümeyi azalttığı belirlenmiştir. %5 bakır oksit içeren GAK ile endotoksin salınımının modifiye edilmemiş GAK filtreye göre %44 oranında azaldığı belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Aktif karbon, Adsorpsiyon, Antimikrobiyal, Bakır oksit, Gümüş oksit

SUMMARY

AN INVESTIGATION OF CHLORINE REMOVAL BY USING MODIFIED ACTIVE CARBON IN CONTINUOUS SYSTEM

YILMAZ, Nazan

MSc in Bioengineering

Supervisor: Assoc. Prof. Muhammet Şaban TANYILDIZI

January 2017, 73 Pages

Granular activated carbons (GAC) filters are the largest sources of microbial contamination in pre-treatment units of water preparation for hemodialysis. In this study, it was aimed that reduce microbial pollution in GAC by using modified GAC loaded with silver oxide and copper oxide particles. The modified GAC which have antimicrobial activity was investigated for chlorine removal. After silver and copper oxide particles are synthesized by various chemical methods, they are attached to the surface of GAC. The pore and surface properties of the modified granular activated carbon were investigated by SEM, EDX, FT-IR and BET analyzes. The pH, free and total chlorine, hardness, conductivity, microbial contamination and amount of endotoxin were monitored from the inlet and outlet points of the modified and unmodified activated carbons. At the end of this study, it was determined that microbial growth reduces about 68%, 83%, 64%, 75% in GAC containing 0.04% AgO, %1 AgO %3 CuO and %5 CuO, respectively. The GAC containing 5% copper oxide, endotoxin release was reduced by 44% compared to unmodified GAC filter.

Key words: Activated carbon, Adsorption, Antimicrobial, Copper oxide, Silver oxide

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 Su kullanımı	3
Şekil 2.2 Su Arıtım Sistemi	5
Şekil 2.3 Aktif karbon gözenek yapısı.....	10
Şekil 2.4 Su arıtma sisteminin endotoksin konsantrasyonu (Canaud vd., 1996).....	13
Şekil 2.5 Ag nanopartikül-bakteri hücre etkileşim (1) ROT oluşumu, 2) Hücre zarında birikim, 3) Hücre proteinleri ile etkileşim).....	17
Şekil 2.6 CuO nanopartiküllerin antimikrobiyal mekanizması	19
Şekil 3.1 Deney düzeneği (1; Partikül Filtre, 2; Yumuşatma Ünitesi, 3 -4; % 0.04 AgO-GAK, 5; %3 CuO- GAK, 6; %5 CuO-GAK, 7-8; İşlem görmemiş GAK, 9; %1 AgO-GAK, a; Tuz tankı, b; rotametreler, c; numune alma noktaları).....	27
Şekil 3.2 Deneysel sistemin şematik gösterimi (1; Partikül Filtre, 2; Yumuşatma Ünitesi, 3 ; % 0.04 AgO-GAK, 4; %1 AgO-GAK, 5; %3 CuO- GAK, 6; %5 CuO-GAK, 7-8; İşlem görmemiş GAK, a; Tuz tankı, F1,2,3,4,5,6,7,8; rotametre,)	28
Şekil 3.3 Sertlik ve serbest klor kiti.....	29
Şekil 3.4 Membran filtre yöntemi	31
Şekil 3.5 Bakteri koloniler.....	32
Şekil 4.1 İşlem görmemiş ve modifiye GAK SEM görüntüleri. (a; işlem görmemiş GAK, b; %0.04 AgO yüklü GAK, c; %1 AgO yüklü GAK, d; %3 CuO yüklü GAK, e; %5 CuO yüklü GAK)	35
Şekil 4.2 Standart granüler aktif karbon EDX analizi	35
Şekil 4.3 %0.04 AgO yüklü granüler aktif karbon EDX analiz	36
Şekil 4.4 %1 AgO yüklü granüler aktif karbon EDX analizi	36
Şekil 4.5 %3 CuO yüklü granüler aktif karbon EDX analizi	37
Şekil 4.6 % 5 CuO yüklü granüler aktif kardon EDX analizi	37
Şekil 4.7 Deney süresince incelenen ünitelerdeki pH değişimleri	40
Şekil 4.8 Deney süresince incelenen ünitelerdeki iletkenlik değişimleri	42
Şekil 4.9 İncelenen ünitelerdeki zamanla sulardaki sertlik değerinin değişimi(a; Yumuşatma giriş-çıkış b;GAK çıkışları).....	43
Şekil 4.10 Musluk suyu ve yumuşatma çıkışında zamanla toplam klor değişimi.....	45

Şekil 4.11 Musluk suyu ve yumuşatma çıkışında zamanla serbest klor değişimi.....	46
Şekil 4.12 GAK çıkış sularında gümüş ve bakır konsantrasyonları	48
Şekil 4.13 Modifiye edilmemiş GAK'a ait SEM ve EDX sonucu	50
Şekil 4.14 %0.04 AgO-GAK işlem sonrası SEM ve EDX görüntüleri.....	51
Şekil 4.15 %1 AgO-GAK işlem sonrası SEM ve EDX görüntüleri.....	52
Şekil 4.16 %3 CuO-GAK işlem sonrası SEM ve EDX görüntüleri	53
Şekil 4.17 %5CuO-GAK işlem sonrası SEM ve EDX görüntüleri	54
Şekil 4.18 Adsorpsiyon öncesi ve sonrası GAK'lara ait FTIR spektrumları	56
Şekil 4.19 Modifiye edilmiş ve modifiye edilmemiş GAK'ların koloni sayıları	58
Şekil 4.20 Modifiye GAK'larda endotoksin değerleri	60



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1 Reçine Özellikleri.....	24
Tablo 3.2 Granüler aktif karbon özellikleri	25
Tablo 3.3 Endotoksin analiz işlem sırası	32
Tablo 4.1 BET analiz sonuçları	38
Tablo 4.2 Musluk suyu, yumuşatma ve GAK filtrelerde mevsimsel pH değerleri	39
Tablo 4.3 Ölçülen iletkenlik değerlerinin ortalaması	41
Tablo 4.4 Musluk suyu ve diğer incelenen birimlerin çıkış sularının ortalama sertlik değeri	44
Tablo 4.5 Deney süresince ortalama serbest ve toplam klor miktarı	46
Tablo 4.6 Modifiye GAK filtre çıkış suyunda bulunan gümüş ve bakır miktarının ortalama değeri	48
Tablo 4.7 İşlem görmemiş GAK'a oranla modifiye GAK'ların mikrobiyal kirlilik ortalama değerleri.....	58
Tablo 4.8 Deneysel çalışma süresi sonunda GAK filtre çıkış suyunda ölçülen endotoksin değerleri.....	60

KISALTMALAR LİSTESİ

AAMI	: Tıbbi Aletlerde İlerleme Derneği
BET	: Yüzey Analizi
DPD	: Diphenpylethylenediamine Klor Tayin Yöntemi
EDX	: Enerji Dağılımı X-Ray Analizi
FT-IR	: Fourier Dönüşümü Infrared Spektroskopi
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu Analizi
TEM	: İletim Elektron Mikroskobu
<i>B.subtilis</i>	: <i>Bacillus subtilis</i>
<i>E.coli</i>	: <i>Escherichia coli</i>
<i>K.pneumoniae</i>	: <i>Klebsiella pneumoniae</i>
<i>L.pneumophila</i>	: <i>Legionella pneumophila</i>
<i>S.aureus</i>	: <i>Staphylococcus aureus</i>
<i>S.paratyphi</i>	: <i>Salmonella paratyphi</i>
<i>S.strains</i>	: <i>Shigella strains</i>

1. GİRİŞ

Hemodiyalizin ilk yıllarında suyu saflaştırmak yaygın olmayıp hastaların ölüm oranı yüksekti. Hemodiyalizin rutin tedaviye koyulduğu yıllarda ise hemodiyaliz sırasında geçici bakteremiye ve pirojenik reaksiyonlar ortaya çıkmıştır ve bunlar diyaliz sıvısındaki yüksek bakteri sayısı ve yüksek endotoksin konsantrasyonu ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Ayrıca diyaliz membranına tutulmuş küçük bakterial ürünlerin hipertansiyon, kas krampları, baş ağrıları ve ateşlenme gibi yan etkileri olduğu tespit edilmiştir. Diyaliz ünitelerinde saf su üreten bir su arıtma sisteminde mikrobiyal kirliliğin azaltılması önem kazanmaktadır. Ünite bir bütün olarak değerlendirildiğinde mikrobiyal kirliliğin en fazla olduğu ekipmanın aktif karbon olduğu bilinmektedir.

Aktif karbon filtreler içme sularına dezenfektan amaçlı katılan klorun uzaklaştırılmasında oldukça etkin ve ucuz olduğu için su arıtma sisteminin ön saflaştırma ünitesinde sık tercih edilmektedir. Uzaklaştırılamayan klor olası saf suya geçmesi durumunda hastalarda hemolitik anemi gibi kan problemlerine neden olduğu bilinmektedir. Ayrıca adsorplanmayan klorun, sistemin diğer ekipmanlarına da zarar verdiği bilinmektedir. Porlu yapıya sahip olan aktif karbon bakteri üremesi için oldukça uygun bir ortamdır.

Son yıllarda yapılan birçok çalışmada araştırmacılar çeşitli metal oksit partiküllerin antimikrobiyal özelliklerini incelemişlerdir. Nano malzemeler yüksek yüzey alanları nedeniyle (yüzey/hacim oranı) su arıtmasında kullanılan diğer tekniklere göre kirletici ve mikropların etkili bir şekilde giderilmesini sağlamaktadır.

Bu çalışmada sulardan klor giderimi için kullanılan granüler aktif karbon çeşitli kimyasal yöntemlerle sentezlenen metal oksit partikülleri ile modifiye edildikten sonra sürekli bir sistemde sudan klor giderimi ve mikrobiyal kirlilik değişimleri incelenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kronik Böbrek Yetmezliği ve Hemodiyaliz

Kronik böbrek yetmezliği çeşitli hastalıklara bağlı olarak nefronların kronik, progresif ve dönüşümsüz kaybı ile karakterize olan bir nefrolojik sendromdur. Kronik böbrek yetmezliğine yol açan nedenler ülkeden ülkeye, ırk ve cinsiyete göre farklılıklar göstermektedir. Dünyanın her yerinde olduğu gibi ülkemizde de diyabete bağlı kronik böbrek yetmezliği oluşumu giderek artmaktadır. Ülkemizde son dönem böbrek yetmezliğinde olan hasta sayısı 2015 yılsonu itibariyle 73.660'dır. Kronik böbrek yetmezliği olan hastalara uygulanabilecek üç temel tedavi hemodiyaliz, periton diyalizi ve böbrek naklidir. Bu üç tedaviye birden böbreği yerine koyma veya renal replasman tedavileri (RRT) denir. Ülkemizde 2015 yılsonu verilerine göre renal replasman tedavisi gören hastalardan, %77.31'i hemodiyaliz, %5.31 periton diyalizi, %17.38 organ nakli tedavisine devam etmektedir. (URL-1,2016).

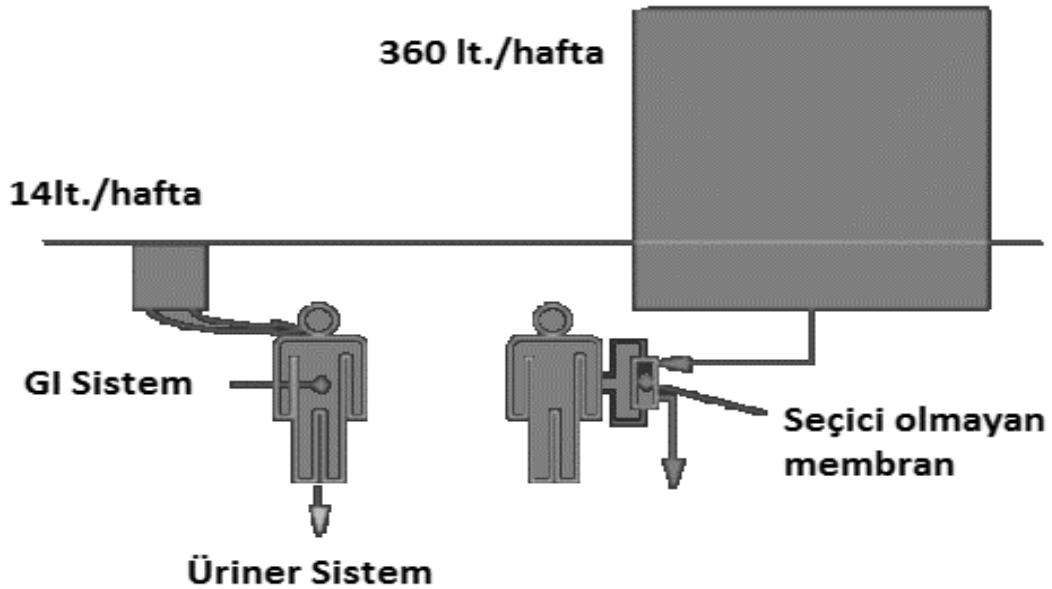
Hemodiyalizin 1943'den itibaren rutin tedaviye sokulmasından bugüne dek hasta yaşam süresini uzatabilmek ve yaşam kalitesini arttırmak adına birçok aşama kaydedilmiştir (Karakullukçu, 2008). Hemodiyaliz halen daha tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de en sık uygulanan renal replasman tedavisi tipidir. Hemodiyaliz, kanın vücut dışında bir makine aracılığı ile yarı geçirgen bir zardan geçirilerek temizlenip vücuda geri verilmesi işlemidir.

2.2. Hemodiyalizde Suyun Önemi

Diyaliz kalitesi ve hasta sürvisi için diyalizde kullanılan suyun kalitesi ve uygunluğu önemlidir. Hemodiyalizin rutin tedaviye koyulduğu yıllarda diyaliz için su arıtmak yaygın değildi. Hemodiyaliz tedavisine başlanıldığı yıllarda hemodiyaliz hasta sayısı az ve mortalite yüksekti. Yüksek mortalite oranı diyaliz sıvısındaki yüksek endotoksin konsantrasyonları ve aşırı yüksek gram-negatif bakteri oranıyla bakteriyemi ve pirojenik reaksiyonlarla ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Suda hastalara zarar veren maddelerin tespitinden sonra 1970'ler de Amerika'da diyalizde kullanılacak olan suyun kalitesi üzerine çalışmalar başlatılmış ve diğer ülkelerde de benzer çalışmalar ile hemodiyalizde kullanılacak su kalitesinin standartları saptanmış ve her yıl revize edilmektedir (Amato Rebecce, 2000).

Hemodiyalizde kullanılan diyaliz sıvısı ters osmozdan çıkan su ile belirli oranlarda seyreltilerek hazırlanan kullanıma hazır çözeltilerdir. Hemodiyalizatin temel elemanı arıtılmış sudur. Sağlıklı bir bireyin su ile olan ilişkisi ile hemodiyaliz hastasının su ile olan ilişkisi aynı değildir.

Günlük yaşamda bir insan haftada ortalama 14 litreye yakın su içer ve bu gastrointestinal sistemde bulunan aktif membranlarla karşılaşır. Su ve içinde bulunan maddelerin kana geçişinde çeşitli transport mekanizmalar vücut için gerekli maddeleri ve miktarları düzenler. Kana geçen toksin ve potansiyel toksin herhangi bir madde üriner ekskresyon ile atılır. Diğer taraftan hemodiyaliz hastası haftada ortalama 300-400 litre su ile karşılaşmaktadır. Su ile kan arasında bulunan diyalizör membranı her ne kadar özel olarak dizayn edilmiş olsa da aktif seçici bir zar değildir. Koruyucu bir bariyer olmaması ve böbrek ekskresyonunun olmaması suda bulunan toksin maddelere karşı hemodiyaliz hastasını duyarlı ve savunmasız durumda bırakır. Ayrıca, High-Flux diyalizerlerin son derece geçirgen oluşundan dolayı da temiz diyaliz suyu gerektirir. Şekil 2.1’ de sağlıklı bir insan ile hemodiyaliz hastasının su tüketimi arasındaki fark görülmektedir.



Şekil 2.1 Su kullanımı

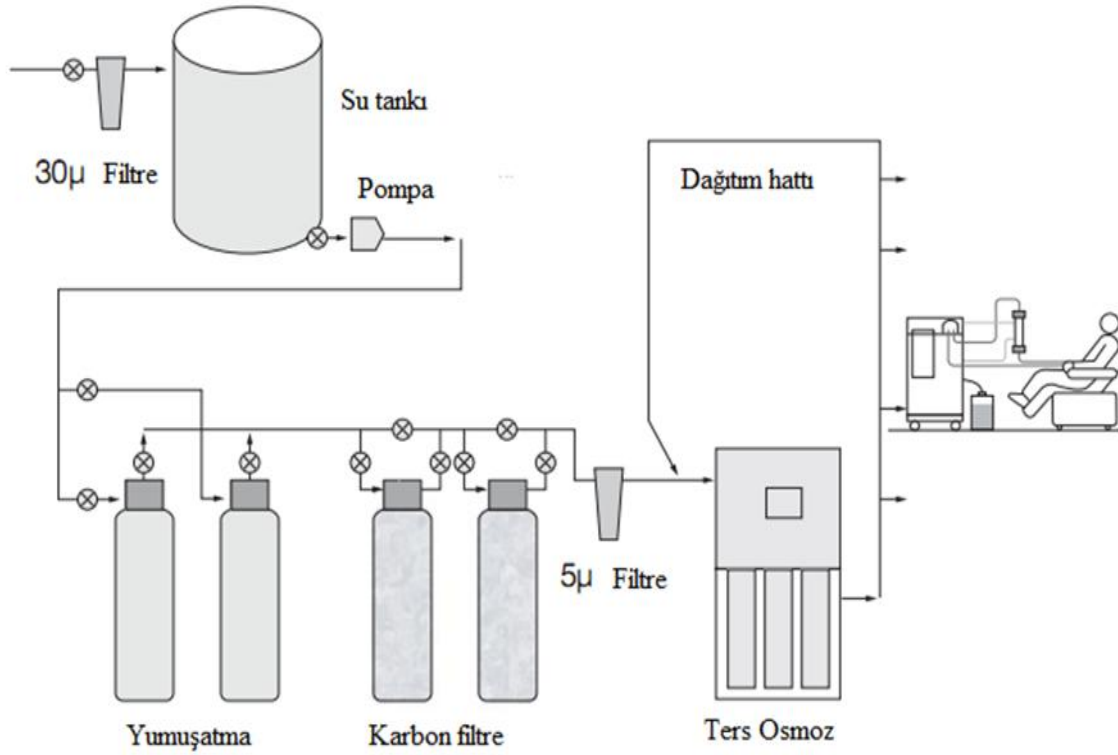
Hemodiyalizde kullanmak için kabul olmuş standartlar da göz önüne alınarak saf su elde etmede kullanılabilecek çeşitli su arıtım araçları vardır. Bir malzemenin çevresel etkisi ve toksisitesi su arıtımında malzeme seçimi ve tasarımı için kritik konulardır. Şekil 2.2’de görülen su arıtım sistemi temel olarak 3 ana bölüme ayrılır;

- 1) Filtreler, yumuşatıcı, aktif karbon filtreler ve mikrofiltreleri içeren ön arıtım.
- 2) Bir veya daha fazla ters osmoz aracı ve isteğe bağlı deiyonizer içeren temel arıtım.
- 3) Mikronaltı filtreler, UV lambaları ve isteğe bağlı depolama tankının bulunduğu son arıtım kısmı.

Filtreler: Farklı boyutlarda ki partikülleri sudan ayırmak için farklı por çaplarına sahip filtreler mevcuttur. Çöktürme veya kum filtreleri olarak da bilinen ilk filtreler ortalama 5-500 µm büyüklüğündeki partikülleri giderir ve genellikle daha sonraki basamaklarda ki ekipmanların kirlenmesini engellemek ve partiküllerin giderimi için su arıtım sisteminin ilk arıtım bölümünde görev alırlar. Mikro filtreler olarak adlandırılan ve 1-5 µm çapındaki partikülleri gidermek için kullanılan filtreler ön arıtım ve son arıtım bölümlerine yerleştirilirler. Mikronaltı filtreler 0.1µm por büyüklüklerine sahip filtreler sistemin arıtım sonrası kısmında çok küçük partikülleri ve bakterileri tutması için kullanılırlar. Ultra filtreler 0.1µm’den daha düşük boyutlara sahip filtrelerdir. Mikroorganizmalar, koloitler ve çözünmüş yüksek molekül ağırlıklı organik kontaminantları giriş suyundan elimine etmek amacıyla kullanılırlar ve ultra saf diyaliz sıvısı üretiminde özel önem kazanırlar.

Yumuşatıcılar: Giriş suyunun yumuşatılması, kalsiyum ve magnezyumun neden olduğu diyaliz suyu kontaminasyonu ile diyaliz hastalarını sert su sendromundan korumak için gereklidir. Su arıtım araçları alt akımında oluşan kalsiyum karbonatı engellemek için de yumuşatıcılar gereklidir.

Aktif Karbon Filtreler: Aktif karbon tankları besleme suyundan klor katkılarını gidermek için gereklidir. Klor veya klor amin normal olarak bakteriyel kontaminasyonu önlemek için içme suyuna eklenir ve parazit veya patojenik bakterilerden gelen hastalık riskini minimal hale getirerek suları içmemize olanak sağlar.



Şekil 2.2 Su arıtım sistemi

Klor ve klor aminin yanı sıra sudaki çözünmüş organik bileşiklerin giderilmesi de granüle aktif karbon filtreler aracılığıyla diyaliz su üretim sürecinde yeterli miktarda giderilmelidir. Giderme işlemi aktif karbonun mikroporlu yapısı ile adsorpsiyon aracılığıyla başlar ve giderme işlemi filtrenin adsorpsiyon kapasitesi tarafından sınırlanır. Aktif karbon filtre klor giderimi, organik kontaminantların birikmesi ve yüzey yapısının porozitesinden dolayı mikroorganizmalar için iyi bir üreme alanıdır.

Ters osmoz; Ters Osmoz (TO) ile suyun saflaştırılması moleküler eleme ve iyon tutma temeline dayanan bir membran ayırma prosesidir. Yarı geçirgen bir zar yardımıyla basınç uygulanarak suyun membranlardan geçmesi sağlanır ve bu şekilde ters osmozda tek değerlikli iyonların %90-95'i iki değerlikli iyonların %95-99'u ve molekül ağırlığı 100 dalton'un üzerinde olan tüm çözünmüş organik kontaminantların %95-100'ü tutulur.

2.3. Hemodiyalizde Klorun Yeri ve Giderim Yöntemleri

Klor amonyak giderimi, tat ve koku kontrolü ve dezenfeksiyon amacıyla şehir sularına eklenir. Serbest klor ($\text{HOCl} + \text{OCl}^-$) içme sularında parazit veya patojenik bakterilerden gelen hastalık riskini minimal hale getirerek suları içmemize olanak sağlar. Klor bakteri ve virüslerin dış yüzeyini sarmalar ve tahrip eder dolayısıyla içme suyuyla geçebilecek hastalıkları önler (Yusufu-Mohammed vd., 2012).

Avrupa’da sistemlerden mikroorganizmaları yok etmek için çok yaygın olarak ozon muamelesi kullanılsa da, yarılanma ömrünün kısa olması ve sudaki çözünürlüğünün düşük olmasından dolayı su dağıtım hattındaki sürekliliği mümkün değildir. Ozonlamadan sonra dezenfeksiyon işleminin tamamlanabilmesi adına klor, kloramin veya monokloramin gibi farklı bir dezenfeksiyon ajanının eklenmesi gerekir (Uzun, 2011). Ozondan daha ucuz olan klor başta bizim ülkemizde olmak üzere birçok ülkede su arıtımda en çok kullanılan dezenfektandır. Kullanılmayan klor serbest kalıntı klor olarak adlandırılır. Sulardaki kalıntı klorun sebep olduğu çok fazla sağlık sorunları vardır. Klor vücut için gerekli olmadığından enzimleri inaktive etme eğilimindedir (Akinyemi ve Taiwo, 2004). Örneğin klor karsinojenik trihalometanları oluşturmak için diğer organik kimyasallar ile birleşebilir. Bir takım kan problemlerine (methemoglobinemi ve hemolitik anemi) sebebiyet verdiğine dair kanıtlar bulunmaktadır (Ersoy, 2013). Klorun klinikte yarattığı problemler sinsice gelişir ve anlaşılması güçtür (Ward vd., 2000).

Bazı durumlarda dezenfeksiyon amacıyla şehir şebeke sularına klor yerine klor amin eklenir. Klor amin, besleme suyuna direk verilmediği zamanlarda bile çürüyen bitkilerden salınan amonyak ile klorun birleşimiyle doğal olarak oluşabilir. Dezenfeksiyon amacıyla klor amin kullanımına başlanıldığından beri hastalarda hemoliz ile ilişkili semptomlar artış göstermiştir. Hastalarda ki zararlı etkilerinin yanında klor ve klor aminin her ikisi de ince film tipli TO membranlarına zarar vereceği için ters osmozdan önce giderilmelidir.

2.3.1. Sulara Klor Eklenmesi

Klor, etkinliğinin yüksek olması, saf olması, kolay uygulanabilir olması, depolanmasının kolay olması, bilinen patojen mikroorganizmaların birçoğuna karşı etkili olması, ekonomik ve sonuçlarının kontrol edilebilir olması nedeniyle suların

dezenfeksiyonunda en çok tercih edilen yöntemdir. Klor ya gaz (klor gazı) halde ki bu en çok tercih edilendir, ya sıvı halde (hipoklorür solüsyonu), ya da katı halde (kalsiyum hipoklorür) eklenebilir. Suyu klor katılması sonucu hidroliz ve iyonizasyon olmak üzere iki farklı reaksiyon gerçekleşir.

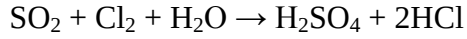


Cl^- , HOCl ve OCl^- iyonlarının toplamına serbest klor denir. Klorlama verimliliğinin bir ölçüsüdür yani suyu sonraki bulaşmalardan koruyan klorun ölçüsüdür serbest klor miktarı. Sistem çıkışlarında 0.2-0.5 gr/m³ arasında serbest klor elde edilmesi esastır (Resmi Gazete,2013). Cl_2 sudaki NH_3 ve bazı organik azot bileşikleri ile reaksiyona girerek bağlı klor oluşturur. NH_2Cl , NHCl_2 ve NCl_3 gibi bileşiklere bağlı klor denir. Bağlı klor, serbest klor kadar etkin olmasa da yine de dezenfektan özelliğine sahiptir.

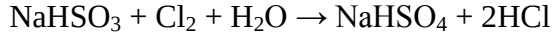
Klorla dezenfeksiyona pH derecesi, sıcaklık, temas süresi ve klorun cinsi etki eder. Serbest halde hipoklorit asitin en etkin olduğu pH aralığı 6-7.5 aralığıdır. Bağlı halde dikloraminin en etkin olduğu pH aralığı ise 4.4-6.5 'dir. Hem serbest halde hem de bağlı halde bulunan klorun dezenfektan etkisi artan sıcaklıkla artış gösterir. Bakteri ve diğer canlı mikroorganizmaların klora karşı gösterdikleri dayanıklılık klorun serbest veya bağlı klor olmasına göre değişir. Diğer şartlarda değişme olmaksızın serbest klorun temas süresi (6 dk.) bağlı klorun temas süresine (10 dk.) kıyasla daha kısadır.

2.3.2. Klor Giderim Teknikleri

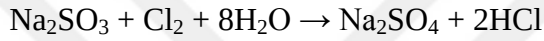
Klor giderme teknikleri başlıca şunlardır; Havalandırma, güneş radyasyonu (UV), kimyasal ekleme ve aktif karbon (Lim vd., 2008). Havalandırma klor aminlerin küçük bir kısmını giderebilir fakat serbest kloru gideremez. Kükürt dioksit, sodyum metabisülfid, sodyum sülfid, sodyum tiyosülfat ve hidrojen peroksit gibi kimyasallar klor giderimde kullanılabilir. Bunlardan ilk sırada yer alan kükürt dioksit aşındırıcıdır, yüksek depolama maliyeti gerektirir, tehlikelidir ve oksijen ihtiyacı gerektirir. Kükürt dioksitin klorlu su ile reaksiyonu şu şekildedir;



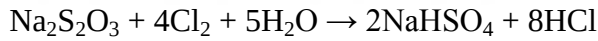
Sodyum bisülfat aşındırıcı olabilir ve klorlu su ile reaksiyonu aşağıdaki gibidir.



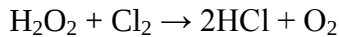
Sodyum sülfat verimsiz kullanım oranına sahiptir ve oksijen ihtiyacı gerektirebilir klorlanmış su ile reaksiyonu aşağıdaki gibidir.



Sodyum tiyosülfat donmaya eğilimli olup klorlanmış su ile reaksiyonu aşağıdaki gibidir.



Hidrojen peroksit klor amin giderimi için kullanılmaz ve yüksek oranda sabit değildir. Klorlanmış su ile reaksiyonu aşağıdaki gibidir.



Klor giderme kimyasalları solüsyon olarak dozajlandığı için toz haldeki kimyasalın çözünmesi gerekir bu hem kimyasal eklenmesinde ekstra bir basamak olur hem de tesis sorumlusunun kimyasallar ile daha fazla temas halinde olması anlamına gelir (Bagchi ve Ray, 2000).

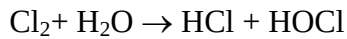
Aktif karbon sularda organik kirleticilerin giderilmesi için oldukça etkin, ucuz ve bol bulunduğu için en çok tercih edilen yöntemdir (Pürçüklü vd., 2003). Aktif karbon bitki temelli organik maddelerin karbonizasyon ve aktivasyonu aracılığıyla hazırlanan porlu karbon özlü bir maddedir. Ham lignoselülozik materyalin karbonizasyonu sırasında katı

aktif kömür ve uçucu gazlar üretilir. Bu süreç sırasında porlar oluşur ve aktivasyon karbonizasyonundan hemen sonra meydana gelir. Aktivasyon kimyasal veya fiziksel olabilir. Aktivasyon sırasında porların sayısı ve boyutu artar. İyi gelişmiş por yapısından dolayı granüle aktif karbonlar mükemmel adsorpsiyon kapasitesine sahiptirler (Jaguaribe vd., 2004). Aktif karbon performansı spesifik yüzey alanı, por boyutu, karbonun por hacminden türetilen adsorptif özellikleri ile belirlenir. Aktif karbon ilk olarak 1910'da İngiltere'de şehir su arıtım tesisinde klor giderimi için kullanılmıştır. Karbon filtreler 60 gün süreyle koku eşiğini 70'den 42' ye düşürmüştür, aynı zamanda bulanıklığı da 0.07 Jackson biriminden aşağı çekmiştir ve serbest aktif kloru 1.4-2.8 ppm'den 0.25 ppm'den daha aşağıya düşürmüştür (Muna, 2008).

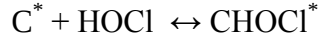
2.3.3. Aktif Karbon ve Klor Etkileşimi

Granüle aktif karbon (GAK) hindistan cevizi kabuğu, zift kömürü, şeftali çekirdeği, ağaç, kemik ve çok yüksek sıcaklığa (proliz) maruz kalan linyit gibi farklı organik materyallerden elde edildikten sonra granüle aktif karbonun küllerle kaplı yüzeyi asitle yıkanarak adsorplama yeteneği artırılır. Tüm aktif karbonlar asitle yıkanmalıdır, özellikle kemik, ağaç ve kömürden türetilen karbonlar.

Granüle aktif karbon klor gidermede geniş ölçüde etkili ve güvenilirdir. Karbonun klor giderim kapasitesini sadece adsorpsiyon parametreleriyle açıklamak yetersiz kalacaktır. Granüle aktif karbon klor iyonunun ve hipokloröz asidin indirgenmesi için katalizör olarak davranır. Bazı işletmeler süper klorinasyon işlemine (>10 ppm) ihtiyaç duyabilmektedir. Sularda serbest klor hipokloröz asit verecek şekilde reaksiyona girer. Hipokloröz asit su içerisinde hipoklorit (OCl⁻) iyonunu verecek şekilde bozunur. Bu aktif olarak dezenfektan olan serbest klor formudur.



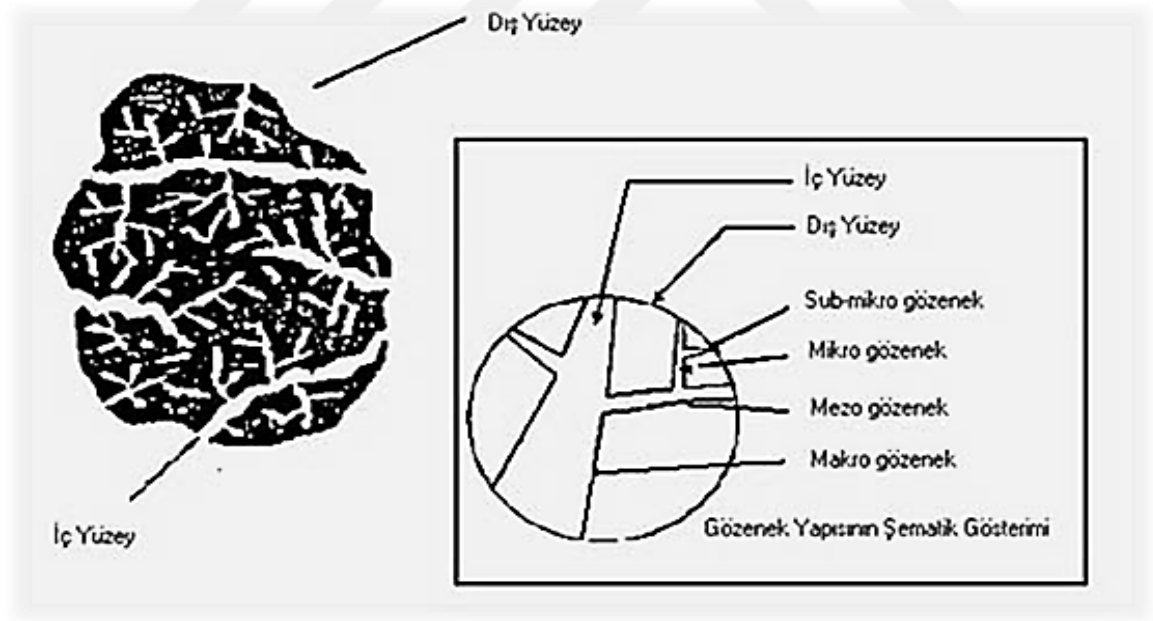
Aktif karbon sulara koku ve tat veren çözülmüş organik maddelerin adsorpsiyonu için sıklıkla kullanılmaktadır. Deklorinasyon için ise sadece adsorpsiyon değil hipokloröz asidi giderme amacıyla kimyasal reaksiyon da gerçekleşmektedir. Magee ve Puri serbest klor ve karbon arasındaki reaksiyonu ayrıntılı olarak incelemiş ve aşağıdaki denge reaksiyonu önermiştir (Magee., 1956 ve Puri., 1970);



Bu basamağı aşağıda verilen tekyönlü bozunma reaksiyonu takip eder;



Burada C^* aktif karbon, CO^* karbondaki yüzey oksidini ve $CHOCl^*$ karbon yüzeyine adsorbe $HOCl$ molekülünü temsil eder. Karbon yüzeyinde oksit oluşumları arttıkça reaksiyon hızı azalacaktır. Magee serbest klorun aktif karbon ile ilişkili olduğunda karbon yüzeyinde Cl içeren türler biriktiğini göstermiştir. Şekil 2.3 Aktif karbon gözenek yapısı görülmektedir.



Şekil 2.3 Aktif karbon gözenek yapısı

Granüle aktif karbon olarak sık sık bahsedilen karbon ortamı, adsorpsiyon olarak belirtilmiş bir kimyasal süreç aracılığıyla besleme suyundan neredeyse mevcut tüm klor, klor amin, pestisitler ve 60-300 dalton büyüklüğündeki diğer organik maddeleri tutacak şekilde tasarlanmaktadır. Giriş su akış hızı granüle aktif karbon aracılığıyla düştüğünden çözelti karbonun porları içerisinde akıştan difüze olur ve adsorplanır veya yapıya tutunur. Kullanılan aktif karbon besleme suyundan 0.1 mg/lt'den daha az klor ve klor amin konsantrasyonunu azaltma kapasitesine sahip olmalıdır. Bu değeri sağlayamıyorsa aktif karbon doygunluğa ulaşmıştır ve yenisiyle değiştirilmelidir. Rejenere aktif karbon filtrenin kullanımı diyaliz hastaları için toksin olabilecek kirlilikleri tutabileceğinden önerilmemektedir (Water Guadelines, 2008).

Aktif karbon filtrede yeterli temas süresi (boş yatak temas süresi, BYTS) klor ve klor aminleri adsorplamak için gereklidir. BYTS değeri klor giderimi için 6, klor amin giderimi için 10 dakikadan az olmamalıdır (Canaud vd., 2000). BYTS klor ve klor aminin her ikisini gidermek için AAMI tarafından tavsiye edilir. İngiliz birim sistemi kullanarak BYTS değeri aşağıda verilen eşitlik yardımıyla belirlenebilir.

$$BYTS = (V \times 7.48) / Q$$

Q: Giriş akış hızı (dakika başına galon sayısı, gpm),

V: Karbon hacmi (ft³),

BYTS: Boş yatak temas süresi (dk.)

Granüle aktif karbon zamanla doygunluğa ulaşır ve klor giderimi yeterli olmaz. Karbon filtrenin doygunluğa gelmesi ani olarak da gelişebilir ve karbon tankı çıkış suyunda klor seviyesinin artması ile sonuçlanır. Ayrıca karbon tankında oluşabilecek bakteri seviyesini minimize etmek için 6 aydan daha fazla süre klorlanmış suya maruz bırakılmaması önerilmektedir. Yüksek organik madde içeriği ve klor giderilmiş ortamdan dolayı biyolojik kirlenme granüle aktif karbon ile önemli bir problemdir.

2.4. Hemodiyalizde Mikrobiyal Kontaminantlar

Diyalizde kullanılan su, içme suyundan daha yüksek kalite standartlarını yerine getirmelidir. İlgili literatürler incelendiğinde kimyasallar veya mikroorganizmalar ile suyun kontamine olduğu gerçeği dünya genelinde birçok klinikte gösterilmiştir.

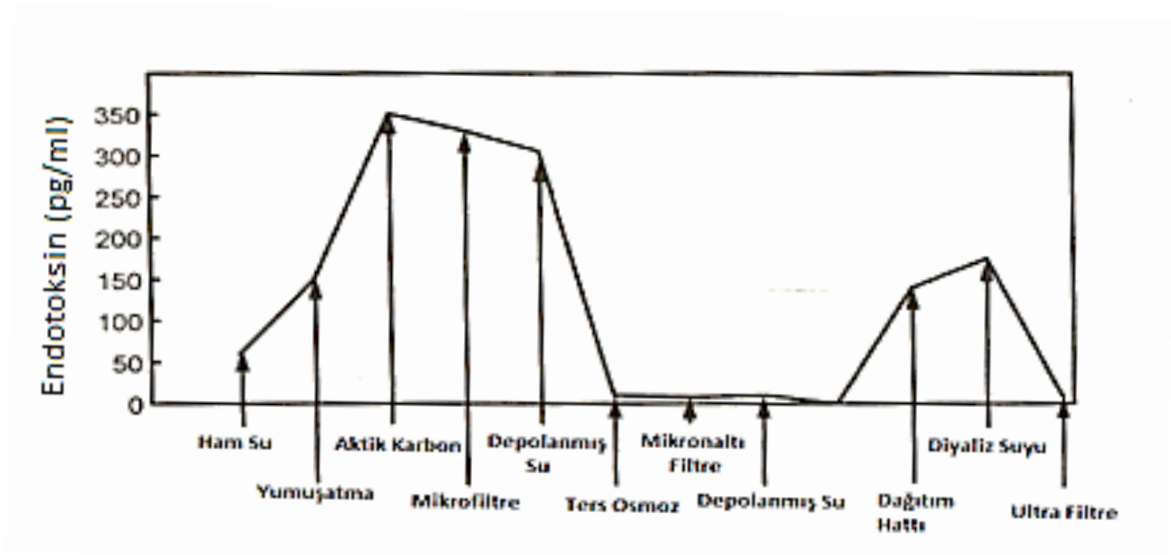
Hemodiyaliz suyunun ve diyaliz sıvısının mikrobiyolojik saflığı hemodiyalizle ilişkili kronik enfeksiyonu engellemek için, hemodiyalizden doğacak ikincil amiloidozun azalması için, pirojen reaksiyonların baskılanması ve kronik renal yetersizliği takiben aneminin kontrolünü geliştirmek için önemli olduğu gösterilmiştir (Sitter vd., 2000). Bu problemler temel olarak bakteri endotoksinleri ve bakteri türevi ürünlerin varlığından dolayıdır (Canaud vd., 2000).

Diyaliz seansında kullanılan su, enfeksiyon geçişinden sorumludur (Camargo vd., 2001; Rath vd., 2000). Organik ve inorganik besinleri kullanabilen bakteriler tüp ve filtre sisteminin iç yüzeyi nemli olduğu için adsorpsiyon aracılığıyla kolayca biyofilm oluştururlar. Biyofilm büyümesi ve ayrılması saf su sisteminde planktonik bakterilerin varlığını açıklar ve biyofilm gelişimi hemodiyaliz suyunun kontaminasyonuna sebep olabilir. Aktif karbonda biyofilm oluşumu tüm hücre immobilizasyonunun mükemmel bir örneğidir. Bakteri glikokaliks olarak adlandırılan karmaşık fiberleri oluşturur ve bu matriks tarafından yüzeye tutunurlar (Mc-Feters vd., 1993).

Böyle biyofilm tarafından üretilen bakteriyel fragmentler diyaliz membranından geçebilir ve hastada enfeksiyona sebep olabilir. Hemodiyaliz merkezleri tarafından kullanılan su yeraltı veya yerüstü sularından türetilen şehir şebeke suyundan elde edilir. Her iki kaynakta yüksek bakteriyel ve endotoksin konsantrasyonu içerebilir. Bu nedenle diyaliz sıvısının başlıca mikrobiyal kontaminantları sudaki maddelerden meydana gelmektedir. Bunlar gram negatif bakteri ve nontüberküloz nanobakterilerdir (Carson vd., 1978). Hemodiyaliz sistemleri için dezenfeksiyon stratejileri gram negatif bakterileri hedefler, bakteri kimyasal germisitlere maruz kalarak inaktive olabilmesine rağmen bakteriyel endotoksinler hemodiyaliz sistemlerinde kalabilirler. Endotoksinler bakteri tarafından salınırlar ve bakteri ortamda bulunmasa bile su içerisinde bulunabilirler. Nontüberkülozmiko bakteri endotoksin üretmemesine rağmen onlar gram negatif bakteri ile kıyaslandığında kimyasal germisitlere daha dirençlidir. Buna ek olarak su arıtım sisteminin tüm basamakları (UV lambalar hariç) bakteri ve endotoksin konsantrasyonu barındırabilir (Faverp vd., 1975).

Suyun mikrobiyal kontaminasyonu diyaliz hastaları için önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Bununla beraber birden fazla antimikrobiyal ajanlara dirençli mikroorganizmaların ortaya çıkması ile geliştirilmiş dezenfeksiyon yöntemlerine talep artmaktadır. Şekil 2.4’de ham sudan diyaliz sıvısı dağıtım hattına kadar bir su arıtma sistemde yer alan her bir ekipman sonrası endotoksin konsantrasyon profili yer almaktadır (Canaud vd., 1996). Endotoksin konsantrasyonunun en yüksek olduğu yerin aktif karbon çıkışı olduğu açıkça görülmektedir.

Ucuz ve bol olmasının yanında kloru etkili adsorplama yeteneğine sahip olmasından dolayı da tercih edilen aktif karbonun gözenekli yapısı akış kuvvetlerinden korunaklı girintiler oluşmasını neden olur. Bu girintiler ve yüzeydeki fonksiyonel grupların çeşitliliği bakteri için iyi bir üreme alanı halini alması aktif karbonun en büyük dezavantajıdır (Sodha vd., 2011). Burada oluşan mikrobiyal kirlilik sistemin geri kalanı için kirlilik yükü, hastalar için ise risk teşkil etmektedir. Şekil 2.4 Su saflaştırma sistemine ait ekipmanların endotoksin konsantrasyonu. Şekilde de görüldüğü gibi bakteriyel endotoksin açısından en büyük riski aktif karbon oluşturmaktadır.



Şekil 2.4 Su arıtma sisteminin endotoksin konsantrasyonu (Canaud vd., 1996).

2.5. Nanopartiküllerin Özellikleri ve Antimikrobiyal Etkileri

Antibiyotiklerin patojenlere karşı artan direncinin son yıllarda ciddi sağlık sorunlarına yol açtığı bilinmektedir. Sürekli değişen bakteri direncine ayak uydurmak için antibiyotik gelişimine yeni yaklaşımlar gerekmektedir ve nanoteknoloji de buna şans sunmaktadır (Giannousi vd., 2014). Nanoteknolojinin birçok biyomedikal problemlere çözüm olması tıp ve sağlık gibi alanlarda devrim niteliğinde olabilir (Curtis ve Wilkinson, 2001). Nanopartiküllerin antibakteriyel etkileri son yıllarda antibiyotik dirençli bakterilerin giderilmesi amacıyla yoğun olarak araştırılmaktadır. Gelişmiş etkinliklerine dayanılarak nanopartiküller kanser ile mücadelede (Stoimenov vd., 2002), yeni ilaçlarda ve bakteri gibi insan patojenleri ile mücadelede kullanılmaktadırlar. Geçiş metal oksitlerden farklı boyutlarda, farklı kimyasal bileşimlerde ve farklı yapılarda nanopartiküllerin kontrollü sentezi nanobilim ve nanoteknoloji alanındaki gelişim açısından çok önemlidir. Bu geçiş metal oksit nanopartiküller sadece temel bilimsel araştırmalar için değil, benzersiz fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeniyle çeşitli pratik uygulamalar için de fazlaca dikkat çekmektedir.

Metal oksit partiküller hem ticari hem kişisel ürünlerin üretiminde genişleyen uygulama alanına sahiptir. Metal partiküllerin (özellikle metal oksit partiküller) ki bunlar Ag, Cu, Au, Mg ve Zn başta olmak üzere mükemmel antimikrobiyal etki gösterdiği ve biyomedikal endüstrisinde antimikrobiyal partiküllerin kullanılabileceği yapılan çalışmalarda belirtilmektedir (Dizaj vd., 2014).

Metal oksit partiküllerin antibakteriyel etkisi temel iki parametreye bağlıdır. Bunlar partikülün fizikokimyasal özellikleri (boyut, kompozisyon, stabilite ve konsantrasyon) ve bakterinin türüdür (hücresel zarlarındaki nano ölçekli gözeneklilikleri) (Hajipour vd., 2012).

Bazı çalışmalarla metal oksit partiküllerin bakteri hücre zarının mevcut gözeneklerinden geçerek bakteri büyümesini sınırlandırdığı (Lin vd., 1998) ve bakteri hücre zarından geçen bu nanopartiküllerin bakterinin hayati enzimlerine zarar verdiği belirtilmiştir (Kim vd., 2000).

2.5.1. Gümüş Partiküllerin Kullanım Alanları ve Antimikrobiyal Özellikleri

Gümüş, Antik Yunan zamanlarından beri antibakteriyel aktivitesi bilinen bir geçiş metalidir. Günümüzde bu geçiş metalin araştırılması antibiyotiklere karşı aşırı bakteri direnci nedeniyle önem kazanmıştır. Gümüş nanopartiküller yeni ortaya çıkan olağandışı morfoloji ve karakteristik özellikleriyle yeni mühendislik teknolojilerinin konusudur (Warheit vd., 2007).

Nanoteknolojinin hızlı gelişimiyle uygulamalar daha da gelişmiştir ve günümüzde gümüş, tüketim ürünlerinde çok yaygın olarak kullanılan nanomateriyallerden biri olmuştur (Rejeski, 2009). Giyim, havalandırma, ev tipi su filtreleri, antimikrobiyal spreyler, kozmetik, deterjanlar, ayakkabılar, cep telefonları, bilgisayar klavyeleri ve çocuk oyuncakları gümüş nanopartiküllerin antimikrobiyal özelliklerinden faydalandığı mevcut perakende ürünlerdir.

Gümüşün geniş spektrumlu antimikrobiyal özellikleri onun biyomedikal uygulama, su ve hava saflaştırma, gıda üretimi, kozmetik, paketlenme, su filtre materyalleri, tekstil ürünleri ve sayısız ev ürünlerinde kullanımını teşvik etmiştir. Gümüş partikül içeren materyallerin antibakteriyel aktivitesinden dolayı tıpta yanık tedavisinde enfeksiyonları azaltmak için, protezler, kataterler, vasküler greft ve diş hekimliğinde kullanılmaktadır. Ayrıca gümüş parçacıklar HIV ile enfekte hücrelere karşı güçlü bir sitoprotektif etkinlik sergilemektedir (Panacek vd., 2006). Çeşitli çalışmalarda, gümüş iyonlarının prokaryotik mikroorganizmalar için seçici olarak toksin olduğunu ve ökaryotik hücreler üzerinde çok az toksin etkiye sahip olduğu gösterilmiştir (Park ve Jong, 2003). Gümüş iyonları dental ve biyomedikal uygulamalarda kullanılır (Melo vd. ark., 2013). Belli dizi ve şekildeki gümüş partiküllerin bakteri ve virüslerle benzersiz etkileşimleri görülmüştür. Polimerlere, granüler aktif karbona, seramik filtreye, membran filtreye bağlanmış gümüş oksit nanopartikülleri su dezenfeksiyonu amacıyla inceleme konusu olmuştur (Rujitanaroj vd., 2010).

Son yayınlarda gümüş nanopartiküllerin sentezi ve antibakteriyel özellikleri incelenmiştir. Gümüş nanopartiküllerin hem gram pozitif hem de gram negatif bakterilerinin giderilmesinde mükemmel antibakteriyel etkisi olduğu gösterilmiştir (Quang vd., 2013). İndikatör bakteri olarak *E.coli*'nin incelendiği bir çalışmada, %0.5'den daha az gümüş içeren ortamda *E.coli*'nin 5 dakikada inaktif olduğu belirtilmiştir (Shi vd., 2010).

Gümüş partiküllerin antimikrobiyal etkisinde yaygın olan 3 mekanizma vardır. Bunlar; serbest gümüş iyon alımı, reaktif oksijen türü (ROT) üretimi, gümüş nanopartiküllerin direk hücre membranı hasarı oluşturmaları olarak tanımlanmaktadır.

İyonik gümüşün de antimikrobiyal özellikleri bilinir. Gümüş partiküllerinden ayrılan gümüş iyonları gümüş partiküllerinin antibakteriyel özelliklerinin en azından bir kısmından sorumlu olduğu düşünülmektedir. Yapılan bir çalışmada, Ag^+ iyonlarının pozitif yüklenmesinin antimikrobiyal etki için önemli olduğunu göstermiştir ve bu çalışma sonucunda pozitif yüklenmiş Ag partiküller ve negatif yüklenmiş bakterinin hücre membranı arasında elektrostatik çekim olduğu söylenmiştir (Kim, 2007; Raffi, 2008). Örneğin çözünen metal atom dispersiyon metoduyla hazırlanan yüksek yüzey alanlı gümüş partikül tozundan ayrıştırılmış gümüş iyonları bakteri ile etkileşmiş ve bakteri hücrelerini yok etmiştir (Smetana ve Foster, 2009).

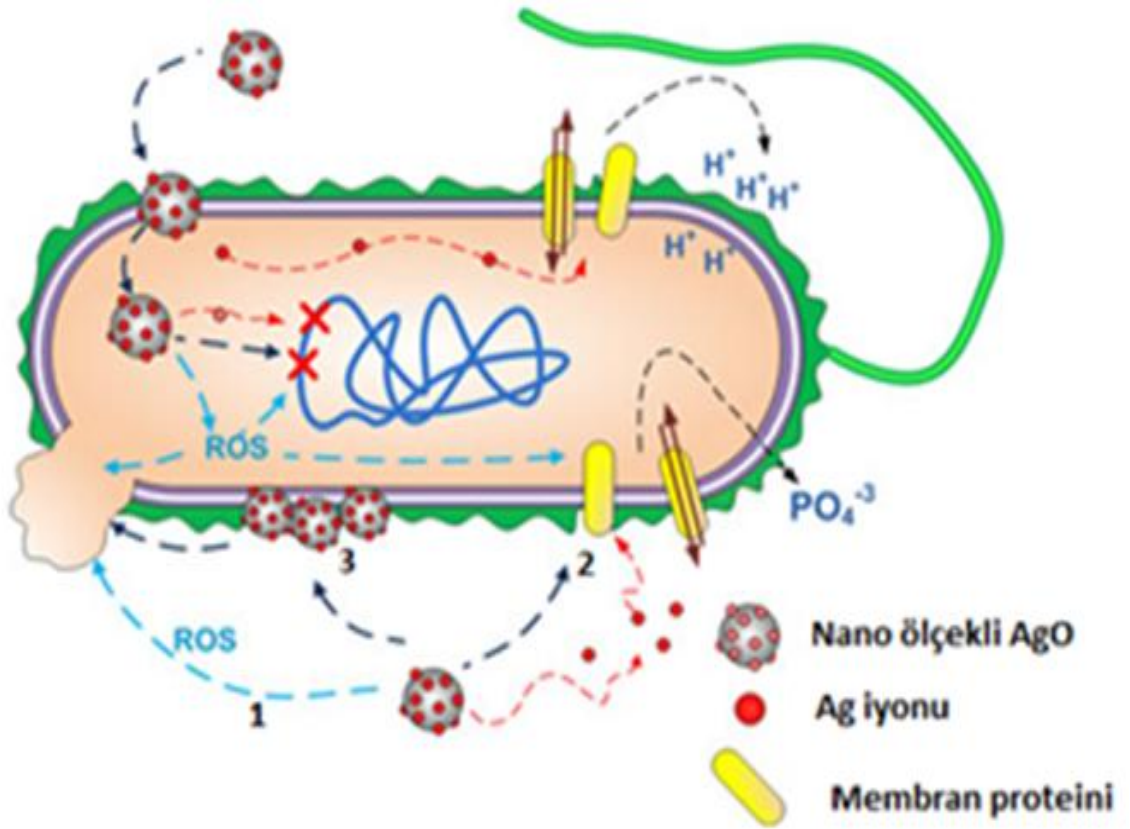
Yapılan diğer bir çalışmada gümüş destekli aktif karbon fiberlerin bakteriyel aktivitesi gümüş iyonunun, süperoksitlerin ve hidrojen peroksidin sinerjik aktivasyonuna katkı sağladığını göstermiştir (Le Pape vd., 2002).

Konuyla ilgili yapılan bir başka çalışmada ise, bakteri membranının zarar görmesi ve yapısal değişikliklerin hücre ölümüne yol açtığını belirtilmiştir. Gümüş partikülleri ile teması geçen bir bakteri hücresinin Ag^+ iyonlarını aldığı ve büyük olasılıkla Ag^+ 'ün resipratör enzimi inhibe ettiği ve böylece serbest radikallerin oluşmasını sağlayarak hücre membranına zarar verdiği ileri sürülmüştür (Sondi, 2004).

Reaktif oksijen türü (ROT), soluyan organizmaların metabolizmasının doğal yan ürünüdür. Serbest radikal grupların fazla üretilmesi membran lipidine saldırabilir ve membran mitokondriyal fonksiyonun yıkılması veya DNA hasarına sebep olabilir (Mendis vd., 2005). Metaller katalitik olarak davranır ve çözünmüş oksijen varlığında ROT üretirler. Gümüş partiküller aşırı serbest radikal ürüne sebep olan oksijen ile reaksiyonu katalizleyebilir. Gümüş partiküllerden veya gümüşün yüzeyinde kimyasal sorbent ile ayrılan gümüş iyonları elektron alıcı olarak çalışan ROT üretiminden de sorumlu olabilir.

Yapılan bir çalışmada araştırmacılar, spin rezonans ölçümü aracılığıyla gümüş partiküllü serbest radikallerin varlığını belirlemişlerdir. Sonuç olarak *S.aureus* ve *E.coli*'ye karşı Ag nanopartikülün antimikrobiyal metabolizmasını gümüş nanopartikülün yüzeyinde var olan serbest radikal oluşumuyla membran hasarını içeren sonraki serbest radikal ile ilişkili olduğunu göstermiştir (Kim vd., 2007).

Gümüş partikülleri bakteri membranı ile etkileşir ve hücre içerisine penetre olabilir. TEM (Taramalı Elektron Mikroskopi) verileriyle Ag nanopartiküllerin *E.coli* hücresi içerisine penetre olabildiğini gösterilmiştir (Choi vd., 2008). Hücre içerisine penetre olabilen ve sitoplazmik membran ile Ag partikül etkileşimin detaylı mekanizması tamamen belirlenememiştir. Gümüş nanomalzemeler ile bakteri hücresi arasındaki etkileşimler Şekil 2.5’de kavramsal olarak gösterilmiştir.



Gümüş nanopartiküllerinin antibakteriyel özelliklerinin en büyük mekanizması gümüş nanopartiküllerin bakteri hücre duvarlarını delerek hücre içinde sabitleyici olmasıdır. Gümüş nanopartiküller hücre canlılığı ve bölünmesi için kritik rolü olan anahtar peptisubstratlarını fosforlayarak hücresel sinyalleri düzenler. Gümüş oksit partiküllerin üzerindeki gümüş iyonlarının salınımı da antibakteriyel etki üzerinde etkin rol oynar. Gümüş oksit partiküller hücre duvarındaki membran proteinleriyle etkileşebilir.

2.5.2. Bakır Nanopartiküllerin Kullanım Alanları Ve Antimikrobiyal Özellikleri

Cu partikülleri düşük üretim maliyeti, kendilerine özgü biyolojik, kimyasal ve fiziksel özellikleri nedeniyle birçok uygulama alanı bulmuştur (Dey vd., 2012). Bakır oksit partikülleri gaz sensörleri, katalizörler, güneş enerjisi, magnetik depolama ortamı, süper iletkenler ve seramik pigmentler, fotodedektörler, inorganik kirleticilerin giderimi dâhil birçok alanda yaygın şekilde kullanılmaktadır (Zhang vd., 2014; Padil ve Cernik, 2013). Ayrıca CuO partiküller sıvıların termal iletkenliğini arttırmak için ısı transfer sıvılarında kullanılırlar. CuO partiküllerinin süper hidrofobik özellikleri ile bu materyalleri yüzey koruma, tekstil ürünleri ve yağ-su ayırma gibi alanlarda kullanımı araştırılmaktadır (Mumm vd., 2009).

Bakır ve bakır kompleksleri su arıtımında algisit, fungusit ve antibakteriyel etkilerinden dolayı yüzyıllardır kullanılmaktadır (Tiwari vd., 2008). CuO nanopartiküllerinin antimikrobiyal etkisi gümüş partiküllerin etkisine benzer şekilde literatürde tanımlanmıştır. Cu iyon salınımının CuO nanopartiküllerin hücresel etkisi üzerinde önemli faktörlerden biri olduğu bilinmektedir. Luna-delRisco ve ark arkadaşları (2011) CuO partiküllerin toksisitesinin kısmen de olsa Cu iyonlarının çözünmesi nedeniyle oluşabileceğini tartışmışlardır.

Dey vd. (2012) CuO partiküllerin neden olduğu ve yaygın olarak kabul edilen iki toksisite örneğinin; ROT ve hücrede oksidatif stres indüksiyonu olduğunu ifade etmişlerdir. Antimikrobiyal oksidatif stres yaygın olarak, iç membranda elektron akışının bozulması, mikrobiyal membran potansiyelinin dağılması ve mitokondriyal Ca^{+} alımı dâhil birçok mitokondriyal işlev bozukluğunun sonucudur.

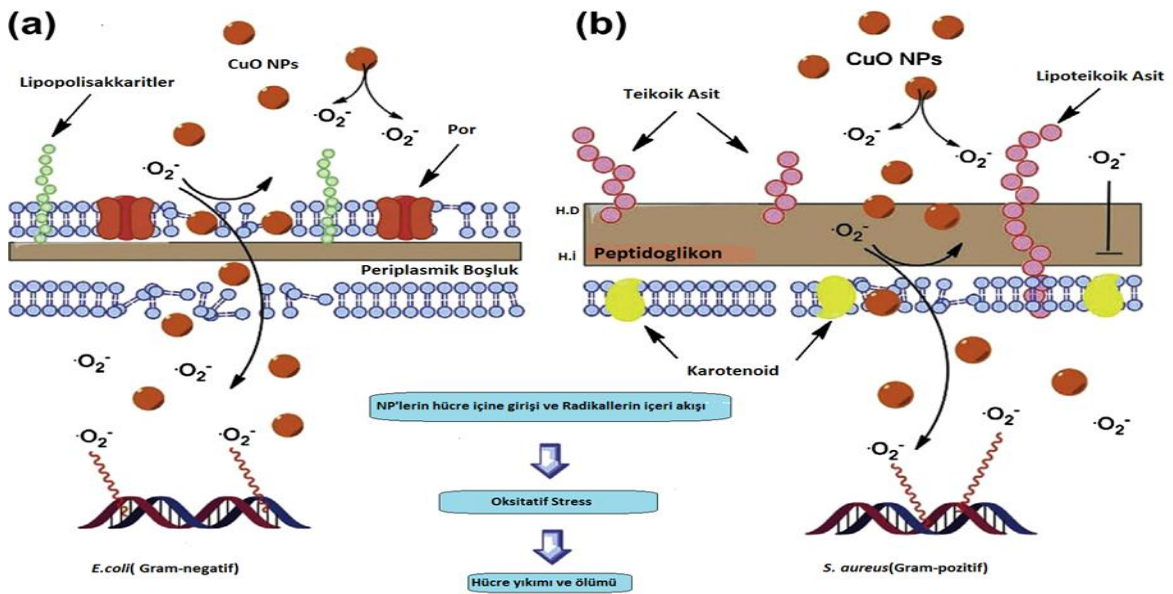
Applerot vd. (2012) yaptıkları çalışmada CuO partiküllerin güçlü antimikrobiyal aktivitesinin, intraselüler oksidatif stresin artmasına neden olan, bakteriyel hücrelerle etkileşen nanopartiküllerin ürettiği ROT nedeniyle oluştuğunu belirtmişlerdir. CuO'nun

antimikrobiyal etki mekanizması yollarından olan reaktif oksijen türlerinin hücre içine akışı sonrasında oksidatif stresin oluşumu Şekil 2.6’ de gösterilmiştir.

CuO partiküllerinin gram negatif ve gram pozitif bakteriler üzerindeki antimikrobiyal etkisi farklıdır. Bunun nedeni gram negatif ve gram pozitif bakteri arasındaki temel yapısal farklılıklardan kaynaklanmaktadır. İki hücre arasında ki temel farklılıklar, sert peptidoglikan tabakasının kalınlığı ve gram negatif hücrelerde bir dış membranın varlığıdır. Gram negatif hücrelerin çok ince bir peptidoglikan yapısı vardır, oysa gram pozitif hücrelerde bu yapı çok kalındır. *S.aureus*’un karotenoid pigmentleri hücre zarı için bütünlük sağlar ve oksidatif strese karşı direncini artırır. Bakır oksit parçacıklar özellikle *E.coli* hücrelerine karşı üstün antibakteriyel etki gösterirler.

2.6. Nanopartiküllerin Çevresel Riskleri

Partiküllerin nano seviyelerde kullanımı avantaj sağladığı kadar bir takım risklerde oluşturabilmektedir. Çoğunlukla metal partiküllerin toksisitelerinin belirlenmesinde partiküllerin boyutları önemli rol oynar. Çünkü nanaopartiküller o kadar küçüktür ki onlar hücre membranına penetre olabilirler ve hücre içi komponentler ile toksik reaksiyonlara neden olabilirler. Partiküllerin konsantrasyonunda toksisite için önemlidir. Yüksek konsantrasyonlardaki nanopartiküller düşük konsantrasyonlardaki partiküllere göre hücre için daha toksik olabilirler (Shukla, 2005).



Şekil 2.6 CuO nanopartiküllerin antimikrobiyal mekanizması

Giderek yaygınlaşan bu ürünlerin oluşturacağı çevresel riskler birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Memeli hücreler de gümüş nanopartikül toksisitesi *in vivo* etkisinin incelendiği bir çalışma sonucunda; ratlarda 90 günlük soluma çalışmalarında gümüş partiküller akciğerlerde enfeksiyonel lezyon üretimini ve akciğer fonksiyonunu azalttığı, ilerleyen süreçte ise gümüş nanopartiküller Rat'ın koku soğancıklarında ve beyinde biriktiğini belirtmiştir (Sung vd., 2008).

CuO partiküllerin toksisite mekanizması hala tartışılmaktadır. Yazarlar, CuO'nin toksisitesini, metal oksit partiküllerin sahip olduğu çözünür metal iyonlarına bağlamışlardır (Aruoja vd., 2009). Rousk vd. (2012), toprak bakterileri üzerinde CuO'lerin aşırı toksisitesini ve makropartikül formun non-toksitesini gösterdi. Horie vd. (2012), Cu iyon salınımının CuO partiküllerin hücresel etkisi üzerinde en önemli faktör olduğunu belirtmişlerdir. CuO partiküllerin partikül boyutunun ve spesifik yüzey alanının hücresel etki üzerine direk olarak etkisi olmadığı gösterilmiştir.

Bakırın partikül formunda aktif olarak vücuttan atıldığı bilinirken, Ag vücut içinde birikebilir. Fakat bu metallerin zehirlenmelere sebebiyeti çok açık değildir (Seetharam vd., 2006).

İnsan için nanoteknoloji ürünlerinin muhtemel toksisitesi ile ilgili bilgi sınırlıdır (Seetharam vd., 2006). Partiküllerin insan üzerindeki toksisitesini araştıran Song vd. (2009), uzun süre partiküllere maruz kalmanın akciğerlerde hasara neden olabileceğini söylemişlerdir. Partiküller akciğerlerin derin alanlarına veya cilt ve kan-beyin bariyerleri gibi vücut bariyerlerine kolaylıkla geçebileceği ve diğer organlara taşınabileceği belirtilmiştir (Scenen vd., 2011). Ancak bu partiküller insan vücudunda alveolar makrofaj sayesinde etkili olarak fagosit edilemediği ifade edilmiştir (Zhang vd., 2014). Partiküllerin birikimi ve depolanması akciğer iritasyonuna, kronik akciğer iltihaplanmasına, astımın alevlenmesi gibi hasarlara neden olacağı belirtilmiştir.

Metal partiküllerin insandaki toksisitesi üzerine yapılan bir diğer çalışmada Yamawaki ve Iwai (2006), partiküllerin insan umbilikal ve epitel hücrelerinde morfolojik değişikliklere neden olduğunu göstermişlerdir. Nanoteknolojinin güvenli kullanımı biyolojik sistemler ve bu materyaller arasındaki etkileşimi anlamayı gerektirir (Pankhurst, 2003). Ayrıca gelecekte nanopartiküllerin antimikrobiyal etkilerinin maksimum, toksisitenin ise minimum olacağı söylenmektedir (Oyar, 2014).

Metal partiküllerle direk maruz kalan araştırmacılar kendilerini korumak için gerekli önlemleri almalıdır. Laboratuvar önlüğü, lastik eldiven, maske ve koruyucu gözlükler alınabilecek minimum önlemlerdir.

Eğer olası aerosole maruz kalma durumu varsa, çeker ocak veya hava-temizleyen gaz maskeler işletim sırasında mutlaka bulundurulmalıdır. Çalışmadan sonra eller mutlaka doğru bir şekilde temizlenmelidir.

2.7. Literatür Özeti

Nano teknolojik tabanlı su arıtma teknolojilerinin ekonomik olması ve çevreye olumlu etkilerinden dolayı yakın gelecekte önemli araştırma alanı olacağı öngörülmektedir (Liv vd., 2008). Antimikrobiyal etkilerinden dolayı su dezenfeksiyonunda AgO ve CuO nanopartiküllerinin etkileri birçok çalışmada incelenmiştir.

Panacek vd. (2006), tek aşamalı olarak elde ettikleri gümüş kolloit nanopartiküllerini gram pozitif ve gram negatif bakterilere karşı etkinliğini araştırmıştır. Metisiline dirençli olan *S.aureus* gibi gram negatif ile gram pozitif bakterilere karşı çok düşük bir gümüş konsantrasyonunda bile (1.69 µg/mL) antibakteriyel etki gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Bandyopadhyaya vd. (2008), gümüş nanopartikül gömülü aktif karbon ile sularda bulunan *E.coli* inhibisyonunu incelenmiştir. Çalışmada 30 saniyedenden daha az bir sürede *E.coli* konsantrasyonunda azalma olduğu görülmüştür ve gümüş partikül ile kaplanan granüler aktif karbon kazandığı antibakteriyel özelliğinden dolayı kaliteli içilebilir bir su üretmek için kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Gümüş partikül ile kaplanmış aktif karbon fiberlerinin antibakteriyel aktivitesini araştıran araştırmacılar çalışma sonucunda *K. Pneumoniae* ve *S. aureus* büyümesine nanopartiküllerin güçlü antibakteriyel etkisi olduğu söylemişlerdir (Kim ve Park, 2008).

Park vd. (2003), Ag(NO₃)₂ çözeltisine daldırılmış aktif karbon liflerinin antibakteriyel etkilerini *E.coli* ve *S.aureus*'a karşı incelemişlerdir ve güçlü bir antibakteriyel etkinliğe sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Padil ve Cernik (2013), göre bakır ve bakır oksit nanopartikülleri *E.coli*, *B. subtilis*, *V. cholera*, *P. aeruginosa*, *S. typhus* ve *S. aureus* gibi enfeksiyon yapan mikroorganizmalara potansiyel antimikrobiyal maddedir.

Mahapatra vd. (2008), göre *K.pneumoniae*, *P.aeruginosa*, *S.paratyphi* ve *S.strains* bakteri türlerine karşı bakır oksit partiküllerinin antibakteriyel etkiye sahiptir.

Yazarlar, dört farklı metal oksit (CuO, NiO, ZnO ve Sb₂O₃) partikülün *E.coli*, *B.subtilis* ve *Streptococcus aureus*'a karşı antibakteriyel etkisini araştırmış ve bu bakterilere karşı en büyük antibakteriyel etkiyi Cu₂O'nun gösterdiğini belirtmişlerdir (Baek ve An, 2011).

Azam vd. (2012), CuO partiküllerini iki gram-pozitif bakteri (*S. aureus* ve *B. subtilis*) ve iki gram-negatif bakteri (*E.coli* ve *P. aeruginosa*) suşuna karşı antibakteriyel aktivitelerini araştırmışlardır. CuO partikülleri bahsedilen her iki grup bakteri için inhibisyon gösterdiğini ve metal partiküllerin çoğu bakteri hücrel membranında bulunan nanometrik gözeneklerden geçerek bakteri üremesini kısıtladığını belirtmişlerdir.

Kim vd. (2008), bakır ve gümüş parçacıklarıyla kaplanmış aktif karbon fiberlerinin *S.aureus* ve *K.pneumoniae*'ye karşı antibakteriyel davranışlarını araştırmışlardır ve hücre konsantrasyonunun %99 azaldığını ve metal partikül kaplı aktif karbon fiberlerinin su arıtımı için iyi bir yöntem olduğunu ifade etmişlerdir.

Ayrıca metal partikülleriyle kaplanmış aktif karbonlarla çeşitli kirleticilerin gideriminin incelendiği araştırmalarda metal partiküllerin adsorpsiyon verimini arttırdığı ifade edilmektedir (Fan ve Anderson, 2005; Gicheva ve Yordanov, 2013).

Çeşitli bakteri türleri için bakır ve gümüş oksit partiküllerinin antimikrobiyal etkilerinin araştırıldığı birçok araştırma literatürde mevcuttur (Ahamed vd., 2014; Ruparelia vd., 2007). Bu çalışmaların ortak fikri bakır oksit ve gümüş oksit partiküllerinin önemli bir antimikrobiyal etkiye sahip olduğu ve farklı alanlarda kullanımı için uygun olacaktır.

Yu-sen vd. (1996), hastanelerde sıcak su dolaşım sistemlerinde *L.pneumophila* gideriminde yeni bir dezenfeksiyon yöntemi olarak bakır/gümüş iyonlarının kullanımını incelemişlerdir. Diğer giderim yöntemlerine göre daha avantajlı olan bakır ve gümüş iyonlarının birlikte kullanıldığı durumda etkin bir şekilde hastane sularından *L.pneumophila*'nın giderilebileceğini söylemişlerdir.

Shimabuku vd. (2016), içme sularından virüs giderimi için yüzeyi gümüş ve bakır oksit partikülleri ile kaplanmış granüler aktif karbonun etkinliğini incelemişlerdir. Gümüş ve bakır oksit partikülleriyle modifiye edilmiş granüler aktif karbonun içme sularından

virüs giderimi için kullanılabileceğini söylemişlerdir. Ayrıca modifiye edilmiş granüler aktif karbonun uzun ömürlü olabileceğini söylemişlerdir.

Bizim yaptığımız çalışmada, hemodiyaliz sularında bakteri üremesi ve buna bağlı olarak endotoksin salınımında önemli bir sorun olan aktif karbon filtrelerde antimikrobiyal özelliğe sahip geçiş metal oksitlerinin kullanımı incelemiş bulunmaktayız. Bu amaçla literatürde tanımlanmış çeşitli yöntemlerle hazırlanan bakır ve gümüş metal oksitler ticari bir aktif karbon üzerine yüklenmiş ve bir hemodiyaliz ön arıtım su arıtım ünitesinde sürekli olarak mikrobiyal kirlilik takip edilmiş ve ortam parametrelerinin değişimi incelenmiştir.



3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Günlük ortalama 500 lt su üretecek kapasiteye sahip su saflaştırma sisteminin ön arıtım elemanları kullanılmıştır ve bu elemanlar Fresenius Medical Care Türkiye firmasından temin edilmiştir.

3.1.1. Partikül Filtre

Tek katmanlı 5-25 mikron filtrasyon hassasiyetinde olup %100 pamuktan imaldir. Diyaliz için su saflaştırma amaçlı kullanılan pamuk iplik, 20 inç, propilen gövdeli bir filtre kullanıldı.

3.1.2. Yumuşatma Ünitesi

8x22 inç yumuşatma tankı, özellikleri Tablo 3.1’de verilen reçine ile dolduruldu. Bu ünite su içerisinde sertliğe neden olan +2 değerlikli iyonların sudan uzaklaştırılması için kullanıldı. Reçinenin rejenrasyonu elektronik kontrol ünitesi yardımıyla her 500 lt su geçirildikten sonra doymuş tuz çözeltisi yıkamasıyla yapıldı.

Tablo 3.1 Reçine özellikleri

Polimer matriks yapısı	Çapraz bağlı polistiren divinilbenzen
Fiziksel şekil ve görünüş	Temiz küresel boncuklar
Bütün boncuk sayısı	%90 min.
Fonksiyonel grup	R-SO ₃ ⁻
İyonik form	Na ⁺
Sevkedilen	850 g/l
Elek büyüklüğü	16-50 mesh
Partikül boyut aralığı	+ 1.2 mm <%5, -0,3 mm < %1
Nem tutma, Na ⁺ formu	%46-50
Genişleme Na ⁺ → H ⁺ / Ca ⁺⁺ → Na ⁺	Max. %5/ Max.%8
Spesifik özgül ağırlık, Na ⁺ formu	1.27
Toplam değişim kapasitesi,	1.9 eq/l min.
Çalışma sıcaklığı	150°C (300 °F) max.
Ph aralığı, stabil, Na ⁺ formu	0-14

3.1.3. Granüler Aktif Karbon

Diyaliz için su saflaştırma sistemlerinde ön arıtım amacıyla kullanılan hindistan cevizi kabuğundan elde edilmiş, yüksek sıcaklıkta buhar ile aktifleştirilmiş ve HCl ile yıkanmış ticari granüler aktif karbon kullanıldı. Kullanılan ticari aktif karbonun özellikleri Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2 Granüler aktif karbon özellikleri

Ham Madde	Hindistan cevizi kabuğu
Görünüş	Siyah granüler ve düzensiz
Partikül Boyutu	8 x 30 Mesh $\pm$ %5
İyot Değeri	950 mg/gm (min)
Karbon tetra klorür aktivitesi	45% Min.
Görünür Yoğunluk	0.45 – 0.55 gm/l
Sertlik	%95
Nem	%5
Ash	%3
pH	8.0

3.1.4. AgO Kaplı Granüler Aktif Karbonların Hazırlanması

AgO kaplı granüler aktif karbon iki farklı yöntemle hazırlanmıştır.

1. Yöntem: Rengga vd. (2013) tarafından tanımlanmış olan indirgeme yöntemiyle AgO nanopartiküller sentezlenmiştir. Bu yöntemle göre 4 ml 0.1 M AgNO₃ ve ağırlıkça %0.15 çözünür nişasta 1L sulu çözeltiye eklendi ve inert atmosfer altında 1 saat süreyle karıştırıldı. Daha sonra elde edilen karışımın pH’sı 0.1 M NaOH çözeltisi eklemek suretiyle 8 olarak ayarlandı. Karışım rengi sarı oluncaya kadar yaklaşık 24 saat 50°C’de inert atmosferde karıştırıldı. Sonraki adımda, gümüş partikül içeren ortama 107.9 gr. granüler aktif karbon eklendi ve 24 saat boyunca çalkalayıcıda gümüş partiküllerinin granüler aktif karbonun yüzeyini kaplaması sağlandı. Daha sonra ise GAK-Ag saf su ile yıkandı ve süzüldü 12 saat 105°C’de kurutuldu. Granüler aktif karbon yüzeyine ağırlıkça %0,04 kadar AgO partiküllerin birikimi sağlandı.

2. Yöntem: Bashkova vd. (2011) kullanmış olduğu yöntemle AgO partikülleri sentezlenmiştir. 40 ml 0.23 M AgNO₃ çözeltisinin rengi kahverengiye dönünceye kadar

damla damla (5 ml) NH_4OH eklendi, daha sonra elde edilen bu kahverengi karışıma 50 ml 1.84 M NaOH ilave edildi. Bunu takiben karışımın rengi berraklaşınca kadar yavaş bir şekilde NH_4OH ilave edildi. Tüm bu işlemler sonunda 160 ml çözelti elde edildi. Daha sonra 100 gr granüler aktif karbon, 60 ml hazırlanmış olan çözelti 1000 ml'ye tamamlandı ve 24 saat Rotabit Selecta marka orbital bir çalkalayıcıda AgO partiküllerinin granüler aktif karbon yüzeyine tutunması sağlandı ve sonra kaba süzgeç kâğıdı ile süzüldü. Modifiye aktif karbona 120°C 'de kurutma işlemi uygulandı. Granüler aktif karbon yüzeyine ağırlıkça %1 kadar AgO partiküllerin birikimi sağlandı.

3.1.5. CuO Kaplı Granüler Aktif Karbonların Hazırlanması

CuO ile kaplanmış granüler aktif karbon iki farklı yöntemle hazırlanmıştır.

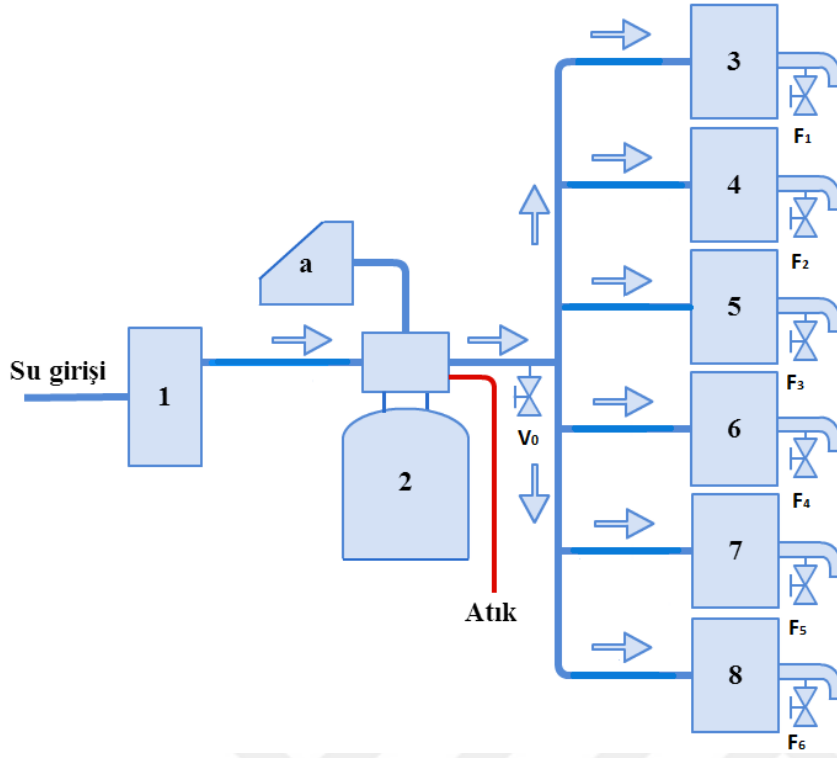
1. Yöntem: Tseng ve Way (2006) tanımladığı granüler aktif karbona bakır nitrat emdirilmesi suretiyle hazırlandı. Bu emdirme işlemi; Ağırlıkça %3 bakır yüklemesi olacak şekilde hesaplandı. Bunun için 0.006 M $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ çözeltisi hazırlandı ve emdirme işlemi çözeltiler 70°C ve sürekli karıştırılmalı bir sistemde sıvı ortamdan uzaklaşana kadar devam edildi. Daha sonra 2 saat 110°C de kurutulup 4 saat 500°C de N_2 atmosferinde kalsinasyonu gerçekleştirilmek suretiyle hazırlandı. Granüler aktif karbon yüzeyinin %3 CuO partikülleriyle kaplanması sağlandı.

2. Yöntem: Azam vd (2012), tanımlamış olduğu bir jel yakma yöntemi kullanılarak CuO nanopartiküller hazırlandı. $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ve sitrik asit 1:1 molar oranında saf su içinde çözdürülmüştür. Daha sonra 100°C de jel oluşumu gözlenene dek yaklaşık 1 saat magnetik karıştırıcıda karıştırıldı. Sonra jel 200°C de yarım saat kurumaya bırakıldı. Kristalize nanoparçacıklar elde etmek için 500°C de N_2 gazı altında 2 saat yakıldı. Daha sonra granüler aktif karbon, ağırlıkça %5 CuO nanopartikül olacak şekilde bir erlene alındı ve 24 saat çalkalayıcıda aktif karbon yüzeyine tutulması sağlandı.

3.2. Metot

Aktif karbon filtrelerin hacmi ve akış hızı günlük 500 lt saf su üretebilen su arıtma cihazı model alınarak tasarlandı. Bu amaçla yumuşatma ünitesi çıkışı 2 adet CuO partikül ile kaplanmış granüler aktif karbonla doldurulmuş tank, 2 adet AgO partikül ile kaplanmış granüler aktif karbonla doldurulmuş tank ve 2 adet ise modifiye edilmemiş ticari bir granüler aktif karbonla doldurulmuş tank olmak üzere toplam 7 farklı tankla birleştirildi. Kullanılan tanklar 400 gr aktif karbon ile doldurularak hazırlandı.

27



Şekil 3.2 Deneysel sistemin şematik gösterimi (1; Partikül filtre, 2; Yumuşatma ünitesi, 3 ; % 0.04 AgO-GAK, 4; %1 AgO-GAK, 5; %3 CuO- GAK, 6; %5 CuO-GAK, 7-8; İşlem Örmemiş GAK, A; Tuz tankı, $F_{1,2,3,4,5,6,7,8}$; Rotametre,)

Şekil 3.1’de gösterilen deney düzeneği kurulduktan sonra, günlük 500 lt su önce partikül filtreden, sonra yumuşatma ünitesinden geçtikten sonra aktif karbon tanklarını sürekli olarak beslemektedir. Belirli zaman aralıklarında aktif karbon tanklarının giriş ve çıkış noktalarından numuneler alınarak toplam klor, serbest klor, pH, iletkenlik, sertlik, bakır, gümüş, mikrobiyolojik analizler ve bakteriyel endotoksin analizleri yapılmıştır. Bu parametrelerden serbest klor, toplam klor, pH, sertlik ve iletkenlik aktif karbon giriş ve çıkış noktalarından 24 saat aralıklarla, mikrobiyal kirlilik analizleri bir hafta aralıklarla, bakır ve gümüş belirli aralıklarla, bakteriyel endotoksin analizi mikrobiyal kirlilik değerlerine bağlı olarak farklı zaman aralıklarında takip edildi. Sistem 250 gün sürekli olarak takip edildi.

3.2.1. Yapılan Analizler

pH: Temiz bir beherin içi birkaç kere numune ile çalkalandıktan sonra 250 ml numune ile dolduruldu. Geniş okuma aralığına sahip Thermoscientific Orion3Star markalı pH metrenin elektrodu saf su ile yıkandı ve kurulandı numune dolu behere daldırıldı. Göstergedeki değer sabitleninceye kadar beklendi.

İletkenlik: Temiz bir beher birkaç kere numune ile çalkalandıktan sonra 250 ml numune ile dolduruldu. Geniş okuma aralığına sahip olan Portable Multi-parameter Meter 900P model iletkenlik ölçerin elektrodu saf su ile yıkanıp durulandıktan sonra numunenin içine daldırıldı ve göstergedeki değer sabitlenene kadar beklendi.

Sertlik: Toplam sertlik kiti olarak diyaliz ünitelerinde hali hazırda kullanılmakta olan kit tercih edildi (Delta-Medikal). Bu deney kitine ait numune kabı birkaç defa numune ile çalkalandı daha sonra 5 ml numune ile doldurularak MB indikatötünden 2 damla eklendi ve kapağı kapatılarak hızlı bir şekilde çalkalandı, renk mavi ise numune yumuşak olarak kayıtlara geçirildi. Mor bir renk gözlemlendi ise renk maviye dönünceye kadar titrasyon çözeltisi damla damla ilave edildi ve her damladan sonra kapağı kapatılarak hızlıca karıştırıldı. Total damla sayısı kayıt edildi. Her damla 1 Fransız sertliği olarak hesaplandı.

Serbest Klor: Serbest Klor analiz kiti olarak diyaliz ünitelerinde halen daha kullanılmakta olan kit tercih edildi (Delta-Medikal). Bu kitte serbest klor ölçümü o-tolidin yöntemi kullanarak mg/l (ppm) cinsinden ölçülebilen solüsyonlar ile yapılmaktadır.



Şekil 3.3 Sertlik ve serbest klor kiti

Kite ait numune kabı birkaç kere numune ile çalkalandı ve gösterge çizgisine kadar numune ile dolduruldu 4 damla klor indikatörü eklendi kapağı kapatıldı ve hızlıca çalkaladı. Kabin kenarındaki renk skalasına karşılık gelen değer kayıt altına alındı.

Toplam Klor; Toplam klor kiti olarak DPD (diethyl-p-phenylenediamine) yöntemiyle titrimetrik olarak ölçüm yapabilen (ChemBio) bir kit kullanıldı. Numune kabı numune ile birkaç kere çalkalandı. Daha sonra 5 ml numune dolduruldu ve 5 damla Klor-A indikatöründen eklenip 1 dk. bekledikten sonra 10 damla Klor-B indikatörü ve ¼ mikro kaşık Klor-C powder eklendi ve hızlıca çalkalanarak 2 dk. bekletildi. Bekleme süresinin sonunda kit içerisinde çıkan renk skalası ile karşılaştırıldı ve karşılık gelen değer ppm cinsinden kayıt altına alındı.

Ag ve Cu Analizi; Fırat Üniversitesi Biyomühendislik Bölümünde bulunan Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi (Shimadzu, AA-7000) ile yapıldı.

SEM ve EDX Analizleri; Modifiye edilen granüler aktif karbonlar ile modifiye edilmeyen granüler aktif karbonların kullanılmadan önceki ve kullanıldıktan sonraki yüzey yapılarındaki değişiklikleri belirlemek için SEM, yüzeydeki partiküllerin dağılım oranlarını belirlemek için ise EDX analizleri Fırat Üniversitesi Merkez Laboratuvarında bulunan JEOL/JSM 7001 F marka taramalı elektron mikroskobu kullanılarak yapıldı.

BET Yüzey Alanı Analizleri; Modifiye edilen granüler aktif karbonlar ile modifiye edilmeyen granüler aktif karbonların kullanılmadan önce ve kullanıldıktan sonra BET yüzey analizleri Micromeritics marka Tristar 3000 V3.01 model cihazda yapılmıştır. BET (Brunauer-Emmet-Teller) ve DFT (Density Functional Theory) plus analizleri yardımıyla, BET yüzey alanı, mikropor alanı, mezopor alanı, toplam gözenek hacmi, mikropor gözenek hacmi ve ortalama por çapı belirlenmiştir.

FT-IR Analizleri; Modifiye edilen granüler aktif karbonlar ile modifiye edilmeyen granüler aktif karbonların kullanılmadan önceki ve kullanıldıktan sonraki yüzey yapılarını ve fonksiyonel gruplarını incelemek amacıyla Fırat Üniversitesi Merkez Laboratuvarında Thermo Scientific/ Nicolet Is5 marka FTIR cihazı ile FTIR analizleri yapılmıştır.

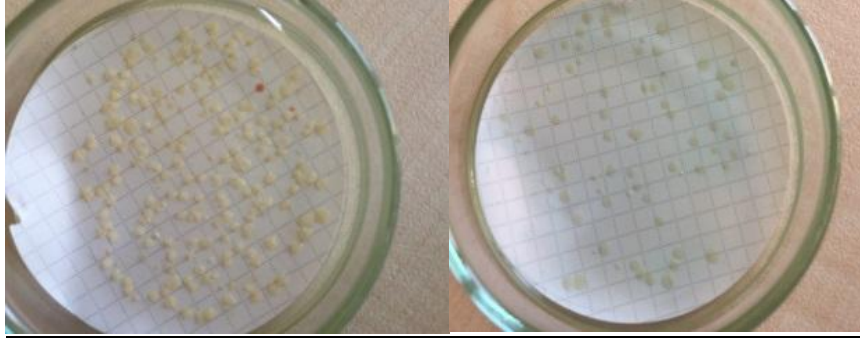
Mikrobiyal Kirlilik; Toplam bakteri sayımı ve canlı bakteri sayımı için uygun bir yöntem olarak tanımlanan membran filtre yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Membran filtre yöntemi Şekil 3.4' de şematize edilmiştir.

R2A Medium'un 18 gramı 1 lt saf suya ilave edildi. 10 dk magnetik bir karıştırıcıda karıştırıldı ve otoklavda (Lab Companion, ST-65G) 121°C 15 dakika sterilize edildi. Sıcaklık 47°C'ye düşünce sterilize olan petri kaplarına döküldü ve kullanılmak üzere soğutucuya kaldırılması suretiyle besi yerleri hazırlandı. Literatürde hemodiyaliz sıvılarının mikrobiyal analizlerini yapmak için R2A ile TSA besi yerleri karşılıklı olarak çalışılmıştır ve R2A besi yerinin daha hassas olduğu söylenmiştir (Linde, 1999). Bu nedenle bizde çalışmamızda mikrobiyal kirlilik analizlerimizi R2A besi yeri kullanarak yapıldı.

Çalışılacak zemin ve membran filtre aparatları etanol ile temizlendikten sonra aleve tutuldu ve parçalar birleştirildi. Önceden hazırlanmış besi yeri soğutucudan çıkarıldı. Filtre kağıdı sterilize ambalajından çıkarıldı ve alevden geçirilen filtrenin üzerine yerleştirildi.



Şekil 3.4 Membran filtre yöntemi



Şekil 3.5 Bakteri koloniler

100 ml numune dikkatlice huniye boşaltıldı ve vakum pompası açıldı süzme işlemi bitinceye kadar açık tutuldu, süzme işlemi bitince vakum pompası kapatıldı. Filtre kâğıdı alevden geçirilmiş pens yardımıyla alındı besi yerinin içine yerleştirildi. Besi yerleri 37°C 'ye ayarlanmış inkübatöre yerleştirildi. 48 saat inkübasyona bırakıldı. Süre bitiminde filtre kâğıdı üzerindeki organizmalar sayıldı ve kayıt altına alındı. Besi yeri içerisindeki bakteri kolonilerine örnekler Şekil 3.5’de verilmiştir.

Bakteriyel Endotoksin; Kromojenik Lal kiti (GenScript) kullanılarak endotoksin analizleri yapıldı. Test prosedüründe ki yol takip edilerek test solüsyonları hazırlandı. Standartlar 1 EU/ml, 0.5 EU/ml, 0.25 EU/ml, 0.1 EU/ml konsantrasyonlarında hazırlandı. Tablo 3.3’de ki yol takip edilerek standart, kör ve numuneler hazırlandı. Her bir örnek 545 nm dalga boyuna karşılık gelen absorbans değerleri okundu ve kayıt altına alındı.

Tablo 3.3 Endotoksin analiz işlem sırası

	Numune	Kör
Test edilecek numune veya standart (ml)	0.1	
LAL Reaktif Suyu (ml)		0.1
LAL (ml)	0.1	0.1
İyi karıştırma ve 37°C inkübasyon	8 dk.	8 dk.
Substrate Solüsyonu (ml)	0.1	0.1
İyi karıştırma ve 37°C inkübasyon	6 dk.	6 dk.
Durdurma Solüsyonu (ml)	0.5	0.5
Renk Dengeleyici #2 (ml)	0.5	0.5
Renk Dengeleyici #3 (ml)	0.5	0.5

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada sularda klor giderimi amacıyla kullanılan granüler aktif karbonun gümüş ve bakır oksit ile modifiye edilerek, klor giderimi esnasında mikrobiyal kirlilik takip edilmiştir. Sürekli sistemde klor giderimi amacıyla kullanılan granüler aktif karbon filtrelerden çıkan su zamana bağlı olarak takip edilmiştir. Bu amaçla farklı yöntemlerle metal oksit emdirilmiş aktif karbonların karakterizasyonu incelenmiştir.

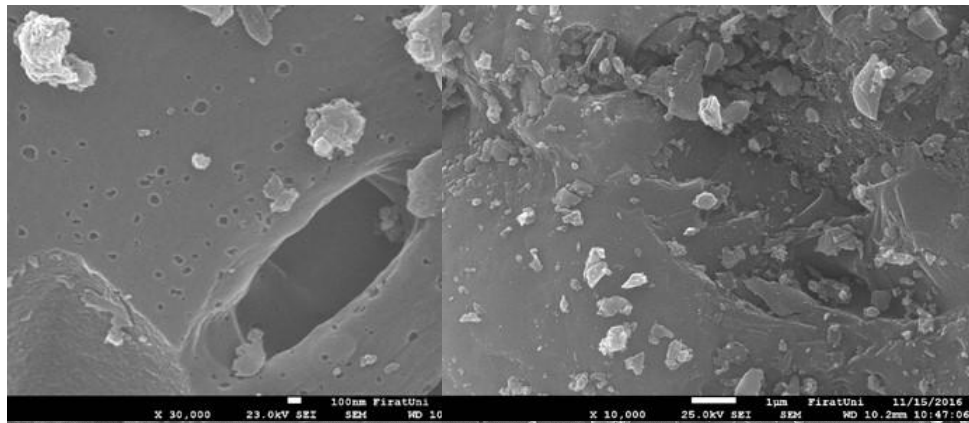
4.1. SEM ve EDX Sonuçları

Bir aktif karbonun gaz ya da sıvı fazdan çeşitli molekül ya da iyonları adsorplama yeteneği, onun kendine has çeşitli şekillerde ve boyutlardaki gözeneklerinden kaynaklanır. Modifiye edilmemiş granüler aktif karbon ve literatürde tanımlanan farklı yöntemlerle hazırlanmış gümüş ve bakır oksit ile modifiye edilmiş granüler aktif karbonların yüzey yapıları, gözeneklerin şekli ile bu gözeneklerin yüzeydeki dağılımlarını ve porozitesini görebilmek için taramalı elektron mikroskopuyla (SEM) farklı büyütme oranlarında alınmış resimleri çekilmiştir. Bu resimler Şekil.4.1’de verilmiştir.

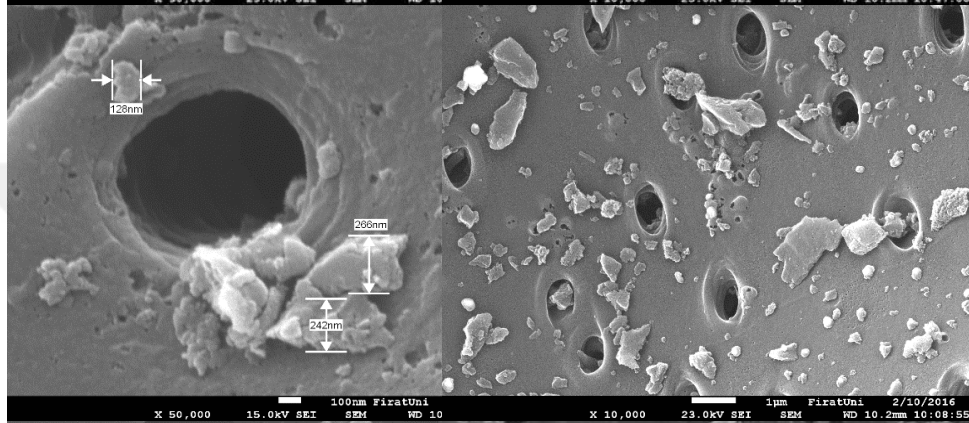
Granüler aktif karbonun SEM ile yüzey morfolojisinde hem gözenekli hem gözeneksiz alanlar Şekil 4.1-a’da gösterilmiştir. Gözenekler yüksek oranda olup şekilleri düzensiz ve ortalama por çapı 2.093 nm’dir.

Aktif karbon yüzeylerinde ve gözeneklerde farklı boyutlarda metal oksit partikülleri görüntülenmiştir. Hem gümüş hem de bakır partikülleri granüler aktif karbonun dış yüzeyinde olduğu gibi gözeneklerin içine de girdiği görülmektedir (Bandyopadhyaya vd., 2008). Gümüş oksit partiküllerinin yüzeyde kümeler halinde dağıldığı Şekil 4.1-b ve 4.1-c’den görülmektedir. Bakır oksit tanecikleri yüzeyde çubuk ve kümeler halinde dağıldığı Şekil 4.1-d ve 4.1-e’de görülmektedir. Daha yüksek konsantrasyonda hazırlanan bakır oksit taneciklerinin gümüş oksit taneciklerine göre yüzeyde daha homojen dağıldığı söylenebilir. Modifikasyon işlemi sonucunda GAK yüzeyinde ve gözenek yapısında önemli bir değişim oluşmadığı gözlenmektedir. Buna dayanarak işlem görmüş granüler aktif karbonların adsorplama yeteneklerinde bir değişiklik olmayacağı beklenebilir.

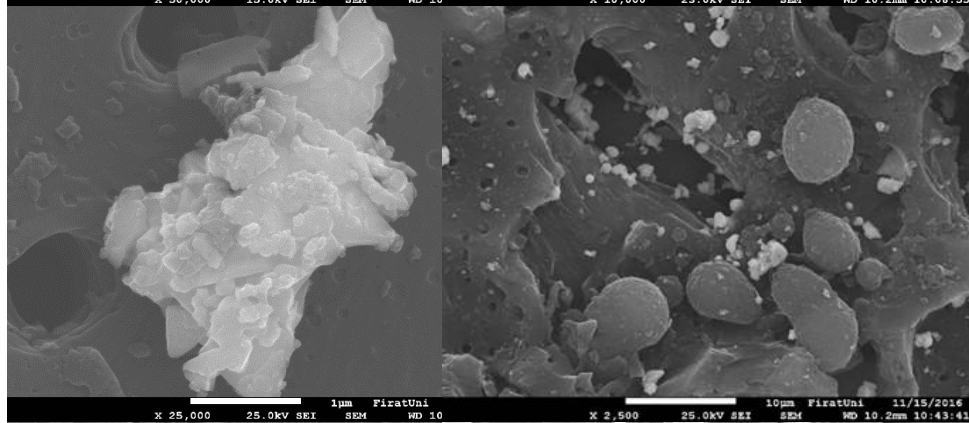
a



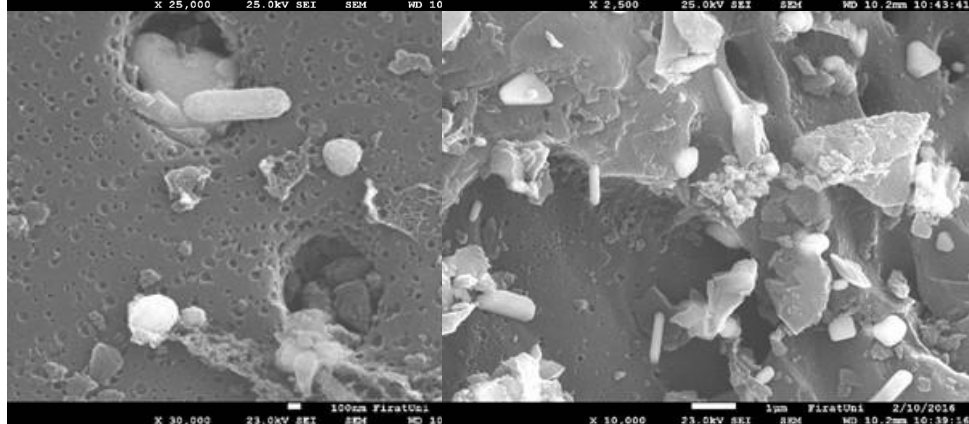
b



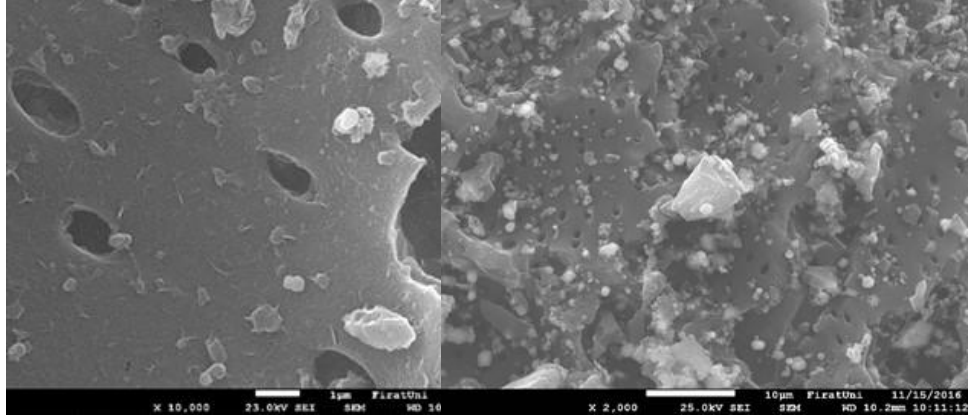
c



d

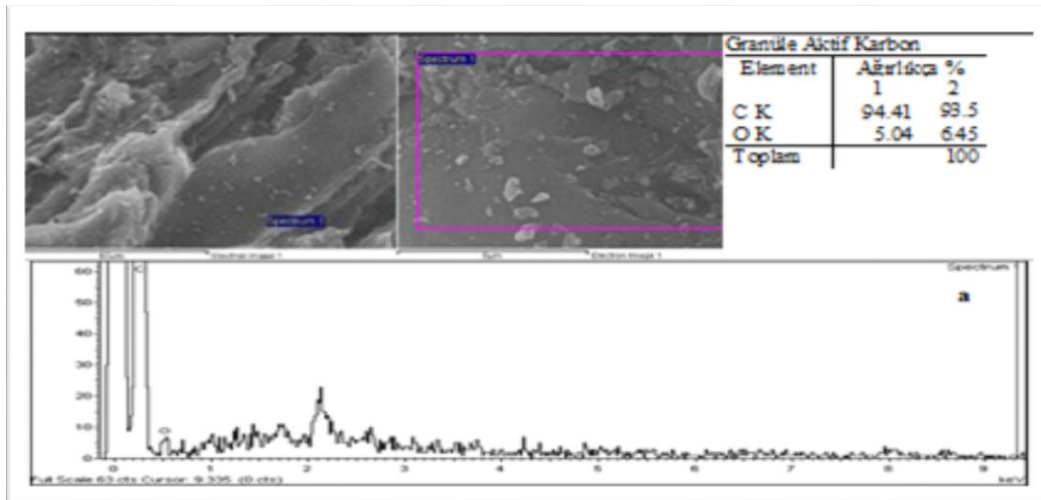


e

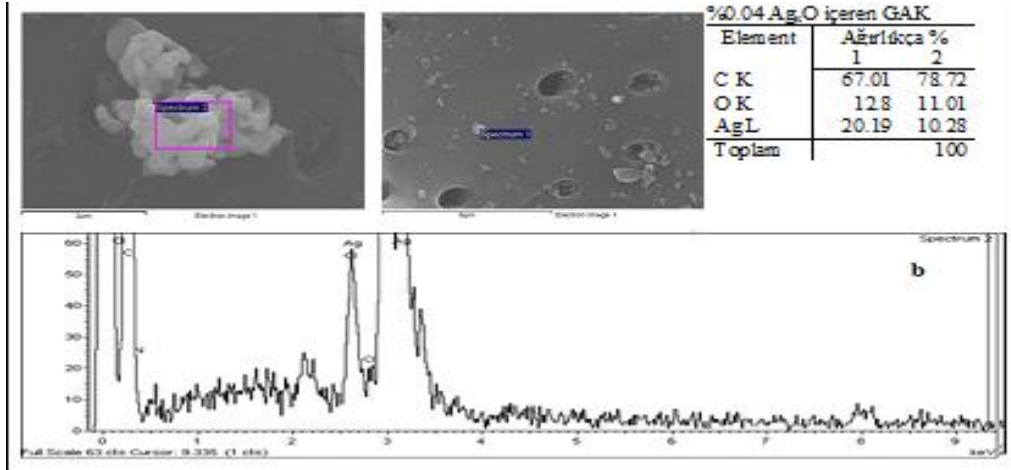


Şekil 4.1 İşlem görmemiş ve modifiye GAK SEM görüntüleri. (A; İşlem Görmemiş GAK, B; %0.04 AgO yüklü GAK, C; %1 AgO yüklü GAK, D; %3 CuO yüklü GAK, E; %5 CuO yüklü GAK)

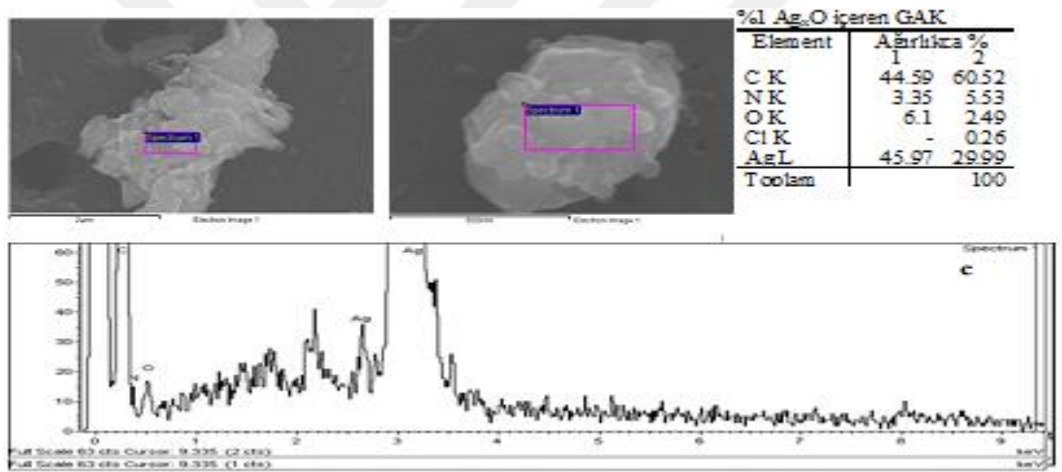
Aşağıda EDX analizleri sonuçları verilmiştir. İşlem görmemiş GAK yüzeyinde ağırlıklı olarak karbon ve oksijen bulunmuştur. Şekil 4.2’ de gösterilmiştir. Şekil 4.3 ve 4.4’ de görüldüğü gibi modifiye GAK tanecikleri üzerinde alınan EDX sonuçlarından %0.04 ve %1 gümüş oksit partikülleri içerecek şekilde hazırlanan GAK sonuçlarında yüzeyde gümüş partiküllerinin b doğrulamaktadır. Aynı şekilde farklı kimyasal çöktürme yöntemleriyle hazırlanmış %3 ve %5 bakır oksit partiküllerinde GAK yüzeyinde tutunduğu EDX sonuçlarıyla da doğrulanmıştır. Şekil 4.5 ve Şekil 4.6.



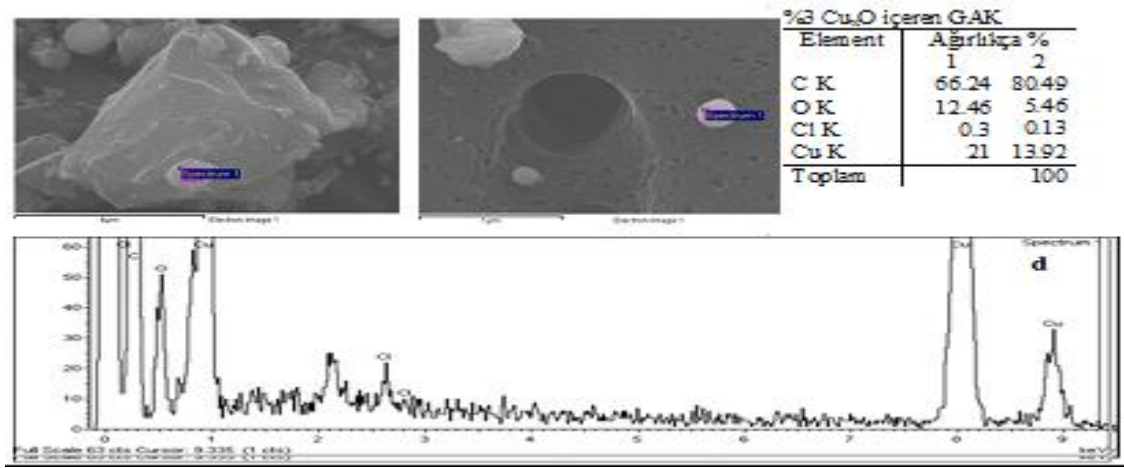
Şekil 4.2 Standart granüler aktif karbon EDX analizi



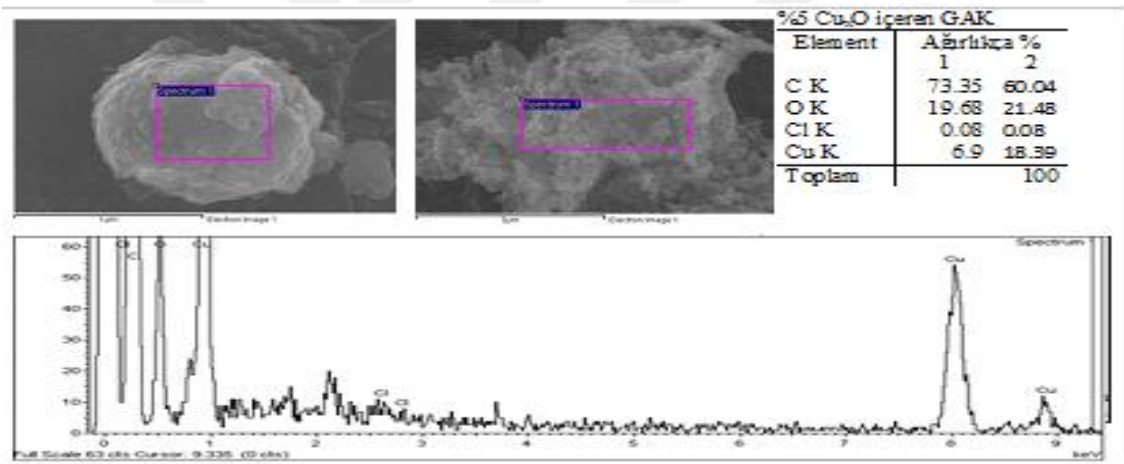
Şekil 4.3 %0.04 AgO yüklü granüler aktif kKarbon EDX analiz



Şekil 4.4 %1 AgO yüklü granüler aktif karbon EDX analizi



Şekil 4.5 %3 CuO yüklü granüler aktif karbon EDX analizi



Şekil 4.6 % 5 CuO yüklü granüler aktif kardon EDX analizi

4.2. Yüzey Alanı Analiz Sonuçları

Aktif karbonun en önemli fiziksel özelliği yüzey alanıdır. Aktif karbonun yüzey alanı BET (Brunauer-Emmet-Teller) ile belirlenir. BET numunenin gözenek hacmi, porozitesi ve aktif yüzey alanı hakkında detaylı bilgi vermektedir. Modifiye edilmemiş ve modifiye edilmiş aktif karbonların yüzey alanları ile gözenek yapıları hakkında bilgi Tablo 4.1' de verilmiştir. Genel olarak kabul edilir ki, BET sabiti adsorpsiyon özelliklerini belirler. Yüksek BET sabiti yüksek adsorpsiyon kapasitesi anlamına gelir (Park, 2005;

Müller vd.,1997). Metal oksit yüzdesi arttıkça yüzey alanlarında bir azalma gözlenmektedir fakat bu azalma aktif karbonların adsorpsiyon kapasitelerinde anlamlı bir düşüşe neden olmadığı deney sonucunda görülmüştür. Bu düşüş SEM görüntüleriyle de uyusmaktadır. Bu düşüşe nano ve mikron boyutlarındaki partiküllerin mikro gözenekleri kısmen tıkanmasının neden olabileceği tablodaki mikro gözenek hacmi ve yüzey alanındaki düşüşe dayanılarak söylenebilir (Kim, 2008).

Tablo 4.1 BET analiz sonuçları

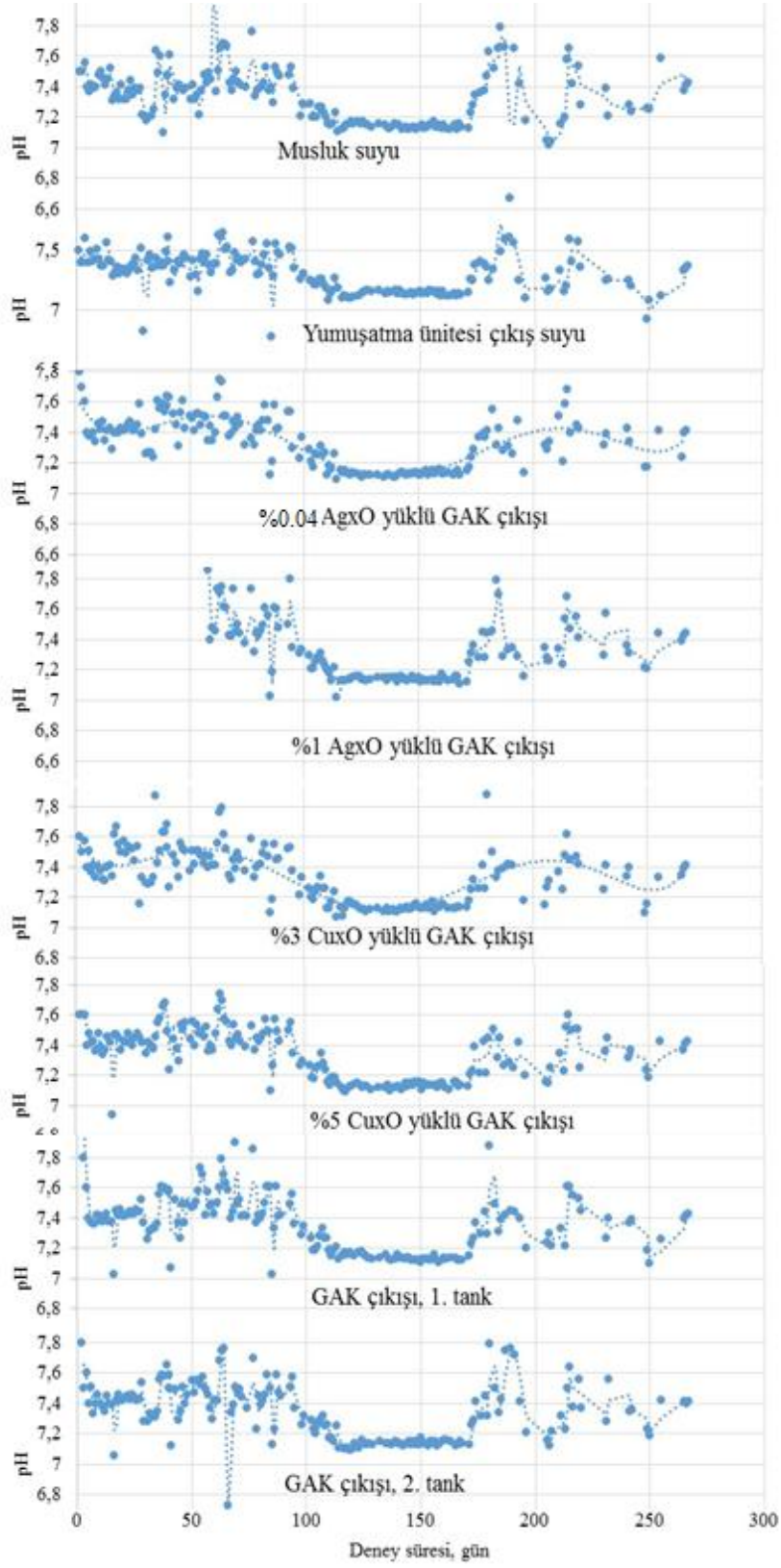
Aktif Karbon Örnekleri	GAK	%0.04 AgO-GAK	%1 AgO-GAK	%3 CuO-GAK	%5 CuO-GAK
BET Yüzey Alanı, (m ² /g)	740.052	738.389	731.277	721.295	697.734
Mikro Por Alanı, (m ² /g)	651.582	648.887	641.882	643.157	620.561
Makro Por Alanı, (m ² /g)	78.470	75.911	89.395	78.138	77.173
Toplam Göz. Hacmi, (cm ³ /g)	0.378	0.377	0.381	0.371	-
Mikro Göz. Hacmi, (cm ³ /g)	0.353	0.347	0.345	0.344	0.331
Ort. Por Çapı, (nm)	2.093	2.081	2.083	0.199	-

4.3. pH Ölçüm Sonuçları

Deney süresince sistemin farklı çıkış noktaları ile musluk suyunun pH değeri takip edilmiştir ve Şekil 4.7’de verilmiştir. Deneysel çalışma Mart 2016 tarihinde başlanmış ve 250 gün sürdürülmüştür. Numune alınan bütün çıkış noktalarında aktif karbonların bazik davranış sergiledikleri görülmektedir. Bu süreçte iklim değişikliklerine bağlı olarak musluk suyunun pH’sında yaz döneminde azaldığı ve sonbaharda tekrar yükseldiği gözlemlenmiştir. Diğer çıkış noktalarındaki pH değişimi musluk suyundaki değişimine benzer bir eğilim takip etmiştir. Ölçülen değerlerin Türk standartlarında önerilen değerlere uygun olduğu belirlenmiştir (TS-266, 2005). Tablo 4.2’de üç farklı peryotlarda ortalama pH değerleri verilmiştir.

Tablo 4.2 Musluk suyu, yumuşatma ve GAK filtrelerde mevsimsel Ph değerleri

	Bahar	Yaz	Sonbahar
Musluk suyu	7.43±0.16	7.20±0.11	7.36±0.25
Yumuşatma ünitesi çıkışı	7.50±0.32	7.20±0.12	7.40±0.15
% 0.04 AgO-GAK	7.45±0.13	7.18±0.10	7.41±0.15
% 1 AgO-GAK	7.40±0.13	7.19±0.09	7.33±0.21
% 3 CuO-GAK	7.46±0.13	7.19±0.13	7.41±0.24
% 5 CuO-GAK	7.46±0.12	7.18±0.10	7.35±0.12
GAK	7.48±0.18	7.20±0.13	7.39±0.16
GAK	7.43±0.17	7.20±0.12	7.41±0.19



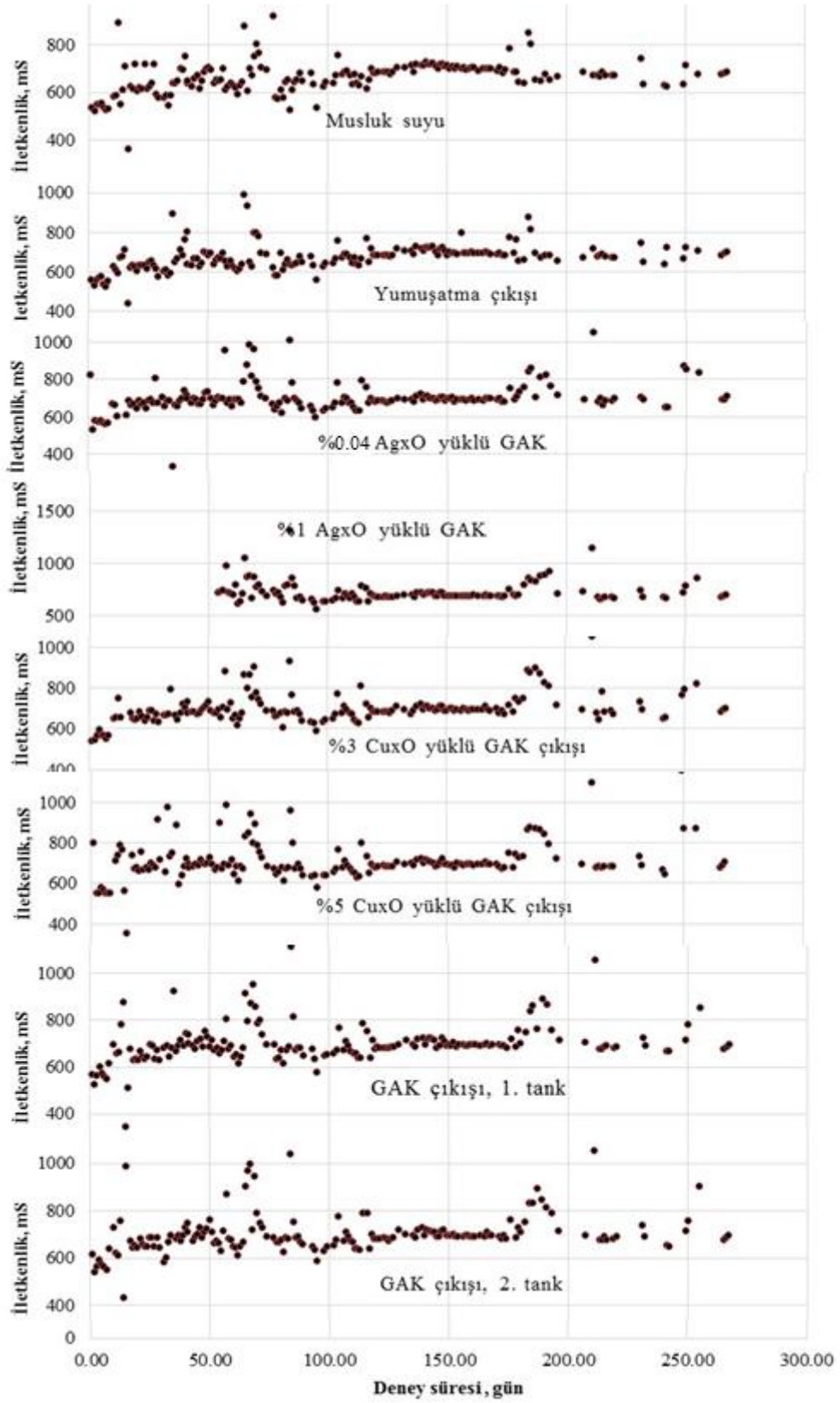
Şekil 4.7 Deney süresince incelenen ünitelerdeki Ph değişimleri

4.4. İletkenlik Ölçüm Sonuçları

Suyun iletkenlik değerin zamanla değişimi Şekil 4.8’ de verilmiştir. Mevsimlere bağlı olarak az bir değişim gözlenmekle birlikte incelenen ünitelerdeki değişim musluk suyundaki eğilime benzer olarak belirlenmiştir. Musluk suyu ve GAK filtrelerde belirli zaman aralıklarında yüksek iletkenlik değerleri (1000-2000 μ S) ölçülmüştür. Bu değerleri takip eden günlerde azalan bir şekilde musluk suyu değerine ulaştığı gözlenmiştir. Ayrıca, iletkenlik değerindeki değişim yumuşatma ünitesinin rejenerasyon sonrasında sisteme yüksek konsntrasyonda beslenen tuzdan kaynaklandığı düşünülmektedir. GAK filtrelerde yavaş salınan tuzdan kaynaklı iletkenlik değişimi Tablo 4.3’ de verilen iletkenlik değerlerinin musluk suyundan daha yüksek olmasına neden olduğu düşünülmektedir.

Tablo 4.3 Ölçülen iletkenlik değerlerinin ortalaması

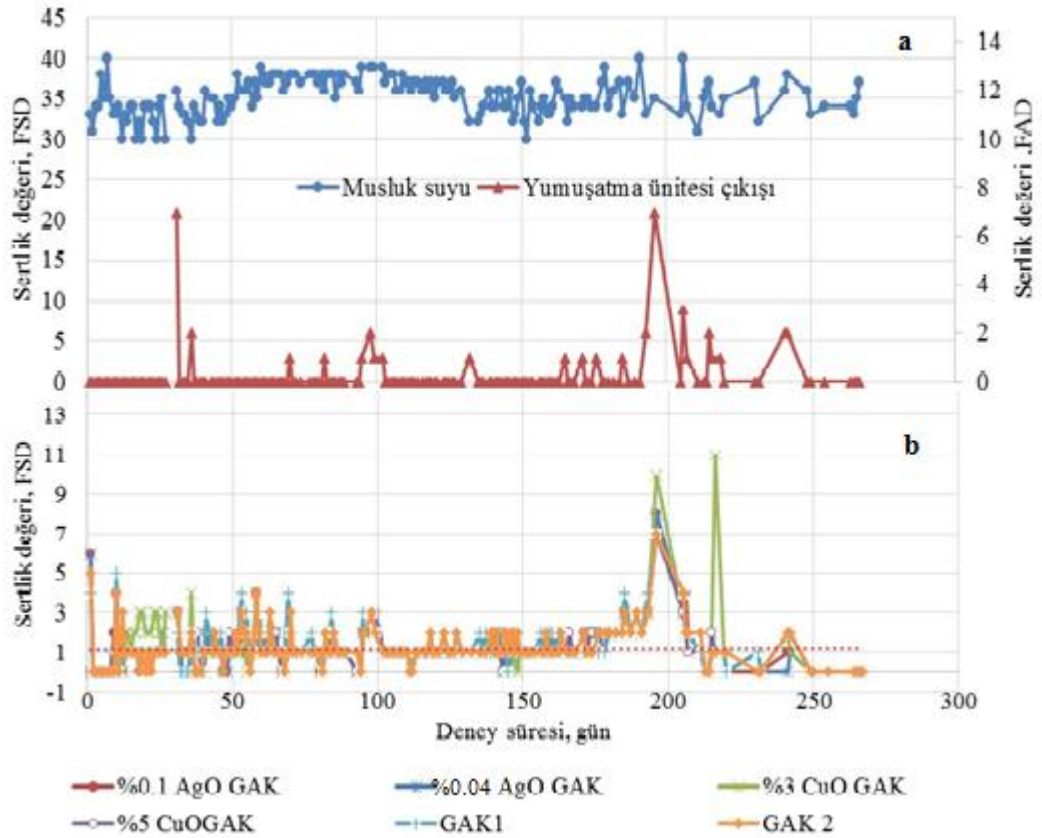
İletkenlik ortalama değeri, μ S	
Musluk suyu	665±66
Yumuşatma ünitesi çıkışı	674±67
% 0.04 AgO-GAK	693±105
% 1 AgO-GAK	729±98
% 3 CuO-GAK	707±103
% 5 CuO-GAK	694±102
GAK 1.tank	695±100
GAK 2. tank	700±83



Şekil 4.8 Deney süresince incelenen ünitelerdeki iletkenlik değişimleri

4.5. Sertlik Ölçüm Sonuçları

Arıtım sisteminin yükünün düşürülmesi amacıyla sistem girişine konulan yumuşatma ünitesine giriş ve çıkış noktasındaki sertlik değişimi Şekil 4.9-a’da verilmiştir. Oldukça yüksek olan olan musluk suyunun sertliği (35 FSD) yumuşatma ünitesinde giderilmektedir. Yumuşatma ünitesinin kontrol ekipmanı elektrik kesintisi kaynaklı olarak düzenli yıkama işlemi yapılamamasından dolayı sertlik değeri gözlenmiştir. GAK filtrelerde de eş zamanlı başlayan bu artış Şekil 4.9-b’de görülmektedir. Ayrıca sistemin çeşitli noktalarından alınan numunelerin deney süresince ortalama sertlik değerleri Tablo 4.4’ de verilmiştir.



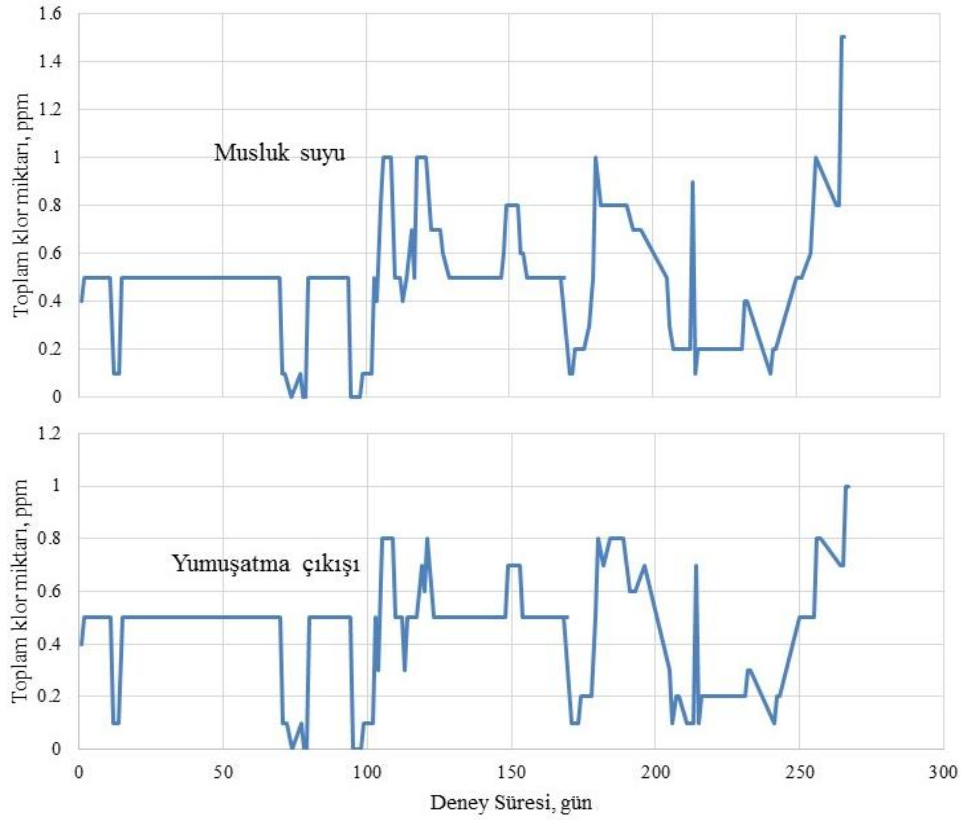
Şekil 4.9 İncelenen ünitelerdeki zamanla sulardaki sertlik değerinin değişimi(a; Yumuşatma giriş-çıkışı b;GAK çıkışları)

Tablo 4.4 Musluk suyu ve diğer incelenen birimlerin çıkış sularının ortalama sertlik değeri

	Sertlik ortalama değeri, FRS
Musluk suyu	35.2 ± 0.17
Yumuşatma ünitesi çıkışı	0.23 ± 0.06
% 0.04 AgO-GAK	1.13 ± 0.07
% 1 AgO-GAK	1.21 ± 0.07
% 3 CuO-GAK	1.11 ± 0.07
% 5 CuO-GAK	1.29 ± 0.09
GAK 1.tank	1.24 ± 0.08
GAK 2. tank	1.21 ± 0.07

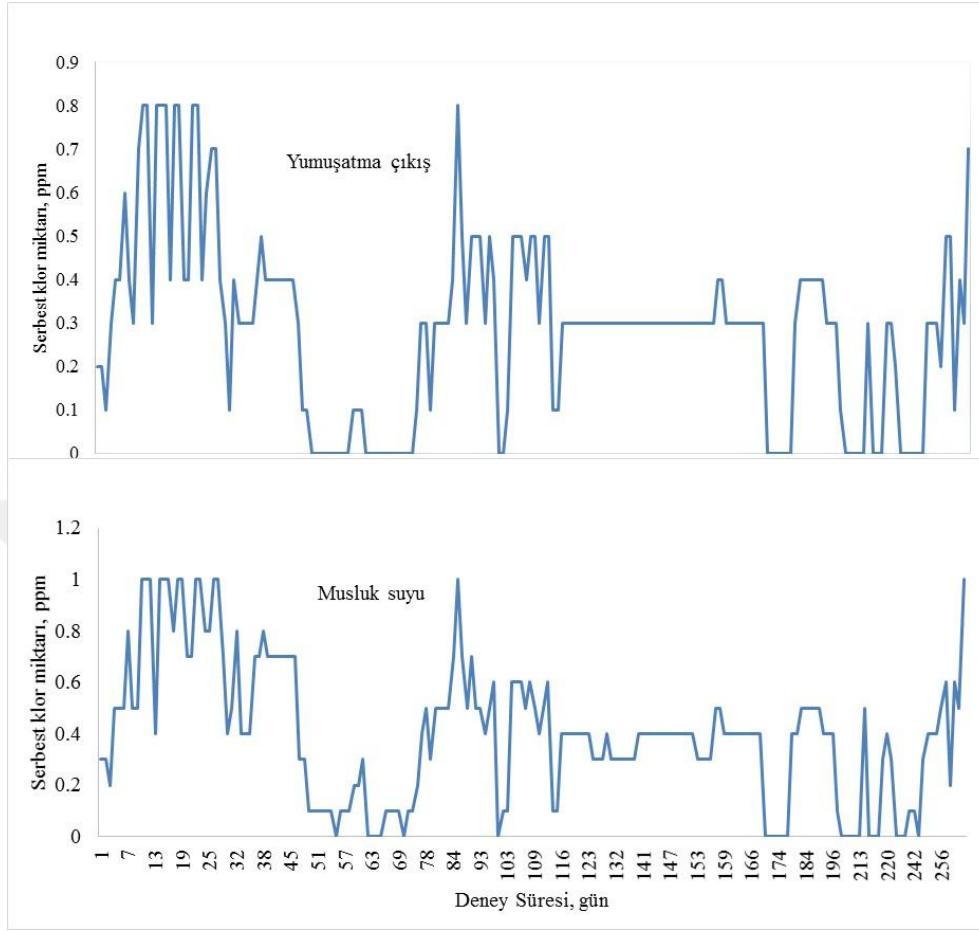
4.6. Toplam ve Serbest Klor Sonuçları

Su dezenfeksiyonu amacıyla ülkemizde yoğun olarak kullanılan klor, su besleme ünitelerinde otomatik klorlama sistemleriyle düzenli olarak beslenmektedir. Suyun organik ve inorganik bileşimi, sıcaklığı ve pH'sına bağlı olarak klor, bağlı ve serbest olarak su içerisinde bulunmaktadır. Deneysel çalışmamızın kurulduğu Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi kampüse sağlanan içme suyu kampüs alanında açılmış kuyular yardımıyla sağlanmaktadır. Su depolarında yapılan klorlama sonucunda sisteme beslenen içme suyunun incelenen deney süresince değişimi ile yumuşatma ünitesi çıkışından GAK filtrele beslenen toplam klor miktarı Şekil 4.10' de verilmiştir.



Şekil 4.10 Musluk suyu ve yumuşatma çıkışında zamanla toplam klor değişimi

Sağlık Bakanlığının (Türkiye Halk Sağlığı Kurumu) tüketim amaçlı sular hakkında hazırlanmış olan ve 2013 yılında yapılan değişiklikle içme sularında serbest klor miktarının 0.2-0.5 mg/L olması gerektiği belirtilmiştir (Resmi Gazete,2005). Takip edilen 250 günlük süreç içerisinde hem serbest klor miktarının hemde toplam klor miktarının çok fazla değişim gösterdiği belirlenmiştir. Musluk suyu ve yumuşatma çıkışının bu süreçte serbest klor ve toplam klor ortalama değerleri Tablo 4.5’de verilmiştir. GAK karbon filtrelerin çıkış akımlarında deney süresince günlük olarak takip edilmiştir. Hiçbir GAK filtre çıkışında serbest ve toplam klor belirlenmemiştir. Buda granüler aktif karbonların modifiye edilmiş olması adsorplama yeteneklerinde anlamlı bir değişime neden olmadığını kanıtlar. Şekil 4.11’de Musluk suyu ve yumuşatma çıkışında zamanla serbest klor değişimleri verilmiştir.



Şekil 4.11 Musluk suyu ve yumuşatma çıkışında zamanla serbest klor değişimi

Tablo 4.5 Deney süresince ortalama serbest ve toplam klor miktarı

	Serbest klor, mg/L	Toplam klor,mg/L
Musluk suyu	0.399 ± 0.273	0.509 ± 0.238
Yumuşatma çıkışı	0.286 ± 0.211	0.469 ± 0.192

4.7. Çıkış akımındaki Gümüş ve Bakır Konsantrasyonu Değişimi

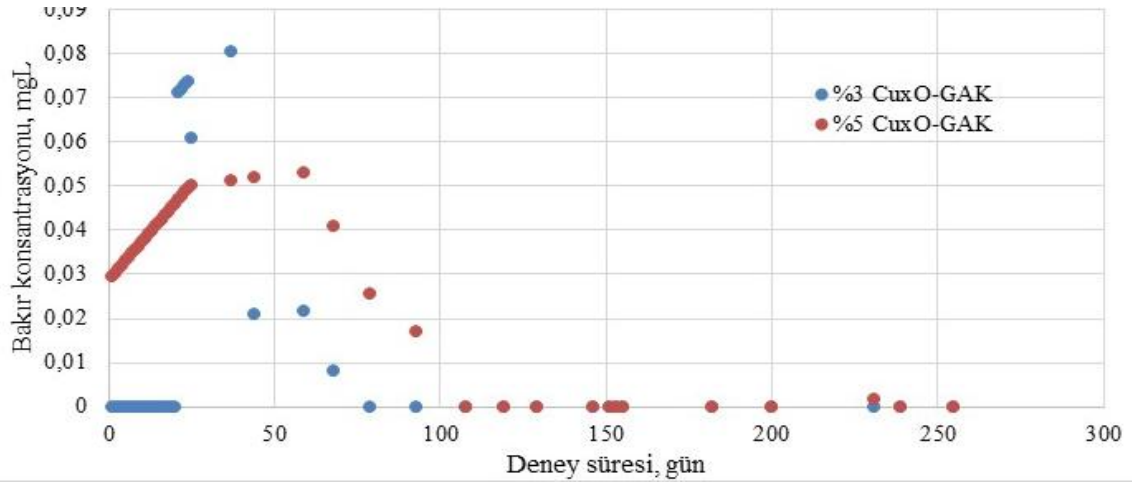
Gümüş oksit ve bakır oksit partiküllerinin hazırlandığı yöntemler literatürden seçilmiştir. Sentez yöntemi seçilirken antimikrobiyal etkilerinin maksimum olduğu ifade edilen metotlar takip edilmiştir. Bu amaçla Rengga vd. (2013), önermiş olduğu %0.04 gümüş bulunduran GAK ve Bashkova vd. (2011) kullandığı %1 gümüş oksit içeren GAK hazırlanmıştır.

GAK karbon yüzeyine bağlandıktan sonra saf suyla yıkama işlemi pH'sının nötral değerlere gelinceye kadar sürdürülmüştür. Yıkama işlemi sonrasında yüzeyden ayrılan gümüş miktarı takip edilmiş ve %0.04 gümüş içeren GAK yüzeyinde bulunan gümüşün yaklaşık %75 uzaklaştığı görülmüştür. %1 Gümüş oksit içeren GAK'dan bu kaçış %10 larda kaldığı belirlenmiştir. Hazırlama yöntemlerine bağlı olarak metal oksitlerin yüzeyde tutunması önemli şekilde değiştiği görülmüştür. Deney süresince belirli aralıklarla alınan gümüş içeren GAK çıkış sularında gümüş analizi yapılmış ve sonuçların değişimi Şekil 4.12' de ve ortalama değeri Tablo 4.6'da verilmiştir. GAK filtrelerin çalışma süreleri dikkate alınarak yapılan hesaplama sonucunda %0.04 gümüş içeren GAK yüzeyindeki gümüşün tamamının uzaklaştığı bulunmuştur. Bu sonuç hem işlem sonrasında çekilen EDX sonuçlarıyla hemde işlem sonrası GAK'dan alınan numunelerdeki gümüş analizleriyle doğrulanmıştır. %1 gümüş içeren GAK sistemde meydana gelen sorundan dolayı 2 ay daha kısa takip edilebilmiştir. Takip edilen süreçte çıkış suyu ile gümüşün %60'nın karbon yüzeyinden ayrıldığı belirlenmiştir. Adsorpsiyon işlemi sonucunda yüzeyde başlangıçta eklenen gümüşün %25'nin bulunduğu hesaplanmıştır. Bu değişim aktif karbon yüzeyinde gümüş oksit partiküllerin yüksek oranda salındığını göstermektedir.

Ağırlıkça %3 ve %5 bakır oksit içerecek şekilde hazırlanan GAK filtrelerin çıkış sularında bakır miktarı Şekil 4.12'de ve çıkış akımının ortalama değeri Tablo 4.6'da verilmiştir. Gümüş oksit partiküllerin aksine bakır oksit partikülleri GAK yüzeyinden hem yıkama işlemi hemde deney süresince önemli miktarda salınmadığı görülmüştür. İşlem sonrası EDX analizi sonuçlarında bakır başlangıçtaki oranlara yakın miktarlarda görülmektedir. Ayrıca işlem sonrası alınan aktif karbondaki bakır miktarının tayininden başlangıçta bulunan %3 bakır içeren GAK'da bakırın %94.4 , %5 bakır içeren GAK'da %97.2'sinin yüzeye bağlı olarak kaldığı belirlenmiştir.

Tablo 4.6 Modifiye GAK filtre çıkış suyunda bulunan gümüş ve bakır miktarının ortalama değeri

% 0.04 AgO-GAK	0.0134 ± 0.0061 mg Ag/L
% 1 AgO-GAK	0.0823 ± 0.0166 mg Ag/L
% 3 CuO-GAK	0.0112 ± 0.00385 mg Cu/L
% 5 CuO-GAK	0.0288 ± 0.00296 mg Cu/L

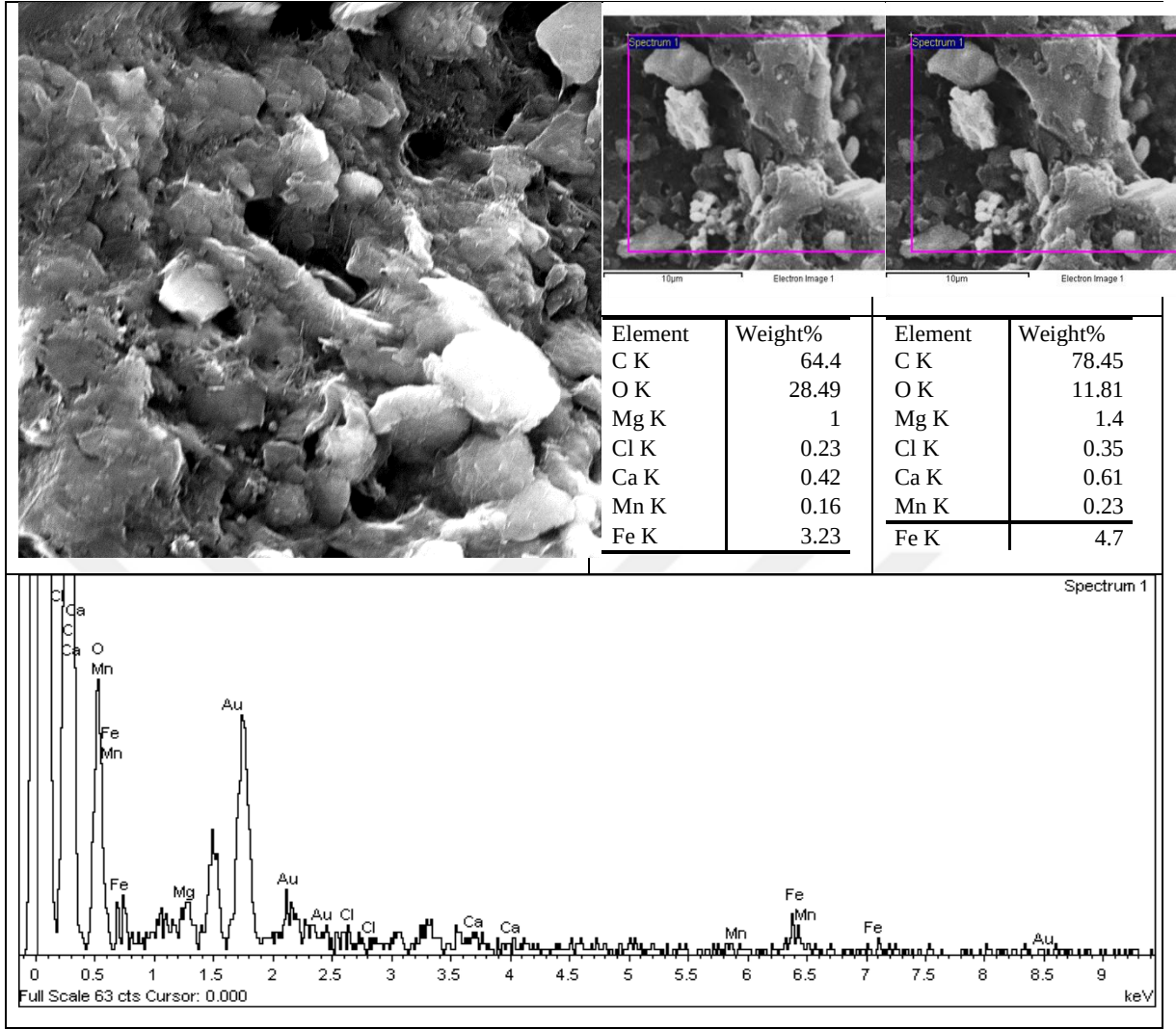


Şekil 4.12 GAK çıkış sularında gümüş ve bakır konsantrasyonları

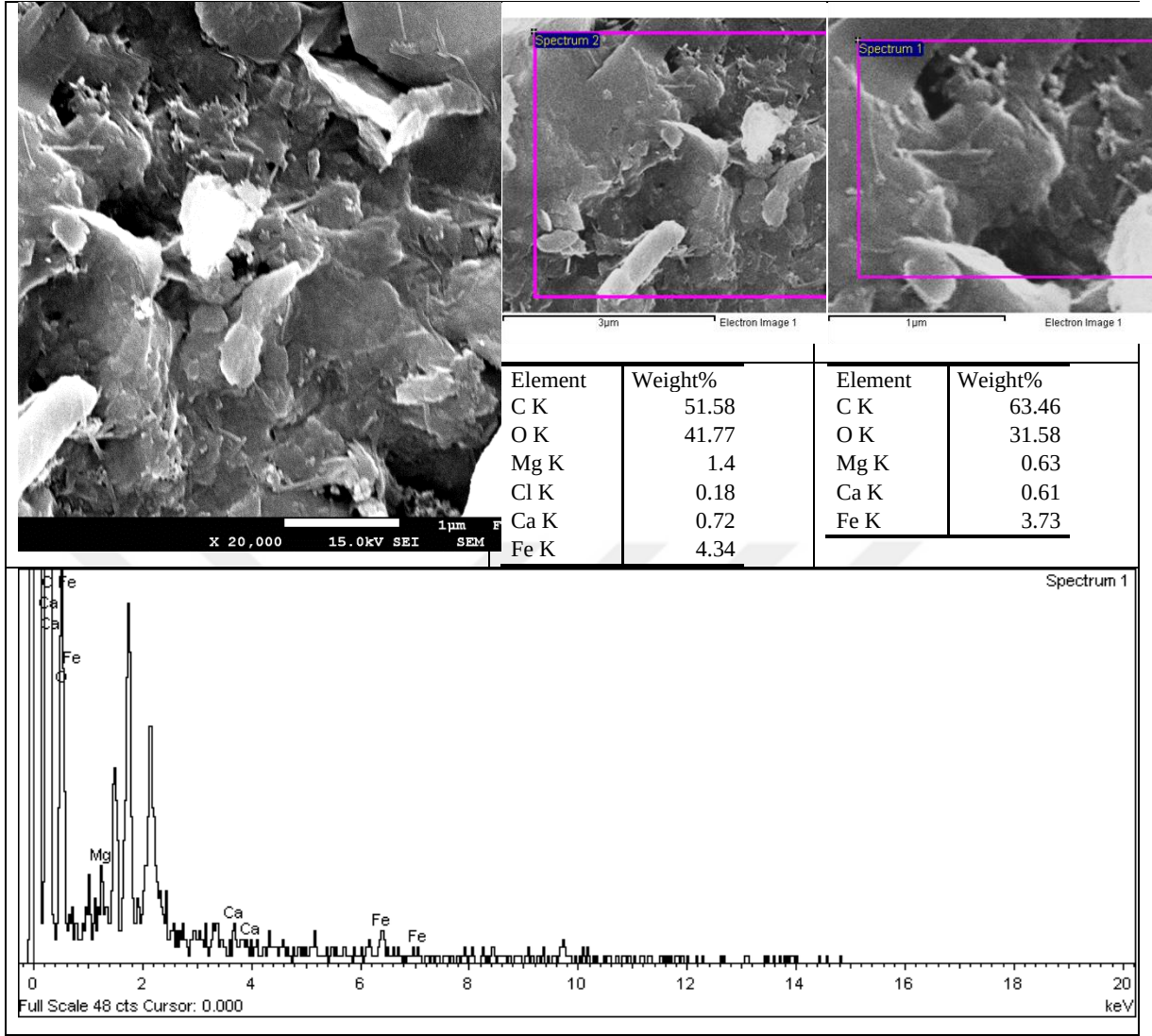
4.8. Adsorpsiyon İşlemi Sonrası SEM ve EDX Sonuçları

İşlem yapılmamış GAK ve metal oksit partikülleriyle yüklü GAK filtrelerin klor adsorpsiyonu amacıyla 250 gün süresince sürekli sistemde kullanması sonunda alınan örneklerin SEM ve EDX sonuçları aşağıda görülmektedir. Aktif karbon yüzeylerinin ve gözeneklerin suda bulunması muhtemel Ca, Fe, Cl, Mg, Si gibi maddeler ile kaplandığı SEM görüntülerinde görülmektedir. GAK yüzeyindeki porların büyük oranda kapandığı ve EDX sonuçlarına göre suda bulunması muhtemel maddelerin yüzeyde biriktiği belirlenmiştir.

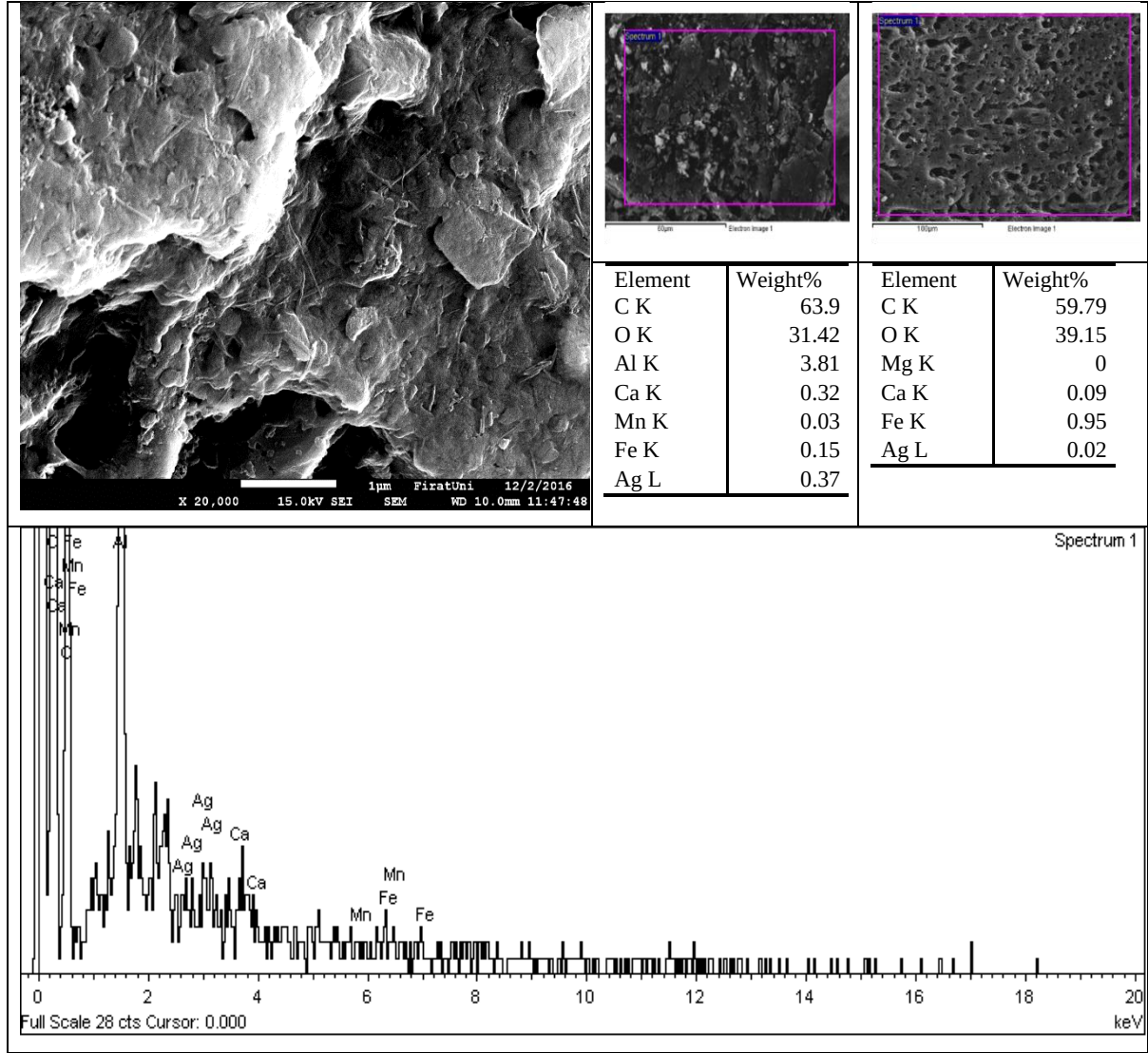
Demir, mangan, kalsiyum ve magnezyum gibi maddeler EDX sonuçlarında belirgin bir şekilde görülmektedir. Oksijen miktarındaki artış ile birlikte karbon oranında belirgin bir düşüş vardır. % 0.04 gümüş oksit içeren GAK numunesinde gümüş belirlenemezken %1 içeren GAK numunesinde yüzeyde belirlenmiştir. Bakır içeren GAK numunelerinin yüzeylerinde bakır miktarları başlangıçta verilen değerlere yakın olarak bulunduğu gözlenmiştir.



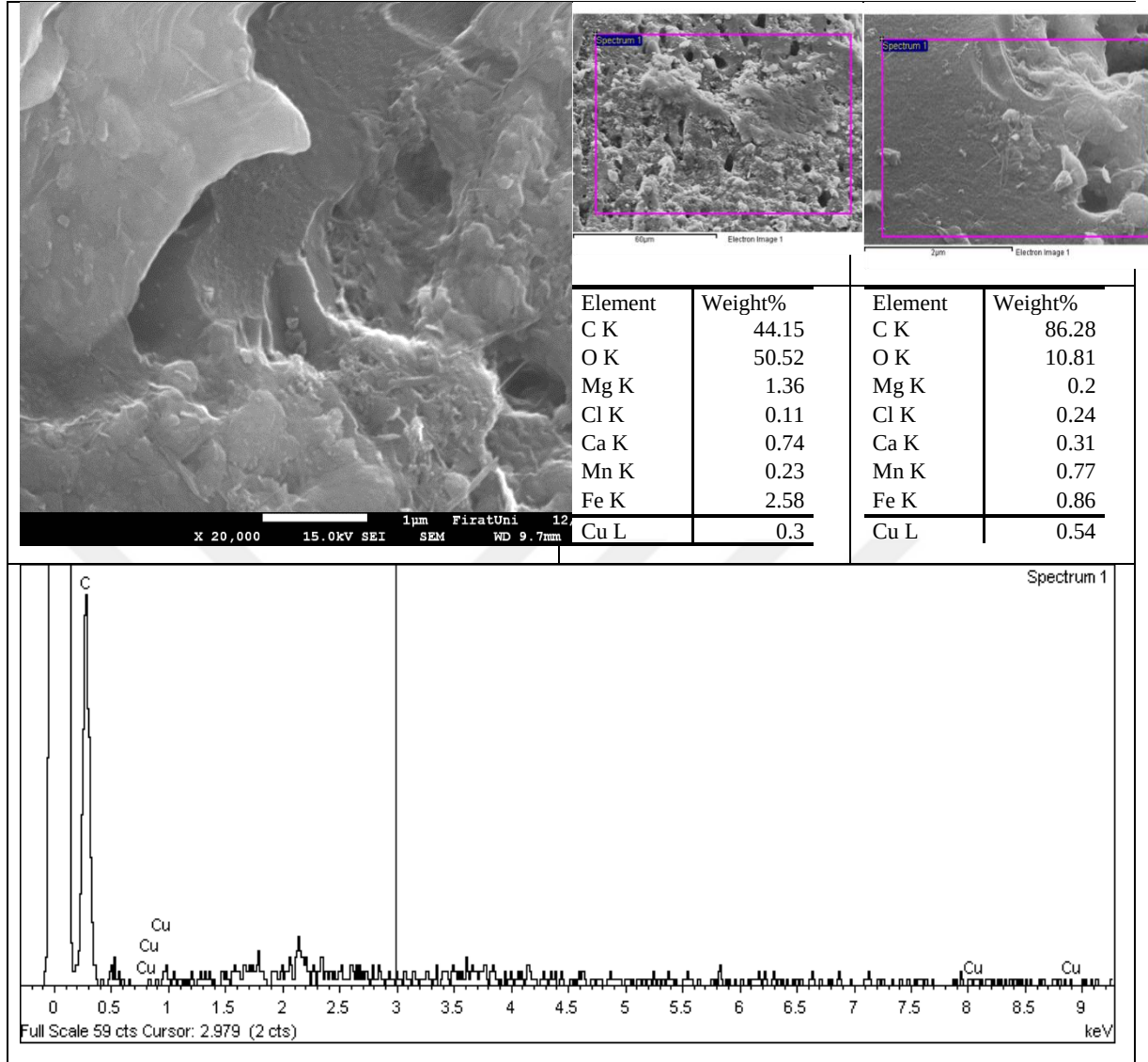
Şekil 4.13 Modifiye edilmemiş GAK'a ait SEM ve EDX sonucu



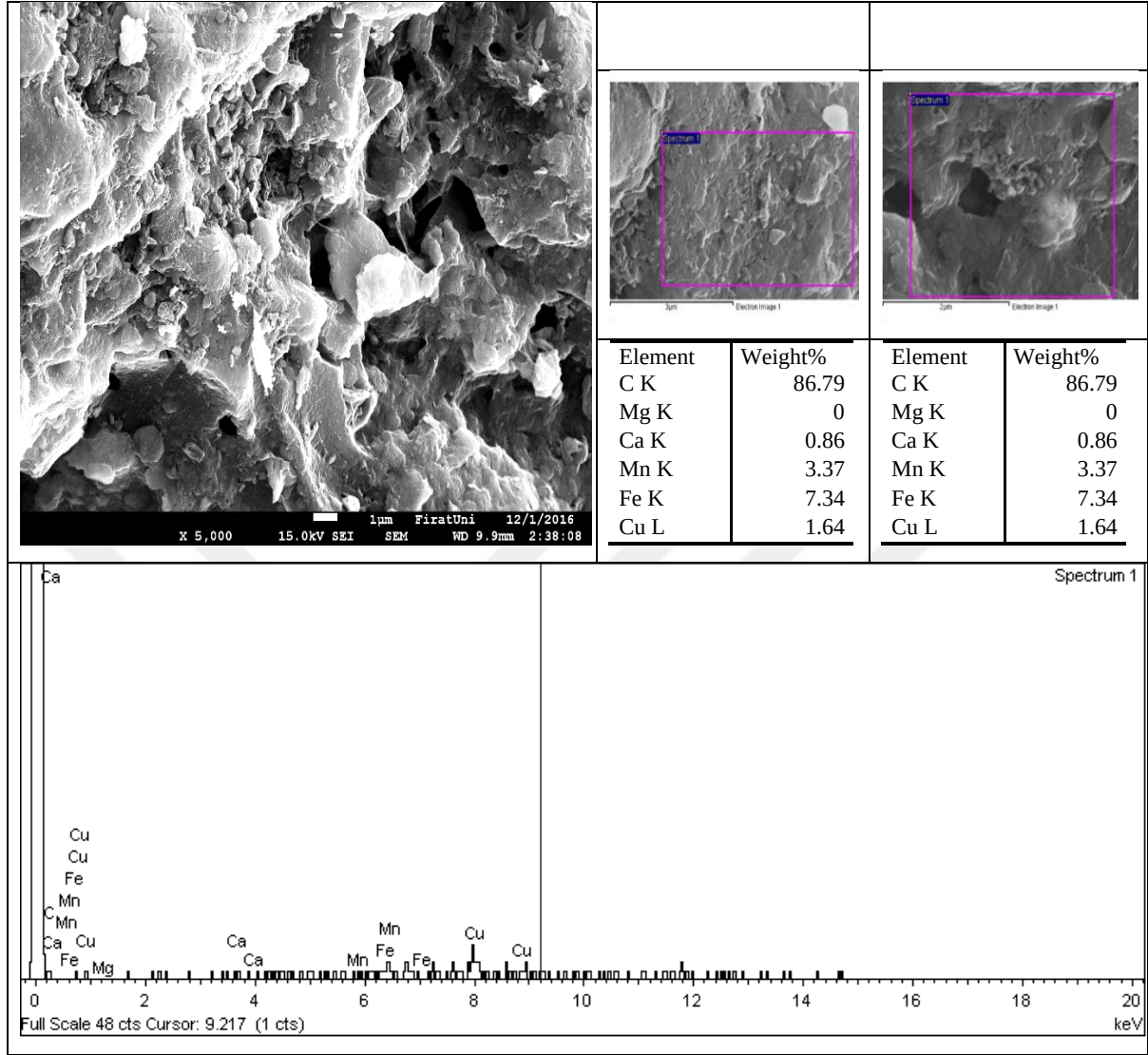
Şekil 4.14 %0.04 AgO-GAK işlem sonrası SEM ve EDX görüntüleri



Şekil 4.15 %1 AgO-GAK işlem sonrası SEM ve EDX görüntüleri



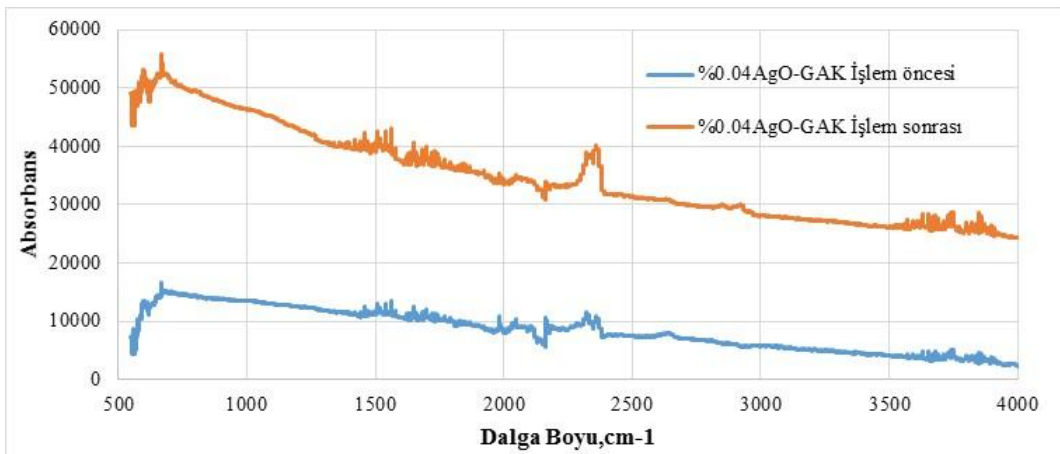
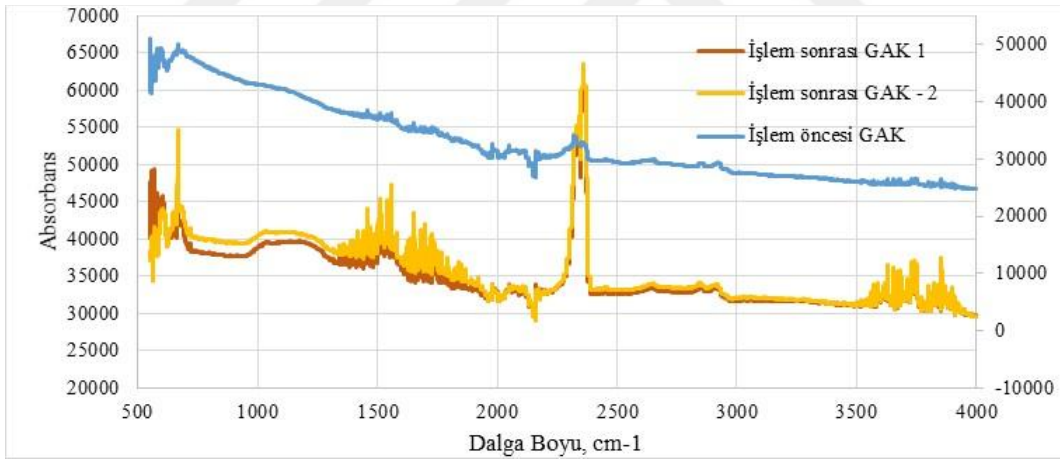
Şekil 4.16 %3 CuO-GAK işlem sonrası SEM ve EDX görüntüleri

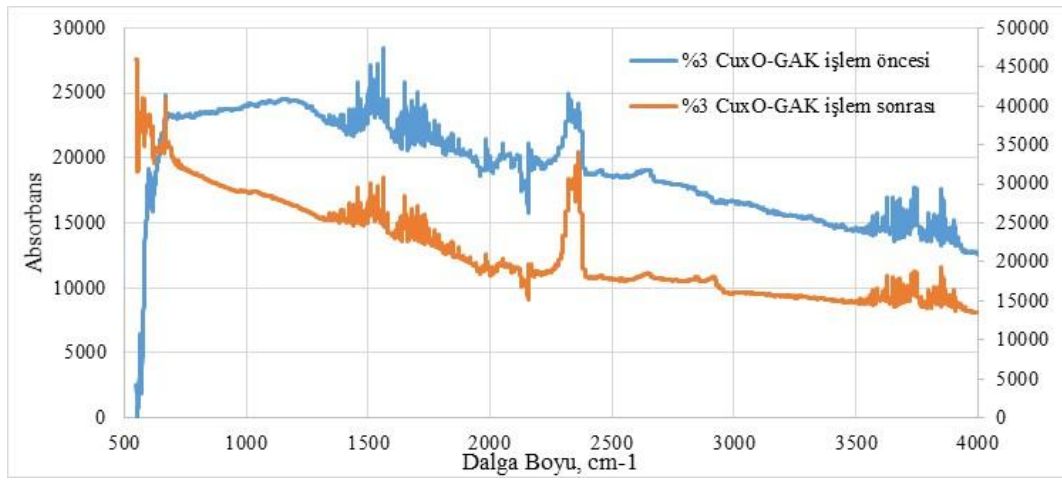
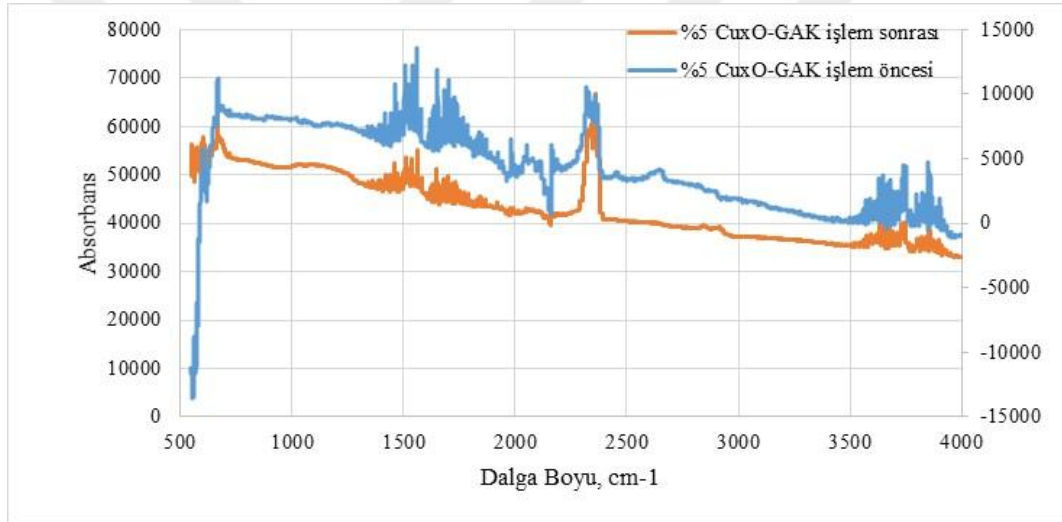
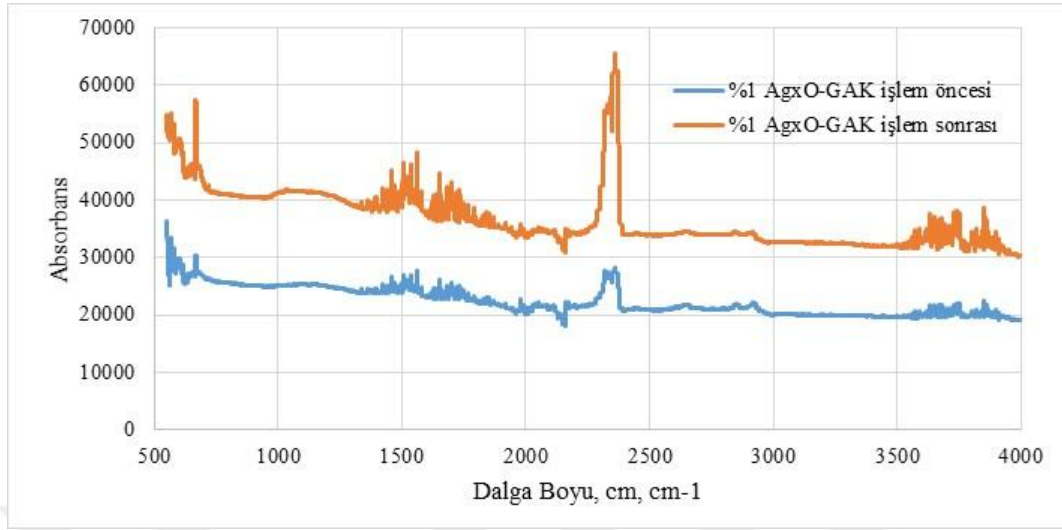


Şekil 4.17 %5CuO-GAK işlem sonrası SEM ve EDX görüntüleri

4.9. Adsorpsiyon İşlemi Sonrası FTIR Sonuçları

GAK filtrelerin adsorpsiyon öncesi ve sonrası çekilen FTIR görüntüleri Şekil 4.18'de görülmektedir. C-Cl etkileşimin geniş bir aralıkta $550-850\text{ cm}^{-1}$ 'de pik verdiği, bir karbon atomuna birden fazla klor bağlandığında bu pikin şiddetinin arttığı ifade edilmektedir. İşlem sonrasında belirgin bir şekilde görülen bu pikin yüzeyde bağlı kloru işaret etmesi muhtemeldir. $1000-1300\text{ cm}^{-1}$ 'de belirlenen geniş pikin C-O, C-O-C bandına ait olduğu söylenebilir. Klor adsorpsiyonun katalitik mekanizması sonucunda oluşan yüzeye bağlı CO spektrumlarında görülmektedir. $1300-1750\text{ cm}^{-1}$ 'de görülen piklerin amit yapılarının oluşmasına işaret etmesi muhtemeldir. İşlem sonrasında yüzeyde oluşan organik ortamın bir sonucu olarak ifade edilebilir. Ayrıca 1500 cm^{-1} 'de görülen şiddetli pikler karbon karbon etkileşimine atfedilebilir. 2380 cm^{-1} 'de belirlenen pik ise C-H ve COOH- fonksiyonel grubunu göstermesi muhtemeldir.





Şekil 4.18 Adsorpsiyon öncesi ve sonrası GAK'lara ait FTIR Spektrumları

4.10. Mikrobiyal Kirlilik Sonuçları

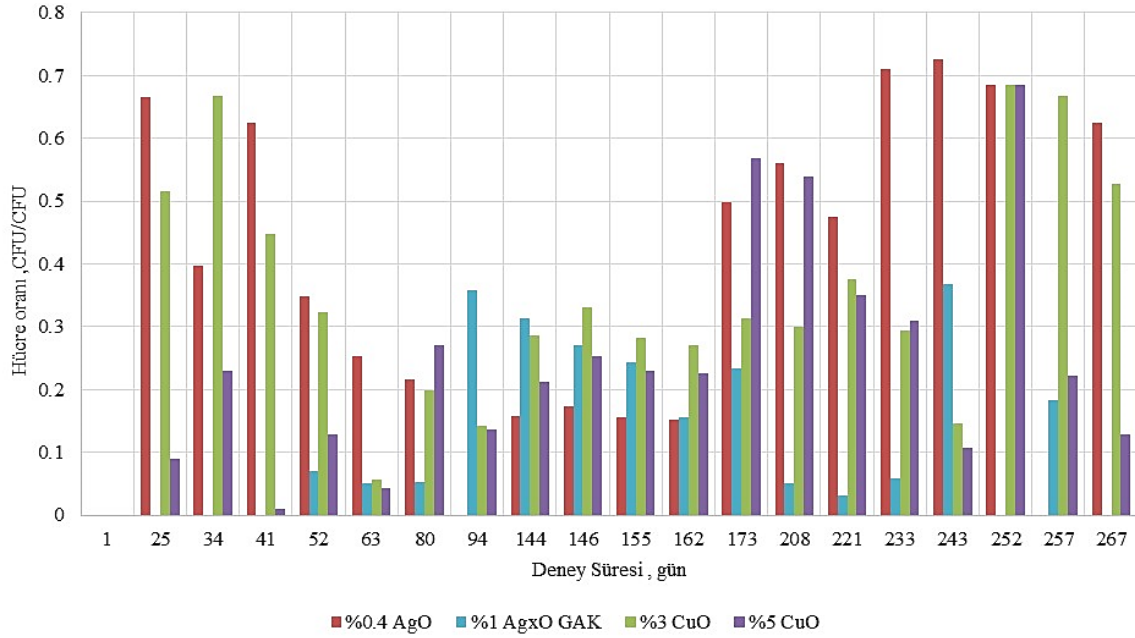
Membran fitre yöntemiyle mikrobiyal kirliliğinin metal oksit yüklü GAK filtrelerdeki değişimi işlem görmemiş GAK filtre çıkışında belirlenen koloni sayısına oranı Şekil 4.19’de verilmiştir. Koloni sayısı sisteme beslenen klor miktarıyla yakından ilişkili olduğu görülmektedir. Musluk suyunda serbest klorun olmadığı veya çok düşük olarak beslendiği süreçlerde GAK filtre çıkışlarında mikrobiyal kirlilik oluşumları artmıştır. Belirlenen limitlerin üzerinde (>0.5 mg/L serbest klor) klor beslenmesinde ise önemli düşüşler gözlemlenmiştir. Bu nedenle grafik işlem görmemiş duruma göre oransal olarak incelenmiştir. Ayrıca yüzeye bağlanmış olan metal oksit zamanla yüzeyden uzaklaştığı belirlenmiş ve salınımına paralel olarak koloni sayısına bir artış gözlenmiştir. Yüzey modifikasyonu yapılan tüm aktif karbon filtrelerde mikrobiyal kirlilik açısından önemli azalma vardır. Cu partiküllerin Ag partiküllerine göre çok daha iyi antimikrobiyal etkiye sahip olduğunu gösteren çalışmaların yanı sıra bunun tersi olan Ag partiküllerin Cu partiküllerine göre daha başarılı bir antimikrobiyal etki gösterdiğini gösteren çalışmalar vardır (Yoon K.Y vd., 2007; Ren G vd., 2009).

Bizim çalışmamızda ise Ag (%1) partikülleriyle kaplı granüler aktif karbonlarda Cu partikülleriyle kaplı granüler aktif karbona kıyasla daha iyi antimikrobiyal etki gösterdiği görülmüştür. İşlem görmemiş GAK filtreye göre oranların ortalama değerleri Tablo 4.7’de görülmektedir. Ağırlıkça % 0.04 AgO içeren GAK karbon filtre % 68 oranında koloni oluşumunu azaltırken % 1 AgO içeren filtrede bu oran % 83 olarak belirlenmiştir. % 3 ve % 5 CuO içeren GAK filtrelerde ise sırasıyla % 64 ve % 75 oranında koloni sayısında azalma işlem görmemiş filtrelere göre belirlenmiştir.

Şekil 4.19’de görülen değişim beslenen musluk suyunda klor miktarındaki değişimin yanında yüzeyin organik kirliliklercede zenginleşmesi ile açıklanabilir. Ayrıca deney sürecinin sonundaki koloni sayısındaki net artışın bir diğer sebebi ise yüzeyde metal oksitlerin salınımından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Klor ile karbon etkileşimi sadece adsorpsiyon değil aynı zamanda katalitik bir mekanizmadır. Yüzeyde meydana gelen oksit yapıların bu salınımı artırması muhtemeldir.

Tablo 4.7 İşlem görmemiş GAK'a oranla modifiye GAK'ların mikrobiyal kirlilik ortalama değerleri

GAK Filtre	Deney Sayısı	Minimum Değer	Maximum Değer	Ortalama	Standart sapma	Varyans
%0.04 AgO-GAK	19	0,01	0,75	0,3276	0,20799	0,043
%1 AgO-GAK	14	0,01	0,37	0,1715	0,12681	0,016
%3 CuO-GAK	19	0,06	0,68	0,3593	0,18194	0,033
%5 CuO-GAK	19	0,01	0,68	0,2494	0,18675	0,035



Şekil 4.19 Modifiye edilmiş ve modifiye edilmemiş GAK'ların koloni sayıları

4.11. Endotoksin Analiz Sonucu

Deney süresinin sonunda ölçülen endotoksin değerindeki azalma, işlem görmemiş GAK çıkışında ölçülen değere göre yüzde değeri olarak hesaplanmış ve Şekil 4.20'de verilmiştir. Bakteriyel bozunma ürünlerindeki meydana gelen azalma hücrede gözlenen düşüşe göre daha azdır. Yüzey modifikasyonu ile aktif karbon yüzeyinde hücre gelişimi önemli oranda azaltılsa bile endotoksin salınımının aynı oranda düşmediği belirlenmiştir. Benzer şekilde Bamnauer vd. (1994), 30 diyaliz merkezinde arıtılmış su örneklerinde

bakteriyel konsantrasyonu %17.8 ve diyalizat örneklerinde %11.7 oranında, endotoksin oranlarını ise sırası ile %12.2 ve %27.5 pozitif bulmuşlardır.

Klein vd. (1990), 51 akut ve kronik diyaliz merkezinde arıtılmış su örneği ve rastgele seçtikleri diyalizat örneklerinde mikrobiyal kontaminasyonu sırası ile %35.3 ve %19.0 olarak bildirilirken, endotoksin oranlarının daha yüksek olduğunu ve bu sonuçlara dayanarak bakteriyel endotoksin ile mikrobiyal kontaminasyon arasında uyumsuzluk gözlenebileceğini söylemişlerdir.

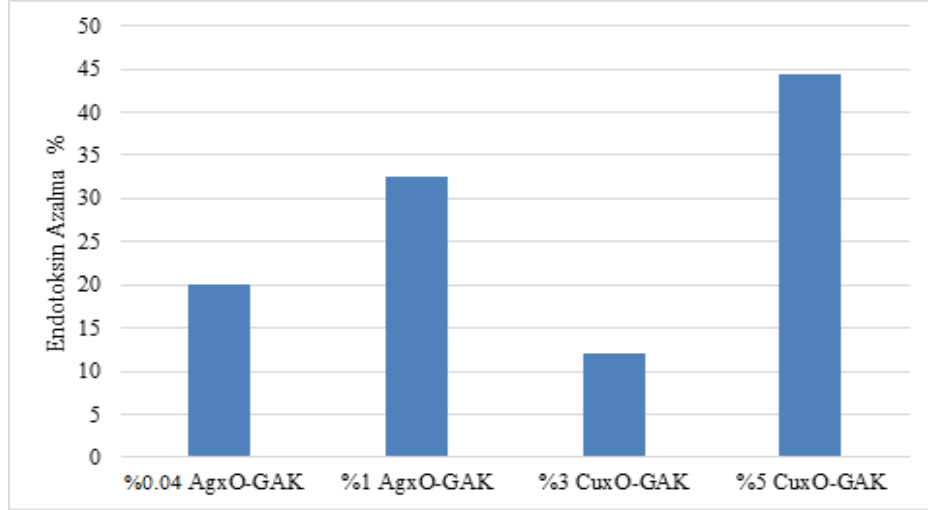
Yapılan farklı çalışmalarda ise araştırmacılar su ve diyalizat örneklerinde bakteriyel büyüme ile endotoksin salınımı arasında karşılıklı ilişki olmadığı sonucuna varmışlardır (Ismail vd., 1996; Başarı vd., 2012).

Düşük seviyede bakteri üremesi ve yüksek seviyede endotoksin konsantrasyonuna, sistem borularındaki bakteriyel tutunma, yapışma veya biyofilm gibi nedenlerle endotoksin ve bakteri parçalarının suya karışmasının yol açtığı düşünülmektedir (Ward vd., 2009; Perez-Garcia vd.,2000).

Bazı araştırmacılar ise su ve diyaliz örneklerinde bakteriyel üreme ile endotoksin konsantrasyonları arasında bir bağlantı kurulamamasının nedenini farklı bakteri türlerinin farklı endotoksin aktivitelerine sahip olabileceği şeklinde açıklamışlardır (El-Koraie vd., 2007; Lonnemann vd., 1998).

Gomila vd. (2005), hemodiyaliz su saflaştırma ünitesinin dağıtım hattındaki bakteri çeşitliliğini belirleyebilmek adına 28 su örneğini su dağıtım sisteminin 4 farklı noktasından aldılar. R2A besi yeri ortamında canlı planktonik bakteriler kültüre ederek 18 ay boyunca analiz ettiler. Sonuç olarak hemodiyaliz saf su sisteminde gram pozitif ve gram negatif olmak üzere 203 farklı bakteri türü belirlemişlerdir.

Literatürde varolan bu bilgiler bizim elde ettiğimiz sonuçlarla uyum içerisindedir. Metal oksitlerin, yüzeydeki miktarının artışı beklendiği gibi hem hücre sayısını hemde endotoksin miktarını azalttığı görülmektedir ve bu azalma aynı oranda değildir. Bu durum besleme suyundan sisteme geçmesi muhtemel gram negatif bakterilerin yanında gram pozitif bakterilerin de geçişinin etkisi olabilir. Tablo 4.8’de ölçülen endotoksin değerleri görülmektedir. Hem musluk suyundan hem de yumuşatma için kullanılan reçinelerde önemli miktarda endotoksin miktarı belirlenmiştir.



Şekil 4.20 Modifiye GAK’larda endotoksin değerleri

Tablo 4.8 Deneyisel çalışma süresi sonunda GAK filtre çıkış suyunda ölçülen endotoksin değerleri

Aktif karbon filtreler	Endotoksin, EU/ml
%0.04 AgO-GAK	3.90
%1 AgO-GAK	3.47
%3 CuO-GAK	4.16
%5 CuO-GAK	3.07
GAK1	4.65
GAK2	4.50
Yumuşatma çıkışı	1.19
Musluk suyu	0.62

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan deneysel çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda liste halinde verilmiştir.

I. Farklı yöntemlerle elde edilen modifiye GAK yüzeylerinde önemli değişimlere neden olmadığı belirlenmiştir. Artan metal oksit konsantrasyonuyla belirlenen BET yüzey alanındaki düşüş sınırlı önemsiz olduğu görülmüştür.

II. İletkenlik, pH, sertlik değeri serbest ve toplam klor gibi takip edilen parametrelerde modifiye edilmiş ve edilmemiş GAK filtrelerde takip edilen 250 gün boyunca bir farklılık belirlenmemiştir.

III. Adsorpsiyon sonrası alınan SEM görüntülerinde yüzeyin önemli oranda kirleticilerle kaplandığı belirlenmiştir. EDX sonuçlarında demir, mangan, kalsiyum ve magnezyum gibi maddeler karbon yüzeyinde belirlenmiştir.

IV. Adsorpsiyon sonrası çekilen FTIR spektrumlarında C-Cl, C-O bantlarında artış gözlemlenmiştir. Amit bandındaki piklerle yüzeyde mikrobiyal hücrelerin bulunduğunu göstermesi açısından önemlidir.

V. Hem modifiye GAK hazırlanması hemde adsorpsiyon işlemi süresince gümüş ve bakır salınımı takip edilmiştir. Yüksek konsantrasyonlarda hazırlanmasına rağmen bakır oksit partiküllerin yüzeyde daha kararlı olduğu işlem sonucunda yapılan analizlerde yüzeyde tutulan bakır miktarında %3-6 arasında salınım olduğu belirlenmiştir. Gümüş oksit partiküllerin kullanılan yöntemle de bağlı olarak yüzeyden hızlıca ayrıldığı görülmüştür. %0.04 gümüş oksit içeren GAK filtre çıkış suyunda gümüş değeri tayin edilememiştir. İçme sularının arıtılmasında önerilen bu geçiş metal oksitlerin kullanımında bu nano veya mikro boyuttaki metal oksitlerin risk oluşturabileceği açıktır.

VI. Mikrobiyal kirlilik hücre sayılarının takibi ve endotoksin analizi yapılarak incelendi. Kullanılan tüm modifiye GAK filtreler önemli oranda hücre oluşumunu azalttığı koloni sayımıyla belirlenmiştir. %1 AgO içeren filtrede en yüksek hücre azalması gözlemlenmiştir. İşlem görmemiş GAK' a göre hücre sayısı %83 oranında azaldığı belirlenmiştir. Hücre sayısındaki ikinci en fazla azalma (75) %5 CuO içeren GAK filtrede belirlenmiştir. Bu bulgu hemodiyaliz için en önemli mikrobiyal kaynağı olan GAK filtrede

hücre gelişmi gümüş veya bakır oksit partikülleri kullanımıyla düşürülebileceğini göstermektedir.

VII. Yapılan endotoksin analizi sonuçları tüm modifiye GAK filtrelerde azalma gözlemlenmiştir. Yapılan çalışma kapsamında yeterince endotoksin analizi yapılamamıştır ancak yapılan iki analiz sonucunda endotoksin miktarında en fazla azalma (%44) %5 CuO içeren GAK filtrede belirlenmiştir. İkinci en büyük düşüş (%33) %1 AgO içeren GAK filtrede belirlenmiştir. Hücre sayısındaki azlama ile endotoksin konsantrasyonundaki azalma yakın olmakla birlikte farklı modifiye GAK filtrelerde elde edilmiştir. Endoksin salınımı ile hücre miktarı arasında lineer bir ilişkinin olmadığı görülmüştür.

Planlanan çalışma sonucunda hemodiyaliz su arıtım ünitesinde modifiye aktif karbon kullanımı mikrobiyal kirliliği önemli oranda azlatacak ve ardından gelecek ünitelerin kirlilik yükünü düşüreceği belirlenmiştir. Adsorpsiyon süresince salınan metal oksitler ters osmoz ünitesinde arıtılacaktır. Ancak içme sularının arıtımında bu tür GAK filtrelerin kullanımının metal oksitlerin salınımından dolayı daha ayrıntılı incelenmesi gerekmektedir.

6. KAYNAKLAR

URL1, www.tsn.org.tr Türk Nefroloji Derneği Registry Sayıları. 20.12.2016.

Ahamed M., Alhadlaq H. A., Khan A. A., Karuppiyah P., Aldhabi N. A., 2014. ‘Synthesis, Characterization And Antimicrobial Activity Of Copper Oxide Nanoparticles’. J. Nanometer 1-4.

Akinyemi OP, Taiwo EA 2004. ‘Production of activated carbon from agricultural wastes. Proceedings of Nigerian society of chemical engineers held in Warri-Nigeria’.

Amato Rebecca L. 2000. ‘ Contemporary Dialysis and Nefrology’, 21.12.

Applerot G., Lellouche J., Lipovsky A., Nitzan Y., Lubart R., Gedanken A., 2012. ‘ Understanding the Antibacterial Mechanism Of CuO Nanoparticles.’ Small 21: 3326-3337.

Aruoja V., Dubourguier H.C., Kasemets K., Kahru A., 2009. ‘Toxicity Of Nanoparticles Of CuO, ZnO and TiO₂ To Microalgae *Pseudokirchneriella Subcapitata*’. Sci Total Environ 407:1461-1468.

Azam A., Ahmed A.S., Oves M., Khan M., Memic A., 2012. ‘ Size-Dependent Antimicrobial Properties Of CuO Nanoparticles Against Gram-Positive And Negative Bacterial strains’. Int. J. Nanomedicine 7:3527.

Baek Y.W., An Y.J. 2011. ‘ Microbial Toxicity Of Metal Oxide Nanoparticles (CuO, NiO, ZnO and Sb₂O₃) To *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis* And *Streptococcus aureus*.’ Science Of Total Environment 409: 1603-1608.

Bagchi D., Roy T.K., 2000. ‘ Selecting A Dechlorinating Chemical For A Waste Water Treatment Plant In Georgia’

Bambuer R., Schauer M., Jung W.K., Daum V., Vienken J., 1994. ‘ Contamination Of Dialysis Water And Dialysate: A Survey Of 30 Centers. Asaio J., 40(4):1012-1016.

Bandyopadhyaya R., Sivaiah M. V., Shankar P. A., 2008. ‘ Silver-Embedded Granüler Activated Carbon As An Antibacterial Medium for Water Purification’. Journal of Chemical Technology and Biotechnology. 83:1177-1180.

- Bashkova S.,** Deoki D., Bandosz T.J., 2011. 'Effect Of Silver Nanoparticles Deposited On Micro/Mesoporous Activated Carbons On Retention Of NO_x At Room Temperature.' *Journal Of Colloid And Interface Science* 354:331-340.
- Boehm, H.P.,** 2002. Surface Oxides On Carbon And Their Analysis: A Critical Assessment, *Carbon*, 40:145-149.
- Camargo L. F. A.,** Neto M. C., Canziani M. E., Draibe S. A., 2001. 'Water-Transmissible Diseases And Haemodialysis'. *Emergng Infections*. ASM Press, Washington DC.
- Canaud B.,** Bosc J.Y., Leray H., Stec F., 2000. 2 Microbiological Purity Of Dialysate For On-Line Substitution Fluid Preparation'. *Nephrol Dial Transplant*. 15:21-30.
- Canaud B.J.M.,** Mion C. M., 1996. 'Water Treatment For Contemporary Hemodialysis In Replacement Of Renal Function By Dialysis '. Edited By: Jacobs C., Kjellstrand C.M., Koch K. M., Winchester J.F., Netherlands, Kluwer. 231-255.
- Carson L.A.,** Petersen N.J., Favero M.S., Agüero S.M., 1978. 'Growth characteristics of Atypical Myoo-Bacteria In Water And Their Comporative Resistance To Disinfectants'. *Appl Environ Microbiol*; 36:839-846.
- Choi O.,** Deng K., Kim N., Ross L., Surampalli R., Hu Z., 2008. 'The Inhibitory Effects Of Silver Nanoparticles, Silver Ions and Silver Chloride Colloids On Microbial Growth'. *Water Res* 42:3066-3074. Doi 10.1016/j.Watres.2008.02.021.
- Curtis A.,** Wilkinson C., 2001. 'Trends Biotechnol 19:97.
- Dey K.K.,** Kumar A., Shanker R., Dhawan A., Wan M., Yadav R.R., 2012. 'Growth Morphologies, Phase Formation, Optical And Biological Responses Of Nanostructures Of CuO And Their Application As Cooling Fluid In High Energy Density Devices'. *RCS Adv*. 2:1387.
- Dizaj S. M.,** Jafari S., Khosroushahi Y. A., 2014 'A Sight On The Current Nanoparticle-Based Gene Delivery Vectors'. *Nanoscale Research Letters*. 9(1):1-9.
- El-Boyoumy S.,** El-Kolaly M., 2008. 'M. Some Radiochemical Studies On The Adsorption Behaviour Molybdenum-99 On-Silver-Coated Carbon Granules And Activated Carbon. *Journal Of Radioanalytical Chemistry*, Vol.68, No.1-2.

- El-Koraie A.F., Hazzah W.A., Abbas A.A., El-Shazly S.A., 2007.** ‘ Bacteriological Monitoring Of Dialysis Fluid İn 2 Hemodialysis Units İn Alexandria, Egypt. Saudi Med J. 28(8) 1234-1238.
- Ersoy F.** Fevzi, 2013. ‘Hemodiyaliz El Kitabı’ Bölüm 5:31.
- Fan H. J.,** Anderson P. R., 2005. ‘ Copper And Cadmium Removal By Mn Oxide-Coated Granuler Activated Carbon’. Seperation and Purification Technology. 45:65-67.
- Faverp M.S.,** Petersea N.J., Carson L.A., Bond W.W., Hindman S.H., 1975. ‘Gram-Negative Water Bacteria İn Hemodialysis Systems’ , Health Lab. Sci; 12: 321-334.
- Giannousi K.,** Lafazanis K., Arvanitidis J., Pantazaki A., Denrinou-Samara C., 2014.’ Hydrothermal Synthesis Of Copper Based Nanoparticles: Antimicrobial Screening And Interaction With DNA’. Journal of Inorganic Biochemistry. 133: 24-32.
- Gicheva G.,** Yordanov G., 2013. ‘ Removal Of Citrate-coated silver Nanoparticles From Aqueous Dispersions Bu Using Activated Carbon’.
- Gomila M.,** Gasco J., Busquets A., Gil J., Bernabeu R., Buades M.J., Lalucat J., 2005. ‘Identification Of Culturable Bacteria Present In Haemodialysis Water And Fluid.’ FEMS Microbiology Ecology 52:101-114.
- Hajipour M. J.,** Fromm K. M., de Ashkarran A. A., Aberasturi D. J., de Larramendi I. R., Rojo T., Serpooshan V., Parak W. J., Mahmoudi M., 2012. ‘ Antibacterial Properties Of Nanoparticles’. Trend İn Biotechnology. 30(10):449-511.
- Horie M.,** Fujita K., Kato H., Endoh S., Nishio K., Komaba L.K., 2012. ‘Association Of The Physical And Chemical Properties And The Cytotoxicity Of Metal Oxide Nanoparticles: Metal Ions Release, Adsorption Ability And Specific Surface Area.’ Metallomics 4:350-360.
- Ismail N.,** Becker B.N., Hakim R.M., 1996. ‘Water Treatment for Hemodialysis’. Am J Nephrol 16:60-72.
- Jaguaribe E.F.,** Medeiros L.L., Barreto M.C.S., Araujo L.P., 2004. ‘ The Performance Of Activated Carbonns From Sugarcane Bagasse, Babassu, And Coconut Shells In Removing Residual Chlorine’. Brazilian Journal of Chemical Engineering. 22(01): 41-47.
- Karakullukçu F.** 2008. ‘ Diyalizde kullanıma Uygun Kaliteli Su’.

- Kim B.J.,** Park S.J., 2008. ‘Antibacterial Behavior Of Transition-Metals-Decorated Activated Carbon Fibers’. *Journal Of Colloid And Interface Science*. 325;297-299.
- Kim J.,** Kuk E., Yu K., Kim J., Park S., Lee H., Kim S., Park Y., Hwang C., Kim Y., Lee Y., Jeong D., Dho M., 2007. ‘Antimicrobial Effects Of Silver Nanoparticles. *Nanomed Nanotechnol* 3:95-101. Doi:10.1016/j.nano.2006.12.001.
- Kim J.S.,** Kuk E., Yu K.N., Kim J.H., Park S.J., Lee H.J., Kim S.H., Park Y.K., Hwang C.Y., Lee Y.S., Jeong D.H., Cho M.H., 2007. ‘Antimicrobial Effects Of Silver Nanoparticles.’ *Nanomedicine* 3:95-101.
- Kim L. H.,** Cho H., Ryu S. E., Choi M. U., 2000. ‘Effects Of Metal Ions On The Activity Of Protein Tyrosine Phosphate VHR: Higly Potent And Reversible.
- Klein E.,** Pass T., Harding G.B., Wright R., Million C., 1990. ‘Microbial And Endotoxin Contamination In Water And Dialysate In The Central United States. *Artif Organs*. 14(2):85-94.
- Le pape H.,** Solano-Serena F., Contini P., devillers C., Maftah A., Leprat P., 2002. ‘Evaluation Of The anti-Microbial Properties Of An Activated Carbon Fibre Supporting Silver Using a dynamiz Method. *Carbon* 40:2954, Doi:10.1016/S0008-6223(02) 00246-4.
- Li Q., Mahendra S.,** Lyon D. L., Brunet L., Liga M. V., Li D., 2008. ‘Antibacterial Nanometarials For Water Disinfection And Microbial control: Potential Applications And Implications’. *Water Research*. 42: 4591-4600.
- Lim M.,** Delehomme C., Capece J. 2008. ‘Removal of Residual Chlorine from Drinking-Water by Solar Radiation (UV) and Activated Carbon Filtration’. *Intelligentsia International, Inc.*
- Lin Y. E.,** Vidic R. D., Stout J. E., McCartney C. A., Yu V. L., 1998. ‘Inactivation Of Mycobacterium Avium By Copper And Silver Ions’. *Water Res*. 32(7):1997-2000.
- Linde K.,** Lim B.T., Rondeel M.M.J., Antonissen L.P.M.T., Jong G.M.T., 1999. ‘Improved Bacteriological surveillance Of Haemodialysis Fluids: A Comparison Between Tryptic Soy Agar And Reasoner’s 2A Media.’ *Nephrology Dialysis Transplantation* 14(10): 2433-2437.
- Lonnemann G.,** 1998. ‘Assessment Of The Quality Of Dialysate. *Nephrol Dial Transplant*, 13(5):17-20.

- Luna-delRisco M.**, Orupold K., Dubourguier H.C., 2011. ‘ Particle-Size effect Of CuO And ZnO On Biogas And Metane Production During Anaerobic Digestion.’ J. Hazard Mater 189:603-8.
- Magee**, 1956. ‘V. Proc. Soc. Water Treat. Exam., 5:17.
- Mahapatra O.**, Bhagat M., Gopalakrishnan C., Arunachalam K.D., 2008. ‘Ultrafine Dispersed CuO Nanoparticles And Their antibacterial Activity’. J. Exp. Nanosci. 3:185-193.
- McFeters G. A.**, Broadaway S. C., Pyle B. H., Egozy Y., 1993. ‘ Distribution Of Bacteria Within Operating Laboratory Water Purification Sysytems’. Appl. Environ. Microbiol. 59:1410-1415.
- Melo M.A.**, Guedes S.F., Xu H.H., Rodrigues L.K., 2013. ‘Nanotechnology-Based Restoative Materials For Dental Caries Management.’ Trends Biotechnol. 31:459-467.
- Mendis E.**, Rajapakse N., Byun H., Kim S., 2005.’ Investigation Of Jumbo Squid (Dosidicus gigas) Skin Gelatin Peptides For Their In Vitro Antioxidant effects’. Life Sci. 77:2166-2178. Doi:10.1016/j.lfs.2005.03.016.
- Miyoshi H.**, Ohno H., Saka, K., Okamura N., Kourai H., 2010. Chracterization And Photochemical And Antibacterial Properties Of Highly Stable Silver Nanoparticles Prepared On Momtmorillonite Clay In n-Hexanol. Journal Of Colloid And Interface Science 345: 433-441.
- Mumm F.**, Hevoort ATJV., Sikorski P., 2009. ‘Easy Route To Superhydrophobic Copper-Based Wire-Guided Droplet Microfluidic Systems’. ACS Nano. 3: 2647-2652.
- Muna Y. Abdul**, 2008. ‘Desing Criteria Of An Activated Carbon Bed For Dechlorination Of Water’Iragi Journal Of Chemical And Petroleum Engineering. 9(4): 41-49.
- Müller R.H.**, Mehnert V., 1997. ‘Particle And Surface Characterization Methods, Medpharm Scientific Publisher, Stuttgart.
- Oyar P.**, 2014. ‘Nanoparticles In Dentistry, Their Applications, And Biocompatibility.’ Atatürk Üniv. Diş Hekimliği Dergisi, Ankara. 24(1):125-133.
- Özdemir I.**, 2013. ‘Şarap Endüstrisi Artığı Üzüm Saplarından Aktif Karbon Eldesi Ve Karakterizasyonu, Elazığ

- Padil V.V.T.,** Cernik M., 2013. 'Green Synthesis Of Copper Oxide Nanoparticles Using Gum Karaya As A Biotemplate And Their Antibacterial Application'. International Journal Of Nanomedicine. 8:889.
- Panacek A.,** Kvitek L., Pucek R., Kolar M., Vecerova R., Pizurova N., K. Sharma V., Nevecna T., Zboril R. 2006., ' Silver Colloid Nanoparticles: Synthesis, Characterization, And Their Antibacterial Activity'. J.Phys. B. 110:16248-16253.
- Pankhurst Q.A.,** Connolly J., Jones S.K., Dobson J., 2003. 'Applications Of Magnetic Nanoparticles In Blomedicine.' J. Phys D. Appl. Phys 36:167-181.
- Park S.J., Jang Y.S.,** 2003. 'Preparation And Characterization Of Activated Carbon Fibers Supported With Silver Metal For Antibacterial Behavior'. Journal Of Colloid And Interface Science 261:238-243.
- Park S.J.,** Kim B.J., 2005. 'A Study On NO Removal Of Activated Carbon Fibers With Deposited Silver Nanoparticles'. Journal Of Colloid And Interface Science 282:124-127.
- Perez-Garcia R.,** Rodrigues-Benites P.O.C., 2000. 'Why and How Monitor Bacterial Contamination Of Dialysate?' Nephrol Dial Transplant. 15:760-764.
- Pucek R.,** Tucek J., Kilianova M., Panacek A., Kvitek L., Kolar M., Tomankova K., Zboril R, 2011. 'The Targeted Antibacterial And Antifungal Properties Of Magnetic Nanocomposite Of Iron Oxide And Silver Nanoparticles. Biomaterials 32: 4704-4713.
- Puri B.R.,** 1970. 'Chemistry and Physics of Carbon'. Vol: 2
- Pürçüklü S,** Demirgöz D, Şahin E, Taralt A, 2003. ' Aktif Karbon Yüzeyinin Kimyasal Süreçlerle Modifikasyonunun İncelenmesi. Proje No: MİSAG-194.
- Quang D. V.,** Sarawade B. P., Jeon J. S., Kim J. K., Chai Y. G., Kim H. S., Kim H.T., 2013. ' Effective Water Disinfection Using silver Nanoparticle Containing silica Beads'. Applied Surface Science. 266:280-287.
- Raffi M.,** Hussain F., Bhatti T., Akhter J., Hameed A., Hasan M., 2008.' Antibacterial Characterization Of Silver Nanoparticles Againsts *E.coli* ATCC-15224. J Mater Sci Technol. 24:192-196.
- Rath V. R.,** Jarvis W. R., 2000. ' Outbreaks Of Infection And Pyrogenic Reactions In Dialysis Patients'. Semin Dial. 13:92-96.

- Rejeski D.**, 2009. 'Nanotechnology And Consumer Products. http://www.nanotechproject.org/publications/archive/nanotechnology_consumer_products/. Accessed 2010.
- Ren G.**, Hu D., Cheng E.W.C., Vargas-Reus M.A., Reip P., Allaker R.P., 2009. 'Characterisation Of Copper Oxide Nanoparticles For Antimicrobial Applications.' *Int. J. Antimicrob Agents*. 33:587-590.
- Rengga W.D.P.**, Sudibandriyo M., Nasikin M., 2013. 'Adsorption Of Low-Concentration Formaldehyde From Air By Silver And Copper Nano-Particles attached On Bamboo-Based Activated Carbon'. *International Journal Of Chemical Engineering And Applications* 4:332-336.
- Rousk J.**, Ackermann K., Curling S.F., Jones D.L., 2012. 'Comparative Toxicity Of Nanoparticulate CuO and ZnO To Soil Bacterial Communities. *Plos One*. 7:34197.
- Rujitanaroj P. O.**, Pimpha N., Supaphol P., 2010. 'Preparation, characterization And Antibacterial Properties Of electrospun Polyacrylonitrile Fibrous Membranes Containing Silver Nanoparticles'. *Journal Of Applied Polymer Science*. 116(4):1967-1976.
- Ruparelia J. P.**, Chatterjee K. A., Duttagupta S. P., Mukherji S., 2007. 'Strain Specificity In antimicrobial activity Of Silver And Copper Nanoparticles'. *Acta Biomaterialia* 4:707-716.
- Scenen S.J.**, Rivera-gil P., Montenegro J-M., Parak W.J., De Smedt S.C., Braeckmans K., 2011. 'Cellular Toxicity Of Inorganic Nanoparticles: Common Aspects And Guidelines For Improved Nanotoxicity Evaluation'. *Nano Today* 6:446-465.
- Seetharam R.N.**, Sridhar K.R., 2006. 'Nanotoxicity: Threat Posed By Nanoparticles. *Curr SCI* 93:769-770.
- Shi Q.**, Vitchuli N., Nowak J., Caldwell J. M., Breidt F., Bourham M., Zhang X., McCord M., 2010. 'Durable Antibacterial Ag/Polyacrylonitrile (Ag/PAN) Hybrid Nanofibers Prepared By Atmospheric Plasma Treatment And Electrospinning'. *European Polymer Journal*. 47(7):1402-1409.
- Shimabuku L.Q.**, Flavia S.A., Silva M.F., Coldebella F.P., Nakamura U.T., Fagundes-Klen R.M., Bergamasco R., 2016. 'Water Treatment With Exceptional Virus Inactivation Using Activated Carbon Modified With Silver (Ag) And

- copper Oxide (CuO) Nanoparticles.’ Environmental Technology 0959-3330:1479-1487.
- Shukla R.**, Bansal V., Chaudhary M., Basu A., Bhonde R.R., 2005. ‘Biocompatibility Of Gold Nanoparticles And Their Endocytotic Overview. Langmuir 21:10644-10654.
- Sitter T.**, Bergner A., Schiff H., 2000. ‘ Dialysate Related Cytokine Induction And Response To recombinant Human Erythropoietin In Haemodialysis Patients’. Nephrol Dial Transplant. 15:1207-1211.
- Smetana J.**, Foster J., 2009. ‘Synthesis Of spherical Silver Nanoparticles By Digestive Ripening, stabilization With Various Agents, and Their 3-D and 2-D Süperlattice Formation’. J. Colloid Interface Sci. 284:521-526.
- Sodha K.**, Panchani C.S., Nath K., 2011. ‘ Feasibility Of Microbial Regeneration Of Spent Activated Carbon Sorbed With Phenol Using Mixed Bacterial Culture.’ India Journal Of Chemical Technology; 20: 33-39.
- Sondi I.**, Salopek-Sondi B., 2004. ‘Silver Nanoparticles As An Antimicrobial Agent: A Case Study On *E.coli* As A Model For Gram-Negative Bacteria.’ J. Colloid Interface SCI. 275:177-182.
- Song Y.**, Li X, Du X., 2009. ‘ Exposure To Nanoparticles Is Related To Pleural Effusion, Pulmonary Fibrosis And Granuloma.’ Eur Respir J; 34: 559-67.
- Stoimenov P. K.**, Klinger R. L., Marchin G. L., Klabunde K. J., 2002. Langmuir 18:6679.
- Sung J.**, Ji J., Yoon J., Kim D., Song M., Jeong J., Han B., Han J., Chung Y., Kim J., Kim T., Chang H., Lee E., Lee J., Yu I., 2008. ‘Lung Function Changes In Sprague-Dawley Rats After Prolonged Inhalation Exposure To Silver Nanoparticles’. Inhal Toxicol 20:567-574. Doi:10.1080/08958370701874671.
- T.C Resmi Gazete**, 17/2/2005 tarihli ve 25730 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmeliğin 10. maddesinin 11. Fıkrası hakkında alınan karar, (28580 mükerrer), 7.03.2013, 7.
- Tiwari D. K.**, Behari J., Sen P., 2008.’Application Of Nanoparticles In Waste Water Treatment.
- TS-266**, 2005. ‘Sular-İnsani Tüketim Amaçlı Sular’, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- Tseng H.-H.**, Way M.-Y., 2006. ‘ Effects Of Acid Treatments Of Activated Carbon On Its Physiochemical Structure As A Support For Copper Oxide In DeSO_2 Reaction Catalysts’. *Chemosphere* 62:756-766.
- Uzun S.**, 2011. ‘ Su Kalitesinin İyileşmesinde Ozon Kullanımı Ve Kimyasal Etkileri’. *Türk Hijyen Ve Deneysel Biyoloji Dergisi*; 68(2): 105-113.
- Ward R. A**, Schmdt B., Hullin J., Hillebrand G.F., Samtleben W., 2000. 2 A Comparison Of On-line Hemodiafiltration And High-Flux Hemodialysis: A Prosoective Clinical Study.’ *Journal of the American Society of Nephrology*, 11(12),2344-2350.
- Ward R.A**, 2009. ‘Worldwide Duidelines For The Preparation And Quality Management Of Dialysis Fluid And Their Implementation. *Blood Purif* 27(1):2-4.
- Warheit D. B.**, Borm P. J., Hennes C., Ladenmann J., 2007. ‘ Testing Strategies To Estandis The Safeyt Of Nanomaterials: Conclusions Of An ECETOC Workshop. *Inhal Toxicol* 19:631-643.
- Water Guadelines N.S.W. 2008** ‘Water Pre-Trealment, For Dialysis In-Centre and Satellite’ E.U
- Yamawaki H**, Iwai N., 2006. ‘Mechanisms Underlying Nano-Sized Air-Pollutionmediated Progression Of atherosclerosis: Carbon Black Causes Cytotoxic Injury/Inflammation And Inhibits cell Growth In Vascular Endothelial Cells.’ *Circ J.* 70: 129-40.
- Yoon K.Y.**, Hoon-Byeon J., Park J.H., Hwang J., 2007. ‘Susceptibility Constants Of *E.coli* And *B.subtilis* To Silver And Copper Oxide Nanoparticles.’ *Sci. Tot Environ.* 373: 572-575.
- Yu-Sen E. L.**, Radisav D.V., Janet E.S., Victor L.Y., 1996. ‘ Individual And Combined Effects Of Copper And Silver Ions On Inactivation Of *Legionella Pneumophila*’. *Perganom* 30:1905-1913.
- Yusufu Mohammed I.**, Ariaahu C. C., Nkpa N. N., Igbabul B. D., 2012 ‘Chlorine Adsorption Kinetics Of Activated Cardon From Selected Local Raw Materials’ , *Journal of Chemical Engineering and Materials Science* Vol. 3(2), pp. 23-29.
- Zhang Q.**, Zhang K., Xu D., Yang G., Huang H., Nie F., Liu C., Tang S., 2014. ‘ CuO Nanostructures: Synthesis, Characterization, Growth Mechanisms,

Fundamental Properties, And Applications'. Progress In Materials Science.
60:208-337.



ÖZGEÇMİŞ

Nazan YILMAZ

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü

23200 ELAZIĞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Doğum Yeri: Elazığ

Doğum Tarihi: 27.02.1983

Medeni Durumu: Bekâr

Yabancı Dil: İngilizce

Elektronik Posta: nazan_ylmaz83@hotmail.com

EĞİTİM BİLGİLERİ

2013-2016: Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyomühendislik Ana Bilim Dalı

2002-2006: Fırat Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü

1999-2002: Kor. Gen. Hulusi Sayın Lisesi, Sayısal Bilimler

İŞ TECRÜBESİ

Satış Uzmanı, Eczacıbaşı-Baxter Hastane Ürünleri, 2006-2009

Bölge Müdürü, Renka Sağlık Hizmetleri, 2009-2010

Satış Uzmanı, Fresenius Medikal Hizmetler, 2010-devam ediyor

PROJELER

Nano Metal Oksit Partikülleriyle İşlem Görmüş Aktif Karbon Filtrede Mikrobiyal Kirliliğin İncelenmesi, Proje No: MF.15.20, Araştırmacı, 2015-2016

Modifiye Aktif Karbonla Klor Gideriminin Sürekli Sistemlerde İncelenmesi, Tübitak 2210-C