İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKARYAKIT DEPOLAMA TESİSLERİNDE OLUŞAN ATIKSULARIN GERİ KAZANIMI İÇİN SIFIR DEŞARJ YAKLAŞIMLI ARITMA TEKNOLOJİLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ersin ÖZMEN

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı

Aralık 2016

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AKARYAKIT DEPOLAMA TESİSLERİNDE OLUŞAN ATIKSULARIN GERİ KAZANIMI İÇİN SIFIR DEŞARJ YAKLAŞIMLI ARITMA TEKNOLOJİLERİNİN GELİŞTİRİLMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ersin Özmen
(501141711)

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Derya YÜKSEL İMER

Aralık 2016

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501141711 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Ersin ÖZMEN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "Akaryakıt depolama tesisinde oluşan atıksuların geri kazanımı için sıfır deşarj yaklaşımlı arıtma teknolojilerinin geliştirilmesi" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Derya YÜKSEL İMER** .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. İsmail KOYUNCU** ….....
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Bülent KESKİNLER .....
Gebze Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 06.12.2016
Savunma Tarihi : 23.12.2016

Aileme,

ÖNSÖZ

Öncelikle lisans eğitimim süresince bana her türlü konuda yardımcı olmuş, yüksek lisansa geçmeme önayak olan dostum Salim Yaykıran'a ve tezimi yazabilmeme vesile olmuş dostum Müge Biçer'e teşekkürü borç bilirim.

Tez süresince danışmanım ve proje yürütücüm Doç. Dr. Derya Yüksel İmer hocamın anlayışlı, yönlendirici ve bilgilendirici karakterinden dolayı oluşan çalışma ortamında 2 senemi çok güzel bir şekilde geçirebildim. Bu sebepten kendisine ne kadar teşekkür etsem azdır ve yaşamım boyunca kendisine minnettar kalacağım.

Çalışmaların yürütüldüğü Prof. Dr. Dincer Topacık Ulusal Membran Teknolojileri Uygulama ve Araştırma Merkezinin (MEM-TEK) direktörü olan Prof. Dr. İsmail Koyuncu hocamın tez süresince yaptığı destek ve yardımlardan, öğrencilerine oluşturduğu geniş imkanlardan, çalışma ortamından ve ürettiği diğer projelerle üniversitemize ve ülkemize yaptığı katkılardan dolayı teşekkür ederim.

Tez çalışmalarımda büyük bir yardımseverlik ve öğretme şevkiyle bana yol gösteren hocam Dr. Murat Eyvaz'a, kendisiyle çalışmanın çok keyifli ve öğretici olduğu için teşekkür ederim.

Ayrıca proje süresince Opet Marmara Ereğlisi Terminalinde misafirperverlik ve yardımlarından dolayı Hacı Bekir Değiş, Halil Şeker, Mehmet Acar, Evren Oğur ve Yaşar Acaroğlu'na teşekkür ederim.

Mem-Tek'te çalışırken zamanımın güzel geçmesini sağlayan, adeta bir aile ortamı kuran arkadaşlarıma, Mem-Tek ailesinin bütün fertlerine teşekkür eder, çalışmalarında başarılar dilerim.

Projeye maddi olanak sağlayan Tübitak Teydeb birimine ve bize birçok olanak sağlayan üniversitemize katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Aralık 2016

Ersin Özmen
(Çevre Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ……vii
İÇİNDEKİLER ix
KISALTMALAR xi
ÇİZELGE LİSTESİ xiii
ŞEKİL LİSTESİ xv
ÖZET……xvii
SUMMARY xix
1. GİRİŞ…… 1
1.1 Tezin Anlam ve Önemi 1
1.2 Tezin Amaç ve Kapsamı 1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 5
2.1 Su Arıtımında Kullanılan Membran Tipleri ve Konfigürasyonları 5
2.2 Basınç Sürücülü Membranlar 6
2.2.1 Düşük basınçlı membran sistemleri 6
2.2.1.1 Mikrofiltrasyon membranları 7
2.2.1.2 Ultrafiltrasyon membranı 8
2.2.2 Yüksek basınçlı membran sistemleri 10
2.2.2.1 Nanofiltrasyon membranı 10
2.2.2.2 Ters osmoz membranları 11
2.3 Membran Modülleri ve Proses Tasarımı 11
2.3.1 Plaka ve çerçeve modül 12
2.3.2 Spiral sargı modül 13
2.3.3 Tübüler modül 14
2.3.4 İnce boşluklu fiber modül 14
2.3.5 Düşük basınçlı membran sistemi tasarımı 15
2.3.6 Yüksek basınçlı membran sistemi tasarımı 16
2.4 Membran Sistemlerinin Endüstriyel Atıksularda Kullanılması 17
2.4.1 Gıda endüstrisinde membran uygulamaları 18
2.4.2 Petrokimya Endüstrisinde Membran Uygulamaları 20
3. MATERYAL METOD 21
3.1 Su Karakterizasyon Analizleri 21
3.1.1 Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) analizi 21
3.1.2 Yağ ve gres analizi 22
3.1.3 Askıda katı madde tayin 24
3.2 Asit Kraking Analizi 25
3.3 Jar Testi 26
3.4 Laboratuvar Ölçekli Mikroflotasyon Çalışmaları 28
3.5 Pilot Ölçekli Mikroflotasyon Çalışmaları 33
3.6 Laboratuvar Ölçekli Membran Çalışmaları 36

3.7 Pilot Ölçekli Membran İşletmesi 39
4. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI 43
4.1 Asit Kraking Analizleri Sonuçları 43
4.2 Jar Testi Sonuçları 43
4.3 Laboratuvar Ölçekli Mikroflotasyon Sonuçları 47
4.4 Pilot Ölçekli Mikroflotasyon Sonuçları 50
4.5 Laboratuvar Ölçekli Membran Çalışmalarının Sonuçları 53
4.5.1 MF ve UF çalışmaları 53
4.5.2 NF ve TO çalışmaları 56
4.6 Pilot Ölçekli Membran Çalışmaları 60
4.7 Arıtma Tesisi Takip Çalışmaları 62
5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER 63
5.1 Asit Kraking Prosesi 63
5.2 Pilot Ölçekli Mikroflotasyon Prosesi 63
5.3 Pilot Ölçekli Membran Sistemi 63
5.4 Teknoekonomik Analiz 64
5.5 Öneriler 65
KAYNAKLAR 67
EKLER 71

KISALTMALAR

MF	**:** Mikrofiltrasyon
UF	**:** Ultrafiltrasyon
NF	**:** Nanofiltrasyon
TO	**:** Ters Osmoz
ED	**:** Elektrodiyaliz
mm	**:** Milimetre
µm	**:** Mikrometre
µs	**:** Mikrosiemens
dk	**:** Dakika
mL	**:** Mililitre
KOİ	**:** Kimyasal oksijen ihtiyacı
BOİ	**:** Biyolojik oksijen ihtiyacı
AKM	**:** Askıda katı madde
PVP	**:** Polivinilpirolidon
PEG	**:** Polieterglikol
PSf	**:** Polisülfon
PES	**:** Polietersülfon
PVDF	**:** Polivinildenflorit
NTU	**:** Naturel Turbidity Unit
MWCO	**:** Moleküler Weight Cut Off
MBR	**:** Membran Biyoreaktör
SKKY	**:** Su kirliliği kontrolü yönetmeliği

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Klasik flotasyon sistemi ile mikroflotasyon sistemi karşılaştırması **29**
Çizelge 4.1 : Asit kraking analiz sonuçları **43**
Çizelge 4.2 : Jar testi pH optimizasyonu **44**
Çizelge 4.3 : Jar testinde dozaj optimizasyonu..... **45**
Çizelge 4.4 : Lab ölçekli mikroflotasyon çalışmaları..... **47**
Çizelge 4.5 : RO-XLE ve SWC-5-LD2 membranları için gerçekleştirilen geri kazanım deneylerinde elde edilen sonuçlar **60**
Çizelge 4.6 : Proses debileri **61**
Çizelge 4.7 : Arıtma tesisi kirlilik takibi **62**
Çizelge 5.1 : Metreküp arıtılmış su için kimyasal masrafı **64**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Ham Atıksu **2**
Şekil 1.2 : Mevcut Arıtma Tesisi Akım Şeması **2**
Şekil 2.1 : Partikül boyutlarına göre filtre ortamı **5**
Şekil 2.2 : Mikrofiltrasyon membran modülü **7**
Şekil 2.3 : Plaka ve Çerçeve Modül **12**
Şekil 2.4 : Spiral sargı modül **13**
Şekil 2.5 : Tübüler modül **14**
Şekil 2.6 : İnce boşluklu fiber modül **15**
Şekil 2.7 : Farklı endüstrilerin günlük deşarj edilen atıksu miktarları **17**
Şekil 2.8 : Endüstriyel Membran tesislerinin arıtma kapasiteleri **18**
Şekil 2.9 : Endüstriyel Membran tesislerinin sayısı **18**
Şekil 2.10 : Membran kullanarak laktik asit ve su kazanımı **19**
Şekil 2.11 : Petrokimya sektöründe membran uygulamaları **20**
Şekil 3.1 : Ekstraksiyon düzeneği **23**
Şekil 3.2 : Alüm - Demir karşılaştırması **27**
Şekil 3.3 : Akuaend 3310 Jar testi denemesi **28**
Şekil 3.4 : PAC jar testi denemesi **28**
Şekil 3.5 : Lab ölçekli pompanın fotoğrafı **30**
Şekil 3.6 : Tankın görüntüsü **30**
Şekil 3.7 : Laboratuvar ölçekli mikroflotasyonun çalışıldığı noktalar **31**
Şekil 3.8 : Ham atıksu mikroflotasyon başlangıç görüntüsü **31**
Şekil 3.9 : Ham atıksu mikroflotasyon başlangıcından 2 dakika sonra **32**
Şekil 3.10 : Ham atıksu mikroflotasyon başlangıcından 30 dakika sonra **32**
Şekil 3.11 : Nikuni – KTM 50S1 ..... **33**
Şekil 3.12 : Çöktürme tankı kesit **34**
Şekil 3.13 : Çöktürme tankı **34**
Şekil 3.14 : Nötralizasyon tankı **35**
Şekil 3.15 : Nötralizasyon tankı perdesi **35**
Şekil 3.16 : Nötralizasyon tankı atıksu girişi **36**
Şekil 3.17 : Laboratuvar ölçekli membran testi düzeneği **38**
Şekil 3.18 : Pilot ölçekli membran düzeneği akım şeması **39**
Şekil 3.19 : Pilot ölçekli UF sistemi **40**
Şekil 3.20 : Pilot ölçekli TO sistemi **41**
Şekil 4.1 : $FeCl_3$ ile pH optimizasyonu **44**
Şekil 4.2 : pH optimizasyonu sonucunda AKM değerleri **45**
Şekil 4.3 : Alum dozaj optimizasyon sonuçları **46**
Şekil 4.4 : FeCl3 dozaj optimizasyon sonuçları **46**
Şekil 4.5 : 1. set çalışmasının sonuçları **48**
Şekil 4.6 : 2. set çalışmasının sonuçları **48**
Şekil 4.7 : 3. set çalışmasının sonuçları **48**

Şekil 4.8 : 4. set çalışmasının sonuçları **49**
Şekil 4.9 : 5. set çalışmasının sonuçları **49**
Şekil 4.10 : 6. set çalışmasının sonuçları **50**
Şekil 4.11 : Çöktürme tankında mikroflotasyon ile AKM sonuçları **51**
Şekil 4.12 : Çöktürme tankında mikroflotasyon ile bulanıklık sonuçları **51**
Şekil 4.13 : Nötralizasyon havuzunda mikroflotasyon ile AKM sonuçları **52**
Şekil 4.14 : Nötralizasyon havuzunda mikroflotasyonla bulanıklık sonuçları **52**
Şekil 4.15 : PV024 membranı ile KOİ giderim verimi **53**
Şekil 4.16 : PV024 membranı akı sonuçları **53**
Şekil 4.17 : PV250 ultrafiltrasyon membranından basınca bağlı olarak elde edilen akı ve KOİ giderim verimi grafikleri (a) Akı-zaman grafiği (b) KOİ giderim verimi grafiği **54**
Şekil 4.18 : ES04, ES10B ve PV250 ultrafiltrasyon membranlarından 6 bar basınçta elde edilen akı ve KOİ giderim verimi grafikleri (a) Akı-zaman grafiği (b) KOİ giderim verimi grafiği **55**
Şekil 4.19 : TMG10 nanofiltrasyon membranından basınca bağlı olarak elde edilen akı ve KOİ giderim verimi grafikleri (a) Akı-zaman grafiği (b) KOİ giderim verimi grafiği **57**
Şekil 4.20 : Ters osmoz membranlarından basınca bağlı olarak elde edilen akı – zaman grafikleri TM810V **58**
Şekil 4.21 : Ters osmoz membranlarından basınca bağlı olarak elde edilen akı – zaman grafikleri RO- XLE **58**
Şekil 4.22 : Ters osmoz membranlarından basınca bağlı olarak elde edilen akı – zaman grafikleri SWC5-LD2 ..... **59**
Şekil 2.12 : TM 810V KOİ giderim verimi **59**
Şekil 4.23 : RO-XLE KOİ giderim verimi **59**
Şekil 4.24 : SWC-5-DL2 KOİ giderim verimi **60**
Şekil 4.25 : Pilot ölçekli membran çalışması iletkenlik takibi **61**
Şekil 4.26 : Pilot ölçekle membran sisteminde KOİ takibi **61**
Şekil 4.27 : Pilot ölçekli membran sisteminde bulanıklık takibi **62**

AKARYAKIT DEPOLAMA TESİSLERİNDE OLUŞAN ATIKSULARIN GERİ KAZANIMI İÇİN SIFIR SIVI DEŞARJ YAKLAŞIMLI TEKNOLOJİLERİN GELİŞTİRİLMESİ

ÖZET

Günümüzde su ihtiyacının artması ve doğal kaynakların azalmasından dolayı içme ve kullanım suyuna ulaşım gün geçtikçe zorlaşıyor. Bu nedenle kullanılan su miktarını azaltmak maksadıyla çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu tezde ise akaryakıt depolama tesislerinde oluşan atıksuyun fizibil olarak tekrardan kullanılabilmesi için çalışmalar yapılmıştır.

Çalışmalar Tekirdağ, Marmara Ereğlisinde bulunan Opet Marmara Petrol Dolum ve Dağıtım terminalinde yapılmıştır. Terminalde bulunan arıtma tesisi kaba ızgara, sıyırıcı, asit kraking, kimyasal çöktürme, kum filtresi ve ardından aktif karbon kullanarak arıtma yapmaktadır. Fakat asit kraking prosesi verimli bir şekilde işletilemediğinden çalıştırılmamaktadır. Saatte maksimum 40 m^3 debi için tasarlanan tesise gelen atıksu, dolum tanklarının ve dolum sahasının yıkanmasından gelen atıksular ve gemilerden alınan slaç ve slop atıksularından oluşmaktadır. Bu atıksuyun geri kazanılıp yangın suyu, tank yıkama suyu, kullanım suyu, buhar kazanı suyu, ve terminal operasyonlarında kullanılması amaçlanmaktadır.

Konvansiyonel bir şekilde arıtmaya uğradıktan sonra atıksuda ortalama 200 mg/L KOİ, 30 mg/L AKM, 20 mg/L yağ ve gres bulunmaktadır. Bu değerler her ne kadar deşarj limitlerinin altında olsa da suyun tekrar kullanılması söz konusu değildir. Bu nedenle daha ileri arıtıma ihtiyacı vardır.

Tez kapsamında mevcut kimyasal çöktürmenin optimizasyonu için jar test, asit kraking prosesinin optimizasyonu,daha iyi bir AKM ve yağ gres giderimi için mikroflotasyon ve nihai su geri kazanımı için membran çalışmaları yapılmıştır.

Mikroflotasyon membran sistemlerine bir ön arıtım olarak kullanılmıştır. Atıksuda pompa kullanılarak kavitasyon ile oluşan 30 μm boyutlarında baloncuklar oluşturulur. Bu baloncuklar konvansiyonel diffüzörlerden çıkan baloncuklara nazaran çok daha küçük ve daha sağlam yapıdadır. Bu sayede su yüzeyine çıkan baloncuklar patlamaz. Atıksuda bulunan askıda katı maddeler ve yağ partikülleri ise bu baloncuklara tutunarak yüzeye çıkartılır. Ardından yüzeyde biriken çamur sistemden uzaklaştırılarak % 90'lara varan AKM giderimi elde edilmiştir. Bu sayede mikroflotasyondan sonra gelen kum filtresi, aktif karbon ve membran sistemlerinin tıkanmasının önüne geçilmiştir.

Membran sistemlerinde ise öncelikle suda bulunan kollaidal yapıdaki partiküllerin tutulması için mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon membranları araştırılmıştır. Ardından kollaidal maddelerinden arındırılan suda çözülmüş maddelerin tutulması için nanofiltrasyon ve ters osmoz membranları araştırılmıştır.

Çalışmaların sonunda mevcut atıksuyun verimli bir şekilde geri kazanılabildiği, düşük bir maliyetle geri kazanılabileceği gözlemlenmiştir.

DEVELOPMENT OF ZERO WASTEWATER DISCHARGE TECHNOLOGIES FOR WASTEWATER OF FUEL STORAGE FACILITIES

SUMMARY

Today, due to the increase in water demand and the decrease of natural resources, access to drinking and using water becomes increasingly difficult. For this reason, various methods are used to reduce the amount of water used. In this thesis, studies were carried out so that the wastewater generated in the fuel storage facilities can be feasibly reclaimed.

The studies was carried out at the Opet Marmara Oil Storage and Distribution Terminal in Tekirdag, Marmara Ereğli. Wastewater treatment plant in the terminal is using coarse grinder, scraper, acid cracking, chemical precipitation, sand filtration followed by treatment with activated carbon, but the acid cracking process is not operated efficiently because it can not be operated efficiently. Designed for a maximum flow rate of 40 m^3 / hour, the wastewater consists of waste tanks and sludge and slop wastewater taken from wastewaters and ships coming from washing of the filling area. This wastewater is intended to be recovered and used in fire water, tank washing water, utility water, steam boiler water, and terminal operations.

There is an average of 200 mg / L COD, 30 mg / L SS 20 mg / L oil and grease in the wastewater after conventional treatment. Although these values are below the discharge limits, it is not possible to reuse the water. For this reason, further treatmeant is needed.

Within the scope of the thesis, membrane studies were carried out for optimization of the existing chemical precipitation, jar test, optimization of acid cracking process, microfotation for better SS and oil grease removal and final water recovery.

Microflotation has been used as a preliminary treatment for membrane systems. Bubbles are formed in cavities of 30 μm by cavitation using a pump in waste. These bubbles are much smaller and more robust than bubbles from conventional diffusers. The bubbles on the water surface do not explode at this point. Suspended solids and oil particles in the wastes adhere to these bubbles and are removed to the surface. Subsequently, the sludge accumulated on the surface was removed from the system and the SS removal of up to 90 % was achieved. In this respect, the sand filtration

after microflotation prevented the clogging of activated carbon and membrane systems.

In the membrane systems, microfiltration and ultrafiltration membranes have been investigated in order to capture the particles in the collaidal structure in the water. Next, nanofiltration and reverse osmosis membranes were investigated to retain the water-soluble materials purified from the colloidal materials.

It has been observed that at the end of the studies, the current wastewater can be recovered efficiently and recovered at an extra cost of 2 Lira per m^3 of wastewater.

The work can be summarized in 3 steps. As a first step, improvement of the existing treatment plant, then laboratory scale membrane and microflotation experiments, and finally pilot scale membrane and microflotation studies.

No acid cracking process is used in the existing treatment plant. For this reason, the acid cracking process was first investigated. The acid cracking process is used to separate smaller chain segments of long chain fatty molecules in oil solutions. The wastewater acid was added to the laboratory studies to determine the COD and SS values. Although some SS remediation was obtained, no COD remediation was observed. Although SS removal, the chemical precipitation process after the acid cracking process can not be performed due to the low pH. For these reasons it has been decided that the acid cracking process is not suitable for wastewater treatment.

A Jar test was conducted to improve the present chemical precipitation process. During the jar test, several optimizations of pH, followed by optimization of the dosage and finally the sedimentation time, were carried out with various coagulants. $FeCl_3$, Alum, Polyaluminium clorur chemistry. As a result of the experiments, it was decided to use $FeCl_3$ coagulant with the best yield of SS removal as 100 mg / L.

Laboratory scale microflotation experiments were then carried out. Experiments were carried out in crude wastewater, coagulated wastewater and chemically precipitated wastewater. Removal efficiencies were obtained at 3 points and the process was best observed in the precipitated wastewater. As a result of these studies, the microflotation process has shown good removal of oily wastewaters.

Various MF, UF, NF and RO membranes have been tested in laboratory scale membrane experiments. Considering the permeability and COD results, it has been decided to operate a membrane of UF - PV250 type on a pilot scale. The wastewater

is passed through the PV-250 membrane and then through the NF or RO membrane. The conductivity of the wastewater was in the range of 1500 - 2500 µs and the best yield was obtained in the tested brackish water RO membrane.

Pilot-scale microflotation experiments were carried out after laboratory-scale studies. Pilot-scale microflotation studies were carried out in the neutralization tank after the settling tank and the settling tank. In the experiments carried out in the sedimentation tank, the full efficiency was not obtained due to the leakage of the flocks due to the shape of the tank. Experiments in the neutralization tank yielded 90 % PM removal efficiency, and microflotation was found in wastewater, iron, polyelectrolyte and sediment oil.

In the pilot scale membrane system, Inge T-rack 6-2-1-3.0 membrane for UF and Foul-2g 80-40 for RO unit were used. The UF module is 20 cubic meters and the RO system is 10 meters. The permeate from the RO system has been examined by accredited laboratories. According to the results, permeate provides human consumption conditions except ammonium.

In the pilot scale system, the concentrated wastewater from RO was introduced to the treatment plant. 20 cubic meters from UF are fed to 10 cubic meters of RO system and the remaining 10 cubic meters are used for various terminal operations. However, zero liquid discharge can not be obtained because the operation of the plant is 20 cubic meters.

The pollutant parameters were examined during pilot plant operation. Along with this, it is observed that conductivity does not accumulate. With this promising result for the zero liquid discharge approach, it is proposed that the discharged wastewater should not be discharged and continue with the pilot studies.

The wastewater is treated for 2 TL with an operation cost of 1.4 TL above the conventional treatment cost of 0.6 TL. The terminal gives 7.4 TL per cubic meter of water. This study shows that the membrane system works feasibly and that it can pass to the full-scale system.

1. GİRİŞ

1.1 Tezin Anlam ve Önemi

Dünyadaki her canlının hakkı olan su, günümüzde artan su ihtiyacı ve temiz su kaynakların tükenmesi sebebiyle gittikçe azalmaktadır. Azalan su miktarı ve artan su maliyetlerinden dolayı su lüks sayılabilecek bir meta olma yolunda ilerlemektedir. Bunun önüne geçmek için uygulanabilecek adımlardan bir tanesi kullanılan su miktarını düşürmektir.

Atıksu arıtma teknolojisinin gelişmesiyle, atıksudan kullanım suyu elde etmek bu sayede bir su çevrimi yapmak mümkün hale geldi. Su geri kazanımı için uygun teknolojilerden biri membran teknolojisidir.

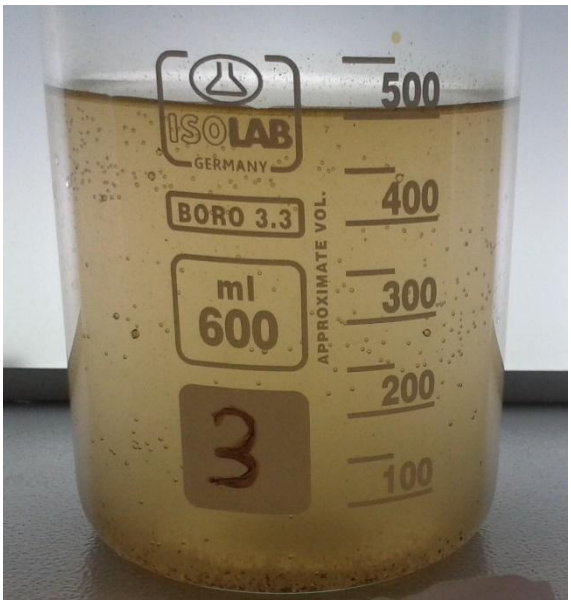
Membranlar ile su içerisinde bulunan partiküler maddeler, sertlik, bakteri, virüs ve çözünmüş mineraller gibi kirletici unsurlar membran tipine ve uygulanan basınca bağlı olarak efektif şekilde uzaklaştırılabilir.

Bu tezde ise akaryakıt depolama tesislerinde oluşan atıksuların membran teknolojisi kullanılarak geri kazanılmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır.

1.2 Tezin Amaç ve Kapsamı

Tez çalışması Tübitak Teknoloji ve Yenilik Destek Programı (TEYDEB) tarafından desteklenen 5140043 numaralı "Akaryakıt Depolama Tesislerinde Oluşan Atıksuların Geri Kazanımı İçin Sıfır Deşarj Yaklaşımlı Arıtma Teknolojilerinin Geliştirilmesi " projesi üzerinde yapılmıştır. Bu proje kapsamında çalışmalar Tekirdağ, Marmara Ereğlisinde bulunan Opet Marmara Petrol Dolum ve Dağıtım terminalinde yapılmıştır.

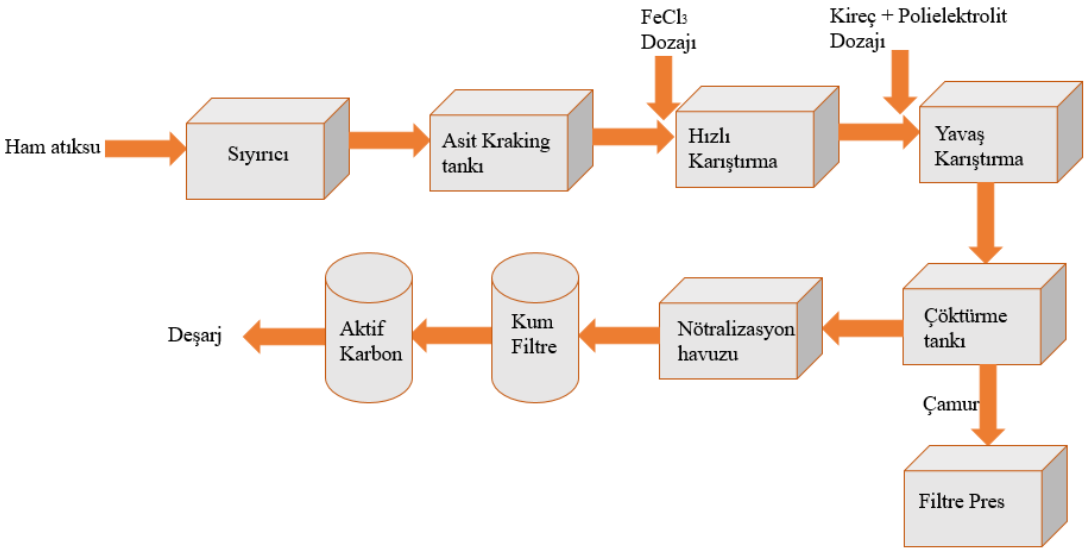
Yıllık 55000 metreküp su harcayan terminalde herhangi bir yeraltı suyu kaynağı bulunmadığından dolayı şebeke suyu kullanmak durumundadır. Şebeke suyu fiyatları arttığı için su çözümüne alternatif olarak atıksuyun fizibil olarak geri kazanımı amaçlanmıştır. Arıtılacak ham atıksuyun fotoğrafı aşağıda verilmiştir.



Şekil 1.1 : Ham Atıksu

Geri kazanılacak atıksuyun, tank yıkama suyu, sulama suyu, yangın suyu, buhar kazanı ve çeşitli terminal işletme operasyonlarında kullanılması hedeflenmektedir.

Hali hazırda 40 metreküp atıksu debisine göre tasarlanmış bir arıtma tesisi bulunmaktadır. Bu arıtma tesisinin akım şeması şekil 1.2'de gösterilmiştir.



Şekil 1.2 : Mevcut Arıtma Tesisi Akım Şeması

50 - 300 mg/L AKM, 150-500 mg/L KOİ ve 1000 ile 2500 µs iletkenlik aralığında olan olan atıksu öncelikle sıyırıcılardan geçip yüzeyindeki yağlar bertaraf ediliyor. Ardından gelen asit kraking prosesi ise tesiste kullanılmamaktadır. Tez çalışmasında bu prosesin işlevselliği araştırılmıştır. Ardından 130 mg/L $FeCl_3$ dozlaması yapılarak hızlı karıştırılan atıksuya ortalama 0.08 gr/L katyonik poliakrilamit elektroliti dozlanarak yavaş karıştırma yapılmaktadır. Bu esnada koagülanttan dolayı atıksuyun pH'ı 6.8'in altına düşerse otomatik olarak kireç dozlaması yapılarak pH ayarlanmaktadır. Yavaş karıştırmanın ardından 100 metreküplük çöktürme tankına gelen atıksu çöktürülerek askıda katı maddeleri bertaraf edilir. Dibe çöken çamur filtre pres ile susuzlaştırılır, savaklanan atıksu ise nötralizasyon tankına girer. Nötralizasyon tankı çöktürme sonrası pH ayarlanması için konmuştur lakin kireç eklendiğinden dolayı tank çalıştırılmamaktadır. Nötralizasyon tankından hiçbir işleme uğramadan geçen atıksu kum filtresi ve ardından aktif karbon filtreye girerek arıtım tamamlanmış olur.

Konvansiyonel şekilde arıtıma uğradıktan sonra atıksuda ortalama 200 mg/L KOİ, 30 mg/L AKM, 20 mg/L yağ ve gres bulunmaktadır. Bu değerler her ne kadar deşarj limitlerinin altında olsa da suyun tekrar kullanılması söz konusu değildir. Bu nedenle daha ileri arıtıma ihtiyacı vardır.

Tez kapsamında öncelikle mevcut arıtma tesisinin iyileştirilmesi amacıyla asit kraking prosesi ve çöktürme prosesi irdelenmiştir. Ardından nihai atıksu geri kazanımı için membran prosesleri ve membranlara giden kirlilik yükünün azaltılması için mikroflotasyon prosesi çalışılmıştır.

Metreküp şebeke suyu başına 7.2 TL ödenen terminalde geri kazanılacak atıksuyun maliyetinin bu bedelden daha düşük olması çalışmanın uygulanabilirliği açısından büyük önem arz etmektedir.

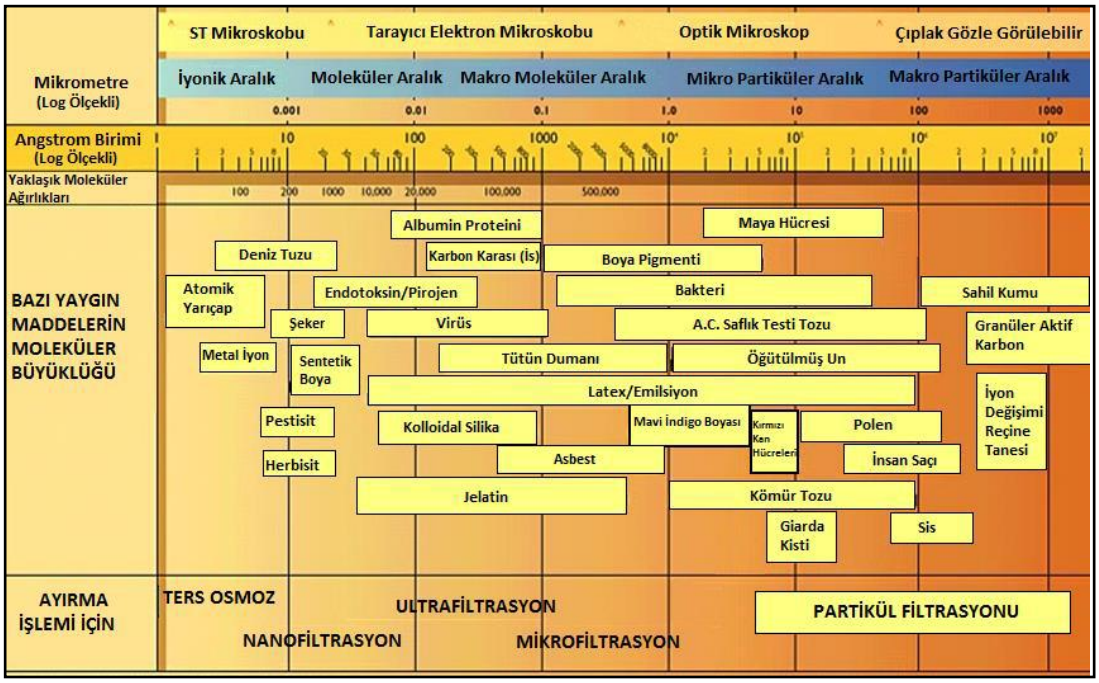
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Su Arıtımında Kullanılan Membran Tipleri ve Konfigürasyonları

Kimyasal ve fiziksel özelliklerine göre membranlar türlü bileşik ve çözünmüş maddeleri büyüklüğüne göre ayırır. Membranlar arıtım verimleri ve ticari kullanımına göre 4 tipe ve sürücü kuvvetlerine göre yine 4 tipe ayrılır (Frankel, 2011). Arıtma verimlerine göre membran tipleri aşağıda verilmiştir ;

- Mikrofiltrasyon membranları - 0.1 ve 0.5 µm boyuntlarında partikülleri tutar.
- Ultrafiltrasyon membranları - 0,005 ve 0,05 µm boyuntlarında partikülleri tutar.
- Nanofiltrasyon membranları – 0,0005 ve 0,001 µm boyuntlarında partikülleri tutar.
- Tersosmoz membranları – 10 MWCO'ya kadar molekülleri tutar.

Membrandan geçemeyen partikül veya çözünmüş maddeler membran yüzeyine paralel olarak akan konsantre kısım ile beraber sürekli olarak alınırlar. Partikül büyüklüklerine göre gerekli filtre ortamının gösterimi Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : Partikül boyutlarına göre filtre ortamı (URL-1).

Membranları sürücü kuvvetlerine göre ayırırsak ;

- Basınç sürücülü membranlar (MF, UF, NF ve TO)
- Vakum sürücülü membranlar (MF ve UF)
- Yüksek voltaj akımlı membranlar (EDR ve EDI)
- Ozmotik güç sürücülü membranlar (İO ve PRO)

Su arıtımı için en çok basınç sürücülü membranlar kullanılmaktadır.

2.2 Basınç Sürücülü Membranlar

Basınç sürücülü membranlar düşük ve yüksek basınç membranları olarak 2 ana kategoride incelenir. Düşük basınçlı membranlar mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon membranlarını, nanofiltrasyon ve tersosmoz membranları ise yüksek basınç membranlarını temsil eder. Aralarındaki temel farklardan biri ise yüksek basınç membranları sudan çözülmüş maddeleri bertaraf ederken, tıkanabileceğinden dolayı askıda katı ve kollaidal maddelere karşı verimli bir arıtma sunamaz. Düşük basınç sürcülü membranlarda ise bu durumun tam tersi vuku bulmaktadır. Askıda katı maddeler ve kollaidal maddeleri yüksek verimlerde arıtabiliyorken çözünmüş maddeleri tutamamaktadır.

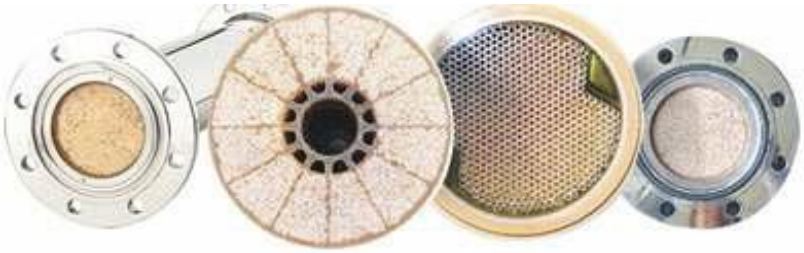
2.2.1 Düşük basınçlı membran sistemleri

Ultrafiltrasyon ve mikrofiltrasyon membranları 1 bar gibi düşük basınç altında çalışabilir.Bu membranlar partikül ve kollaidal madde arıtımında kullanılır ve geleneksel olarak kullanılan granüler medya filtreler yerine kullanılabilir. Arıtılacak suyun kalitesi ve operatörün becerilerinden bağımsız olarak, virüsleri bakterileri ve kollaidal maddeleri yüksek verimlilikle arıtır (Frenkel & Mourato, 1998). Düşük basınçlı membran sistemleri gelişen teknolojiyle birlikte düşen arıtım ve üretim maliyetleriyle su arıtımında standart proses olmaktadır. Membran filtrasyonları sudaki patojenlere karşı fiziksel bir bariyer görevi görerek makul maliyetlerde yüksek kalitede, güvenli içme suyu sağlamaktadır.

2.2.1.1 Mikrofiltrasyon membranları

Mikrofiltrasyon membranları en geniş gözenek çapına sahip membranları olup 0,1-0,5 µm arasındaki bakteri, protozon patojenleri (*Cryptosporidium oocysts, Giardia cysts* ve bazı virüsleri), silt, kollaidal madde ve çökeltilerin arıtımında kullanılır.

MF membranları basınç veya vakum sürücülü olarak su, atıksu ve endüstüriyel proses sularındaki partiküler maddeleri fiziksel olarak tutmak için kullanılabilir. MF membranlarının çoğu doğada hidrofilik olark bulunan polimerlerle üretilir. Bu polimerlere örnek olarak PVDF (Poly Vinylidiene Fluoride), PSf (Poly Sulfone), PES (Poly Eter Sulfone), Poly Tetrafluoroethylene (PTFE), Polypropylene (PP) verebiliriz. PP'den üretilen membranlar dışında çoğu membran klorin gibi oksidantlara karşı dayanıklıdır. MF sistemleri sürekli olarak yüksek kalitede ve düşük bulanıklı (0,1 NTU dan düşük) su sağlamaktadır.



Şekil 2.2 : Mikrofiltrasyon membran modülü (Maaskant ve diğ, 1996).

MF uygulamaları aşağıda özetlenmiştir (Maaskant ve diğ, 1996) ;

- Yarı iletkenlerde ultra saf su hazırlanmasında
- İçme suyu arıtımında
- Meyve suyu, şarap ve bira üretiminde durultma aşamasında
- Atıksu arıtımında
- Ön Arıtma kısmında kullanılır.

Bazı uygulamalarda suyun floklar oluşturması için koagülant eklenebilir. Bu sayede membran kirlenmesinin, tıkanmasının önüne geçilir ve çözülmüş toplam organik karbonların arıtım verimi artar. Ortalama su geri kazanım oranı % 90 – 95 arasında iken suya koagülant ilavesi yapılınca bu sayı % 95 ile 98 lere kadar çıkmaktadır.

2.2.1.2 Ultrafiltrasyon membranı

UF membranları 0.005 ile 0.05 µm aralığındaki partikülleri ve çoğu virüs ve patojenleri filtre eder. Mikrofiltrasyon ile nanofiltrasyon membranı arasında arıtım yapmaktadır. MF ile aynı prensibe bağlı olarak ayırma işlemini yaparken yapısal olarak MF membranlarından farklıdır.UF membranlarının üst katmanları MF membranlarına nazaran çok daha yoğundur ve bu nedenle MF'ye göre daha fazla hidrodinamik dirençe sahiptir. Günümüzde UF membranları birçok kimyasal ve termal olarak stabil sentetik polimerlerden üretiliyor. Bu polimerlere örnek olarak polietersülfon (PES), polivinil klorid (PVC), polikarbonat (PC), alifatik ve aromatik poliamitler (PA), poliimits (Pİ) ve PVDF verilebilir.

UF membranların permeabilitesini, mekanik gücünü ve kirliliğe karşı direncini arttırmak için çeşitli inorganik partiküllerle çalışmalar yapılmaktadır.Çalışma yapılan bazı partiküller örnek olarak aşağıda verilmiştir.

- SiO2(Wu, Mansouri,&Chen, 2013; Yu, Zhang, Zhang, Liu, & Zhang, 2013; Zhang, Wang,et,al.,2014),
- Gümüş(Ag) (Li et al., 2013),
- Ferrus ferrik oksit (Fe3O4), Alumina (Al2O3)(Arsuagaetal.,2013),
- Zirconia (ZrO2) (Arsuaga et al., 2013; Arthanareeswaran &Thanikaivelan, 2010; Pang et al., 2014),
- Titania (TiO2) (Arsuaga et al., 2013; Hamid et al., 2011; Razmjou, Mansouri, & Chen, 2011; Razmjou, Resosudarmo, et al., 2012; Zhang, Lu, et al., 2013; Zhao, Wang, Wang, Sun, & Zhang, 2012),
- Çinko oksit(ZnO)(Hong&He, 2014),
- Zeolit (Leo, Ahmad Kamil, Junaidi, Kamal, & Ahmad, 2013)

UF membran prosesi ters osmoz için bir ön arıtım sağlamak için kullanılabilir ama UF yapısı itibariyle sadece su arıtımı için değil, birçok sektörde farklı amaçlarla kullanılmaktadır.

Bunlara örnekler aşağıda verilmiştir(URL-2).

Gıda endüstrisinde;

– Peynir üretiminde protein ve yağların konsantre edilmesinde

– Meyve sularının arıtılmasında

– Jelatin konsantre edilmesinde

– Glikoz azaltımında

– Soya fasülyesi proteini konsantre etmede ve saflaştırmada

– Protein hidrolizatlarının arıtılmasında

– Bitkisel yağlarda asitliğin giderilmesinde ve metallerin uzaklaştırılmasında

– Şeker rafinasyonunda

– Alkollü içeceklerde

Kimyasallar ve atıksularda;

– Elektrokaplama boya

– Yağlı atık suların arıtımı

– Kostik ve asit geri kazanımında

– Salamura geri kazanımında

– Matbaa mürekkebi üretiminde

– Çamaşır atık sularının arıtımında

– Tekstil endüstrisinde

– Kağıt hamuru ve kağıt endüstrisinde

– Deri tabaklama ve deri endüstrisinde

– Balık işlemede

– Kümes hayvanları endüstrisinde

Biyoteknolojide;

– Mikrobiyal hücrelerin ayrıştırılmasında

– Enzim geri kazanımında

– Membran biyoreaktörlerde

2.2.2 Yüksek basınçlı membran sistemleri

Yüksek basınçlı membranlar suda çözülmüş maddelerin giderimi amaclıyla kullanılmaktadır. Nanofiltrasyon membranları 5 bar basınç altın çalışabiliyorken deniz tuzu giderimi amaçlı kullanılan ters osmoz membranlarında basınç 80 barlara kadar çıkabilmektedir.

2.2.2.1 Nanofiltrasyon membranı

Nanofiltrasyon terimi ultrafiltrasyon ve ters osmoz arası geçirgenliğe sahip bir membran filtrasyon terimi olarak literatürde kullanılır. Nanofiltrasyon membranları 0.5-2 kDa MWCO ve 0.5-2 nm boyutunda por çapına sahip membranlardır. Nanofiltrasyon membranları 1970'li yıllarda, tersosmoz membranlarının daha düşük basınçlarda, daha verimli süzüntü akısı vermesi için yapılan çalışmalara ortaya çıkmıştır. (Li, Fane, Ho, Matsuura, 2008)

Nanofiltrasyon membranlarını diğer membranlardan ayıran en önemli özelliği %99'a varan arıtma verimleriyle multivalent iyonları tutarken monovalent iyonları ortalama bir verimle(% 0-70) tutmaktadır.

Nanofiltrasyon membranları UF ve RO membrandan ayırma mekanizması ile de farklılık gösterir. Temel olarak iki önemli özellik ile bu farklılık belirlenebilir.

1) Por çapları 0.5 ile 2 nm arasında değişir. Bu da ortalama 50-500 g/mol MWCO'ya denk gelir. Dahası, bu molekül boyutundan daha büyük boyutlara sahip olan bileşiklerde de başarılıdır.

2) NF membranlar hafif olarak yüklü yüzeye sahiptirler. Çünkü porların çapı, iyonların çapından daha geniş olan bir büyüklük dizilişinden daha azdır. Bu etki farklı valanslara (temel olarak bivalent iyonlar) sahip iyonları ayırmada kullanılabilir.

Nanofiltrasyon membranları yapısından dolayı kollaidal maddeleri tutamaz ve bu maddeler membrana zarar verir. Bunun önüne geçilmesi için MF, UF, kum filtre gibi ön arıtım uygulanması gerekir.

2.2.2.2 Ters osmoz membranları

Ters osmoz membranları 10 MWCO ya kadar iyonları ve molekülleri tutarak sertlik, toplam organik karbon, toplam çözülmüş katı, endokrin sistemine etki eden maddeleri, ilaç sektöründen çıkmış aktif bileşikleri tutmakta verimlidir (Frenkel, 2009).

Nanofiltrasyon membranlarına benzer özellikte sudan çözülmüş tuzları ve organik molekülleri ayırmak için kullanılmaktadır. Osmoz suyun yarı geçirgen bir membran ile düşük çözülmüş katıların bulunduğu ortamdan katıların daha yüksek yoğunlukta olan bölgeye geçmesini sağlayan doğal bir prosestir. (Bartels ve diğerleri 2005). Ters osmoz ise bu prosesin tersidir. Bu proseste su çözünmüş katıların yüksek olduğu bölgeden yüksek basınç altında membrandan geçirilerek çözünmüş katıların daha düşük olduğu ortama geçmektedir.

Deniz suyu arıtımında önemli yer kaplayan ters osmoz membranları birçok kirleticiyi yüksek verimde tutabildiği için su geri kazanımı için önemlidir. Ters osmoz membranları genellikle aselüloz asetat ve aromatik poliamidlerden üretilir.

2.3 Membran Modülleri ve Proses Tasarımı

Membran proseslerinin endüstriyel uygulamalarının verimli bir şekilde gerçekleşmesi için membran aktif yüzey alanının geniş olması gerekmektedir. Bunu sağlamak içinse membranlar modül adı verilen ünitelere yerleştirilir.

Membran prosesi boyunca membran modülüne belli bir içeriğe ve akıya sahip besleme akısı girer. Bu besleme akısı modül içerisinde ilerlerken iki ayrı akıya dönüşür. Bunlar membrandan geçen süzüntü akısı ve membrandan geçemeyen konsantre akıdır. Konsantre akı besleme akısına yönlendirilebilir veya sistemden uzaklaştırılabilir. Endüstriyel olarak sıklıkla kullanılan 4 modül çeşidi aşağıda verilmiştir.

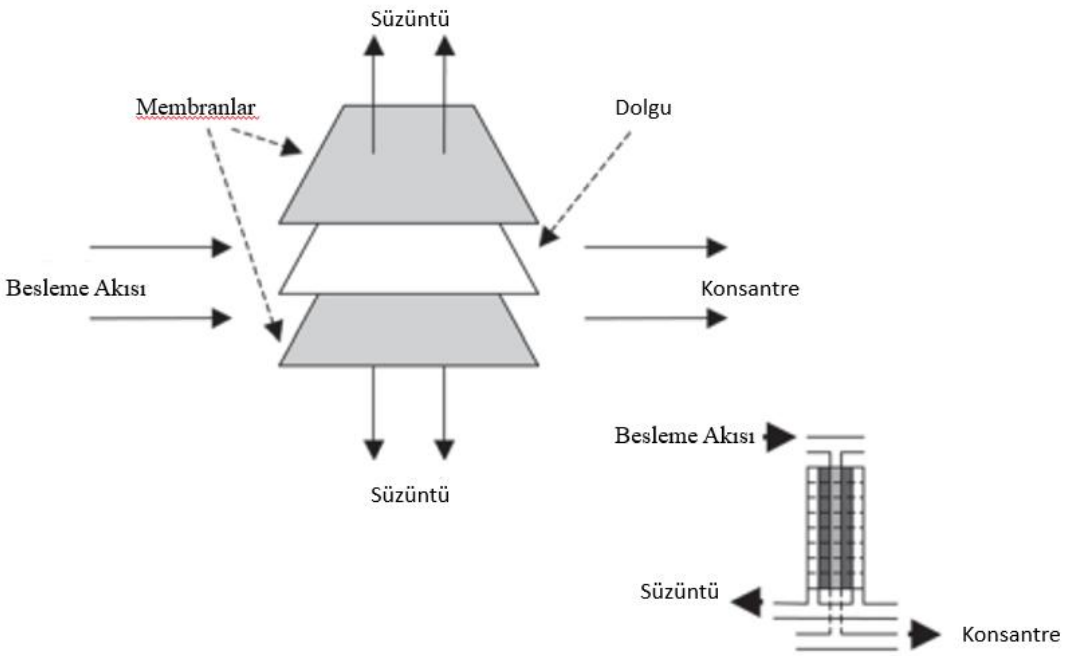
- Plaka ve çerçeve modül
- Spiral sargı modül

- Tübüler modül
- İnce boşluklu fiber modül

Membran proseslerde modül seçiminin ekonomik ve fizibil olması için birkaç parametrenin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu parametrelere örnek olarak ayırma verimi, temizlenmesinin işletmesinin ve bakımının kolaylığı, membran değiştirmesine olanak vermesi, sistemin kolay kurulumu verilebilir.

2.3.1 Plaka ve çerçeve modül

Plaka ve çerçeve modülün şematik çizimi aşağıdaki şekilde verilmiştir. Bu modül endüstriyel membran uygulamalarının ilk aşamalarında ortaya çıkmıştır. Modülün yapısı basit ve membran değiştirilmesi kolaydır. Şekilde gösterildiği gibi iki membranın aktif tabakası birbirine bakacak şekilde yerleştirilmiştir. Her besleme ve süzüntü bölgelerinin arasına uygun bir dolgu yerleştirilmiştir böylelikle bir plaka yapılmıştır. İstenilen membran alanı için ise bu plakalar birleştirilerek çerçeve oluşturulur. Membran süzüntüsü her plakadan toplanır. Türbülansı arttırmak ve konsantrasyon polarizasyonunun önüne geçmek için dolgu tabakası pürüzlüdür. Bir modülde yüzey alanı ise yüksekliğe bağlı olarak 19 m^2'ye kadar çıkabilmektedir.



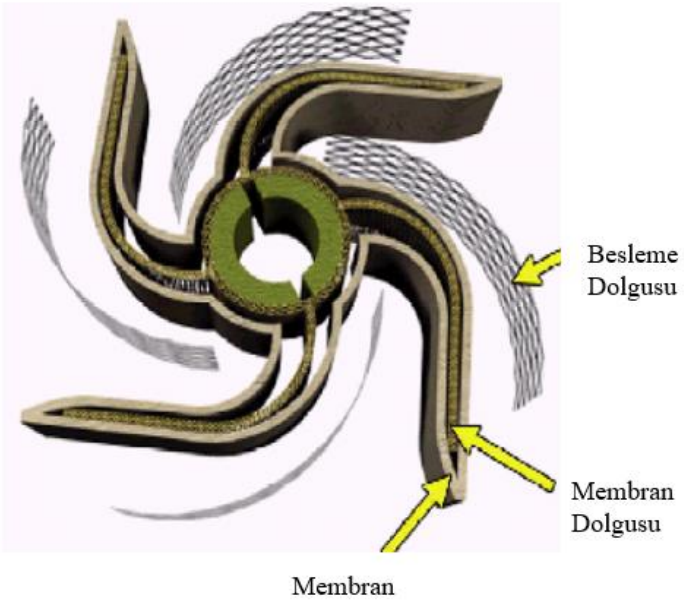
Şekil 2.3 : Plaka ve Çerçeve Modül (Chen, 2006)

2.3.2 Spiral sargı modül

Spiral sargı modülü aslında plaka ve çerçeve sisteminin merkezi bir kollektör borusunun etrafına sarılmasıyla elde edilir. Modülün basit bir şeması aşağıdaki şekilde verilmiştir. İki membran arasına membran dolgusu konarak bir zarf benzeri yapı elde edilir. Bu zarflar arasına ise besleme dolgusu konur bu sayede membranlar birbirine temas etmez ve türbülans arttırılır. Besleme akısı silindirik modülde merkezi kollektör boruya paralel olarak verilir. Süzüntü ise kollektörde toplanır. Membran uzunluğunu kısaltmak için sargı sayısı arttırılabilir. Spiral sargılı modüllerin avantajları aşağıda verilmiştir;

- Gerekli alan ihtiyacı düşük
- Yüksek basınçlara dayanır
- Daha az kontaminasyon
- Süzüntü kanalında daha az basınç düşmesi
- Minimun konsantrasyon polarizasyonu

Genellikle birden fazla spiral sargı modülü tek bir basınç hattına bağlanır ve süzüntü akısı ortak bir kollektörde toplanır.

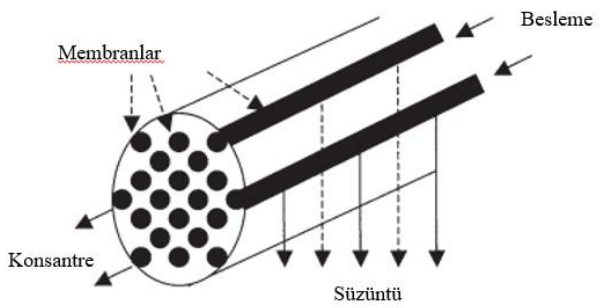


Şekil 2.4 : Spiral sargı modül (URL-3)

2.3.3 Tübüler modül

Bu tip modüllerde tüp şeklindeki membranlar bir adet konteynırın içine konur. Tübüler modülün şematik çizimi aşağıdaki şekilde verilmiştir. Besleme akımı her zaman tüplerin merkezinden geçerken, süzüntü akısı ise gözenekli destek tüpünden membran kabına geçer. Tübüler modüllerin karakteristik özellikleri aşağıda verilmiştir;

- Kolay membran kurulumu ve yüzey temizliği
- Birim sıvı arıtımı başına yüksek enerji gereksinimi
- Yüksek besleme akımı membran kontaminasyonunu düşürür
- Modülün düşük paketleme kapasitesi vardır

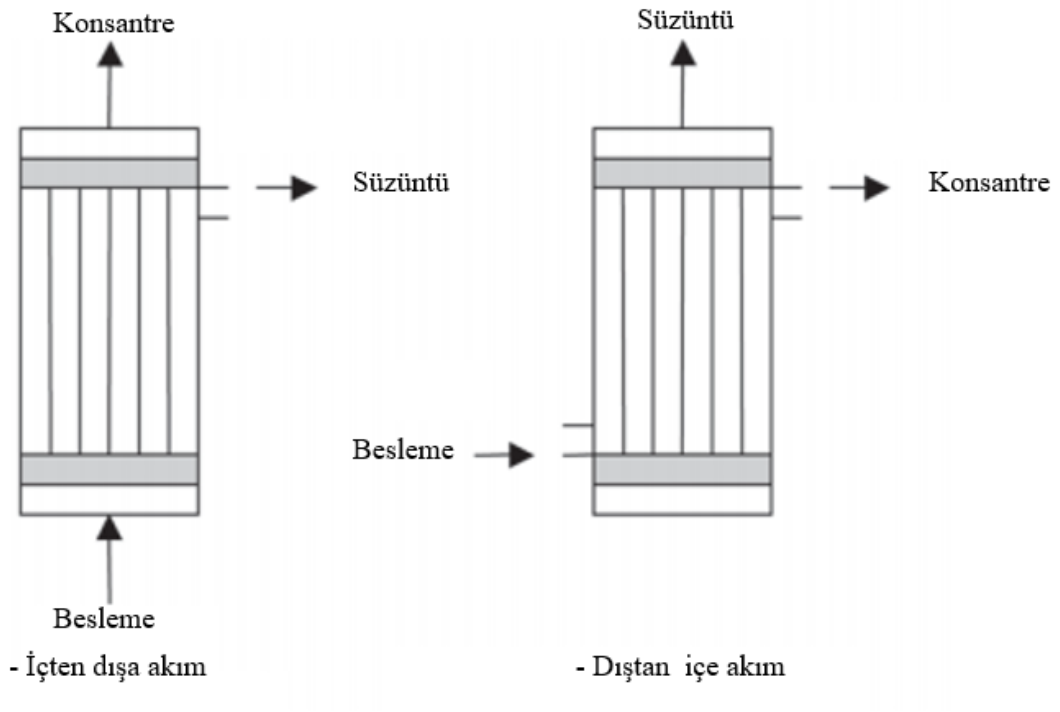


Şekil 2.5 : Tübüler modül (Chen, 2006)

2.3.4 İnce boşluklu fiber modül

İnce boşluklu fibe modül, birçok fiberin bir modül içerisinde birleştirilmesinden meydana gelmektedir. Fiberlerin açık uçları genellikle epoksi, poliüretan veya silikon ile kapatılır. Bu modül çeşidinin içten dışa ve dıştan içe akım olmak üzere iki temel kullanım şekli vardır. İçten dışa modülde besleme akısı membranın içinden geçerek süzüntü membranın dışından toplanır. Dıştan içe modülde ise besleme akısı membranların dış yüzeyinden içeri girerek süzüntü akısı membranların içinden toplanır. İki konsept arasındaki seçim işletme basıncı, basınç düşmesi ve kullanılabilir membran tipi gibi parametrelere bağlıdır. İnce boşluklu fiber modüllerin en önemli özelliği yüksek yoğunlukta paketleme olanağı sağlamasıdır. Bu modül sayesinde metreküpte 30000 m^2 membran alanı sağlanabilir.

.



Şekil 2.6 : İnce boşluklu fiber modül (URL- 4)

2.3.5 Düşük basınçlı membran sistemi tasarımı

Düşük basınçlı membran sistemi tasarımı, kaynak suyun kalitesine, yerel şartlara, proje büyüklüğüne ve istenilen arıtılmış suyun kalitesine bağlıdır. Kaynak sudaki katı yüküne bağlı olarak sistem çapraz akışlı veya dik akışlı olarak kurulabilir. Dik akışlı düşük membran sistemlerinde su kazanım oranı yüksek olmasına rağmen sudaki katı yüküne karşı zayıftır. Çapraz akışlı membran sisteminde ise daha fazla katı yük toleransı olmasına rağmen su geri kazanım oranı düşüktür. Sistem tasarımında göz önünde bulundurulması gereken maddeler aşağıda verilmiştir.

- Ön arıtıma ihtiyaç var ise ince ızgaralar, kimyasal dozlaması, durulama gibi işlemler kullanılabilir.
- Süzüntü akımının besleme akımına oranını belirten geri kazanım oranı besleme akımından ne kadar su kazanılacağını belirler.Sistemin tasarımında geri kazanım oranı gerekli membran alanını belirlemekte önemlidir.
- Birim membran alanı başına düşen akı Litre/saat/metrekare olarak gösterilebilir. Burdan istenilen debi için aktif membran filtrasyon alanı bulunabilir. Geri kazanım oranı da hesaba katılarak gerekli membran alanı belirlenir.

- Enerji gereksinimi
- İleri arıtım gereksinimi
- Katı bertarafı

İyi bir proses tasarımı için maksimum su kazanımı, en düşük enerji ihtiyacı, kurulum ve işletme maliyetlerinin uygun olması hedeflenmelidir.

2.3.6 Yüksek basınçlı membran sistemi tasarımı

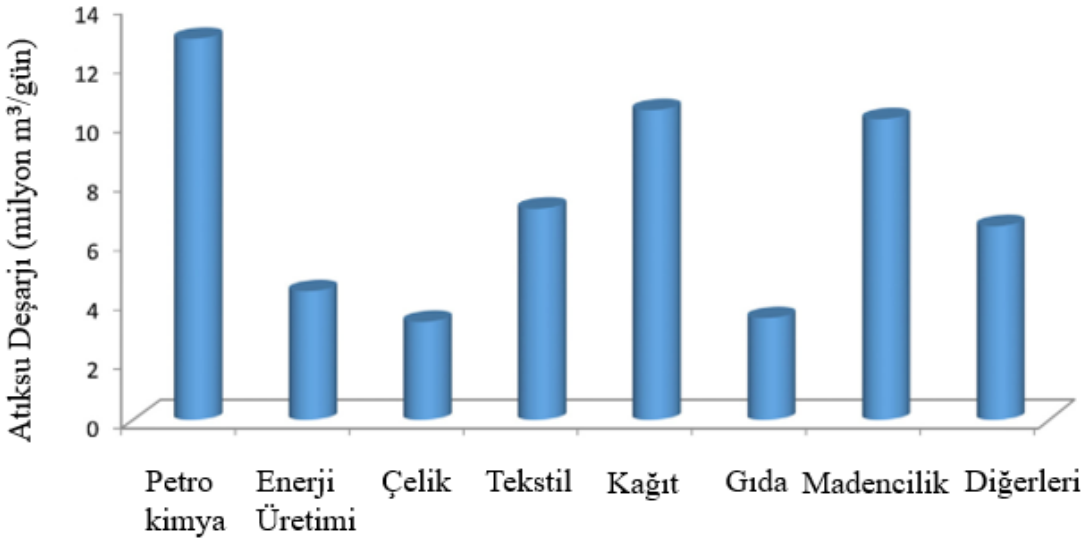
Tipik bir NF ve TO sistemi, ham su pompaları, ön arıtım, membran modülleri, dezenfeksiyon ünitesi, depolama ve su dağıtım elemanlarından oluşur. Sistem tasarımında göz önünde bulundurulması gereken maddeler aşağıda verilmiştir.

- Membranın hammaddesi. Membran teknolojisinin ilk dönemlerinde membranlar genellikle selüloz asetattan yapılmaktaydı. Günümüzde ise membranlar aromatik poliamitler ve ince film polimer kompozitlerden yapılabiliyor. Farklı membran hammaddelerinin kendilerine has farklı karakteristik özellikleri vardır. Bu özelliklere örnek olarak hidrolik direnç, pH ve sıcaklık direnci, klorin ve biodegradasyon toleransı verilebilir.
- Modül tipi. Genellikle spiral sarımlı ve ince fiber modüller NF ve TO membranlarında kullanılır. Spiral sarımlı modüller daha az sıklıkla tıkanırken, ince fiber modüller daha yüksek membran alanına sahiptir.
- İşletme basıncı. Membranlara uygulanan basınç süzüntü suyunun kalitesini ve miktarını belirleyen önemli bir unsurdur. 17 bar basınç ve altında çalışan TO sistemleri düşük-basınçlı TO sistemi olarak sınıflandırılırken 24 bar basıncın üstünde çalışanlar yüksek-basınçlı TO sistemi olarak sınıflandırılır. Yüksek basınçlı sistemler daha verimli olmasına rağmen yüksek ses, titreşim ve korozyon problemlerine sebep verebilir.
- Ön arıtım ihtiyacı. Kontaminant konsantrasyonu, kontaminantların iyonik boyutu, membran tipi, askıda katı konsantrasyonu ve su sıcaklığı ön arıtım ihtiyacının belirlenmesinde kullanılabilir. Tipik olarak NF ve TO sistemlerinde partikül giderimi için filtrasyon, çöktürme ve tıkanmanın önüne geçmek için pH kontrolü yapılabilir.

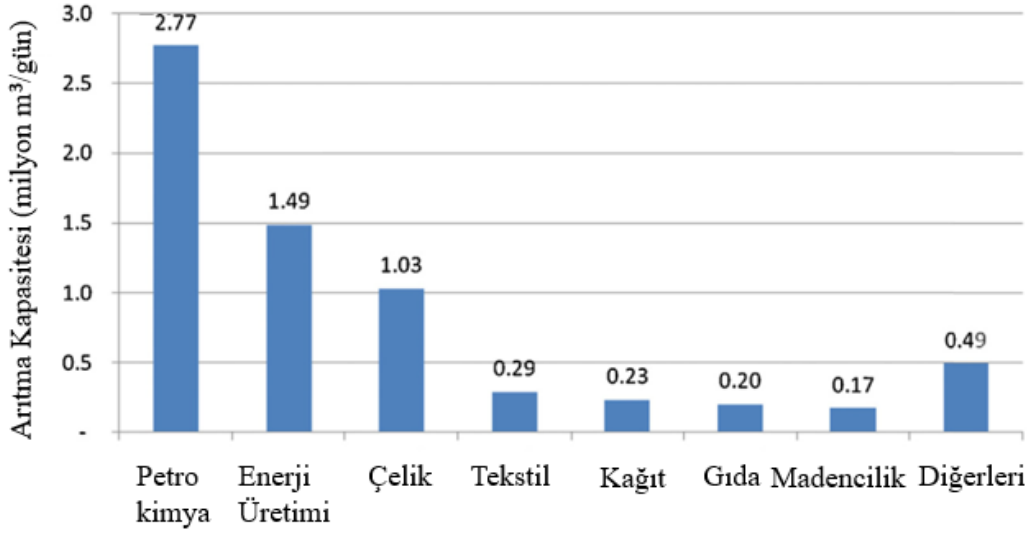
- Geri kazanım oranı. NF ve TO sistemlerinde geri kazanım oranı temel olarak sudaki iyon yüküne ve boyutuna bağlıdır. Daha büyük bir iyon yükü ve boyutu membranın iyonu daha kolay bir şekilde tutmasını sağlar. Bu yüklerin fazla olduğu sularda geri kazanım oranı yüksektir fakat örnek olarak deniz suyunu alcak olursak iyon boyutu ve yükü düşük olduğundan dolayı deniz suyu geri kazanım oranları düşüktür.

2.4 Membran Sistemlerinin Endüstriyel Atıksularda Kullanılması

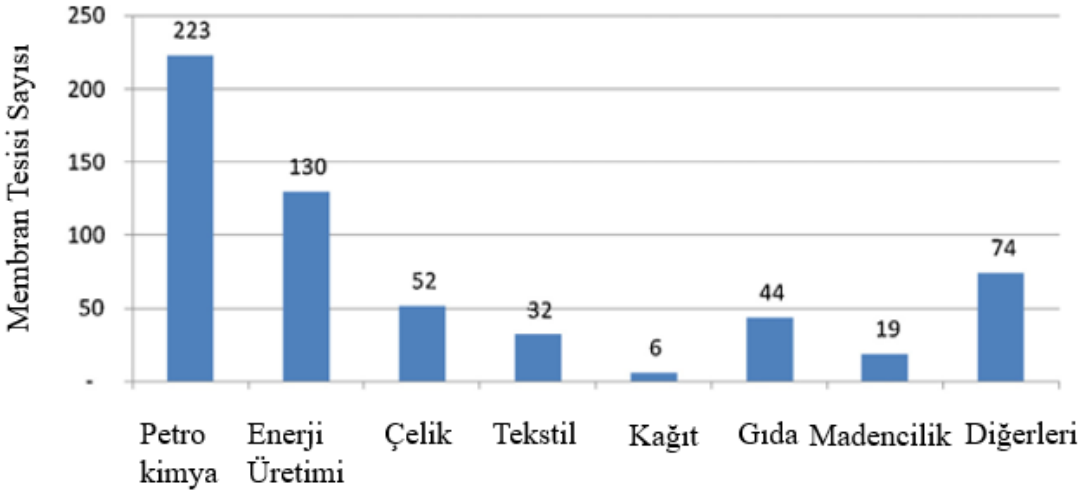
Artan su ihtiyacı ve azalan kaynaklarla birlikte su önemli bir maliyet kalemi olmaktadır. Atıksulardan ürün ve su elde edilebildiği için membran sistemleri gün geçtikçe çeşitli endüstrilerde yaygınlaşmaktadır. Özellikle yüksek miktarlarda su kullanan endüstrilerin membran teknolojisine geçmesi su stresinin aşılması için elzem durumdadır. Örnek olarak Çin'i ele alırsak hızla büyüyen ekonomisi nüfusu ve sanayisi yüzünden su her geçen gün daha değerli olmaktadır. Bu yüzden membran sistemleri önemini arttırmaktadır.2015 te yapılan çalışmalara göre Çin'de 580 adet endüstriyel membran tesisi bulunmaktadır. Arıtma kapasiteleri günde 500 ile 100000 metreküp olarak değişmekte ve ortalama arıtma kapasitesi günde 12000 metreküptür. Çin'deki farklı endüstrilerin günlük deşarj edilen atıksu miktarları (Wen and Liu, 2013) ve membran tesislerinin kapasiteleri ve sayıları (zheng 2015) aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 2.7 : Farklı endüstrilerin günlük deşarj edilen atıksu miktarları (Wen, 2013)



Şekil 2.8 : Endüstriyel Membran tesislerinin arıtma kapasiteleri (Zheng, 2015)



Şekil 2.9 : Endüstriyel Membran tesislerinin sayısı (Zheng, 2015)

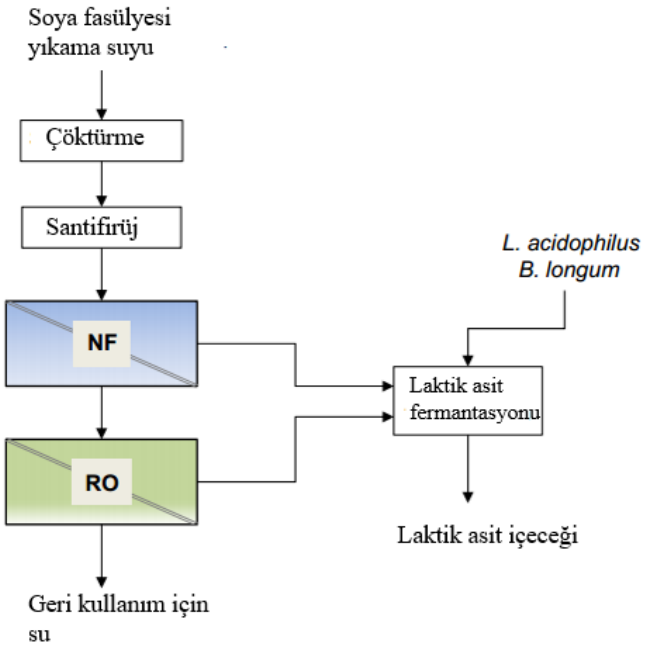
Membran sistemlerinin gelişmesiyle birlikte Çin'deki enerji üretim tesislerinin su ihtiyacı 5 yıl içerisinde yıllık 67.5 milyar metreküpten 53.7 milyar metreküpe düşmüştür (zheng 2015). Ayrıca 1 ton ham çeliğin üretilmesi için 4.1 metreküp suya ihtiyaç varken membran teknolojisi ile bu sayı 3.4 metreküpe düşmüştür.

2.4.1 Gıda endüstrisinde membran uygulamaları

Gıda sektöründeki atıksular laktoz, proteinler, fenoller gibi çeşitli değerli birleşikler barındırmaktadır. Gıda endüstrisinde sadece su geri kazanımı değil bu bileşiklerin geri kazanılıp besin zincirine tekrardan girmesi de söz konusudur.

Soya fasülyesini örnek olarak vercek olursak soya fasülyesinin yıkanması esnasında devasa boyutlarda su kullanılmaktadır. Yıkanacak olan soyanın 12 - 15 misli hacminde su kullanılmaktadır. Bu aşamada oluşan atıksu peptitler, glukoz fruktoz ve rafinoz gibi karbonhidratları barındırmakta olup KOİ değeri 10 g/L' lere çıkabilmektedir.

Soya fasülyesinin yıkama suyundan su ve değerli çözülmüş maddeleri geri kazanabilmek için Guu, Chiu, ve Young tarafından membran sistemi geliştirilmiştir. Sistemin akım şeması aşağıdaki şekilde verilmiştir. Bu sistemde NF ve TO membranlarının konsantre akıları toplanarak içerdikleri çözülmüş maddelerin fermente olarak laktik asit oluşumu amaçlanmıştır.

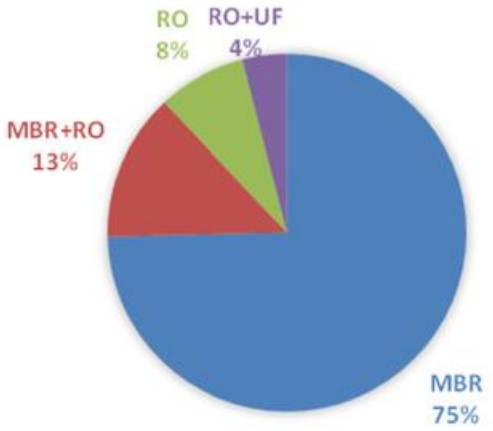


Şekil 2.10 : Membran kullanarak laktik asit ve su kazanımı (Guu, 1997)

Membran konsantrelerine *Lactobacillus acidophilus* ve *Bifidobacterium longum* probiotik kültürleri eklenek fermantasyon gerçekleştirilmiştir. 48 saat fermantasyon süresi , 5.5 pH ve 37 ^{o}C'de bu iki kültürün konsantre ile kombinasyonuyla 7.5 g/L çoğunluğu laktik asit olan organik asitler elde edilmiştir. Santifirüj ve pastorizasyon işleminden sonra laktik asit içeceklerde kullanılabilecek durumu gelirken, membranlardan süzülen su ise tekrar yıkama için kullanılabilecek durumdadır.

2.4.2 Petrokimya Endüstrisinde Membran Uygulamaları

Geniş bir yelpazeye sahip petrokimya sektöründe genellikle 4 farklı membran uygulaması vardır. Şekil 2.11'de görüldüğü gibi bunun büyük bir bölümünü membran biyoreaktörler oluşturmaktadır.



Şekil 2.11 : Petrokimya sektöründe membran uygulamaları (Zheng, 2015)

Meksika Minatitlan'da bulunan PEMEX'in rafinerisinde geri dönüştürülmüş su projesi uygulanmıştır. Bu vaka çalışması, geri dönüşümlü su sisteminde UF/RO teknolojilerini 10 yıldan beri başarıyla çalışan ilk rafineri olması nedeniyle değinmeye değer. Rafineri, Meksika'nın en büyük rafinerilerinden biridir. Rafineri'nin atıksu arıtma prosesleri, birincil berraklaştırıcı, çözünmüş hava flotasyonu (DAF), aktif çamur, ikincil berraklaştırıcı, membran filtrasyonu UF ve RO içerir. RO süzüntüsü, kazan beslemesi gibi yüksek kaliteli kullanımlar için rafineride yeniden kullanılır. Arıtma sistemi 26.000 m^3/g yoğunluğa sahip bir akış için tasarlanmıştır. Toplam su geri dönüşümü, RO süzüntü üretimine dayalı olarak yaklaşık yüzde 70'dir. UF sisteminde 7 ayrı bölmede Zeeweed 500b membranı paralel olarak çalıştırılmaktadır. Bu sayede sistemin bir parçası değiştirilirken, temizlenirken diğer membranlar çalışarak sistemin devamlılığını sağlamaktadır. UF sistemi RO için yeterli ön arıtmayı sağlayarak sudaki bulanıklığı <0.1 NTU, yağ ve gresi <0.2 mg/L düşürmektedir.

3. MATERYAL METOD

3.1 Su Karakterizasyon Analizleri

3.1.1 Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) analizi

Kimyasal oksijen ihtiyacı organik maddelerin redoks reaksiyonlarıyla parçalanması sırasında ihtiyaç duyulan oksijen miktarıdır. Bu parametre ile atıksuların bünyesindeki organik maddeler, kimyasal oksidasyonları için gerekli oksijen miktarı cinsinden belirlenir. Yöntem birkaç istisna dışında tüm organik maddelerin tüm organik maddelerin kuvvetli oksitleyicilerle asit ortamlarda oksitlenebilecekleri esasına dayanmaktadır. Oksidasyon sırasında karbonlu organik maddeler CO_2 ve H_2O'ya, azotlu organik maddeler ise NH_3'e dönüşür. KOİ'nin BOİ deneyine göre en önemli üstünlüğü kısa sürede yürütülüp sonuçlanmasıdır. Analiz için gerekli düzenekler, reaktifler ve analizin yapılışı aşağıda verilmiştir.

KOİ analizi için kullanılan araç ve düzenekler;

- Elektrikli ısıtıcı
- Numune tüpü (16x100 mm)

Kullanılan reaktifler;

- Standart potasyum bikromat parçalama çözeltisi, 0.0167M 2 saat 103°C de kurutulmuş 4.913 gr K_2CrO_7 üzerine 500 ml su eklenir. 167 ml konsantre sülfirik asit içinde 33.3 gr $HgSO_4$ çözülür oda sıcaklığında soğutulur ve 1000 ml ye tamamlanır.
- Sülfirik asit çözeltisi, 1 kg'ında 5.5 gr gümüş sülfat içeren derişik sülfirik asit. Gümüş sülfatın çözünmesi 1-2 gün alır (10.12 gr Ag_2SO_4 1 L derişik H_2SO_4'de çözülür)

- Standart demir amonyum sülfat çözeltisi, 0.1N 39.2 gr $Fe(NH_{4)2}.6H_2O$ distile suda çözülür. Çalkalayarak azar azar 20 ml derişik sülfirik asit eklenir. Soğutulur ve 1000 ml'ye seyreltilir. Bu çözelti kullanıldığı her gün standart bikromat çözletisine karşı ayarlanmalıdır.
- Ferroin belirteç çözeltisi, 1.485 gr 1.10 fenontrolin monohidrat ve 695 mg $FeSO_4.7H_2O$ distile suda çözülür ve 100 mL'ye seyreltilir.
- Civa sülfat ($HgSO_4$) kristal, Sülfamik asit nitritlerin bozucu etkisinin ortadan kaldırılması istenildiği takdirde gereklidir.

KOİ analizinin yapılışı;

Numuneden 2.5 ml alınarak numune tüpe konulmuş, üzerine 1.5 ml parçalama çözeltisi eklenmiştir. Ardından 3.5 ml sülfürik asit reaktifi dikkatlice tüp içerisine dökülmüştür. Tüpler sıkıca kapatılıp ve karışması için birkaç defa tersyüz edilip elektrikli ısıtıcıya yerleştirilmiş ve 2 saat boyunca 150^oC de ısıtılmaya bırakılmıştır. Tüpler oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra 1-2 damla ferroin indikatörü eklenip 0.1 M standart demir amonyum sülfat (DAS çözeltisi ile mavi-yeşil renkten çözeltisi ile kırmızı renge kadar titre edilmiştir. Örnekler dışında 2 adet saf su numunesi şahit olarak aynı prosedürlere tabi tutularak hazırlanmıştır.

3.1.2 Yağ ve gres analizi

Akaryakıt depolama tesislerindeki en önemli kirletici parametrelerden biri yağ ve grestir. Yağ ve gres analizi sıcak ekstraksiyon yöntemiyle yapılmıştır. Bu yöntemle suyun içinde bulunan yağ ve gres, ilk olarak numunenin pH=2 seviyelerine kadar asitlendirilmesiyle serbest yağ asitleri açığa çıkmaktadır.

$$Ca(C_{17}\ H_{35}COO)_2 + 2H^+ \rightarrow 2C_{17}H_{35}COOH + Ca^+$$

Daha sonra açığa çıkan tüm yağ ve gresin diatoma toprağı vasıtasıyla adsorblanması prensibine dayanır. Daha sonra bu kısım hekzanla birlikte ekstraksiyona tabi tutularak kullanılan düzenek vasıtasıyla soxhlet tüpünde toplanır. Soxhlet tüpünün içindeki hekzan tamamen uçurulduktan sonra ilk andaki ağırlığından çıkarılarak aradaki fark bulunur. Bu farkı yağ ve gresin oluşturması nedeniyle ilgili hesaplama bu mantığa göre yapılır.

Kullanılan araç ve düzenekler;

- Ekstraksiyon Düzeneği (Şekil 3.1)
- Buncher Hunisi (12 cm)
- Elektrikli Isıtıcı
- Ekstraksiyon Kartuşu (Thimpline)
- Filtre Kağıdı (11cm)
- Muslin Bez
- Su Banyosu
- Desikatör
- Etüv

Şekil 3.1 : Ekstraksiyon düzeneği

Kullanılan reaktifler;

- Hidroklorik asit, HCl (1+1)
- Hekzan kaynama noktası 47ºC. Buharlaşma sırasında çözücü ölçülebilir miktarda artık bırakmamalıdır. Gerekiyorsa damıtılır.
- Diatoma toprağı

Deneyin yapılışı ve hesaplamalar;

Yaklaşık 1 lt numune alınıp 5 ml HCl ilavesi ile pH 2'ye indirilmiştir. Ardından filtrasyon düzeneği hazırlanmıştır. Bunun için bez huniye yerleştirilir, üzerine filtre kağıdı konur. Vakum ile birlikte üzerinden takriben 100 ml diatoma toprağı geçirilir.

Daha sonra 1 L suyla yine bir yıkama yapılır. pH' ını 2 ye getirdiğimiz numune filtrasyon düzeneğinden geçirilir. Numunenin filtresi bitince bir pens ile filtre kâğıdı saat camı üzerine alınır. Filtre kağıdı rulo yapılıp ekstraksiyon kartuşuna (thimpline) yerleştirilir. Saat camı bir parça filtrasyon kağıdı ile silinip, kartuş içine konulur. Ekstraksiyon balonu etüvde kurutulup, desikatörde bekletilip darası alınmış şekilde kartuşun soxhlet bölümüne yerleştirilir. Kartuşa yeteri kadar hekzan konur. Saatte 20 sifon yapacak şekilde ayarlanmış ısıtıcının üzerine yerleştirilir. Bu ekstraksiyon işlemi 4 saat boyunca devam ettirilir. Soxhletten çıkan balon 70°C'deki bir su banyosunda distile edilerek hekzan yağdan uzaklaştırılır.

- Balonun içindeki hekzan buharları balon sıcakken vakum yapılarak alınır.
- Daha sonra balon desikatörde yarım saat bekletilir ve tartılır.

$$Yağ - Gres(\frac{mg}{L}) = \frac{(A - B)X1000}{mlnumune}$$

A= Toplam ağırlık, mg

B= Balon jojenin darası, mg

3.1.3 Askıda katı madde tayin

Katı maddeler atıksuyu buharlaştırma işleminden ve 103-105 ^{0}C kurutmadan sonra kalan katı maddedir. Askıda katı maddeler ise suda çözünmemiş ve çökelmesi uzun süre alan maddeleri temsil etmektedir.Yüksek derişimli askıda katı madde arıtma sistemlerinde olumsuz etkilere yol açar. Alıcı su ortamlarında katı madde miktarları fazla olursa çökelmelere ve fazla miktarda dip çamuru oluşmasına yol açar.AKM tayini için gerekli düzenekler ve deneyin yapılışı aşağıda verilmiştir.

Kullanılan araç ve düzenekler;

- Etüv
- Kül fırını
- Desikatör
- Analitik tartı

- Filtre
- Süzme düzeneği

Deneyin yapılışı ve hasaplamalar;

Filtre süzme setine yerleştirilmiştir. Bir yandan vakum uygulanarak filtre 3 kez 20 ml distile suyla yıkanıp, filtrede hiç su kalmayıncaya kadar vakum uygulaması sürdürülmüştür. Bu filtre etüvde 103-105˚C'de bir sa. sabit tartıma ulaşması için bekletilmiş ve havadaki nemden etkilenmemesi ve tam kuruması için desikatörde tutulmuştur. Sabit tartıma gelmiş olan filtre dikkatli bir şekilde desikatörden alınarak tartılmıştır. 100 ml numune alınarak filtreden süzülmüş ardından filtre bir pens yardımıyla alınarak krozeye konulup, 1 sa. süreyle 103-105˚C'de kurutulmuştur. Filtre soğuması için desikatöre yerleştirilip ve soğutulduktan sonra tartılmıştır. Kütle dengesinden AKM bulunur.

3.2 Asit Kraking Analizi

Asit kraking prosesi asit eklemesi yapılarak atıksuda bulunan uzun zincirli hidrokarbonların (ağır gaz yağları, dizel) daha kısa zincirli hidrokarbonlara (gazolin, kerosen) dönüşümünün sağlanmasıdır. Terminaldeki asit kraking tankının işlevselliğinin araştırılması için bu analiz yapılmıştır. Analizde kullanılan reaktifler ve analizin yapılışı aşağıda verilmiştir.

Kullanılan reaktifler;

- HCl (%37)
- $FeCl_3$
- Al_2SO_4

Deneyin yapılışı: 1.5 L hacmindeki numunelere 100 mg/L konsantrasyonunda FeCl3 ve 100 mg/L konsantrasyonunda Al_2SO_4 koagülantları eklenip çöktürme yapıldıktan sonra oluşan süspansiyonun üst sıvısı alınmıştır. (9 ml HCl eklenerek pH 2 'ye düşürülmüştür. KOİ, AKM, UAKM ve Yağ-Gres analizleri yapılarak asit kraking işleminin giderim verimine etkisine bakılmıştır.

3.3 Jar Testi

Atıksuda bulunan kollaidal maddelerin optimum giderim koşullarını bulmak için jar testi yapılmıştır. Kimyasal yumaklaştırma (koagülasyon), sularda bulunan ve kendi ağırlıkları ile çökelemeyen kolloid boyutundaki (10^{-3} - 1 μm) katı parçacıkların çeşitli kimyasallar yardımıyla çökebilir hale getirilmesi işlemi olarak kısaca tanımlanabilir. Bu işlemin ikinci adımı ise büyüyen taneciklerin birleşerek çökmesinin sağlandığı flokülasyon işlemidir. Doğal sulardaki askıda katı maddelerin çoğu kolloidal yapıdadır. Kolloidal maddeler negatif yüklüdür,bu yüzden yumaklaştırıcı olarak +3 değerlikli alüminyum veya demir kullanılır. Bu elementlerin sülfat veya klorür bileşikleri suya eklenir ve sudaki alkalinite ile birleşerek metal hidroksitleri oluşturur. Oluşan metal hidroksitler normal pH değerlerinde az çözünen ve çökebilen özelliğe sahiptirler. Çökeltiler beraberinde biraraya gelen kolloid birikimlerini de çökeltirler. Sistem uygun bir hızda karıştırıldığında, irileşen askıda parçacıklar çökelebilen parçacıklarla çarpışarak onlara yapışır veya oluşan doku içinde tutulur. Böylece büyüyen flokların bir parçası haline gelir ve çöktürme yapılabilir. Koagülasyon ve flokülasyon yöntemi ile bir atıksuyun verimli olarak arıtılabileceği bir arıtma ünitesi yapmak için öncelikle laboratuvar analizleri yapmak gerekir. Bu testlere Jar (kavanoz) testi denir. Bu test yardımıyla;

- Koagülant türü ve dozajı
- pH değerinin optimizasyonu yapılır.

Kullanılan araç ve düzenekler

- Jar test cihazı (flokülatör)
- 500 ml‘lik beher

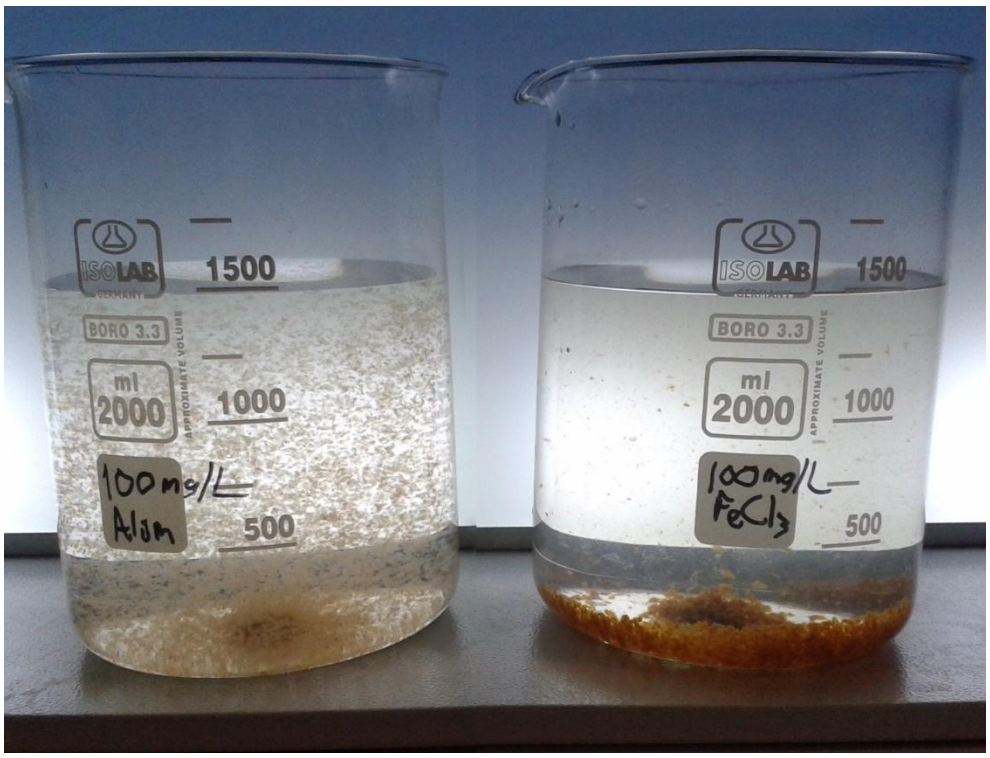
Kullanılan Reaktifler

- $FeCl_3$
- Al_2SO_4
- PAC
- Aqua end 3201
- Aqua end 3310
- 0,1 M H_2SO_4 asit

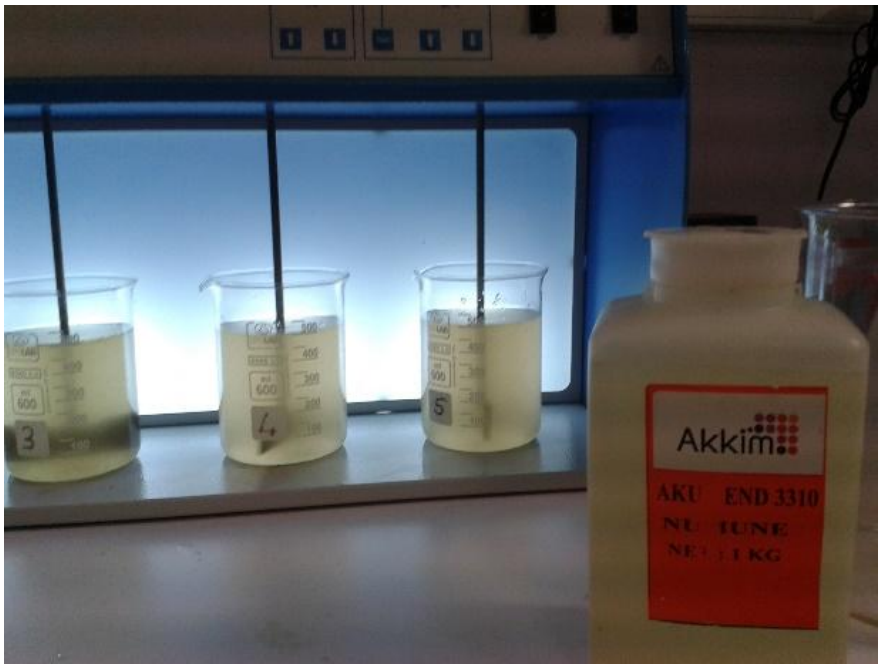
- 1 M NaOH baz

Deneyin yapılışı ve hesaplamalar ;

500 ml'lik numunelere asit veya baz eklenerek pH'ları 5.5-6-7-8'e ayarlanmış ve bir numunede orjinal pH derecesinde (7.4) behere konulmuştur ve her bir örneğe 100 mg/L olacak şekilde koagülantlar eklenmiştir. 50 rpm hızında 5 dak. süreyle ve ardından 25 rpm hızında 1 dak. süreyle karıştırılarak 1 sa. çöktürmeye bırakılmıştır. Çöktürme sonrası numunenin AKM ve KOİ değerlerine bakılarak Koagülasyon-Flokülasyon işlemi için uygun pH derecesi bulunmuştur. Numune 500 ml'lik beherlere konularak 50-75-100-125-150 mg/L lik dozajlarda $FeCl_3$ ve aynı dozajlarda Al_2SO_4, 0.5-1-1.5-2-2.5 ml/L PAC ve aynı dozajlarda Aqua end 3310 ve Aqua end 3201 koagülantları eklenmiştir. 50 rpm hızında 5 dak. ve ardından 25 rpm hızında 1 dak. karıştırılarak 1 sa. çöktürmeye bırakılmıştır. Çöktürme sonrası numunenin yine AKM ve KOİ değerlerine bakılarak Koagülasyon-Flokülasyon işlemi için uygun koagülant ve dozaj miktarı belirlenmiştir. Farklı koagülantlarla gerçekleştirilmiş jar testine ait fotoğraflar aşağıda verilmiştir



Şekil 3.2 : Alüm - Demir karşılaştırması



Şekil 3.3 : Akuaend 3310 Jar testi denemesi

Şekil 3.4 : PAC jar testi denemesi

3.4 Laboratuvar Ölçekli Mikroflotasyon Çalışmaları

Mikroflotasyon prosesiyle membranlara gidecek kirlilik yükünün düşürülmesi amaçlanmıştır.

Atıksuda bulunan askıda katı maddeleri ve yağ çökeltilerini bir pompa yardımıyla yüzeye çıkartarak bu kirleticilerin bertarafı sağlanmıştır. Pompa suda kavitasyon

oluşturarak mikrometre çaplarında hava kabarcıkları yapmaktadır. Yarattığı mikrokabarcık düzeyindeki habbeciklerle partikülleri üst faza taşıyıp buraya hapseder. Bu mikrokabarcıklar ortalama 30 µm boyutundadır ve yüzeye ulaşınca patlatmadıklarından dolayı iyi bir arıtıma olanak veriyor.

Mikroflotasyonun kullanım alanları şu şekildedir;

- Çakıl veya kum filtreleri yerine
- UF, MF, ve RO gibi ünitelerin korunması için
- Endüstriyel proses suyu önarıtması olarak
- Atık su arıtma tesislerinde önarıtma olarak
- Atık su arıtma tesislerinden cilalama olarak
- Biyokütle ayırma işleminde
- Fazla çamurun yoğunlaşması işleminde
- Askıda madde separasyonunda
- Proses suyu geri dönüşüm işleminde
- Proses suyu arıtmasında

Çizelge 3.1 : Klasik flotasyon sistemi ile mikroflotasyon sistemi karşılaştırması

Çözülmüş Hava Flotasyonu	**Mikroflotasyon (MF)**
Anlık kontrolüz habbecik oluşumu Kararsız habbecikler Tek bir yumak halinde yuzeye fışkırma Yüksek basınç-max. 8 bar Geridevir> 50% ≈ 50-70% Satürasyon Büyük habbecik hacmi	Kontrollü habbecik oluşumu Mekanik olarak strese sokulsa dahi stabil habbecikler Homogen Dağılım Düşük operasyonel Basınç 2-3 bar Geridevir< 20% ≈ 100% Satürasyon Basınçla taşma yapmaz

Kullanılan cihaz;

Nikuni – Karyu Turbo Mixer 20N

Debisi = 1 m^3 / saat Motor gücü = 0.75 Kw

Şekil 3.5 : Lab ölçekli pompanın fotoğrafı

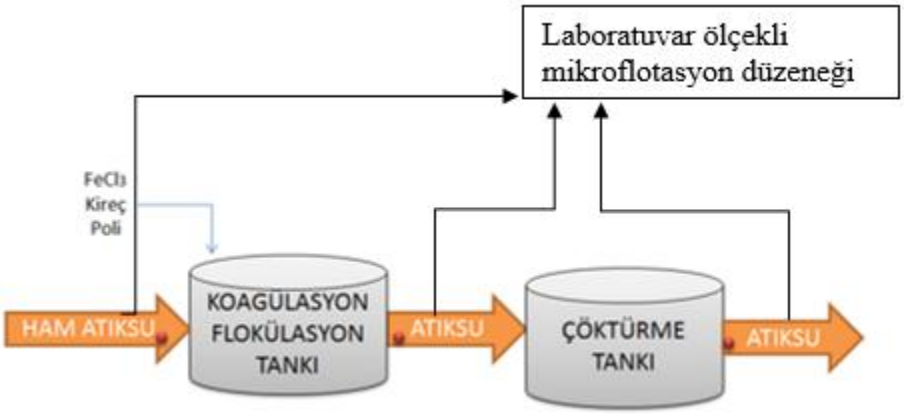
Deneyin yapılışı;

Laboratuvar ölçekli mikroflotasyon sistemi Şekil 3.6 görülebileceği gibi pompa ve pleksi tanktan oluşmaktadır. Tankın çapı 60 cm ve yüksekliği 210 cm olup hacmi 500 litredir. Basma hattı silindir dibinde ve ortasında emme hattı ise 80 cm yüksekliktedir.

Şekil 3.6 : Tankın görüntüsü

Sistem OPET Marmara Terminali AAT binasının içine yerleştirilmiş ve deneyler ham atıksu, koagülasyon-flokülasyon tankı sonrası (çöktürme tankı öncesi) ve çöktürme havuzu tankı çıkışına uygulanmıştır. Polielektrolit ilavesinin mikoflotasyona olan etkisini ölçmek amacıyla polielektrolit ilavesi ve ilavesiz system çalıştırılmıştır. Yapılan çalışmalarda mikroflotasyon pompasının emiş hattının vanası tamamen açık, besleme hattının vanası ise basıncı 0,2 MPa olacak şekilde ayarlanmıştır. Pompanın çektiği hava miktarı ise 2 ml/dak. olarak girilmiştir.

Pompanın hangi şartlar altında nasıl baloncuk çıkarttığını gözlemek için çeşme suyu üzerinde yapılan denemeler sonucu bu değerler kullanılmıştır. Seçilen 3 atıksu bölgesinde 4 saat boyunca pompa çalıştırılmış ardından yine aynı noktalarda polielektrolit ilavesi yapılarak polielektrolitin yüzdürmeye etkisine aynı şartlar altında bakılmıştır. Laboratuvar ölçekli mikroflotasyonun ayrı ayrı denendiği noktalar Şekil 3.7'de gösterilmiştir.

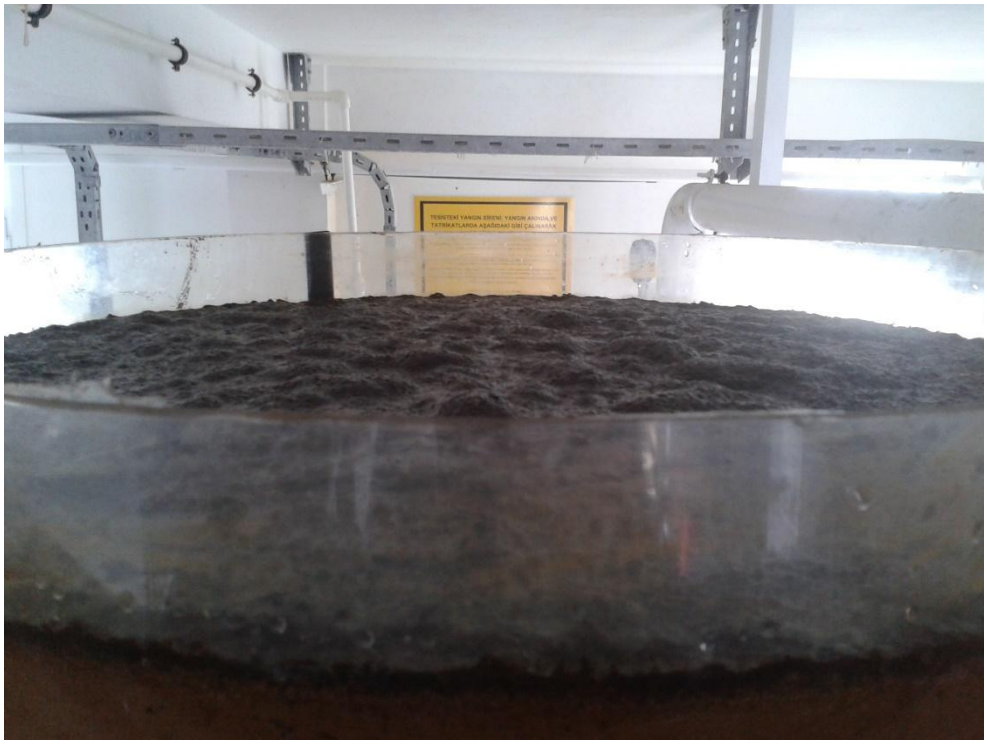


Şekil 3.7 : Laboratuvar ölçekli mikroflotasyonun çalışıldığı noktalar

Mikroflotasyon sonucu yüzeye çıkan kirleticiler aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.

Şekil 3.8 : Ham atıksu mikroflotasyon başlangıç görüntüsü

Şekil 3.9 : Ham atıksu mikroflotasyon başlangıcından 2 dakika sonra



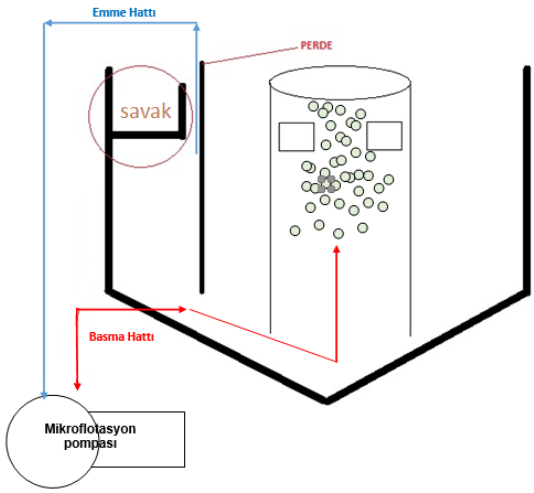
Şekil 3.10 : Ham atıksu mikroflotasyon başlangıcından 30 dakika sonra

3.5 Pilot Ölçekli Mikroflotasyon Çalışmaları

Mikroflotasyon prosesinin tesiste işletilebilmesi için çöktürme tankında ve ardından gelen nötralizasyon tankında pilot ölçekli pompa ile çalışmalar yapılmıştır. Kullanılan cihaz şekil 3.11'de gösterilmiştir motorgücü 5.5 KW olup 8 m^3/saat debisi vardır.

Şekil 3.11 : Nikuni – KTM 50S1

Çöktürme havuzunun dizaynında çözülmüş hava flotasyonu tankıyla entegre inşa edildiği için uygulama açısından da en uygun yerin burası olduğuna karar verilmiştir. Şekil 3.12'de çizildiği gibi çöktürme tankında savak ve perde arasındaki su, pompanın emme hattından çekilmiş havayla birlikte tekrar çöktürme havuzunun orta kısmındaki siilindire aşağıdan yukarıya doğru basılmıştır. Hava kabarcıkları çöktürme havuzunun yüzeyine doğru hareket ederken yağ zerreciklerinin de yüzeyde toplanmasını sağlamıştır. Temiz su savaklara doğru giderken, yağ tabakası çamur hattına gönderilmiştir. Farklı hava koşulları ve farklı ham atıksu şartları altında pompanın emme, besleme basıncı ve hava debisi için uygun karışma oranları optimize edilmiştir.



Şekil 3.12 : Çöktürme tankı kesit

Şekil 3.13 : Çöktürme tankı

Arıtma tesisinde çöktürme tankından çıkan sular 45 m^3 lük nötralizasyon tankına gelmektedir. İkinci pilot ölçekli çalışmada bu noktada yapılmıştır. Bu tank 45 metreküp olup savağın 30 cm önüne batık perde konarak yüzeye çıkan kirleticilerin savaklanması önlenildi ve şekil 3.15 te görüldüğü gibi çöktürme tankından arda kalan demiri ve yağı yüzeye çıkartmakta oldukça etkili.

Şekil 3.14 : Nötralizasyon tankı

Şekil 3.15 : Nötralizasyon tankı perdesi

Şekil 3.16 : Nötralizasyon tankı atıksu girişi

Şekilde görüldüğü sarı hortumla mikrokabarcıklar atıksuyun girişinin altından püskürtülüyor. Yüzeyde biriken kirlilik ise perde sayesinde tutularak savaklanmasının önüne geçiliyor. Mikroflotasyon beslemesi ise şekil 3.14'de gözüktüğü gibi mikroflotasyondan ünitesinden savaklanan suyla yapılıyor.

Mikroflotasyon ünitesine giren ve çıkan suyun AKM'sine bakılarak giderim verimleri incelendi.

3.6 Laboratuvar Ölçekli Membran Çalışmaları

Atıksuyun membrandan süzülürken akısı, permeabilitesinin bulunması ve membranların kirlilik tutma verimlerinin incelenmesi için çeşitli membranlarla denemeler yapılmıştır.

UF ve MF membranları atıksudaki mikrometre boyutlarında partikül ,bakteri, virüs gibi kirleticileri filtre ederek tutar. Membranlar yapılarından (PES, PVDF...) ve por çaplarından dolayı çeşitli özellikler gösterirler ve bu giderim verimliliklerinde ve akılarında değişiklikler oluşturur. Atıksu membranlardan karıştırma hücrelerinde

azot gazıyla çeşitli basınçlar uygulanarak geçirilir. Bu basınç değişikliklerinin akılarda ve giderme verimlerindeki değişimler araştırılır. NF ve RO membranları ise atıksudaki 1 ve 2 değerlikli iyonları tutar.Bu filtreleme işlemi deniz suyundan tuz gideriminde sıklıkla kullanılmakla beraber atıksuda iletkenlik ve KOİ gibi kirlilik oluşturan partiküllerde filtreler. Membranlar yapılarından (Kompozit poliamit,aromatik poliamiti poliamit TFC...) dolayı çeşitli özellikler gösterirler ve bu giderim verimliliklerinde ve akılarında değişiklikler oluşturur. Kullanılan araç ve düzenekler aşağıda verilmiştir;

- Azot tüpü
- Karıştırma hücresi (Sterlitech- HP4750 Stirred Cell) (Şekil 3.17)
- Analitik tartı

Kullanılan membranlar ;

- Platon PV024 (PVDF) MF membranı
- Platon PV250 (PVDF) UF membranı
- Platon ES04 (PES) UF membranı
- Platon ES10B (PES) UF membranı
- TORAY TMG10 NF membranı
- TORAY TM810V RO membranı
- FILMTEC XLE RO membranı
- NITTO SWC-5-LD2 RO membranı

Kullanılan kimyasallar;

- H_2SO_4
- NaOH

Membranlar 1 M H_2SO_4 çözeltisinde bir saat yıkanır ondan sonra 0.25 M NaOH çözeltisinde bir saat bekletilir ardından membranlar saf suya konularak kullanıma hazır olarak bekletilir. Membranlar 1,6 cm^2 alanında daire şeklinde kesilerek karıştırma hücresine oturacak hale getirilir. 100 mg/L dozajında $FeCl_3$ ile ham numuneye çöktürme yapıldıktan sonra kalan süpernatant kısım alınır. Karıştırma hücresine membran yerleştirildikten sonra bu süpernatant kısım karıştırma hücresine

eklenir ve UF membranları için 2-2.5-3 bar MF membranları için 1-1.5-2 bar azot gazının basıncı altında filtreleme işlemi yapılır. TO ve NF membran deneyleri UF membranının çıkış sularında yapılmıştır. O esnada analitik tartıdan her bir dakika alınan ölçümlerle membranın akısı ölçülür. NF için 5 ve 10 bar, TO için ise 5-20 bar aralığı basınç uygulanmıştır.

$$AKI(J) = \frac{(m_2 - m_1)X36000}{60(sn)} * \frac{1}{14{,}6(cm^2)}$$

m_2 = (x+1). dakikada alınan ölçüm(g)

m_1 = x. dakikada alınan ölçüm(g)

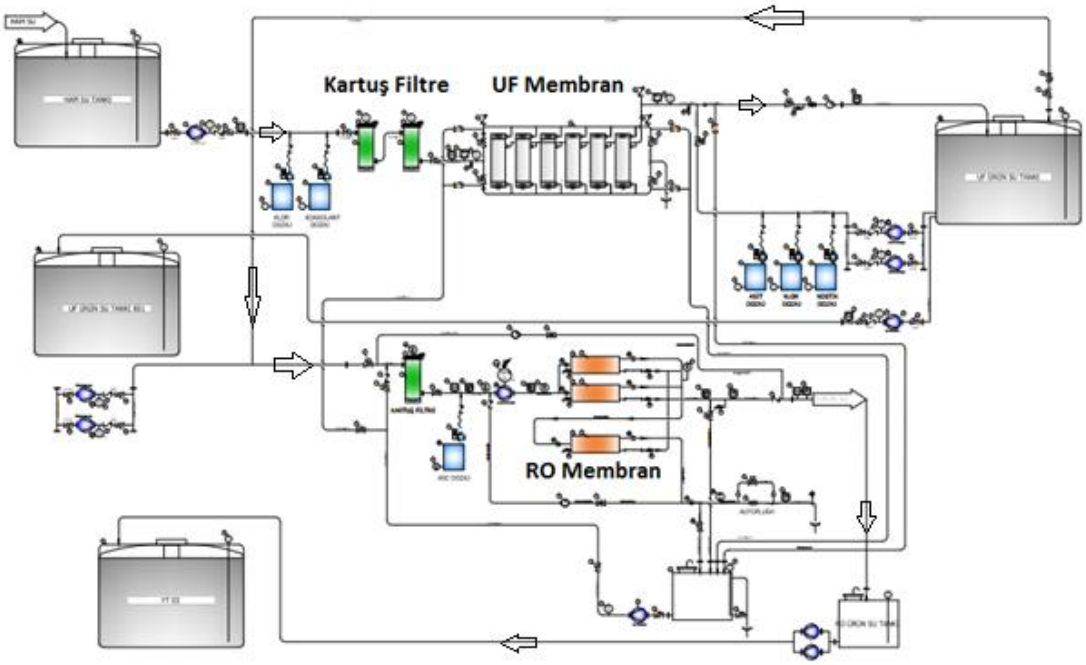
Analiz sırasında çıkan akıların toplamı analiz süresine (dakika) bölünerek ortalama akı elde edilir. Bu ortalama akı analiz esnasında çalışılan basınç değerine bölünerek permeabilite değeri bulunur.

Membrandan önceki ve membrandan süzülen suda KOİ, iletkenlik ve TDS parametreleri bakılarak membranın kirlilik tutma verimine bakılır.

Şekil 3.17 : Laboratuvar ölçekli membran testi düzeneği

3.7 Pilot Ölçekli Membran İşletmesi

Tesiste bulunan atıksu kimyasal çöktürme, mikroflotasyon, kum filtresi ve ardından aktif karbondan geçirilerek deşarj edilmektedir. Pilot ölçekli membran çalışmasında aktif karbondan geçmiş atıksu kullanılmaktadır. Bu atıksu pilot sistemde öncelikle 50 mikronluk geri yıkanabilir filtreden ardından 5 mikronluk kartuş filtreden geçiriliyor. Ardından İnge T-rack 6-2-1-3.0 Ultrafiltrasyon sisteminden geçiyor. Ultrafiltrasyodan geçen su ara depoda depolanıyor. Ardından antiskalant ilavesiyle RO membranından geçirilerek arıtım tamamlanıyor. Sistemde 6 adet UF modülü ve 3 adet RO modülü vardır. RO ünitesinde spiral sarımlı kompozit poliamitten üretilmiş 37 metrekarelik Foul-2g 80-40 membranı kullanılmıştır. UF sistemi yarım saat üstten servis yaptıktan sonra ürettmiş olduğu suyla ters yıkama yaıpyor ardından yarım saatte alttan servis yaparak ondan sonra bir daha ters yıkama yapıyor. Bu işlem 5 kere tekrarlandıktan sonra sistem kendisini önce kostik ardından klor ve asitle kimyasal yıkama yaparak temizliyor. RO sisteminde ise sistem her yarım saatte autoflush yaparak kendini temizliyor ve sistem kapatılınca kendi ürettiği suyla durulama yaparak temizleniyor. RO sisteminde üretilen her 10 metreküp temiz su için 4 metreküp konsantre akı çıkmaktadır. Konsantre akı arıtma tesisinin başına gönderilerek tekrar arıtıma tabi tutuluyor.



Şekil 3.18 : Pilot ölçekli membran düzeneği akım şeması

Pilot ölçekte takip edilen parametreler aşağıda verilmiştir;

- AKM
- KOİ
- İletkenlik
- Bulanıklık
- Debi
- Basınç

Şekil 3.19 : Pilot ölçekli UF sistemi

Şekil 3.20 : Pilot ölçekli TO sistemi

4. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

4.1 Asit Kraking Analizleri Sonuçları

Asit kraking prosesinde, büyük yapıdaki yağ molekülleri ve diğer uzun zincirli moleküller daha küçük moleküllere parçalanmaktadır. Numunelere deneme sırasında yavaş yavaş asit ilavesi yapılarak pH değerleri 2'ye düşürülmekte ardından KOİ, AKM, Yağ-gres analizleri ve jar testi yapılmaktadır. Bu proseste kirlilik oluşturucu maddelerin yalnız fiziksel yapısı değiştiğinden diğer bir deyişle büyük yağ molekülleri daha küçük yağ moleküllerine dönüştürüldüğü için KOİ, AKM ve Yağ gres analizlerinde giderim verimi bulunamamıştır. Ayrıca yapılan pH düşüklüğü $FeCl_3$ koagülantının verimli çalışabilmesinin önüne geçmiştir. Bu da koagülasyon/flokülasyon prosesini işlevsiz hale getirmiştir. Elde edilen sonuçlar toplu halde Tablo 3.1'de verilmiştir. Deney sonuçlarına göre, bu prosesin genel arıtım verimine katkı sağlamadığı söylenebilmektedir. Dolayısıyla pilot ölçekli sistemde kullanımı planlanmamaktadır.

Çizelge 4.1 : Asit kraking analiz sonuçları

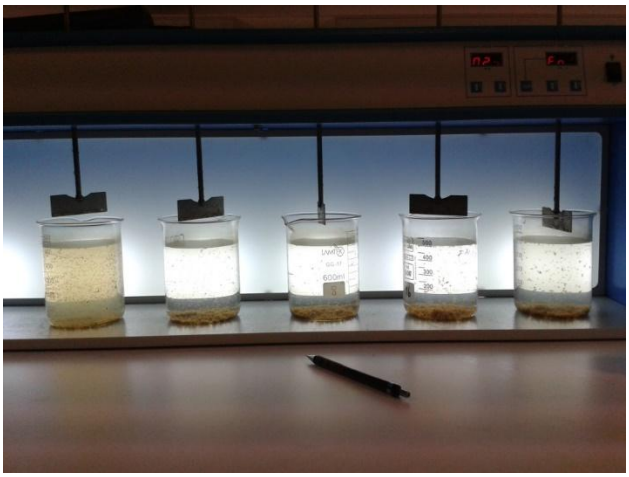
Analizler	pH	İletkenlik (µS)	TDS (mg/L)	AKM (mg/L)	KOİ (mg/L)
Ham numune verileri	8.46	1028	515	13.5	51.2
100 mg/L $FeCl_3$ + asit kraking	1.98	>30000	>15000	1.5	81.6
100 mg/L Alum + asit kraking	1.95	26500	12900	7	129
100 mg/L $FeCI_3$	7.47	1343	666	3.5	40
100 mg/L Alum	7.42	1280	644	25	131

4.2 Jar Testi Sonuçları

Testlere pH optimizasyonu ile başlandı.Öncelikle koagülant konsantrasyonu, karıştırma hızları ve süresi ve çöktürme süresisabit tutularak farklı pH değerlerinde çöktürmeler yapıldı.

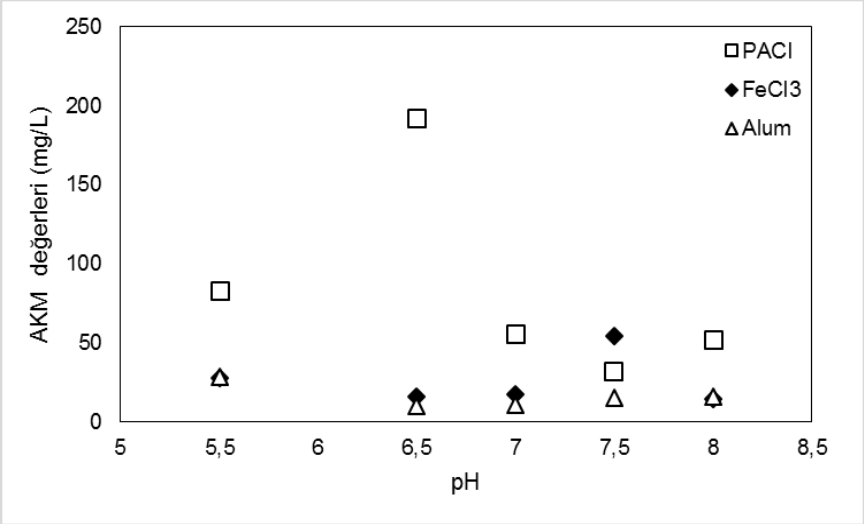
Koagülant Konsantrasyonu	100 mg/L				
Hızlı karıştırma hızı ve süresi	50 rpm – 2 dk				
Yavaş karıştırma hızı ve süresi	10 rpm – 30 dk				
Çöktürme süresi	1 saat				
pH ayarlamaları	5,5	6,5	7	Orj.	8

Çizelge 4.2 : Jar testi pH optimizasyonu



Şekil 4.1 : $FeCl_3$ ile pH optimizasyonu

Şekil 4.1'de gözüktüğü gibi pH 5.5 da koagülant işlevini kaybetmektedir.

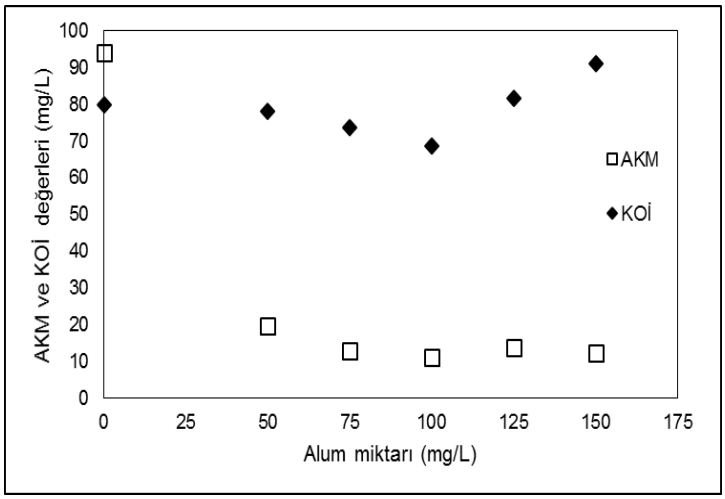


Şekil 4.2 : pH optimizasyonu sonucunda AKM değerleri

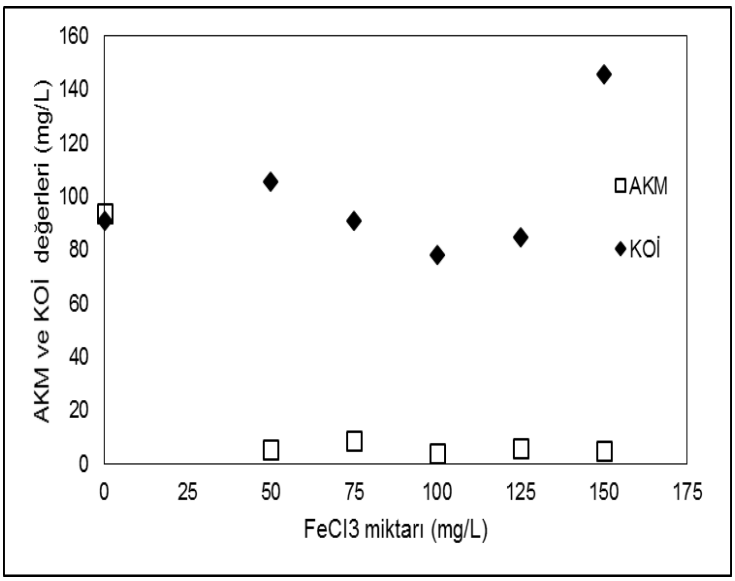
Ayrıca AKM giderim değerlerine bakınca, pH ayarlaması yapılmadan konulan numuneninde (pH 7.5) iyi bir şekilde arıtıldığını görüyoruz. Bu sebepten pH optimizasyonu deneyleri sonucunda pH'ın değiştirilmeden çalışılacağına karar verildi.Ayrıca PACl iyi bir çöktürme yapamadığıda görülmektedir. Ardından dozaj denemeleri yapıldı. pH ayarlaması yapılmaksızın çöktürme süreleri , hızları sabit tutularak koagülantların çeşitli konsantrasyonlarda giderim verilmliliğine bakılmıştır.

Çizelge 4.3 : Jar testinde dozaj optimizasyonu

pH	Orjinal				
Hızlı karıştırma hızı ve süresi	50 rpm – 2 dk				
Yavaş karıştırma hızı ve süresi	10 rpm – 30 dk				
Çöktürme süresi	1 saat				
Koagülant konsantrasyonu (mg/l)	50	75	100	125	150



Şekil 4.3 : Alum dozaj optimizasyon sonuçları



Şekil 4.4 : $FeCl_3$ dozaj optimizasyon sonuçları

Şekil 4.3 ve 4.4 te görüldüğü gibi $FeCl_3$ koagülantı 100 mg/L konsantrasyonunda iyi bir giderim yapmıştır.PACl denemelerinde ise numune çökelme eğilimi göstermemekle birlikte viskoz bir hal aldı.Bundan dolayı verimli bir çöktürme olmadığı için kullanımı gereksiz bulundu. Dozaj denemelerinden sonra çöktürme süreleri ve karıştırma hızları optimize edilerek. 2 dakika 50 rpm hızında karıştırma süresi ardından 15 dk 10 rpm hızında yavaş karıştırmanın ve ardından 1 saat çöktürme süresi verilmesinin yettiği anlaşılmıştır. Deneyler boyunca şu gözlemler yapılmıştır;

- Alum flokları $FeCl_3$ floklarından daha kırılgan yapıda.
- 100 mg/L $FeCl_3$'te daha iyi floklaşma gözlemlenmesine rağmen 100 mg/L Alum kullanılan atıksu biraz daha berrak gözüktü.

- Alum kullanıldığında küçük boyuttaki floklar askıda duruyor .

Bu sebeplerden ötürü 100 mg/L $FeCl_3$'ün bu atıksu için optimum koagülant olduğuna karar verilmiştir.

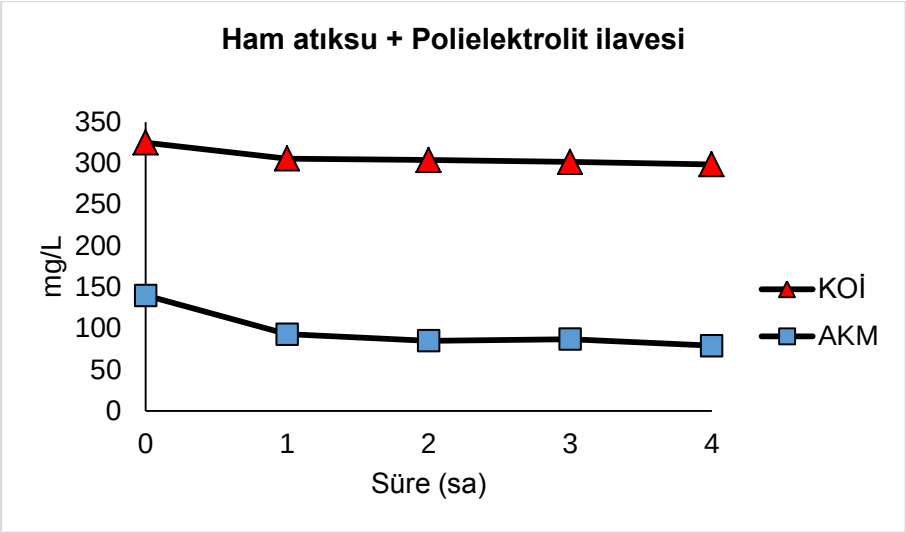
4.3 Laboratuvar Ölçekli Mikroflotasyon Sonuçları

Laboratuvar ölçekli mikroflotasyon çalışmalarında materyal-metod 2.1 kısmında da belirtildiği gibi ham atıksu, koagülasyon-flokülasyon tankı sonrası (çöktürme tankı öncesi) ve çöktürme havuzu tankı çıkışına mikroflotasyon çalışmaları uygulanmıştır. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen deney setleri çizelge 4.4 te sunulmuştur. Her bir deney setinde mikroflotasyon 4 saat çalışıltırılmıştır.

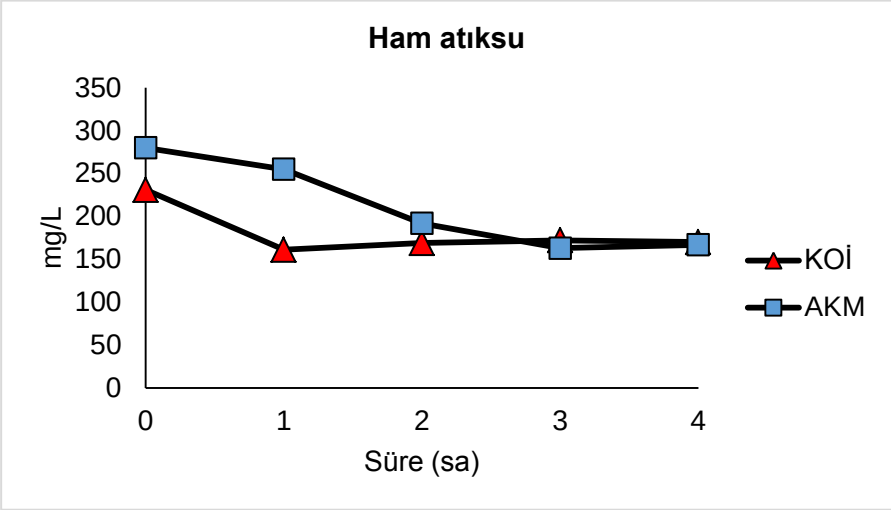
Çizelge 4.4 : Lab ölçekli mikroflotasyon çalışmaları

Deney seti	Çalışılan atıksu ve şartlar
1. set	Ham atıksu + Polielektrolit ilavesi
2. set	Ham atıksu
3. set	Çöktürme havuzu çıkışı + Polielektrolit ilavesi
4. set	Çöktürme havuzu çıkışı
5. set	Çöktürme havuzu girişi + Polielektrolit ilavesi
6. set	Çöktürme havuzu girişi

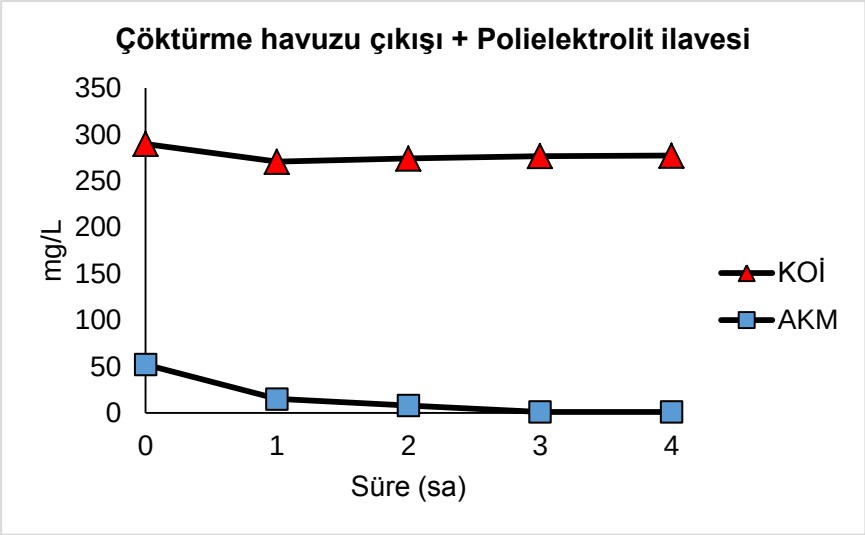
Şekil 6'da setlere ait deney sonuçları giriş-çıkış KOİ ve AKM değerleri ile grafiksel olarak verilmiştir. Bu deney setlerinin herbiri farklı günlerde 3 kere yapılmış sonuçlar birbirlerine yakın çıkmıştır bunedenle grafikte bir deneye ait değerler gösterilmiştir. Grafiklerden de görülebileceği gibi özellikle AKM değerleri mikroflotasyon süresi arttıkça azalmaktadır. Fakat genellikle tüm deney setlerinde 1.saatten sonra KOİ ve AKM değerlerinde çok fazla değişim olmamıştır. Grafiklerin üzerinde 1. saatte elde edilen giderim verimleri gösterilmiştir. Mikroflotasyon öncesi yapılan polielektrolit ilavesi özellikle ham atıksu ve çöktürme havuzu çıkış sularında AKM giderim verimlerini arttırmıştır. KOİ giderim verimleri çok değişmemiştir. 5. ve 6. setlerde yani çöktürme havuzu girişin mikroflotasyon uygulamasında polielektrolit ilavesi AKM giderim verimlerini değiştirmemiştir.



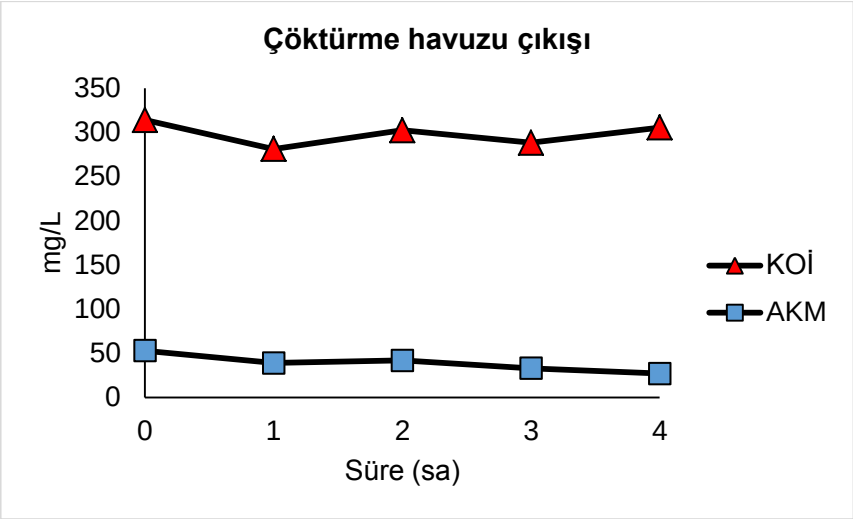
Şekil 4.5 : 1. set çalışmasının sonuçları



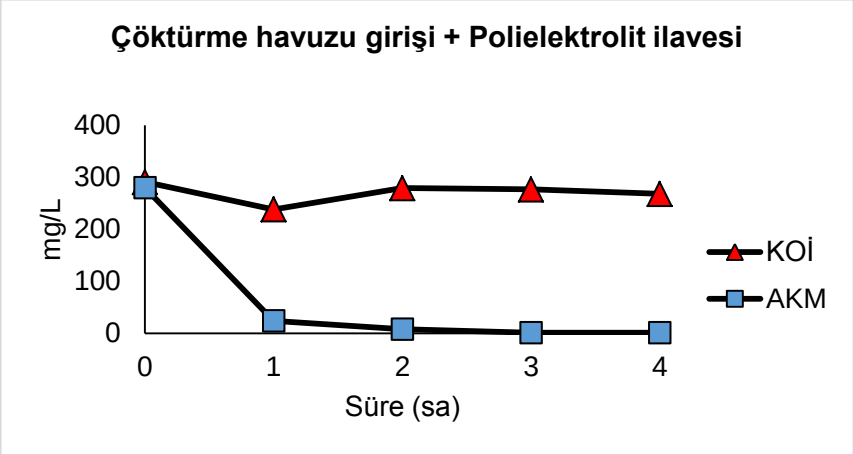
Şekil 4.6 : 2. set çalışmasının sonuçları



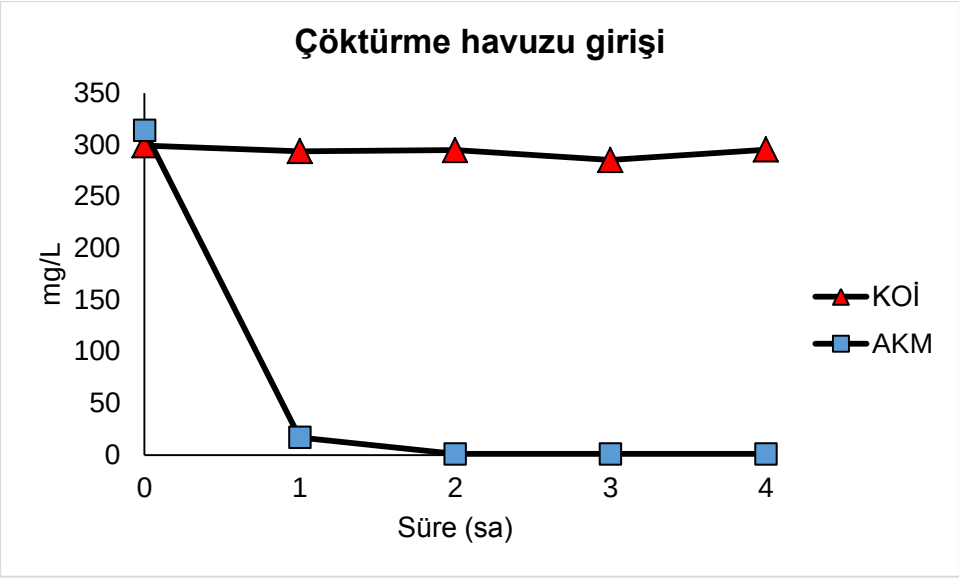
Şekil 4.7 : 3. set çalışmasının sonuçları



Şekil 4.8 : 4. set çalışmasının sonuçları



Şekil 4.9 : 5. set çalışmasının sonuçları



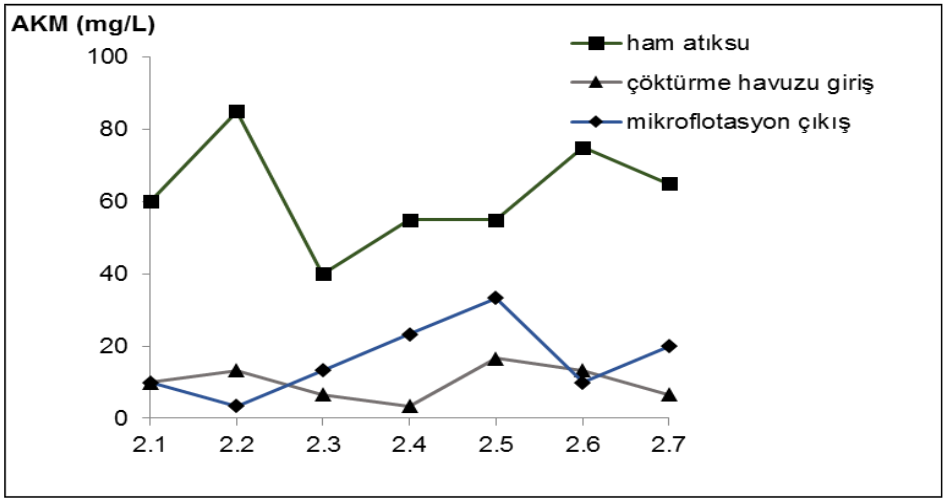
Şekil 4.10 : 6. set çalışmasının sonuçları

Bu sonuçlara bakcak olursak özellikle AKM giderimine, pilot ölçekli mikroflotasyon ünitesinin çöktürme tankında veya çöktürme tankından çıkan suya yapılmasının fizibil olduğu görülmüştür ve bu laboratuvar ölçekli çalışmalar pilot ölçekli çalışmalara ön ayak olmuştur.

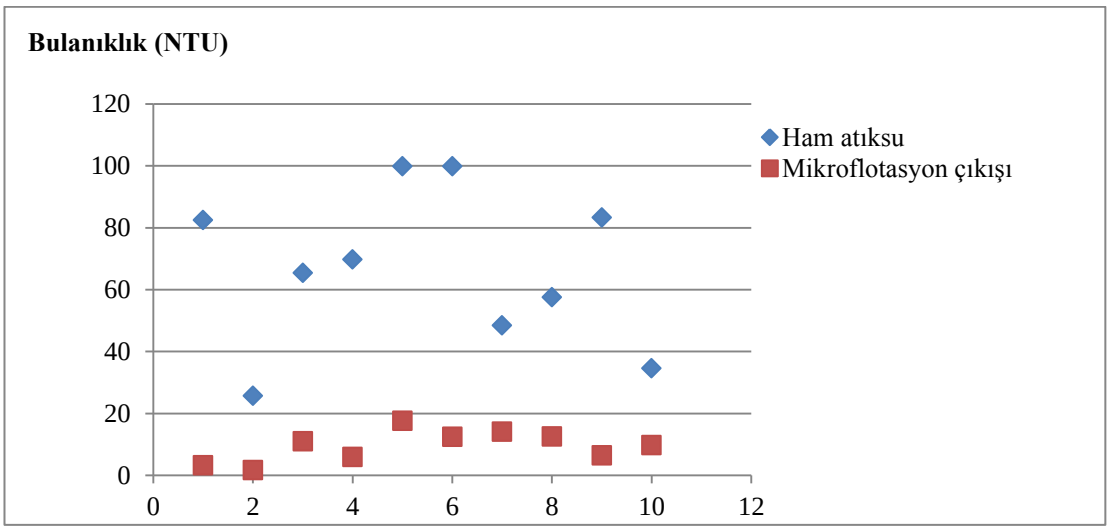
4.4 Pilot Ölçekli Mikroflotasyon Sonuçları

Çöktürme tankında yapılan çalışmalarda $FeCl_3$, polielektrolit ve kireç eklenmiş atıksuyun çöktürme tankında mikroflotasyonu incelenmiştir.Bu denemelerde kirleticilerin yüzdürülmesi başarılı olup ama yine de çöktürme tankındaki perdenin altından bazı flokların kaçması ve savaklanması nedeniyle tam verim elde edilememiştir.Nötralizasyon tankında yapılan çalışmalarda ise kimyasal çöktürmeden arda kalan yağ gres, koagülant ve polielektrolitin yüzdürülerek giderilmesi başarılı olmuştur.

Çöktürme tankında yapılan çalışmalarda ham atıksu, çöktürme tankına giriş ve mikroflotasyon çıkışında bulunan AKM ve bulanıklık sonuçları Şekil 4.11 ve 4.12 de verilmiştir.

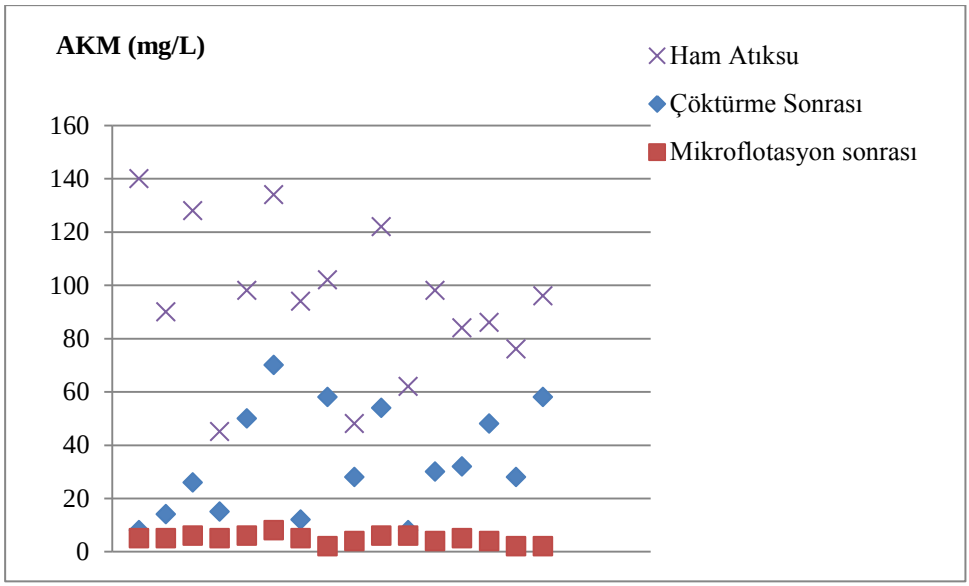


Şekil 4.11 : Çöktürme tankında mikroflotasyon ile AKM sonuçları

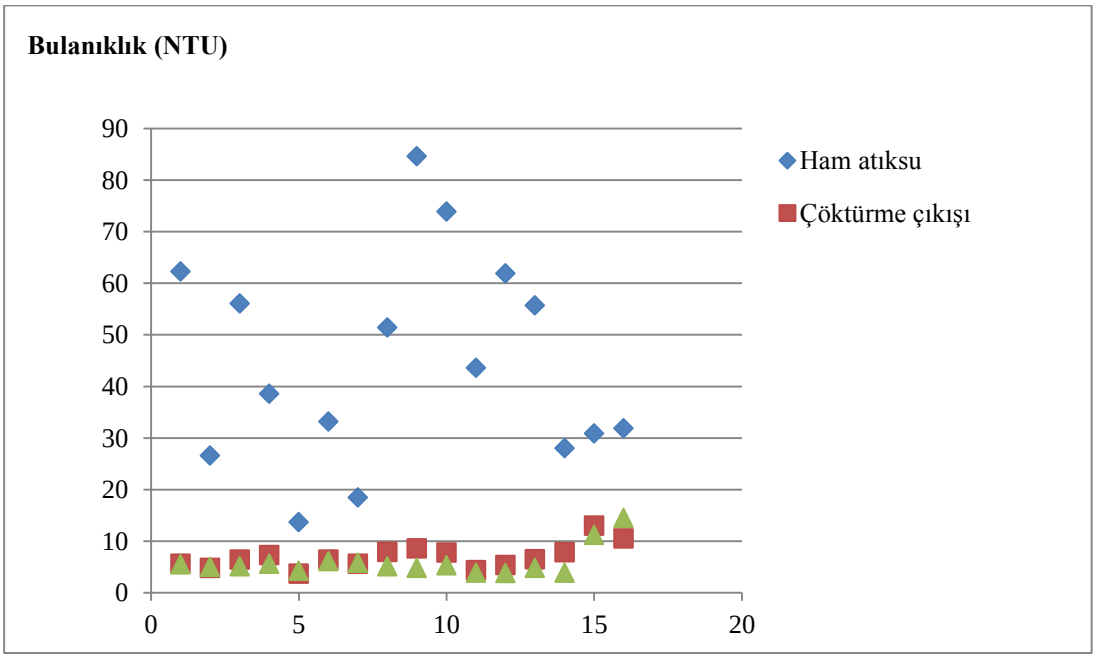


Şekil 4.12 : Çöktürme tankında mikroflotasyon ile bulanıklık sonuçları

Nötralizasyon tankında yapılan çalışmalarda ise ham atıksu, kimyasal çöktürme çıkış suyu ve mikroflotasyon çıkışına ait AKM ve bulanıklık sonuçları aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.13 : Nötralizasyon havuzunda mikroflotasyon ile AKM sonuçları

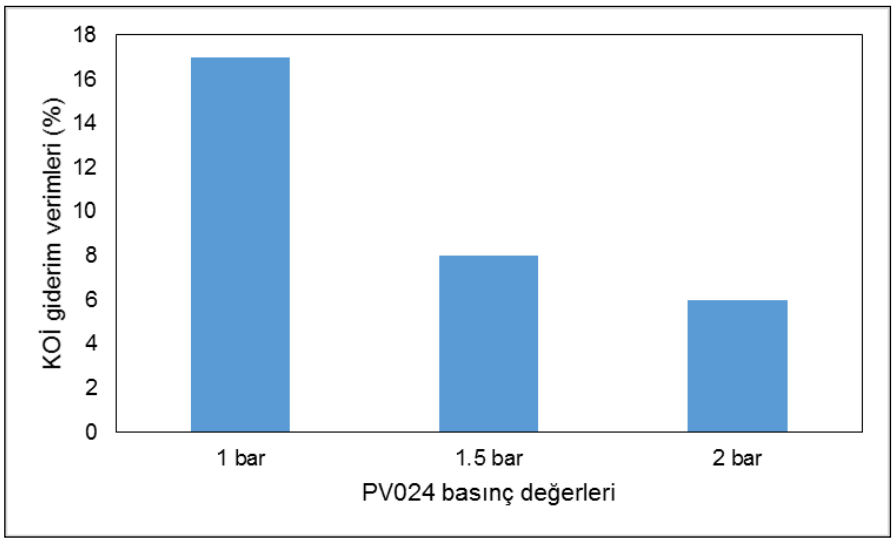


Şekil 4.14 : Nötralizasyon havuzunda mikroflotasyonla bulanıklık sonuçları

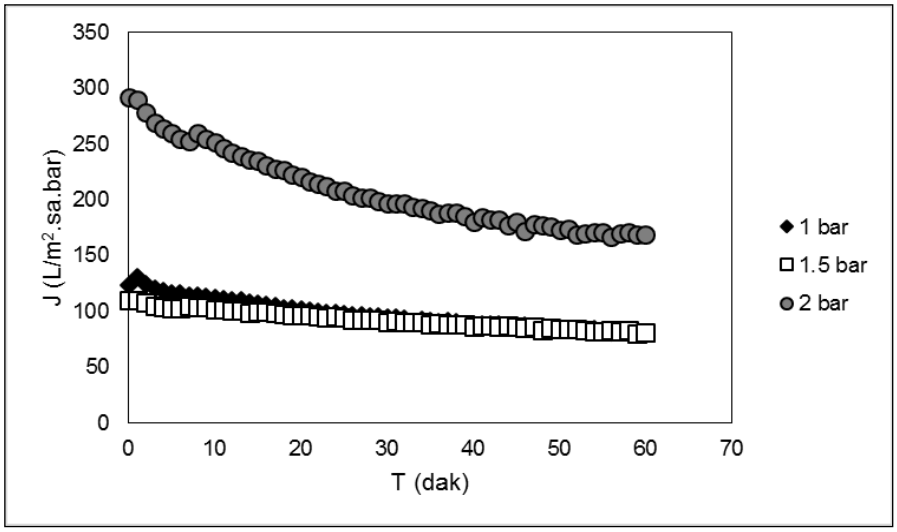
4.5 Laboratuvar Ölçekli Membran Çalışmalarının Sonuçları

4.5.1 MF ve UF çalışmaları

MF ve UF filtrasyonları TO veya NF filtrasyonu öncesi ön arıtım olarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.15 ve 4.16 da PV024 mikrofiltrasyon membranında basınca bağlı olarak elde edilen akı-zaman ve KOİ giderim verimi grafiği verilmiştir. Beklenildiği gibi basınç arttıkça akı değerleri artmıştır. Ortalama akı değeri 1 bar için 83, 1.5 bar için 83 ve 2 bar için 170 L/m^2.sa olarak bulunmuştur. KOİ giderim verimleri ise artan basınç ile azalmış 1 bar için %17, 1.5 bar için %8 ve 2 bar için %6 olarak bulunmuştur.

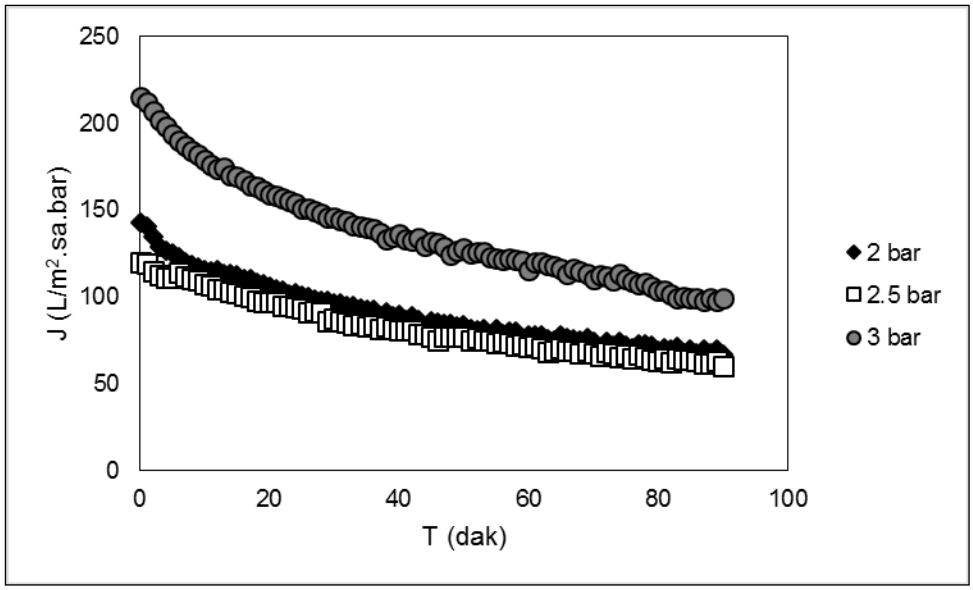


Şekil 4.15 : PV024 membranı ile KOİ giderim verimi

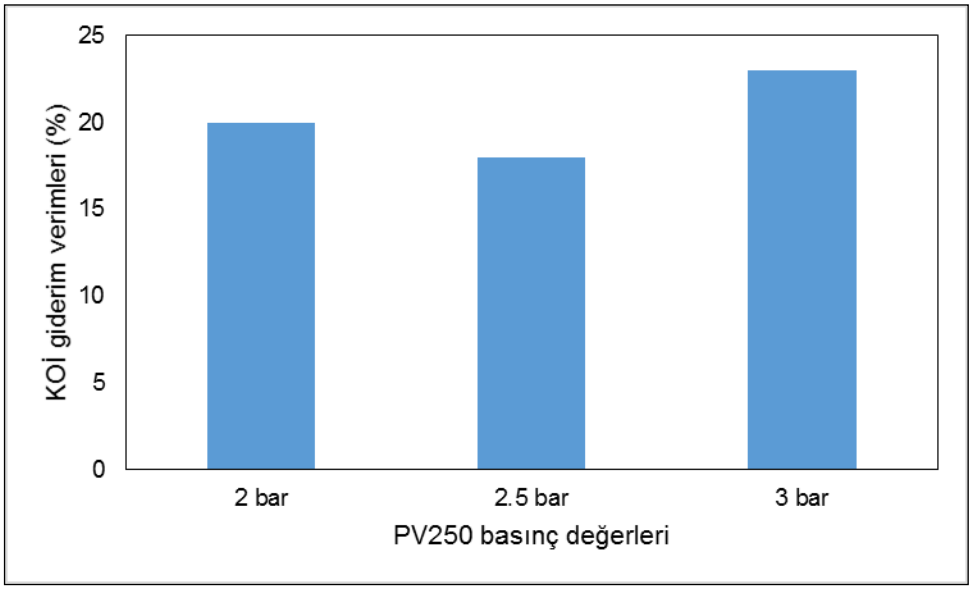


Şekil 4.16 : PV024 membranı akı sonuçları

Ultrafiltrasyon için ilk olarak PV250 membranında 2, 2.5 ve 3 bar için akı-zaman ve KOİ giderim verimi grafikleri elde edilmiş Şekil 4.17 (a-b)'de sunulmuştur. Akı değerleri artan basınçta artış göstermiştir. Ortalama akı değerleri 2 bar için 63, 2.5 bar için 69 ve 3 bar için 99 L/m^2.sa olarak bulunmuştur. KOİ giderim verimleri ise artan basınç ile azalmış 2 bar için %20, 2.5 bar için %18 ve 3 bar için %23 olarak bulunmuştur.



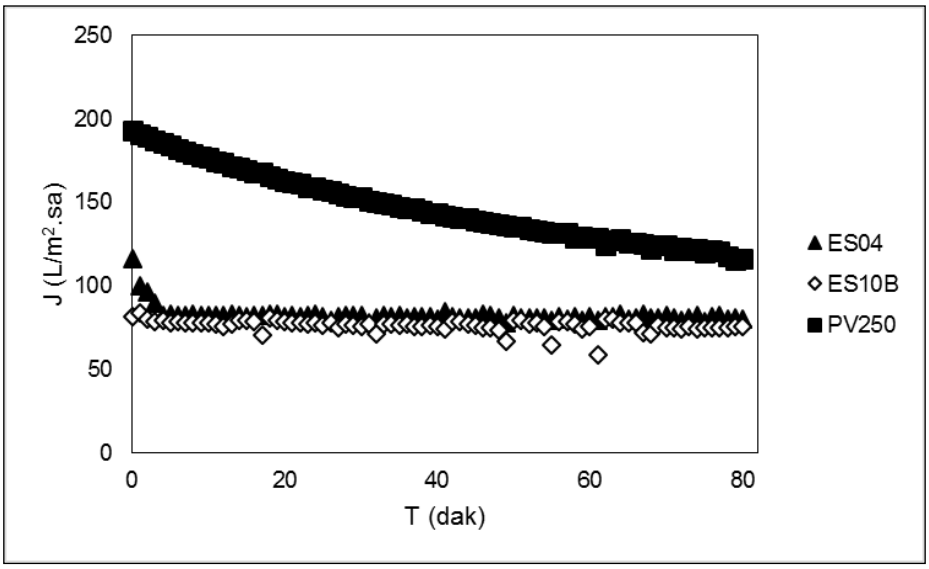
(a)



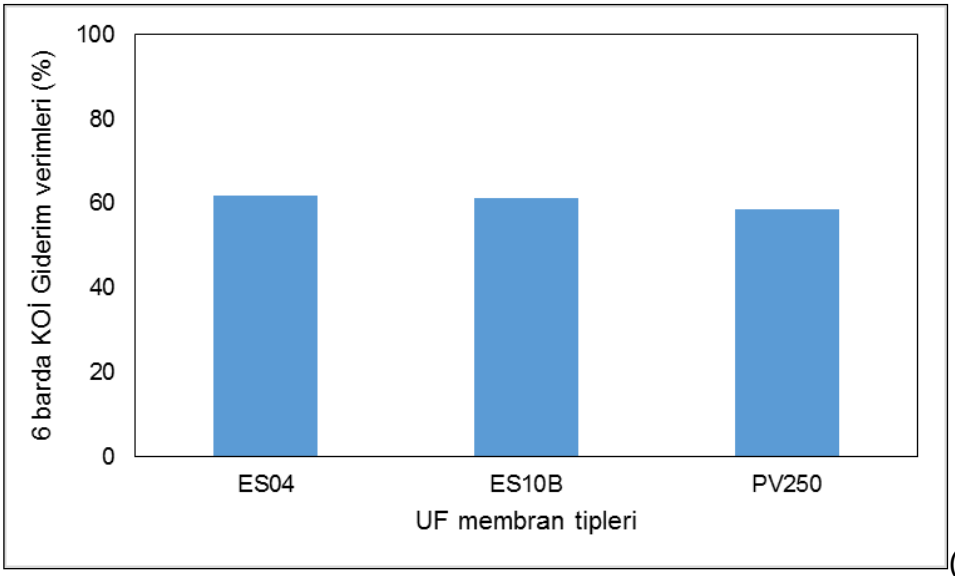
(b)

Şekil 4.17 : PV250 ultrafiltrasyon membranından basınca bağlı olarak elde edilen akı ve KOİ giderim verimi grafikleri (a) Akı-zaman grafiği (b) KOİ giderim verimi grafiği

UF kapsamında gerçekleştirilen diğer deney setinde ES04, ES10B ve PV250 ultrafiltrasyon membranlarının 6 barda akı-zaman ve KOİ giderim verimi grafikleri elde edilmiş ve Şekil 4.18 de verilmiştir. Burada KOİ giderim verimlerine bakıldığında membranlar arasında çok bir farklılık bulunmazken akı değerlerine bakıldığında PV250 membranının diğer membranlara göre daha yüksek akı değerlerine sahip olduğu görülmektedir.



(a)



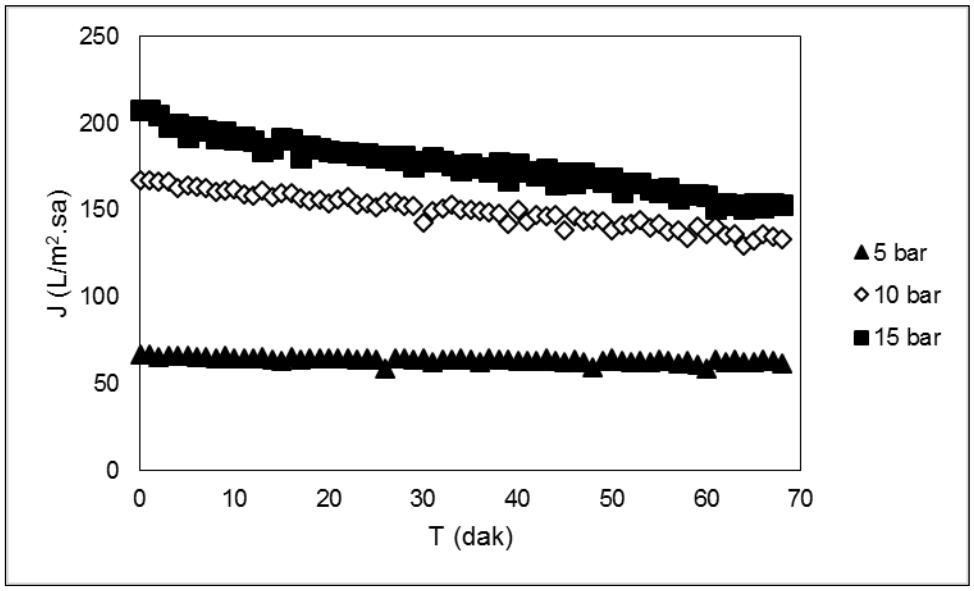
(b)

Şekil 4.18 : ES04, ES10B ve PV250 ultrafiltrasyon membranlarından 6 bar basınçta elde edilen akı ve KOİ giderim verimi grafikleri (a) Akı-zaman grafiği (b) KOİ giderim verimi grafiği

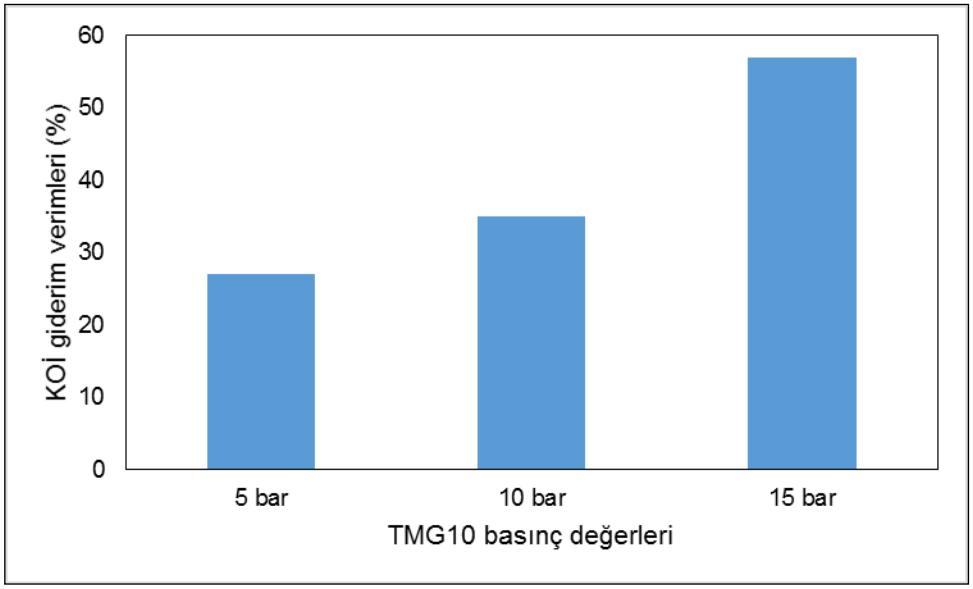
Yapılan MF ve UF deneylerine göre UF membranının KOİ giderim verimleri açısından daha avantajlı olduğu ve bu nedenle ön arıtma için PV-250 membran tipinde ultrafiltrasyon membranının pilot tesiste ön arıtma amacıyla kullanılmasına karar verilmiştir.

4.5.2 NF ve TO çalışmaları

NF ve TO filtrasyonu UF ön arıtımından sonra gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.7 (a-b)'de TMG10 nanofiltrasyon membranından basınca bağlı olarak elde edilen akı-zaman ve KOİ giderim verimi grafiği verilmiştir. Beklenildiği gibi basınç arttıkça akı değerleri artmıştır. Ortalama akı değeri 5 bar için 62, 10 bar için 135 ve 15 bar için 154 L/m2.sa olarak bulunmuştur. KOİ giderim verimleri ise artan basınç ile artmıştır 5 bar için %27, 10 bar için %37 ve 15 bar için %57 olarak bulunmuştur.



(a)



(b)

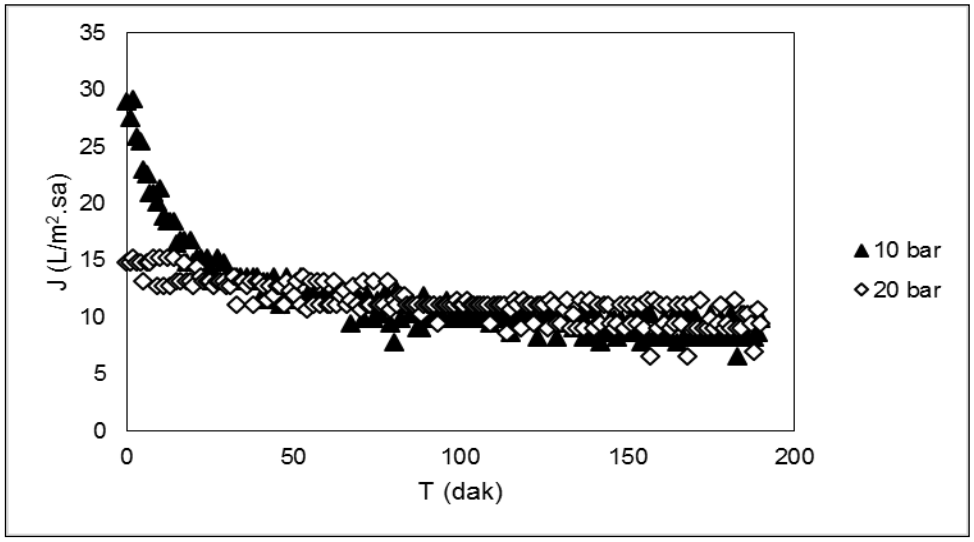
Şekil 4.19 : TMG10 nanofiltrasyon membranından basınca bağlı olarak elde edilen akı ve KOİ giderim verimi grafikleri
(a) Akı-zaman grafiği (b) KOİ giderim verimi grafiği

PV250 ultrafiltrasyonundan sonra TO membranları olarak TM810V, RO-XLE ve SWC-5-LD2 membranları kullanılmıştır. Membranların basınca bağlı olarak elde edilen akı-zaman grafikleri Şekil 3.8 (a-c)'de verilmiştir. Ortalama akı değerleri 10 barda TM810V için 8.8 L/m^2.sa, RO-XLE için 14.4 L/m^2.sa ve SWC-5-LD2 için 7.9 L/m^2.sa bulunmuştur. 20 barda elde edilen ortalama akı değerleri ise TM810V için 9.6 L/m^2.sa, RO-XLE için 47.8 L/m^2.sa ve SWC-5-LD2 için 16.3 L/m^2.sa bulunmuştur. Her iki basınç değerinde de en yüksek akı değeri RO-XLE membranından elde edilmiştir.

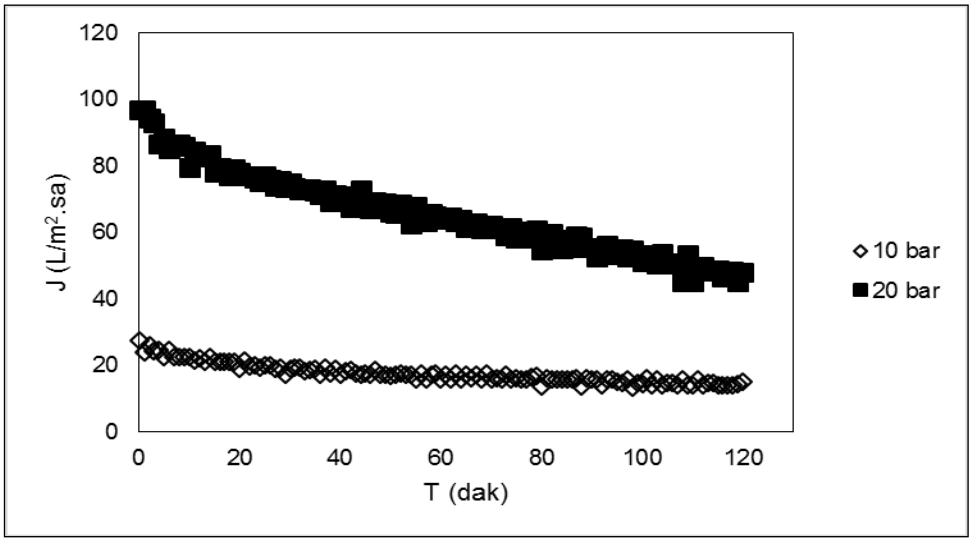
Ters osmoz membranlarının basınca bağlı olarak elde edilen KOİ giderim verimi grafikleri Şekil 3.9 (a-c)'de verilmiştir. KOİ giderim verimleri artan basınç ile artmıştır. Giderim verimleri 10 barda TM810V için %40, RO-XLE için %23 ve SWC-5-LD2 için %75 bulunmuştur. 20 bardaki giderim verimleri ise TM810V için %57, RO-XLE için %60 ve SWC-5-LD2 için %85 olarak bulunmuştur. Her iki basınç değerinde de en yüksek KOİ giderim verimleri SWC-5-LD2 membranından elde edilmiştir.

RO-XLE ve SWC-5-LD2 membranları için 20 barda gerçekleştirilen geri kazanım deneylerinde elde edilen sonuçlar toplu halde çizelge 4.5 de sunulmuştur. RO-XLE'de geri kazanım oranı arttıkça akı değerleri, KOİ, iletkenlik ve TDS giderim

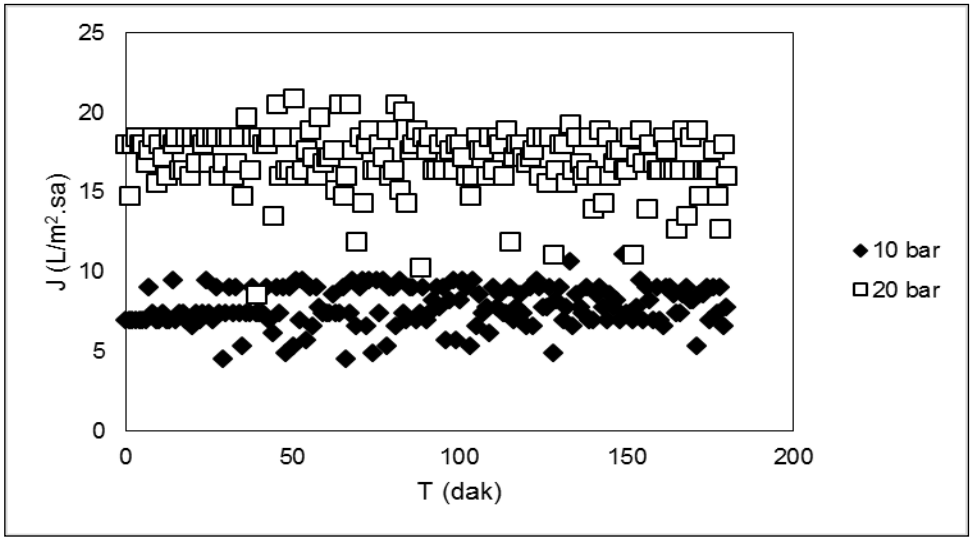
verimleri azalmış SWC-5-LD2 membranda ise geri kazanım oranı arttıkça akı değerleri ve giderim verimleri değişmemiştir.



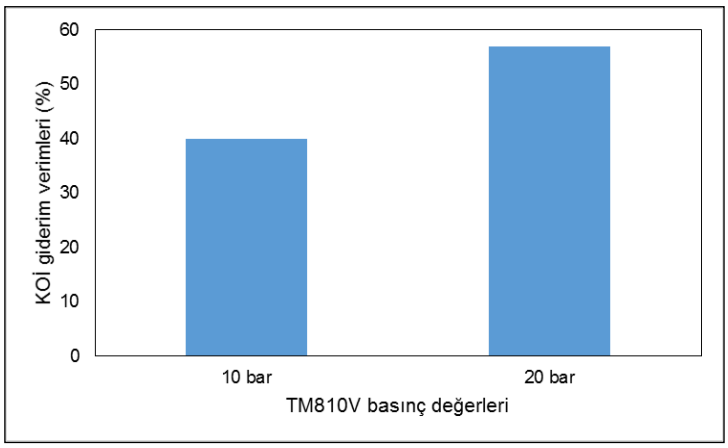
Şekil 4.20 : Ters osmoz membranlarından basınca bağlı olarak elde edilen akı –zaman grafikleri TM810V



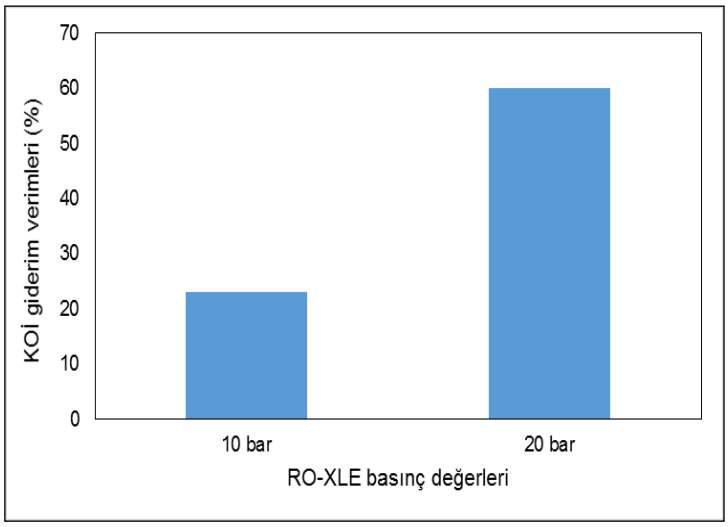
Şekil 4.21 : Ters osmoz membranlarından basınca bağlı olarak elde edilen akı –zaman grafikleri RO- XLE



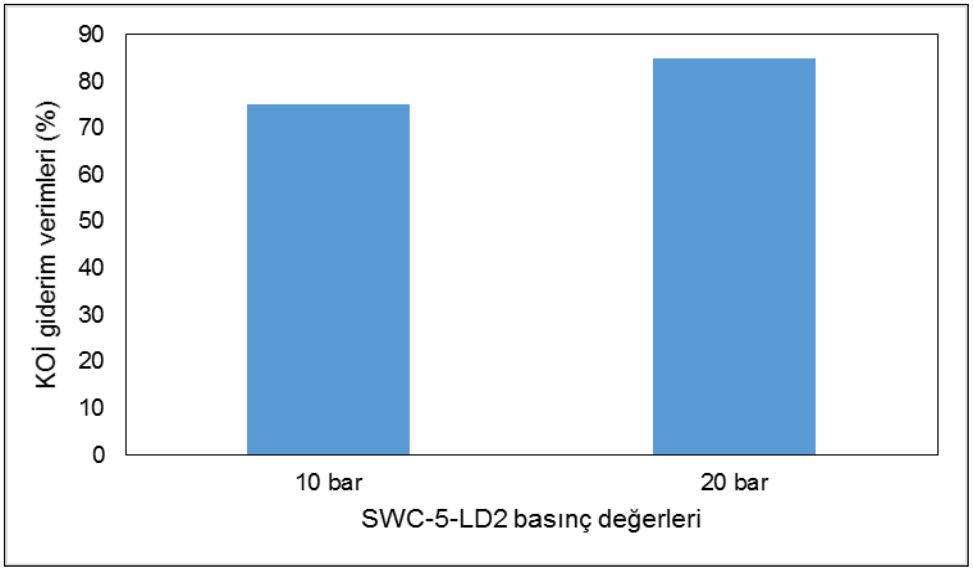
Şekil 4.22 : Ters osmoz membranlarından basınca bağlı olarak elde edilen akı –zaman grafikleri SWC5-LD2



Şekil 2.12 : TM 810V KOİ giderim verimi



Şekil 4.23 : RO-XLE KOİ giderim verimi



Şekil 4.24 : SWC-5-DL2 KOİ giderim verimi

Çizelge 4.5 : RO-XLE ve SWC-5-LD2 membranları için gerçekleştirilen geri kazanım deneylerinde elde edilen sonuçlar

Membran Modeli	Geri kazanım (%)	Ortalama Akı(L/m^{2}saat)	KOİ Giderim(%)	İletkenlik Giderimi (%)	TDS Giderimi (%)
RO-XLE	90	27.5	81	74	70
	70	46.7	85	88	87
SWC	90	19.5	93	90	89
	70	19.6	89	87	86

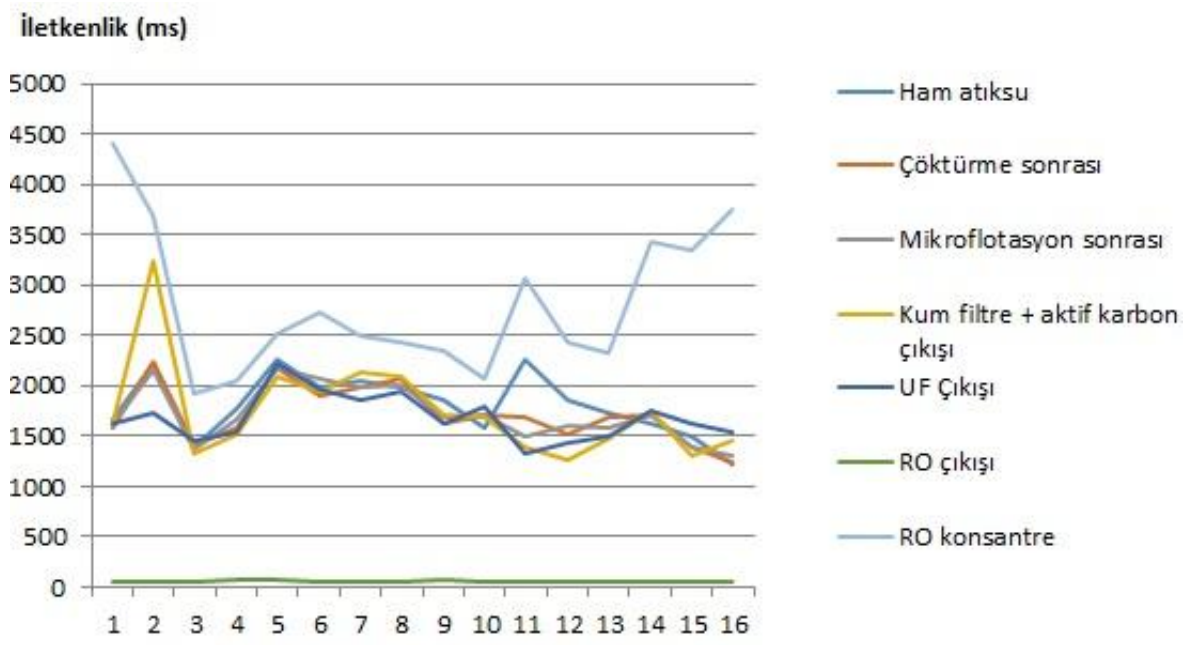
NF ve TO membran filtrasyon deneylerinin sonucuna göre nihai arıtım olarak NF membranının seçilmesi durumunda akı değerinin 15 barda 154 L/m^2.sa, KOİ giderim veriminin ise %57 olduğu, TO membranın seçilmesi durumunda ise 20 barda RO-XLE için akı değerinin 47.8 L/m^2.sa ve giderim veriminin ise %60 olduğu görülmektedir.

4.6 Pilot Ölçekli Membran Çalışmaları

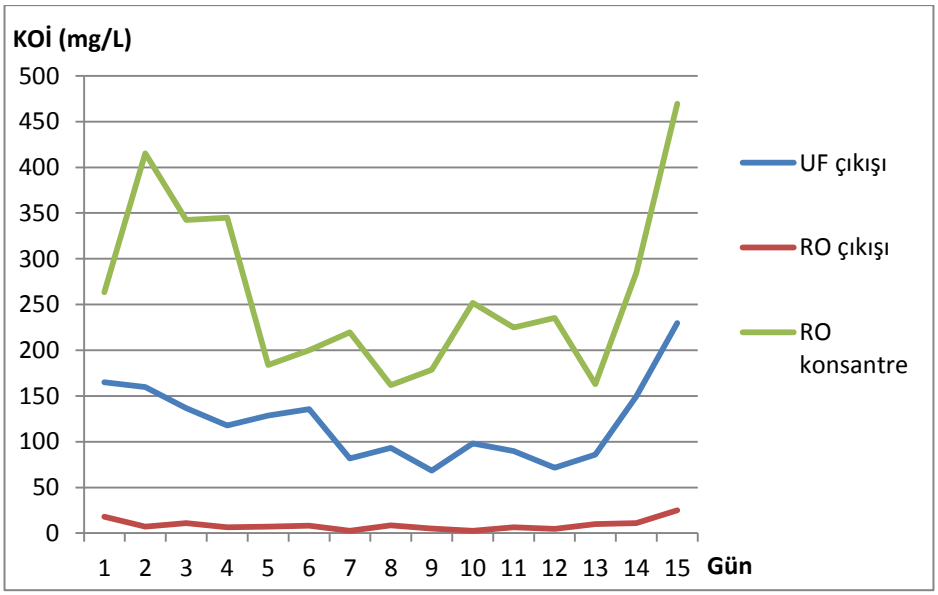
Ultrafiltrasyon modülünde fark basıncı ortalama 0.6 bar iken ters osmoz membranlarındaki basınç 10 bardır. Bu basınçlar altında su debileri ortalama olarak çizelge 4.6 da verilmiştir.

Çizelge 4.6 : Proses debileri

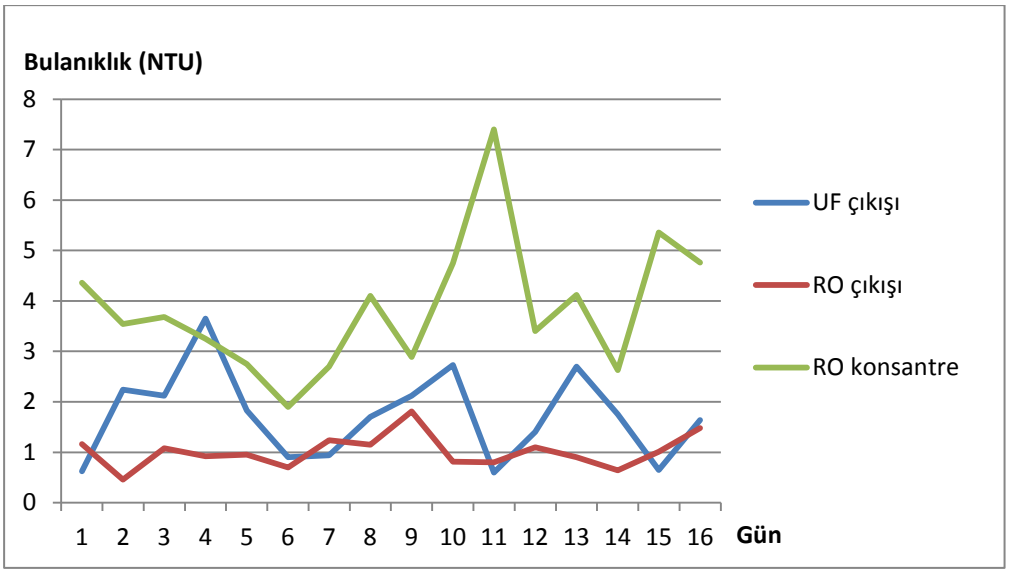
AAT girişi (m^3/saat)	UF ÇIKIŞ (m^3/saat)	RO çıkış (m^3/saat)	RO konsantre (m^3/saat)
38	17,25	8,81	4,31



Şekil 4.25 : Pilot ölçekli membran çalışması iletkenlik takibi



Şekil 4.26 : Pilot ölçekle membran sisteminde KOİ takibi



Şekil 4.27 : Pilot ölçekli membran sisteminde bulanıklık takibi

Şekillerde görüldüğü gibi ham atıksudan TO'ya kadar iletkenlikte büyük bir değişiklik gözükmüyor. Ultrafiltrasyondan membranından sonra atıksuda AKM bulunmamaktadır. TO konsantresinin KOİ'si ise sisteme giren atıksuyun 2 katı kadardır.

4.7 Arıtma Tesisi Takip Çalışmaları

Pilot ölçekli membran çalışmaları süresince atıksuyun arıtma tesisindeki prosesler boyunca kirlilik parametreleri takip edilmiştir. Aşağıda verilen tabloda bu parametrelerin ortalama değerleri verilmiştir.

	Ham atıksu	Çöktürme çıkışı	Mikroflotasyon çıkışı	Kum filtre + Aktif karbon çıkışı	UF çıkışı	TO çıkışı	TO konsantre
KOİ (mg/L)	175	151	144	107	102	8	183
AKM (mg/L)	82	34	<5	<5	<5	<5	<5
İletkenlik (ms)	1688	1787	1679	1682	1645	58	2389
Bulanıklık (NTU)	56	7	6	8	2	2	3
Ca sertliği (mg/L)	49	-	72	70	71	8	112
Mg Sertliği (mg/L)	13	-	11	10	11	0	23
Toplam sertlik (dH)	10	-	13	12	13	1	21

Çizelge 4.7 : Arıtma tesisi kirlilik takibi

5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER

5.1 Asit Kraking Prosesi

Asit kraking prosesi bir miktar AKM giderimi sağlamasına rağmen KOİ giderimi yapmamaktadır. Ayrıca asit kraking prosesinden çıkan su pH değerinden dolayı kimyasal çöktürmeye uygun değildir.Ayrıca uçucu hidrokarbonların olduğu arıtma tesisinde bu prosesin yapılması tehlike teşkil etmektedir. Bu sebeplerden dolayı asit kraking prosesinin kullanılmamasına karar verilmiştir.

5.2 Pilot Ölçekli Mikroflotasyon Prosesi

Çöktürme tankı ve nötralizasyon tankında yapılan denemeler kapsamında yüksek verimlilikte AKM giderimi gözlemlenmiştir. Çöktürme tankında yapılan denemelerde her nekadar flok kaçakları olsa da klasik difüzörlerle yüzdürülemeyen kirleticilerin giderimi sağlanmıştır.Daha iyi bir tank dizaynıyla flok kaçaklarının önüne geçebileceği gözlemlenmiştir.

Ayrıca nötralizasyon tankında yapılan çalışmalarla %95'e varan AKM giderim verimlerine ulaşılmıştır. Kimyasal çöktürmeden arda kalan yağ, polielektrolit ve demir yüzdürülerek sistemden uzaklaştırılmıştır.Bu sayede kum filtresi, aktif karbon ve membran sistemlerine giden kirlilik yükü düşmüştür.

5.3 Pilot Ölçekli Membran Sistemi

Pilot ölçekli membran sistemindeki ters osmoz membranında arıtılan suyun akredite laboratuvar tarafından yapılmış olan analizlere göre suyun amonyum parametresi dışında insani tüketim amaçlı su kalitesinde olduğu görülmüştür. Amonyumunda klorlama yapılarak sudan uzaklaştırılması sağlanacaktır. Su kullanım suyu açısından kullanılabilir durumdadır.

Eklerde verilmiş SKKY tablo 11.2 tabi tutulan arıtma tesisinde çalışılan pilot düzenekte çıkış konsantresindeki ortalama KOİ miktarı 183 mg/L olduğundan konsantrenin deşarjında her hangi bir sakınca görülmemektedir.

Kurulumu tamamlanmış olan pilot tesisin kapasitesi 10 m^3/sa'tir. Bu değer TO çıkış değeridir. UF sistemine giriş debisi ise ortalama 21 m^3/sa'tir. Yapılacak bir işletim senaryosu ile ileri arıtma ünitesi arıtma tesisine giren tüm atıksuyun (38 m^3/sa) geri kazanımını sağlayacak durumdadır. Membran sisteminin günde 18 saat, haftada 7 gün çalıştığı düşünülür ise sistem ayda 504 saat çalışır ve toplamda 5040 m^3/ay su tesiste depolanmış olur. Terminalin aylık şebekeden çektiği su (ortalama 4600 m^3/ay) düşünüldüğünde ileri arıtma ünitesi ile ihtiyaç duyulan şebeke suyunun tamamının hatta daha fazlasının geri kazanımla sağlandığı görülmektedir.

5.4 Teknoekonomik Analiz

Yapılan çalışmaların fizibil olması için öncelikle ekonomik olması gerekmektedir. Geri kullanılması planlanan arıtılan suyun maliyetinin şebeke suyundan ucuz olması gerekir aksi halde yapılan çalışmanın ekonomik bir kazanımı olmaz.

Sıyırıcılar, kimyasal çöktürme, kum filtresi ve aktif karbon prosesleri kullanılan mevcut arıtma tesisinde 1 m^3 suyun arıtımı için 0,64 lira harcanıyor. Bunun 0,13 lirası pompaların ve motorların elektrik masrafı 0,51 lirası ise kimyasal masrafıdır.

Mikroflotasyon sisteminde ise sadece 5.5 KW lık pompa çalışmaktadır. Buna göre elektrik tarifesini 0,3142 tl/kw olarak kabul edersek 40 metreküp debide atıksu için 0,05 lira / metreküp maliy eti vardır

Pilot ölçekli membran sisteminde toplam 19,6 KW gücünde motorlar bulunmaktadır bu da 1 m^3 arıtılmış su için 0,64 lira elektrik masrafı demektir. Membranların yıkanması için çeşitli kimyasallar ile dozlanmaktadır.

1 m^3 arıtılmış su için TO kimyasal masrafı ise TL cinsinden aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 5.1 : Metreküp arıtılmış su için kimyasal masrafı

Kostik	Klor	Asit	Antiskalant	Toplam
0,04	0,039	0,0922	0,5089	0,6801

Pilot ölçekli membran sisteminin bir diğer sarf malzemesi ise kartuş filtrelerdir. UF ve TO membranlarının tıkanmasının önüne geçmek için membran girişlerine kurulan bu kartuş filtrelerin tıkanınca değiştirilmesi gerekmektedir.Pilot tesis işletimi sırasında kartuş filtreler 3 gün ile 2 hafta arasında değişen sürelerle yenilendi. Ortalama 180 m^3 ters osmoz çıkış suyu için 8,15 lira kartuş masrafı çıkmıştır. Bu da metreküp ürün suyu başına 0,045 lira maliyet oluşturmaktadır. Membran sistemi 1 m^3 suyu arıtabilmesi için toplamda yaklaşık 1,37 lira maliyet oluşturmaktadır.

Konvansiyonel arıtmada hali hazırda 0,64 lira harcanırken ek olarak 1,37 lira membran sistemi ve 0,05 lira mikroflotasyon sistemi için harcanarak 1 m^3 atıksu arıtılmış ve kullanım suyu olarak kazanılmıştır.Toplam arıtma maliyeti metreküp su için 2 liraya yakın olup terminalde kullanılan 7,2 TL/m^3'lük şebeke suyundan çok daha düşüktür.

5.5 Öneriler

Pilot ölçekli çalışmalar boyunca debisi 40 metreküp olan atıksuyun 10 metreküpü tersosmozdan geçirilerek geri kazandırılırken 10 metreküpü ise ultrafiltrasyon süzüntüsü olarak depolanarak terminallerinde çeşitli operasyonlarda kullanıldı. Fakat 20 metreküp su konvansiyonel arıtımdan sonra deşarj edildiği için sıfır sıvı deşarjı ilkesine ulaşılamadı. Pilot ölçekli işletme boyunca iletkenliğin artmaması sıfır sıvı deşarjı olmasına yönelik umutları arttırmakla beraber deşarj edilecek atıksuyun arıtma tesisinin başına tekrar gönderilerek sıfır sıvı deşarjı yaklaşımı irdelenmesi önerilir.

Ters osmoz ünitesinden çıkan su akredite laboratuvar tarafından analiz edilmiştir. Analiz sonuçları ekte verilmiştir. Amonyum parametresi haricinde su insani tüketim suyu standartlarındadır. Ters osmoz ünitesinden sonra klorlama ünitesi konarak bunun önüne geçilebilir ve atıksu insani tüketime uygun hale gelmiş olur.

KAYNAKLAR.

Arsuaga, J. M., Sotto, A., Del Rosario, G., Martínez, A., Molina, S., Teli, S. B., et al. (2013).
Influence of the type, size, and distribution of metal oxide particles on the properties of nanocomposite ultrafiltration membranes. *Journal of Membrane Science, 428, 131e141.*

Bartels, C., Franks, R., Rybar, S., Schierach, M., & Wilf, M. (2005). The effect of feed ionic strength on salt passage through reverse osmosis membranes. *Desalination, 184, 185e195*

Frenkel, V., & Mourato, D. (1998). Application of immersed microfiltration membranes for drinking water treatment. *In NSF international conference. Washington, DC.*

Frenkel, V., & Wilf, M. (2009). Using the flexibility of RO system configuration. *In World congress on desalination and water reuse, international desalination association, November 07e12, 2009. Dubai, UAE*

Frenkel, V. (2009). Reverse osmosis: How it began and where it is now. *Chennai, India: Water Today Magazine. May June 2009*

Guu, J. K., Chiu, C. H., & Young, J. K. (1997). Processing of soybean soaking water with a NF-RO membrane system and lactic acid fermentation of retained solutes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 45, 4096e4100.*

Hamid, N. A. A., Ismail, A. F., Matsuura, T., Zularisam, A. W., Lau, W. J., Yuliwati, E. (2011). Morphological and separation performance study of polysulfone/titanium dioxide (PSF/TiO2) ultrafiltration membranes for humic acid removal. *Desalination, 273, 85e92.*

Hong, J., & He, Y. (2014). Polyvinylidene fluoride ultrafiltration membrane blended with nanoZnO particle for photo-catalysis self-cleaning. *Desalination, 332, 67e75.*

J. Paul Chen, Honghui Mou, Lawrence K. Wang, Takeshi Matsuura (2006). Handbook of Environmental Engineering, Volume 4: *Advanced Physicochemical Treatment Processes*

Leo, C. P., Ahmad Kamil, N. H., Junaidi, M. U. M., Kamal, S. N. M., & Ahmad, A. L. (2013). The potential of SAPO-44 zeolite filler in fouling mitigation of polysulfone ultrafiltration membrane. *Separation and Purification Technology, 103, 84e91.*

Li, X., Pang, R., Li, J., Sun, X., Shen, J., Han, W., et al. (2013). In situ formation of Ag nanoparticles in PVDF ultrafiltration membrane to mitigate organic and bacterial fouling.
Desalination, 324, 48e56.

Li,N. , Fane,A. , Winston Ho,W. & Matsuura,T. (2008). Advanced Membrane Technology and Applications, Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons Inc.

Maaskant,W. , Tholen,J. & Mulder,M.H.V. (1996). Nederlandse membraangids. Razmjou, A., Arifin, E., Dong, G., Mansouri, J., & Chen, V. (2012).Superhydrophobic modification of TiO2 nanocomposite PVDF membranes for applications in membrane distillation. *Journal of Membrane Science, 415e416, 850e863.*

Razmjou, A., Mansouri, J., & Chen, V. (2011). The effects of mechanical and chemical modification of TiO2 nanoparticles on the surface chemistry, structure and fouling performance of PES ultrafiltration membranes. *Journal of Membrane Science, 378, 73e84.*

Razmjou, A., Resosudarmo, A., Holmes, R. L., Li, H., Mansouri, J., & Chen, V. (2012). The effect of modified TiO2 nanoparticles on the polyethersulfone ultrafiltration hollow fiber membranes. *Desalination, 287, 271e280.*

Yu, H., Zhang, X., Zhang, Y., Liu, J., & Zhang, H. (2013). Development of a hydrophilic PES ultrafiltration membrane containing SiO2@N-Halamine nanoparticles with both organic antifouling and antibacterial properties. *Desalination, 326, 69e76.*

Zhang, S., Wang, R., Zhang, S., Li, G., & Zhang, Y. (2014). Treatment of wastewater containing oil using phosphorylated silica nanotubes (PSNTs)/polyvinylidene fluoride (PVDF) composite membrane. *Desalination, 332, 109e116.*

Zhao, S., Wang, P., Wang, C., Sun, X., & Zhang, L. (2012). Thermostable PPESK/TiO2 nanocomposite ultrafiltration membrane for high temperature condensed water treatment. *Desalination, 299, 35e43.*

Xiang Zheng, Zhenxing Zhang, Dawei Yu. (2015). Resources, Conservation and Recycling 105 (2015) 1–10

Wu, H., Mansouri, J., & Chen, V. (2013). Silica nanoparticles as carriers of antifouling ligands for PVDF ultrafiltration membranes. *Journal of Membrane Science, 433, 135e151.*

Wen, J., Liu, B., (2013). China Statistical Yearbook on Environment 2012. Chinese
Statistical Press, Beijing, pp. 302.

URL-1 <http://www.aritim.com/su-aritma/endustrilere-ozel-cozumler/tekstil-sektoru>, erişim tarihi: 28.11.2016.

URL-2 http://biyokure.org/ultrafiltrasyonun-uygulama-alanlari/5808/

erişim tarihi: 29.11.2016.

URL-3< http://afatahuddin.blogspot.com.tr/>

erişim tarihi: 29.11.2016.

URL-4 <https://www.researchgate.net/figure/259578449_fig3_Fig-4-Schematic-of-the-hollow-fibre-capillary-and-tubular-membrane-modules-a>

erişim tarihi: 29.11.2016.

EKLER

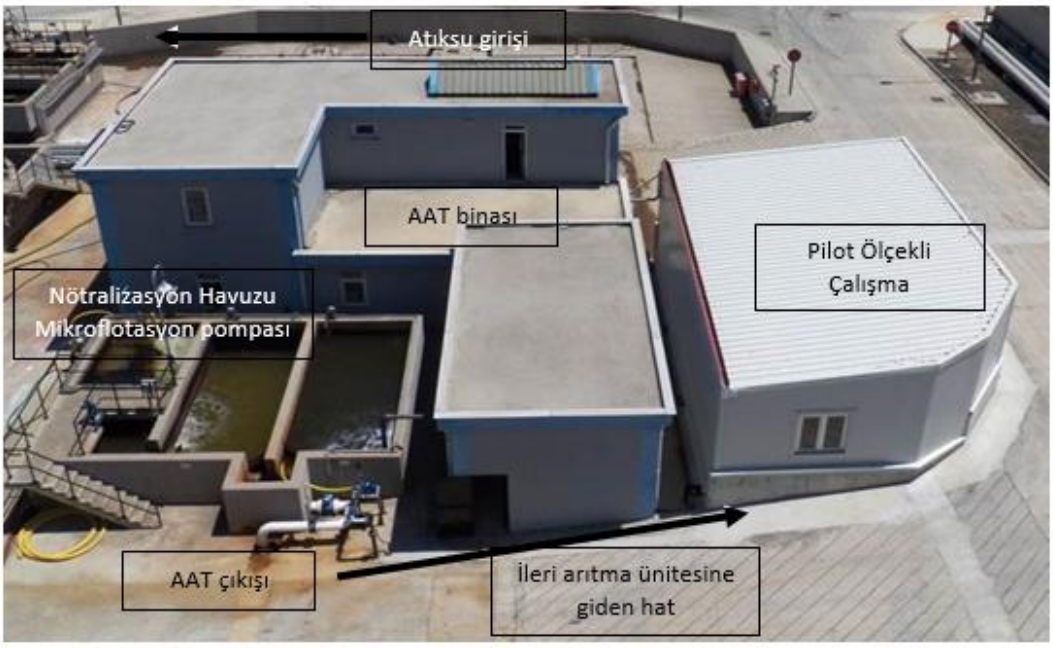
EK A: Mevcut arıtma tesisinin tabi olduğu yönetmelik (SKKY Tablo:11.2)

EK B: Arıtma tesisinin üstten görünüşü

EK C: Ters osmoz süzüntüsünün akredite laboratuvar sonuçları

EK A : SKKY Tablo 11.2

PARAMETRE	BİRİM	KOMPOZİT NUMUNE 2 SAATLİK	KOMPOZİT NUMUNE 24 SAATLİK
KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (KOİ)	(mg/L)	400	200
ASKIDA KATI MADDE (AKM)	(mg/L)	60	30
YAĞ VE GRES	(mg/L)	40	20
HİDROKARBONLAR	(mg/L)	6	8
FENOL	(mg/L)	2	1
TOPLAM SİYANÜR (CN^-)	(mg/L)	0.5	0.2
SÜLFÜR (S^{-2})	(mg/L)	2	1
pH		6-9	6-9



EK B : Arıtma tesisinin üstten görünüşü

EK C : Ters osmoz süzüntüsünün akredite laboratuvar sonuçları

Testler	Birim	Bulgu	Limit Değer	LD Kaynağı	U/UD	Metot	Bilgi
pH (25°C)	-	6.61	6.5 - 9.5	1	U	SM 4500-H⁺:B	1
Renk (Pt-Co)	Pt-Co	<3	Tüketicilerce kabul edilebilir ve herhangi bir anormal değişim olmamalı	1		SM 2120:B	
Bulanıklık	NTU	0.92	Tüketicilerce kabul edilebilir ve herhangi bir anormal değişim olmamalı	1		SM 2130:B	
Siyanür (Toplam)	µg/L	<30	Maks. 50	1	U	EPA 9010C - EPA 9014	2
Koku	-	Kokusuz	Tüketicilerce kabul edilebilir ve herhangi bir anormal değişim olmamalı	1		DEV B1/2	
İletkenlik (20°C)	µS/cm	59	Maks. 2 500	1	U	SM 2510:B	

Testler	Birim	Bulgu	Limit Değer	LD Kaynağı	U/UD	Metot
2,4' -DDD (o,p'-DDD)	µg/L	<0.05	Maks. 0.10	1	U	
2,4' -DDE (o,p'-DDE)	µg/L	<0.05	Maks. 0.10	1	U	
2,4' -DDT (o,p'-DDT)	µg/L	<0.05	Maks. 0.10	1	U	
λ-Cyhalothrin	µg/L	<0.05	Maks. 0.10	1	U	
Cis-chlordan	µg/L	<0.05	Maks. 0.10	1	U	
Trans-chlordan	µg/L	<0.05	Maks. 0.10	1	U	
Heptachlor	µg/L	<0.01	Maks. 0.03	1	U	
Cis-heptachlorepoxide	µg/L	<0.01	Maks. 0.03	1	U	
Metoxychlor	µg/L	<0.05	Maks. 0.10	1	U	
Cyfluthrin (I, II, III, IV)	µg/L	<0.05	Maks. 0.10	1	U	
Trifluralin	µg/L	<0.05	Maks. 0.10	1	U	
Endosulfan I	µg/L	<0.05	Maks. 0.10	1	U	
Endosulfan II	µg/L	<0.05	Maks. 0.10	1	U	
Endrin	µg/L	<0.05	Maks. 0.10	1	U	
Dieldrin	µg/L	<0.01	Maks. 0.03	1	U	
Mevinphos	µg/L	<0.05	Maks. 0.10	1	U	
Profenofos	µg/L	<0.05	Maks. 0.10	1	U	
Chlorpyrifos Methyl	µg/L	<0.05	Maks. 0.10	1	U	
Fenpropathrin	µg/L	<0.05	Maks. 0.10	1	U	
Cypermethrin (I, II, III, IV)	µg/L	<0.05	Maks. 0.10	1	U	
Dicofol	µg/L	<0.05	Maks. 0.10	1	U	
Azoxystrobin	µg/L	<0.05	Maks. 0.10	1	U	
delta BHC	µg/L	<0.05	Maks. 0.10	1	U	
Chlorobenzilate	µg/L	<0.05	Maks. 0.10	1	U	
Toplam Pestisidler	µg/L	<0.5	Maks. 0.50	1	U	

Testler	Birim	Bulgu	Limit Değer	LD Kaynağı	U/UD	Metot	Bilgi
Tat	-	Tatsız	Tüketicilerce kabul edilebilir ve herhangi bir anormal değişim olmamalı	1		DEV B1/2	
Toplam Organik Karbon	mg/L	1.82	Anormal değişim yok	1	U	EN 1484	3
Amonyum	mg/L	1.636	Maks. 0.5	1	UD	SM 4500-NH_3:B,C/F	4
Poly Aromatic Hydrocarbons						ISO 17993 (HPLC-DAD)	5
Benzo (b) fluoranthene	µg/L	<0.01	-	-	-		
Benzo (k) fluoranthene	µg/L	<0.01	-	-	-		
Benzo (g,h,i) perylene	µg/L	<0.01	-	-	-		
Indeno (1,2,3-c,d) pyrene	µg/L	<0.01	-	-	-		
Poly Aromatic Hydrocarbons (Toplam)	µg/L	<0.1	Maks. 0.1	1	U		
Kadmiyum	µg/L	<0.5	Maks. 5	1	U	ISO 17294-2 (ICP-MS)	6
Akrilamid	µg/L	<0.1	Maks. 0.1	1	U	EPA 8316 (HPLC-DAD)	
Aluminyum	µg/L	<10	Maks. 200	1	U	ISO 17294-2 (ICP-MS)	6
Antimon	µg/L	<4	Maks. 5	1	U	ISO 17294-2 (ICP-MS)	6
Arsenik	µg/L	<0.5	Maks. 10	1	U	ISO 17294-2 (ICP-MS)	6
Bor	mg/L	0.1	Maks. 1	1	U	ISO 17294-2 (ICP-MS)	6
Krom (Toplam)	µg/L	<1	Maks. 50	1	U	ISO 17294-2 (ICP-MS)	6
Bakır	mg/L	0.03	Maks. 2	1	U	ISO 17294-2 (ICP-MS)	6
Kurşun	µg/L	<0.5	Maks. 10	1	U	ISO 17294-2 (ICP-MS)	6
Civa	µg/L	<0.1	Maks. 1.0	1	U	ISO 17294-2 (ICP-MS)	6
Nikel	µg/L	<1	Maks. 20	1	U	ISO 17294-2 (ICP-MS)	6
Selenyum	µg/L	<1	Maks. 10	1	U	ISO 17294-2 (ICP-MS)	6
Demir	µg/L	72.5	Maks. 200	1	U	ISO 17294-2 (ICP-MS)	6
Sodyum	mg/L	13.7	Maks. 200	1	U	ISO 17294-2 (ICP-MS)	6
Pestisid						EPA 3510C / 8081B (GC-ECD)	
Mangan	µg/L	17.2	Maks. 50	1	U	ISO 17294-2 (ICP-MS)	6
Benzo (a) pyrene	µg/L	<0.01	Maks. 0.01	1	U	ISO 17993 (HPLC-DAD)	5
Florür	mg/L	<0.1	Maks. 1.5	1	U	SM 4110:B (IC)	
Sülfat	mg/L	0.86	Max. 250	1	U	SM 4110:B (IC)	
Klorür	mg/L	8.7	Maks. 250	1	U	SM 4110:B (IC)	
Nitrat	mg/L	<0.5	Maks. 50	1	U	SM 4110:B (IC)	7
Nitrit	mg/L	<0.05	Maks. 0.5	1	U	SM 4110:B (IC)	7
Bromat	µg/L	<3	Maks. 10	1	U	SM 4110 D (IC)	8, 9
Toplam bakteri sayısı (22°C)	kob/1mL	Tespit Edilemedi -		-	-	ISO 6222	10
Enterekok	kob/100mL	Tespit Edilemedi Ürememe li		1	U	SM 9230:C	10
Toplam koliform bakteri sayısı	kob/100mL	Tespit Edilemedi Ürememe li		1	U	SM 9222:B	10
Escherichia coli	kob/100mL	Tespit Edilemedi Ürememe li		1	U	SM 9222:G	10
Radyoaktivite						CSN 75 7611 - 7612 / SUJB 2012	11

Testler	Birim	Bulgu	Limit Değer	LD Kaynağı	U/UD	Metot	Bilgi
Toplam Alfa	Bq/L	0.07	-	-	-		
Toplam Beta	Bq/L	<0.10	-	-	-		
Toplam Gösterge Dozu	mSv/yıl	0.083	Maks. 0.1	1	U		
Trityum	Bq/L	<10	Maks. 100	1	U	CSN ISO 9698	11
Epikloridin	µg/L	<0.10	Maks. 0.10	1	U	CZ_SOP_D06_03_196	11
Vinil Klorür	µg/L	<0.10	Maks. 0.5	1	U	CZ_SOP_D06_03_155	11
1,2-dikloretan	µg/L	<0.750	Maks. 3.0	1	U	CZ_SOP_D06_03_155	11
Benzene	µg/L	<0.20	Maks. 1.0	1	U	CZ_SOP_D06_03_155	11
Tetrakloreten ve trikloreten	µg/L	<0.30	Maks. 10	1	UC	Z_SOP_D06_03_155	11
Trihalomethanes						CZ_SOP_D06_03_155	11
Chloroform	µg/L	<0.10	-	-	-		
Bromoform	µg/L	<0.20	-	-	-		
Dibromochloromethan	µg/L	<0.10	-	-	-		
Bromodichloromethan	µg/L	<0.10	-	-	-		
Trihalomethanes (Toplam)	µg/L	<0.50	Maks. 100	1	U		

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Ersin Özmen

Doğum Tarihi ve Yeri : 09.10.1990 / İstanbul

E-posta : ersinozmen@yandex.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2014, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği
- **Yükseklisans** : 2016, İstanbul Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği, Çevre Bilimleri ve Mühendisliği