

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MDF PROSES ATIKSULARINDAN SU VE
LİF GERİ KAZANIMI İÇİN MEMBRAN
PROSESİN GELİŞTİRİLMESİ

YİĞİT GÜNGÖR
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE

2014

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MDF PROSES ATIKSULARINDAN SU VE
LİF GERİ KAZANIMI İÇİN MEMBRAN
PROSESİN GELİŞTİRİLMESİ

YİĞİT GÜNGÖR
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
PROF. DR. BÜLENT KESKİNLER

GEBZE

2014



**GEBZE YÜKSEK
TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 23/06/2014 tarih ve 2014/37 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 17/07/2014 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Yiğit GÜNGÖR'ün tez çalışması Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Prof. Dr. Bülent KESKİNLER

ÜYE

: Prof. Dr. Ahmet KARAGÜNGÜZ

ÜYE

: Prof. Dr. Aziz TANRISEVEN

ONAY

GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

MDF (Medium Density Fiberboard) üretimi çeşitli üretim basamakları içeren ve üretim esnasında oldukça fazla su tüketimine ihtiyaç gösteren bir endüstri dalıdır. Suyun önemli bir kısmı reçine yapımı, soğutma kulelerinde, yonganın liflendirilmesi için buhar üretimi ve kullanma suyu ihtiyaçlarında kullanılmaktadır. Atıksular da ünite temizlik suları ve özellikle MDF üretimi sırasında refiner bölümünden gelen sulardır. Refiner atıksuları yüksek KOİ (kimyasal oksijen ihtiyacı) değerine sahip olup, önemli miktarda süspanse katı içerir. Söz konusu atığın organik içeriği selüloz, lignin, tanin ve hemiselülozdan oluşmaktadır.

MDF üretiminde Refiner Ünitesinden kaynaklanan bu atıksular KOİ değeri 16000 mg/l ve AKM (askıda katı madde) miktarı 7000 mg/l civarındadır. Bu atıksuların içermiş olduğu tanin vb. organik maddelerin konvansiyonel arıtma tesisinde bakteriler üzerinde toksik etki yaptığı bilinmekte ve önemli ammonifikasyon problemlerinden dolayı mevcut arıtma tesisinin performansı olumsuz etkilenmektedir. Bu olumsuzluklar sürdürülebilir bir MDF üretimini sınırlandırmaktadır.

Bu tez çalışması, refiner atıksuların konvansiyonel arıtma tesislerinde arıtılması yerine membran teknolojisi kullanılarak su ve lif (hammadde) geri kazanım prosesi geliştirilmesidir.

Anahtar Kelimeler: MDF (Medium Density Fiberboard), Membran, Su ve Hammadde Geri Kazanımı.

SUMMARY

The production of MDF (Medium Density Fiberboard) is an industrial area which contains different production steps and needs excess consumption of water. The most of the water is used in production of resin, cooling tower, production of steam for refining chips. Wastewater is coming from the Refiner Unit during the production of MDF and cleaning operations. Refiner wastewater contains high COD (Chemical Oxygen Demand) and suspended solids value. The organic content of the wastewater are cellulose, lignin, tannin and hemicelluloses.

The wastewater from refiner unit has got the 16.000 mg/l COD and 7.000 mg/l suspended solids value approximately. It is known that the organic content such as tannin has the toxic effect on bacteria in conventional wastewater treatment plant and negative effect in treatment capacity of wastewater treatment units because of the ammonification problems. The negativity is to limit the sustainability of MDF production.

The target is to develop a project of recycling of water and fiber by using the membrane technology instead of treating the wastewater in conventional treatment plants in this thesis.

Key Words: MDF (Medium Density Fiberboard), Membrane, Recycling Water and Fiber.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin hazırlanmasında büyük emeği geçen ve bu süre zarfında her türlü kolaylığı sağlayan, bana yol gösteren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Bülent KESKİNER'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans tez çalışmamın sanayi uygulaması aşamasında maddi ve manevi her türlü desteği veren KEAS (Kastamonu Entegre Ağaç Sanayi ve Ticaret A.Ş.) Gebze Fabrikaları Direktörü Sn. Ertuğrul ÇAŞUR'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Tez Konusunun Literatürdeki Yeri	1
1.2. Amaç ve Kapsam	3
1.3. Tez Çalışmasında Uygulanacak Yöntem ve Uygulamalar	4
2. LAB ÖLÇEKLİ ÇALIŞMALAR	10
2.1. Refiner Atıksularının Karakterizasyonu	10
2.2. Lab Ölçekli Membran Filtrasyon Çalışmaları	11
2.2.1. Deney Faktörleri ve Seviyeleri	12
2.2.2. NF Membranların Deneysel Sonuçları	13
2.2.3. Sonuçların Akı ve KOİ Esas Alınarak Değerlendirmesi	17
2.2.4. NF 200 ve NF 270 Membranlarının Genel Değerlendirilmesi ve Pilot Membran Sistemi için Membran Seçimi	37
3. PİLOT ÖLÇEK SİSTEMİ ÇALIŞMALARI ve EKONOMİK ANALİZ	39
3.1. pH Etkisi	42
3.2. Giderim Verimi Açısından Değerlendirme	43
3.3. Sıcaklık Etkisi	43
3.4. Basınç Etkisi	45
3.5. Geri Kazanım ve Membran Kirlenmesi	45
3.6. Ekonomik Analiz	46
4. DEĞERLENDİRME	48
KAYNAKLAR	49
ÖZGEÇMİŞ	50

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Açıklamalar

Kısaltmalar

AFM	: Atomic Force Microscopy
AKM	: Askıda Katı Madde (mg/L)
ANOVA	: Analysis of Variance
KEAS	: Kastamonu Entegre Ağaç Sanayi ve Ticaret A.Ş.
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
MDF	: Medium Density Fiberboard (Orta Yoğunluklu Levha)
MWCO	: Moleküler Ağırlık Engelleme Sınırı
MgSO ₄	: Magnezyum Sülfat
NaCl	: Sodyum Klorür
NF	: Nanofiltrasyon
SEM	: Scanning Electron Microscopy
TDS	: Total Dissolved Solids (Toplam Çözünmüş Katı)

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
1.1: Labaratuar ölçekli membran filtrasyon sistemi.	5
1.2: Refiner ünitesi.	8
1.3: Refiner atık sularının arıtımını ve geri kazanımını da içine alan akım şeması.	9
2.1: Membran deney çıkış renk durumları.	18
2.2: 1. nolu deney membran akı karşılaştırma grafiği.	18
2.3: 2. nolu deney membran akı karşılaştırma grafiği.	19
2.4: 3. nolu deney membran akı karşılaştırma grafiği.	19
2.5: 4. nolu deney membran akı karşılaştırma grafiği.	20
2.6: 5. nolu deney membran akı karşılaştırma grafiği.	20
2.7: 6. nolu deney membran akı karşılaştırma grafiği.	21
2.8: 7. nolu deney membran akı karşılaştırma grafiği.	21
2.9: 8. nolu deney membran akı karşılaştırma grafiği.	22
2.10: 9. nolu deney membran akı karşılaştırma grafiği.	22
2.11: NF 270 temiz membran AFM görüntüsü.	24
2.12: NF 270 1. nolu deney membran AFM görüntüsü.	24
2.13: NF 270 2. nolu deney membran AFM görüntüsü.	25
2.14: NF 270 3. nolu deney membran AFM görüntüsü.	25
2.15: NF 270 4. nolu deney membran AFM görüntüsü.	26
2.16: NF 270 5. nolu deney membran AFM görüntüsü.	26
2.17: NF 270 6. nolu deney membran AFM görüntüsü.	27
2.18: NF 270 7. nolu deney membran AFM görüntüsü.	27
2.19: NF 270 8. nolu deney membran AFM görüntüsü.	28
2.20: NF 270 9. nolu deney membran AFM görüntüsü.	28
2.21: NF 200 temiz membran AFM görüntüsü.	29
2.22: NF 200 1. nolu deney membran AFM görüntüsü.	29
2.23: NF 200 2. nolu deney membran AFM görüntüsü.	30
2.24: NF 200 3. nolu deney membran AFM görüntüsü.	30
2.25: NF 200 4. nolu deney membran AFM görüntüsü.	31
2.26: NF 200 5. nolu deney membran AFM görüntüsü.	31

2.27:	NF 200 6. nolu deney membran AFM görüntüsü.	32
2.28:	NF 200 7. nolu deney membran AFM görüntüsü.	32
2.29:	NF 200 8. nolu deney membran AFM görüntüsü.	33
2.30:	NF 200 9. nolu deney membran AFM görüntüsü.	33
2.31:	NF 200 taguchi ana etkiler grafiği - J (akı).	34
2.32:	NF 200 taguchi ana etkiler grafiği – KOİ.	34
2.33:	NF 270 taguchi ana etkiler grafiği - J (akı).	35
2.34:	NF 270 taguchi ana etkiler grafiği – KOİ.	36
2.35:	Pilot tesise ait diyagram.	38
3.1:	Pilot tesis, genel görünüş.	39
3.2:	Pilot tesis, ön filtrasyon.	39
3.3:	Pilot tesis, temiz su tankı.	40
3.4:	Dekantör, genel görünüş.	41
3.5:	Dekantör, katı madde.	41
3.6:	Sıcaklığın akı üzerine etkisi.	44
3.7:	Sıcaklığın iletkenlik giderim oranı üzerindeki etkisi.	44
3.8:	Sıcaklığın KOİ giderim oranı üzerindeki etkisi.	45
3.9:	Kimyasal yıkama akı sonuçları.	48

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
1.1: L27 taguchi deneysel tasarım tablosu.	5
1.2: Deneysel tasarımdaki giriş değişkenleri ve seviyeleri.	6
2.1: Refiner atıksuyu karakterizasyonu.	10
2.2: Analizler ve yöntemler.	11
2.3: Kullanılan membranların ticari adları ve tipleri.	12
2.4: Taguchi deneysel tasarım giriş değişkenleri ve değişken seviyeleri.	13
2.5: Taguchi deneysel tasarım deneme şartları.	13
2.6: NF 270 membran çıkış analiz sonuçları.	14
2.7: NF 200 membran çıkış analiz sonuçları.	15
2.8: NF 010 membran çıkış analiz sonuçları.	16
2.9: NF 270 membranları denge temas ölçümleri.	23
2.10: NF 200 membranları denge temas ölçümleri.	23
2.11: NF 200 regrasyon katsayıları.	35
2.12: NF 270 regrasyon katsayıları.	36
2.13: Yüzey cevap optimizasyon sonucu.	37
3.1: Analiz sonuçları (asidik şartlarda, 20 bar, 40 °C, 3 L/(m ² /h)).	42
3.2: Analiz sonuçları (nötral pH şartlarda, 20 bar, 40 °C, 5 L/(m ² /h)).	42
3.3: Ekonomik analiz.	47

1. GİRİŞ

1.1. Tez Konusunun Literatürdeki Yeri

Son yıllarda suyun geri kazanımı ve tekrar kullanılabilirliği ile ilgili çeşitli stratejiler sırasıyla;

- Denizler, yüzeysel sular, yeraltı suları gibi kirlenmiş su kaynaklarının arıtılarak temizlenmesi ve iyileştirilmesi
- Proses çıkış sularının arıtılarak geri kazanımı ve diğer bir proseste yeniden kullanımı
- Ayırma tekniklerinin proseslere uyarlanarak atık oluşumu veya enerji kullanımının azaltılması

Membran teknolojisi, bu stratejilerden arıtım teknolojisi ve ayırma prosesinin bir parçası olarak uygulanmaya başlanmıştır. Membran iki fazı birbirinden ayıran seçici bir bariyerdir. Membranların filtrasyondan farkı partikülleri moleküler boyutlarına göre ayırma özelliğidir ve farklı sürücü kuvvetlerin kullanılmasıdır. Filtrasyonda sürücü kuvvet filtre boyunca oluşan basınç farklılığı iken, membranlarda basınca ek olarak sürücü kuvvet olarak konsantrasyon, elektriksel potansiyel ve sıcaklık gradyanları da etkilidir [Mulder, 1996].

Bir membranın ayırma özelliği nominal gözenek çapı veya moleküler ağırlık engelleme sınırı (MWCO) bazında belirlenir. Mikrofiltrasyon membranlar gözenek çapları ile sınıflandırılır (Örneğin: 0.01 veya 0.1 μm gibi). Ultrafiltrasyon membranları moleküler ağırlık engelleme sınırı ile sınıflandırılır (10000 veya 100000 MWCO gibi). Nanofiltrasyon membranlar genellikle % NaCl (Sodyum Klorür) veya MgSO_4 (Magnezyum Sülfat) giderme verimi ile sınıflandırılır. Ayrıca moleküler ağırlık engelleme sınırı da kullanılmaktadır. Ters osmoz membranlar sodyum, klorür, kalsiyum ve sülfat gibi iyon boyutundaki maddeleri giderebilmektedir. Ters osmoz membranları genellikle %NaCl giderme verimi ile sınıflandırılır. Elektrodializ, pervaporasyon ve membran distilasyonu gibi diğer membran prosesler mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon ve ters osmozdaki basınca karşılık sürücü kuvvet

olarak sırasıyla elektriksel potansiyel, konsantrasyon veya sıcaklık gradyanını kullanmaktadırlar.

Ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon ve ters osmoz tam ölçekli arıtma ve su ve kimyasalların geri kazanımı için uygulanmaktadır. Membran seçimi uygun yapıldığı takdirde ön arıtma olarak filtrasyon uygulanması ve düzenli temizleme işlemleri ile membranın tıkanma riski azalmaktadır.

Mikrofiltrasyon, 0.1–2 mikron arası partiküllerin arıtılmasında kullanılmaktadır. Bu yöntemle askıda katı maddeler, büyük kolloidler giderilirken, çözünmüş maddeler giderilemez. Uygulamada karşılaşılan en büyük sorun yüksek yenileme maliyetine sebep olacak şekilde hızlı tıkanma ve dolayısıyla zamanla akıda meydana gelen azalmadır. Çözelti içerisinde bulunan kolloidler zamanla gözenek içinde ve membran yüzeyinde birikerek konsantrasyon polarizasyonuna ve tıkanmaya neden olmaktadır. Mikrofiltrasyon membranlar, ultrafiltrasyon ve ters osmoza göre daha düşük basınçta (2–4 bar) işletilmektedir. Geniş bir pH aralığında (1–13) ve yüksek sıcaklıktaki çözeltiler ile çalışmaya uygun olup, oksidantlara karşı da dirençlidirler. Tıkanma ve konsantrasyon polarizasyonunu önlemek için membrandaki akış modu incelenmeli, uygun akış modu belirlenmeli ve membran modülü düzenli aralıklarla temizlenmelidir.

Ultrafiltrasyon, yüksek molekül ağırlığına sahip çözünmüş maddeleri, kolloidleri, mikroorganizmaları ve askıda katı maddeleri çözeltilerden ayırma özelliğine sahip olup, düşük basınçta çalışan bir membran ayırma prosesidir. 20-1000 Angstrom (A0) boyutundaki partiküllerin ayrılmasını sağlamaktadır. Suda bulunan çözünmüş tuzlar bu yöntemle arıtılamamaktadır. Mikrofiltrasyona göre virüs ve patojenleri daha yüksek oranda giderebilmektedir. Ultrafiltrasyon membranlar Giardia, Cryptosporidium ve diğer mikroorganizmaların gideriminde etkili olmaktadır. Yüzeysel suların ve atıksuların arıtımında kullanılabildiği gibi, ters osmozdan önce bir ön arıtma ünitesi olarak da kullanılabilmektedir. İçme suyu uygulamalarında, yeraltı suyu arıtımı ve geri kazanımında ön arıtma ünitesi olarak kullanılmaktadır. Tuzluluk giderimi, atıksu ve endüstriyel amaçlı su arıtımında ters osmoz ve nanofiltrasyon öncesi ön arıtma prosesi olarak yer almaktadır. Ultrafiltrasyon klasik filtrasyondaki dik akışın tersine sıvının membran yüzeyinden çapraz akışla geçmesiyle işletilmektedir. Bu çapraz akış membran yüzeyinde filtre keki oluşumuna engel olarak, filtrasyon veriminde herhangi bir değişiklik oluşturmamaktadır.

Nanofiltrasyon, gözenek boyut dağılımı bakımından ultrafiltrasyon ile ters osmoz arasında bulunmaktadır. Az geçirgen olan membran tabakasının göstermiş olduğu dirençten dolayı mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyondan daha yüksek fakat ters osmozdan düşük basınçla çalışmaktadır. Nanofiltrasyon membranları ters osmozdan farklı olarak daha büyük gözenek boyutlarına sahiptir. Bu tip membranlarda Na^+ ve Cl^- gibi tek değerlikli iyonların tutulma oranları oldukça düşüktür. Nanofiltrasyon, mikrokirletici gideriminde, atıksu arıtımında, su yumuşatma işlemlerinde, tekstil endüstrileri atıksularının ve kuyu sularının arıtılmasında kullanılmaktadır

Ters osmoz, sistemlerde yarı geçirgen membran kullanılmaktadır. Suyun membrandan süzölebilen kısmı büyük ölçüde saflaştırılırken, diğer taraftaki konsantre hale gelmiş safsızlıklar ayrılmaktadır. Ters osmoz sistemlerde genel olarak yatay akışlı filtrasyon prensibi kullanılmakta ve yatay akışın membran yüzeyinde sürekli bir temizleme etkisi bulunmaktadır. Sıvının bir kısmı basınç yardımıyla membranın süzöntü hattına geçerken, diğer kısım membran yüzeyine paralel akışla atık hattına doğru hareket etmektedir. Ters osmoz prosesinde sıvının membranın diğer tarafına geçirilebilmesi için bir sürücü kuvvete ihtiyaç duyulmaktadır. Gereken sürücü kuvvet ise basınç ile elde edilmektedir. Membranın üzerinde kalan çözeltinin konsantrasyonu arttıkça, çözeltinin membranın diğer tarafına geçirilebilmesi için gereken sürücü kuvvette artmaktadır.

1.2. Amaç ve Kapsam

Bilindiği gibi MDF üretimi basit ancak büyük üretim basamakları içeren ve üretim esnasında oldukça fazla su tüketimine ihtiyaç gösteren bir endüstri dalıdır. Suyun önemli bir kısmı reçine yapımı, odun çiplerinin yıkanması, buhar üretimi ve refining işlemlerinde kullanılmaktadır. Bu işlemler sonucunda elde edilen atık su yüksek KOİ değerine sahip olup, önemli miktarda süspanse katı içerir. Söz konusu atığın organik içeriği selüloz, lignin, tanin ve hemiselülozdan oluşmaktadır [Pokhrel and Viraraghavan, 2004].

MDF üretiminde refining işleminde tesisimizde 80 ton/gün su kullanılmakta ve bu suyun KOİ değeri 16000 mg/l ve askıda katı madde miktarı 7000 mg/l civarındadır. Tesisimizde günlük su tüketimi 1200-1300 m³/gün olup oluşan toplam atık su debisi 400 m³/gün dür. Arıtmaya alınan bu atık suyun yaklaşık ¼ lük kısmı

refining atık sularından kaynaklanmaktadır. Özellikle refining atık sularının içermiş olduğu tanin vb. organik maddelerin arıtma tesisinde bakteriler üzerinde toksik etki yaptığı bilinmekte ve önemli aminifikasyon problemlerinden dolayı mevcut arıtma tesisinin performansı olumsuz etkilenmektedir. Bu olumsuzluklar sürdürülebilir bir MDF üretimini sınırlandırmakta ve üretim kalitesi yanında çevresel duyarlılığa sahip firmamızı alternatif çözümler aramaya zorlamaktadır [Leiviska and Ramö, 2008].

Günümüzde dünyadaki tüm MDF üretim tesislerinde söz konusu suların ve içerdikleri hammaddelerin geri kazanımı ve yeniden üretim sürecinde kullanım çalışmaları gerek Ar-Ge ve gerekse uygulama düzeyinde yapılmaktadır. Sonuç olarak dünyadaki tüm MDF üreticileri düşük riskli, düşük yatırım ve izleme maliyetli hammadde geri kazanımı ve suyun yeniden kullanılmasını sağlayacak teknoloji arayışlarını sürdürmektedir.

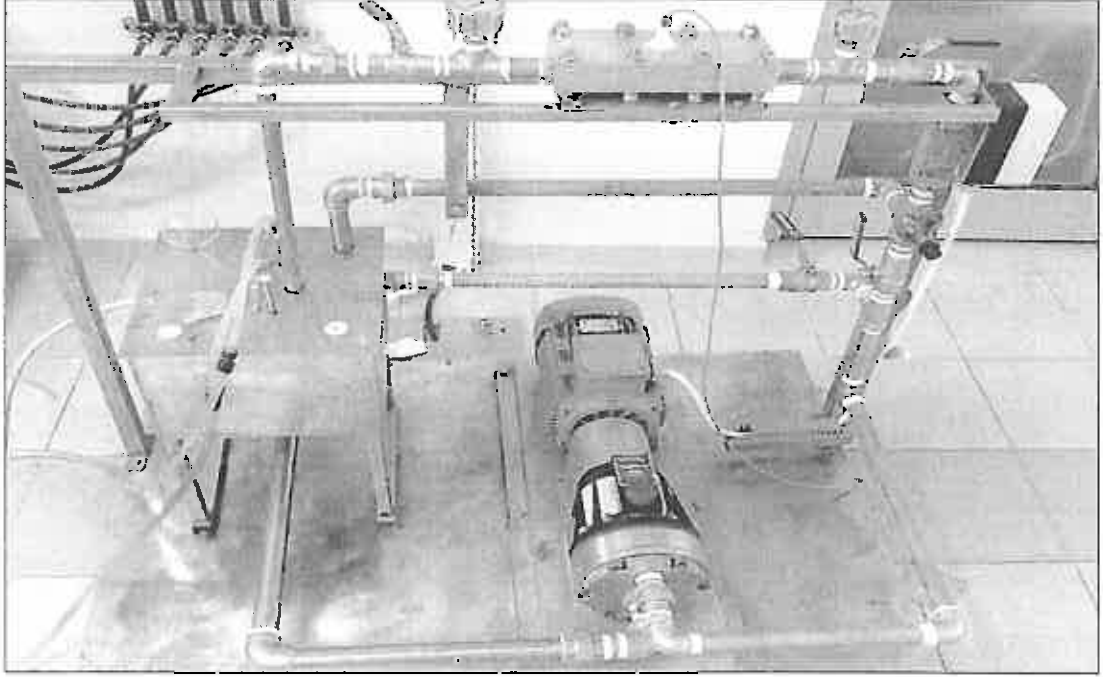
Önerilen tez çalışmasının amacı, konvansiyonel arıtma teknolojileriyle arıtımı ve hammadde geri kazanımı mümkün olmayan ve klasik arıtma sistemlerine verilmesi durumunda mevcut sistemin verimliliğini olumsuz yönde etkileyen MDF proses atık sularından membran teknolojisi yardımıyla su ve hammadde (lif) geri kazanımıdır. Söz konusu tezde MDF proses atık sularının nanofiltrasyon boyutunda membran teknolojisi kullanılarak su ve hammadde geri kazanımı amaçlanmaktadır. Tez kapsamında pilot ölçekli sistem kurulacak ve işletilecektir. Aynı zamanda elde edilen sonuçların mevcut sisteme göre ekonomik analizlerinin yapılarak uygulama için gerçek verilerin elde edilmesi planlanmıştır. Önerilen geri kazanım prosesinde bir atık çıktısı söz konusu olmayıp sıfır deşarj kriterlerine göre çalıştırılması düşünülmüş ve membran filtrasyon konsantre akımının sisteme geri beslenerek hammadde geri kazanımı amaçlanmıştır [Web 1, 2012].

1.3. Tez Çalışmasında Uygulanacak Yöntem ve Uygulamalar

• Lab Ölçekli Çalışmalar

Lab ölçekli çalışmalar KEAS Gebze yerleşkesinde bulunan Ar-Ge laboratuvarlarında ve GYTE Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Laboratuvarlarında yapılacaktır. Tüm membran çalışmaları proje danışmanı Prof. Dr. Bülent Keskinler tarafından takip edilecektir. Laboratuvar çalışmaları öncelikle maksimum akı ve maksimum hammadde rejeksiyonu sağlayacak ve aynı zamanda

minimum kirlenme gösterecek membranların seçimine yönelik olacaktır. Söz konusu membran testlerinin yapılması için şekil 1 de gösterilen ve KEAS'da bulunan test düzeneği kullanılacaktır.



Şekil 1.1: Laboratuvar ölçekli membran filtrasyon sistemi.

Laboratuvar ölçekli çalışmalarda kullanılacak yöntemler ve uygulanacak prosedür aşağıda detaylı olarak verilmiştir.

Lab ölçekli çalışmalarda zaman ve maliyeti düşürmek amacıyla Taguchi deneysel tasarım yaklaşımıyla planlanmıştır.

Tablo 1.1: L27 taguchi deneysel tasarım tablosu.

Deney No	Giriş Değişkenleri				Sonuçlar	
	A	B	C	D	J* (m ³ /m ² .s)	R (%)
1	1	1	1	1		
2	1	1	1	1		
3	1	1	1	1		
4	1	2	2	2		
5	1	2	2	2		
6	1	2	2	2		
7	1	3	3	3		
8	1	3	3	3		

Tablo 1.1: Devam.

9	1	3	3	3		
10	2	1	2	3		
11	2	1	2	3		
12	2	1	2	3		
13	2	2	3	1		
14	2	2	3	1		
15	2	2	3	1		
16	2	3	1	2		
17	2	3	1	2		
18	2	3	1	2		
19	3	1	3	2		
20	3	1	3	2		
21	3	1	3	2		
22	3	2	1	3		
23	3	2	1	3		
24	3	2	1	3		
25	3	3	2	1		
26	3	3	2	1		

Bu yöntem üründe ve proseste değişkenliği oluşturan ve kontrol edilemeyen faktörlere karşı kontrol edilebilen faktörlerin seviyelerinin en uygun kombinasyonunu seçerek, ürün ve prosesteki değişkenliği en aza indirmeye çalışan bir deneysel tasarım yöntemidir. Bu yöntem ürünlerin kalitesinin iyileşmesinde etkili olmasının yanında kalite geliştirmede çok daha az deneme ile daha iyi sonuç alma imkanı vermektedir. Bu amaçla çalışmada seçilen kontrol edilebilir faktörler membran tipi (üç adet), crossflow hızı (0,5-5 m/s), trans membran basıncı (500-2000 kPa) ve sıcaklık (20-70 C) olmaktadır. Ölçülecek cevap fonksiyonları akı ve rejeksiyon ölçümleri olarak belirlenmiştir, ayrıca bu çalışmada membran kirlenmesi test edilecektir. Membran tipleri olarak NF membranları seçilmiştir [Mika et al., 2004].

Tablo 1.2: Deneysel tasarımdaki giriş değişkenleri ve seviyeleri.

Giriş Değişkenleri			Giriş Değişkenleri Seviyeleri		
Kod	Adı	Birim	1	2	3
A	Membran Tipi	-	NF1	NF2	NF3
B	Sıcaklık	⁰ C	20	45	70
C	Basıncı	bar	5	15	25
D	Akış hızı	m/s	0.5	2.5	5.0

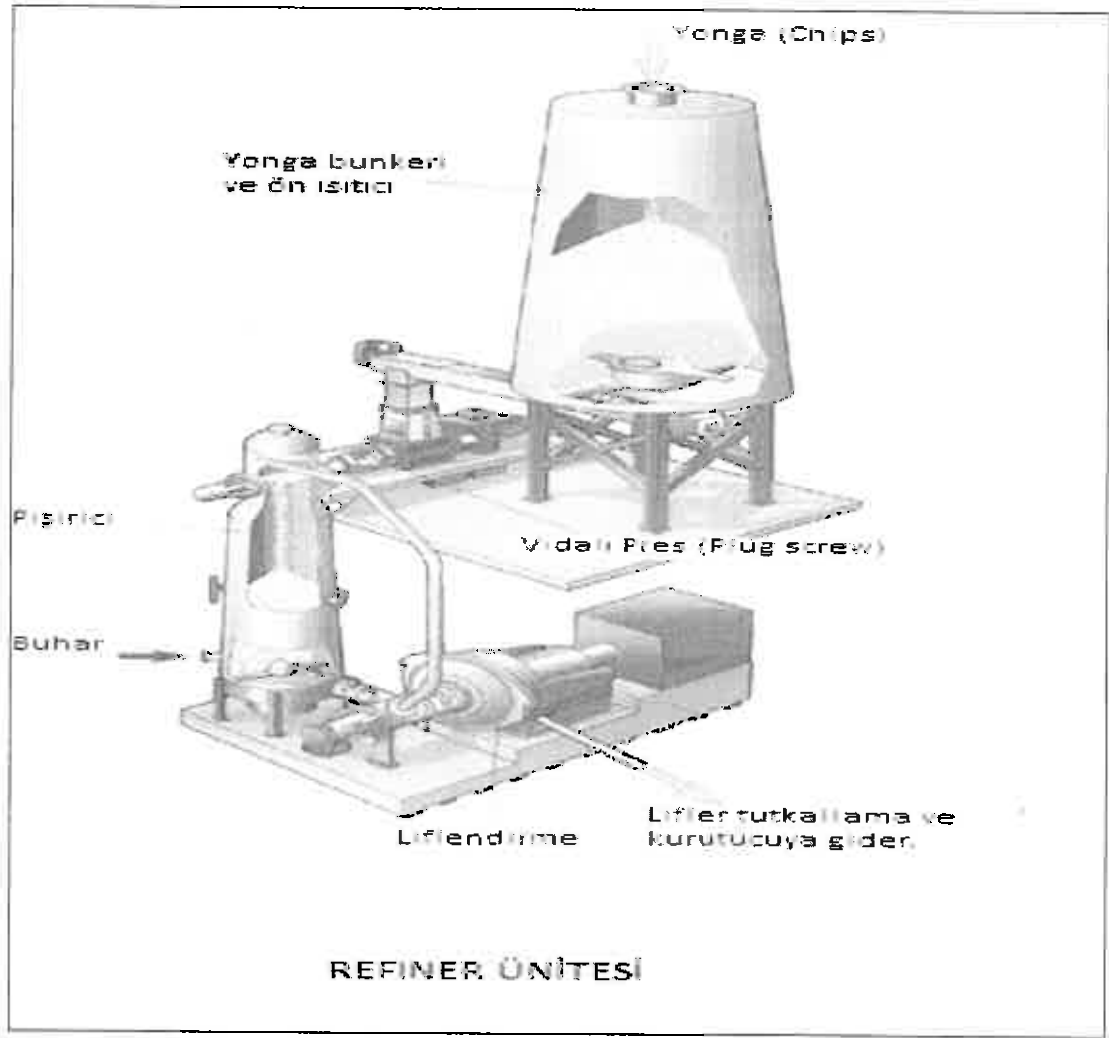
Atık su karakterizasyonu ve ön filtrasyonu; Refiner atık suları KEAS Gebze tesislerinde bulunan ölçüm cihazları ile pH, iletkenlik, TDS (Total Dissolved Solids), sülfat, nitrat, nitrit, amonyum azotu, bakır, demir, toplam azot, KOİ, AKM, klorür, alkalite, toplam sertlik, silisyum, sülfat, fosfat, formaldehit analizler yapılacaktır.

Çıkış suyu analizleri; Filtrasyon çalışmalarında, akı ve rejeksiyon ölçümleri en uygun membran seçimi açısından önemlidir. Çalışmada akı ölçümleri sürekli olarak bilgisayara bağlı bir terazi yardımıyla gerçekleştirilecek ve gerek zamana göre akı değişimleri ve gerekse kararlı hal akı değerleri ölçülecektir. Rejeksiyon ölçümü için sisteme giriş ve çıkış çözeltisinden alınan örneklerde çıkış suyunun kazan besisi suyu veya soğutma suyu olarak kullanılması planlandığından özellikle çıkış suyunda, AKM, pH, iletkenlik, sertlik, alkalinite, sülfat, nitrit, nitrat, silis, sülfat, fosfat, klorür, demir, bakır vb. ölçümler yapılacaktır.

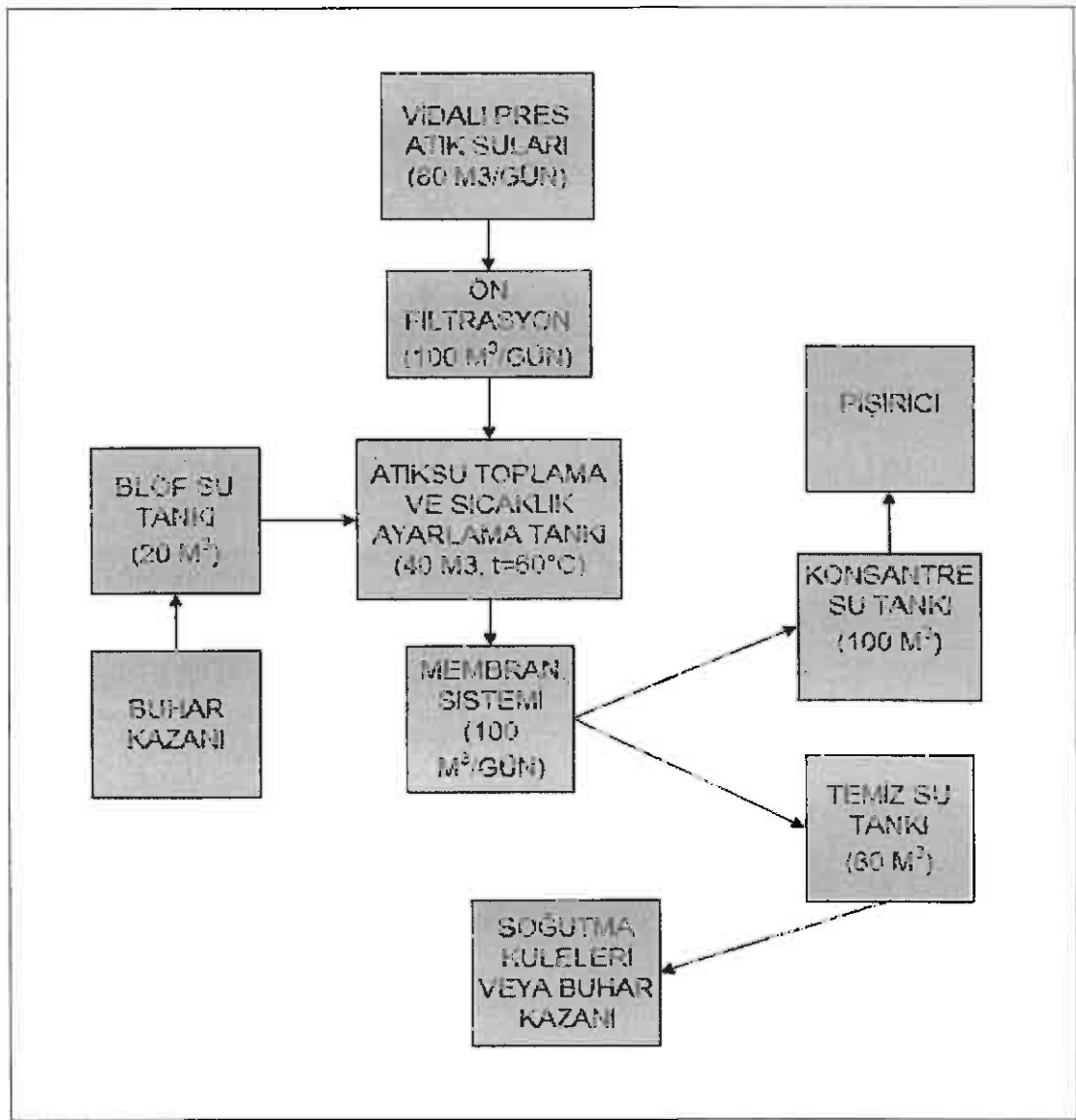
Membran karakterizasyonu, temiz ve kirli membranların hidrofobisitesi temas ölçümleri ile gerçekleştirilecektir. Ayrıca kirli ve temiz membranların AFM ölçümleri SEM ölçümleri ile birlikte değerlendirilecektir. Temas açısı, AFM ve SEM ölçümleri GYTE'de gerçekleştirilecektir.

• Pilot Ölçekli Çalışmalar

Pilot ölçekli çalışmalar laboratuvar ölçekli çalışmaların değerlendirilmesinden sonra gerçekleştirilecektir. Bu amaçla kurulacak pilot sistem Gebze yerleşkesinde bulunan tesisimizde kurulup devreye alınacaktır. Yaklaşık 2 m³/gün kapasiteli pilot tesis uzun süreli çalıştırılacaktır. Özellikle bu ölçekteki akı azalmaları ve basınç kayıpları dikkate alınarak geri yıkama ve kimyasal temizleme periyotları belirlenecektir. Refiner ünitesi ile ilgili proses akım şeması proje ekinde bulunan Şekil 1.2'de gösterilmiştir. Pilot tesisin kuruluşunda esas alınan arıtım ve geri kazanım proses akım şeması da yine proje ekinde bulunan Şekil 1.3'de gösterilmiştir.



Şekil 1.2: Refiner ünitesi.



Şekil 1.3: Refiner atık sularının arıtmını ve geri kazanımını da içine alan proses akım şeması.

- Ekonomik Analiz

Uzun süreli pilot tesisin işletilmesi ile elde edilen veriler ışığında su geri kazanım oranı, yıllık hammadde kazancı, geri yıkama ve kimyasal temizleme periyotları, yaklaşık membran ömrü belirlenecek, kurulması planlanan tesisin yatırım ve işletme maliyetleri tespit edilecektir. Ayrıca arıtmaya verilmeyecek olan bu refiner atık sularının arıtma tesisinde meydana getireceği ekonomik iyileştirmeleri dikkate alarak kurulması planlanan tesisin net ekonomik analizi ve bu tesisin yapılması durumunda net kazanç tespit edilecektir. Söz konusu iş paketinin başarısı lab ve pilot ölçekli çalışmaların doğru ve sağlıklı bir şekilde analizine dayanmaktadır.

2. LAB ÖLÇEKLİ ÇALIŞMALAR

2.1. Refiner Atıksularının Karakterizasyonu

Laboratuvar çalışmalarına başlamadan önce su ve lif geri kazanımı için düşünülen refiner atıksularının karakterizasyonu Kastamonu Entegre A.Ş. laboratuvarlarında yapılmış, 8 kez farklı zamanlarda tekrar edilmiş ve bu raporlar değerlendirilerek söz konusu atıksuyun karakterizasyonu Tablo 2.1’de sunulmuştur. Her ne kadar bu sular karakterize edilsede laboratuvar ölçekli çalışmalarda her çalışmanın başlangıcında sisteme giriş yapan refiner atıksular tüm parametreler açısından analizlenmiştir. Laboratuvar çalışmalarında elde edilen bu değerler karşılaştırılmıştır. Bütün laboratuvar çalışmaları sürecinde refiner atıksuları için yapılan analizlerin adları ve söz konusu parametrelerinin ölçümünde kullanılan yöntemler Tablo 2.2 de belirtilmiştir.

Tablo 2.1: Refiner atıksuyu karakterizasyonu.

Analiz Edilen Parametreler	Birim	Analiz Sonucu
pH		4,65 - 5,80
İletkenlik	µs/cm	727 - 1482
Bulanıklık	NTU	9100 - 9500
Sülfat	mg/L	50 - 113
Nitrat	mg/L	0 – 1,5
Nitrit	mg/L	0 - 1
Amonyum Azotu	mg/L	0,5 – 0,7
Bakır	mg/L	0 - 0,04
Demir	mg/L	0,83 – 2,50
Toplam Azot	mg/L	59 - 429
KOİ	mg/L	8690 - 16930
AKM	mg/L	900 - 3580
TKM	mg/L	5500 - 6500
Klorür	mg/L	21 - 150
Alkalinite	mg/L	235 - 250
Toplam Sertlik	mg/L	394 - 486
Silisyum	mg/L	10 - 12
Sülfat	mg/L	0 - 0,74
Fosfat	mg/L	77 - 113

Tablo 2.2: Analizler ve yöntemler.

Analiz Edilen Parametreler	Birim	Yöntem/Cihaz
pH		Hach Lange Marka HQ40D Portatif pH / İletkenlik / Tuzluluk /TDS /Oksijen
İletkenlik	$\mu\text{s}/\text{cm}$	Hach Lange Marka HQ40D Portatif pH / İletkenlik / Tuzluluk /TDS /Oksijen
TDS	mg/L	Hach Lange Marka HQ40D Portatif pH / İletkenlik / Tuzluluk /TDS /Oksijen
Sülfat	mg/L	Hach Lange Marka DR/2800 Masa Tipi VIS Spektrofotometre
Nitrat	mg/L	Hach Lange Marka DR/2800 Masa Tipi VIS Spektrofotometre
Nitrit	mg/L	Hach Lange Marka DR/2800 Masa Tipi VIS Spektrofotometre
Amonyum Azotu	mg/L	Hach Lange Marka DR/2800 Masa Tipi VIS Spektrofotometre
Bakır	mg/L	Hach Lange Marka DR/2800 Masa Tipi VIS Spektrofotometre
Demir	mg/L	Hach Lange Marka DR/2800 Masa Tipi VIS Spektrofotometre
Toplam Azot	mg/L	Hach Lange Marka DR/2800 Masa Tipi VIS Spektrofotometre
KOİ	mg/L	Hach Lange Marka DR/2800 Masa Tipi VIS Spektrofotometre
AKM	mg/L	Gravimetrik Yöntem
Klorür	mg/L	Hach Lange Marka DR/2800 Masa Tipi VIS Spektrofotometre
Alkalite	mg/L	Digital Titrator with plastic case
Toplam Sertlik	mg/L	Digital Titrator with plastic case
Silisyum	mg/L	Hach Lange Marka DR/2800 Masa Tipi VIS Spektrofotometre
Sülfat	mg/L	Hach Lange Marka DR/2800 Masa Tipi VIS Spektrofotometre
Fosfat	mg/L	Hach Lange Marka DR/2800 Masa Tipi VIS Spektrofotometre
Formaldehit	mg/L	Hach Lange Marka DR/2800 Masa Tipi VIS Spektrofotometre

2.2. Lab Ölçekli Membran Filtrasyon Çalışmaları

Lab ölçekli membran filtrasyon çalışmaları için kullanılan sistem Şekil 1.1 de gösterilmiştir. Bu çalışmalarda kullanılan refiner atıksuları ünite içerisinde yer alan dekantörden geçirilmiş ve her deney öncesi demir, fosfat, sülfat, nitrat, bakır, nitrit,

silis, klorür, sülfür, KOİ, formaldehit, toplam azot, iletkenlik, TDS, alkalite, sertlik, pH ve AKM analizleri yapılarak kaydedilmiştir. Filtrasyon sonucu elde edilen permeate analizlerinde aynı analizler yapılarak karşılaştırılmıştır. Bu çalışmalarda eş zamanlı olarak her deneyde akı değerleri bilgisayara bağlı bir terazi yardımıyla ölçülmüş, bu verilerden gerek akı azalma eğilimleri, gerekse kararlı hal akıları tespit edilmiştir. Her deney sonucunda elde edilen membranların yüzey özelliklerinin belirlenmesi amacıyla AFM ve temas açısı ölçümleri yapılmıştır. AFM ve temas açıları ölçümleri GYTE de yapılmıştır. Tablo 2.2 de analizlerde kullanılan yöntem/cihazlar verilmiştir. Tüm deneysel çalışmalarda sıcaklık, basınç ve teğetsel akış hızı parametre olarak seçilmiş ve projenin sunulmasından önce GYTE de yaptırılan membran denemeleri sonucunda projede belirtilen amaca en uygun 3 farklı nanofiltrasyon membranı bu projede laboratuvar çalışmaları için kullanılmıştır. Tablo 2.3 de deneysel çalışmalarda kullanılan membranların ticari adları ve tipleri verilmiştir.

Tablo 2.3: Kullanılan membranların ticari adları ve tipleri.

Ticari Adı Parametreler	Tipi
NP 010	Nanofiltrasyon Membran
NF 200	Nanofiltrasyon Membran
NF 270	Nanofiltrasyon Membran

Tüm laboratuvar çalışmaları filtrasyon ünitesine konulan 50 lt refiner atıksuyu ile gerçekleştirilmiş ve deneyler sırasında maksimum toplanan permeate 2 litre olduğundan besleme çözeltisinin kompozisyonu değişmediği kabul edilmiştir. Bilindiği gibi bu tür çalışmalarda sınır değer besleme çözeltisinin %10'u kadardır. Seçilen her 3 membran için su geri kazanımı ve kazanılan suyun özellikle KOİ parametresi açısından uygun olması amaçlanmış ve bir deneysel tasarım planı (TAGUCHİ) yöntemi seçilmiştir.

2.2.1. Deney Faktörleri ve Seviyeleri

Her 3 membran için ayrı ayrı yapılmak üzere her bir membran için 9 adet deney içeren “R₉ Standart Taguchi Deneysel Tablosu”na göre yapılmıştır. Giriş

değişkenleri 3 seviye olarak tasarıma dahil edilmiş ve elde edilen deneysel sonuçlar akı ve süzüntüye geçen KOİ konsantrasyonu üzerinden değerlendirilmiştir. Deneysel sonuçların istatistiksel değerlendirilmesinde MİNİTAB yazılımı kullanılmıştır. Her bir çalışmada giriş parametrelerinin sonuçlar üzerine ana etkileri, her bir giriş parametre seviyesi için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Ana etkilerin bulunmasını takiben ANOVA methodu kullanılarak deneysel sonuçlar istatistiksel olarak analizlenmiştir. Her bir sonuç parametresi için ANOVA tabloları çıkarılmış ve giriş değişkenlerinin etkileri değerlendirilmiştir. Sonrasında ‘Yüzey Cevap Metodu’ (Response Surface Method) kullanılarak sonuç parametreleri için ilişki denklemleri çıkarılmıştır. Yüksek akı ve düşük KOİ performansı sunan şartın belirlenmesi için Yüzey Cevap Metodu optimizasyon işlemi kullanılmıştır. Bu çalışmalar tablo 5 de verilmiştir. Tablo 6 da “Taguchi Deneysel Tasarım Deneme Şartları” verilmiştir.

Tablo 2.4: Taguchi deneysel tasarım giriş değişkenleri ve değişken seviyeleri.

Faktörler	1. Seviye	2. Seviye	3. Seviye
Basınç (Bar)	10	25	40
Sıcaklık (°C)	25	40	60
Teğetsel Hız (L/h)	200	300	400

Tablo 2.5: Taguchi deneysel tasarım deneme şartları.

Deney No	Basınç	Sıcaklık	Teğetsel Hız
1	10	20	200
2	25	40	200
3	40	60	200
4	25	20	300
5	40	40	300
6	10	60	300
7	40	20	400
8	10	40	400
9	25	60	400

2.2.2. NF Membranların Deneysel Sonuçları

NF 270, NF 200 ve NF 010 nanofiltrasyon membranları için TAGUCHİ deneysel tasarım yöntemine göre yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar sırasıyla Tablo 2.6, Tablo 2.7 ve Tablo 2.8 de verilmiştir.

Tablo 2.6: NF 270 membran çıkış analiz sonuçları.

	Birim	1. deney	2. deney	3. deney	4. deney	5. deney	6. deney	7. deney	8. deney	9. deney
Demir	mg/lt	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1
Fosfat	mg/lt	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 1,5
Sülfat	mg/lt	0	2	0	0	1	0	1	0	1
Nitrat	mg/lt	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Bakır	mg/lt	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nitrit	mg/lt	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 0,2
Silis	mg/lt	≤ 2,5	≤ 2,5	≤ 2,5	≤ 2,5	≤ 2,5	≤ 2,5	≤ 2,5	≤ 2,5	≤ 2,5
Klorür	mg/lt	8	14	7	5	6	10	4	9	8
Sülfid	mg/lt	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KOİ	mg/lt	595	354	154	275	120	521	316	414	553
Formaldehit	mg/lt	≤ 3	≤ 3	≤ 3	≤ 3	≤ 3	≤ 3	≤ 3	≤ 3	≤ 3
Azot	mg/lt	22	18	16	13	14	30	27	24	26
İletkenlik	µs/cm	429	224	205	239	94	401	197	339	300
TDS	mg/lt	206	100	94	50	46	192	95	163	143
Alkalite	mg/lt	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35
Sertlik	mg/lt	23	22	21	15	7	37	18	26	23
pH		4,65	5,26	5,60	5,45	5,55	5,50	5,38	5,62	5,30
AKM	mg/lt	≤ 20	≤ 20	≤ 20	≤ 20	≤ 20	≤ 20	≤ 20	≤ 20	≤ 20
Akı	l/m ² .h	30	47	80	59	95	130	110	113	220

Tablo 2.7: NF 200 membran çıkış analiz sonuçları.

	Birim	1. deney	2. deney	3. deney	4. deney	5. deney	6. deney	7. deney	8. deney	9. deney
Demir	mg/lt	≤0,1	≤0,1	≤0,1	≤0,1	≤0,1	≤0,1	≤0,1	≤0,1	≤0,1
Fosfat	mg/lt	≤1,5	≤1,5	≤1,5	≤1,5	≤1,5	≤1,5	≤1,5	≤1,5	≤1,5
Sülfat	mg/lt	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nitrat	mg/lt	0,6	0,4	0,3	0,7	0,7	0,5	0,7	0,6	1
Bakır	mg/lt	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nitrit	mg/lt	≤0,2	≤0,2	≤0,2	≤0,2	≤0,2	≤0,2	≤0,2	≤0,2	≤0,2
Silis	mg/lt	≤2,5	≤2,5	≤2,5	≤2,5	≤2,5	≤2,5	≤2,5	≤2,5	≤2,5
Klorür	mg/lt	7	9	7	10	3	12	5	14	12
Sülfid	mg/lt	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KOİ	mg/lt	178	139	183	153	105	432	175,1	487	248
Formaldehit	mg/lt	≤3	≤3	≤3	≤3	≤3	≤3	≤3	≤3	≤3
Azot	mg/lt	18	4	3	12	10	7	9	5	4.
İletkenlik	µs\cm	166	171	144	163	171	283	104	262	180
TDS	mg/lt	77	82	68	79	62	137	49	125	84
Alkalite	mg/lt	≤35	≤35	≤35	≤35	≤35	≤35	≤35	≤35	≤35
Sertlik	mg/lt	39	6	14	12	5	12	14	12	23
pH		5,50	5,60	5,70	5,30	5,68	5,38	5,38	5,38	5,14
AKM	mg/lt	≤20	≤20	≤20	≤20	≤20	≤20	≤20	≤20	≤20
Akı	l/m ² .h	33	55	79	49	127	96	85	69	139

Tablo 2.8: NF 010 membran çıkış analiz sonuçları.

	Birim	1. deney	2. deney	3. deney	4. deney	5. deney	6. deney	7. deney	8. deney	9. deney
Demir	mg/l	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1
Fosfat	mg/l	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 1,5
Sülfat	mg/l	0	1	1	0	0	0	0	0	0
Nitrat	mg/l	0,3	0,5	0	0,1	0,3	0	0	0,4	0
Bakır	mg/l	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nitrit	mg/l	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 0,2	≤ 0,2
Silis	mg/l	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5
Klorür	mg/l	35	11	22	14	4	12	10	31	18
Sülfid	mg/l	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KOİ	mg/l	398	467	412	415	317	496	365	464	357
Formaldehit	mg/l	≤ 3	≤ 3	≤ 3	≤ 3	≤ 3	≤ 3	≤ 3	≤ 3	≤ 3
Azot	mg/l	2	2	2	2	2	2	2	2	1
İletkenlik	µs/cm	414	141,1	456	494	204	379	346	387	488
TDS	mg/l	197	66	234	196	88	184	167	188	147
Alkalite	mg/l	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35
Sertlik	mg/l	18	36	30	18	22	49	25	47	29
pH		5,55	5,41	5,80	5,36	5,60	5,20	5,68	5,27	5,65
AKM	mg/l	≤ 20	≤ 20	≤ 20	≤ 20	≤ 20	≤ 20	≤ 20	≤ 20	≤ 20
Akı	l/m ² .h	14	17	28	9	27	8	24	8	12

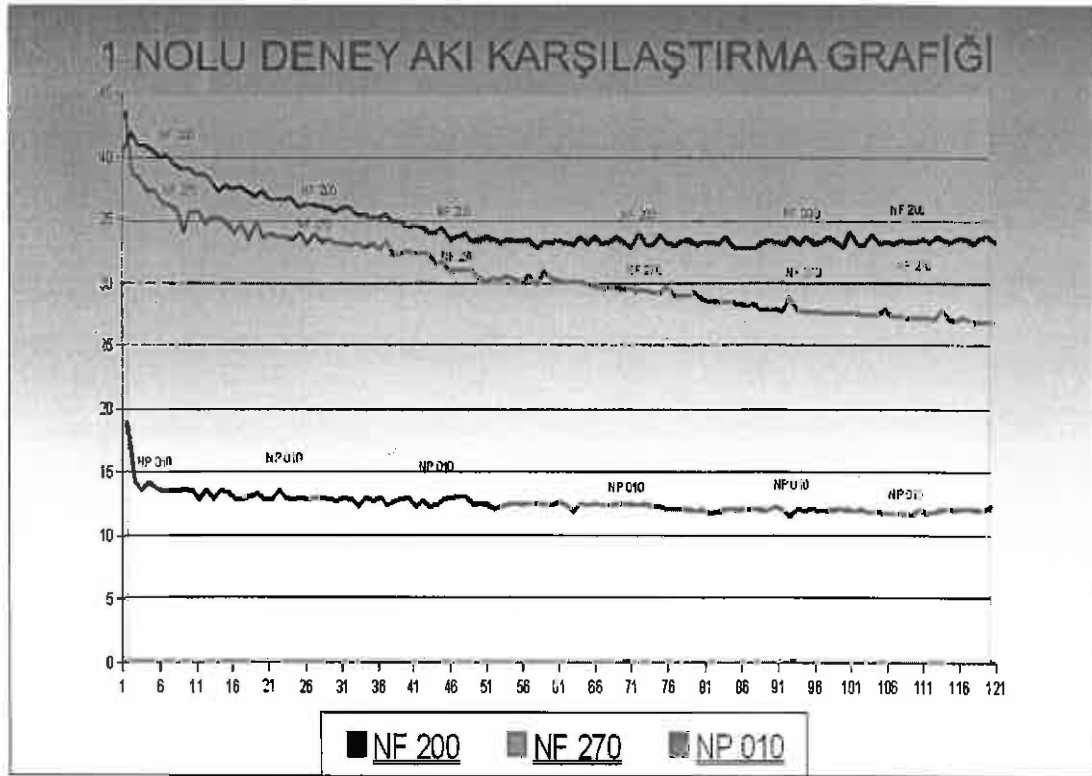
2.2.3. Sonuçların Akı ve KOİ Esas Alınarak Değerlendirilmesi

Tablo 2.6, Tablo 2.7 ve Tablo 2.8 incelendiğinde NF010 ile yapılan değerlerdeki akı değerlerinin diğer 2 membrana göre oldukça düşük gözlenmiştir. Ayrıca, çıkış (permeate) suyunun KOİ değerleri açısından incelendiğinde NF 270 membran için minimum 120 mg/l maksimum 595 mg/l iken, NF 200 için çıkış KOİ değerleri minimum 105 maksimum 487 mg/l aralığında, buna karşın NF 010 da minimum 317 mg/l maksimum 496 mg/l olmaktadır. Her 3 membran için yapılan çalışmalarda besleme suyunun giriş KOİ değerleri 10000 mg/l üzeri olduğu dikkate alındığında, her 3 membranında KOİ giderme verimleri yüksek olduğu söylenebilir. Ayrıca, her 3 membranın renk giderim performanslarının çok iyi oldukları görülmüştür. 3 membrana ait giriş ve çıkış suyuna ait fotoğraflar Şekil 2.1: Membran Deney Çıkış Renk Durumları’da verilmiştir. NP 010 membranları için akılarının düşük ve çıkış KOİ aralığının çok dar olması nedeniyle söz konusu projede kullanımının uygun olmadığı kanaatine varılmıştır. Bu nedenle ANOVA analizleri NF 200 ve NF 270 membranları için yapılmıştır. Tablo 2.6, 2.7 ve 2.8 giriş suyunun diğer parametreleri açısından incelendiğinde (demir, fosfat, nitrat, bakır, nitrit, silis, klorür, formaldehit, toplam azot, iletkenlik, TDS ve toplam sertlik) 3 membranında benzer davranışlar gösterdiği ve bu parametreler açısından 3 membranında uygun olduğu görülmüştür. Özellikle her 3 membran için formaldehit (HCHO) değerindeki azalmalar dikkat çekicidir. Bu arge çalışmalarından elde edilen en önemli çalışmalardan bir tanesi olup özellikle yurt dışı yaptırımlarda karşılaşılan deşarj formaldehit değerlerinin karşılandığı anlaşılmıştır. Her 3 membran için elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucunda bu aşamadan sonra NF 200 ve NF 270 membranların detaylı değerlendirilmesi sonucuna varılmıştır. Bu amaçla NF 270 ve NF 200 membranlarının aynı şartlardaki akı ve zaman grafikleri Şekil 2.2 – Şekil 2.10: Nolu Deney Membran Akı Karşılaştırma Grafikleri’nde gösterilmiştir. NF 270 ve NF 200 membranlar ile yapılan çalışmalar akı açısından incelendiğinde, yüksek sıcaklık ve yüksek basınç dışında benzer davranışlar gösterdiği, ancak NF 270’in bazı şartlarda (bazı yüksek sıcaklık ve basınçta) NF 200 den daha fazla akı değerlerine ulaştığı görülmüştür. Ancak NF 270’in yüksek akı değerlerine ulaştığı şartlarda KOİ çıkış değerleri 500 mg/l civarında olmaktadır. Bu nedenle NF 200 ve NF 270 membranlarının hangisinin tercih edilmesi gerektiği önemlidir. Ayrıca her iki

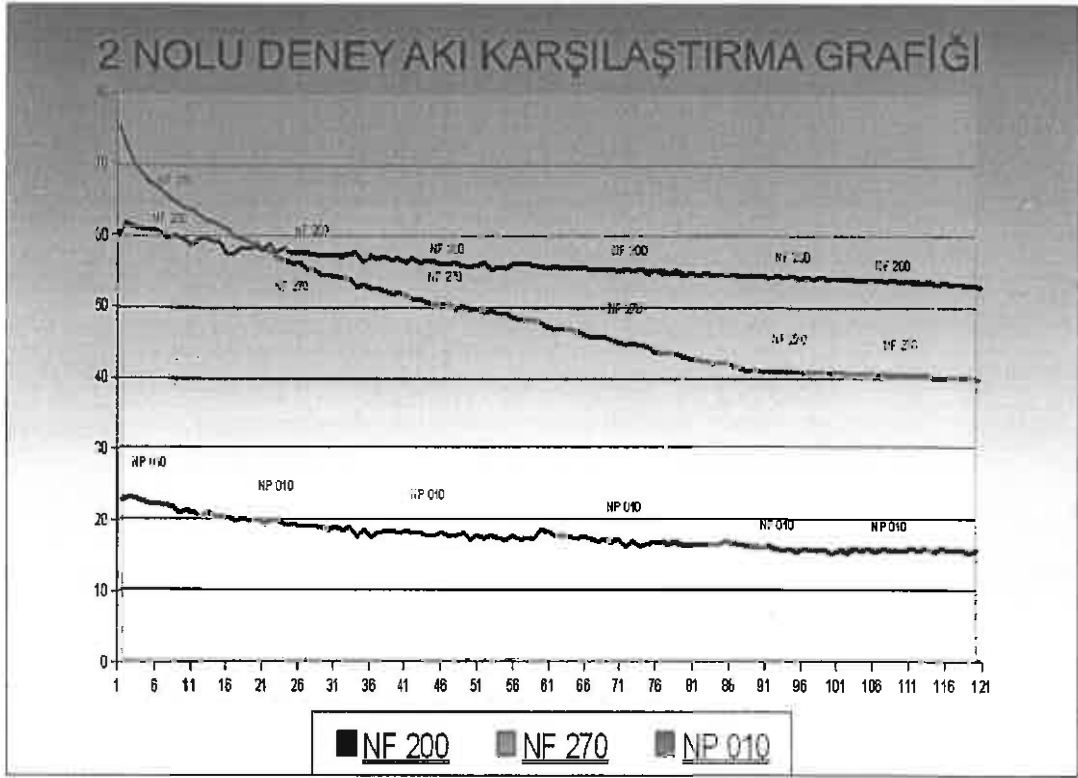
membranın denge temas açısı ölçüm sonuçları NF 270 için tablo 10, NF 200 içinde tablo 11 de verilmiştir.



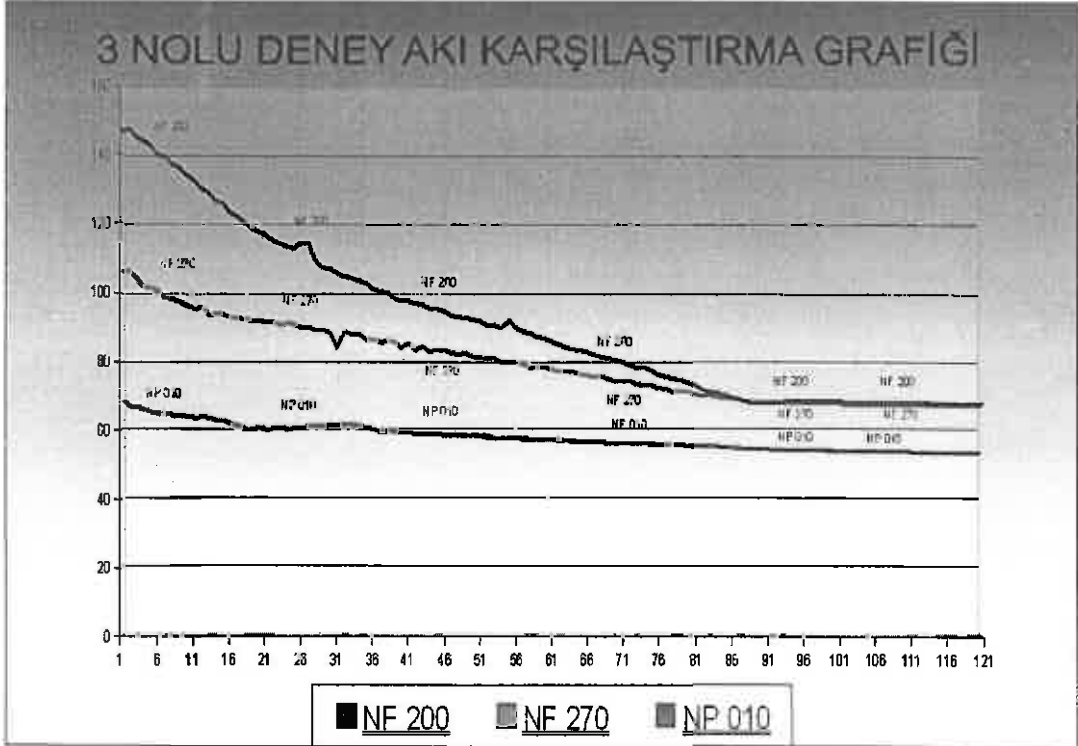
Şekil 2.1: Membran deney çıkış renk durumları.



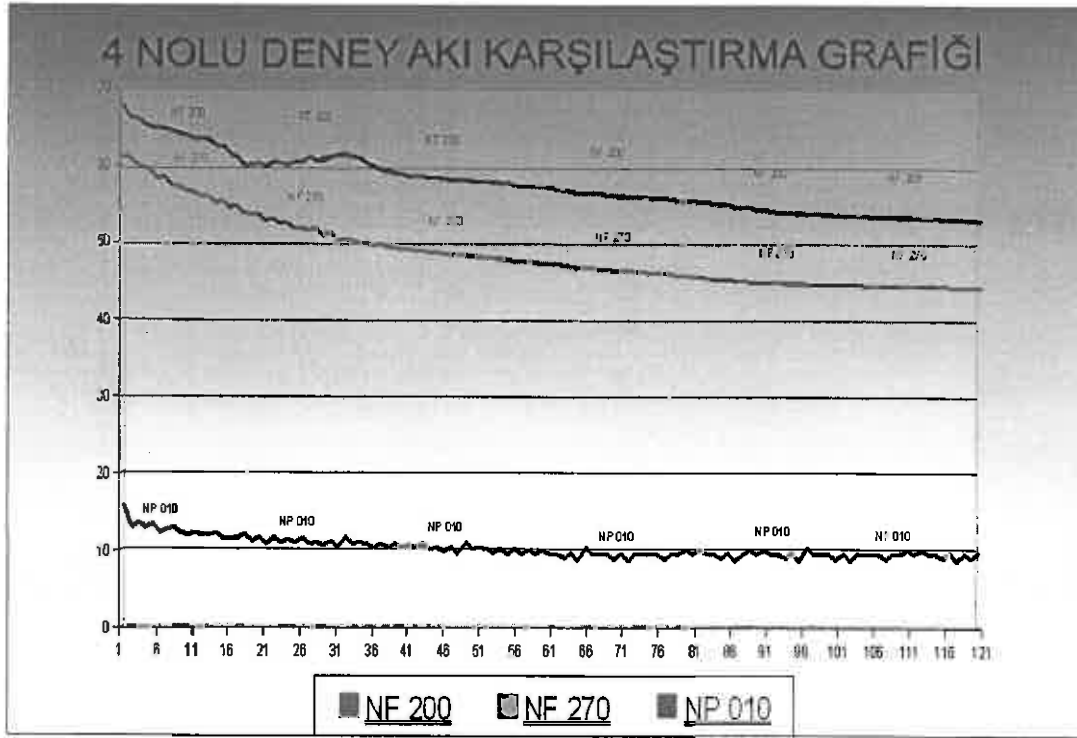
Şekil 2.2: 1. nolu deney membran akı karşılaştırma grafiği.



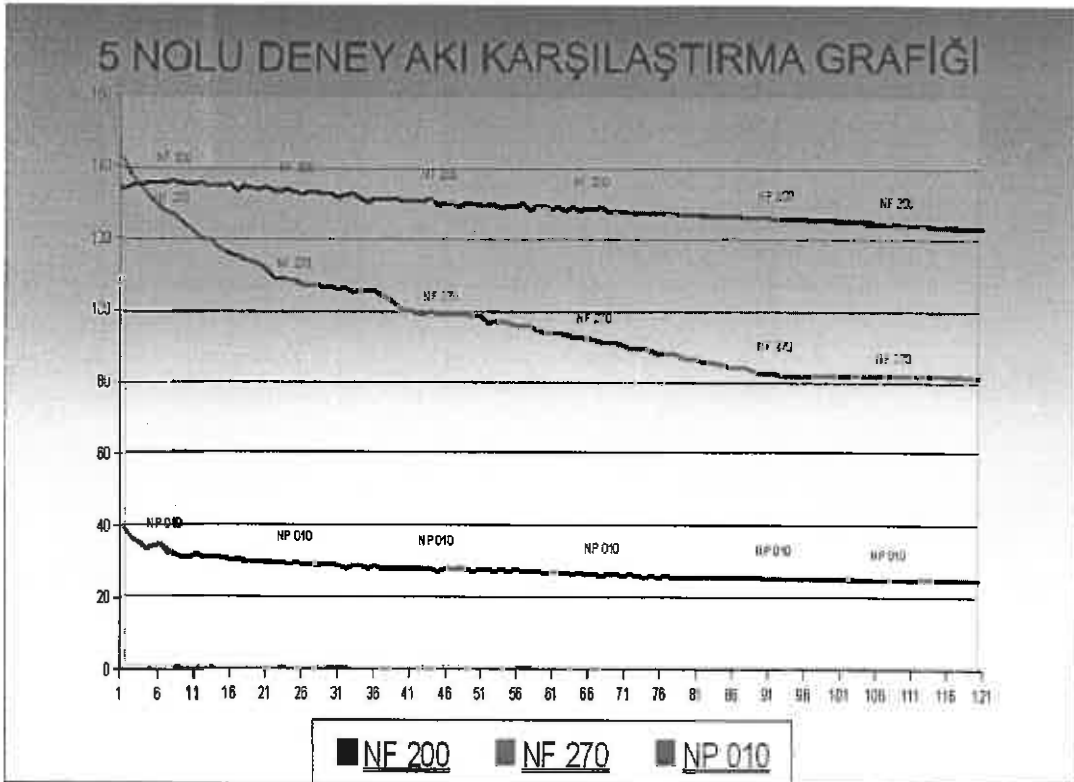
Şekil 2.3: 2. nolu deney membran akı karşılaştırma grafiği.



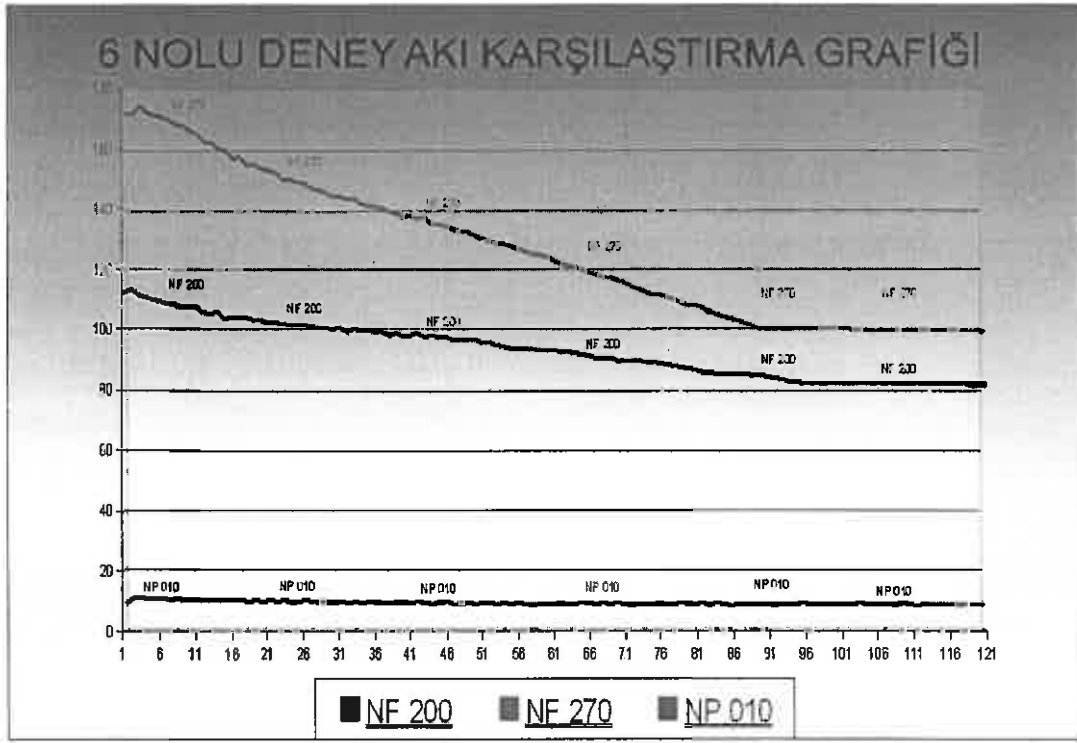
Şekil 2.4: 3. nolu deney membran akı karşılaştırma grafiği.



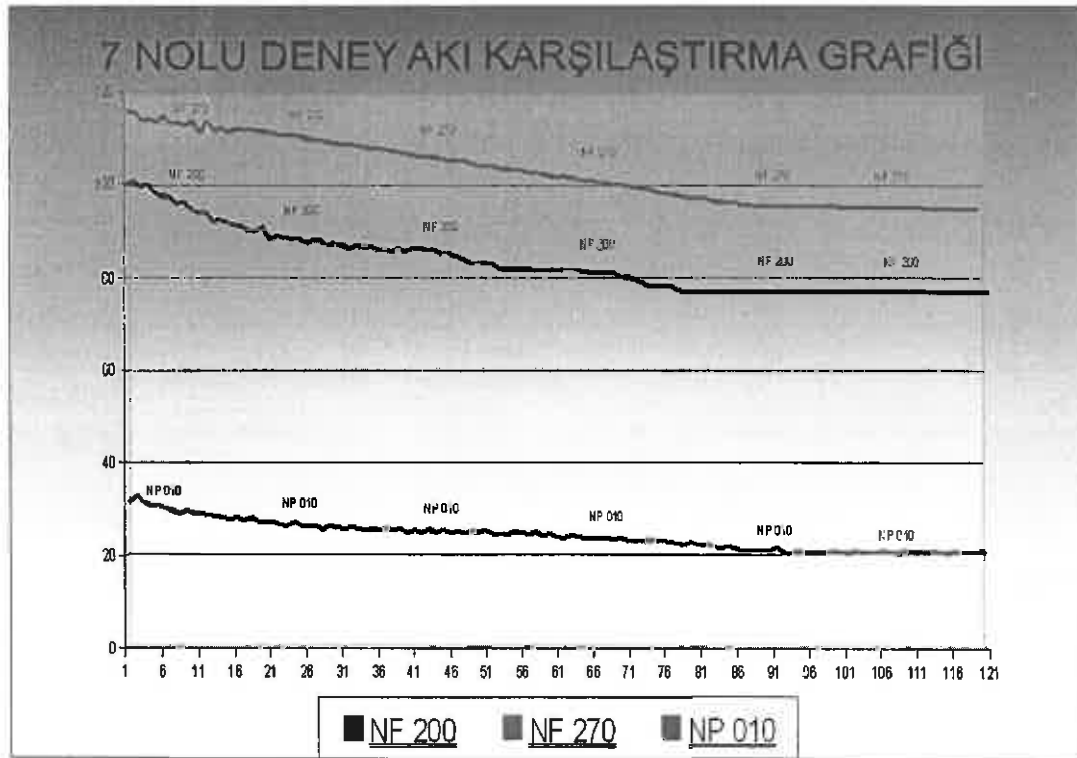
Şekil 2.5: 4. nolu deney membran akı karşılaştırma grafiği.



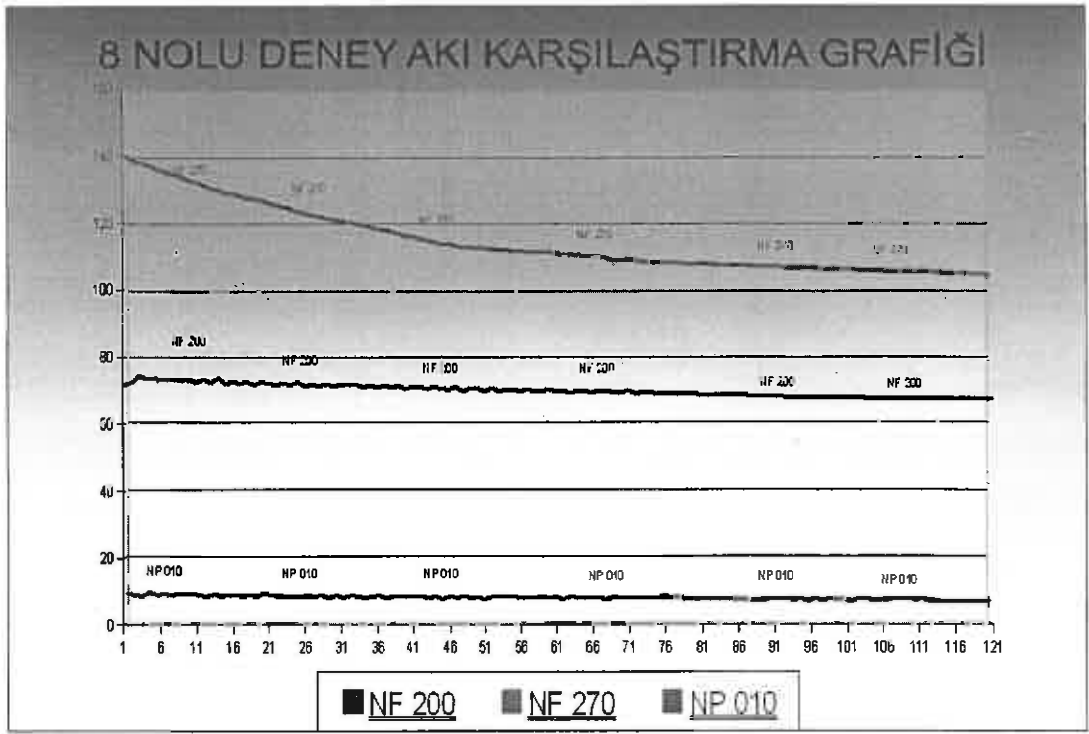
Şekil 2.6: 5. nolu deney membran akı karşılaştırma grafiği.



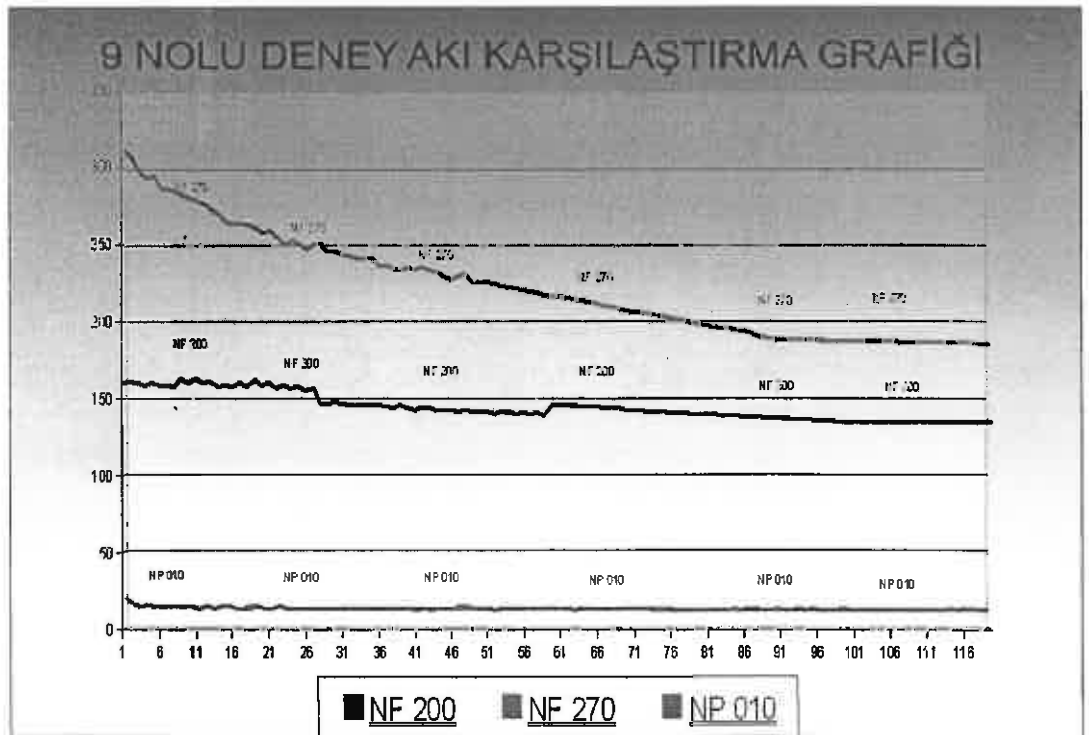
Şekil 2.7: 6. nolu deney membran akı karşılaştırma grafiği.



Şekil 2.8: 7. nolu deney membran akı karşılaştırma grafiği.



Şekil 2.9: 8. nolu deney membran akı karşılaştırma grafiği.



Şekil 2.10: 9. nolu deney membran akı karşılaştırma grafiği.

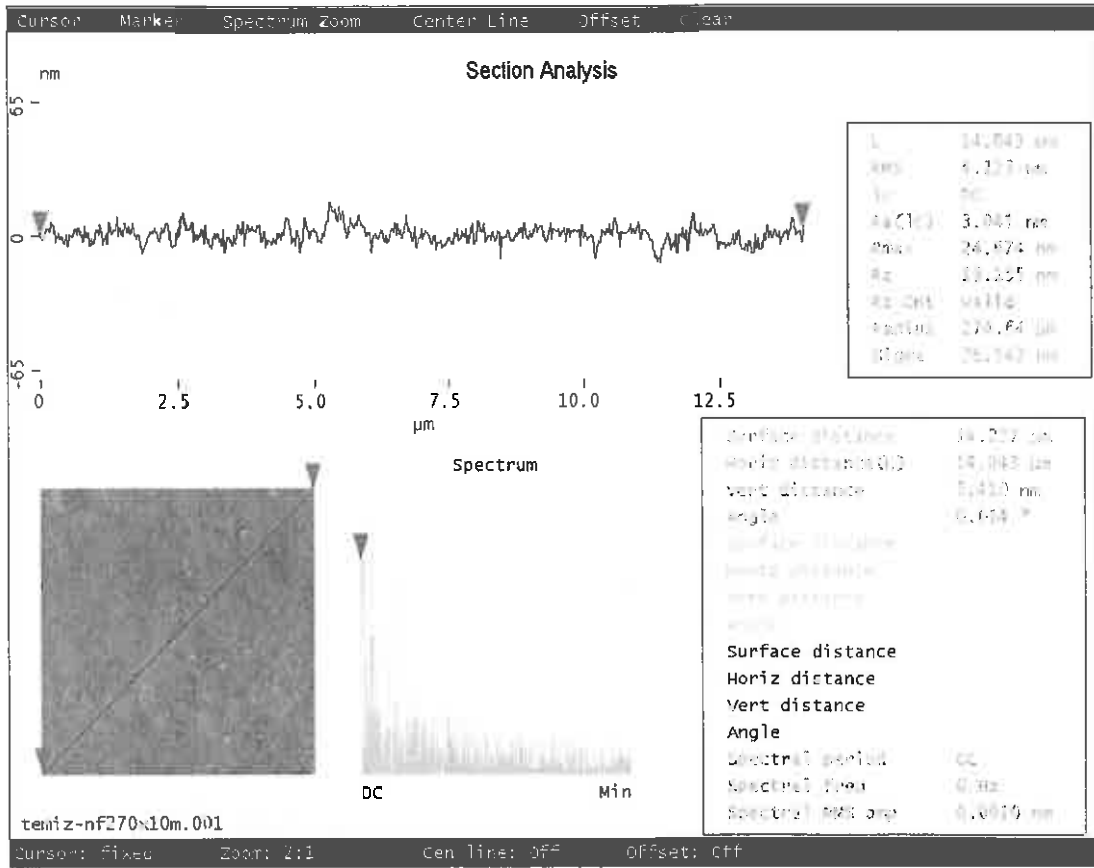
Tablo 2.9: NF 270 membranları denge temas ölçümleri.

Deney No	Denge Temas Açısı
1	55
2	77
3	52
4	46
5	51
6	55
7	40
8	51
9	78
Boş	24

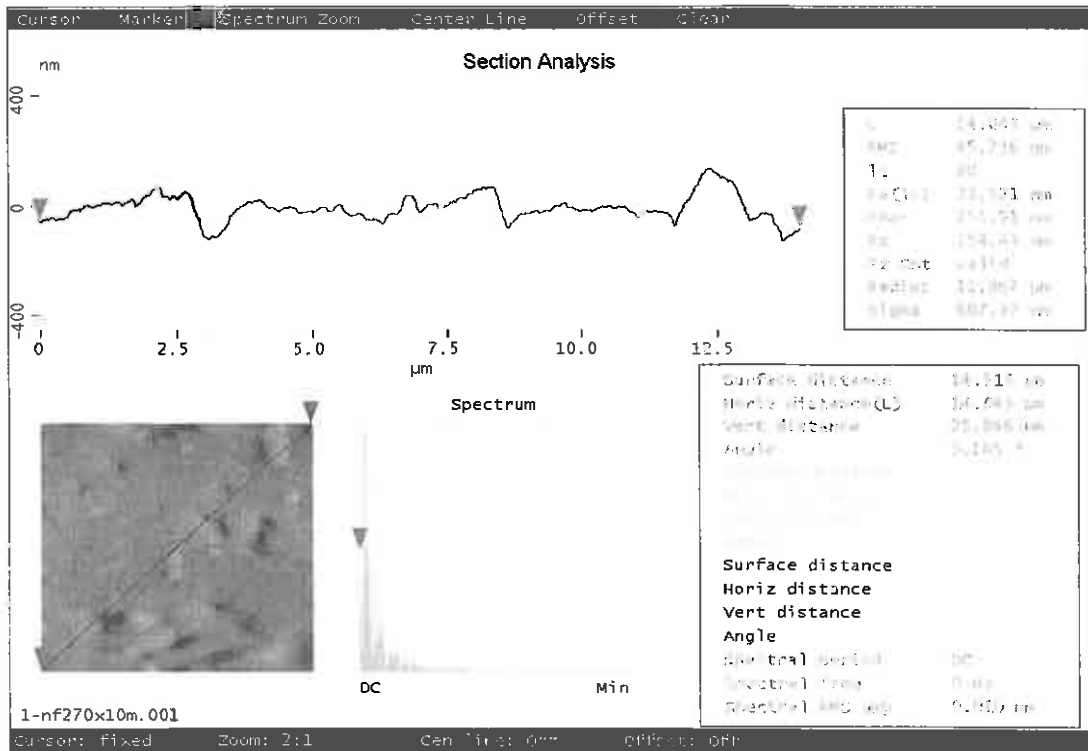
Tablo 2.10: NF 200 membranları denge temas ölçümleri.

Deney No	Denge Temas Açısı
1	48
2	47
3	60
4	49
5	47
6	35
7	51
8	43
9	41
Boş	43

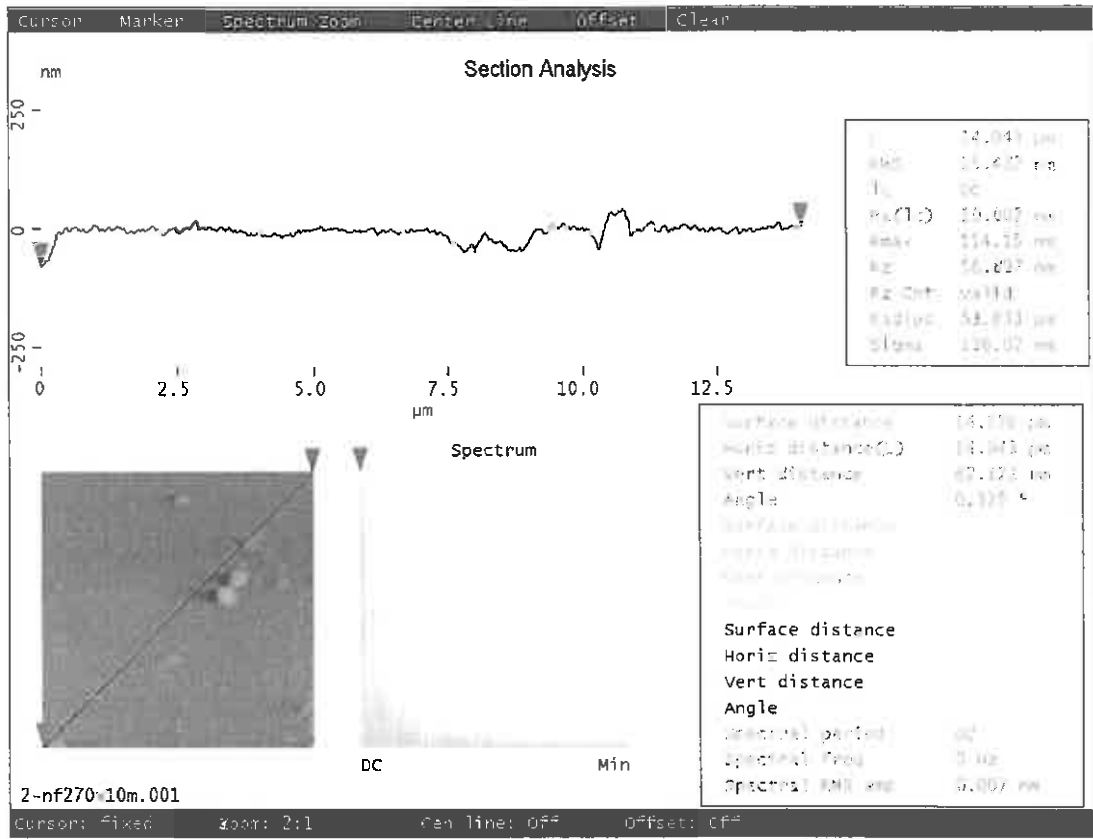
NF 270 ve NF 200 membranlarla yapılan çalışmalarda her çalışma sonucunda çıkarılan membran çalışmalarının AFM görüntüleri aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



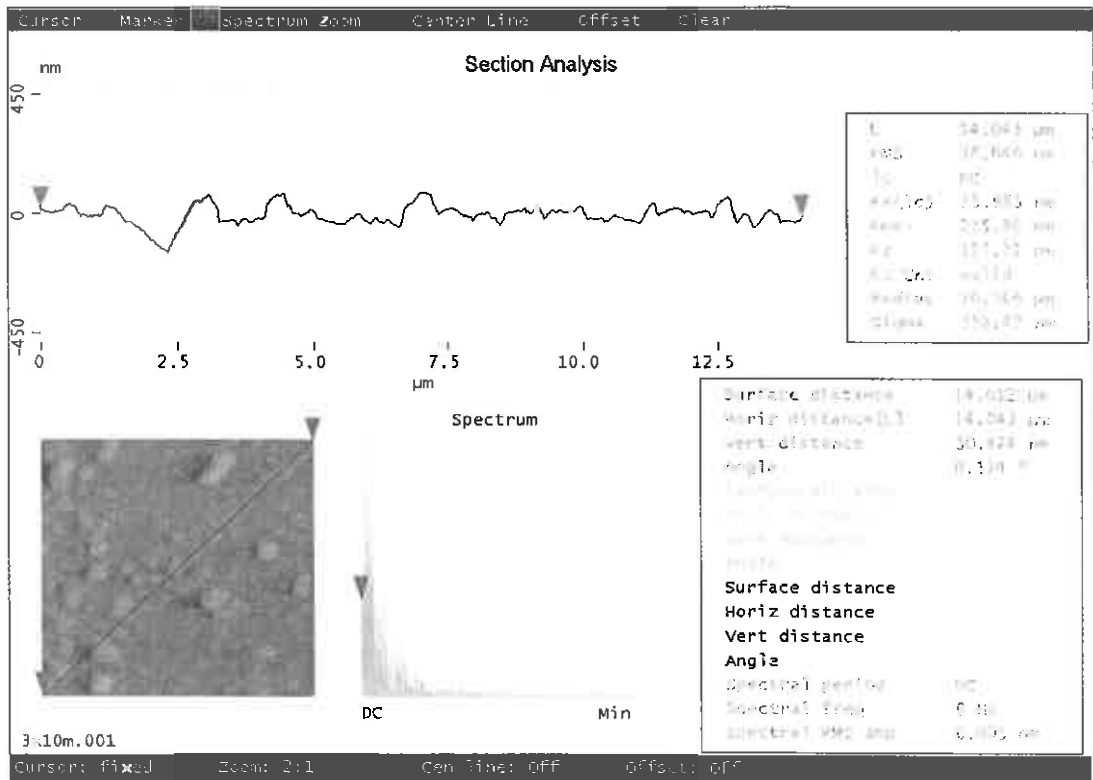
Şekil 2.11: NF 270 temiz membran AFM görüntüsü.



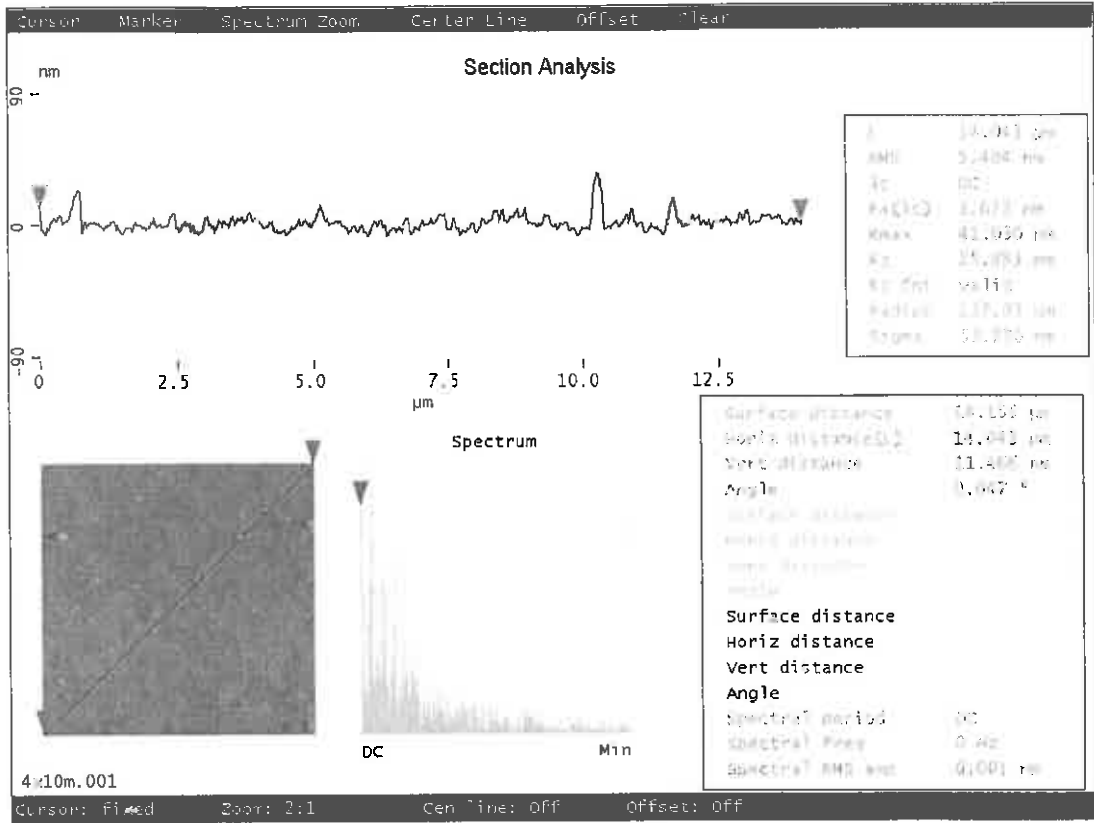
Şekil 2.12: NF 270 1. nolu deney membran AFM görüntüsü.



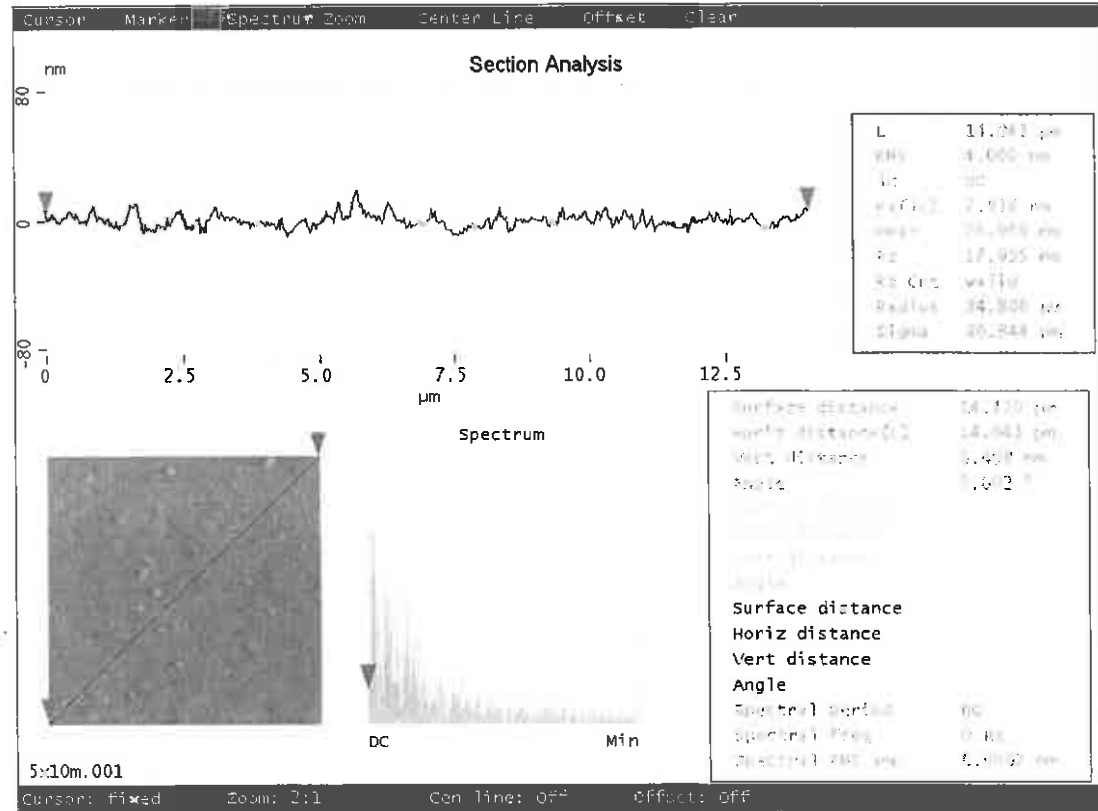
Şekil 2.13: NF 270 2. nolu deney membran AFM görüntüsü.



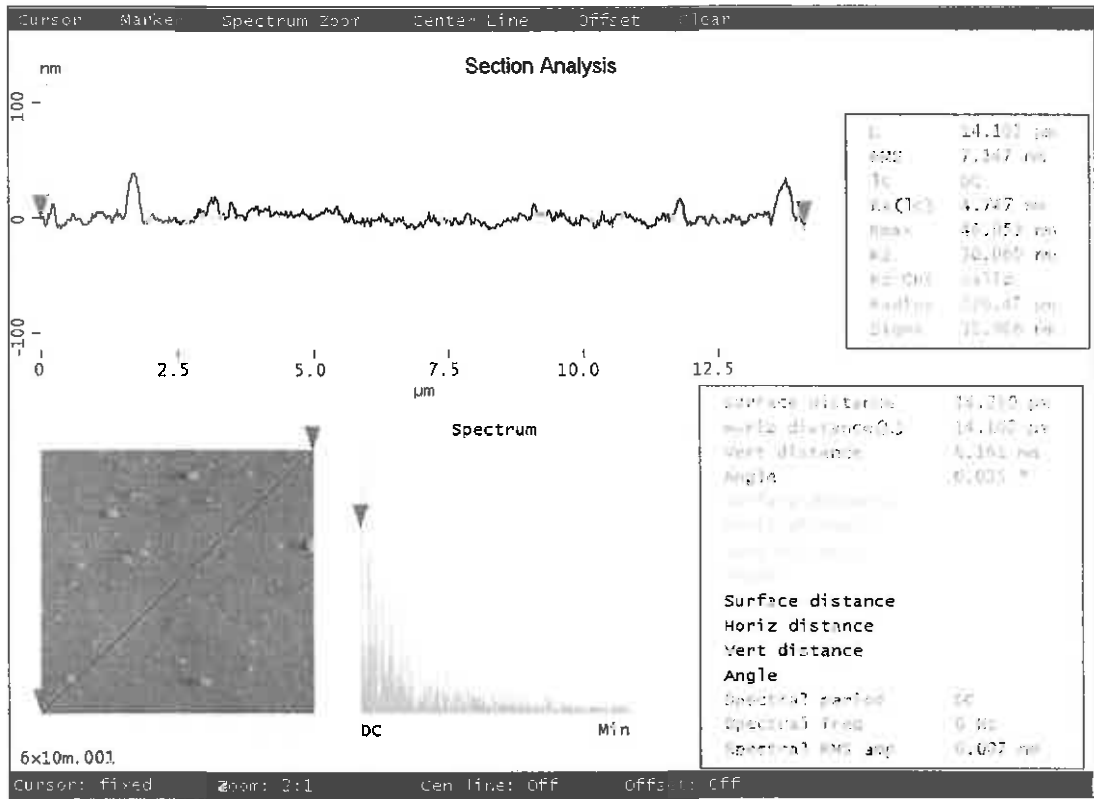
Şekil 2.14: NF 270 3. nolu deney membran AFM görüntüsü.



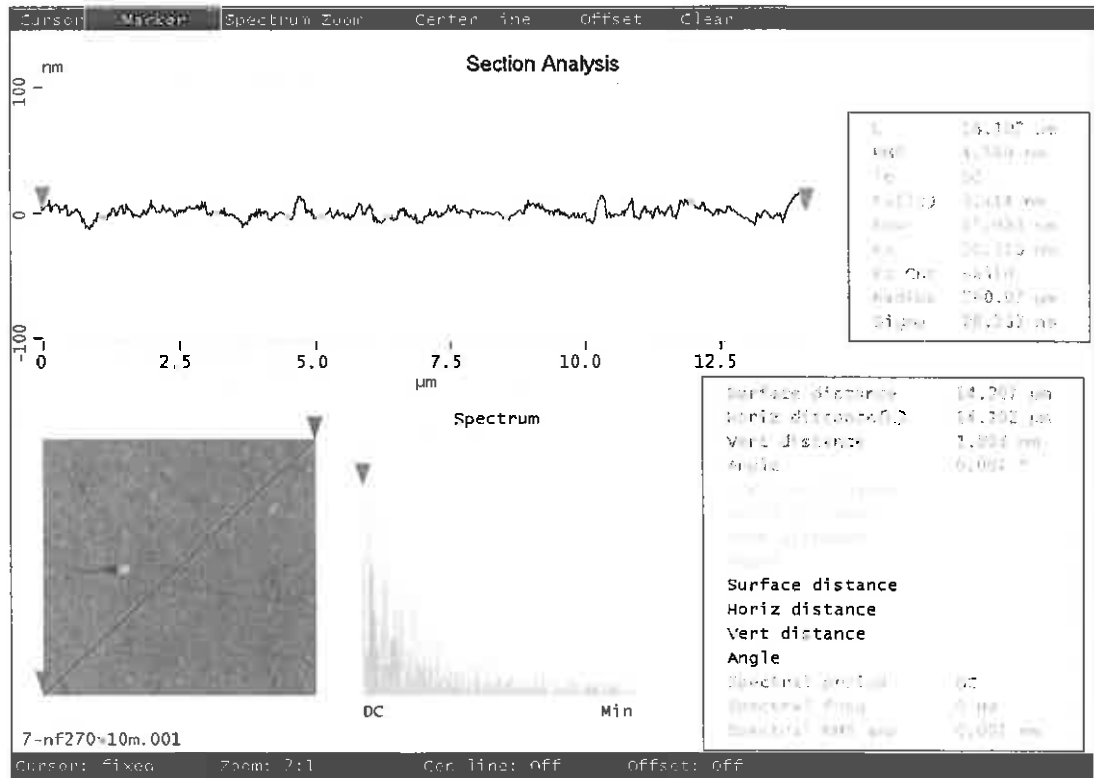
Şekil 2.15: NF 270 4. nolu deney membran AFM görüntüsü.



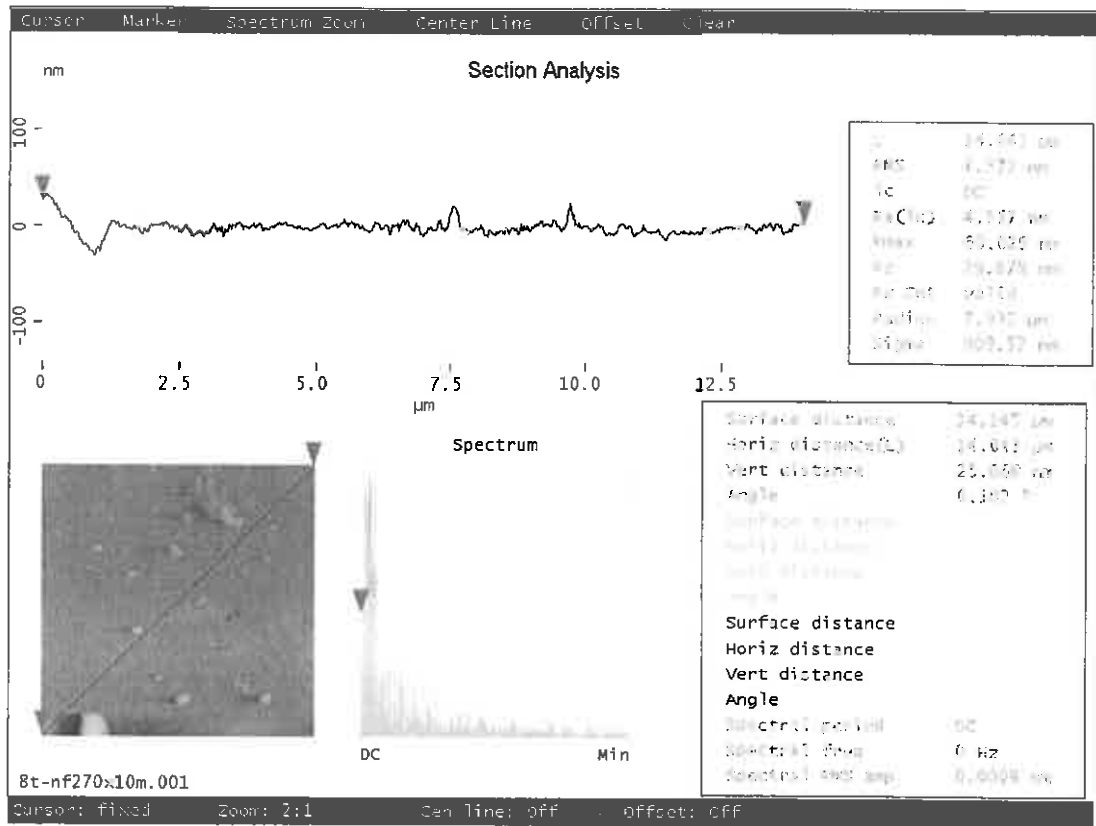
Şekil 2.16: NF 270 5. nolu deney membran AFM görüntüsü.



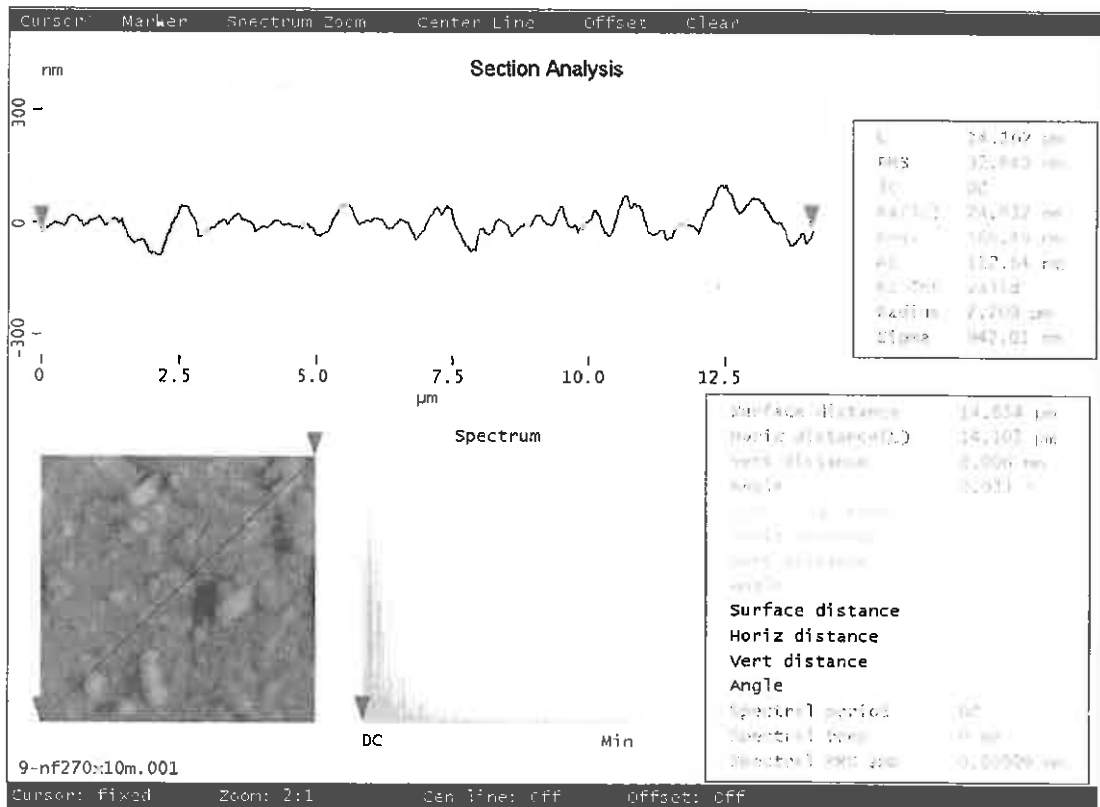
Şekil 2.17 NF 270 6. nolu deney membran AFM görüntüsü.



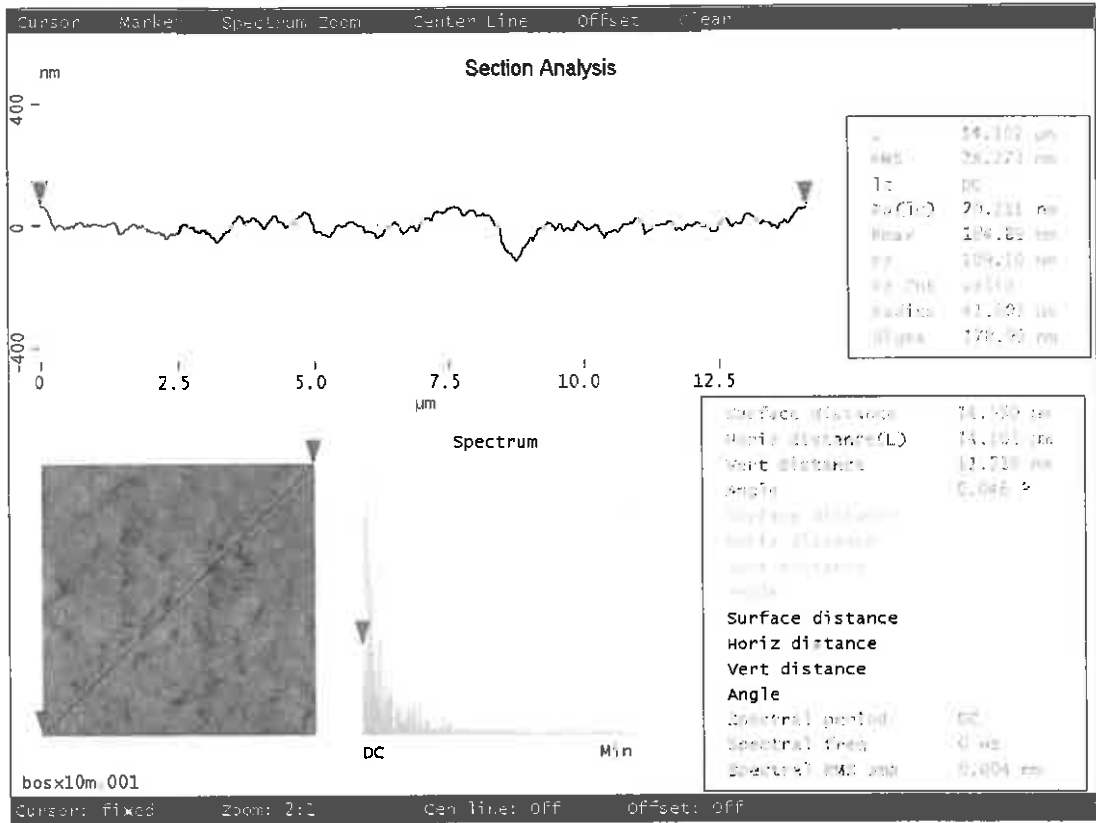
Şekil 2.18: NF 270 7. nolu deney membran AFM görüntüsü.



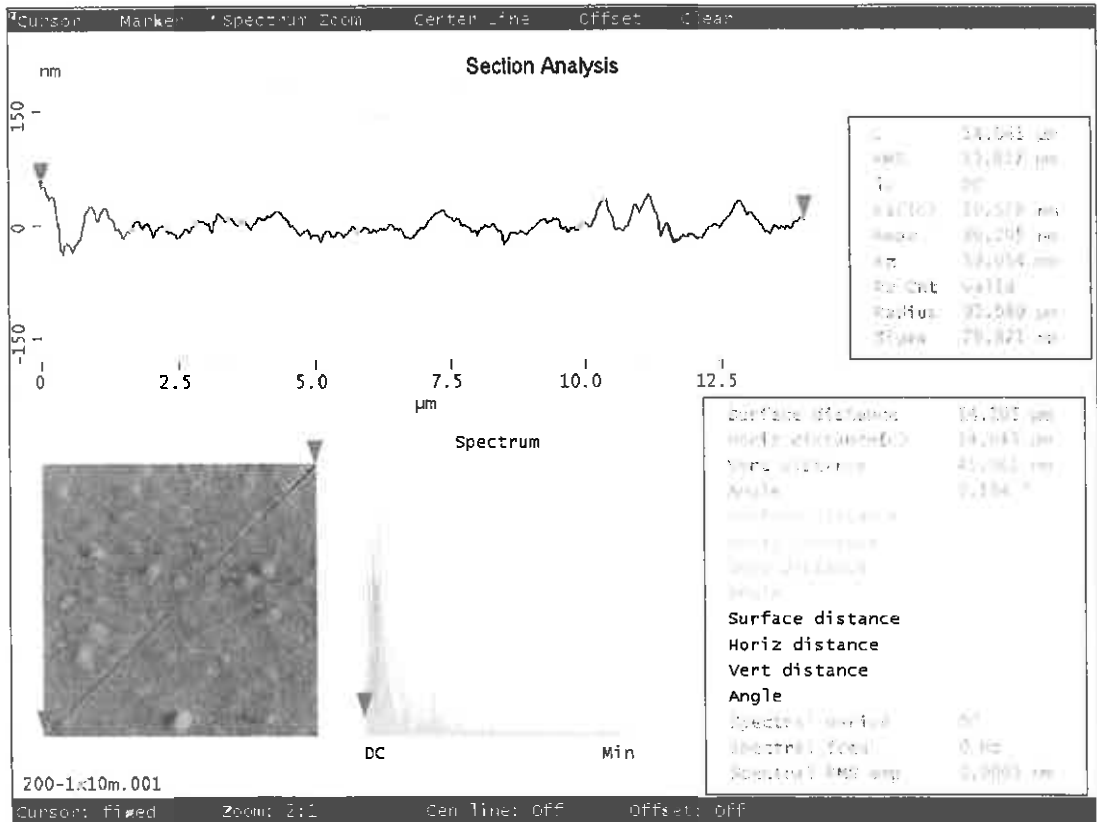
Şekil 2.19: NF 270 8. nolu deney membran AFM görüntüsü.



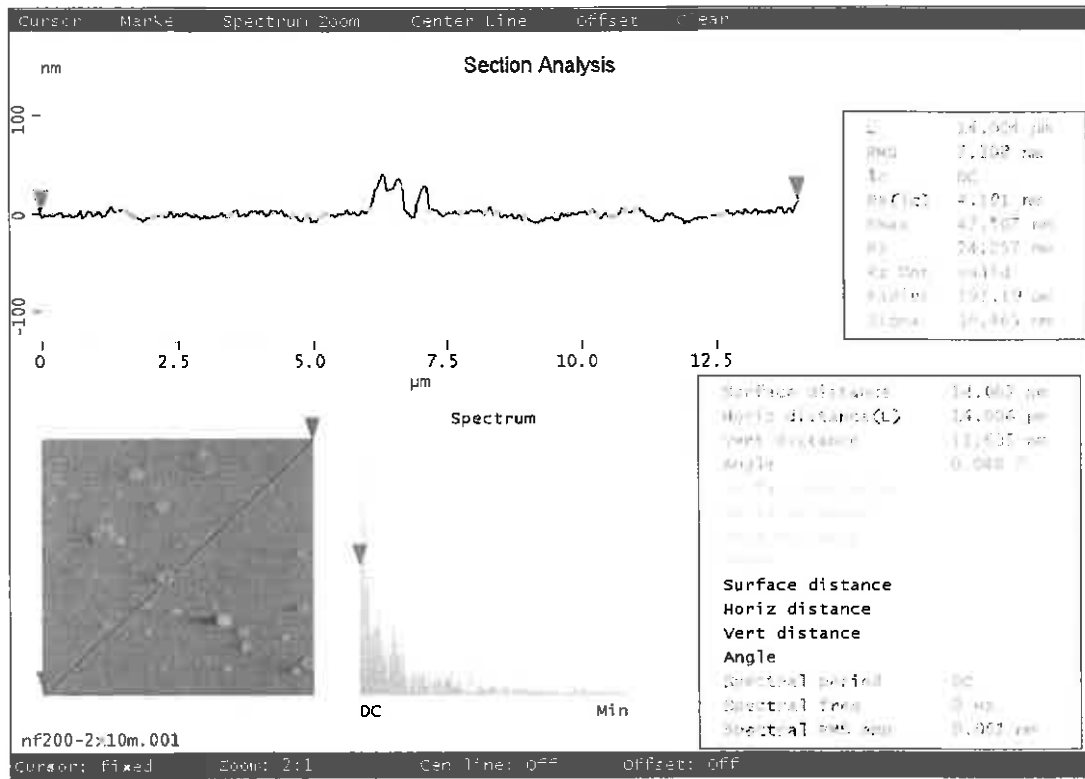
Şekil 2.20: NF 270 9. nolu deney membran AFM görüntüsü.



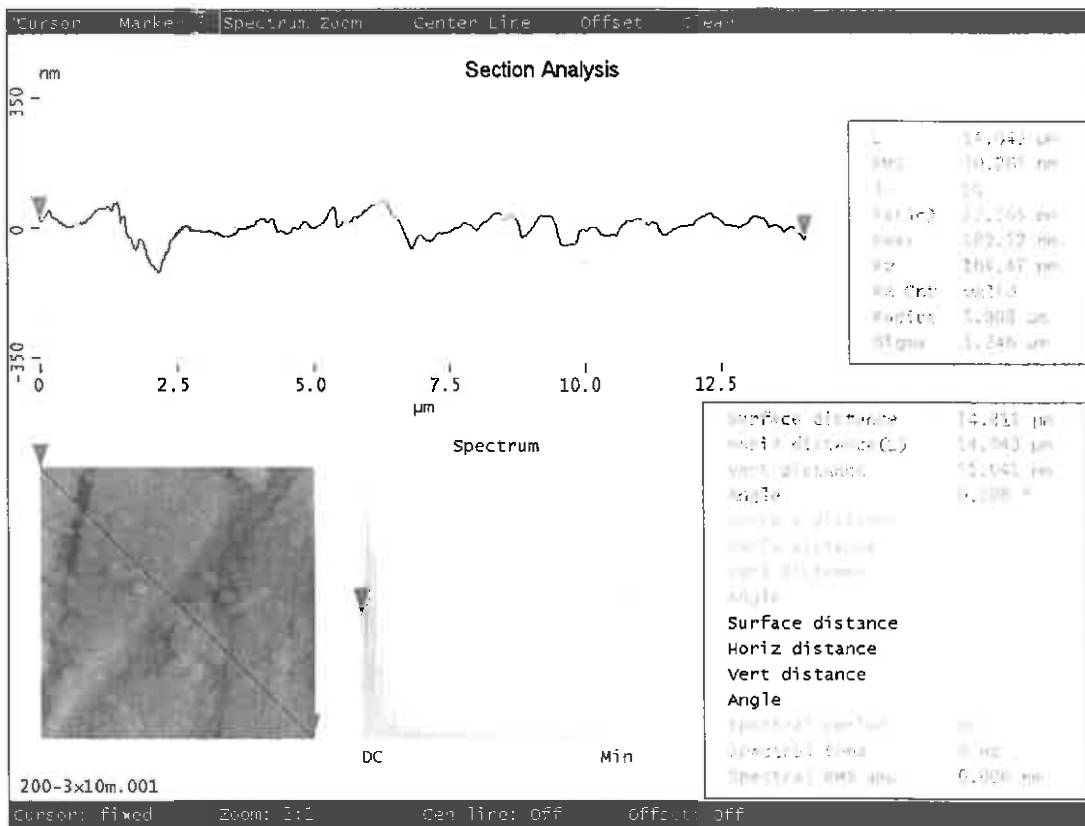
Şekil 2.21: NF 200 temiz membran AFM görüntüsü.



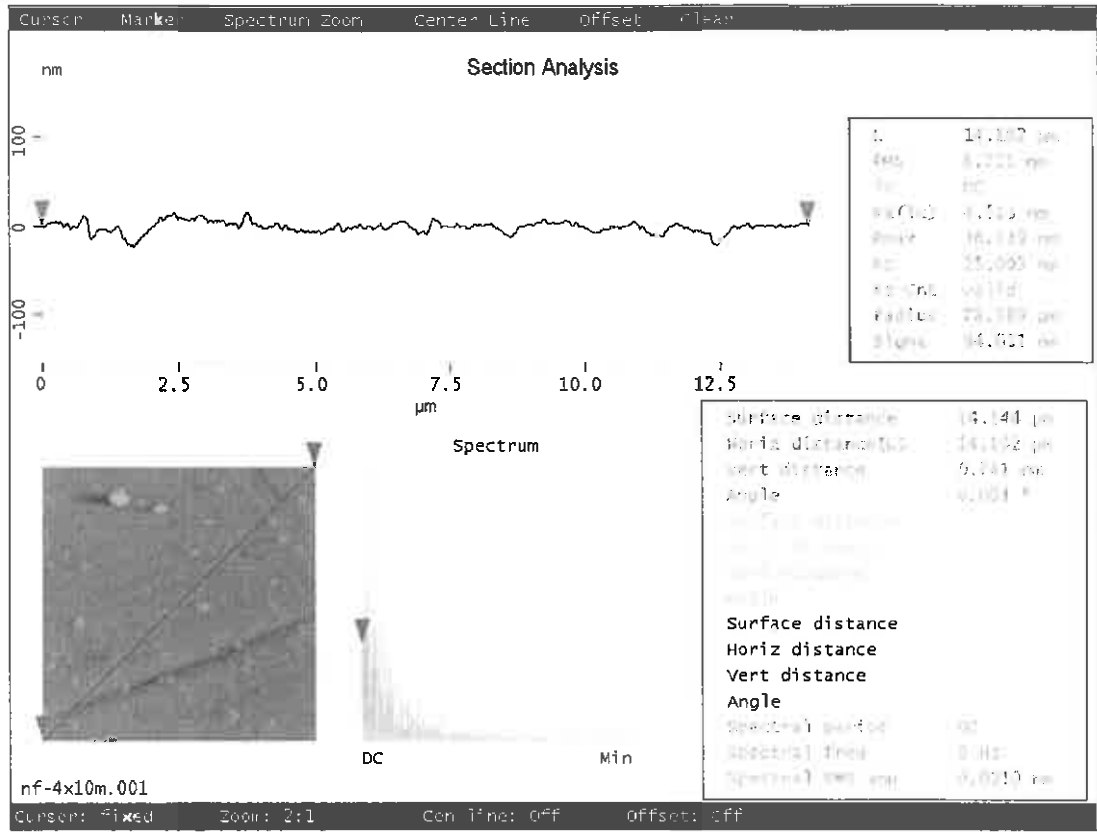
Şekil 2.22 NF 200 1. nolu deney membran AFM görüntüsü.



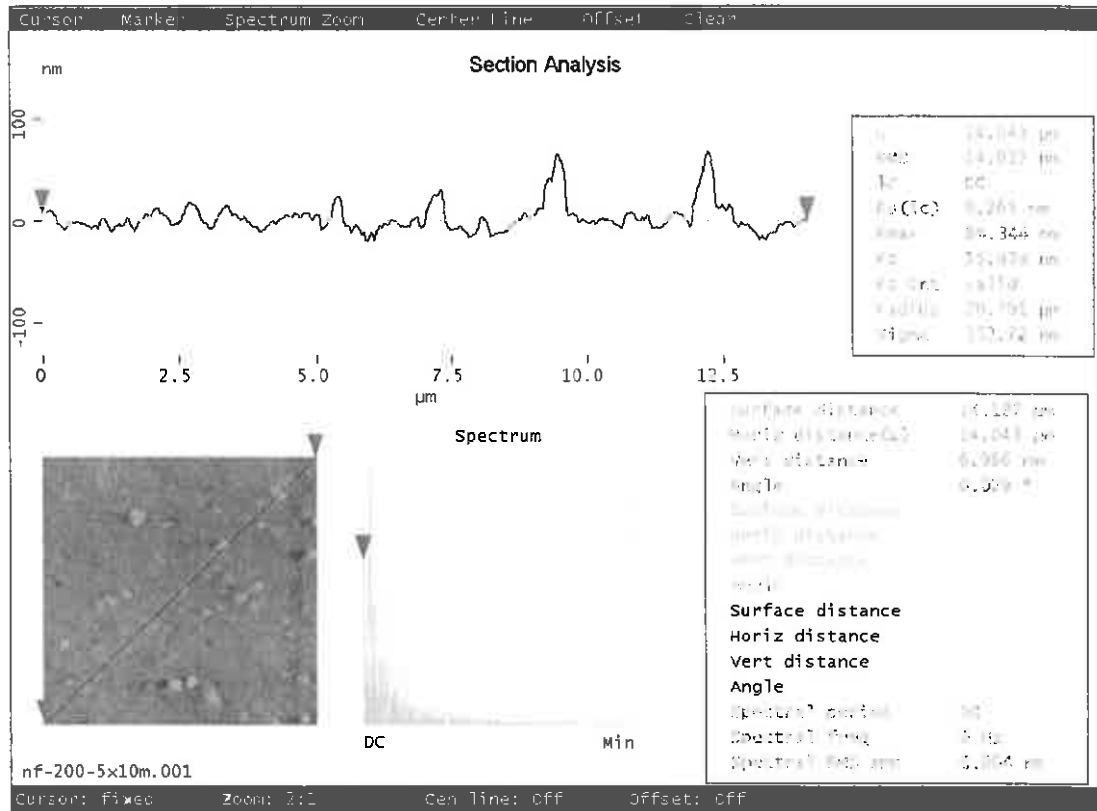
Şekil 2.23: NF 200 2. nolu deney membran AFM görüntüsü.



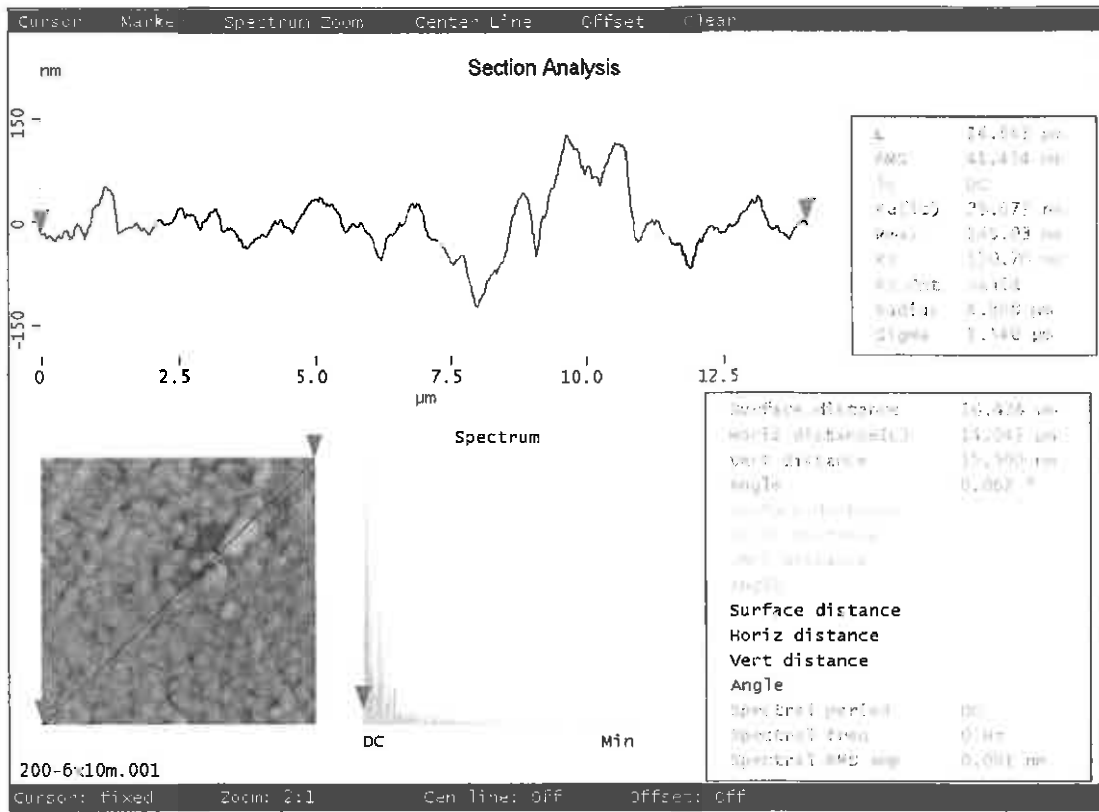
Şekil 2.24: NF 200 3. nolu deney membran AFM görüntüsü.



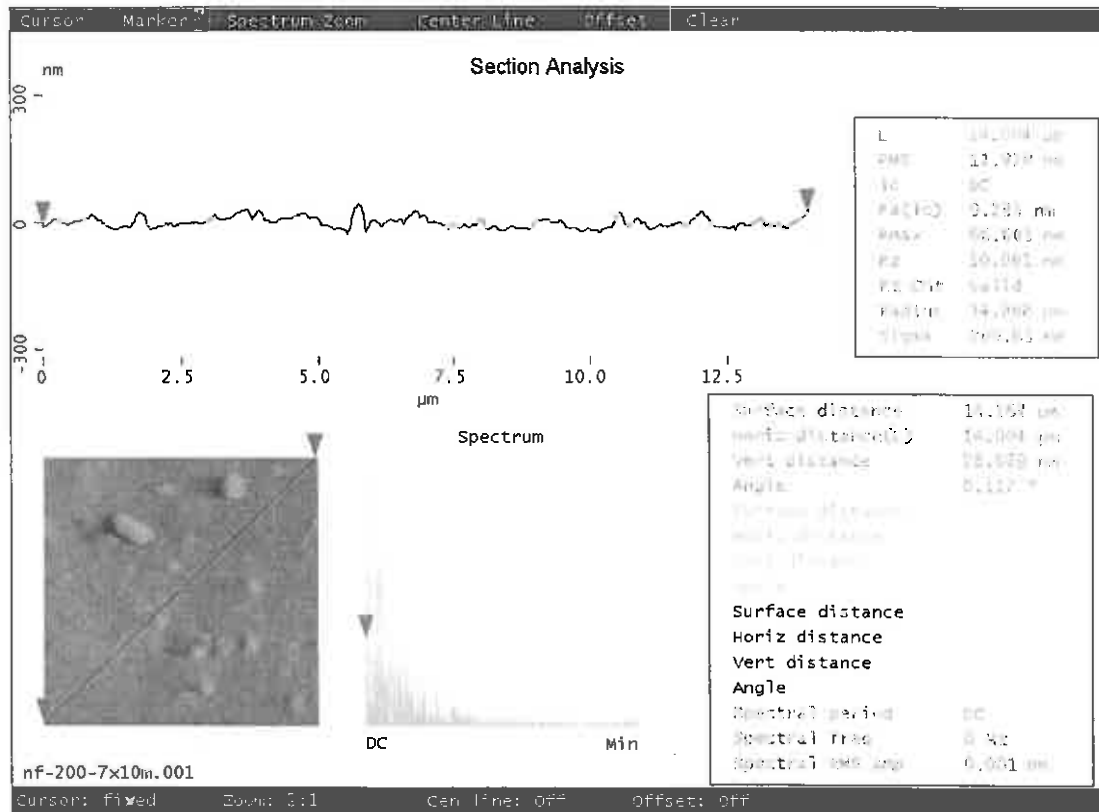
Şekil 2.25: NF 200 4. nolu deney membran AFM görüntüsü.



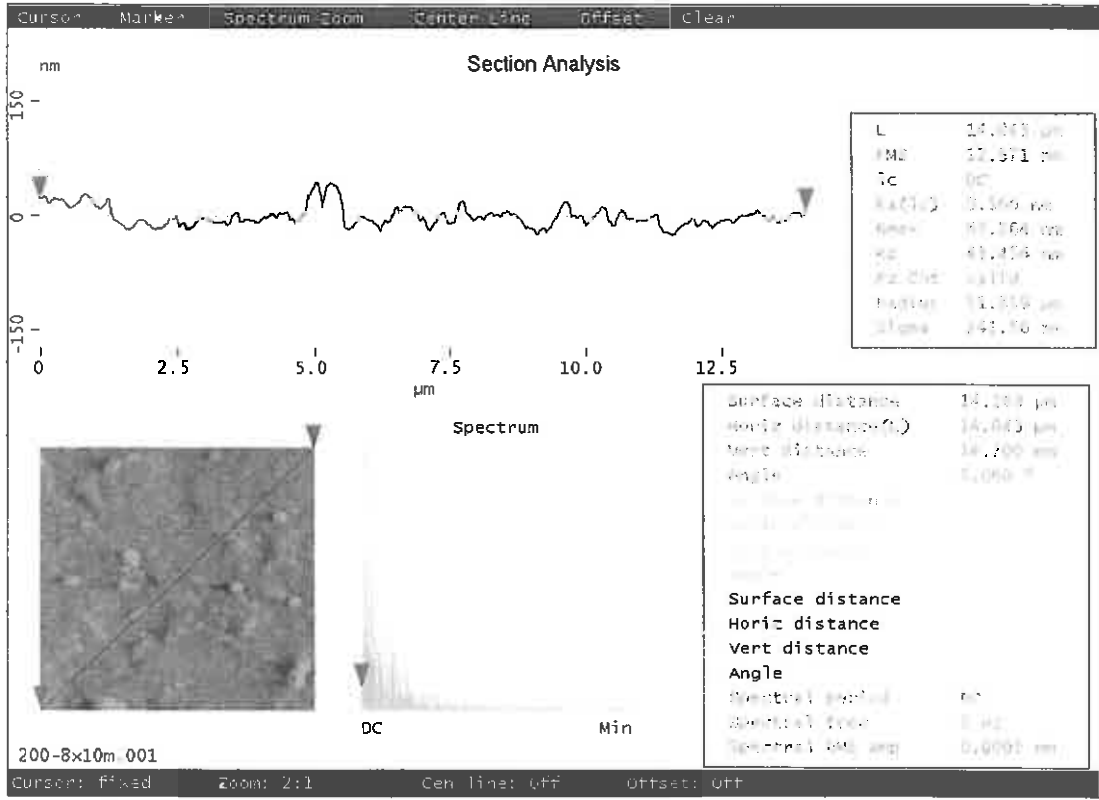
Şekil 2.26: NF 200 5. nolu deney membran AFM görüntüsü.



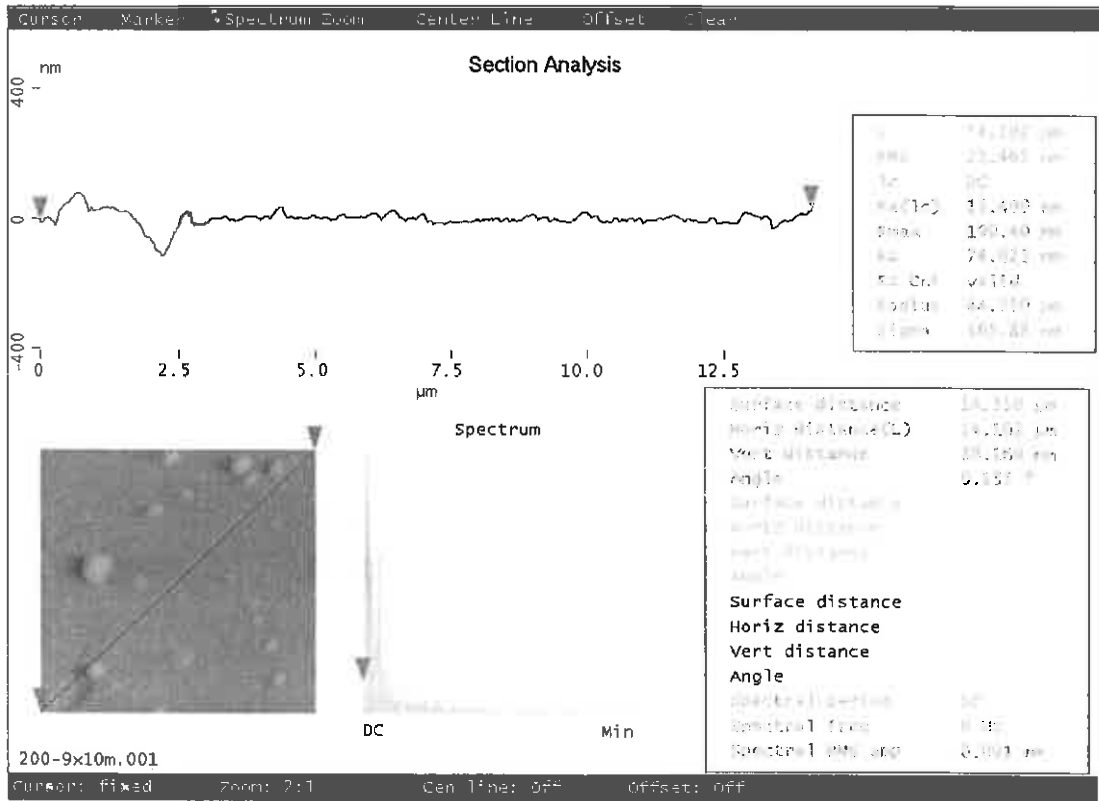
Şekil 2.27: NF 200 6. nolu deney membran AFM görüntüsü.



Şekil 2.28: NF 200 7. nolu deney membran AFM görüntüsü.

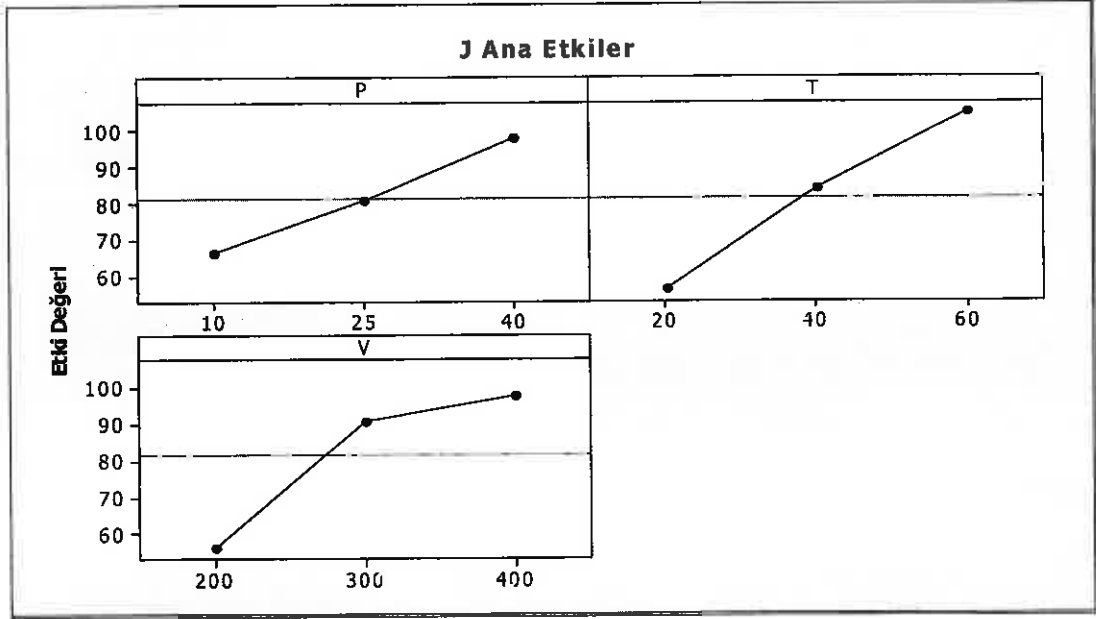


Şekil 2.29: NF 200 8. nolu deney membran AFM görüntüsü.

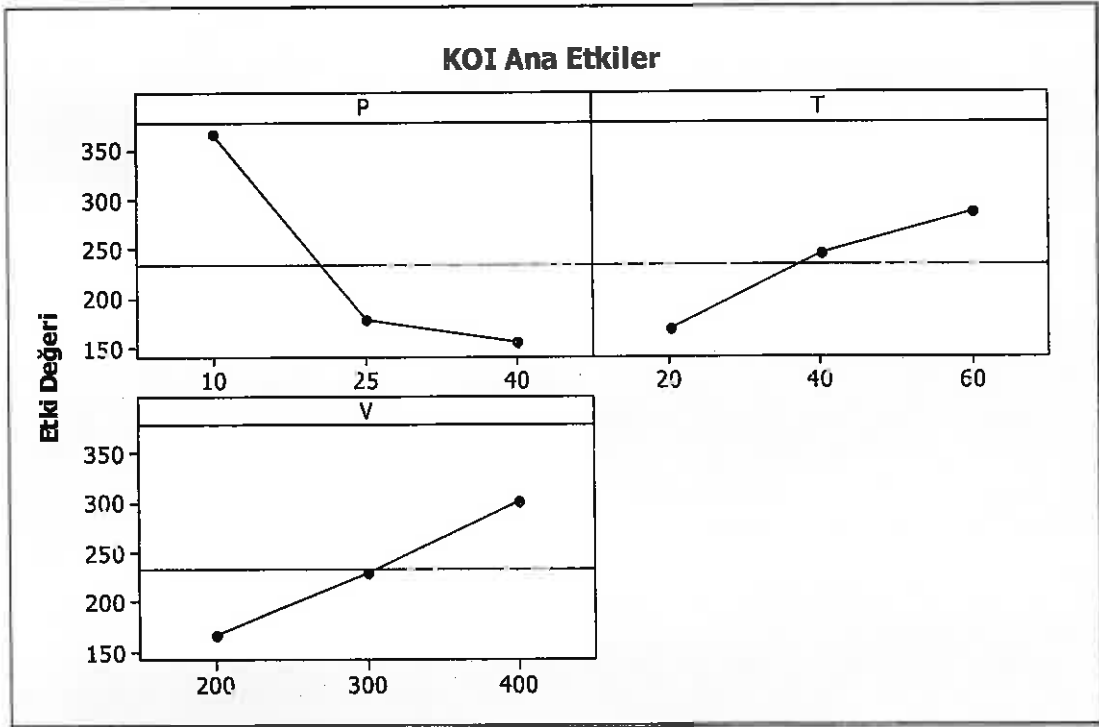


Şekil 2.30: NF 200 8. nolu deney membran AFM görüntüsü.

NF 200 ve NF 270'e ait çalışmaların istatistiksel değerlendirmeleri yapılmış, NF 200 için taguchi ana etkiler grafikleri aşağıdaki şekilde ve regresyon katsayıları tablo 2.11'de gösterilmiştir.



Şekil 2.31: NF 200 taguchi ana etkiler grafiği - J (Akı).



Şekil 2.32: NF 200 taguchi ana etkiler grafiği – KOİ.

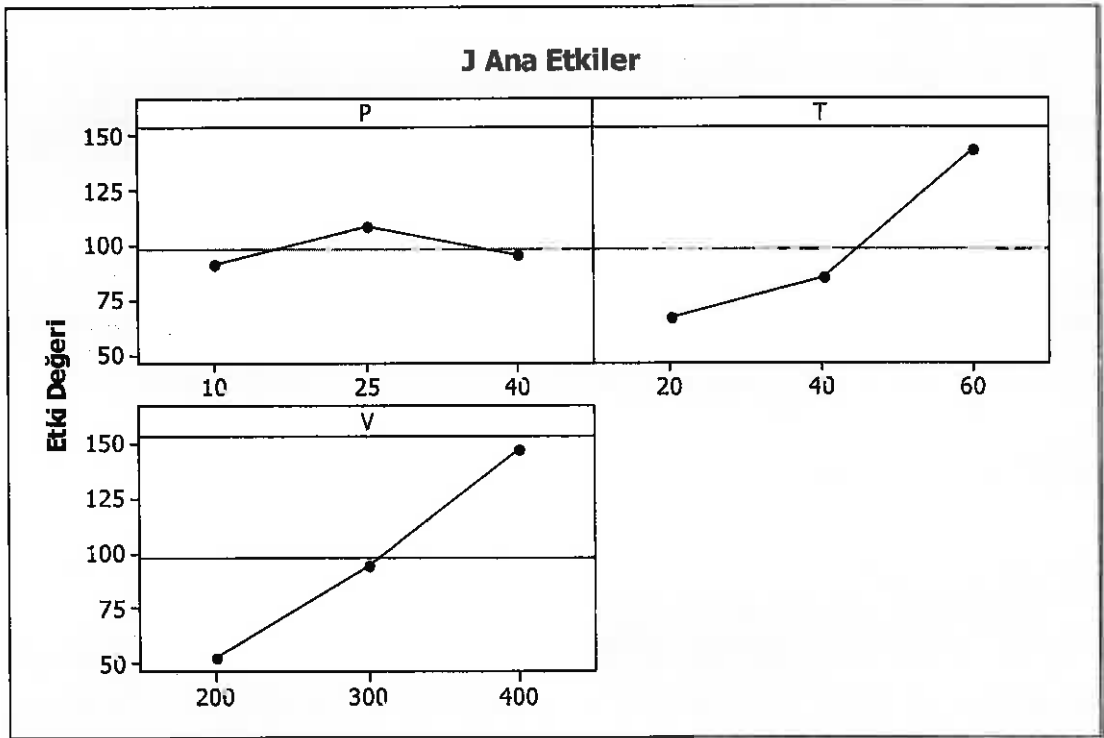
Tablo 2.11: NF 200 regrasyon katsayıları.

Birim	J (Akı) Regrasyon Katsayıları	KOİ Regrasyon Katsayıları
Sabit	-149,704	181,852
P	-8,58148	4,38519
T	4,35556	-0,0638889
V	1,19444	-0,491667
P*P	0,00518519	0,362963
T*T	-0,0500000	0,0829167
V*V	-0,00240000	0,00408333
P*T	0,0677778	-0,244444
P*V	0,0222222	-0,0660000

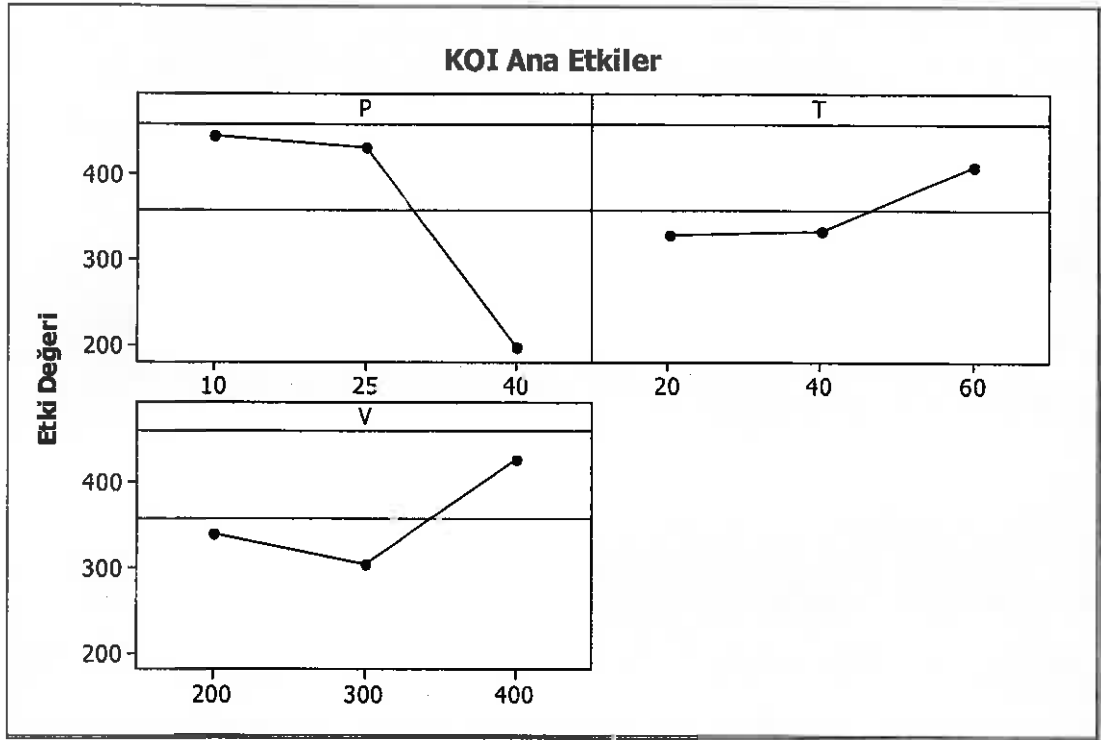
J ve KOİ için formül aşağıdaki gibidir.

- $J = -149,704 - 8,581P + 4,356T + 1,194V + 0,005P^2 - 0,050T^2 - 0,002V^2 + 0,068PT + 0,022PV$
- $KOİ = 181,852 + 4,385P - 0,064T - 0,492V + 0,363P^2 + 0,083T^2 + 0,004V^2 - 0,244PT - 0,066PV$

NF 270 için aynı sonuçlar aşağıdaki şekillerde ve tabloda verilmiştir.



Şekil 2.33: NF 270 taguchi ana etkiler grafiği - J (Akı).



Şekil 2.34: NF 270 taguchi ana etkiler grafiği – KOİ.

Tablo 2.12: NF 270 regresyon katsayıları.

Birim	J (Akı) Regresyon Katsayıları	KOİ Regresyon Katsayıları
Sabit	-20,4074	1248,37
P	-5,16296	11,6037
T	0,222222	10,7972
V	0,316667	-8,24500
P*P	-0,0696296	-0,494074
T*T	0,0108333	-0,00541667
V*V	-4,33333*10 ⁻⁴	0,0117167
P*T	0,0644444	-0,258889
P*V	0,0206667	0,0506667

J ve KOİ için formül aşağıdaki gibidir.

$$J = -20,407 - 5,163P + 0,222T + 0,317V - 0,070P^2 + 0,011T^2 - 4,333 \cdot 10^{-4}V^2 + 0,064PT + 0,021PV$$

$$KOİ = 1248,370 + 11,604P + 10,797T - 8,245V - 0,494P^2 - 0,005T^2 + 0,012V^2 - 0,259PT + 0,051PV$$

Yüzey cevap optimizasyon sonuçları NF 200 ve NF 270 için tablo 2.13’de gösterilmiştir.

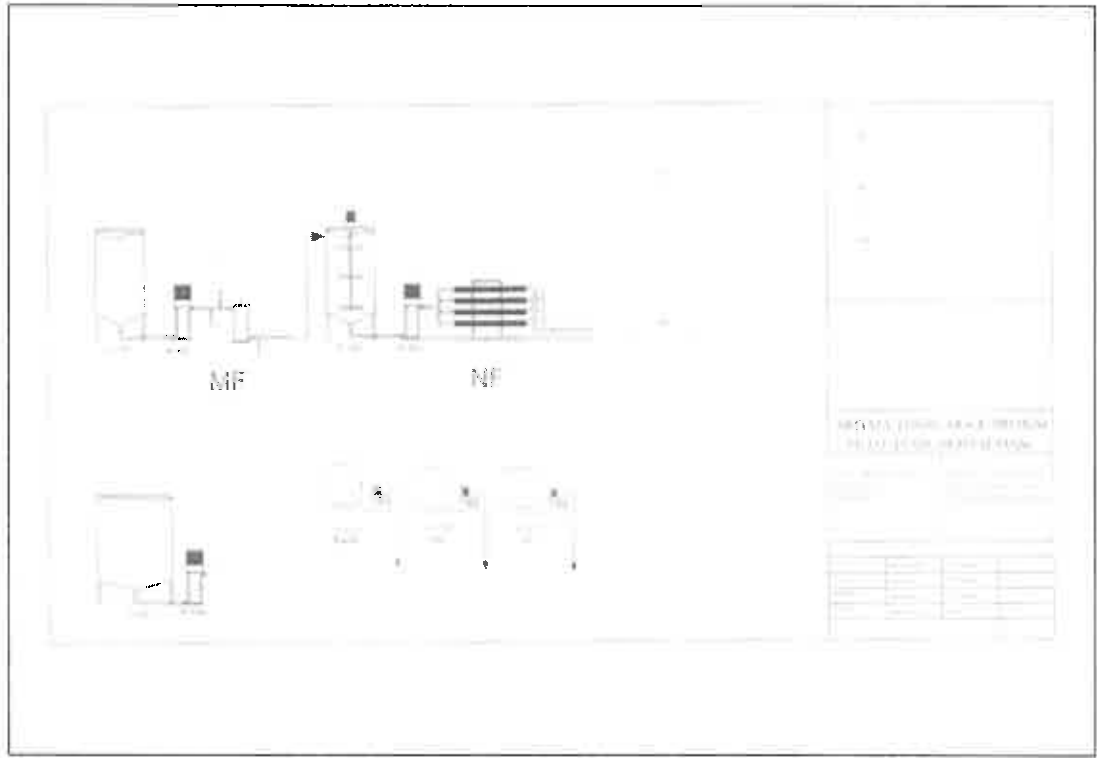
Tablo 2.13: Yüzey cevap optimizasyon sonucu.

Değer	Birim	NF 200	NF 270
Maximum J (Akı)	L/m ² .h	209	191
Minimum KOİ	mg/l	47	140

Not: Optimizasyon değerleri 40 bar, 60 °C ve 400 L/h değerlerinde alınmıştır.

2.2.4. NF 200 ve NF 270 Membranlarının Genel Değerlendirilmesi ve Pilot Membran Sistemi İçin Membran Seçimi

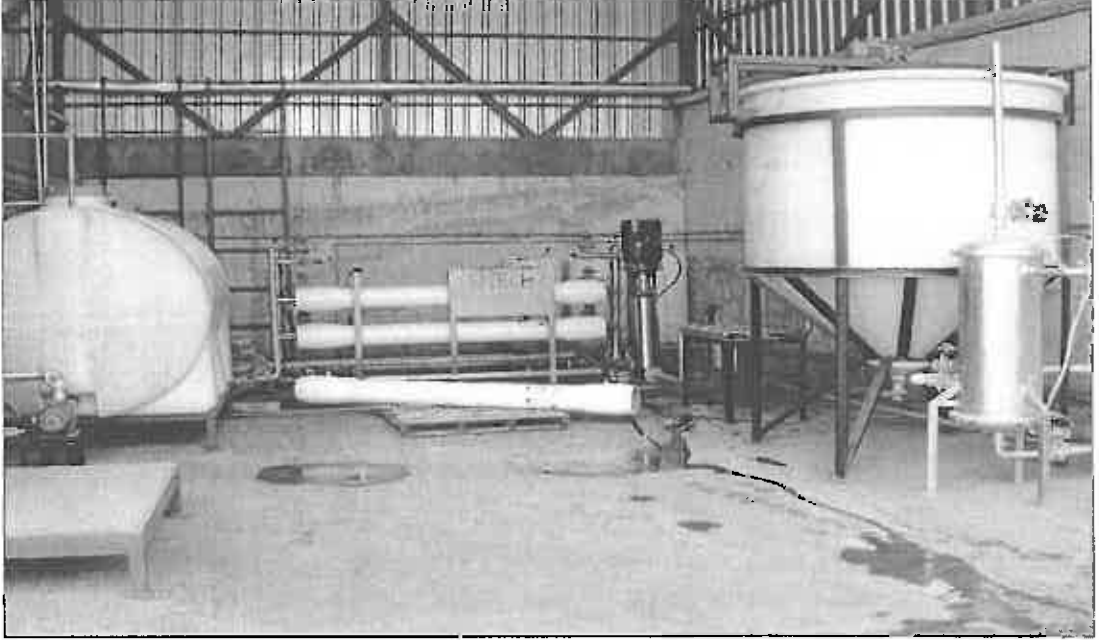
Tablo 2.9 ve tablo 2.10 incelendiğinde NF 200 membranlarının NF 270'e göre daha hidrofilik olduğu temas açısı ölçüm sonuçlarından görülmektedir. 9 farklı deneylerde temas açısı değişimleri incelendiğinde, NF 270 de temas açıları orijinal membranın temas açısına göre oldukça farklılıklar gösterirken (Tablo 2.9), NF 200 membranlarda temas açısı değişimleri oldukça az görülmektedir. Bu durum membran kirlenmesi açısından NF 200 membranlarının daha az kirlendiğini ifade etmektedir. NF 270 membranlarda temas açılarının oldukça büyük çıkması membran üzerindeki kirlenmenin hidrofobik özellik gösterdiği anlaşılmaktadır. Membran kirlenmesi açısından her iki membran karşılaştırıldığında boş membranlar açısından NF 270'in NF 200'e göre daha pürüzsüz olduğunu ifade etmektedir. AFM ölçümlerine göre, NF 200 membranların daha uygun olduğunu göstermektedir. Taguchi ana etkiler grafiği incelendiğinde (Şekil 2.31, 2.32) NF 200 için basınç sıcaklık ve teğetsel akış debisi arttıkça akının arttığı, KOİ çıkışı değerinin ise sıcaklık ve teğetsel debinin artışıyla arttığı, basınçta ise azaldığı gözlenmiştir. NF 270 membran için (Şekil 2.33, 2.34) küçük değişiklikler ile birlikte benzer etkiler görülmektedir. Tablo 2.13 Yüzey Cevap Optimizasyon sonuçları ekstrem şartlarda her iki membran için arzu edilen sonuçları vermektedir. Ancak, membranların maksimum çalışma sıcaklıklarının 45 dereceyi aşmasının yaratacağı sorunlar nedeniyle, uygulamada maksimum çalışma sıcaklığı 45 derece olarak alınmış ve pilot tesisin NF 200 membran ile yapılmasına karar verilmiştir. Laboratuvar sonuçları doğrultusunda yapımı düşünülen pilot akım diagramı Şekil 2.35'de gösterilmiştir. Bu pilot sistem kullanılarak optimum çalışma şartları ve detaylı membran kirlenmesine bağlı olarak geri yıkama periyotları ve kimyasal yıkama ihtiyacı olup olmadığı pilot tesis çalışmalarında gerçekleştirilmesi planlanmıştır.



Şekil 2.35: Pilot tesise ait diyagram.

3. PİLOT ÖLÇEK SİSTEMİ ÇALIŞMALARI VE EKONOMİK ANALİZ

Aşağıdaki şekillerde pilot tesis görülmektedir.



Şekil 3.1: Pilot tesis, genel görünüş.



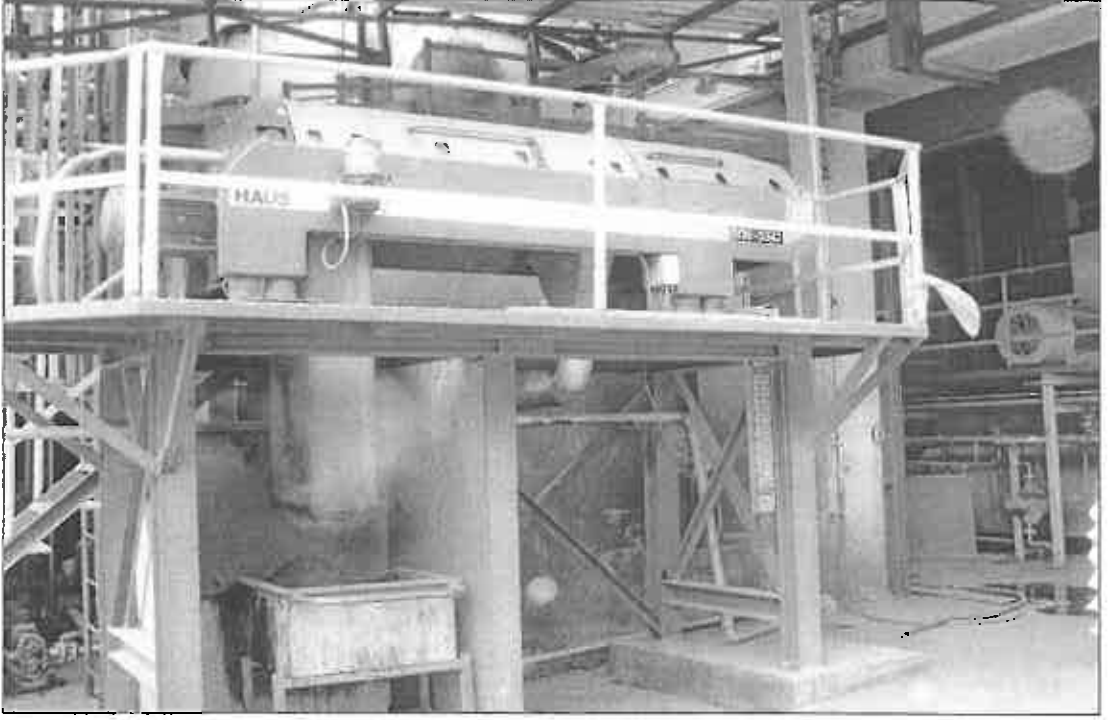
Şekil 3.2: Pilot tesis, ön filtrasyon.



Şekil 3.3: Pilot tesis, temiz su tankı.

Pilot tesis tam otomatik olup sistem mekanik elek besleme pompası, 10 mikronluk mekanik elekler, nanofiltrasyon besleme pompası, nanofiltrasyon membranı ve kılıfları, oransal kontrollü pinomatik aktüatörlü vana, basınç transmittleri ve debimetreler, geri yıkama pompası, kimyasal tanklar ve temiz su tankını içermektedir. Besleme tankına gelen su istenilen sıcaklığa getirildikten sonra bir pompa ile 10 mikronluk mekanik eleklerle basılarak dekantör sonrası alıkonulamayan 10 mikron ve üstü partiküller tutulur. Ara tanka gelen atıksu pH ayarlaması yapılarak nanofiltrasyon besleme pompası ile membran sistemine basılır. Temiz su (permeate) bir tankta toplanır ve analiz edilir. Kirli su (concentrate) besleme tankına geri verilir. Otomasyon sistemi ile membran sisteminin basınç kaybı gözlenerek geri yıkama periyodu belirlenir. Temiz su ile geri yıkama yapılabildiği gibi kimyasal yıkama ile de gerçekleştirilebilir.

Pilot tesise atıksu girmeden önce kaba partiküllerin alındığı dekantör sistemi de mevcuttur.



Şekil 3.4: Dekantör, genel görünüş.



Şekil 3.5: Dekantör, katı madde.

Pilot tesis çalışmaları sonucunda elde edilen sonuçlar ve tartışmalar aşağıdaki gibidir.

3.1. pH Etkisi

Membran sisteminde yüksek hidrofilik özellik gösteren DOW marka NF200 membranları kullanılmıştır. Çalışmalarda atıksuyun değişik pH değerlerinde membranların sahip olduğu pH derecesinin çok önemli bir parametre olduğu anlaşılmıştır. pH 4-5 değerlerindeki atıksu ile nötral pH değerine sahip atıksulardaki kirlilik (KOİ) alıkonma oranı ve iletkenlik değerlerinin değiştiği anlaşılmıştır. Refiner atıksularının sahip olduğu asidik şartlardaki ortalama analiz sonuçları Tablo: 3.1’de, nötral pH değerlerindeki ise Tablo:3.2’de yer almaktadır.

Tablo 3.1: Analiz sonuçları (asidik şartlarda, 20 bar, 40 °C, 3 L/(m²/h)).

Ölçülen Parametreler	Birim	Konsantre Analiz Sonucu	Permeate Analiz Sonucu	Giderim Oranı (%)
pH		4,79	4,81	
İletkenlik	µs/cm	1616	536	67
KOİ	mg/L	10745	870	92
Klorür	mg/L	388	87	78
Toplam Sertlik	mg/L	415	33	92
Fosfat	mg/L	90	1,82	98
Sülfat	mg/L	85	0,1	99
Formaldehit	mg/L	40	4	89

Tablo 3.2: Analiz sonuçları (nötral pH şartlarda, 20 bar, 40 °C, 5 L/(m²/h)).

Ölçülen Parametreler	Birim	Konsantre Analiz Sonucu	Permeate Analiz Sonucu	Giderim Oranı (%)
pH		7,2	7,2	
İletkenlik	µs/cm	1716	320	81
KOİ	mg/L	14040	276	98
Klorür	mg/L	284	35	88
Toplam Sertlik	mg/L	385	30	92
Fosfat	mg/L	85	0,8	99
Sülfat	mg/L	95	0,01	99
Formaldehit	mg/L	90	0,3	99

Tablolardan görüleceği üzere, nötral pH değerlerinde asidik değerlere göre %10 daha fazla organik alıkonmanın olduğu anlaşılmıştır. İletkenlik veriminde de %20 daha fazla gerçekleşmiştir. Ayrıca, akının da arttığı görülmüştür. Formaldehit gideriminin yaklaşık % 99 değerlerine ulaştığı anlaşılmıştır. Bunun sebebi olarak, refiner atıksularının asidik ortamda (pH4-5) sahip olduğu elektrik yükü nedeniyle membran yüzeyinde yarattığı elektrostatik itme (electrostatic repulsion) olarak gösterilebilir.

3.2. Giderim Verimi Açısından Değerlendirme

Tablo:3.2'deki nötral pH değerlerinde giderim verimi oranlarına baktığımızda KOİ gideriminin %98 oranında olduğu görülmüştür. Yüksek KOİ değerine sahip refiner atıksuları için klasik kimyasal arıtma ve biyolojik arıtma sistemleri ile karşılaştırıldığında bu giderim verimi çok önemli olmaktadır. Ayrıca, çıkan temiz suyun (permeate) bir kısmı besleme tankına geri verilerek çıkış değerlerinin daha da düşeceği görülmüştür. İletkenlik değerleri açısından irdelendiğinde, Tablo:3.2'e göre %81 oranında alıkonma oranı vardır. Toplam sertlik ve klorür giderim oranlarının da sırayla %92 ve %88 olduğu görülmüştür.

Tablo:3.2'deki değerlere göre nötral pH şartlarında formaldehit giderim oranının %99 gibi önemli bir değer olduğu görülmüş, membranların formaldehit tutumunun yüksek olduğu anlaşılmıştır.

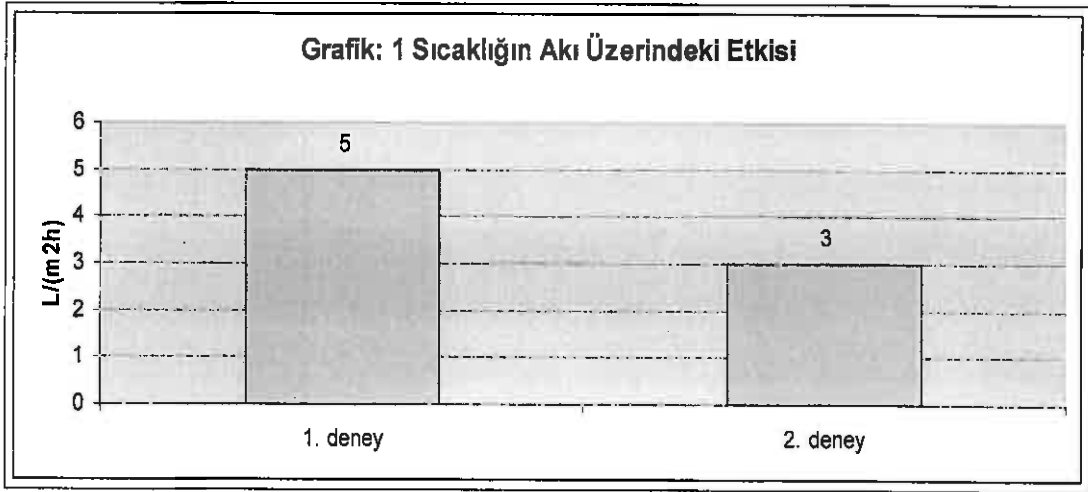
Fosfat, sülfat gibi yüksek değerlikli iyonların alıkonma oranlarının da formaldehit gibi yüksek olduğu anlaşılmıştır.

3.3. Sıcaklık Etkisi

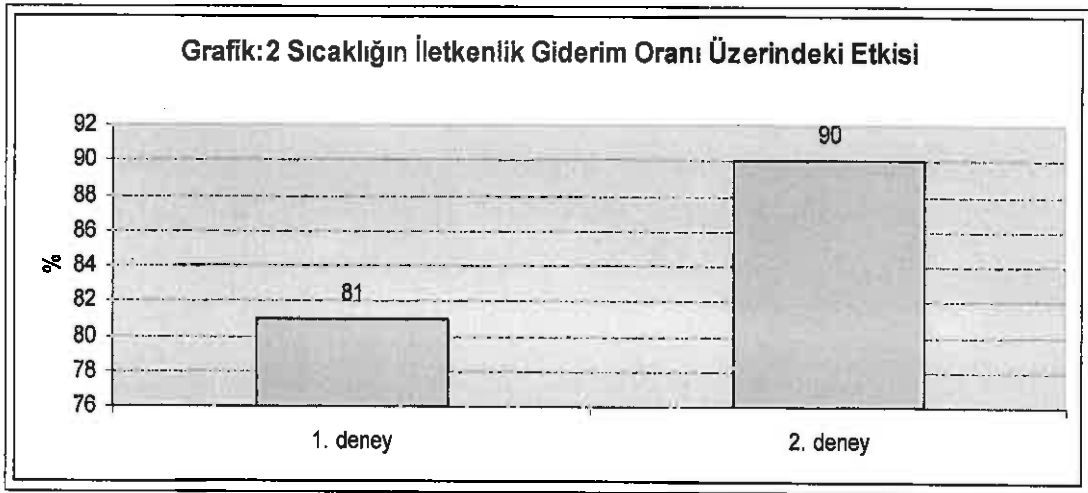
Tedarikçi firmanın verdiği bilgiye göre 45 derece sıcaklık üzerine çıkılmamıştır. Refiner prosesinden çıkan atıksuların ortalama sıcaklığı 45-50 derece kadardır. Bu atıksuların nanofiltrasyon membran sistemine giriş değerleri de mesafeden dolayı 40-45 derece arasında olmaktadır. Bundan dolayı atıksuların akı değerlerinin artmasını sağlamak maksadıyla ısıtılmasına gerek kalmamıştır. Fakat sıcaklığın 30 dereceye kadar düşmesi beklenerek çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalara göre sıcaklığın akı üzerinde etkisini Grafik:1'de görmekteyiz. KOİ

giderim oranı her iki şartta da yüksek olduğundan dolayı iletkenlik giderim oranı üzerinde etkisi incelenmiş ve Grafik:2’de verilmiştir.

- Deney Şartları: 20 bar, 40 derece ve nötral pH şartlarında
- Deney Şartları: 20 bar, 30 derece ve nötral pH şartlarında



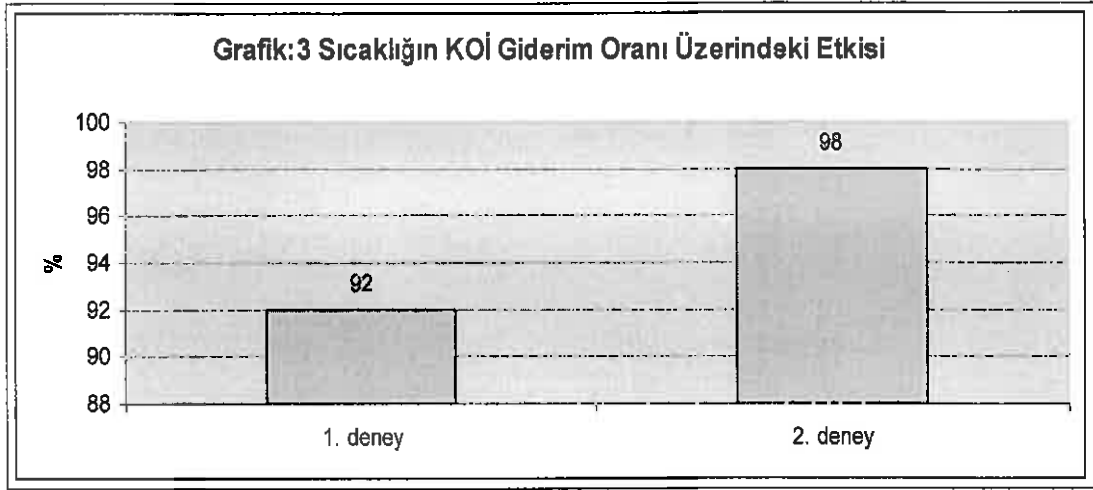
Şekil 3.6: Sıcaklığın akı üzerine etkisi.



Şekil 3.7: Sıcaklığın iletkenlik giderim oranı üzerindeki etkisi.

Sıcaklığın KOİ giderim oranına etkisi aynı deney şartlarında fakat asidik şartlarda çalışılmış ve Grafik:3’de belirtilmiştir.

Nötral pH koşullarında hangi sıcaklık olursa olsun formaldehit gideriminin yüksek olduğu görülmüştür. Toplam sertlik giderimlerinin de sıcaklık arttıkça bir miktar azaldığı fakat yine de yüksek oranlarda giderim verimi elde edilmiştir.



Şekil 3.8: Sıcaklığın KOİ giderim oranı üzerindeki etkisi.

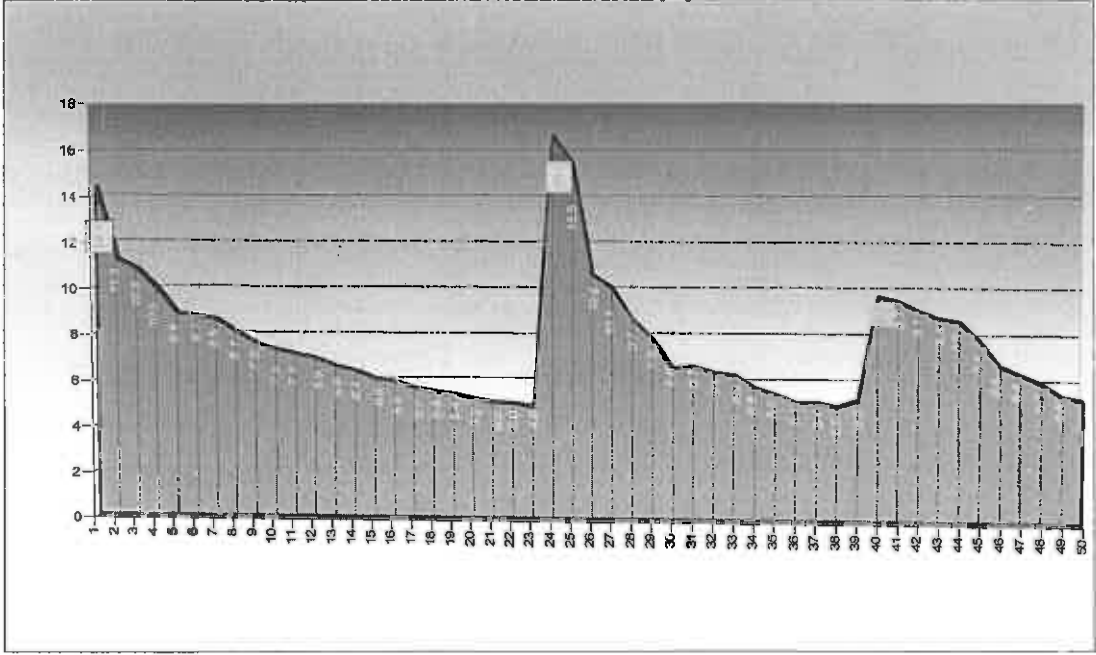
3.4. Basınç Etkisi

Membran 40 derece sıcaklık ve nötral pH koşullarında değişik çalışma basınçlarında çalıştırılmış olup, akı değerleri baz alınarak en uygun şartlar 20 barda elde edilmiştir. KOİ, iletkenlik, toplam serlik ve klorür verimlerinin basınç arttıkça yükseldiği (%10-15) de belirlenmiştir. Çalışma basıncı 10 bar olduğu zaman akı değerlerinin yarı yarıya ($2,5 \text{ L}/(\text{m}^2/\text{h})$) düştüğü gözlemlenmiştir.

3.5. Geri Kazanım ve Membran Kirlenmesi

Membran sisteminden çıkan kirli (konsantre) atıksuyun bir kısmı membran besleme tankına geri verilerek sistem sürekli çalıştırılmıştır. Dışarı alınan konsantre atıksu giren atıksuyun %20 si kadar olacak şekilde ayarlanmıştır. Geri yıkama zamanı belirlenmesinde membran sisteminden geçen suyun yarattığı basınç farkı ve membranın akı düşüşleri takip edilmiştir. Deney koşulları 20 bar, 40 derece ve nötral pH değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak sistemden %75-%80 oranlarında geri kazanımın mümkün olduğu anlaşılmıştır. Ortalama akı değeri $5 \text{ L}/(\text{m}^2/\text{h})$ elde edilmiştir. Geri kalan konsantre miktar MDF refiner ünitesi kurutma bölümüne verildiği için 160 kg/gün hammadde miktarı da geri kazanılmaktadır. Membranların zamana bağlı olarak oluşan akı takip edilmiştir. İlk önce akı yükselmeleri için temiz su flaşlama yapılmıştır. Fakat bunun akıyı arttırdığı, fakat etkisinin az olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak membranları temiz su ile değilde kimyasal yıkama yapılması gereklidir. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi günde en az bir defa kimyasal yıkama ihtiyacı doğmuştur.



Şekil 3.9: Kimyasal yıkama akı sonuçları.

3.6. Ekonomik Analiz

Ekonomik analiz yaparken konsantre atıksuyun buharlaştırma yoluyla bertaraf edilmesi dikkate alınmıştır.

Çıkan temiz su fabrikada ıslak baca gazı arıtma sisteminde make-up suyu olarak kullanılacaktır. Make-up suyu olarak hali hazırda yumuşatma üniteleri kullanılmaktadır. Günlük yıkama suyu, tuz sarfiyatı, operasyonel şartlar ile maliyetler ele alındığında 500 TL/gün kadar bir masraf vardır. Gerekli olan make-up suyu membran sistemi yatırımından sonra karşılanacağı için bu masraftan da kaçınılacaktır.

Konsantre atıksuyun fabrika içerisinde geri kazanımı da planlanmaktadır. Özellikle tutkal seyreltme olarak arge departmanımızın çalışmaları devam etmektedir.

Tablo 3.3: Ekonomik Analiz.

Besleme Debisi	100 m ³ /gün (5 m ³ /sa - 20 saatlik çalışma koşulları)
Temiz Su Debisi	75 m ³ /gün (3,75 m ³ /sa - 20 saatlik çalışma koşulları)
% Geri Kazanım	%75
Membran Alanı	740 m ²
Akı	8,5 l/m ² .s
Basınç	27 Bar
Yıkama Zamanı	12 saat
Ön Filtrasyon	Fan Separatör veya Dekantör (Sahada Mevcut)
Energy Tüketimi	0,5 \$ / m ³ (besleme)
Kimyasal Tüketimi	0,5 \$ / m ³ (besleme)
Membran Maliyeti	2 \$ / m ³ (besleme)
Buhar veya Kızgın Yağ Maliyeti (Buharlaştırma)	7 \$ / m ³ (besleme)
Personel Maliyeti	1,5 \$ / m ³ (besleme)
Toplam İşletme Maliyeti	11,5 \$ / m ³ (besleme)
Yatırım Maliyeti	308900 \$

4. DEĞERLENDİRME

Atıksuyun %75-80 miktarının geri kazanılabildiği, geri kazanılan temiz suyun baca gazı arıtma sisteminde veya soğutma kulelerinde make-up suyu olarak kullanılabileceği görülmüştür. Ayrıca, sistem dizaynında yapılacak değişikliklerle (örneğin nanofiltrasyon çıkışı reverse ozmoz sistemi konularak) ürün suyunun kazan besisi suyu olarak bile kullanılabileceği anlaşılmıştır. 160 kg/gün hammadde miktarının da kurutma da geri kazanıldığı belirlenmiştir.

Atıksuyun nötral pH koşullarında asidik koşullara göre membranın KOİ, iletkenlik ve formaldehit giderim oranlarının sırayla %10, %20 ve %12 arttığı anlaşılmıştır. Ayrıca, akı değerlerinin de arttığı belirlenmiştir.

Seçilen NF 200 membranların her koşulda KOİ, iletkenlik, formaldehit, klorür, toplam sertlik ve diğer iyonlarda yüksek alıkonma oranına sahip olmaktadır.

Çalışmalarda basınç ve sıcaklık arttıkça akının arttığı, KOİ ve iletkenlik çıkış değerinin ise sıcaklık artışıyla arttığı, basınçta ise azaldığı gözlenmiştir. Suyun ağırlıklı olarak baca gazı arıtma sistemi make-up suyunda kullanılacağından dolayı, çıkan değerlere göre bizim açıımızdan akı değerlerinin önemli olduğu, çalışma koşullarının yüksek sıcaklık (45 derece) ve yüksek basınç (20 bar) olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

Leiviska T., Ramö J., (2008), “Coagulation of wood extractives in chemical pulp bleaching filtrate by cationic polyelectrolytes”, Journal of Hazardous Materials, 153, 525-531.

Mulder M., (1996), “Basic Principles of Membrane Technology”, 1st Edition, Kluwe Academic Publisher.

Mika M., Teuvo P., Marianne N., (2004), “NF270, a new membrane having promising characteristics and being suitable for treatment of dilute effluents from the paper industry”, Journal of Membrane Science, 242, 107-116.

Pokhrel D., Viraraghavan T., (2004), “Treatment of pulp and paper mill wastewater”, Science of the Total Environment, 333, 37-58.

Web 1, (2012), <http://www.vsep.com/pdf/MediumDensityFiberboard.pdf>, (Eriřim Tarihi: 24/01/2014).

ÖZGEÇMİŞ

Yiğit GÜNGÖR 1979 yılında Ankara’da doğdu. İlkokulu Teğmen Kalmaz İlkokulu’nda Ortaokulu Gazi Osman Paşa’da tamamladı. 2003 yılında Orta Doğu Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2010 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü (GYTE) Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans eğitime başladı. 2006 yılı Ekim ayından itibaren Kastamonu Entegre Ağaç Sanayi ve Ticaret A.Ş. firmasında Çevre Şefi olarak çalışmaya devam etmektedir.