

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE’DE İÇME SUYU AMAÇLI BÜYÜK KAPASİTELİ
MEMBRAN SİSTEMLERİNİN MALİYET ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Paşa Hüseyin ARI**

Anabilim Dalı : Çevre Mühendisliği

Programı : Çevre Bilimleri ve Mühendisliği

Tez Danışmanı: Doç. Dr. İsmail KOYUNCU

HAZİRAN 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE’DE İÇME SUYU AMAÇLI BÜYÜK KAPASİTELİ
MEMBRAN SİSTEMLERİNİN MALİYET ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Paşa Hüseyin ARI
(501071721)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 15 Mayıs 2009

Tezin Savunulduğu Tarih : 03 Haziran 2009

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. İsmail KOYUNCU (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Cumali KINACI (İTÜ)
Prof. Dr. Bülent KESKİNLER (GYTE)**

HAZİRAN 2009

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, farklı özelliklerdeki su kaynaklarının büyük kapasiteli membran sistemlerle arıtılarak içme suyu haline getirilmesinin Türkiye’de ki maliyetleri incelenmiştir. Toplam 135 farklı membran sistemi tasarımı yapılarak işletme, ilk yatırım ve toplam üretim maliyetleri belirlenmiştir. Çıkan sonuçlar değerlendirilerek maliyetlere kolaylıkla ulaşabilmek için maliyet denklemleri katsayı tabloları oluşturulmuştur. Bu çalışmanın yerel şartlar gözönünde bulundurulduğunda büyük kapasiteli membran sistemlerinin işletme ve ilk yatırım maliyetlerine erişiminde kolaylık sağlamasını diliyorum.

Tezim boyunca bana yol gösteren, kaynak sağlayan ve yardımlarını esrigemeyen sayın hocam Doç. Dr. İsmail KOYUNCU’ya teşekkürlerimi sunarım.

Lokal malzeme fiyatlarını temin etmemde bana yardımcı olan meslektaşlarım Koray Pullukçu, Ayşe Sümer ve Nurçin Tunçdöken’e teşekkür ederim.

Bu çalışma süresince beni destekleyen aileme ve yakınlarıma çok teşekkür ederim.

Mayıs 2009

Paşa Hüseyin Arı
(Çevre Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Anlam ve Önemi	1
1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	2
2. İÇME SUYU ARITMA YÖNTEMLERİ	5
2.1 Konvansiyonel Yöntemler.....	6
2.2 İleri Arıtma Yöntemleri.....	8
3. MEMBRAN PROSESLER	11
3.1 Mikrofiltrasyon	14
3.2 Ultrafiltrasyon	15
3.3 Nanofiltrasyon.....	16
3.4 Ters Osmoz	16
3.5 İçme Suyu Amaçlı Membran Sistemlerinin Maliyeti	18
4. MEMBRAN PROSESLERİN TASARLANMASI VE MALİYET ANALİZ	
METODLARI.....	21
4.1 Projeksiyon Programının Tanıtımı.....	21
4.1.1 Tasarım denklemleri.....	21
4.1.2 Projeksiyon programının kullanımı.....	25
4.1.2.1 Ham su verilerinin girilmesi	25
4.1.2.2 Tasarımın yapılması	26
4.1.2.3 Tasarım sonuçlarının değerlendirilmesi.....	27
4.2 Maliyet Analiz Metodları.....	29
4.2.1 İlk yatırım maliyetinin kapsamı	30
4.2.1.1 Arazi temini.....	30
4.2.1.2 Proje bedeli	30
4.2.1.3 İnşaat işleri	30
4.2.1.4 Kullanılan ekipmanlar	31
4.2.1.5 Elektrik işleri.....	34
4.2.1.6 Mekanik işler.....	34
4.2.1.7 Ön arıtma.....	34
4.2.2 İşletme maliyetinin kapsamı	35
4.3 Ham Su Karakterlerine Göre Yapılan Tasarımlarda Esas Alınan Faktörler ...	37
4.3.1 Kuyu sularının arıtımında esas alınan faktörler	37
4.3.2 Yüzeysel suların arıtımında esas alınan faktörler	39

4.3.3 Denizlerden membran proseslerle içme suyu üretiminde esas alınan faktörler.....	41
5. MALİYETLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	43
5.1 Kuyu Suyundan Membran Proseslerle İçme Suyu Üretiminin Maliyet Değerlendirmesi.....	43
5.2 Yüzeysel Su Kaynaklarından Membran Proseslerle İçme Suyu Üretiminin Maliyet Değerlendirmesi	52
5.3 Denizlerden Membran Proseslerle İçme Suyu Üretiminin Maliyet Değerlendirmesi.....	60
5.4 Ters Osmoz Sistemlerinin Oransal Maliyet Değerlendirmesi.....	72
6. SONUÇLAR	77
KAYNAKLAR.....	81
EKLER.....	83
ÖZGEÇMİŞ	93

KISALTMALAR

A	: Membran Yüzey alanı
ED	: Elektrodializ
FF	: Tıkanma Faktörü
FRP	: Fiber Katkılı Polyester
MF	: Mikrofiltrasyon
MFRC	: Membran Akısı Alıkonma Katsayısı
mSS	: Metre Su Sütunu
MWC	: Moleküler Ağırlık Engelleme Sınırı
NF	: Nanofiltrasyon
NTU	: Bulanıklık Birimi
PCF	: Basınç Füzeltme Faktörü
PLC	: Programlanabilir Merkezi Kontrol Ünitesi
PVC	: Polivinilklorür
R	: Geri Kazanım Oranı
RO	: Ters Osmoz
SDI	: Gözle Görülemeyen Bulanıklık
SMBS	: Sodyum Metabisülfid
TCF	: Sıcaklık Düzeltme Faktörü
TDS	: Toplam Çözünmüş Madde
TEDAŞ	: Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş
THM	: Trihalometan
UF	: Ultrafiltrasyon
UV	: Ultraviyole

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 : Sürücü kuvvetlerine göre membranlar	12
Çizelge 3.2 : Farklı modül tiplerinin avantaj ve dezavantajları	13
Çizelge 3.3 : Farklı modül tiplerinin avantaj ve dezavantajları	14
Çizelge 3.4 : Çeşitli ters osmoz içme suyu üretim tesislerinin birim su maliyetleri.....	20
Çizelge 4.1 : Tasarımlarda kullanılan ters osmoz membran özellikleri.	31
Çizelge 4.2 : Tasarımlarda kullanılan nanofiltrasyon membran özellikleri.....	32
Çizelge 4.3 : Tasarımlarda kullanılan ultrafiltrasyon membran özellikleri.....	32
Çizelge 4.4 : Kimyasal madde birim fiyatları	37
Çizelge 4.5 : Farklı tuzluluk değerlerinde ki kuyu sularının kimyasal analizleri.....	38
Çizelge 5.1 : Kuyu suyundan içme ve kullanma suyu üretiminde farklı tasarımların maliyet denklemi katsayıları.....	53
Çizelge 5.2 : Yüzeysel su kaynaklarından içme ve kullanma suyu üretiminde farklı tasarımların maliyet denklemi katsayıları.....	61
Çizelge 5.3 : Denizlerden içme ve kullanma suyu üretiminde farklı tasarımların maliyet denklemi katsayıları.....	72
Çizelge A.1.1 : Kuyu suyundan içme ve kullanma suyu üretiminde farklı tasarımların maliyet denklemi katsayıları.....	84
Çizelge A.1.2 : Yüzeysel sulardan içme ve kullanma suyu üretiminde farklı tasarımların maliyet denklemi katsayıları.....	87
Çizelge A.1.3 : Denizlerden içme ve kullanma suyu üretiminde farklı tasarımların maliyet denklemi katsayıları.....	90

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1 : Membran filtrasyonu.....	11
Şekil 3.2 : Osmoz ve ters osmoz prosesleri.....	17
Şekil 3.3 : Birim su maliyetlerinin yıllara göre değişimi.....	20
Şekil 4.1 : Langelier doygunluk endeksinin hesaplanması için sayısal bağıntılar.....	24
Şekil 4.2 : Stiff and Davis iyonik güç ve sıcaklıkla K değeri değişimi.....	25
Şekil 4.3 : IMS Design ham su analizinin girildiği ekranın görüntüsü.....	26
Şekil 4.4 : IMS Design programında tasarımın yapıldığı ekranın görüntüsü.....	27
Şekil 4.5 : IMS Design programı sonuç ekranın görüntüsü	28
Şekil 4.6 : IMS Design UF tasarım ekranı görüntüsü	29
Şekil 5.1 : Farklı tuzluluklarda kuyu sularından ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde işletme maliyetlerinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi	44
Şekil 5.2 : Farklı tuzluluklarda kuyu sularından ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde ilk maliyetlerinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi	44
Şekil 5.3 : Farklı tuzluluklarda kuyu sularından ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde toplam üretim maliyetlerinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.....	45
Şekil 5.4 : TDS = 1000 ppm olan kuyu sularının arıtımında seçilen membran prosesin NF ve RO olması durumlarında ki İşletme maliyetlerinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi	45
Şekil 5.5 : TDS = 1000 ppm olan kuyu sularının arıtımında seçilen membran prosesin NF ve RO olması durumlarında ki ilk yatırım maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.....	46
Şekil 5.6 : TDS = 1000 ppm olan kuyu sularının arıtımında seçilen membran prosesin NF ve RO olması durumlarında ki toplam üretim maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi	46
Şekil 5.7 : TDS = 1000 ppm olan kuyu suyundan ters osmoz sistemiyle içme suyu üretiminde ön arıtmanın kum filtre ve mekanik filtre olması durumlarında ki ilk yatırım maliyetinin sistem kapasitesiyle ilişkisi....	47
Şekil 5.8 : TDS = 2000 ppm olan kuyu suyundan ters osmoz sistemiyle içme suyu üretiminde ön arıtmanın kum filtre ve mekanik filtre olması durumlarında ki ilk yatırım maliyetinin sistem kapasitesiyle ilişkisi.....	47
Şekil 5.9 : TDS = 5000 ppm olan kuyu suyundan ters osmoz sistemiyle içme suyu üretiminde ön arıtmanın kum filtre ve mekanik filtre olması durumlarında ki ilk yatırım maliyetinin sistem kapasitesiyle ilişkisi....	48
Şekil 5.10 : TDS = 5000 ppm olan kuyu suyundan ters osmoz sistemiyle içme suyu üretiminde ön arıtmanın kum filtre ve mekanik filtre olması durumlarında ki ilk yatırım maliyetinin sistem kapasitesiyle ilişkisi.....	48

Şekil 5.11	: TDS = 1000 ppm olan kuyu suyunun ters osmozla arıtılması sonucu oluşan ürün suyunu farklı iletkenlik değerlerinde paçal yapmanın işletme maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.....	49
Şekil 5.12	: TDS = 2000 ppm olan kuyu suyunun ters osmozla arıtılması sonucu oluşan ürün suyunu farklı iletkenlik değerlerinde paçal yapmanın işletme maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.....	49
Şekil 5.13	: TDS = 5000 ppm olan kuyu suyunun ters osmozla arıtılması sonucu oluşan ürün suyunu farklı iletkenlik değerlerinde paçal yapmanın işletme maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.....	50
Şekil 5.14	: TDS = 10000 ppm olan kuyu suyunun ters osmozla arıtılması sonucu oluşan ürün suyunu farklı iletkenlik değerlerinde paçal yapmanın işletme maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.....	50
Şekil 5.15	: TDS = 1000 ppm olan kuyu suyunu arıtacak ters osmoz sisteminin tasarımında derin kuyu pompalarının sisteme dahil edilme ve edilmeme durumları için işletme maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi	51
Şekil 5.16	: TDS = 1000 ppm olan kuyu suyunu arıtacak ters osmoz sisteminin tasarımında derin kuyu pompalarının sisteme dahil edilme ve edilmeme durumları için ilk yatırım maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.....	51
Şekil 5.17	: TDS = 1000 ppm olan kuyu suyunu arıtacak ters osmoz sisteminin tasarımında derin kuyu pompalarının sisteme dahil edilme ve edilmeme durumları için toplam üretim maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.....	52
Şekil 5.18	: Farklı bulanıklık değerlerindeki yüzeysel su kaynaklarından ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde işletme maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.....	54
Şekil 5.19	: Farklı bulanıklık değerlerindeki yüzeysel su kaynaklarından ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde ilk yatırım maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi	55
Şekil 5.20	: Farklı bulanıklık değerlerindeki yüzeysel su kaynaklarından ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde toplam üretim maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.....	55
Şekil 5.21	: Farklı bulanıklık değerlerindeki yüzeysel su kaynaklarından ultrafiltrasyon ve ters osmoz sistemleriyle içme suyu üretiminde işletme maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.....	56
Şekil 5.22	: Farklı bulanıklık değerlerindeki yüzeysel su kaynaklarından ultrafiltrasyon ve ters osmoz sistemleriyle içme suyu üretiminde ilk yatırım maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.....	56
Şekil 5.23	: Farklı bulanıklık değerlerindeki yüzeysel su kaynaklarından ultrafiltrasyon ve ters osmoz sistemleriyle içme suyu üretiminde toplam üretim maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.....	57
Şekil 5.24	: Bulanıklığı 5 NTU olan kuyu sularının arıtımında seçilen membran prosesin nanofiltrasyon ve ters osmoz olması durumlarındaki işletme maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.....	57
Şekil 5.25	: Bulanıklığı 5 NTU olan kuyu sularının arıtımında seçilen membran prosesin nanofiltrasyon ve ters osmoz olması durumlarında ki ilk yatırım maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi	58

Şekil 5.26	: Bulanıklığı 5 NTU olan kuyu sularının arıtımında seçilen membran prosesin nanofiltrasyon ve ters osmoz olması durumlarında ki toplam üretim maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi	58
Şekil 5.27	: Yüzeysel suyun bulanıklığının 5 NTU, ön arıtultrafiltrasyonla yapıldığı durumlarda seçilen membran prosesin ters osmoz ve nanofiltrasyon olduğu durumlarda işletme maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.....	59
Şekil 5.28	: Yüzeysel suyun bulanıklığının 5 NTU, ön arıtmanın ultrafiltrasyonla yapıldığı durumlarda seçilen membran prosesin ters osmoz ve nanofiltrasyon olduğu durumlarda ilk yatırım maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.....	59
Şekil 5.29	: Yüzeysel suyun bulanıklığının 5 NTU, ön arıtmanın ultrafiltrasyonla yapıldığı durumlarda seçilen membran prosesin ters osmoz ve nanofiltrasyon olduğu durumlarda toplam üretim maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.....	60
Şekil 5.30	: Farklı akılarda Akdeniz'den ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde işletme maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi	62
Şekil 5.31	: Farklı akılarda Akdeniz'den ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde ilk yatırım maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.	62
Şekil 5.32	: Farklı akılarda Akdeniz'den ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde toplam üretim maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi	63
Şekil 5.33	: Farklı akılarda Marmara'dan ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde işletme maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.....	64
Şekil 5.34	: Farklı akılarda Marmara'dan ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde ilk yatırım maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.	64
Şekil 5.35	: Farklı akılarda Marmara'dan ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde toplam üretim maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.....	65
Şekil 5.36	: Farklı akılarda Karadeniz'den ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde işletme maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.....	66
Şekil 5.37	: Farklı akılarda Karadeniz'den ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde ilk yatırım maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi	66
Şekil 5.38	: Farklı akılarda Karadeniz'den ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde toplam üretim maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi	67
Şekil 5.39	: 15,6 l/m ² /sa akı değeri için farklı denizlerden ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde işletme maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi	67
Şekil 5.40	: 15,6 l/m ² /sa akı değeri için farklı denizlerden ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde ilk yatırım maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.....	68
Şekil 5.41	: 15,6 l/m ² /sa akı değeri için farklı denizlerden ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde toplam üretim maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi	68

Şekil 5.42 :	13,3 l/m ² /sa akı değeri için farklı denizlerden ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde işletme maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi	69
Şekil 5.43 :	13,3 l/m ² /sa akı değeri için farklı denizlerden ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde ilk yatırım maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi	69
Şekil 5.44 :	13,3 l/m ² /sa akı değeri için farklı denizlerden ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde toplam üretim maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi	70
Şekil 5.45 :	11,7 l/m ² /sa akı değeri için farklı denizlerden ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde işletme maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi	70
Şekil 5.46 :	11,7 l/m ² /sa akı değeri için farklı denizlerden ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde ilk yatırım maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.....	71
Şekil 5.47 :	11,7 l/m ² /sa akı değeri için farklı denizlerden ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde toplam üretim maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.....	71
Şekil 5.48 :	Ön arıtmalı derin kuyu pompasız kuyu suyu ters osmoz sistemlerinin ilk yatırım ve işletme maliyeti oranları, işletme maliyeti bileşenleri.....	73
Şekil 5.49 :	Ön arıtmalı derin kuyu pompalı kuyu suyu ters osmoz sistemlerinin ilk yatırım ve işletme maliyeti oranları, işletme maliyeti bileşenleri.....	74
Şekil 5.50 :	Konvansiyonel ön arıtmalı yüzeysel su ters osmoz sistemlerinin ilk yatırım ve işletme maliyeti oranları, işletme maliyeti bileşenleri	74
Şekil 5.51 :	Ultrafiltrasyon ile ön arıtmalı yüzeysel su ters osmoz sistemlerinin ilk yatırım ve işletme maliyeti oranları, işletme maliyeti bileşenleri.....	74
Şekil 5.52 :	Akdeniz'den ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretmenin ilk yatırım ve işletme maliyeti oranları, işletme maliyeti bileşenleri.....	75
Şekil 5.53 :	Marmara'dan ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretmenin ilk yatırım ve işletme maliyeti oranları, işletme maliyeti bileşenleri.....	75
Şekil 5.54 :	Karadeniz'den ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretmenin ilk yatırım ve işletme maliyeti oranları, işletme maliyeti bileşenleri.....	75

TÜRKİYE’DE İÇME SUYU AMAÇLI BÜYÜK KAPASİTESLİ MEMBRAN SİSTEMLERİNİN MALİYET ANALİZİ

ÖZET

Artan dünya nüfusu ve su talebiyle birlikte su kaynakları; miktar ve kalite açısından oldukça ciddi sorunlarla karşı karşıyadır. Bu durum küresel bir su krizini gündeme getirmiştir. Yeni teknolojilerin kullanımı ile tuzluluğu yüksek kuyu sularını, yüzeysel suları, deniz sularını ve hatta atıksuları arıtarak içme ve kullanma suyu haline getirmek mümkündür. Bunun içinde son yıllarda kullanılan en etkili yöntem membran sistemler ile ileri arıtma tekniğidir. Ters osmoz, nanofiltrasyon, ultrafiltrasyon ve mikrofiltrasyon en yaygın kullanılan membran prosesleridir.

Bu çalışmada, farklı kimyasal ve fiziksel özelliklerdeki su kaynaklarının büyük kapasiteli membran sistemlerle arıtılarak içme suyu haline getirilmesinin maliyetleri incelenmiştir. Tuzlu kuyu sularının, yüzeysel sularının ve Türkiye denizlerinin membran sistemlerle arıtılmasının birim su maliyetleri hesaplanıp karşılaştırılmıştır. Bütün tasarımlar 1000 m³/gün, 5000 m³/gün, 10.000 m³/gün , 100.000 m³/gün ve 300.000 m³/gün kapasiteli sistemlere göre ayrı ayrı yapılmıştır.

Kuyu sularında, 4 farklı tuzluluktaki ham suyun arıtılmasının maliyet analizi yapılmıştır. Membran öncesi, ön arıtma olarak mekanik ve kum filtre kullanılması durumları, ürün suyu tuzluluk değerlerinin 3 farklı değerde elde edilmesi ve derin kuyu pompalarının maliyete dahil edilip edilmemesi durumları incelenmiştir.

Yüzeysel sularda 3 farklı bulanıklıkta, ön arıtmanın konvansiyonel bir sistem olan çöktürme ve kum filtresi veya yine bir membran proses olan ultrafiltrasyon sistemi olması durumlarına göre maliyet analizleri yapılmıştır.

Marmara, Akdeniz ve Ege denizlerinin tuzluluğunun içilebilir değerlere getirilmesinin maliyet analizleri yapılırken deniz suyu arıtımında maliyetle doğrudan ilgili olan membran akıları 3 farklı değer seçilerek hesaplanmıştır. Elde edilen verilerle, farklı kimyasal ve fiziksel yapıdaki suların birbirleriyle kıyaslanması ve bu sistemlerin kendi içlerinde farklı tasarımlarının maliyete etkisi incelenmiştir.

COST ANALYSIS FOR DRINKING WATER WITH LARGE SCALE MEMBRANE SYSTEMS IN TURKEY

SUMMARY

Along with the increasing world population and the demand of water, the water sources are faced with considerably serious problems in terms of quantity, quality and all other sector-specific usages. This situation brings up a global water crisis/problem. With the use of new technology, high-salinity water wells, surface water, sea water and even drinking water in wastewater treatment can be made. Thus, today, the most effective method used in recent years is the membrane systems with the advanced treatment techniques. Reverse osmosis, nanofiltration, ultrafiltration and microfiltration are the most widely used membrane processes.

In this thesis, different chemical and physical properties of the water resources of drinking water is treated with large scale membrane system into the costs were examined the treatment of saline water, surface water and sea of Turkey with membrane systems and the unit water costs of this treatment are calculated and compared. All designs were made separately according to 1000 m³/day, 5000m³/day, 10.000m³/day,100.000m³/day and 300.000 m³/day system capacities.

In well waters, the analysis of the costs of treatment of raw water in 4 different salinity were made. before the membrane, the cases of the usage of mechanic and sand filters as a pre-treatment, the realization of the product water salinity values in 3 different values and whether the deep well pumps should be included in the cost or not, were examined.

For surface waters, in 3 different turbidity were examined. Cost analysis were compared for conventional and ultrafiltration pretreatment methods.

While the cost analysis of the salinity of the Marmara, Mediterranean and Black sea are made in order to bring the salinity values of these seas into the drinkable values, the membrane fluxes which are directly related with the cost in sea water treatment are calculated by choosing 3 different values with the data obtained, the analogy of the waters in different chemical and psychical structures with each other and the impact of the different designs of these systems in their internals on the cost were examined.

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Anlam ve Önemi

Su, yeryüzünde yaşayan bütün canlılar için en önemli doğal kaynaklardan biridir. İçme ve kullanma, tarım, ulaşım, endüstri gibi birçok alanda suyun gerekliliği kaçınılmazdır. Ancak, özellikle son 20 yıl içinde artan insan nüfusu ve bunun sonucu olarak artan su talebi, küresel bir su krizini gündeme getirmiştir. Hızla artan dünya nüfusu ve su talebiyle birlikte ekonomik, politik ve çevresel konulardaki mücadeleler çok daha yaygın ve ciddi boyutlara ulaşmıştır. Günümüzde su kaynakları; miktar, kalite ve diğer tüm sektörel kullanımlar açısından oldukça ciddi sorunlarla karşı karşıyadır.

Kişi başına düşen yıllık 1430 m³'lük kullanılabilir su miktarıyla Türkiye, sanıldığı gibi su zengini bir ülke değildir. Devlet Su İşleri (DSİ)'nin 2005 yılı verilerine göre, ülkemizin tüketilebilir tüm yüzey ve yeraltı suyu potansiyeli miktarı; 98 milyar m³ yerüstü ve 14 milyar m³ yeraltı suyu olmak üzere toplam yıllık 112 milyar m³'tür.

2030 yılında nüfusu 80 milyona ulaşacak olan Türkiye, kişi başına düşen 1100 m³ kullanılabilir su miktarıyla, su sıkıntısı çeken bir ülke durumuna gelecektir [1].

Su kaynaklarının neredeyse tamamının günümüzün ileri arıtma teknolojileriyle içme ve kullanma suyu olarak kullanıma uygun hale getirilebilmektedir. Yeni teknolojilerin kullanımı ile tuzluluğu yüksek kuyu sularını, yüzeysel suları, deniz sularını ve hatta atıksuları arıtarak içme ve kullanma suyu haline getirmek mümkündür.

Renk, koku, tat gibi suyun fiziksel özellikleriyle ilgili parametrelerin içme ve kullanma suları için belirli sınır değerlerde olması gerekir. Ayrıca, çoğu su kaynağının fiziksel özellikleri içme suyuna uygun olmasına rağmen kimyasal özellikleri nedeniyle içme suyu sınıfına dahil edilememektedir. Su kaynaklarının yüksek tuzluluk, sertlik ve zehirlilik gibi kimyasal özellikleri içme suyu sınıfına girmemesine neden olmaktadır.

Membran sistemler ile su kalitesinin iyileştirilmesi son yılların en etkili ve yaygın kullanılan ileri arıtma yöntemi olmuştur. İyon değiştirme, buharlaştırma, ters elektrodializ gibi tuzluluk giderme yöntemlerinin yerini hızla membran sistemler almaya başlamıştır.

Ters osmoz, nanofiltrasyon, ultrafiltrasyon ve mikrofiltrasyon en yaygın kullanılan membran proseslerdir. Bu sistemler tek başlarına kullanılabildiği gibi kademeli olarak bir arada da kullanılabilmektedir.

1.2 Çalışmanı Amaç ve Kapsamı

Türkiye'de yaklaşık 10 yıllık bir geçmişi olan membran sistemler hakkında birkaç maliyet analizi çalışması bulunmaktadır. Bu çalışmanın amacı, özellikle büyük kapasitelerdeki sistemlerin maliyet analiziyle (300.000 m³/gün'e kadar) ilgili yeteri kadar verinin bulunmaması ve literatürdeki bu boşluğun doldurulmasıdır. Geçmiş yıllarda Türkiye'de ağırlıklı olarak endüstri ve turizm sektörlerinde proses, içme ve kullanma suyu ihtiyacını karşılamak amaçlı kullanılan membran sistemler, günümüzde içme suyu kaynaklarının azalmasıyla il ve ilçelerde su ihtiyacını karşılamak amaçlı kurulan sistemler olmuşlardır.

Bu çalışma kapsamında, farklı özelliklerdeki su kaynaklarının membran sistemlerle arıtılarak içme suyu haline getirilmesinin maliyetleri incelenmiştir. Tuzlu kuyu sularının, içme suyu standartlarına uygun olmayan yüzeysel suların ve Türkiye çevresinde bulunan denizlerin membran sistemlerle arıtılmasının birim su maliyetleri hesaplanıp karşılaştırılması verilmiştir. Bütün çalışmalar 1.000, 5.000, 10.000, 100.000 ve 300.000 m³/gün kapasitelere göre ayrı ayrı yapılmıştır. Kuyu sularında, 4 farklı tuzluluktaki ham suyun arıtılmasının maliyet analizi yapılmıştır. Membran sistem öncesi, ön arıtma olarak mekanik ve kum filtre kullanılması durumları, ürün suyu tuzluluk değerlerinin 3 farklı değerde elde edilmesi ve derin kuyu pompalarının maliyete dahil edilip edilmemesi durumları incelenmiştir. Ayrıca, ters osmoz ve nanofiltrasyon sistemlerinin maliyet analizleri ve karşılaştırmaları yapılmıştır.

Son yıllarda geliştirilen düşük basınçlı ters osmoz membranları sayesinde az tuzlu suların arıtımının birim su maliyetlerinde hissedilir bir düşüş olmuştur. Yüzeysel sularda 3 farklı bulanıklıkta, ön arıtmanın konvansiyonel bir sistem olan çöktürme ve

kum filtresi veya henüz Türkiye’ de yaygın kullanımına yeni başlanan ultrafiltrasyon sistemi olması durumlarına göre maliyet analizleri yapılmıştır.

Deniz suyu arıtımında, 3 farklı tuzlulukta denizin ham su olarak kullanıldığı sistemlerin birim su maliyetleri incelenmiştir. Akdeniz, Marmara ve Karadeniz’in tuzluluğunun içilebilir değerlere getirilmesinin maliyet analizleri yapılırken deniz suyu arıtımında maliyetle doğrudan ilgili olan membran akıları 3 farklı değer seçilerek hesaplanmıştır.

Elde edilen verilerle, kuyu suyu, yüzeysel su ve deniz suyu sistemleri birbirleriyle kıyaslanmış ve bu sistemlerin kendi içlerinde farklı tasarımlarının maliyete etkisi incelenmiştir. Farklı su üretim kapasitelerinin her tasarım için maliyetleri elde edilmiştir.

2. İÇME SUYU ARITMA YÖNTEMLERİ

Sular, bulundukları ortamların özelliklerine bağlı olarak çözünmüş ve askıda bulunan maddeleri içerirler. Suyun kullanım amacına göre bu maddeler sudan kısmen ya da tamamen uzaklaştırılabilir. Genel olarak mevcut su kaynakları; içme, kullanma ve sanayi suyu ihtiyaçları için doğrudan doğruya kullanılmaya uygun değildir. Bu yüzden bir arıtma işleminden geçirilmeleri gerekmektedir.

İçme sularının özellikleri standartlarla belirlenmiştir. Bu standartlar ülkeden ülkeye farklılık göstermektedir. Suların standartlarla belirtilen özellikleri:

- 1.Fiziksel özellikleri: Sıcaklık, renk, bulanıklık, tat ve koku, iletkenlik ve pH.
- 2.Kimyasal özellikleri: Sertlik, çözünmüş O_2 ve CO_2 , amonyak, nitrit ve nitratlar, organik maddeler, anyonlar (Cl^- , SO_4^{2-} , F^- ve I^-), katyonlar (Fe, Mn, Zn ve Mg) ve ağır metaller (Cu, Pb, Cr, As, Se, CN, Cd ve Ag).
- 3.Mikrobiyolojik özellikleri: Algler, bakteri ve virüsler.

İçme suyu arıtımındaki başlıca amaçlar;

- Renk, bulanıklık, tat ve koku giderilmesi,
- Mikroorganizma giderilmesi,
- Demir ve mangan giderilmesi,
- Amonyum (NH_4^+) giderilmesi,
- Su sertliğinin düşürülmesi,
- Sudaki korozif özelliğin giderilmesi,
- Tuzluluğun giderilmesi,
- Zararlı kimyasal maddelerin giderilmesi,
- Oksijen konsantrasyonunun yükseltilmesi, suya bazen CO_2 verilmesi, bazen giderilmesi, H_2S , CH_4 gibi gazların sudan giderilmesidir.

İçme suyu arıtımında uygulanan başlıca arıtma yöntemleri ise;

- 1.Konvansiyonel yöntemler,
- 2.İleri arıtma yöntemleridir.

2.1 Konvansiyonel Yöntemler

Konvansiyonel su arıtma yöntemleri insan ve çevre sağlığı bakımından risk oluşturan kimyasal ve mikrobiyolojik kirliliklerin giderilmesinde uzun zamandır kullanılmaktadır. İçme ve kullanma suyu arıtma teknolojileri genellikle ızgara, havalandırma, pıhtılaştırma, yumaklaştırma, çöktürme, kum filtrasyonu ve dezenfeksiyon ünitelerini içermektedir. Ayrıca, sertliğin çok yüksek olduğu yerlerde yumuşatma, demir ve mangan içeriğinin yüksek olduğu durumlarda da demir ve mangan giderimi için işlemler yapılmaktadır

—*Izgaralar*: Arıtma tesisinde kullanılan ilk eleman olup, tesisinin çalışmasını engelleyen iri katı maddelerin sudan ayrılmasını sağlamaktadır. Izgaralar sayesinde katı maddeler uzaklaştırılıp arıtma tesisindeki pompa ve diğer mekanik teçhizat korunmuş olur. Boru, vana vb. cihazların tıkanması önlenmiş olur. Katı atık yükü hafifletilmiş ve yüzücü maddeler tutulmuş olduğu için dezenfeksiyon işleminin verimi artırılmış olur. Izgaralar; çubuklar arasındaki açıklığa göre şu şekilde sınıflandırılmaktadır:

- Kaba Izgaralar: Elle veya mekanik olarak temizlenmeleri mümkündür. 50–500 mm boyutundadırlar. Kütük, kereste vb. maddelerin tesise girişini önlemede kullanılırlar.
- Orta Izgaralar: Açıklıkları 20–50 mm’dir. Boruları tıkayabilecek ve mekanik aksamı bozabilecek katı maddeleri tutabilmek için kullanılmaktadır.
- İnce Izgaralar: Açıklıkları 5–20 mm’dir. Küçük çaplı borular ve pompaların kullanılması gerektiği tesislerde kullanılmakta, çubuk veya göz şeklinde yapılmaktadırlar [2].

—*Havalandırma*: İçme suların arıtılmasında havalandırma yapılmasının başlıca amaçları;

- H₂S gibi istenmeyen koku ve tada sebep olan maddelerin konsantrasyonunu azaltmak,
- Demir ve mangani okside etmek,
- Suya O₂ kazandırmak,
- Anaerobik parçalanma sonucu oluşan metan gazını gidermek,
- Suya kötü koku ve tat veren uçucu yağ ve kimyasal madde gidermektir.

—*Pıhtılaştırma, Yumaklaştırma ve Çöktürme*: Pıhtılaştırma (koagülasyon) sürecinde taneciklerin (kolloid) bir araya gelmesini engelleyen elektriksel yüklerin ortadan kaldırılması amacıyla suya ters yüklü iyonlar eklenir ve bu şekilde taneciklerin itme etkisi azaltılarak birleşmesi sağlanır. Alüminyum sülfat, demir sülfat, sönmüş ve sönmemiş kireç pıhtılaştırma için kullanılan kimyasal maddelerdendir. Yumaklaştırma (flokülasyon) işlemi ile bir araya gelen taneciklerin flok (yumak) oluşturarak daha iri ve çökebilir forma sahip olması mümkün olur. Yumaklaştırma için ise aktif silika, kil, kalsit kullanılmaktadır. Pıhtılaştırma ve yumaklaştırma işleminin ardından oluşan yumakların uzaklaştırılması gereklidir. Bu amaçla çoğunlukla çökeltim havuzları kullanılmaktadır. Çökeltme türü ve arıtma tesisindeki kullanım amacına göre yatay veya düşey akışlı, dikdörtgen, kare veya dairesel planlı çökeltim havuzları tasarlanabilir. Pıhtılaştırma, yumaklaştırma ve çöktürme adımlarının uygulanmasındaki amaçlar [3]:

- kolloidal ve kısmen askıda halde bulunan maddelerin uzaklaştırılması,
- inorganik ve organik kirliliklerin giderimi,
- renk giderimi,
- tat ve koku oluşturan maddelerin uzaklaştırılması,
- patojen organizmaların kontrolü,
- alg ve plankton giderimi,
- sertlik giderimidir.

—*Filtrasyon*: Arıtma mekanizması sudaki safsızlıkların filtre malzemesi arasındaki boşluklarda tutulmasıdır. Filtrasyon sırasında süzme, çökeltim, adsorpsiyon, yumaklaşma ve biyolojik süreçler etkili olmaktadır. Bu mekanizmaların sonucunda suda askıda halde bulunan katı maddelerin, bulanıklığın, organik bileşiklerin, kil, silt, demir ve mangan gibi inorganik maddelerin ve patojen mikroorganizmaların uzaklaştırılması sağlanmaktadır. Filtreler genellikle suyun geçiş hızına bağlı olarak yavaş kum filtreleri, hızlı kum filtreleri, basınçlı filtreler şeklinde gruplandırılabilir.

—*Dezenfeksiyon*: Su içinde bulunan, insan sağlığına zararlı olabilecek, hastalık yapıcı (patojen) mikroorganizmaların yok edilmesi işlemidir. Dezenfeksiyon eksikliği sonucu pek çok hastalık oluşabilir. Uygun dezenfeksiyon bu yüzden oldukça önemlidir. En çok kullanılan maddeler; klor gazı, sodyum hipoklorit, kalsiyum hipoklorit ve ozon gazıdır. Dezenfektanlar, genellikle kimyasallar

eklenmeden önce ve filtrasyondan sonra uygulanır. Ayrıca, dezenfeksiyon UV ışınlarla, bakır ve gümüş vb. metallerle, halojen (klor, brom, iyot) oksidantlarla da yapılabilir.

2.2 İleri Arıtma Yöntemleri

İçme suyu arıtımında ihtiyaç duyulması halinde suyun daha ileri düzeyde arıtılması mümkündür. İleri arıtma yöntemlerine; adsorpsiyon, iyon değiştirme, membran filtrasyonu, UV ile dezenfeksiyon, ozon ve permanganat ile dezenfeksiyon sayılabilir. Membran ayırma süreçleri ileri arıtımda önemli bir rol oynarlar. Bir membran ayırdığı fazlar arasında moleküler ya da iyonik türlerin akışına bir engel oluşturur.

—*Adsorbsiyon*: Adsorpsiyon, bir fazda bulunan iyon ya da moleküllerin, bir diğer fazın yüzeyinde konsantre olmasıdır. Adsorpsiyon, adsorban yüzeyinde biriken madde konsantrasyonu ve çözeltide kalan madde konsantrasyonu arasında bir denge oluşuncaya kadar devam etmektedir. İçme suyu arıtımında aktif karbon, adsorban olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Aktif karbonlar, insan sağlığına zararsız, kullanışlı ürünler olup oldukça yüksek bir gözenekliliğe ve iç yüzey alanına sahiptirler.

—*İyon Değiştirme*: İyon değiştirme, bir iyonun diğer bir iyonla yer değiştirmesidir. Bu işlem için reçineler kullanılır. Reçineler katyon değiştirici reçineler veya anyon değiştirici reçineler olabilir. Katyon değiştirme veya baz değiştirme, pozitif bir iyonun diğer pozitif bir iyonla yer değiştirmesi olup doğal sularda katyonlar Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+} , H^{+} , Fe^{+2} ve Mn^{+2} gibi anyon değiştirme veya asit değiştirme yani negatif bir iyonun diğer negatif bir iyonla yer değiştirmesi olup doğal sularda anyonlar genel olarak Cl , SO_4 , NO_3 gibi maddelerdir. İyon değiştirme, arsenik giderimi, demir mangan giderimi ya da sertlik gideriminde kullanılabilir.

— *Mikrofiltrasyon (MF)*: Bir çözeltinin, içindeki mikrometre veya daha küçük boyutlardaki parçacıklardan membran içinden geçirilerek ayrıştırılmasıdır. mikrofiltrasyonda çözünmüş sıvı veya su fitreden geçirilirken askıda maddeler veya mikroorganizmalar yüzeyde veya içerde tutularak temizlenir.

— *Ultrafiltrasyon (UF)* : Yüksek moleküler ağırlıkta maddeler ve kolloidler içeren çeşitli çözeltilerin ayrıştırılması ve yoğunlaştırılması için kullanılan, basınçla çalışan

bir prosestir. Ultrafiltrasyon, membranin moleküler ağırlık engelleme (MWC) özelliği sayesinde iyonik olmayan maddeleri tutarak, iyonik maddelerin geçişine izin verir.

— *Nanofiltrasyon (NF)*: Nanofiltrasyon membranı, ultrafiltrasyon ve ters osmoz membranlarının bazı özelliklerini göstermekle birlikte, çok düşük basınçla çalışabilen bir membrandır. Yalnız 1nm'den küçük parçaların geçişine izin verir. Nanofiltrasyon membranları, klasik ters osmoz membranlarından daha yüksek MWC sınırlarında çalışır ve kalsiyum, magnezyum gibi iki değerli iyonların geçişine karşı büyük bir direnç gösterir. Nanofiltrasyon membranları, çift değerli iyonlardan daha düşük hızdaki tek yüklü iyonların da geçişine izin vermez.

— *Ters Osmoz (RO)* : Basınçla çalışan bu proseste, su geçerken hemen bütün iyonlar tutulur. Ters osmozda, yarı geçirgen membrana uygulanan basınç, tuzlu solüsyonun osmotik basıncını aşar ve suyun içindeki çözünmüş tuzu bırakarak membrandan çıkmasını sağlar.

—*UV dezenfeksiyon*: Ultraviyole (UV lamba) ile dezenfeksiyon, suya herhangi bir kimyasal veya oksidan ilave etmeksizin mikroorganizmaların etkisiz hale getirilmesi işlemidir. Ultraviyole (UV) sistemi, cihaz gövdesi içinde bulunan bir tüpte anot ve katot uçlarına uygulanan bir gerilim ile meydana gelen ateşleme sonucunda, tüp içinde ki buharlaşan cıvanın iyonize olup, ultraviyole ışını oluşturması esasına dayanır.

Ultraviyole ışınları mikroorganizmaların DNA yapısını bozarak etkisiz hale gelmesini sağlar. Bu şekilde ortalama % 99.9 dezenfeksiyon verimi elde edilmektedir.

Ultraviyole ışınları ile dezenfeksiyonun tam olarak gerçekleşebilmesi için su içerisinde bulunan tortu, bulanıklık gibi parametrelerin sudan uzaklaştırılmış olması gerekmektedir. Bu sebeple ultraviyole öncesinde kum filtresi veya kartuş filtrenin kullanılmalıdır [4].

—*Ozonla dezenfeksiyon*: Ozon, oksijenin allotropik bir şekildir ve özel bir oksidasyon maddesidir. Açık mavi renkli, keskin kokulu, stabil olmayan bir gazdır. Bu nedenle ozon kullanılacağı zaman imal edilir. Ozon sadece dezenfektan olarak değil, suyun rengini ve kokusunu gidermek üzere oksidasyon maddesi olarak da kullanılır. Ozonun suya görünüş ve koku yönünden ve içilebilirliği açısından bir

zararı yoktur. Tat, koku ve renk problemlerini tamamen giderir. Güçlü bir oksidasyon maddesidir. Organik kirlilikleri hızlı bir şekilde oksitler. Geniş pH ve sıcaklık sınırlarında dezenfeksiyon faaliyeti yapılabilir. Bakterisidal ve sporisidal faaliyeti hızlıdır. Sağlık açısından tehlikeli değildir. Ancak ozonlamanın bir takım dezavantajları da söz konusudur. Bunlar;

- Kalıcı dezenfeksiyon sağlanamaz.
- İşletme maliyeti yüksektir. Bu miktar klor kullanımına kıyasla 10–15 de daha fazladır.
- Prosesin kontrolü ve verimi açısından analitik teknikler yeterli değildir.
- Kolloidal maddeleri içeren sularda dezenfeksiyon için daha yüksek dozlara gereksinim vardır.

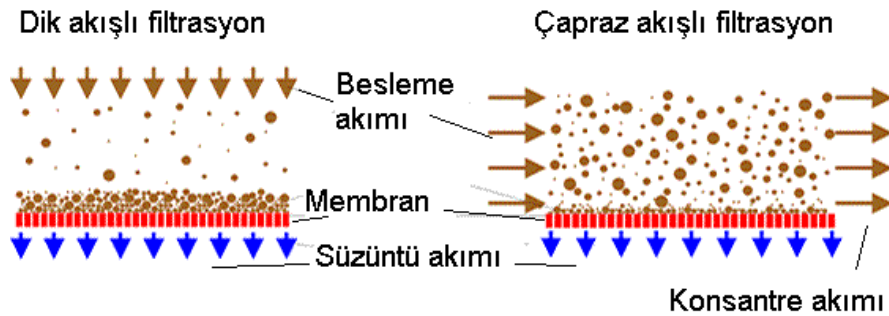
—*Potasyum permanganat*: Potasyum permanganat içme sularının arıtımında tat ve koku kontrolü, anorganik bileşiklerin (demir, manganez ve hidrojen sülfür) giderilmesi için kullanılır. Potasyum permanganat kuvvetli bir oksidasyon maddesidir. Permanganat belli dezenfeksiyon özelliklerine sahiptir. Ancak permanganatın E.coli giderme hızı, ozona ve klora kıyasla daha düşüktür. Bu nedenle içme suyu arıtma tesislerinde dezenfeksiyon amacı ile kullanımı çok nadirdir. Permanganat klordan çok daha pahalıdır. Çoğunlukla düşük derişimlerde kullanılır. Ozon gibi potasyum permanganatta suda tat, koku ve toksik etki yapmadığından klora kıyasla avantajlıdır [5].

Paket Sistemler (Ev tipi arıtma):Günümüzde şebeke suyunu, içme ya da kullanma suyu olarak kullanmayı tercih etmeyenler için ev tipi arıtma sistemleri geliştirilmiştir. Bu arıtma sistemlerinde ters osmoz membranları kullanılmaktadır. Sertlik sorunu olan, bulanıklığı fazla olan, tadı ve kokusu kötü olan sular için tercih edilen sistemlerdir. Ters osmoz membranları ile sudaki istenmeyen maddeler giderilerek, kullanıcının istediği kalitede su elde etmesi sağlanmıştır. Bu sistemler ile sudaki sertlik giderildiğinden kireçlenme problemlerinin de önüne geçilmiştir.

3. MEMBRAN PROSESLER

İki fazı birbirinden ayıran ve seçici bir bariyer olarak tanımlanan membranlar, 1748 yılında Abbe Nolet tarafından osmoz olayının keşfedilmesiyle ortaya çıkmıştır. 19. yy boyunca ve 20. yy başlarında membranların endüstriyel alanda kullanımları olmamasına rağmen pek çok laboratuvar ölçekli çalışmaları gerçekleştirilmiştir. 1953–1959 yılları arasında gerçekleştirdikleri çalışmalarla J. E. Breton ve C. E. Reid ilk ters osmoz (RO) membranlarını yaptılar, ancak yapılan membranın akı değeri çok düşük olmuştur. 1960'lı yıllardan itibaren modern membran bilimi gelişmiş ve membranların küçük ölçekli endüstriyel uygulamaları olmuştur. 1960'da S. Loeb ve S. Sourirajan selüloz asetat membranlarını yaptılar. Membranlar, 1965 yılında ilk olarak su arıtmada kullanılmaya başlanmıştır. 1970'lerde ilk olarak endüstriyel su üretim amaçlı kullanılmaya başlanan membranların bu tarihten sonra endüstriyel alanlarda kullanımı hız kazanmıştır [6].

Membran filtrasyonu, partikül maddelerin, kolloidlerin, büyük moleküllerin, iyonların, askıda katı maddelerin ve çözünmüş maddelerin ayırımı amacıyla kullanılan bir teknolojidir. Besleme akımı, sürücü kuvvetlerin (basınç farklılığı, sıcaklık farklılığı, konsantrasyon farklılığı) etkisiyle membrandan geçerken süzüntü ve konsantre olmak üzere iki akıma ayrılır. Membran filtrasyona ait gösterim Şekil 3.1'de, sürücü kuvvetlerine göre sınıflandırılması ise Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1 : Membran filtrasyonu.

Çizelge 3.1 : Sürücü kuvvetlerine göre membranlar.

Membran Prosesi	Faz I	Faz II	Sürücü Kuvvet
Mikrofiltrasyon (MF)	Sıvı	Sıvı	Basınç
Ultrafiltrasyon (UF)	Sıvı	Sıvı	Basınç
Nanofiltrasyon (NF)	Sıvı	Sıvı	Basınç
Ters Osmos (RO)	Sıvı	Sıvı	Basınç
Gaz ayırma	Gaz	Gaz	Basınç
Diyaliz	Sıvı	Sıvı	Konsantrasyon farklılığı
Osmoz	Sıvı	Sıvı	Konsantrasyon farklılığı
Pervaporasyon	Sıvı	Gaz	Basınç
Elektrodiyaliz (ED)	Sıvı	Sıvı	Elektriksel potansiyel farklılığı
Termo-osmoz	Sıvı	Sıvı	Sıcaklık/Basınç
Membran distilasyonu	Sıvı	Sıvı	Sıcaklık/Basınç

Membranlar farklı malzemelerden üretilebilirler. Bunlar:

- 1.Organik (polimerik) membranlar
 - a.Hidrofobik (PTFE, PVDF, PP, PE)
 - b.Hidrofilik (PC, PSf/PES, PI/PEI, PA, PEEK)
- 2.İnorganik membranlardır
 - a.Seramik membranlar
 - b.Cam membranlar
 - c.Metalik membranlar

Kullanım amacına göre uygun membran malzemesi seçilmelidir. Membran malzemesi seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlar, sıcaklığa, basınca ve pH'ya dayanıklı olması, kimyasal direncinin yüksek olması ve pahalı olmamasıdır. Organik membranların ana maddesi polimerlerdir. İnorganik membranlar, kimyasal ve termal olarak organik membranlara göre daha iyi dayanıklılık gösterirler. Sentetik polimerlerden daha çok poliamid ve polisulfan malzemeleri yaygındır ve genellikle UF membranlarda kullanılır. pH, sıcaklık ve kloro karşı direnci yüksektir. Daha pahalı olan seramik membranlar ise geniş pH ve sıcaklık aralıklarında uygulanabilir ve MF membranlarda kullanımı yaygındır.

Morfolojilerine göre ise membranlar; simetrik, asimetrik veya kompozit olabilir. Simetrik membranların (boşluklu veya boşluksuz) kalınlıkları 10–200 µm arasında değişmektedir. Asimetrik membranlar, üniform olmayan bir yapıya sahip olup kalınlığı yaklaşık olarak 10–200 µm arasındadır. Bu membranlar, 50–150 µm arasında boşluklu bir alt tabaka (porozlu destek tabakası) ve 0,1–0,5 µm kalınlığında oldukça yoğun bir üst katmandan (kabuk tabaka) oluşmaktadır. Asimetrik membranların geliştirilmesiyle, su ve atıksu arıtımında membranların kullanımı yaygınlaşmıştır.

Membran modülleri, pratikte kullanılan ve membranların değişik şekillerde düzenlendiği tarzlardır. Modüller,

- Ucuz olmalı,
- Hasar ve deliklere karşı güvenilir olmalı,
- Minimum enerji gerektirmeli ve
- Kolay temizlenebilir olmalıdır.

Membran modülleri; ince boşluklu, spiral sargılı, kapiler, tübular, levha-çerçeve tipli olarak hazırlanabilmektedir [7]. Farklı modül tiplerinin avantaj ve dezavantajlarının karşılaştırılması Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 : Farklı modül tiplerinin avantaj ve dezavantajları.

Modül tipi	Avantajlar	Dezavantajlar
Spiral sargılı	- Yüksek paketleme oranı - Konsantrasyon polarizasyonuna karşı etkili - Düşük işletme maliyeti - Minimum enerji tüketimi	- Temizlemesi zor - Yüksek basınç farkı oluşumu - Daha az kirli su ve atıksularda kullanılması
İnce boşluklu	- Yüksek paketleme oranı - Düşük maliyetler	- Tıkanmaya karşı direnci az - Temizlemesi zor - Membran değiştirme zor
Tübular	- Tıkanmaya karşı dirençli - Temizlemesi kolay	- Düşük paketleme oranı - Pahalı
Levha-çerçeve	- Yüksek paketleme oranı - Membran değişimi kolay	- Temizlemesi zor - Tıkanmaya karşı direnci az

Membranların yaygın olarak kullanımını kısıtlayan en büyük engel membran tıkanmasıdır. Tıkanma tipleri:

- *Partiküler ve kolloidal tıkanma:* Membran gözenek çapından daha büyük olan maddelerin, membran yüzeyinde birikerek gözenekleri tıkamasıyla oluşur.
- *Konsantrasyon polarizasyonu:* Tersinir bir proses olup, membran yüzeyinde konsantrasyon artışı ile oluşur.
- *Adsorpsiyon yoluyla tıkanma:* Gözenek çapına eşit ya da daha küçük boyuttaki maddelerin gözenek içlerinde tutulmasıyla gerçekleşir.
- *Çökeltme:* İnorganik maddelerin membran yüzeyine çökmesiyle oluşur.
- *Biyolojik Tıkanma:* Atıksuda mikroorganizmaların neden olduğu tıkanma tipidir.

Genellikle membranlar, başlama şartına göre basınç azalması % 20'yi geçerse, akı değeri % 10 azalırsa, besleme basıncı % 10 artarsa ve giderme verimi % 15 kötüleşirse temizlenmelidir.

Son yıllarda kullanımı hızla artan membran prosesler; mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon ve ters osmozdur. Sürücü kuvveti basınç olan bu membran proseslerin karşılaştırılması Çizelge 3.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3 : Farklı modül tiplerinin avantaj ve dezavantajları.

Membran prosesi	Basınç (bar)	Akı değişimi (l/m ² /sa/bar)	Uygulamaları
MF	0,1–2	> 50	Partikül, mikroorganizma giderimi
UF	1–5	10–50	Virüs, makromolekül giderimi
NF	5–30	1,4–12	Sertlik giderimi Desalinasyon
RO	20–100	0,05–1,4	Desalinasyon

3.1 Mikrofiltrasyon

Gözenek çapları 0,05 ile 5 µm arasında değişmekte olan mikrofiltrasyon membranlarında ayırma işlemi elek mekanizmasına dayanır ve büyüklüğü gözenek çapından daha fazla olan maddeler membran tarafından tutularak sudan ayrılır. Daha çok partiküllerin ve mikroorganizmaların gideriminde kullanılır. MF membranları gözenek çapları ile sınıflandırılır ve giderme verimi, mikroorganizma giderme kapasitesi (log-giderme verimi) ile belirlenir [8].

Konvansiyonel arıtma tesislerinde klor ile dezenfeksiyon sonucu, dezenfeksiyon yan ürünleri (THM) adı verilen ve insan sağlığı için zararlı olan maddeler oluşmaktadır [9]. Dezenfeksiyon yan ürünlerinin en az şekilde oluşacağı bir dezenfeksiyon sisteminin kullanılması bu nedenle oldukça önemlidir. Mikroorganizmaların mikrofiltrasyon ile büyük oranda tutulmaları, daha az dezenfektan ihtiyacını ve dolayısıyla, daha az dezenfeksiyon yan ürünü oluşumunu sağlamaktadır. MF uygulamalarında arıtma sırasında herhangi bir kimyasal madde kullanımı söz konusu değildir, dolayısıyla konvansiyonel arıtma sistemlerinde kullanılan kimyasal maddelerin oluşturduğu toksik etkiler mikrofiltrasyonda görülmez. Mikrofiltrasyon membranlarının, tek başına kullanılabilmekte ya da NF/RO öncesinde ön arıtma amaçlı olarak kullanılabilir.

3.2 Ultrafiltrasyon

1930’lu yıllardan beri kullanılmakta olan UF membranların işletme basıncı 1–5 bar arasında değişmektedir. Daha çok makromoleküllerin ve kolloidal maddelerin giderilmesinde kullanılır. İşletme açısından mikrofiltrasyona benzeyen UF membranların gözenek boyutları 0,05 mm ile 1 nm arasında değişmektedir. UF membranları üst tabaka kalınlığı, 50–250 μ arasında değişen ve yüksek geçirgenlik ve seçiciliği olan bir alt tabaka ile desteklenmiştir. Esas filtrasyon olayı üst tabakada meydana gelmektedir. UF membranları, bakteri ve virüs giderimi açısından da oldukça güvenlidir. UF membranlarında, maddelerin tutulma seviyeleri moleküler ağırlık engelleme sınırı (MWCO) ile ifade edilmekte olup her bir membran türü için bu değer belirlenmiştir. Ultrafiltrasyon membranları ile moleküler ağırlıkları, 1000–1000000 arasında değişen maddeler tutulmaktadır [6]. UF membran performansı, sadece membran özellikleri ile değil, aynı zamanda konsantrasyon polarizasyonu, tıkanma ve adsorpsiyon ile de belirlenmektedir.

UF membran uygulama alanları:

- İçme suyunda ileri arıtma amaçlı
- Gıda ve süt endüstrisi
- İlaç endüstrisi
- Tekstil endüstrisi
- Kimya endüstrisi

- Kağıt endüstrisi
- Deri endüstrisi
- RO ve NF öncesinde ön arıtma amaçlı

3.3 Nanofiltrasyon

Nanofiltrasyon özellikle son yıllarda kullanımı hızla artan bir teknolojidir. İnce filmlili selüloz olmayan membranlardaki gelişmeler ile beraber kullanımı daha da yaygın hale gelmiştir. Boşluk çapı açısından, ters osmoz ile ultrafiltrasyon membranları arasında bulunmaktadır. Nanofiltrasyon membranları, ters osmozdan daha düşük basınçlarda işletilmekte, ancak ters osmoza göre daha düşük kalitede su vermektedir. Çapı, 0.001µm'den büyük olan moleküllerin gideriminde kullanılmaktadır. NF membranları genellikle % NaCl veya MgSO₄ giderme verimi ile sınıflandırılır. Ayrıca moleküler ağırlık engelleme sınırı da giderme verimini belirlemede kullanılmaktadır. Bu membranlarda, iki değerlikli iyonların giderimi, tek değerlikli iyonların giderimine göre daha yüksek olmaktadır. NF membranları,

- Yüzeysel sulardan sertlik gideriminde,
 - Organik madde gideriminde,
 - Kuyu sularından TDS ve nitrat gideriminde
 - Pestisit gideriminde
- kullanılmaktadır.

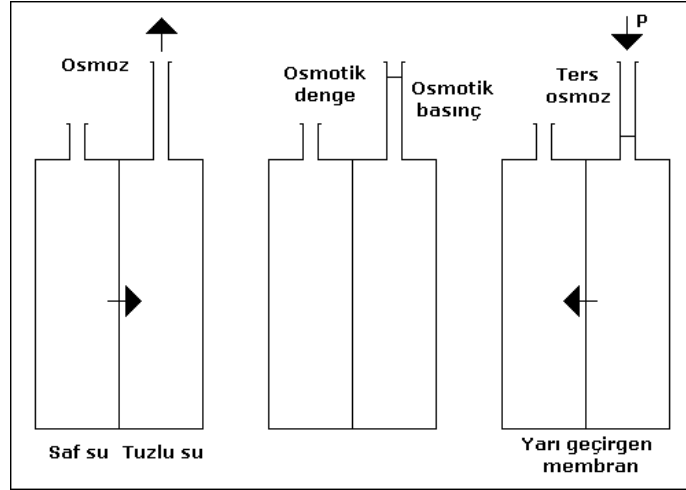
Ayrıca endüstriyel alanda NF membranların;

- Tuzlu peynir sularının arıtımında,
- Süt endüstrisi atıksularının geri kazanılmasında,
- Tekstil endüstrisinde renk ve organik madde gideriminde,
- Gıda ve eczacılıkta organik maddelerin konsantre edilmesi ve tuz giderilmesinde vb. uygulamaları vardır.

3.4 Ters Osmoz

Osmoz' da, yoğunluğu az olan sıvı yarı geçirgen bir membrandan, yoğunluğu fazla olan tarafa geçerek, yoğunluğu fazla olanı sulandırır ve bu işlem osmotik basınçta dengelenene kadar devam eder. Ters osmozda ise, yoğunluğu fazla olan sıvı tarafında osmotik basınçtan daha büyük bir basınç uygulanarak sağlanacak ters akışla

yoğunluğu fazla olan sıvı içerisinde bulunan mineraller, tuzlar, ve organik maddeler membranın bir tarafında bırakılarak, diğer tarafa yoğunluğu daha az, tuzlar ve minerallerden arındırılmış bir sıvı olarak geçirilir. Şekil 3.2’de osmoz ve ters osmoz proseslerinin gösterimi verilmiştir.



Şekil 3.2: Osmoz ve ters osmoz prosesleri

Ters osmoz, 1960’larda kullanımı hızlı bir şekilde artmaya başlayan bir teknolojidir. Özellikle desalinasyon ve atıksu arıtma alanlarında ters osmoz kullanımı yaygınlaşmıştır. Ters osmoz ile giderilen maddeler; tuzlar, sertlik, patojenler, bulanıklık, dezenfeksiyon yan ürünleri ve pestisitlerdir. Giderilemeyen maddeler ise; hidrojen sülfür, bazı pestisitler, karbondioksit ve birçok çözünmüş gaz olarak sayılabilir.

Ters osmoz membranlarında, 20–100 bar arasında değişen yüksek basınçların uygulanması gerekmektedir. Son yıllarda membran üretiminde meydana gelen gelişmelerle birlikte düşük basınçlı ters osmoz membranları da değişik alanlarda kullanılmaya başlanmıştır. Uygulanan basınç besleme suyuna bağlı olarak 10 bar’a kadar düşürülmüştür. RO membranları genellikle % NaCl giderme verimi ile sınıflandırılmaktadır.

RO membranlarının uygulama alanları;

- İçme suyu üretimi,
- Atıksu arıtımı,
- Endüstriyel su üretimi,
- Değişik endüstriyel atıksuların arıtımı,
- Meyve suyu konsantresi,

- Fermentasyondur.

Ters osmoz membranlarının kullanımı arttıkça zaman içerisinde işletme maliyeti azalmış ve akı değerleri ile giderme verimleri artmıştır. Ayrıca geri kazanım oranları da yükselmiştir.

3.5 İçme Suyu Amaçlı Membran Sistemlerinin Maliyeti

Günümüzde faaliyette olan farklı kapasitelerde ve farklı ham su özelliklerine sahip birçok membran prosesli içme suyu üretim tesisi bulunmaktadır. Gelişen teknolojiyle beraber her geçen gün birim su üretim maliyetleri daha da düşürülmektedir. 1970'lerde 5,0 \$/m³ olan deniz suyundan ters osmoz ile içme suyu üretmenin birim maliyeti 2004 yılında 1 \$/m³'ün altına, Arap yarım adasında bulunan Fujarah tesisinden 2007 yılında alınan verilere göre 0,53 \$/m³'e kadar indiği tespit edilmiştir. Membran sistemlerle içme suyu üretiminde enerji ihtiyacının ve birim su maliyetlerinin düşmesinin birçok nedeni vardır. Bunlar, membranların eskiye oranla daha yüksek akılarda çalışabilmesi, daha fazla tuz giderim oranı, düşük hidrostatik basınç gereksinimi ve ucuzlayan malzeme fiyatlarıdır. Ters osmoz ile tuz giderimi termal yöntemlere göre 10 kat daha düşük maliyetlidir. Günümüzde ki membran prosesli içme suyu arıtma tesislerinin enerji ihtiyaçları elektrik ve fosil yakıtlarından karşılanırken, gelecekte yenilenebilir enerji ve nükleer enerjiyle çalışan sistemler tasarlanarak birim su maliyetlerinin daha da aşağı indirilmesi amaçlanmıştır.

Ters osmoz sistemlerinde ürün suyu debisi sabitlendiğinde geri kazanım oranı artınca daha fazla hamsu membranlardan ürün suyu olarak çıkacağından besleme debisi azalır. Böylece yüksek geri kazanım oranıyla pompa, boru, depolama tankları, ön arıtma ekipmanları, kimyasal dozlama sistemleri gibi birçok ekipmanın kapasiteleri düşeceğinden tesisin ilk yatırım maliyeti düşer.

Ancak geri kazanım oranının artmasıyla osmotik basınç artacağından işletme maliyeti de artar. Düşük tuzlu deniz sularının arıtılmasında % 55 ' in üzerinde ki geri kazanım oranında toplam üretim maliyetinin arttığı görülmüştür.

RO sistemlerinde ön arıtmanın tesisin ilk yatırım maliyetine etkisi oldukça yüksektir. Konvansiyonel ön arıtmanın membran prosesli ön arıtmalara göre maliyeti yaklaşık % 30 daha düşüktür. Ön arıtma olarak mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon prosesleri kullanılabilir. MF ve UF sistemleri RO membranlarının kullanım sürelerini uzatır ,

dolayısıyla membran değişim maliyeti düşmüş olur. Çizelge 3.4’ de çeşitli ters osmoz tesislerinin birim su maliyetleri ve Şekil 3.3’de ise bu maliyetlerin yıllara göre değişimi verilmiştir [10].

40.000 m³/ gün kapasitede , % 50 geri kazanım oranıyla çalışan 32.500 ppm TDS değerine sahip deniz suyundan ters osmoz prosesiyle içme suyu elde etmenin işletme maliyeti 0,40 \$/m³ , ilk yatırım maliyeti 0,33 \$/m³ olarak hesaplanmıştır [11].

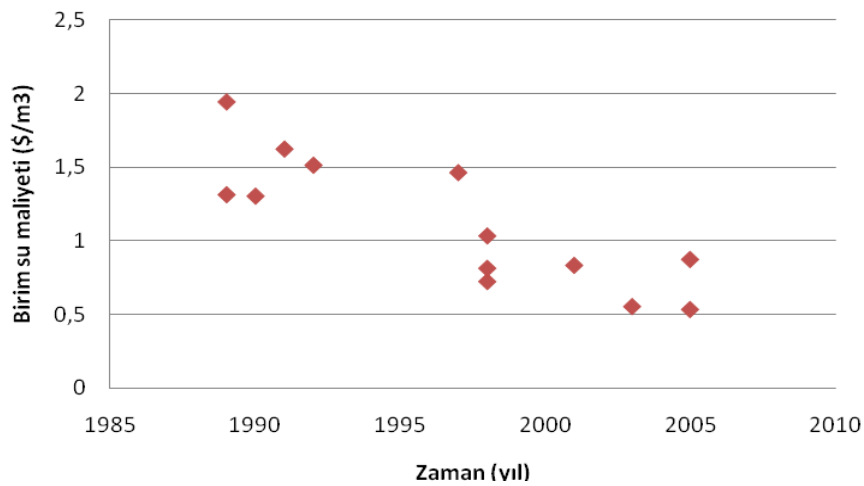
İspanya’nın deniz suyundan içme suyuüretim tesislerinden biri olan Carboneras Deniz Suyu Tuzsuzlaştırma Tesisinde günde 120.000 m³ kapasitede su işlenmektedir. Tesisin ham su kaynağı Akdeniz’dir, % 45 geri kazanım oranıyla çalışan tesisin işletme maliyeti 0,27 €/m³ (0,36 \$/m³) , 0,23 €/m³ (0,485 \$/m³)’ dür. Enerji geri kazanımı için pelton türbinler kullanılmaktadır [12].

Florida’ da ki 53.000 m³/gün ‘ lük bir nanofiltrasyon membran prosesli bir içme suyu üretim tesisinin toplam üretim maliyeti 0,25 \$/m³, 20.000 m³/gün kapasitede ise 0,3 – 0,4 \$/m³ olarak verilmiştir [13].

Macaristan’ da bulunan Hamama tesisi 53 MGD (200.040 m³/gün) kapasitede olup toplam üretim maliyeti 3,10 \$/1000gal (0,82 \$/m³) ‘ tür. Karayipler’ de bulunan Trinidad adasında ki Point Lisas su üretim tesisi 26 MGD (14.020 m³/gün) kapasitededir ve birim su maliyeti 3,32 \$/1000 gal (0,60 \$/m³)’ dur. Kaliforniya’ da bulunan Carson tesisinin kapasitesi 20 MGD (14.020 m³/gün) olup, birim su maliyeti 2,75 \$/1000 gal. (0,72 \$/m³) olduğu bilinmektedir [14].

Çizelge 3.4 : Çeşitli ters osmoz tesislerinin birim su maliyetleri [11].

Tesisin Adı	Devreye alındığı yıl	Üretim Kapasitesi (m ³ /gün)	Birim Su Maliyeti (\$/m ³)
Galder – Agaeta / İspanya	1989	3500	1,94
Jeddah / Suudi Arabistan	1989	23.000	1,31
Ad Dur / Bahreyn	1990	45.000	1,30
Lanzorata III / İspanya	1991	20.000	1,62
Santa Barbara , Kaliforniya / ABD	1992	25.000	1,51
Dhkelia / Kıbrıs	1997	40.000	1,46
Mallorca ve Marbella / İspanya	1998	42.000 / 56.400	1,03 / 1,0
Eilat / İsrail	1998	10.000	0,72
Larnaraca / Kıbrıs	2001	56.000	0,83
Eliat / İsrail	1998	10.000	0,81
Tampa Bay, Florida / USA	2003	94.600	0,55
Fujairah / Birleşik Arap Emirlikleri	2005	170.500	0,87
Ashkelon , İsrail	2005	320.000	0,53



Şekil 3.3 : Birim su maliyetlerinin yıllara göre değişimi

4. MEMBRAN PROSESLERİN TASARLANMASI VE MALİYET ANALİZ METODLARI

4.1 Projeksiyon Programının Tanıtımı

Membran üretici firmalar, çeşitli araştırmalar yaparak membranın değişik şartlarda davranışlarını incelemektedirler. Elde ettikleri verilerden modeller çıkarmakta ve bu modellerin kullanıldığı bir yazılım hazırlamaktadırlar. Ücretsiz olarak sağlanan bu programlar sayesinde tasarlanan sistemin performansı bir çok açıdan görülebilecektir.

Bu çalışmada, sistemlerin tasarımında HYDRANAUTICS marka membranlar kullanıldığı için bu firmanın sağlamış olduğu IMS Design projeksiyon programından yararlanılmıştır. Ters Osmoz, Nanofiltrasyon ve Ultrafiltrasyon membran sistemlerinin projeksiyonları bu programla yapılabilir.

4.1.1 Tasarım denklemleri

IMS Design projeksiyon programının kullandığı parametre ve denklemler şunlardır:

Standart Koşullardan Özel Ortam Koşullarına Geçiş:

$$Q_p = K_w A(\Delta P - \Delta \pi) \quad (4.1)$$

$$Q_s : K_s A \Delta C \quad (4.2)$$

$$Q_p = (PCF)(TCF)(MFRC/FF)Q_i \quad (4.3)$$

$$S_p = (SPCF)(SP_i) \quad (4.4)$$

$$\text{Gereken membran sayısı} = \text{Tasarım kapasitesi} / Q_p \quad (4.5)$$

$$\text{Vessel adedi} = \text{Tasarım kapasitesi} / Q_p^e \quad (4.6)$$

Sınırlandırılmış tuz hesabı:

Bu bölümde sınırlandırılmış tuz ve asit ilavelerinin analiz denklemleri bulunmaktadır.

$$A_n B_m = nA^{+p} + mB^{-q} \quad (4.7)$$

$$K_{sp} = [A^{+p}]^n [B^{-q}]^m \quad (4.8)$$

Ürün çözünürlüğünden geri dönüşümü analiz etmek:

$$K_{sp} = [(A^{+p})^n (1-SP_A)/(1-R)] [(B^{-q})^m (1-SP_B)/(1-R)] \quad (4.9)$$

Alkalinite:

$$\text{Alkalinite} \Leftrightarrow 2(\text{CO}_3^{2-}) + (\text{HCO}_3^-) + (\text{OH}^-) + (\text{H}^+) \quad (4.10)$$

Kalsiyum Karbonat Çökelmesi:



Karbondiyoksit Gazının Çözünmesi:

$$\text{CO}_2(g) \Leftrightarrow \text{CO}_2(aq) \quad (4.12)$$

$$pK_H = 1.5$$



$$pK_m = 2.8$$

$$pK_H : -\log K_1$$

Sıvı Karbonik Asidin İyonizasyonu:



$$pK_1 = 6.3$$

Bikarbonat İyonizasyonu:



$$pK_2 = 10.3$$

Kostik Stabilizasyonu:



Alkalinite Geri Dönüşümü:



Elementel Sülfür Bulanıklığı Oluşumu (Yetersiz Hidrojen Sülfür):



Su ile Hidrojen Sülfür Reaksiyonu:



$$\text{pK}_1 = 7.0$$



$$\text{pK}_2 = 14.0$$

Hipoklorit Asit Formasyonu:

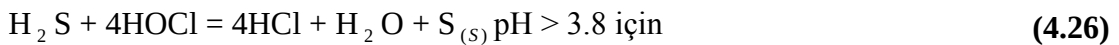
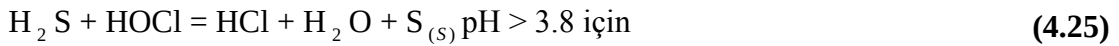


$$\text{K}_{a,1} = [\text{H}^+][\text{Cl}^-][\text{HOCl}]/[\text{Cl}_2] = 4 \times 10^{-4} \text{ (77° F da)} \quad (4.23)$$

Hipoklorit Asit Ayrılması:



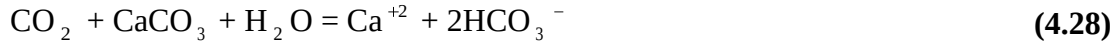
Hidrojen Sülfitle Klorin Reaksiyonu:



Kireç Stabilizasyonu:



Kalsiyum Karbonat Stabilizasyonu



Kostik Stabilizasyonu:



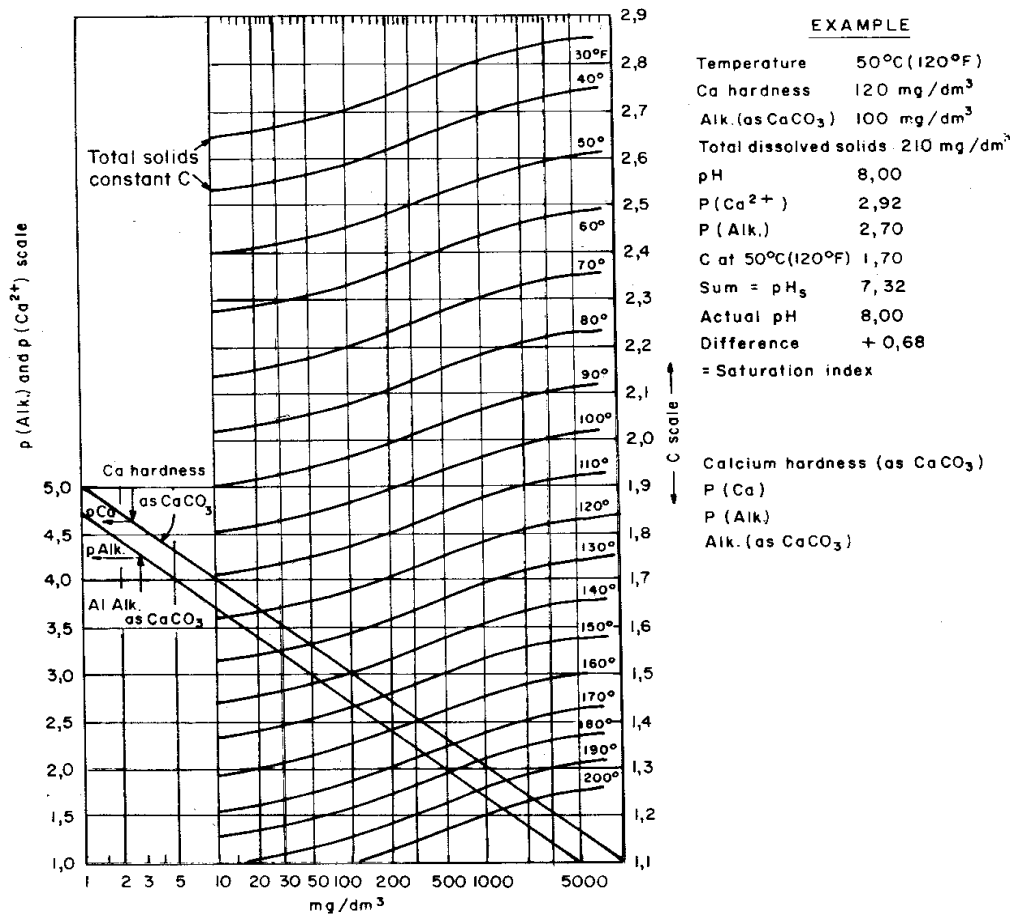
Soda Külü Stabilizasyonu:



Langelier Doygunluk İndeksi ve Stiff&Davis Birikme İndeksleri:

Langelier doygunluk indeksi (LSI) Larson ve Buswell (1944) tarafından analiz edilmiştir ve Şekil 5.1' deki bağıntılar verilmiştir.

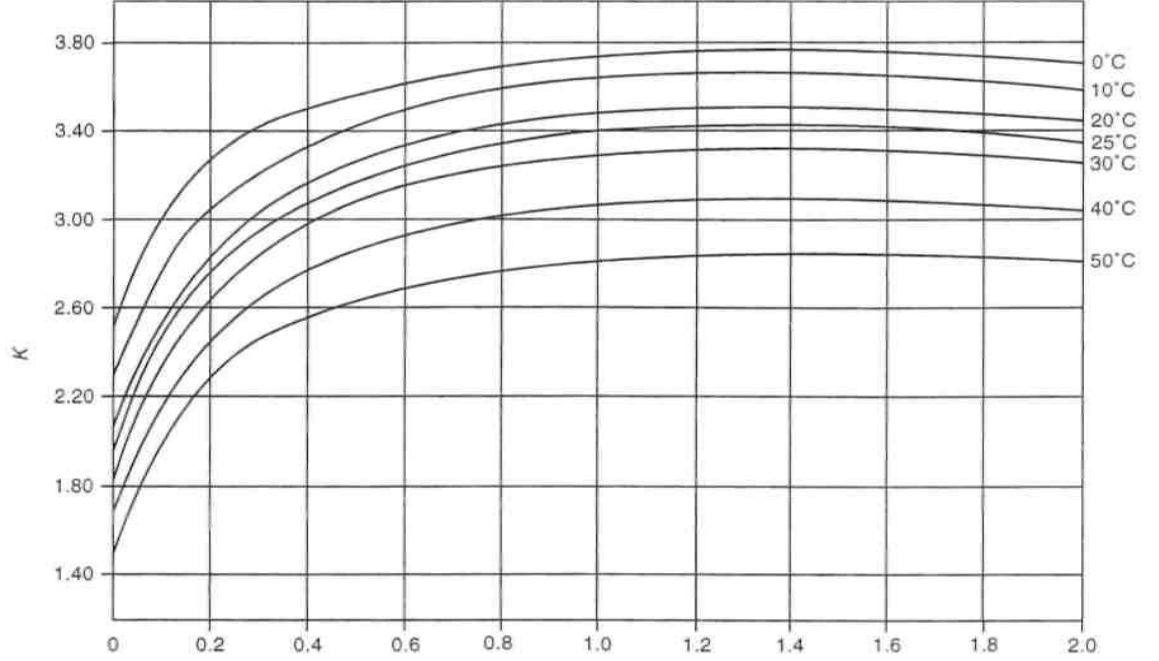
$$\text{LSI} = \text{pH} - \text{pCa} - \text{pAlk} - C \quad (4.31)$$



Şekil 4.1 : Langelier doygunluk endeksinin hesaplanması için sayısal bağıntılar

Stiff & Davis Birikme İndeksi (SDSI) Stiff ve Davis tarafından 1952 yılında şöyle analiz edilmiştir ve Şekil 4.2’de ki bağıntılar verilmiştir.

$$SDSI = pH - pCa - pAlk - K \quad (4.32)$$



Şekil 4.2: Stiff and Davis iyonik güç ve sıcaklıkla K değeri değişimi.

4.1.2 Projeksiyon programının kullanımı

Ters osmoz ve nanofiltrasyon membran sistemlerinin tasarım yöntemleri membran tipinin seçimi dışında aynıdır. RO ve NF proseslerin tasarımının IMS Design programıyla yapılmasında izlenecek yol şöyledir:

4.1.2.1 Ham su verilerinin girilmesi

Programda ilk girilmesi gereken değerler ham suyun özellikleridir. pH, sıcaklık, bulanıklık ve ham su kaynağı tipini belirledikten sonra, suyun içersinde tuzluluk ve kirliliğe yol açan iyonların konsantrasyonları programa girilmelidir (bkz. Şekil 4.3). Katyon ve anyon dengesini ayarlamak için otomatik dengeleme seçeneği kullanılabilir. İyon konsantrasyonlarının toplamı TDS değerini verir.

Hydranautics RO Projection Program - [Analysis]

File Analysis RO Design UF Treatment Calculation Graphs Help

Project: Well Water Code: WELL Feed: Well Water Date:

pH: 7,35 Turb: 1,0 E con: Well Water 4,400 ppm

Temp: 19,0 C SDI: 3,0 15min H2S: Surface Water 0,000 ppm

Ca: 70,0 ppm 3,49 meq CO3: Seawater - open intake 0,02 meq

Mg: 50,0 ppm 4,12 meq HCO3: Seawater - well 0,98 meq

Na: 189,9 ppm 8,26 meq SO4: 120,0 ppm 2,50 meq

K: 36,0 ppm 0,92 meq Cl: 478,0 ppm 13,48 meq

NH4: 0,0 ppm 0,00 meq F: 1,0 ppm 0,05 meq

Ba: 0,030 ppm 0,00 meq NO3: 0,0 ppm 0,00 meq

Sr: 11,000 ppm 0,25 meq B: 0,00 ppm 0,00 meq

SiO2: 18,0 ppm 0,00 meq

Total positive: 17,04 meq Autobalance Total negative: 17,04 meq

Calculated TDS: 1034 ppm Ionic strength: 0,022 Print

CaSO4 saturation: 2,2 % BaSO4 saturation: 93,8 % Save

Silica saturation: 14,1 % SrSO4 saturation: 22,1 %

Saturation Index: -0,8 Langelier Osmotic pressure: 9,4 psi

Şekil 4.3 : IMS Design ham su analizinin girildiği ekranın görüntüsü

4.1.2.2. Tasarımın yapılması

Ham suyun özellikleri programa girildikten sonra sistemin konfigürasyonu ile ilgili olan tasarım sayfasına geçilir (bkz. Şekil 5.4). Bu bölümde membranlara girişte istediğimiz pH değeri ve pH ayarı için kullanmak istediğimiz kimyasalı belirterek hangi konsantrasyonda dozlama yapmamız gerektiği sonucuna ulaşabiliriz. Membran ömrü de bu bölümde belirtilmesi gereken parametrelerden biridir.

Bu çalışmada yapılan bütün tasarımlarda güvenlik faktörleri olan akı azalması yıllık % 7 ve tuz geçişi yıllık % 10 olarak belirlenmiştir.

Ürün suyu debisi ve geri kazanım oranı programa girilerek, akı, konsantre debisi ve besleme debisi değerleri elde edilir.

Membran tipinin seçilmesi, ham suyun özellikleriyle doğrudan ilgilidir. Prosesin ters osmoz ya da nanofiltrasyon olması durumları da membran tipinin seçiminde belirlenir. Uygun membran tipi ve kademe sayısı belirlendikten sonra programdan uygulanan tasarıma göre hesaplamaları yapması istenmektedir. Kuyu ve yüzeysel sularda 2 kademeli, deniz suyunda ise tek kademeli sistemler tasarlanmıştır. Membran ve buna bağlı olan membran kılıfı sayıları kuyu ve yüzeysel sular da 23,4 l/m²/sa akı değerinde olması durumuna göre belirlenmiştir. Deniz suyu tuzsuzlaştırmada ise 3 farklı akı üzerinde çalışılmıştır.

Hydranautics RO Projection Program - [RO Design]

File Analysis RO Design UF Treatment Calculation Graphs Help

Project: Well Water Calculated by: PASA Date: 04.29.09

pH: 7,00 Membrane age: 5,0 years Chem type: HCl

Temp: 19,0 C Chem dosing rate: 5,0 ppm Chem concentration, %: 100

Flux decline % per year: 7,0

SP increase % per year: 10,0

Product recovery, %: 80,0

Permeate flow: m3/d 1000,00

Average flux rate: l/m2-hr 23,4

Feed flow: m3/d 1250,0

Concentrate flow: m3/d 250,0

Feed water type: Well Water

Permeate blending: ☐ Permeate throttling: ☐

Concentrate recirc.: ☐ Booster pump: ☐

Passes: 1

Stage 1 Stage 2

System Specs

Element type: ESPA4 ESPA4

Elements/vessel: 6 6

Vessels: 5 8

Stages: 2

Pass 1

Recalc Array

Run

Print

Flow diagr.

☐ AutoDisplay

☐ Summary Calc

Şekil 4.4 : IMS Design programında tasarımın yapıldığı ekranın görüntüsü

4.1.2.3. Tasarım sonuçlarının değerlendirilmesi

Program bu aşamadan sonra denklemleri kullanarak gerekli hesaplamaları yapmakta ve sonuçları bir başka sayfada (bkz. Şekil 5.5) çıkarmaktadır. Her aşama için besleme debisi, giriş basıncı, akı değerlerini belirlemekte, ürün suyunun iyon içeriklerini bildirmektedir. Ayrıca birikme indeksleri ve antiskalant dozajına ihtiyaç olup olmadığı bu aşamada belirlenmiş olur. Konfigürasyonla ilgili olası uyarılar bu pencerede karşımıza çıkar. Yapılan tasarımların tamamında uyarılar dikkate alınıp gerekli düzenlemeler yapılmıştır.

Hydranautics RO Projection Program - [RO Design]

File Analysis RO Design UF Treatment Calculation Graphs Help

Project: Well Water Calculated by: PASA Date: 04.29.09

pH: 7,00 Membrane age: 5,0 years Chem type: HCl

Temp: 19,0 C Chem dosing rate: 3,7 ppm Chem concentration, %: 100

Flux decline % per year: 7,0 Feed water type: Well Water

SP increase % per year: 10,0 Permeate blending: ☐ Permeate throttling: ☐

Product recovery, %: 80,0 Concentrate recirc.: ☐ Booster pump: ☐

Permeate flow: m3/d 1000,00

Average flux rate: l/m2-hr 23,4

Feed flow: m3/d 1250,0

Concentrate flow: m3/d 250,0

Calculation Results

Pressure: bar Flow/vessel: m3/hr l/m2-hr

Array	Vessels	Feed	Conc.	Feed	Conc.	Flux	Beta
1-1	5	7,8	6,4	10,4	4,2	27,8	1,18
1-2	3	6,4	5,3	7,0	3,5	16,0	1,11
1-3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
1-4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00

Permeate concentration (ppm)

Ca	1,37	K	4,04	Sr	0,22	Cl	26,49	NO3	0,00	CO2	8,79
Mg	0,98	NH4	0,00	CO3	0,00	SO4	2,35	B	0,00	pH	6,4
Na	17,44	Ba	0,00	HCO3	11,72	F	0,15	SiO2	2,56		

Total TDS: 67,3 ppm

Concentrate parameters

CaSO4 sat, %	16	SrSO4 sat, %	163	Ionic strength	0,11	pH	7,6
BaSO4 sat, %	659	SiO2 sat, %	62	Osmotic pressure	3,1	bar	

Saturation Index: Langelier 0,7 Stiff & Davis 0,42 Total TDS 4888,0 ppm

Note: Anti Scalant required

Passes: 1

Next

Print

Flow diagr.

☐ AutoDisplay

☐ Summary Calc

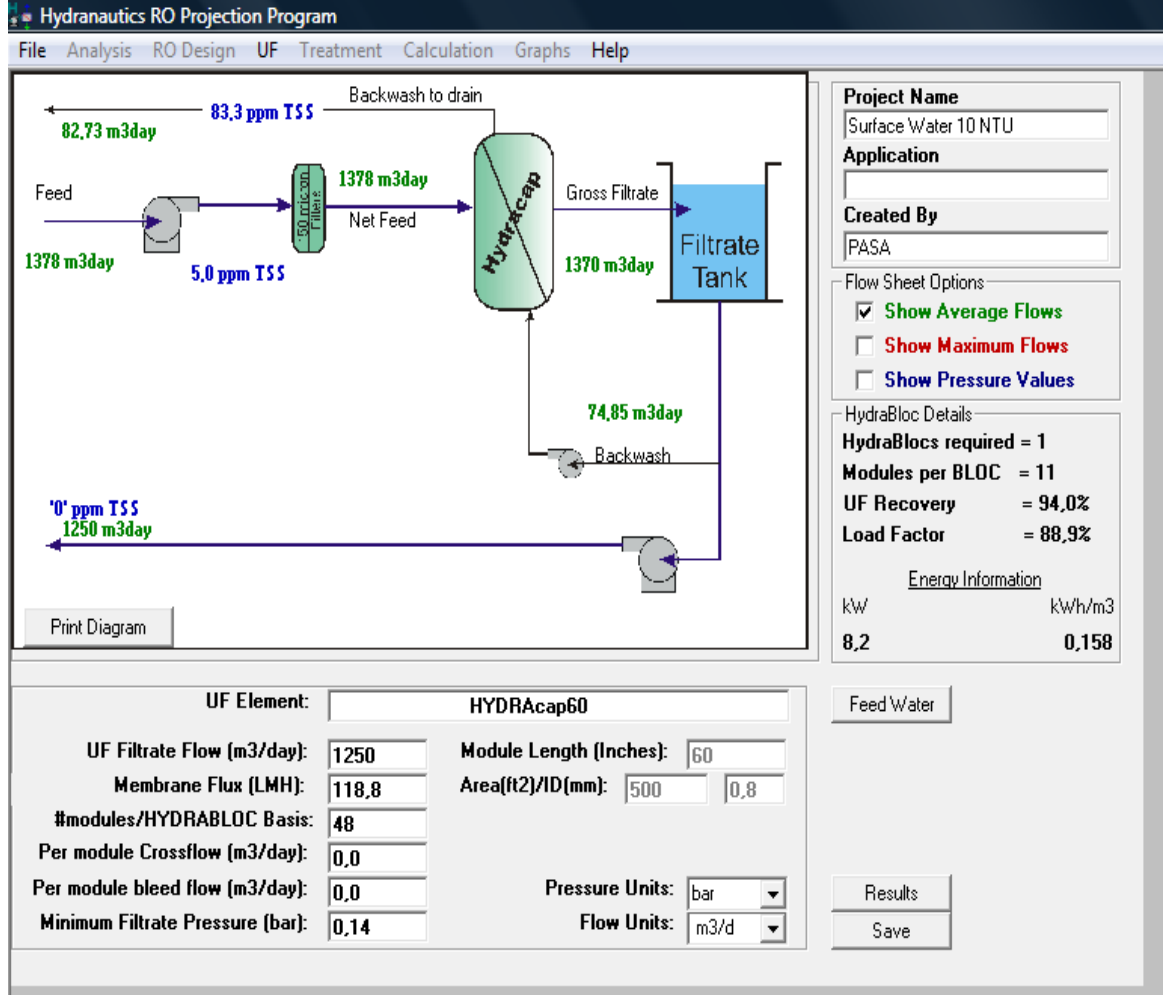
Şekil 4.5 : IMS Design programı sonuç ekranının görüntüsü

Sistemin işletme maliyetinin büyük bir kısmını oluşturan enerji tüketimlerinin yaklaşık değerleri de istenildiği takdirde bu program sayesinde bulunabilir. Program, tasarımıyla ilgili bütün verileri tek bir rapor halinde de sunabilmektedir.

Ters osmoz ve nanofiltrasyondan farklı bir tasarım yöntemi olan ultrafiltrasyon prosesi için ham suyun sadece fiziksel özelliklerinin girilmesi yeterli olacaktır. UF besleme suyunun bulanıklık, toplam askıda madde, olası en düşük ve en yüksek sıcaklık değerleri sistemin tasarımı için belirtilmesi gereken fiziksel özelliklerdir. UF tasarımını yapmak için Şekil 5.6'da görülen ekrana bu özelliklerin girilmesi gerekmektedir.

Uygun ultrafiltrasyon membran tipi de seçildikten sonra istenilen ürün suyu miktarı programa girilir.

Sistemin çapraz akışlı çalışması isteniyorsa çapraz akış debisi girilmelidir. Yüzeysel suların membran proseslerle arıtımında ön arıtma olarak kullanılan ultrafiltrasyon dizaynında ölü uç filtrasyon metoduna göre dizayn yapılmıştır. Bu değerler girildikten sonra sonuçlar kısmında UF giriş çıkış basınçları, ters yıkama debileri, kimyasal yıkama sıklıkları, tüketilen kimyasal miktar değerleri tespit edilir.



Şekil 4.6 : IMS Design UF tasarım ekranı görüntüsü

4.2 Maliyet Analiz Metodları

Endüstriyel bir üretim gerçekleştirmek için yatırım yapmak ve üretim maliyetlerini karşılamak gerekmektedir. Membran proseslerin kullanıldığı arıtma tesisleri aslında birer su fabrikasıdır. Ürünün yani içme ve kullanma suyunun birim (m^3) maliyeti yatırım yapılmadan önce tayin edilmelidir. Bu çalışmada, birim suyu elde etmek için tesisin ilk kurulumundan, ürün suyunun membranlardan çıkıp ürün suyu kolektörüne gelene kadar olan birim maliyetine *toplam üretim maliyeti* adı verilmiştir.

Tesisin inşaatının ilk temel kazısından devreye alınmaya hazır hale getirilene kadar ki yapılan yatırımlara *ilk yatırım maliyeti*, sistemin çalıştırılıp suyun üretilmesi sırasında oluşan giderlerin tamamı ise *işletme maliyetini* oluşturur.

İlk yatırım ve işletme maliyetlerinin birim hacimdeki su bazında belirlenip toplanması *toplam üretim maliyetini* vermektedir.

4.2.1 İlk yatırım maliyetinin kapsamı

İlk yatırım maliyeti banka kredisi kullanılarak dolar bazında 5 yıllık % 8 oranında bileşik faiz uygulanarak hesaplanmıştır. Sistemlerin ömrü 15 yıl kabul edilmiş olup ilk yatırım maliyeti ilk 5 yıl için hesaplanmıştır.

Membran sistemli arıtma tesislerinin ilk yatırım maliyetini oluşturan ana değerler şunlardır:

- Arazi temini
- Projelerin hazırlanması
- İnşaat İşleri
- Kullanılan Ekipmanlar
- Elektrik İşleri
- Mekanik İşler
- Ön Arıtma

4.2.1.1 Arazi temini

Arıtma tesisin kurulacağı arazinin bedeli için kesin bir tutar belirlenemeyip bölgeye göre çok büyük farklılıklar gösterdiğinden ilk yatırım maliyetine dahil edilmemiştir.

4.2.1.2 Proje bedeli

Türkiye’de büyük kapasiteli arıtma tesislerinin projeleri ihaleyi yapan kurum tarafından hazırlandığı için kesin bir bedel belirlemek oldukça güçtür.

4.2.1.3 İnşaat işleri

Tesisin kurulacağı alan düz bir zemin gibi kabul edilerek hafriyat maliyeti yok sayılarak hesaplanmıştır. İnşaat işleri; beton, inşaat demiri, kalıp, işçilik ve bina içi ince işleri kapsamaktadır. Arıtma binası, membran sistemi besleyen beton bir depo, bina içi ve dışı kanallar, drenaj hatları ve tesis içi yollar düşünülerek belirlenmiştir.

Bütün bu değerler göz önüne alındığında inşaat işleri, sistemin kapasitesine göre toplam maliyetin yaklaşık % 10'luk kısmını oluşturmaktadır.

4.2.1.4 Kullanılan ekipmanlar

Membran prosesli arıtma tesisin ilk yatırım maliyetine etki eden en büyük etmen kullanılan ekipmanların maliyetidir. Sistemde kullanılan ekipmanlar şunlardır:

-Membranlar:

Tasarımların tamamında Hydranautics firmasının membranları kullanılmıştır. 5000 ppm TDS e kadar olan kuyu sularında ve yüzeysel suların tasarımında ESPA 4 model düşük basınç ters osmoz membranları kullanılmıştır. 5000 ppm ve üstü TDS değerine sahip kuyu sularında CPA 2 RO membranları kullanılmıştır. 1000 ppm TDS değerindeki kuyu sularının NF membranları ile arıtılmasında ise ESNA-1 LF2 model membranlar kullanılmıştır. Tasarımlarda kullanılan ters Osmoz membranların özellikleri Çizelge 4.1' de verilmiştir.

Yüzeysel suların arıtılmasında ultrafiltrasyon ile yapılan ön arıtmada HYDRACAP 60 membran modülleri baz alınmıştır. Tasarımlarda RO için ESPA 4, NF için ESNA-1 LF2 membranı kullanılmıştır (bkz. Çizelge 4.2)

Deniz suyuyla içme suyu arıtma sistemlerinin tasarımında SWC5 model deniz suyu membranlarına göre tasarım ve hesaplamalar yapılmıştır. Tasarımlarda kullanılan ters osmoz membranlarının özellikleri Çizelge 4.1' de, membran modülünün özellikleri Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.1 : Tasarımlarda kullanılan ters osmoz membran özellikleri.

Membran Modeli	ESPA 4	CPA 2	SWC 5
Ürün Debisi, m ³ /g	45,4	37,9	34,1
Tuz Giderim Verimi, %	99,2	99,7	99,8
Konfigürasyon	Spiral Sarmal	Spiral Sarmal	Spiral Sarmal
Materyal	Kompozit Polyamid	Kompozit Polyamid	Kompozit Polyamid
Membran Alanı, m ²	37,1	365	37,1
Maksimum basınç dayanımı, bar	41,6	41,6	82,7
Maksimum Klor Konsantrasyonu, ppm	< 0,1	<0,1	< 0,1
Maksimum Operasyon Sıcaklığı, °C	45	45	45
Hamsu pH Aralığı	3,0 – 10,0	3,0 – 10,0	3,0 – 10,0
Maksimum Ham su Bulanıklık, NTU	1	1	1
Maksimum Ham su SDI	5	5	5
Maksimum Besleme Debisi, m ³ /sa	17	17	17
Konsantre suyun ürün suyuna oranı	5 : 1	5 : 1	5 : 1

Çizelge 4.2 : Tasarımlarda kullanılan nanofiltrasyon membranının özellikleri.

Membran Modeli	ESNA1- LF2
Ürün Debisi, m ³ /g	39,7
CaCl ₂ Giderim Verimi	% 92
Konfigürasyon	Spiral Sarmal
Materyal	Kompozit Polyamid
Membran Alanı, m ²	37,1
Maksimum basınç dayanımı, bar	41,6
Maksimum Klor Konsantrasyonu, ppm	< 0,1
Maksimum Operasyon Sıcaklığı, °C	45
Hamsu pH Aralığı	3,0 – 10,0
Maksimum Hamsu Bulanıklık, NTU	1
Maksimum Ham su SDI	4,0
Maksimum Besleme Debisi, m ³ /sa	17
Konsantre suyun ürün suyuna oranı	5 : 1

Çizelge 4.3 : Tasarımlarda kullanılan ultrafiltrasyon membranının özellikleri.

Membran Modeli	HYDRACAP 60
Filtrasyon Debisi, m ³ /g	2,7 – 6,8
Çıkış Bulanıklık	≤ 0,07
Virüs Giderimi	≥ 4 log
Bakteri Giderimi	≥ 4 log
Konfigürasyon	Kapiler Ultrafiltrasyon Modülü
Materyal	Hidrofilik Polietersülfan
Membran Alanı, m ²	46
Filtrasyon Akısı, l/m ² /sa	59 - 145
Fiber Ölçüleri (iç çap - dış çap mm)	0,8 – 1,3 mm
Maksimum besleme basıncı, bar	5
Maksimum Klor Konsantrasyonu, ppm	100
Maksimum Operasyon Sıcaklığı, °C	40
Ham su pH Aralığı	4,0 – 10,0
Maksimum Ham su Bulanıklık, NTU	100
Ters Yıkama Akısı, l/m ² /sa	170 - 255
Temizleme pH aralığı	1,5 - 13,0
Dezenfeksiyon Kimyasalları	NaOCl, H ₂ O ₂ , ClO ₂ veya NH ₂ Cl
Temizleme Kimyasalları	HCl, H ₂ SO ₄ , NaOH veya Sitrik asit

-Membran Kılıfları:

En yaygın kullanılan membran kılıfı FRP (fiber reinforced polyester) ham maddesinden üretilmiştir. Ancak membran besleme basınçlarına göre kılıfların basınç sınıf seçimleri farklılık göstermektedir. Basınç arttıkça membran kılıflarının fiyatları da artmaktadır.

TDS < 5000 ppm olan kuyu sularının ve yüzeysel suların arıtımında Wave Cyber 8” 300 psi’lık membran kılıf fiyatı kullanılmıştır.

TDS $\geq$ 5000 ppm olan kuyu sularının arıtımında Wave Cyber 8” 400 psi’lık membran kılıfı için fiyat alınmıştır.

Deniz sularını arıtımında Wave Cyber 8” 1200 psi’lık membran kılıfının kullanımı uygun görülmüştür.

-Membran Kılıf Şaseleri:

Kılıfların bağlandığı karbon çelik ve epoksi boyalı konstrüksiyondur.

-Kartuş Filtreler:

RO ve NF membranlarını ham suyla birlikte sisteme girebilecek iri partiküllerden korumaya yararlar. Ham suyun kalitesine göre periyodik olarak değiştirilir. Sistemin kapasitesine göre değişen 5 mikronluk kartuş fiyatları kullanılmıştır.

-Kartuş Filtre Kılıfı:

AISI 304 sınıf paslanmaz çelikten imal edilmiş kılıfın maliyeti baz alınmıştır.

-Sistem besleme Pompaları:

Düşük kapasitelerde EBARA, yüksek kapasitelerde KSB firmasının farklı model ve kapasitelerde pompalarının fiyatları kullanılmıştır.

-Yüksek Basınç Pompaları:

EBARA ve KSB firmasının farklı model ve kapasitelerde pompalarını fiyatları kullanılmıştır. Sistemin besleme basıncı ve besleme debilerine göre EBARA ve KSB firmalarının sağlamış olduğu pompa eğrilerinden yararlanılarak seçimler yapılmıştır. Büyük kapasitelerde KSB firmasının pompa model ve fiyatları kullanılmıştır.

-Frekans Konvertör:

Yüksek basınç pompasının devrini ayarlayabilmek için pompanın gücüne göre değişiklik gösteren ABB markalı frekans konvertör fiyatları baz alınmıştır.

-Kimyasal Dozaj Pompaları:

Alldos markalı kimyasal dozlama pompalarının fiyatları antiskalant, asit ve SMBS dozlama maliyetleri için kullanılmıştır.

-Kimyasal Dozaj Tankları:

Sistemin kapasitesine göre değişen büyüklükte Polietilen tankların fiyatları kullanılmıştır.

-Kimyasal Yıkama Ünitesi:

Sistemin kapasitesine göre değişen büyüklükte Polietilen tanklar ve AISI 316 paslanmaz çelik gövdeli KSB ve EBARA marka pompaların fiyatları kullanılmıştır.

-Manometreler:

Pakkens marka gliserinli manometre

-Ürün suyu ve konsantre Debimetresi:

Düşük kapasiteler için George Fisher (GF) marka pedallı tip, büyük kapasiteler için General Electric marka ultrasonik debimetre fiyatları baz alınmıştır.

-Ham Su ve Ürün Suyu İletkenlik Ölçer:

GF firmasının fiyatları kullanılmıştır.

4.2.1.5 Elektrik işleri

Elektrik işleri kapsamında olan ve maliyete etki eden kalemler ilk yatırım maliyetinin % 8’lik bir kısmını oluşturduğu kabul edilerek aşağıda verilmiştir.

-Elektrik Panoları

-Pano içi şalt malzemeler

-Scada ve PLC

-Aydınlatma

-Kablolar

-Kablo tavaları

4.2.1.6 Mekanik işler

Sistem içi borulamalar, fittingsler, dirsekler, vanalar ve sökme parçaları mekanik işler kapsamında maliyete dahil edilmiştir. İlk yatırım maliyetinin % 8 – 11’lik bir kısmını oluşturduğu kabul edilmiştir.

4.2.1.7 Ön arıtma

Oldukça hassas olan membranların tıkanmasını önlemek için ham suyun fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre farklı tipte ön arıtma sistemlerine ihtiyaç vardır. Kum

filtre, mekanik filtre, çöktürme tankları gibi konvansiyonel ön arıtma sistemleriyle ve özellikle SDI değeri yüksek olan suların yine bir membran proses olan ultrafiltrasyonla ters osmoz ve nanofiltrasyon membranlarının korunması hedeflenmiş ve maliyetleri çıkarılmıştır. Bu çalışmada farklı ham su kaynaklarının farklı yöntemlerle ön arıtılması sonucu maliyetleri analiz edilmiştir.

Kum filtre tankları 100.000 m³/gün ve daha büyük kapasiteli sistemler için beton olarak tasarım edilmiştir. Daha küçük kapasitelerde ise karbon çelik ve epoksi boyalı olarak maliyetleri hesaplanmıştır. Filtre malzemesi, çakıl kum ve antrasit olarak tasarım yapılmıştır. Kum filtre sistemini oluşturan birimler aşağıdakilerdir;

- Kum filtre tankı
- Kum filtre Ters Yıkama Pompaları
- Filtre Medyası
- Nozullar
- Çelik tanklar için Pnömatik tahrikli vanalar
- Betonarme tanklar için kanal kapakları ve elektrikli vanalar
- PLC
- Kum Filtre Borulaması

Mekanik filtreli membran proses sistemlerinde 100 mikronluk otomatik temizlemeli mekanik filtre fiyatları TIMEX firmasından alınarak maliyete dahil edilmiştir.

Ultrafiltrasyonla ön arıtmanın ilk yatırım maliyetini;

- UF modülleri,
- Modül şaseleri,
- Besleme Pompası,
- Ters Yıkama Pompası,
- Kimyasal Dozlama Pompası,
- Kimyasal Dozlama Tankları,
- Vanalar,
- Ölçüm Enstrümanları (debi, pH ve sıcaklık) maliyetleri oluşturmaktadır.

4.2.2 İşletme maliyetinin kapsamı

Toplam ürün maliyetini oluşturan, en az ilk yatırım maliyeti kadar önemli olan diğer bir değer ise işletme maliyetidir. Ülkemizde ve dünyada bir çok yatırım ne yazık ki

işletme giderleri önemszenmeden yapıldığından daha sonra karşılanamayacak boyuttaki bu giderler yüzünden çürümeye bırakılmıştır. Oldukça pahalı bir teknoloji olan membran prosesli içme suyu arıtma tesislerinin de aynı kaderi paylaşmaması için işletme maliyetlerinin önceden tespiti yapılması şarttır.

Membran prosesli arıtma tesislerinde işletme maliyetini oluşturan değerleri sürekli tüketimler ve değiştirilen ürünler olarak iki kısımda incelenmektedir.

Sürekli tüketimler; elektrik enerjisi ve kimyasallardır.

- Elektrik enerjisi tüketimi:

Tedaş'ın verilerinden faydalanılarak enerji birim fiyatı 0,09 \$/kw olarak alınmıştır.

- Kimyasal Tüketimleri:

Tasarımda kullanılan ham suyun karakteristik özelliklerine göre kullanılan kimyasal miktarları ve çeşitleri farklılıklar gösterebilir.

Maliyet hesapları yapılırken Çizelge 4.4'deki fiyatlar baz alınmıştır. Membran proseslerde kullanılan kimyasal maddeler şunlardır:

- Antiskalant: RO ve NF membranlarında kışır önleyici kimyasal olarak kullanılır.
- Sodyum Metabisüfit:Suda serbest halde bulunan klor RO ve NF membranlarının yapısını bozar. SMBS, ham sudaki serbest kloru bağlayarak membranların bozunmamasını sağlar.
- Klor : Ön arıtmadaki biyolojik kirlenmenin önüne geçmek ve UF membranlarının kimyasal yıkama evresinde kullanılır.
- Kostik : UF membranlarının kimyasal yıkamasında ve membran prosesin sonunda pH ayarı yapmak için kullanılır.
- Hidroklorik Asit : UF membranlarının kimyasal yıkamasında ve bazı durumlarda ham suyun membranlarına girmesinden önce dozlanarak pH'nın istenen değere düşürülmesinde kullanılır.

Bütün bu kimyasalların tüketim miktarları her tasarımda farklılık göstermektedir.

Membran proseslerde periyodik olarak değişimi kabul edilen ürünler ise; membranlar ve kartuş filtrelerdir. Kartuş filtrelerin işletme sırasında her 6 ayda bir değiştirildiği düşünülmüştür. Membranların değişim süresi farklı ham su karakterine ve ön arıtmanın verimliliğiyle doğru orantılı olarak tasarımda farklılıklar gösterir. Örneğin SDI değeri yüksek olan yüzeysel ham su kaynağının konvansiyonel sistemle ön

arıtma tasarımında membran ömrü 3 yıl, aynı suyun UF ile ön arıtmasında 5 yıl olarak seçilmiştir.

Çizelge 4.4 : Kimyasal madde birim fiyatları.

Antiskalant	5 \$ / kg
Hidroklorik Asit (% 33'lük)	0,5 \$ / kg
SMBS	1,2 \$ / kg
Kostik (% 33'lük)	0, 35 \$ / kg
Sodyum Hipoklorit (% 14'lük)	0 ,2 \$ / kg
FeCl ³	0,3 \$ / kg

4.3 Ham Su Karakterlerine Göre Yapılan Tasarımlarda Esas Alınan Faktörler

Çalışmanın amacı ve kapsamı kısmında da belirtildiği üzere 1.000, 5.000, 10.000, 100.000 ve 300.000 m³/gün üretim kapasitelerine göre sistemler dizayn edilip birim su maliyetlerine ulaşılmıştır.

Tasarımlarda esas alınan ham su kaynakları; kuyu suları, yüzeysel sular ve denizler olmakla beraber her bir kaynak fiziksel ve kimyasal özellikler bakımından farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle maliyetleri ortaya çıkarmak amacıyla yapılan tasarımlar her su kaynağı için farklıdır.

4.3.1 Kuyu sularının arıtımında esas alınan faktörler

Kuyu sularının bir kısmı herhangi bir ileri arıtma yöntemine başvurulmadan içilebildiği gibi büyük bir kısmı da içme suyu standartlarını sağlamamaktadır. İçme ve kullanma suyu olarak değerlendirilemeyecek nitelikteki kuyu sularının membran proseslerle arıtılmasında kullanılan ve kabul edilen tasarım esaslarının başında kuyu suyunun TDS değeri gelmektedir. 1000, 2000, 5000 ve 10000 ppm olarak 4 farklı tuzlulukta kuyu suyunun ters osmoz membranlarıyla arıtılması için tasarım yapılmış ve birim su maliyetlerine ulaşılmıştır. 4 farklı tuzlulukta ki kuyu suyunun kabul edilen detaylı kimyasal analizleri Çizelge 4.5'te verilmiştir.

1000 ppm tuzlulukta kuyu suyunun ters osmoz ve nanofiltrasyon proses tasarımları, ön arıtmanın kum filtre veya mekanik filtre ile yapılması durumları için maliyet karşılaştırmaları yapılmıştır.

Çizelge 4.5 : Farklı tuzluluk değerlerinde ki kuyu sularının kimyasal analizleri

	1000 ppm TDS Kuyu suyu (ppm)	2000 ppm TDS Kuyu suyu (ppm)	5000 ppm TDS Kuyu suyu (ppm)	10000 ppm TDS Kuyu suyu (ppm)
Ca	70	165	420	860
Mg	50	80	166	320
Na	190	390	989	2200
K	36	80	120	120
NH4	0	0	0	0
Ba	0,03	0,03	0,03	0,03
Sr	11	11	11	15
CO3	0,5	0,5	32	430
HCO3	60	60	752	752
SO4	120	120	450	450
Cl	478	1082	2044	4762
F	1	1	1	1
NO3	0	0	0	60
B	0	0,25	18	18

1000 ppm TDS değerlerine sahip kuyu suyunun ham su olarak kullanılacağı sistemlerde RO’da düşük basınçlı Hydranutics ESPA4 membranları, NF’de ESNA LF2 tip membranlar kullanılması durumları göz önünde bulundurulmuştur.

Tuzluluğun 2000 ppm olduğu durumda RO için ESPA4, 5000 ve 10.000 ppm olduğu durumlarda CPA2 membranları seçilmiştir. Bütün membran tipleri için akı 23,4 l/m²/sa olarak alınmıştır.

1000 ppm tuzluluktaki dizaynlarda geri kazanım oranı % 80, 2000 ppm tuzlulukta % 70, 5000 ppm tuzlulukta % 60 ve 10.000 ppm tuzlulukta % 55 olarak belirlenmiştir.

İşletme maliyetinde etkisi olan membran değişiminin 5 yılda bir, kartuş filtre değişiminin 6 ayda bir olacağı esasına göre dizaynlar gerçekleştirilmiştir.

Yapılan tasarımlar sonucu ürün suyu iletkenlik değerinin TSE’ nin içme suyu tuzluluk sınır değeri olan 500 ppm’ in çok altında olduğu görülmüştür. Ürün suyu iletkenlik değerinin 200, 300 ve 400 ppm olması durumlarında maliyetler tespit edilmiştir.

Ürün suyunu iletkenlik değerini arttırmak için ürün suyuna ön arıtma çıkışında ki ham sudan bypass yapılması durumu değerlendirilmiştir. Böylece membran prosese girecek ham su debisi azalmış ancak ürün suyu debisi değişmemiş olacaktır.

1000 m³/gün kapasiteli sistemlerin tasarımında EBARA'nın döküm gövdeli sistem besleme ve yüksek basınç pompaları kullanılmıştır.

5000 m³/gün ve üzeri sistemlerde sistem besleme ve yüksek basınç pompaları KSB'nin döküm gövdeli pompalarından seçilmiştir.

Derin kuyu pompalarının birim su maliyetlerine olan etkisi 1000 ppm TDS'te RO ile arıtılan ham su tasarımları için her bir kapasitede incelenmiştir. Bu pompaların basma yüksekliği 200 mSS olarak seçilmiştir.

Kum filtrelerini besleyecek basınçta suyun tesise geldiği varsayılmıştır. Çünkü ham su kaynağı olarak kullanılacak her kuyunun derinliği ve bu suyu pompalamanın maliyeti farklı olacaktır. Derin kuyu pompalı sistemlerde suyun 150 m derinlikten çıktığı varsayılarak yük kayıpları ve kum filtrelerini besleyecek yeterli basınca ihtiyaç olduğu düşünülerek 200 mSS basma yüksekliğinde paslanmaz ALARKO marka dalgıç tip derin kuyu pompalarının ilk yatırım ve işletme maliyetleri kullanılmıştır.

Mekanik filtre ile ön arıtma tasarımlarında TIMEX firmasının otomatik temizlemeli 100 mikronluk mekanik filtre fiyatları esas alınmıştır.

Ham suya 3 mg/l antiskalant, 3 mg/l SMBS dozlanması durumuna göre tasarım gerçekleştirilmiştir.

Türkiye'deki kuyu sularının içme suyu olarak kullanılmasında membran proseslerle arıtılmasının fizibilitesi için bu çalışmada toplam 50 farklı dizayn yapılmıştır.

4.3.2 Yüzeysel suların arıtımında esas alınan faktörler

Yüzeysel suların içme ve kullanma suyu olarak tüketilmesinden önce çeşitli arıtma işlemlerine tabi tutulması gerekmektedir. Bu arıtma yöntemlerinin hangileri olacağı ve sıralaması, hedef suyun fiziksel ve kimyasal özellikleriyle ilgilidir. Yüzeysel suların ters osmoz veya nanofiltrasyon prosesiyle arıtılmasına ham suyun tuzluluk değerinin 500 ppm'in üzerinde olduğu durumlarda başvurulmalıdır. Son yıllarda ucuzlayan membran maliyetleri ve düşük basınçlı ters osmoz membranların geliştirilmesiyle, bu suların membran proseslerle arıtımının hem ilk yatırım, hem de işletme maliyetleri düşürülmüştür. Yüzeysel sular genelde yüksek bulanıklık değerlerine sahip olduğundan yeterli ön arıtma yapılamadığı durumlarda ters osmoz ve nanofiltrasyon membranları kısa sürede tıkanır ve dolayısıyla membran ömrü

kısalır. Proseslerde kullanılacak ön arıtma, yüzeysel su kaynaklarında kuyu sularına göre daha fazla önem taşımaktadır. Bulanıklık değerlerinin 5, 10 ve 15 NTU olduğu 3 farklı su kaynağı baz alınmıştır. Her kaynağın 1000 ppm TDS değerinde olması durumuna göre tasarımlar yapılmış ve birim su maliyetlerine ulaşılmıştır.

Ön arıtmanın sırasıyla kaagülasyon, flokülasyon ve filtrasyon olduğu konvansiyonel arıtma yöntemi ile son yıllarda kullanımı yaygınlaşan ve daha hassas olan ultrafiltrasyon prosesinin maliyet karşılaştırmaları yapılmıştır. Bulanıklığın 5 NTU olması durumunda, suya ön arıtma öncesi 2 mg/l, 10 NTU'da 3 mg/l ve 15 NTU'da 5 mg/l demir(III)klorür ($FeCl_3$) dozajı yapılması durumuna göre tasarım yapılmıştır..

Konvansiyonel prosesler için ham suyun cazibeyle ünitelerden geçebildiği kabul edilirken, ultrafiltrasyon prosesinde besleme pompaları kullanılarak ham suyun UF modüllerinden geçmesi tasarlanmıştır. Ultrafiltrasyonun ön arıtma olarak tasarlandığı membran proseslerde bütün ham su karakterlerinde ters osmoz ve nanofiltrasyon membranlarının ömrü 6 yıl olarak seçilmiştir. Bunun nedeni UF membranlarının bulanıklık ve SDI giderme veriminin çok yüksek olması ve RO/NF membranlarının yükünü azaltmasıdır. 5 NTU bulanıklık değerine sahip ham suya konvansiyonel ön arıtma uygulandığı durumda ise membran ömrü 5 yıl, 10 NTU'da 4 yıl , 15 NTU'da 3 yıl olarak sistemler tasarlanmıştır.

Ön arıtmanın ultrafiltrasyon olduğu tasarımlarda UF prosesine tabi tutulmuş ham suyun birim maliyetleri ayrıca hesaplanıp, RO ve NF proseslerinin maliyetlerine eklenmiştir.

Yüzeysel suların ters osmozla arıtımında Hydranautics membran üretici firmasının ESPA 4, nanofiltrasyonla arıtımında ESNA-1 LF2 membran tiplerine göre tasarımlar yapılmıştır. Bütün konfigürasyonlarda geri kazanım oranı % 80, akı 23,4 l/m²/sa olarak seçilmiştir.

Nanofiltrasyon membranlarıyla 5 NTU bulanıklığında, ters osmoz membranlarıyla her üç bulanıktaki yüzeysel su kaynaklarından içme suyu eldesinin birim maliyet analizleri yapılmıştır. 1000 m³/gün kapasiteli sistemlerin tasarımında EBARA'nın döküm gövdeli sistem besleme ve yüksek basınç pompaları kullanılmıştır.

5000 m³/gün ve üzeri sistemlerde sistem besleme ve yüksek basınç pompaları KSB'nin döküm gövdeli pompalarından seçilmiştir.

Ham suya 3 mg/l antiskalant, 3 mg/l SMBS dozlanması durumuna göre tasarım gerçekleştirilmiştir.

Farklı bulanıklarda ki, 1000 ppm TDS değerine sahip yüzeysel suların Türkiye’de membran proseslerle içme suyu amaçlı arıtılmasının maliyet analizi için toplam 40 farklı sistem tasarlanmıştır.

4.3.3 Denizlerden membran proseslerle içme suyu üretiminde esas alınan faktörler

Türkiye’nin üç tarafının denizlerle çevirili olması, maliyetleri karşılanabildiği takdirde tuzsuzlaştırma yöntemleriyle Türkiye’de içme ve kullanma suyunun tükenmeyeceği anlamına gelmektedir. Bu çalışmada Akdeniz, Marmara ve Karadeniz’den ters osmoz prosesiyle içme suyu üretiminin maliyetleri incelenmiştir. Yapılan bütün tasarımlarda ön arıtma sistemi olarak kum filtreleri kullanılması durumu değerlendirilmiştir.

Tuzluluk arttıkça geri kazanım oranı azaltılmıştır. En yüksek tuzluluk değerine sahip Akdeniz’in ters osmoz yöntemiyle tuzsuzlaştırılmasında % 40, Marmara’da % 45 ve Karadeniz’de % 48 geri kazanım oranlarına göre sistemler tasarlanmıştır.

Her su kaynağının 15,6, 13,3 ve 11,7 l/m²/sa akı değerlerinde işlenmesinin maliyetleri belirlenmiştir. Tasarımlar SWC5 membran modeli ve Wavecyber 8” 1200 psi membran kılıfları seçilerek yapılmıştır. Yüksek tuzluluk içeren ham su kaynakları membran proseslerle tuzsuzlaştırılırken ham suyun membranlardan yüksek basınçta geçmesi sağlanır ki bu da enerji tüketiminin fazla olması ve hidrolik enerji olarak konsantre akıma geçmesi anlamına gelir. Tasarımlarda konsantre akımındaki hidrolik enerjinin % 90 – 95’ini geri kazandıran ERI marka pistonlu hidrolik yük değiştiriciler kullanılmıştır. Bütün borulamalar paslanmaz çelikten ve yüksek basınç dayanımına göre düşünülmüştür.

Ham suyun denizden açık su alma yapısıyla 20 m derinden alındığı ve arıtma tesisine ulaşip kum filtrelerinden geçerek yüksek basınç pompası girişinde 4 bar basınçta olması durumuna göre sistem besleme pompası seçimleri yapılmıştır. EBARA’nın paslanmaz gövdeli dalgıç tip pompaları, KSB’nin pozitif deplasmanlı paslanmaz gövdeli yüksek basınç pompaları seçilerek maliyetlere ulaşılmıştır.

Ham suya 3 mg/l antiskalant, 3 mg/l SMBS dozlanması durumuna göre tasarımlar gerçekleştirilmiştir.

Türkiye'nin 3 farklı tuzlulukta ki denizlerinden ters osmoz yöntemiyle içme suyu eldesinin maliyetlerini belirlemek için bu çalışmada toplam 45 farklı tasarım yapılmıştır.

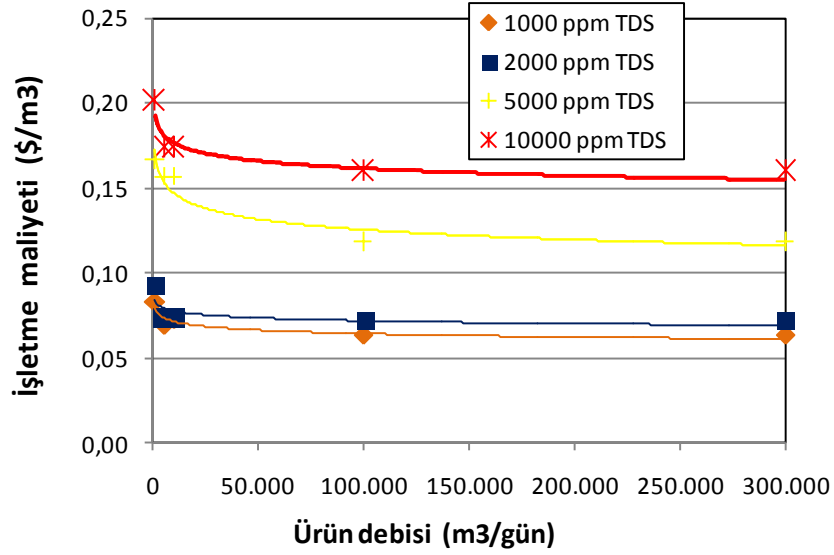
5. MALİYETLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1 Kuyu Suyundan Membran Proseslerle İçme Suyu Üretiminin Maliyet Değerlendirmesi

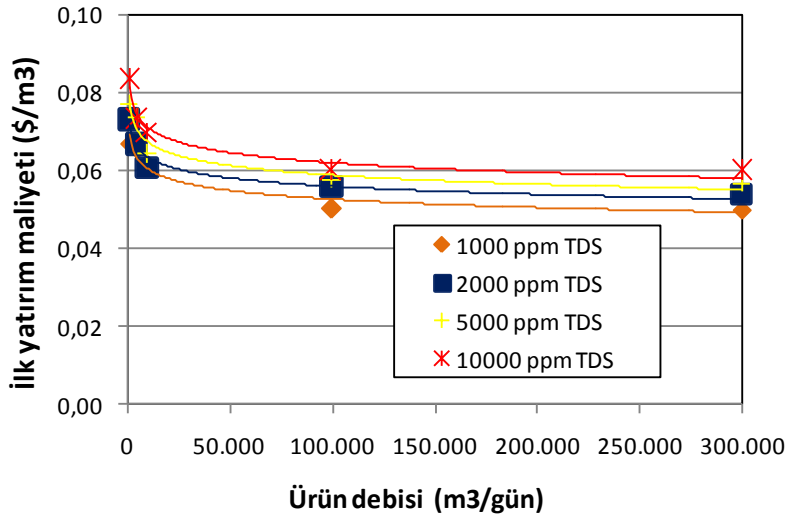
Kuyu suyu ters osmoz sistemlerinin maliyet analizi için TDS değeri 1000, 2000, 5000 ve 10000 ppm olan dört farklı kuyu suyu üzerinde ön arıtmanın kum filtre ile yapılması durumu için çalışılmıştır. Şekil 5.1 'de işletme maliyeti, Şekil 5.2 'de ilk yatırım, Şekil 5.3' de toplam üretim maliyetlerinin kapasite ve tuzlulukla değişimleri verilmiştir. 1000 ppm TDS ' da ki ham suyu kullanan 1000 m³/gün kapasiteli bir tesisin işletme maliyeti 0,083 \$/m³ iken kapasitenin 300.000 m³/gün olması halinde maliyet 0,063 \$/m³ e inmektedir. Bütün tuzluluk değerleri için 100.000 m³/gün kapasiteden sonra maliyetlerdeki düşüş azalmıştır. Nedeni tasarımlarda kullanılan yüksek basınç pompalarının sistemlerin kapasitesinde sınırlayıcı olmasıdır. 1000 ppm tuzlulukta 100.000 m³/gün kapasiteli bir tesis daha büyük kapasitede yüksek basınç pompası bulunamadığı için kendi içinde 2 adet 50.000 m³/gün kapasiteli ters osmoz ünitesinden ve bu üniteleri besleyen birer tane pompadan oluşması durumuna göre tasarlanmıştır. Bu nedenle 100.000 ve 300.000 m³/gün kapasiteli sistemler arasında birim maliyetler açısından çok büyük fark yoktur. 5000 ppm tuzlulukta kuyu suyunu arıtmak için tasarlanan 100.000 m³/gün kapasiteli tesisin toplam üretim maliyeti 0,175 \$/m³, 300.000 m³/gün kapasitesinin ki 0,174 m³/gündür.

Tuzluluk ve maliyetler arasında doğru orantı vardır. 1000 m³/gün debide 1000 ve 2000 ppm tuzluluk değerleri arasında % 10 mertebesinde bir işletme maliyeti farkı varken, aynı kapasitede 5000 ve 10000 ppm tuzluluk değerlerinde bu oran % 20 olarak tespit edilmiştir.

En yüksek toplam üretim maliyeti 1000 m³/gün kapasiteli 10.000 ppm tuzlulukta ki kuyu suyunun arıtılması, en düşük 300.000 m³/gün kapasiteli 1000 ppm tuzluluk değerinde ki kuyu suyunun arıtılmasıdır.

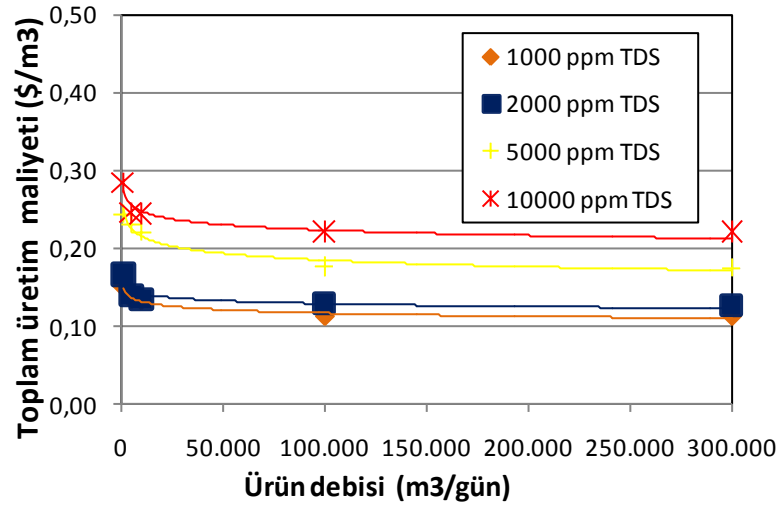


Şekil 5.1 : Farklı tuzluluklarda kuyu sularından ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde işletme maliyetlerinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi



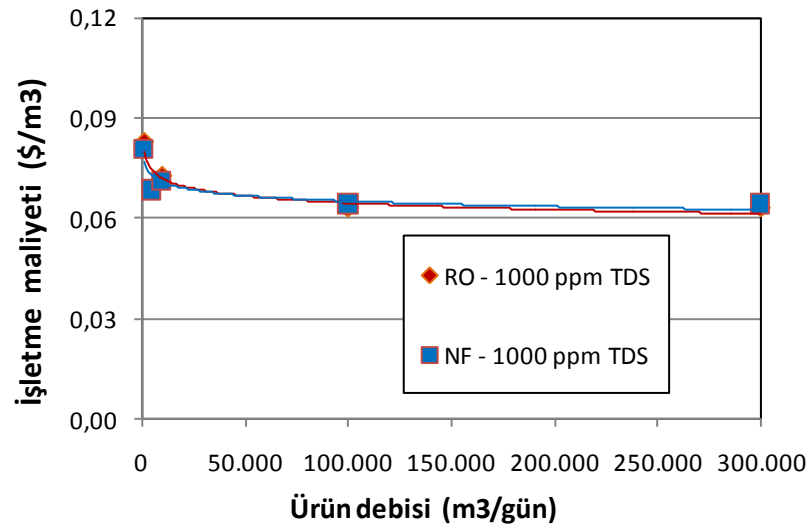
Şekil 5.2 : Farklı tuzluluklarda kuyu sularından ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde ilk yatırım maliyetlerinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi

Ters osmoz ve nanofiltrasyon sistemlerinin 1000 ppm TDS değerinde ki kuyu sularının arıtımında maliyetlerinin karşılaştırması yapılmıştır. Şekil 5.4 da işletme maliyetinin, Şekil 5.5' de ilk yatırım maliyetinin, Şekil 5.5' de toplam üretim maliyetinin RO ve NF prosesi olması durumuna göre karşılaştırmaları verilmiştir.

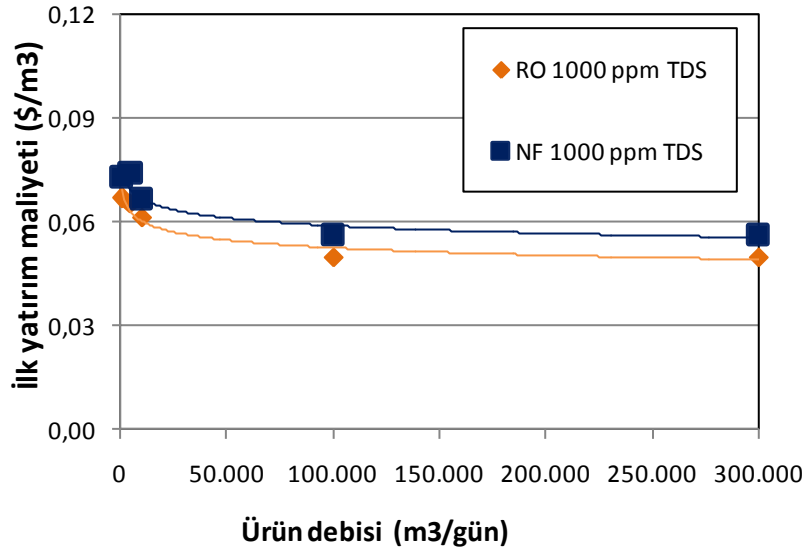


Şekil 5.3 : Farklı tuzluluklarda kuyu sularından ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde toplam üretim maliyetlerinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi

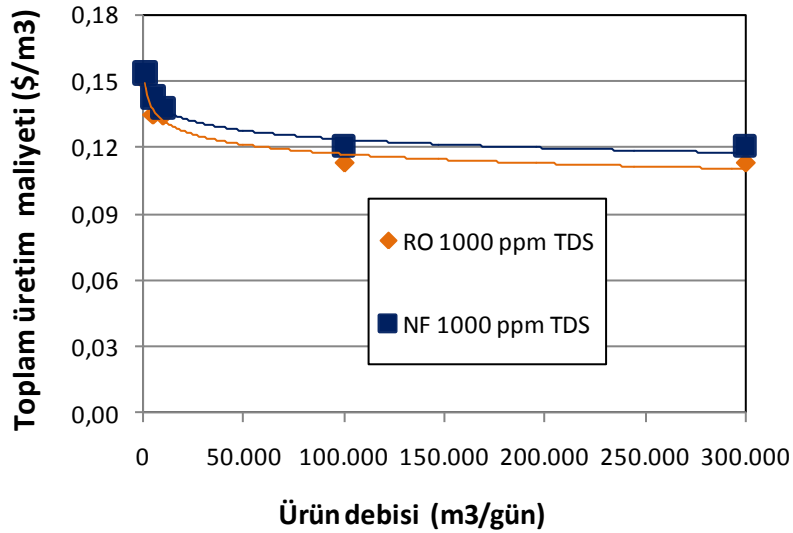
İşletme maliyetinde enerji tüketimi NF’ de düşüktür ama RO ‘ ya göre daha pahalı olan membran tutarı membran değişim maliyetini yükseltmektedir. Son yıllarda geliştirilen düşük basınçlı RO membranları işletme maliyetlerini neredeyse NF seviyesine indirmiştir. NF ‘ da birim su maliyeti 10.000 m³/gün kapasiteli sistemler için 0,071 \$/m³, RO ‘ da 0,072 \$/m³ , ilk yatırım maliyeti NF ‘ de 0,066 \$/m³, RO ‘ da 0,061\$/m³ ‘ tür.



Şekil 5.4 : TDS = 1000 ppm olan kuyu sularının arıtımında seçilen membran prosesin NF ve RO olması durumlarında ki İşletme maliyetlerinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.



Şekil 5.5 : TDS = 1000 ppm olan kuyu sularının arıtımında seçilen membran prosesin NF ve RO olması durumlarında ki ilk yatırım maliyetlerinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.



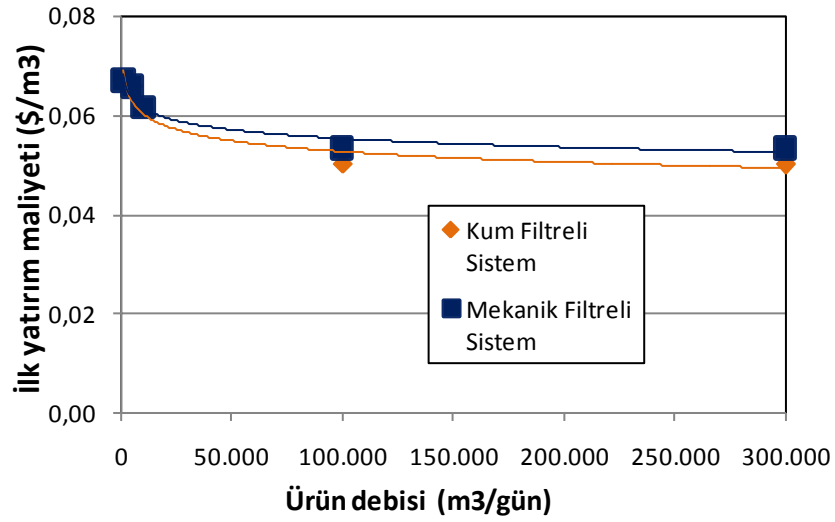
Şekil 5.6 : TDS = 1000 ppm olan kuyu sularının arıtımında seçilen membran prosesin NF ve RO olması durumlarında ki toplam üretim maliyetlerinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.

İlk yatırım maliyetinde RO ucuz NF pahalıdır. Toplam üretim maliyetinde kapasiteye göre % 2 – 5 arası değişen farklılıklar vardır. Ürün suyu debisi arttıkça RO ve NF maliyet farklılıkları az da olsa artar diyebiliriz.

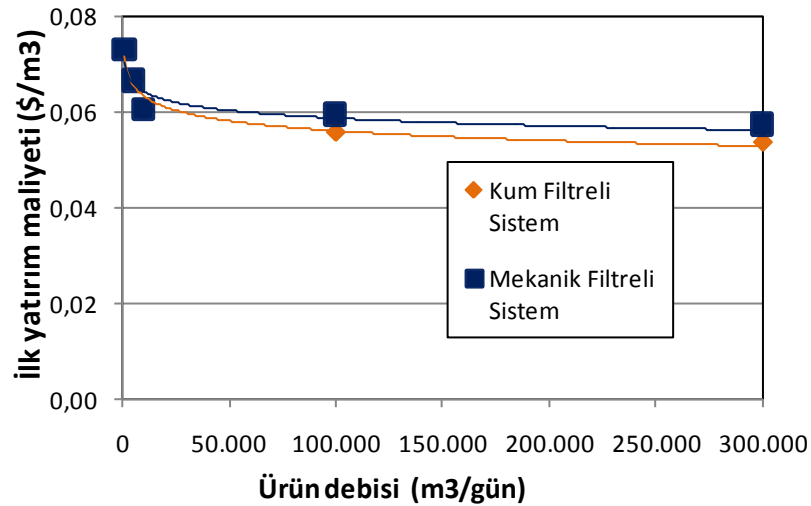
Ön arıtmanın kum filtreli ve mekanik filtreli olma durumlarında ters osmoz sisteminin ilk yatırım maliyetleri bütün tuzluluk değerleri için karşılaştırılmıştır. Şekil 5.7’ de 1000 ppm TDS da , Şekil 5.8’ de 2000 ppm, Şekil 5.9’ da 5000 ppm,

Şekil 5.10' da 10.000 ppm ham su tuzlulukları için ilk yatırım maliyetinin sistem kapasitesiyle ilişkisi grafikleri verilmiştir.

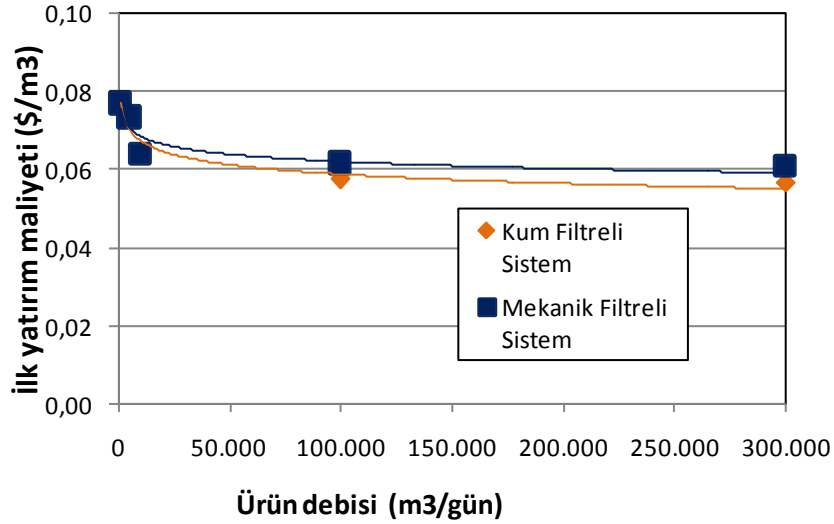
10.000 m³/gün kapasiteye kadar çelik, 10.000 m³/gün' den büyük kapasiteler için beton kum filtreler tasarlandığından büyük kapasitelerde kum filtre ile ön arıtma yapılması maliyet açısından daha avantajlıdır. 1000 m³/günlük kapasitede bütün tuzluluk değerlerinde sistemlerin ilk yatırım maliyetleri neredeyse aynıken 10.000 ppm TDS 300.000 m³/gün' de fark % 10 dur.



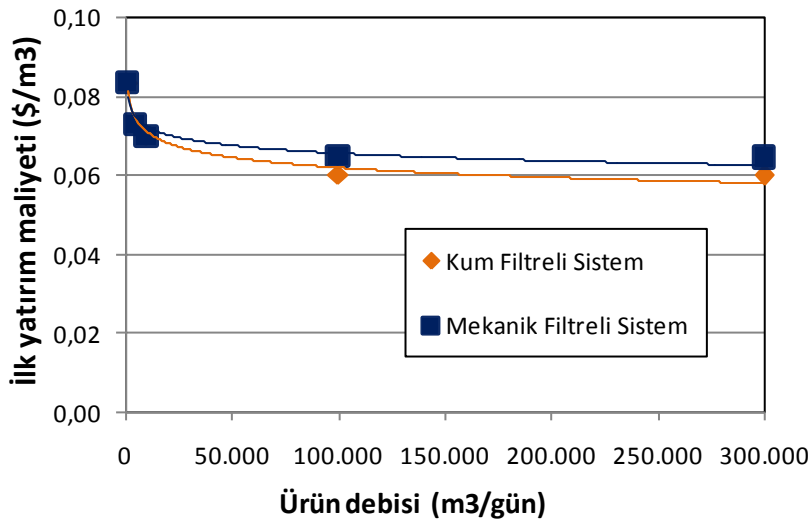
Şekil 5.7 : TDS = 1000 ppm olan kuyu suyundan ters osmoz sistemiyle içme suyu üretiminde ön arıtmanın kum filtre ve mekanik filtre olması durumlarında ki ilk yatırım maliyetinin sistem kapasitesiyle ilişkisi.



Şekil 5.8 : TDS = 2000 ppm olan kuyu suyundan ters osmoz sistemiyle içme suyu üretiminde ön arıtmanın kum filtre ve mekanik filtre olması durumlarında ki ilk yatırım maliyetinin sistem kapasitesiyle ilişkisi.



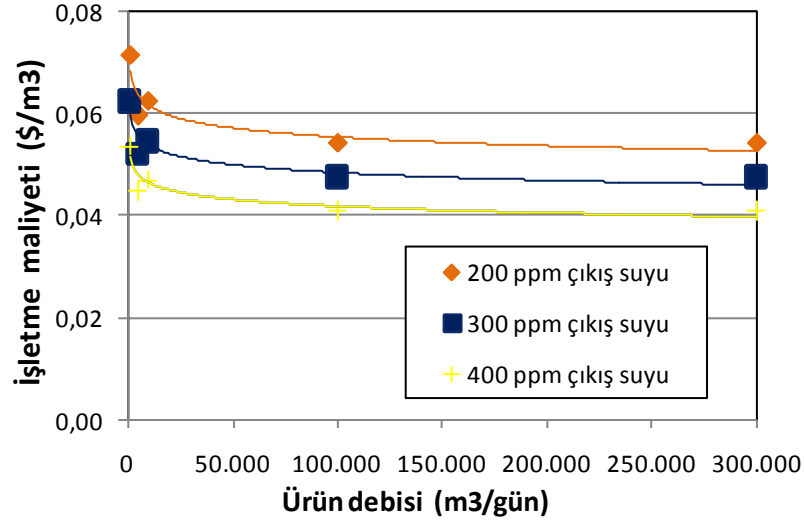
Şekil 5.9 : TDS = 5000 ppm olan kuyu suyundan ters osmoz sistemiyle içme suyu üretiminde ön arıtmanın kum filtre ve mekanik filtre olması durumlarında ki ilk yatırım maliyetinin sistem kapasitesiyle ilişkisi.



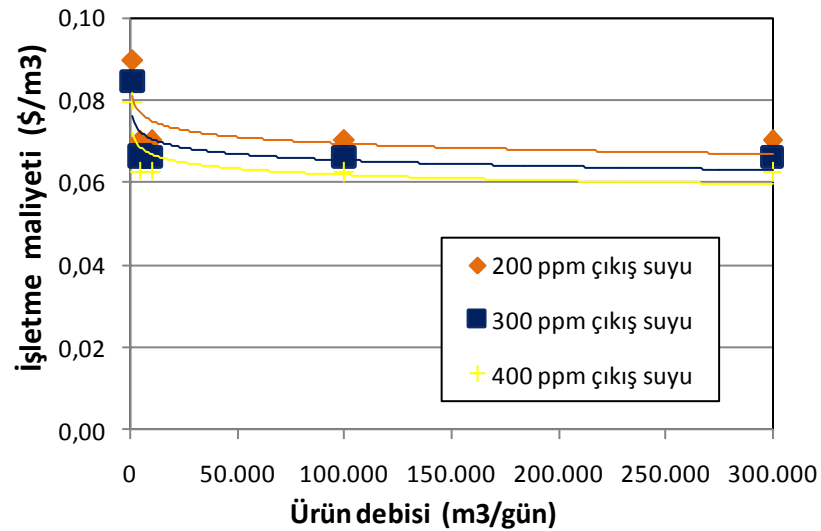
Şekil 5.10 : TDS = 10000 ppm olan kuyu suyundan ters osmoz sistemiyle içme suyu üretiminde ön arıtmanın kum filtre ve mekanik filtre olması durumlarında ki ilk yatırım maliyetinin sistem kapasitesiyle ilişkisi.

Ters osmozdan çıkan suların iletkenlik değerleri içme suyu standardı sınır değerlerinin çok altında olduğu için ön arıtmadan geçmiş ham sudan ürün suyuna karıştırılarak paçal yapılabilir. Şekil 5.11 ‘ de 200 ppm , Şekil 5.12 ‘ de 300 ppm , Şekil 5.14 ‘ de 400 ppm çıkış suyu elde edilmesine göre işletme maliyeti değerleri verilmiştir. Sistemden çıkış suyunun iletkenlik değerinin 200, 300 ve 400 ppm e göre ayarlanmasının işletme maliyetleri analizleri yapılmıştır. Çıkış suyunun iletkenlik değeri arttıkça işletme maliyetleri düşer. 1000 ppm kuyu suyunun 1000 m³/gün lük

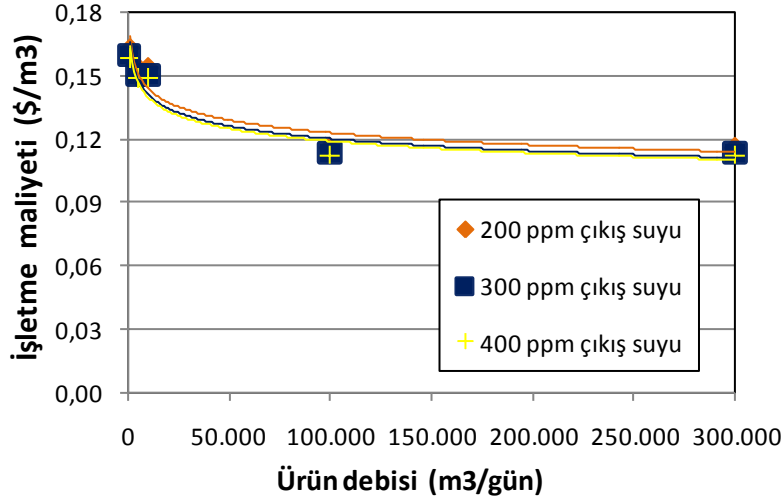
kapasitede 400 ppm e göre ayarlanması durumunda işletme maliyeti 0,053 $\$/m^3$ iken, 200 ppm için 0,071 $\$/m^3$ ’ tür. Ham su iletkenliği arttıkça paçal yapmanın avantajı da azalır. Nedeni karışımda kullanılması gereken besleme suyu debisinin azalmasıdır. 10.000 $m^3/gün$ kapasitede 5000 ppm tuzlulukta 200 ppm çıkış suyu elde etmenin işletme maliyeti 0,153 $\$/m^3$ iken, 300 ppm çıkış suyu için 0,150 $\$/m^3$, 400 ppm çıkış suyu için 0,0148 $m^3/gün$ ’ dür.



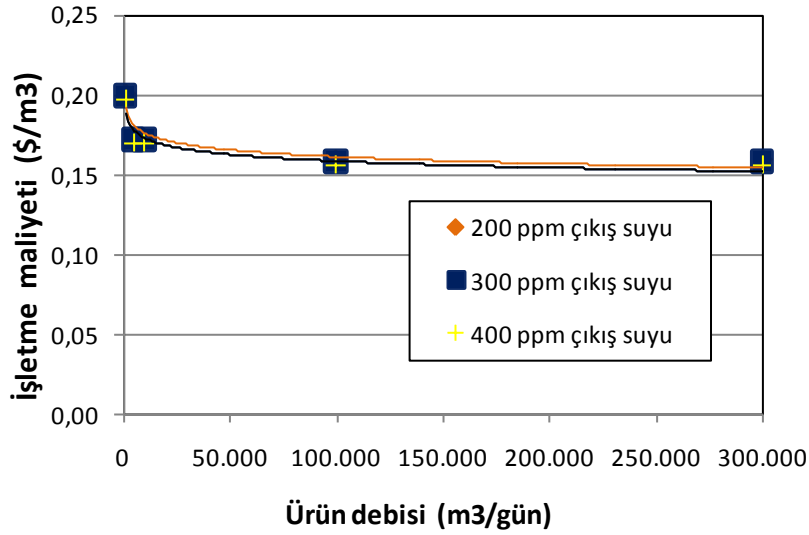
Şekil 5.11 : TDS = 1000 ppm olan kuyu suyunun ters osmozla arıtılması sonucu oluşan ürün suyunu farklı iletkenlik değerlerinde paçal yapmanın işletme maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.



Şekil 5.12 : TDS = 2000 ppm olan kuyu suyunun ters osmozla arıtılması sonucu oluşan ürün suyunu farklı iletkenlik değerlerinde paçal yapmanın işletme maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.



Şekil 5.13 : TDS = 5000 ppm olan kuyu suyunun ters osmozla arıtılması sonucu oluşan ürün suyunu farklı iletkenlik değerlerinde paçal yapmanın işletme maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.

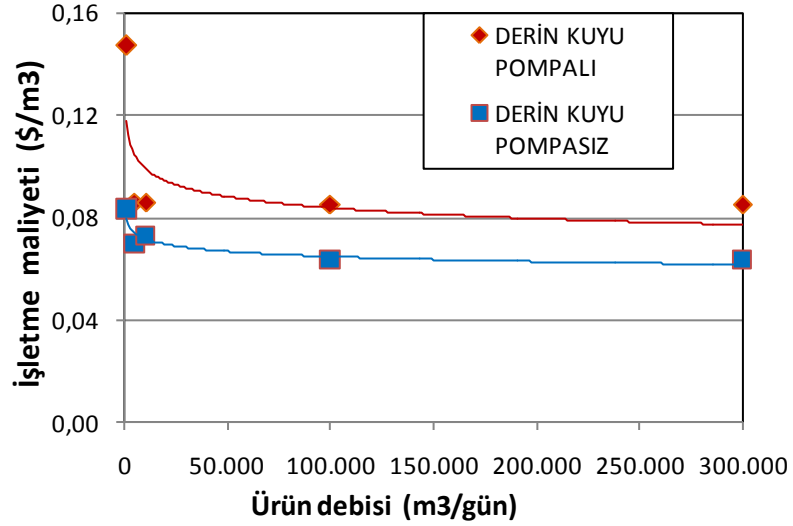


Şekil 5.14 : TDS = 10000 ppm olan kuyu suyunun ters osmozla arıtılması sonucu oluşan ürün suyunu farklı iletkenlik değerlerinde paçal yapmanın işletme maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.

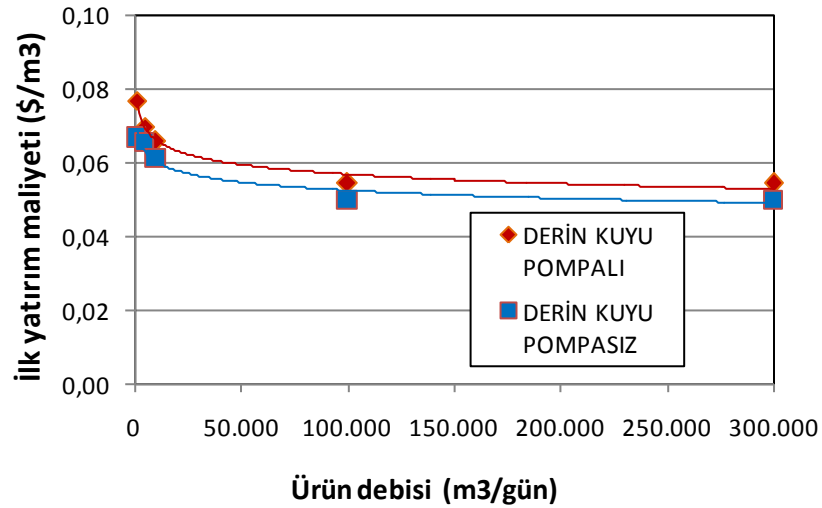
Kuyu sularının arıtımında derin kuyu pompalarının birim su maliyetlerine etkileri oldukça fazladır. Şekil 5.15' de 1000 ppm kuyu suyunu arıtacak ters osmoz sisteminin tasarımında derin kuyu pompalarının sisteme ilave edilme ve edilemesinin kapasiteye göre işletme maliyeti, Şekil 5.15' da ilk yatırım, Şekil 5.17 'de toplam üretim maliyeti grafikleri verilmiştir.

1000 ppm tuzluluğunda ki kuyu suyunun derin kuyu pompalı ve Bu çalışmada 200 MSS basma yüksekliğine göre seçilen bu pompaların tasarıma ilave edilmesi ve edilmemesi durumları karşılaştırıldığında 1000 ppm tuzlulukta 1000 m³/gün

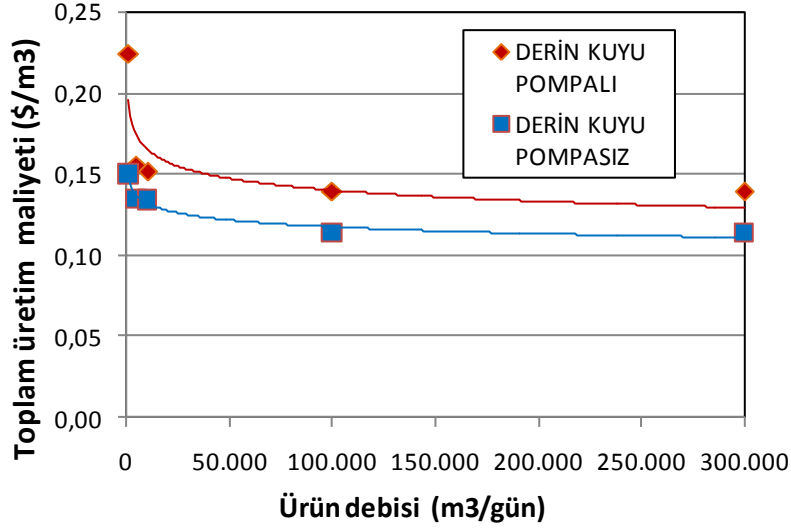
kapasitede işletme maliyetinde % 70, 100.000 m³/ gün kapasitede % 35 oranında fark olduğu tespit edilmiştir. İlk yatırım maliyetinde fark % 7 – 10 arasında değişmektedir. 5000 m³/gün kapasitede kuyu pompalı işletme maliyeti 0,085 iken, kuyu pompası 0,069 m³/gün' dür. Kuyu sularının ters osmoz yöntemiyle arıtılmasında kuyuların derinliğine göre işletme ve ilk yatırım maliyetlerinin büyük farklılıklar göstermesi kaçınılmazdır.



Şekil 5.15 : TDS = 1000 ppm olan kuyu suyunu arıtacak ters osmoz sisteminin tasarımında derin kuyu pompalarının sisteme dahil edilme ve edilmeme durumları için işletme maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.



Şekil 5.16 : TDS = 1000 ppm olan kuyu suyunu arıtacak ters osmoz sisteminin tasarımında derin kuyu pompalarının sisteme dahil edilme ve edilmeme durumları için ilk yatırım maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.



Şekil 5.17 : TDS = 1000 ppm olan kuyu suyunu arıtacak ters osmoz sisteminin tasarımında derin kuyu pompalarının sisteme dahil edilme ve edilmeme durumları için toplam üretim maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.

Yüzeysel suların arıtımının işletme, ilk yatırım ve toplam üretim maliyetleri hedeflenen sistem kapasiteleri için denklem 5.1 ile hesaplanabilir.

$$M_{kuyusu} = a * Q^b \quad (5.1)$$

M : İşletme, İlk Yatırım, Toplam Üretim Maliyeti (\$/m³)

Q : Debi (m³/gün)

a : Katsayı

b : Katsayı

Denklemden ki a ve b katsayıları arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır. Bu değerler çizelge 5.1’de verilmiştir.

5.2 Yüzeysel Su Kaynaklarından Membran Proseslerle İçme Suyu Üretiminin Maliyet Değerlendirmesi

Yüzeysel su ters osmoz sistemlerinin maliyet analizi için 5, 10 ve 15 NTU bulanıklık değerlerinde dört farklı yüzeysel su üzerinde ön arıtmanın konvansiyonel sistemler ve ultrafiltrasyon yöntemiyle yapılması durumları için çalışılmıştır. TDS değeri 1000 ppm olarak sabitlenmiştir. Şekil 5.18 ‘de işletme, Şekil 5.19 ‘de ilk yatırım, Şekil 5.20’ de toplam üretim maliyetlerinin konvansiyonel ön arıtmalı sistemlerde

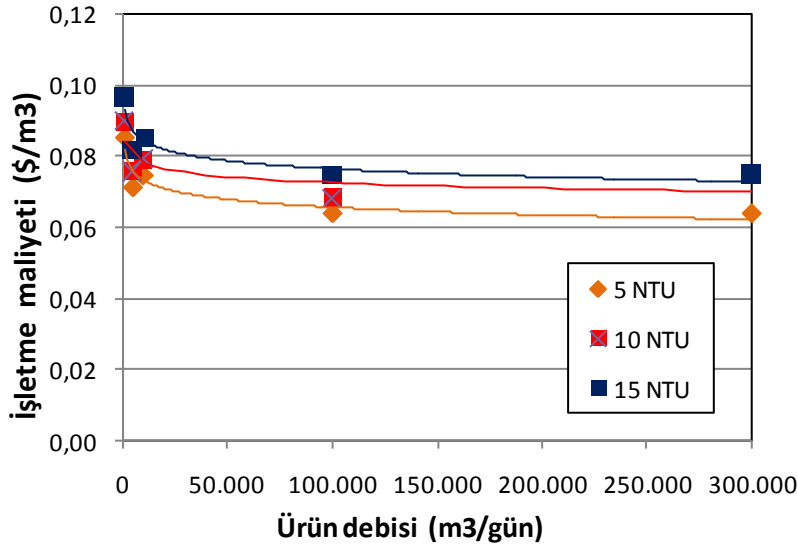
kapasite ve bulanıklıkla değişimleri verilmiştir. 5 NTU bulanıklık değerinde ki ham suyu kullanan 1000 m³/gün kapasiteli bir tesisin işletme maliyeti 0,085 \$/m³ iken kapasitenin 300.000 m³/gün olması halinde maliyet 0,064 \$/m³ ' e inmektedir. Bütün bulanıklık değerleri için 100.000 m³/gün kapasiteden sonra maliyet de ki düşüş azalmıştır. Nedeni tasarımlarda kullanılan yüksek basınç pompalarının sistemlerin kapasitesinde sınırlayıcı olmasıdır.

Çizelge 5.1 : Kuyu suyundan içme ve kullanma suyu üretiminde farklı tasarımların maliyet denklemi katsayıları

	İŞLETME MALİYETİ		İLK YATIRIM MALİYETİ		TOPLAM ÜRETİM MALİYETİ	
	A	B	A	B	A	B
TDS 1000 - RO - KUM FİLTRE	0,109	-0,045	0,105	-0,060	0,213	-0,052
TDS 1000 - NF - KUM FİLTRE	0,994	-0,037	0,111	-0,055	0,210	-0,046
TDS 1000 - RO - MEK. FİLTRE	-	-	0,094	-0,047	-	-
TDS 1000 - RO - K.F - 200 ppm ÇIKIŞ	0,094	-0,045	-	-	-	-
TDS 1000 - RO - K.F - 300 ppm ÇIKIŞ	0,082	-0,045	-	-	-	-
TDS 1000 - RO - K.F - 400 ppm ÇIKIŞ	0,070	-0,045	-	-	-	-
TDS 1000 - RO - KUYU POMPALI	0,196	-0,074	0,121	-0,066	0,322	-0,072
TDS 2000 - RO - KUM FİLTRE	0,105	-0,033	0,104	-0,053	0,208	-0,042
TDS 2000 - RO - MEK. FİLTRE	-	-	0,092	-0,039	-	-
TDS 2000 - RO - K.F - 200 ppm ÇIKIŞ	0,102	-0,033	-	-	-	-
TDS 2000 - RO - K.F - 300 ppm ÇIKIŞ	0,096	-0,033	-	-	-	-
TDS 2000 - RO - K.F - 400 ppm ÇIKIŞ	0,091	-0,033	-	-	-	-
TDS 5000 - RO - KUM FİLTRE	0,279	-0,070	0,116	-0,059	0,395	-0,066
TDS 5000 - RO - MEK. FİLTRE	-	-	0,102	-0,043	-	-
TDS 5000 - RO - K.F - 200 ppm ÇIKIŞ	0,274	-0,070	-	-	-	-
TDS 5000 - RO - K.F - 300 ppm ÇIKIŞ	0,027	-0,070	-	-	-	-
TDS 5000 - RO - K.F - 400 ppm ÇIKIŞ	0,265	-0,070	-	-	-	-
TDS 10000 - RO - KUM FİLTRE	0,250	-0,038	0,123	-0,059	0,371	-0,044
TDS 10000 - RO - MEK. FİLTRE	-	-	0,108	-0,043	-	-
TDS 10000 - RO - K.F - 200 ppm ÇIKIŞ	0,249	-0,038	-	-	-	-
TDS 10000 - RO - K.F - 300 ppm ÇIKIŞ	0,247	-0,038	-	-	-	-
TDS 10000 - RO - K.F - 400 ppm ÇIKIŞ	0,245	-0,038	-	-	-	-

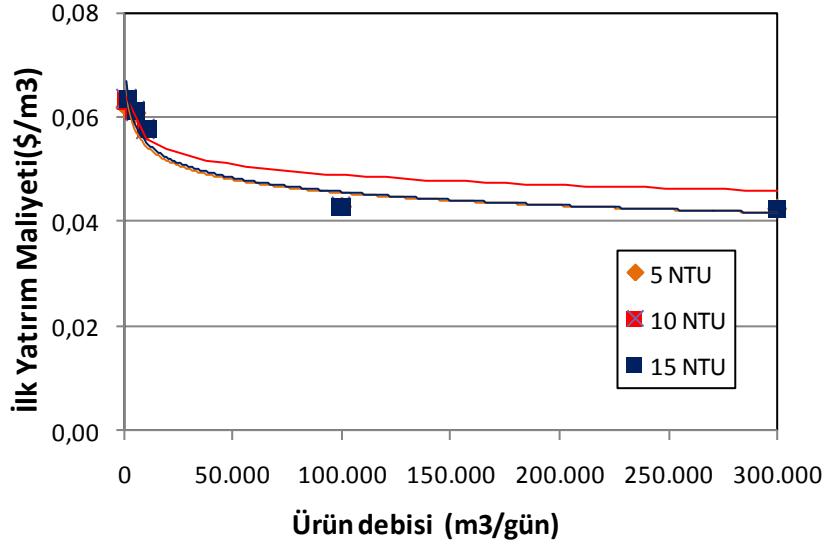
15 NTU bulanıklığa sahip yüzeysel suyun 5000 m³/gün kapasitede arıtılmasının işletme maliyeti 0,082 \$/m³ iken, bulanıklığın 5 NTU olduğu kaynaklarda 0,071 \$/m³ olarak bulunmuştur. İşletme maliyetinin değişmesinin nedenleri, ham suya dozlaşan koagülant miktarında ki artış ve membran ömrünün bulanıklık arttıkça azalmasıdır. 5 NTU için 5 yıl, 10 NTU için 4 yıl, 15 NTU için 3 yıllık membran ömrüne göre maliyetler bulunmuştur. İlk yatırım maliyetinin değişmesinin nedeni bulanıklık arttıkça kum filtresi filtrasyon hızının azalması, böylece filtre yüzey alanının büyümesidir.

100.000 m³/gün kapasitede 5 NTU yüzeysel suyun ilk yatırım maliyeti 0,042 \$/m³ iken 15 NTU da 0,043 \$/m³ ' tür. Bulanıklık ve maliyetler arasında doğru orantı vardır. Bütün kapasitelerde 5 ve 10 NTU bulanıklığında ki suların arıtımında % 3 ' lük bir toplam üretim farkı varken, 5 ve 15 NTU bulanıklığında bu fark % 10 mertebesindedir.

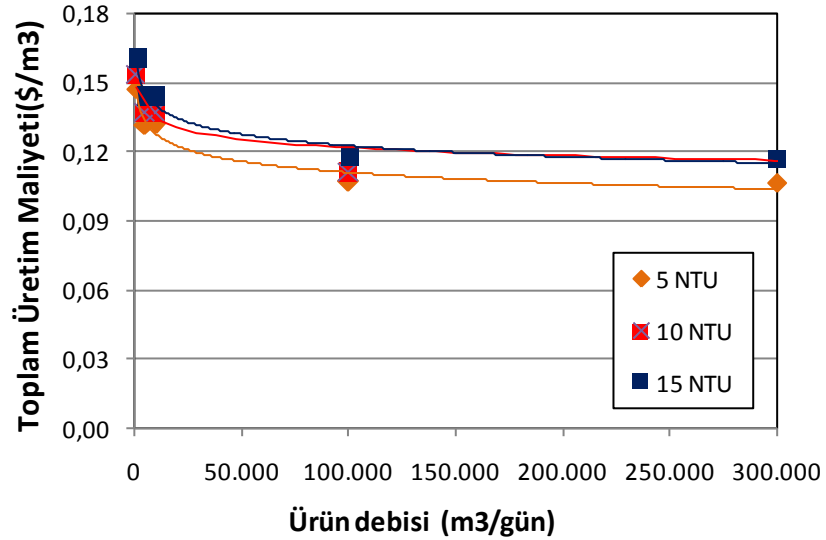


Şekil 5.18 : Farklı bulanıklık değerlerindeki yüzeysel su kaynaklarından ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde işletme maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.

Ultrafiltrasyonla ön arıtma tasarımlarında bulanıklık değeri arttıkça ön arıtmanın maliyeti artar. UF membranlarını ters yıkama ve temizleme sıklıkları bulanıklıkla lineer doğrultuda arttığı için işletme maliyetleri artar. Şekil 5.21' de ultrafiltrasyon ve ters osmoz prosesleriyle tasarlanan arıtmanın işletme maliyeti değerleri, Şekil 5.22 de ilk yatırım maliyeti, Şekil 5.23 de toplam üretim maliyeti değerleri verilmiştir. 1000 m³/gün kapasitede 5 NTU da işletme maliyeti 0,106 \$ /m³ 15 NTU da 0,112 \$/m³ ' tür.



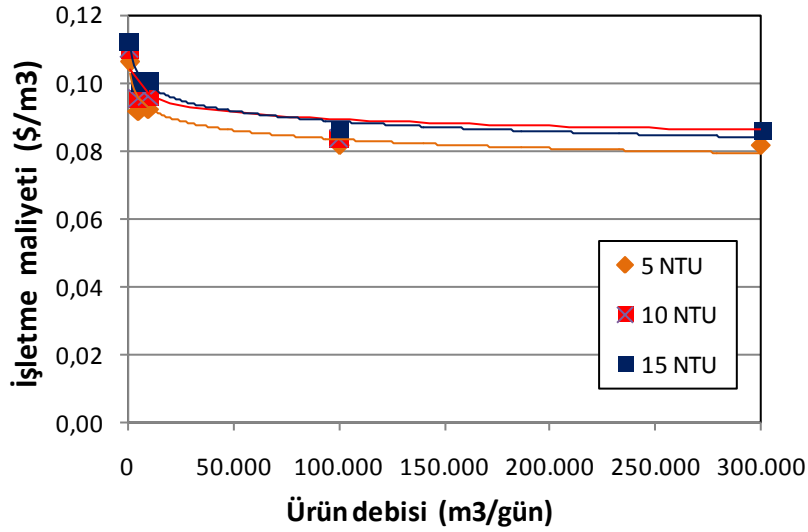
Şekil 5.19 : Farklı bulanıklık değerlerindeki yüzeysel su kaynaklarından ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde işletme maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.



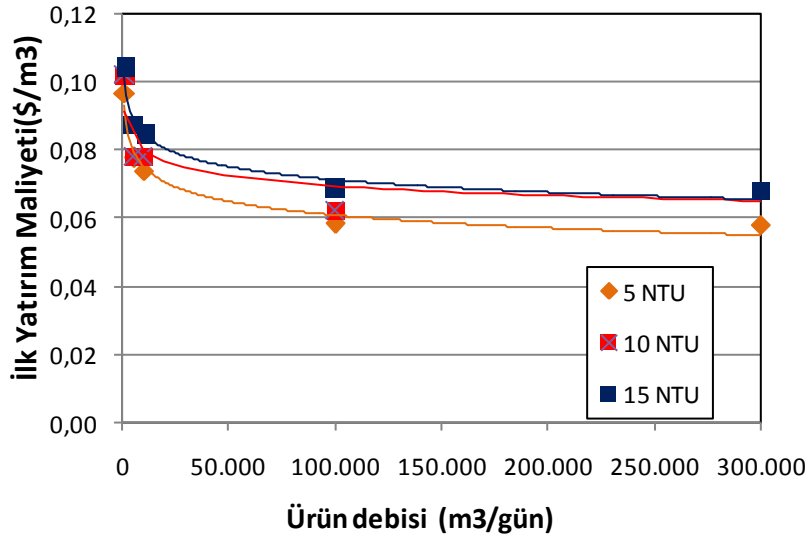
Şekil 5.20 : Farklı bulanıklık değerlerindeki yüzeysel su kaynaklarından ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde toplam üretim maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.

Kapasite arttıkça bulanıklık artışının işletme maliyetine etkisi azalır. 5000 m³/gün’ de 5 NTU ve 15 NTU arasında ki işletme maliyet farkı % 8 iken, 300.000 m³/gün de % 4 ‘ tür. 10 NTU bulanıklığında ki suların 1000 m³/gün kapasitede ilk yatırım maliyeti 0,096 \$/m³ , 5000 m³/gün ‘de 0,077 \$/m³ , 10000 m³/gün de 0,074, 100.000 m³/günde 0,058 \$ / m³ ‘ tür. 1000 m³/gün kapasiteli sistemin 100.000 m³/gün

kapasiteli sisteme göre birim ilk yatırım maliyeti bazında % 65 daha pahalı olduğu sonucuna varılmıştır. İşletme ve ilk yatırım maliyetinde ki bu farklılıklar toplam üretim maliyetine de aynı oranlarda yansımaktadır.

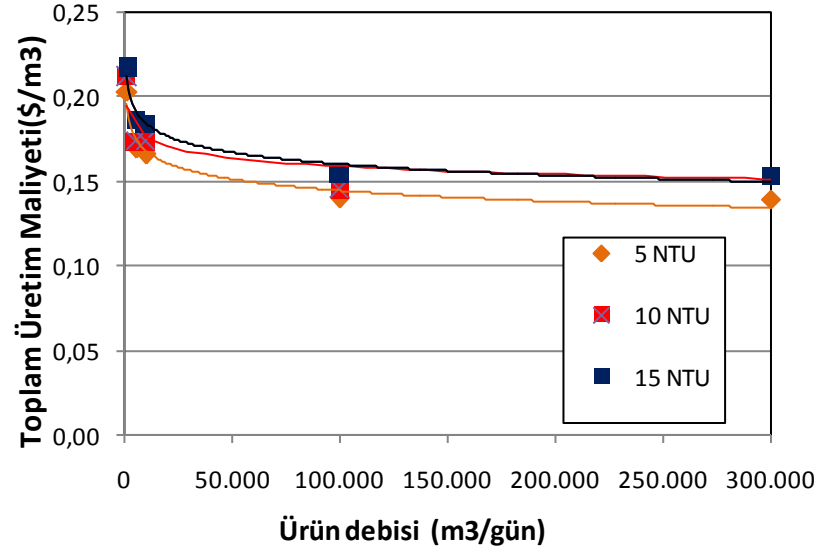


Şekil 5.21 : Farklı bulanıklık değerlerindeki yüzeysel su kaynaklarından ultrafiltrasyon ve ters osmoz sistemleriyle içme suyu üretiminde işletme maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.



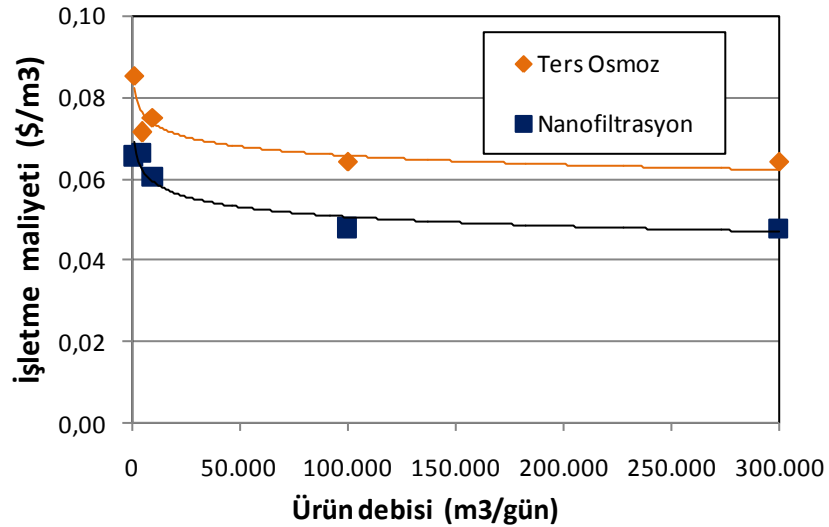
Şekil 5.22 : Farklı bulanıklık değerlerindeki yüzeysel su kaynaklarından ultrafiltrasyon ve ters osmoz sistemleriyle içme suyu üretiminde ilk yatırım maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.

Ters Osmoz ve nanofiltrasyon sisteminin 1000 ppm TDS da 5 NTU bulanıklıkta arıtımında ön arıtmanın konvansiyonel sistemle yapılmasının maliyet karşılaştırması yapılmıştır. Şekil 5.24 da işletme maliyetinin, Şekil 5.25’ da ilk yatırım maliyetinin, Şekil 5.26’ da toplam üretim maliyetinin RO ve NF prosesi olması durumuna göre karşılaştırmaları verilmiştir.

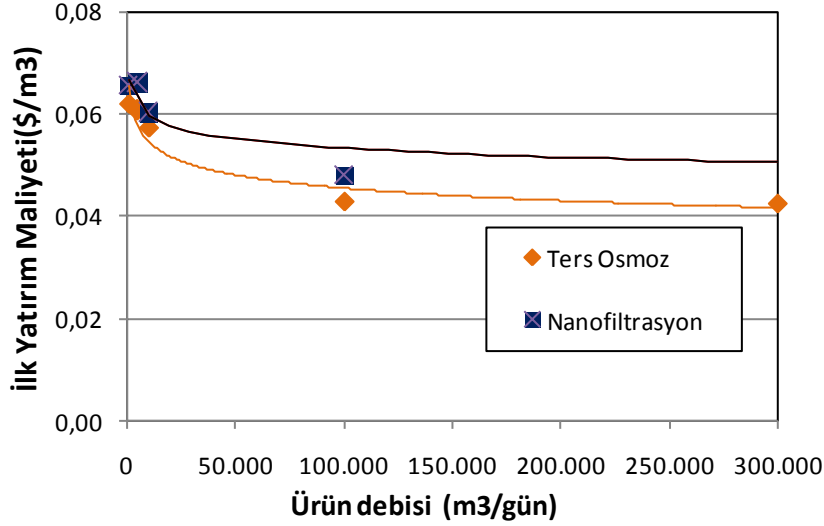


Şekil 5.23 : Farklı bulanıklık değerlerindeki yüzeysel su kaynaklarından ultrafiltrasyon ve ters osmoz sistemleriyle içme suyu üretiminde ilk yatırım maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.

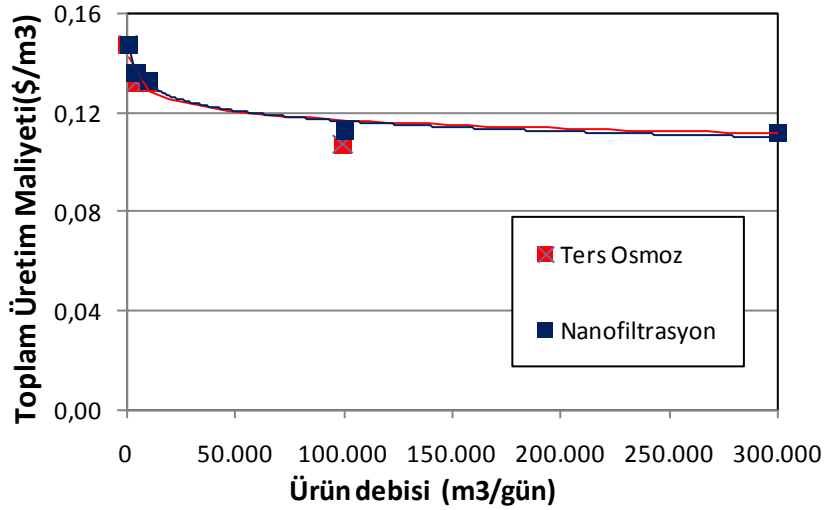
İşletme maliyetinde enerji tüketimi NF’ de düşüktür ama pahalı membran maliyeti membran değişim maliyetini yükseltmektedir. Son yıllarda geliştirilen düşük basınçlı RO membranları işletme maliyetlerini neredeyse NF seviyesine indirgemıştır. NF’da birim su maliyeti 100.000 m³/gün kapasitede 0,065 \$/m³, RO ‘ da 0,064 \$/m³ , ilk yatırım maliyeti NF ‘ de 0,047 \$/m³, RO ‘ da 0,043 \$/m³ ‘ tür.



Şekil 5.24 : Bulanıklığı 5 NTU olan kuyu sularının arıtımında seçilen membran prosenin nanofiltrasyon ve ters osmoz olması durumlarındaki işletme maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.



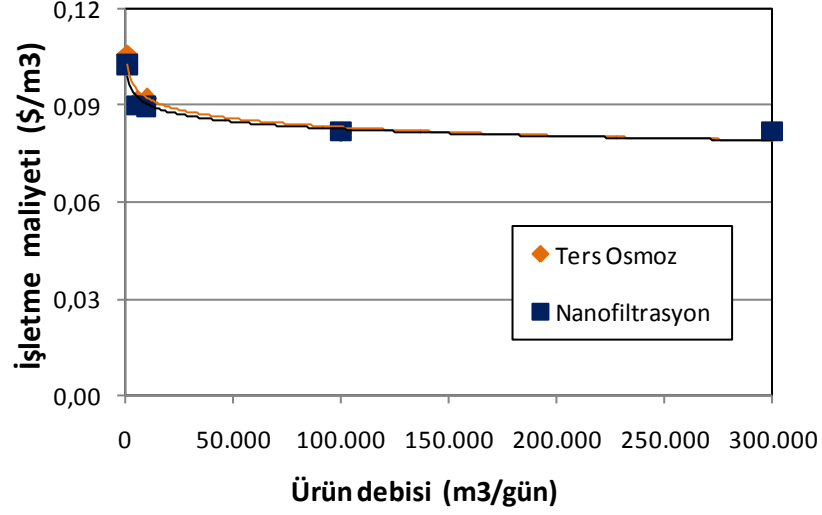
Şekil 5.25 : Bulanıklığı 5 NTU olan kuyu sularının arıtımında seçilen membran prosesin nanofiltrasyon ve ters osmoz olması durumlarındaki işletmemaliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.



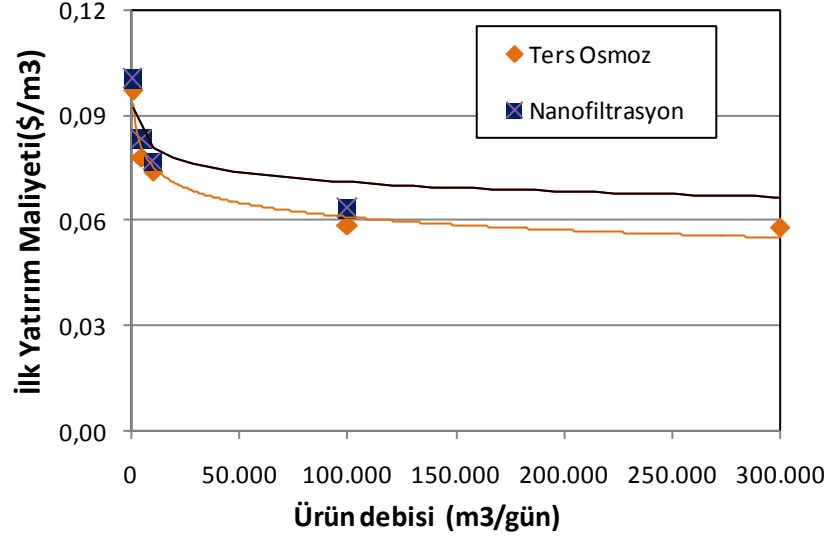
Şekil 5.26 : Bulanıklığı 5 NTU olan kuyu sularının arıtımında seçilen membran prosesin nanofiltrasyon ve ters osmoz olması durumlarındaki işletmemaliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.

İlk yatırım maliyetinde RO ucuz NF pahalıdır. Toplam üretim maliyetinde kapasiteye göre % 2 – 5 arası değişen farklılıklar vardır. Ürün suyu debisi arttıkça RO ve NF maliyet farklılıkları az da olsa artar diyebiliriz. Yine 5 NTU da ki yüzeysel su kaynağının UF prosesiyle ön arıtılması durumunda RO ve NF karşılaştırması yapılmıştır. Şekil 5.27 da işletme maliyetinin, Şekil 5.28' da ilk yatırım maliyetinin, Şekil 5.29' da toplam üretim maliyetinin RO ve NF prosesi olması durumuna göre karşılaştırmaları verilmiştir. İşletme maliyetinde enerji tüketimi NF' de düşüktür, ama pahalı NF membranları membran değişim maliyetini yükseltmektedir. RO' da

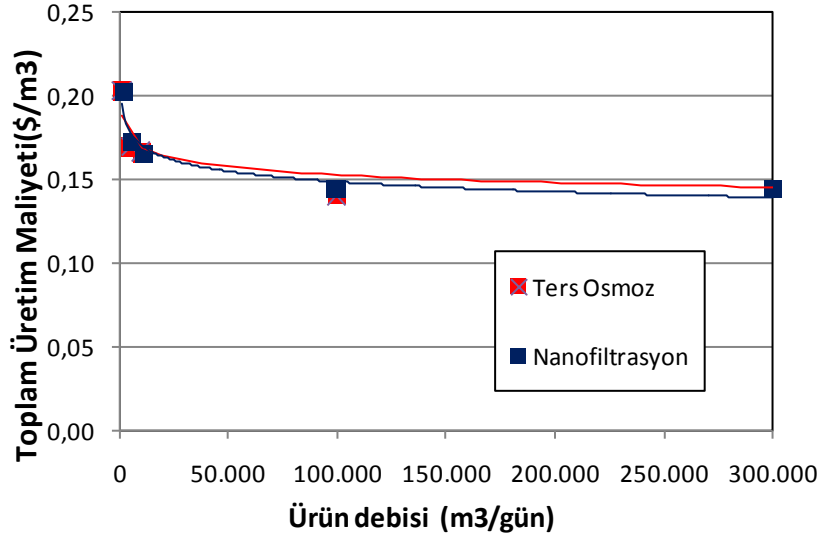
toplam üretim maliyeti 300.000 m³/gün kapasitede 0,139 \$/m³, 5000 m³/gün' de 0,169 \$/m³ , NF⁺ da 300.000 m³/gün kapasitede 0,144 \$/m³, 5000 m³/gün' de 0,173 \$/m³ tür.



Şekil 5.27 : Yüzeysel suyun bulanıklığının 5 NTU, ön arıtmanın ultrafiltrasyonla yapıldığı durumlarda seçilen membran prosesin ters osmoz ve nanofiltrasyon olduğu durumlarda işletme maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.



Şekil 5.28 : Yüzeysel suyun bulanıklığının 5 NTU, ön arıtmanın ultrafiltrasyonla yapıldığı durumlarda seçilen membran prosesin ters osmoz ve nanofiltrasyon olduğu durumlarda ilk yatırım maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.



Şekil 5.29 : Yüzeysel suyun bulanıklığının 5 NTU, ön arıtmanın ultrafiltrasyonla yapıldığı durumlarda seçilen membran prosesin ters osmoz ve nanofiltrasyon olduğu durumlarda ilk yatırım maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.

Yüzeysel suların işletme, ilk yatırım ve toplam üretim maliyetleri hedeflenen sistem kapasiteleri için denklem 5.2 ile hesaplanabilir.

$$M_{yüzeysel} = a * Q^b \quad (5.2)$$

M : İşletme, İlk Yatırım, Toplam Üretim Maliyeti (\$/m³)

Q : Debi (m³/gün)

a : Katsayı

b : Katsayı

Denklemden ki a ve b katsayıları arasında anlamlı bir ilişki bulunamamıştır. Farklı tasarımların a ve b değerleri çizelge 5.2’de verilmiştir.

5.3 Denizlerden Membran Proseslerle İçme Suyu Üretiminin Maliyet

Değerlendirmesi

Membran proseslerle denizlerden içme suyu üretimi tasarımlarında maliyeti etkileyen parametrelerin başında tuzluluk ve akı gelmektedir. Akdeniz, Marmara ve Karadeniz ‘ in suları üzerinde çalışılırken farklı akıların maliyete etkileri incelenmiştir.

Çizelge 5.2 : Yüzeysel su kaynaklarından içme ve kullanma suyu üretiminde farklı tasarımların maliyet denklemi katsayıları

	İŞLETME MALİYETİ		İLK YATIRIM MALİYETİ		TOPLAM ÜRETİM MALİYETİ	
	a	b	a	b	a	b
5 NTU - RO - KONVANSİYONEL	0,115	-0,049	0,112	-0,078	0,225	-0,961
10 NTU - RO - KONVANSİYONEL	0,105	-0,032	0,095	-0,058	0,199	-0,043
15 NTU - RO - KONVANSİYONEL	0,126	-0,044	0,118	-0,082	0,240	-0,059
5 NTU - RO - UF	0,140	-0,045	0,175	-0,091	0,307	-0,066
10 NTU - RO - UF	0,130	-0,033	0,138	-0,059	0,266	-0,045
15 NTU - RO - UF	0,156	-0,049	0,173	-0,077	0,326	-0,062
5 NTU - NF - KONVANSİYONEL	0,110	-0,068	0,093	-0,048	0,213	-0,052
5 NTU - NF - UF	0,130	-0,039	0,136	-0,057	0,295	-0,059

Tuzluluğu yaklaşık 36.000 ppm olarak kabul edilen Akdeniz ‘ in % 40 geri kazanım oranıyla farklı kapasitelerde 15,6 l/m²/sa, 13,3 l/m²/sa, 11,7 l/m²/sa akılarda işletme maliyeti Şekil 5.30 da, ilk yatırım maliyeti şekil 5.31’ de ve toplam üretim maliyeti şekil 5.32 'de verilmiştir.

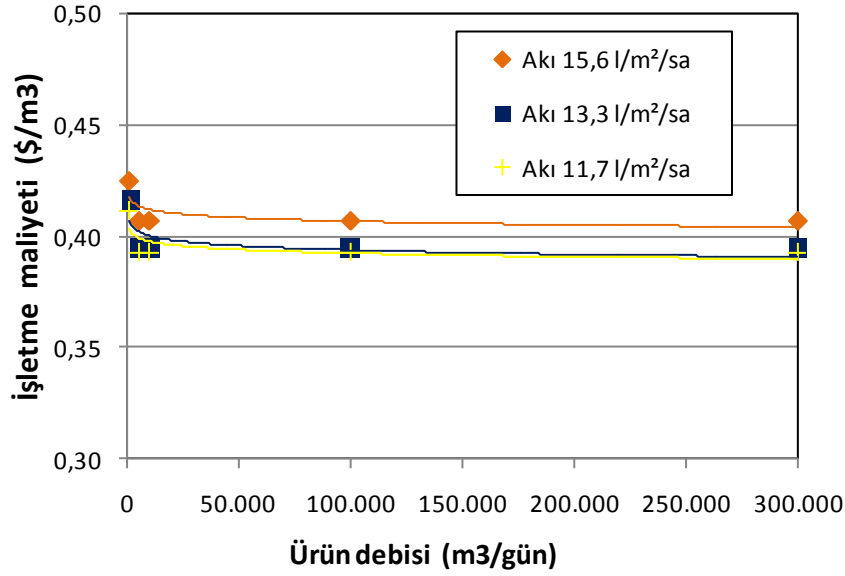
Akı arttıkça sistemde kullanılan membran adedi arttığı için ilk yatırım maliyeti artmakta, sistem besleme basıncı azaldığı için enerji tüketimi yani işletme maliyeti’ de azalmaktadır.

Akdeniz ‘ in 1000 m³/gün ‘ lük ters osmoz sistemiyle 15,6 l/m²/sa akıda arıtılmasının işletme maliyeti 0,425 \$/m³, 13,3 l/m²/sa akıda 0,415 \$/m³, 11,7 l/m²/sa akıda 0,411 \$/m³’ tür.

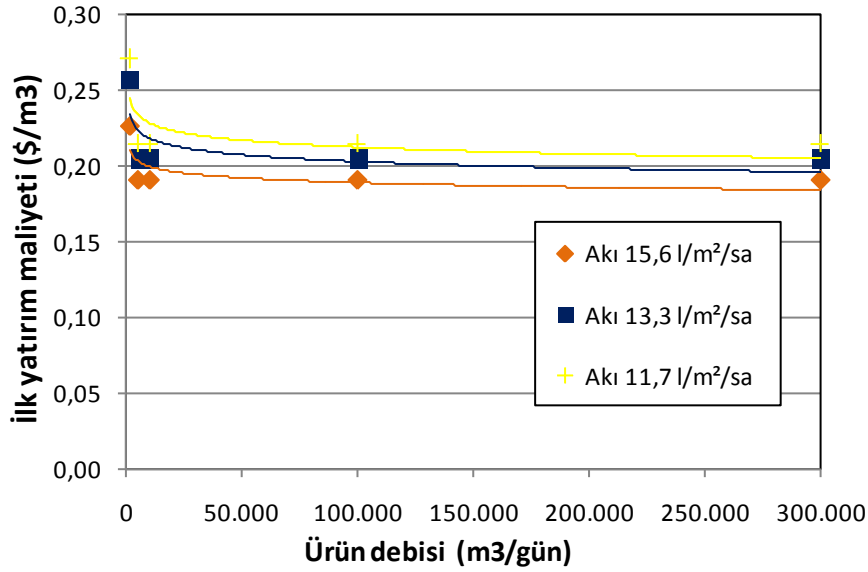
5000 m³/gün kapasiteli sistemin işletme maliyeti 1000 m³/gün kapasiteli sistemin işletme maliyetinden bütün akı değerlerinde yaklaşık % 5 daha düşüktür. 5000 m³/gün kapasiteli sistemden daha büyük bir sistemi tek başına besleyebilecek uygun basınç ve debide pompanın piyasada bulunamaması maliyetlerin düşürülmesinde sınırlayıcı etken olmuştur. Akdeniz ‘in arıtılması için 100.000 m³/gün lük bir tesis tasarlanırken 20 adet birbirinden bağımsız 5000 m³/gün’ lük sistemler kurmak mecburiyeti doğmuştur. Bu durum maliyetlerin kapasitenin artmasıyla yavaş düşmesine neden olur.

En yüksek toplam üretim maliyeti 11,7 l/m²/sa akıda 1000 m³/gün kapasitede 0,685 \$/m³, en düşük toplam üretim maliyeti 300.000 m³/gün kapasitede 15,6 l/m²/sa akıda 0,502 \$/m³’tür bu da % 35 oranında bir farka tekabül eder.

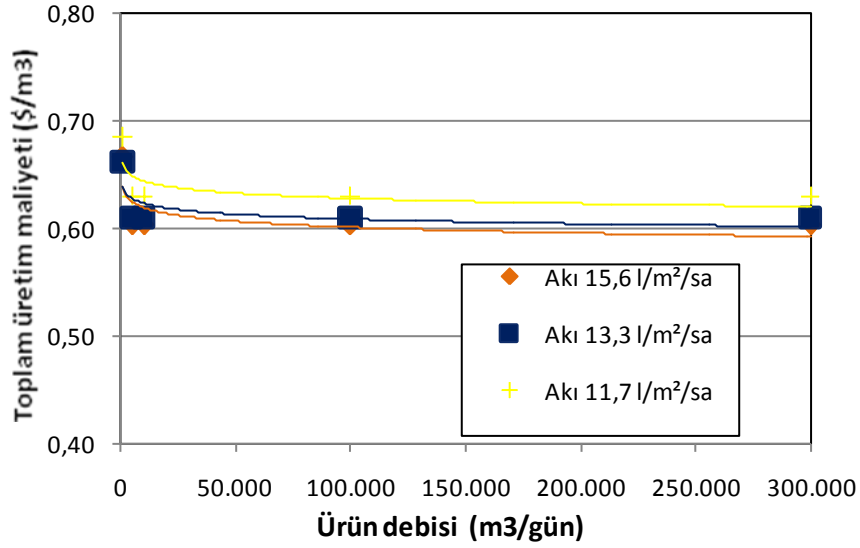
5000 m³/gün kapasitede 11,7 l/m²/sa ilk yatırım maliyeti 0,63 \$/m³ , 13,3 l/m²/sa akıda 0,61 \$/m³, 15,6 l/m²/sa akıda 0,60 \$/m³ ‘ tür. Toplam üretim maliyetinin en fazla 11,7 l/m²/sa akıda çıkmasının nedeni yüksek ilk yatırım maliyetidir.



Şekil 5.30 : Farklı akılarda Akdeniz’den ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde işletme maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.



Şekil 5.31 : Farklı akılarda Akdeniz’den ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde ilk yatırım maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.



Şekil 5.32 : Farklı akılarda Akdeniz’den ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde toplam üretim maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.

Tuzluluğu 25.000 ppm olarak kabul edilen Marmara’nın % 45 geri kazanım oranıyla farklı kapasitelerde 15,6 l/m²/sa, 13,3 l/m²/sa, 11,7 l/m²/sa akılarda işletme maliyeti Şekil 5.33’ de, ilk yatırım maliyeti şekil 5.34’ de ve toplam üretim maliyetini Şekil 5.35’ de verilmiştir.

Marmara’nın 1000 m³/gün’lük ters osmoz sistemiyle 15,6 l/m²/sa akıda arıtılmasının işletme maliyeti 0,334 \$/m³, 13,3 l/m²/sa akıda 0,328 \$/m³, 11,7 l/m²/sa akıda 0,315 \$/m³ ‘ tür.

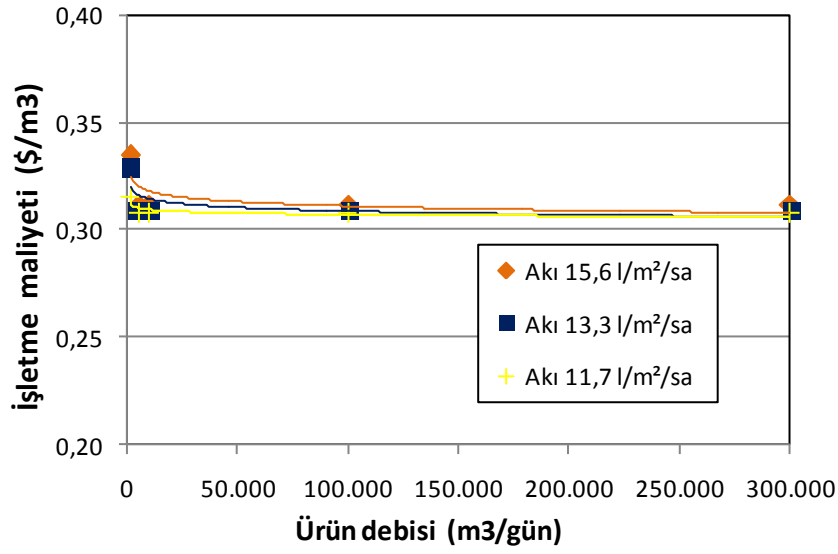
Kapasitenin 5000 m³/gün ‘ e çıkması durumunda işletme maliyetleri 15,6 l/m²/sa akıda 0,312 \$/m³ , 13,3 l/m²/sa akıda 0,310 \$/m³ , 11,7 l/m²/sa akıda 0,308 \$/m³ ‘ tür.

5000 m³/gün kapasiteli sistemin işletme maliyeti 1000 m³/gün kapasiteli sistemin işletme maliyetinden 15,6 ve 13,3 l/m²/sa akı değerlerinde % 6 daha, 11,7 l/m²/sa akıda % 2 daha düşüktür. 5000 m³/gün kapasiteli sistemden daha büyük bir sistemi tek başına besleyebilecek uygun basınç ve debide pompanın piyasada bulunamaması kapasitenin artmasıyla maliyetin düşmesinde sınırlayıcı etken olmuştur.

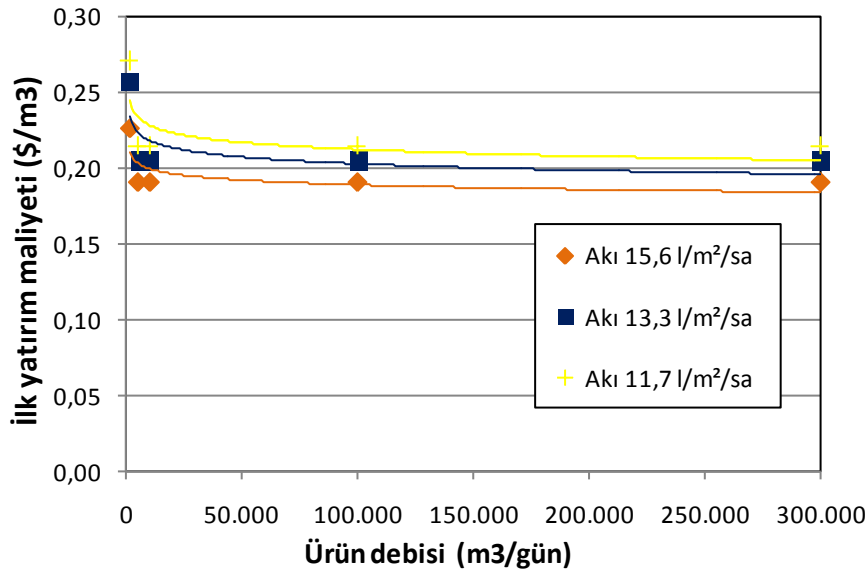
En yüksek toplam üretim maliyeti 11,7 l/m²/sa akıda 1000 m³/gün kapasitede 0,586 \$/m³, en düşük toplam üretim maliyeti 300.000 m³/gün kapasitede 15,6 l/m²/sa akıda 0,502 \$/m³ ‘ tür bu da % 16 oranında bir fark anlamına gelir.

5000 m³/gün kapasitede 11,7 l/m²/sa akıda ilk yatırım maliyeti 0,214\$/m³ , 13,3 l/m²/sa akıda 0,203 \$/m³, 15,6 l/m²/sa akıda 0,190 \$/m³ ‘ tür. Toplam üretim

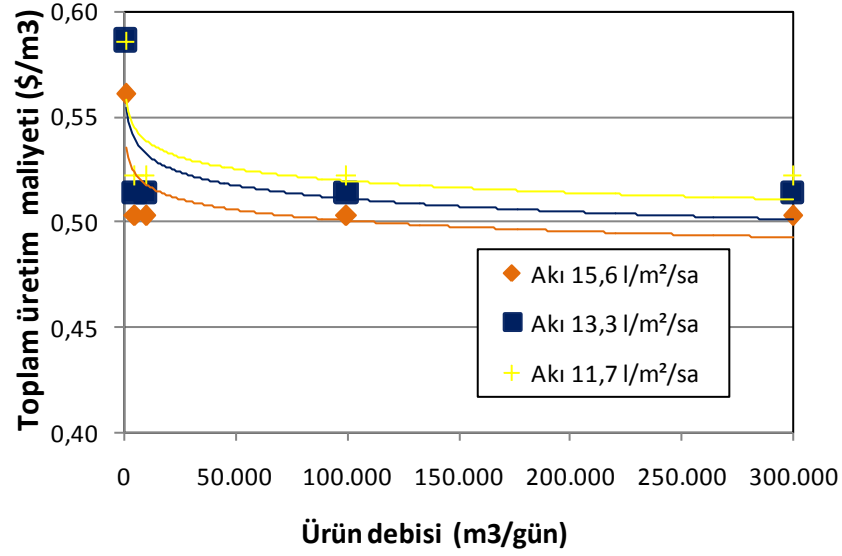
maliyetinin en fazla 11,7 l/m²/sa akıda olmasının nedeni yüksek ilk yatırım maliyetidir.



Şekil 5.33 : Farklı akılarda Marmara'dan ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde işletme maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.



Şekil 5.34 : Farklı akılarda Marmara'dan ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde ilk yatırım maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.



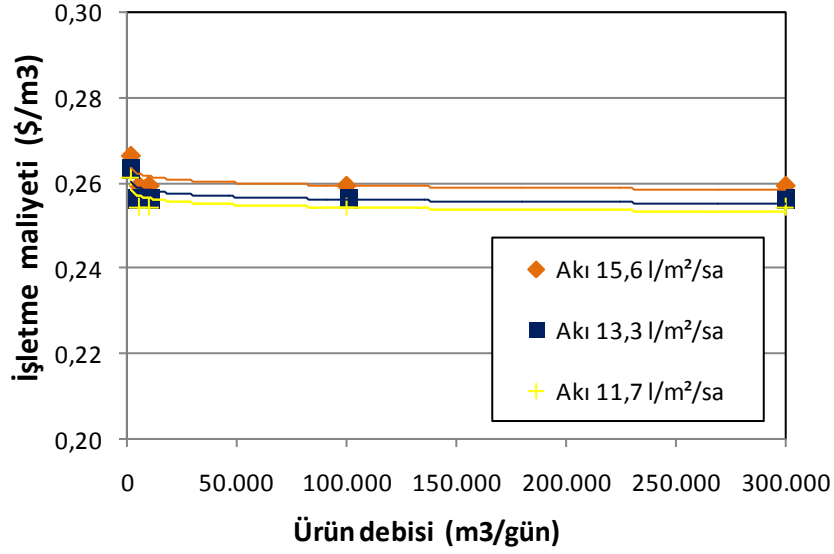
Şekil 5.35 : Farklı akılarda Marmara’dan ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde toplam üretim maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.

Tuzluluğu 18.800 ppm olarak kabul edilen Karadeniz ‘ in % 40 geri kazanım oranıyla farklı kapasitelerde 15,6 l/m²/sa, 13,3 l/m²/sa, 11,7 l/m²/sa akılarda işletme maliyeti Şekil 5.36’ da, ilk yatırım maliyeti şekil 5.37’ de ve toplam üretim maliyetini şekil 5.38 de verilmiştir.

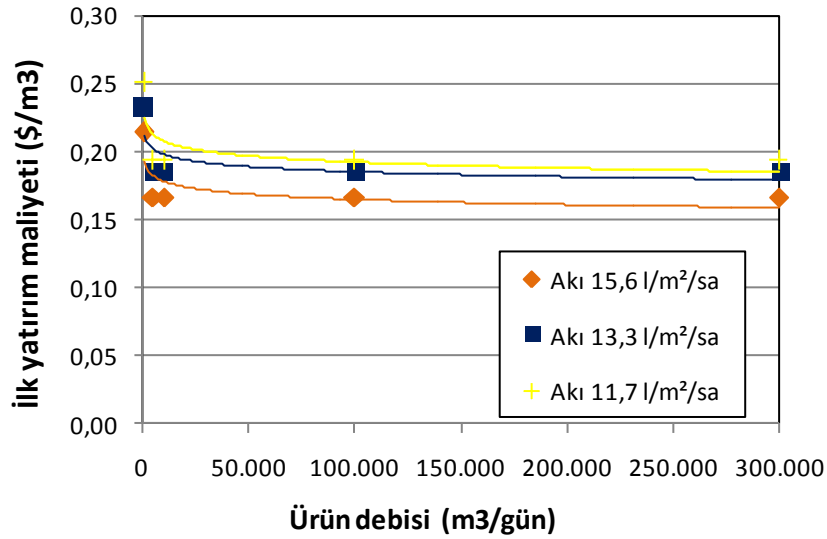
Karadeniz ‘ in 1000 m³/gün ‘ lük ters osmoz sistemiyle 15,6 l/m²/sa akıda arıtılmasının işletme maliyeti 0,266 \$/m³ , 13,3 l/m²/sa akıda 0,263 \$/m³ , 11,7 l/m²/sa akıda 0,261 \$/m³ ‘ tür.

Kapasitenin 5000 m³/gün ‘ e çıkması durumunda işletme maliyetleri 15,6 l/m²/sa akıda 0,260 \$/m³ , 13,3 l/m²/sa akıda 0,256 \$/m³ , 11,7 l/m²/sa akıda 0,255 \$/m³ ‘ e iner.

En yüksek toplam üretim maliyeti 11,7 l/m²/sa akıda 1000 m³/gün kapasitede 0,512 \$/m³, en düşük toplam üretim maliyeti 300.000 m³/gün kapasitede 15,6 l/m²/sa akıda 0,425 \$/m³ olarak bulunmuştur. Karadeniz ‘ den içme suyu üretimi amaçlı tasarlanan tesislerin toplam üretim maliyetleri arasında % 20 oranında bir fark olduğu sonucu ortaya çıkar. 5000 m³/gün kapasitede 11,7 l/m²/sa akıda ilk yatırım maliyeti 0,19 \$/m³ , 13,3 l/m²/sa akıda 0,186 \$/m³, 15,6 l/m²/sa akıda 0,166 \$/m³ ‘ tür. Toplam üretim maliyetinin en fazla 11,7 l/m²/sa akıda olmasının nedeni yüksek ilk yatırım maliyetidir.

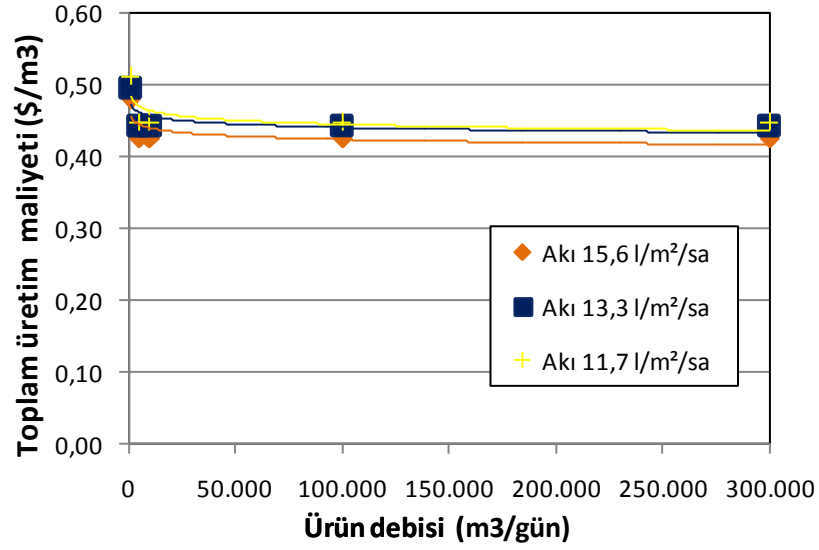


Şekil 5.36 : Farklı akılarda Karadeniz'den ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde işletme maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.

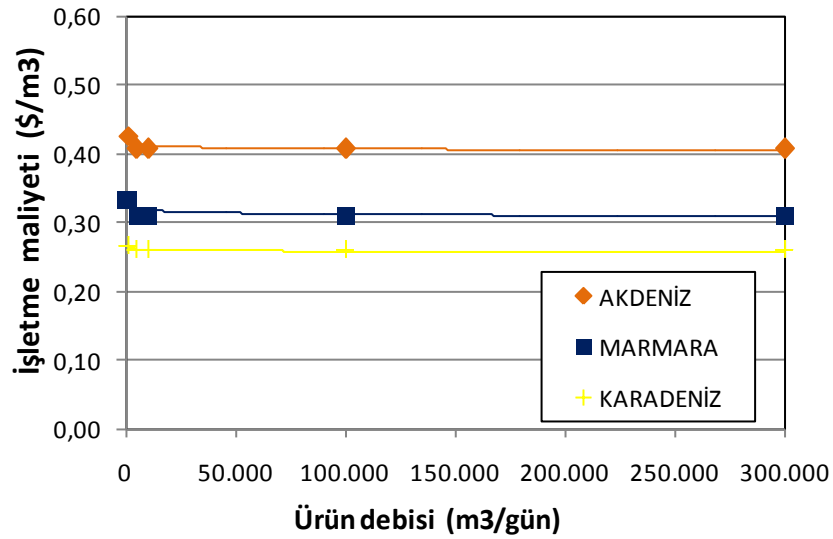


Şekil 5.37 : Farklı akılarda Karadeniz'den ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde ilk yatırım maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.

15,6 l/m²/sa akıda ters osmozla yöntemiyle arıtılmasının üç farklı deniz suyu için maliyetler açısından karşılaştırılması Şekil 5.39, Şekil 5.40 ve Şekil 5.41 ' da verilmiştir. Akdeniz'in Marmara' ya oranla işletme maliyeti % 28, ilk yatırım maliyeti % 5, toplam üretim maliyeti % 18 daha fazladır. Akdeniz ile Karadeniz arasında ki birim su maliyet farkı işletme maliyetinde % 63, ilk yatırım maliyetinde % 18, toplam üretim maliyetinde % 38 mertebelerindedir.

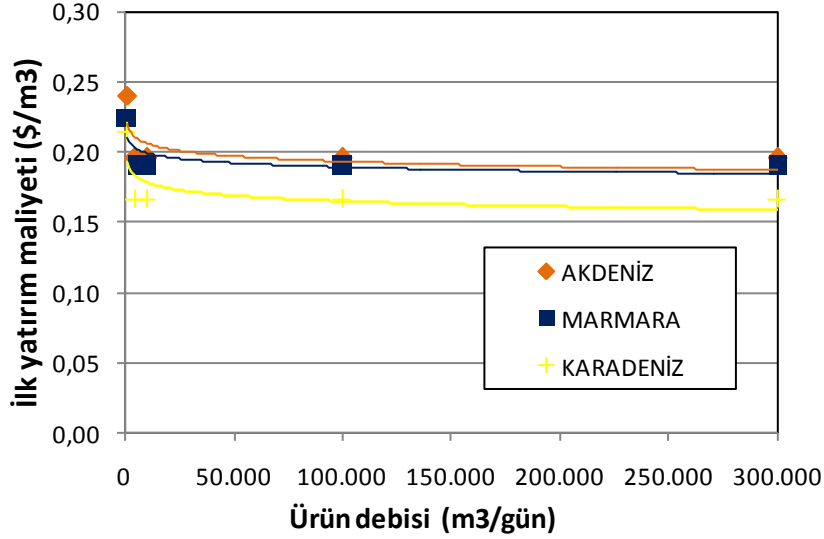


Şekil 5.38 : Farklı akılarda Karadeniz'den ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde toplam üretim maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.

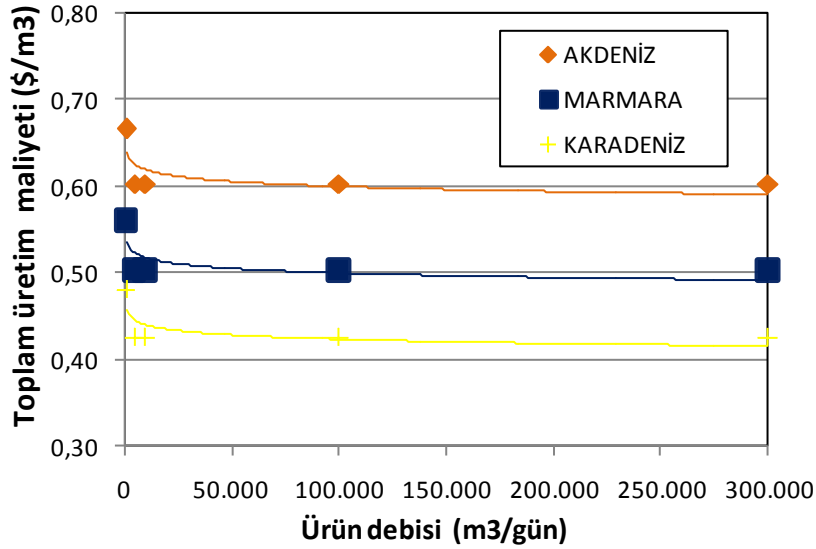


Şekil 5.39 : 15,6 l/m²/sa akı değeri için farklı denizlerden ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde işletme maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.

Marmara'dan ters osmozla içme suyu üretmenin Karadeniz'e oranla işletme maliyeti % 25, ilk yatırım maliyeti % 14 ve toplam üretim maliyeti % 18 daha fazladır.



Şekil 5.40 : 15,6 l/m²/sa akı değeri için farklı denizlerden ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde ilk yatırım maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.



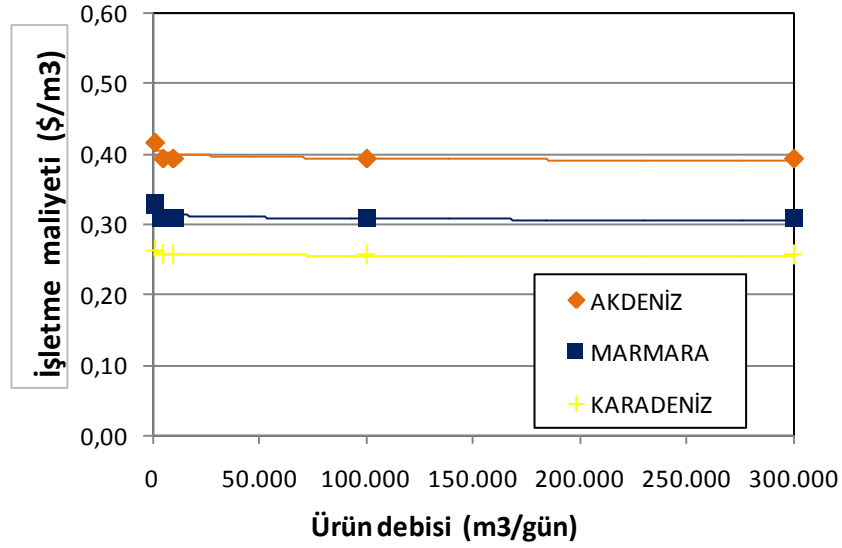
Şekil 5.41 : 15,6 l/m²/sa akı değeri için farklı denizlerden ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde toplam üretim maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.

Akının 13,3 l/m²/sa olması durumunda ters osmozla yöntemiyle üç farklı deniz suyunun arıtılmasının maliyetler açısından karşılaştırılması Şekil 5.42, Şekil 5.43 ve Şekil 5.44’da verilmiştir.

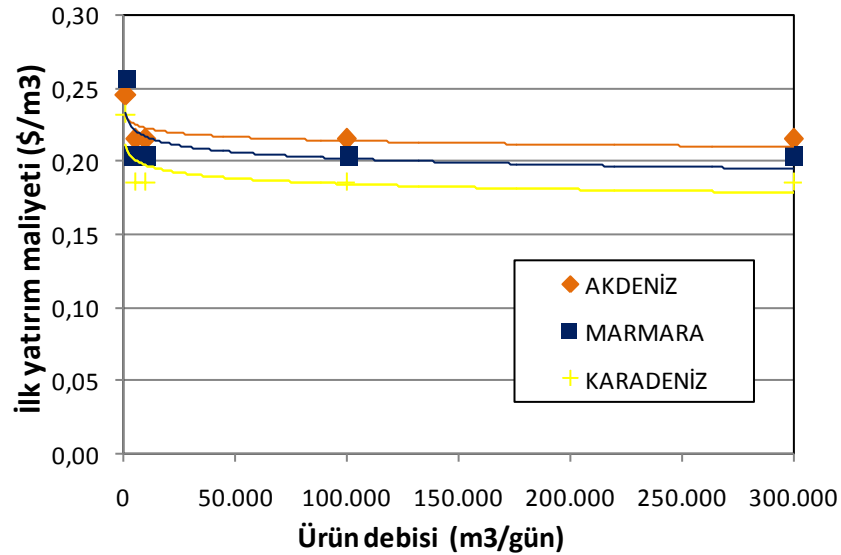
Her üç deniz suyu içinde akı değeri 13,3 l/m²/sa seçildiğinde Akdeniz’in Marmara’ya oranla işletme maliyeti % 31, ilk yatırım maliyeti % 6, toplam üretim maliyeti % 19 daha fazladır. Akdeniz ile Karadeniz arasında ki birim su maliyet farkı işletme

maliyetinde % 53, ilk yatırım maliyetinde % 16, toplam üretim maliyetinde % 35 mertebelerindedir.

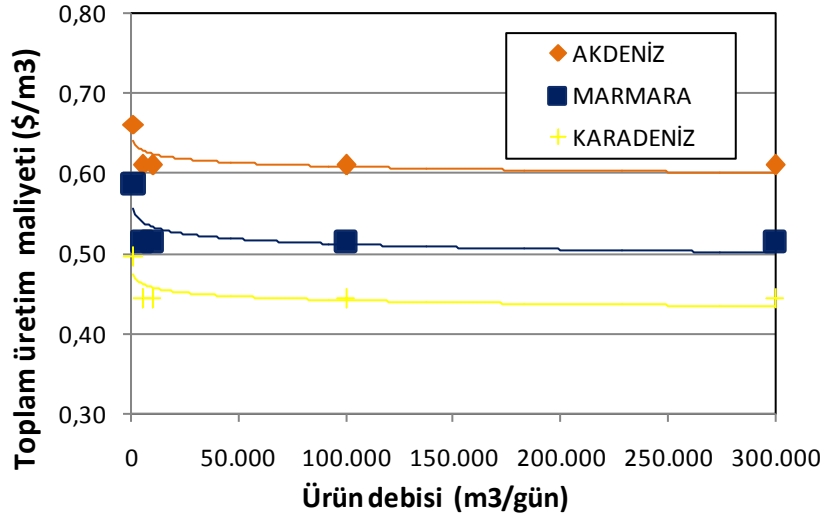
Marmara'dan ters osmozla içme suyu üretmenin Karadeniz 'e göre işletme maliyeti % 20, ilk yatırım maliyeti % 10 ve toplam üretim maliyeti % 16 daha fazladır.



Şekil 5.42 : 13,3 l/m²/sa akı değeri için farklı denizlerden ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde işletme maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.

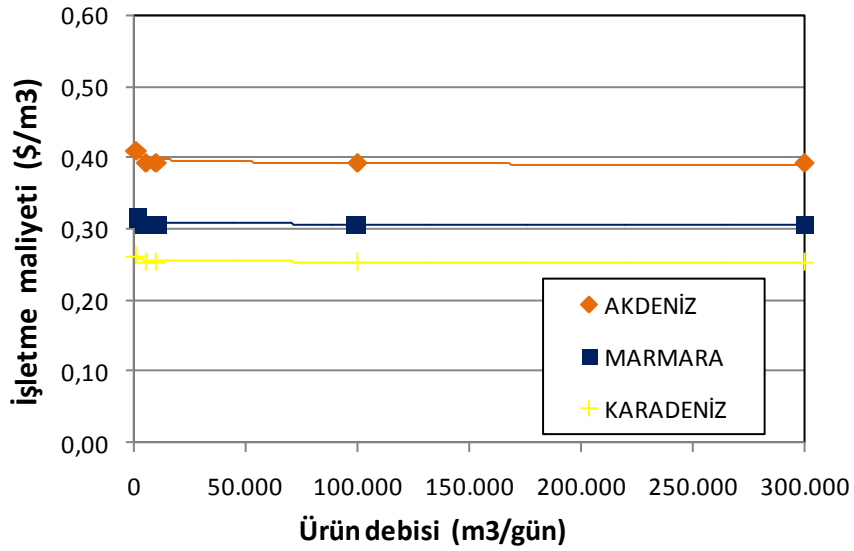


Şekil 5.43 : 13,3 l/m²/sa akı değeri için farklı denizlerden ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde ilk yatırım maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.

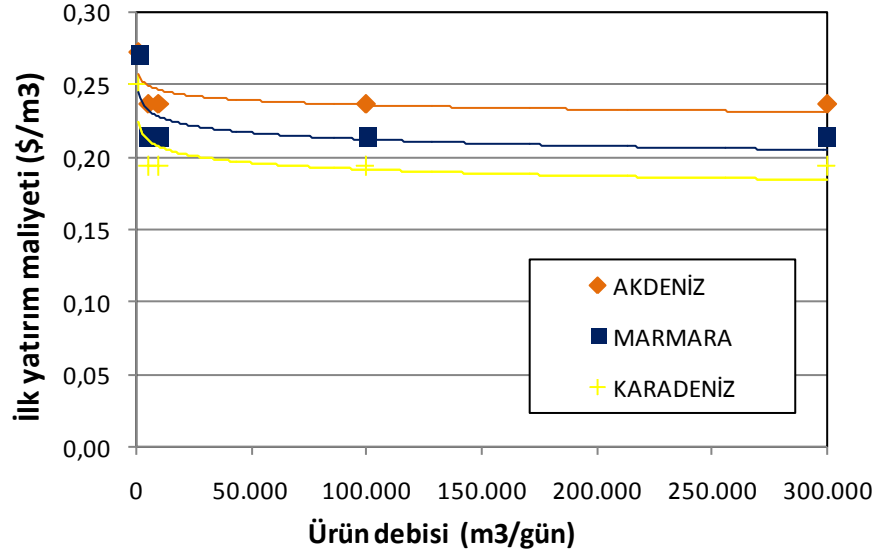


Şekil 5.44 : 13,3 l/m²/sa akı değeri için farklı denizlerden ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde toplam üretim maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.

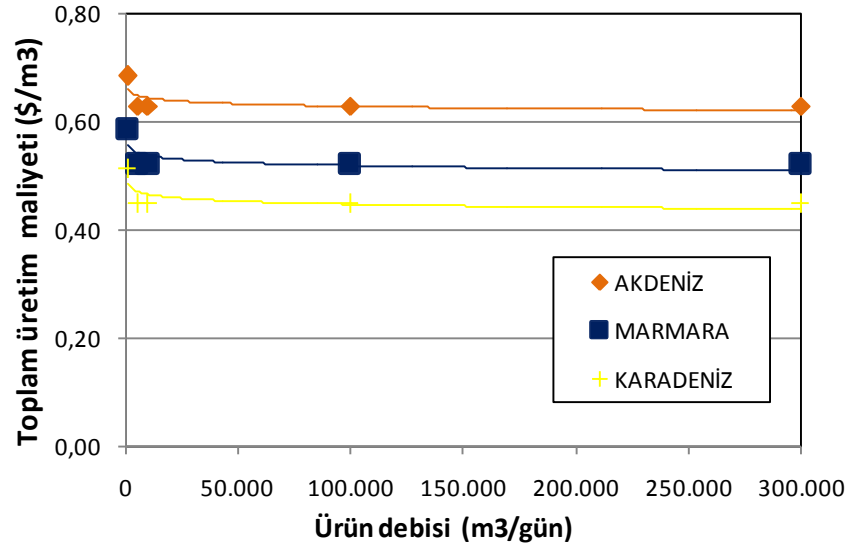
Akının 11,7 l/m²/sa olması durumunda ters osmozla yöntemiyle üç farklı deniz suyunun arıtılmasının maliyetler açısından karşılaştırılması Şekil 5.45, Şekil 5.46 ve Şekil 5.47 ' de verilmiştir.



Şekil 5.45 : 11,7 l/m²/sa akı değeri için farklı denizlerden ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde işletme maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.



Şekil 5.46 : 11,7 l/m²/sa akı değeri için farklı denizlerden ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde ilk yatırım maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.



Şekil 5.47 : 11,7 l/m²/sa akı değeri için farklı denizlerden ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretiminde toplam üretim maliyetinin sistemin kapasitesiyle ilişkisi.

Tasarımlarda 11,7 l/m²/sa akı değeri seçildiğinde Akdeniz ‘ in Marmara ‘ ya oranla işletme maliyeti % 32, ilk yatırım maliyeti % 2, toplam üretim maliyeti % 20 daha fazladır. Akdeniz ile Karadeniz arasında ki birim su maliyet farkı işletme maliyetinde % 56, ilk yatırım maliyetinde % 22, toplam üretim maliyetinde % 43 mertebelerindedir.

Marmara'dan ters osmozla içme suyu üretmenin Karadeniz ' e oranla işletme maliyeti % 20, ilk yatırım maliyeti % 8 ve toplam üretim maliyeti % 17 daha fazladır. Türkiye'de ki denizlerden içme suyu elde etmenin işletme, ilk yatırım ve toplam üretim maliyetleri hedeflenen sistem kapasiteleri için denklem 5.3 ile saplanabilir.

$$M_{denizsu} = a * Q^b \quad (5.3)$$

M : İşletme, İlk Yatırım, Toplam Üretim Maliyeti (\$/m³)

Q : Debi (m³/gün)

a : Katsayı

b : Katsayı

Çizelge 5.3 : Denizlerden içme ve kullanma suyu üretiminde farklı tasarımların maliyet denklemi katsayıları

	İŞLETME MALİYETİ		İLK YATIRIM MALİYETİ		TOPLAM ÜRETİM MALİYETİ	
	a	b	a	b	a	b
AKDENİZ - 15,6 l/m ² /sa	0,435	-0,006	0,268	-0,028	0,701	-0,013
AKDENİZ - 13,3 l/m ² /sa	0,427	-0,007	0,263	-0,018	0,690	-0,011
AKDENİZ - 11,7 l/m ² /sa	0,421	-0,006	0,294	-0,019	0,714	-0,011
MARMARA - 15,6 l/m ² /sa	0,347	-0,009	0,247	-0,023	0,593	-0,015
MARMARA - 13,3 l/m ² /sa	0,339	-0,008	0,290	-0,031	0,627	-0,018
MARMARA - 11,7 l/m ² /sa	0,320	-0,003	0,304	-0,031	0,621	-0,016
KARADENİZ - 15,6 l/m ² /sa	0,270	-0,003	0,244	-0,034	0,511	-0,016
KARADENİZ - 13,3 l/m ² /sa	0,267	-0,004	0,267	-0,030	0,525	-0,015
KARADENİZ - 11,7 l/m ² /sa	0,265	-0,004	0,286	-0,035	0,548	-0,018

5.4 Ters Osmoz Sistemlerinin Oransal Maliyet Değerlendirmesi

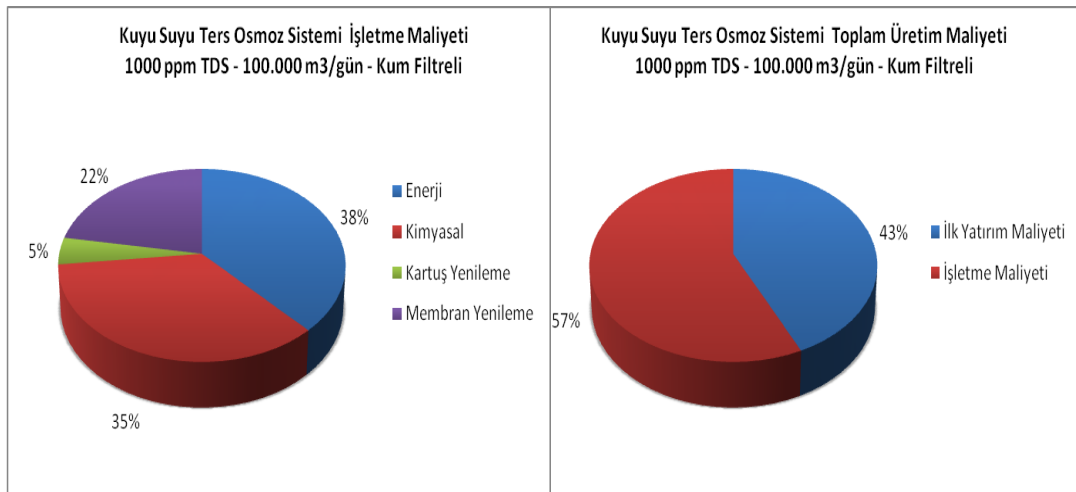
Toplam birim su maliyetlerini oluşturan değerler ters osmoz sistemlerinde oransal olarak farklılıklar gösterir. Şekil 5.48 de 1000 ppm TDS' te kuyu suyunun ön arıtmanın kum filtre ile olduğu, 100.000 m³/gün kapasiteli membran sisteminin maliyetini oluşturan değerlerin oransal dağılımı verilmiştir. Şekil 5.49' da aynı sisteme derin kuyu pompalarının ilave edilmesi durumunda ki işletme maliyetinin

oransal dağılımı verilmiştir. Kuyu suyu kaynaklı sistemlerin maliyetlerine derin kuyu pompalarının ilave edilmesiyle enerji maliyet oranı daha da ön plana çıkmaktadır.

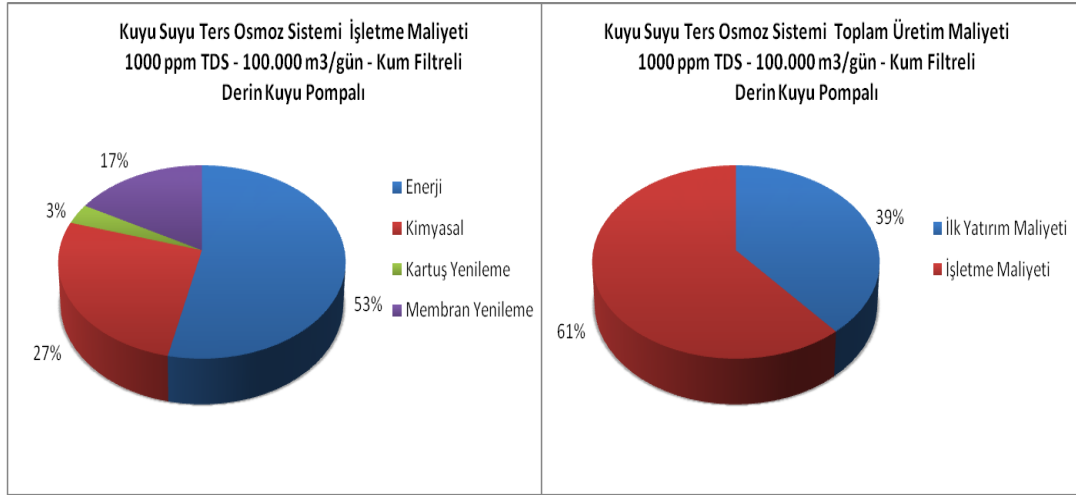
Şekil 5.50 de 15 NTU 100.000 m³/gün kapasiteli yüzeysel su kaynağının ters osmozla arıtılmasında ön arıtmanın konvansiyonel yöntemlerle olduğu , Şekil 5.51’de ultrafiltrasyonla olduğu hallerde maliyet dağılımları verilmiştir. UF’nin yüksek bulanıklık değerinde ki yüzeysel sulara kullanılması membran yenileme maliyetinin oranını düşürürken, enerji tüketimini oranını artırır.

Üç farklı denizimizden ters osmoz prosesiyle içme suyu üretiminin oransal maliyet dağılımları şekil 5.52, şekil 5.53, şekil 5.54’ de belirtilmiştir. Tuzluluk arttıkça enerji tüketim oranının arttığı, membran yenileme ve kimyasal maliyetlerinin işletme maliyetine oranlarının azaldığı görülmüştür.

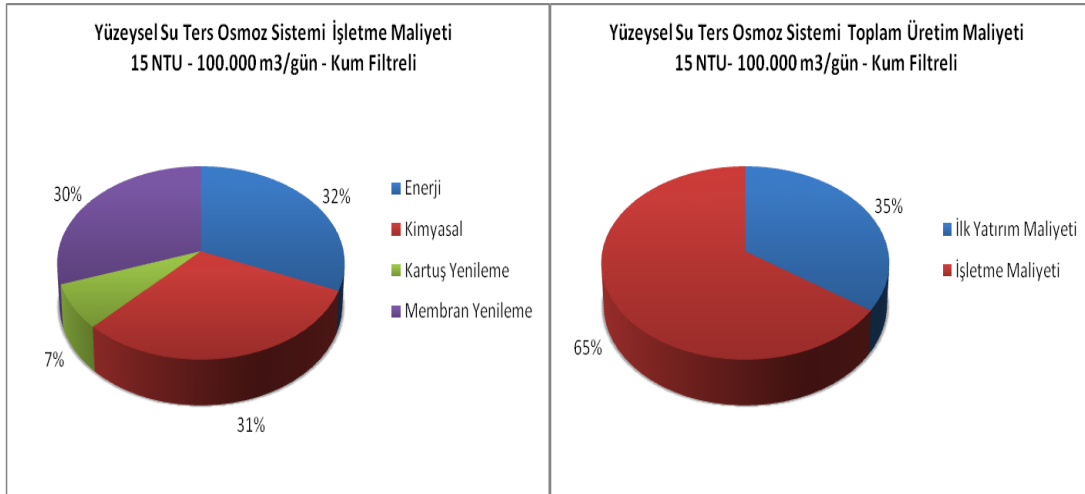
Bütün bu sonuçlardan anlaşıldığı gibi maliyet açısından ilk önce önem verilmesi gerek konunun enerji tüketimi olması gerekir. Enerji tüketiminden sonra gelen en önemli konular membran yenileme ve kimyasal tüketim maliyetleridir. Deniz sularının arıtımında membran yenileme ve kimyasal tüketimi birbirine yakinken, kuyu sularında kimyasal tüketimi ağırlıktadır. Bulanık yüzeysel sularında ters osmoz öncesi UF kullanılmadığı hallerde membranlar yüksek SDI nedeniyle daha hızlı tıkanır ve membran yenileme, kimyasal tüketimiyle neredeyse eş değer oranda etkin olur.



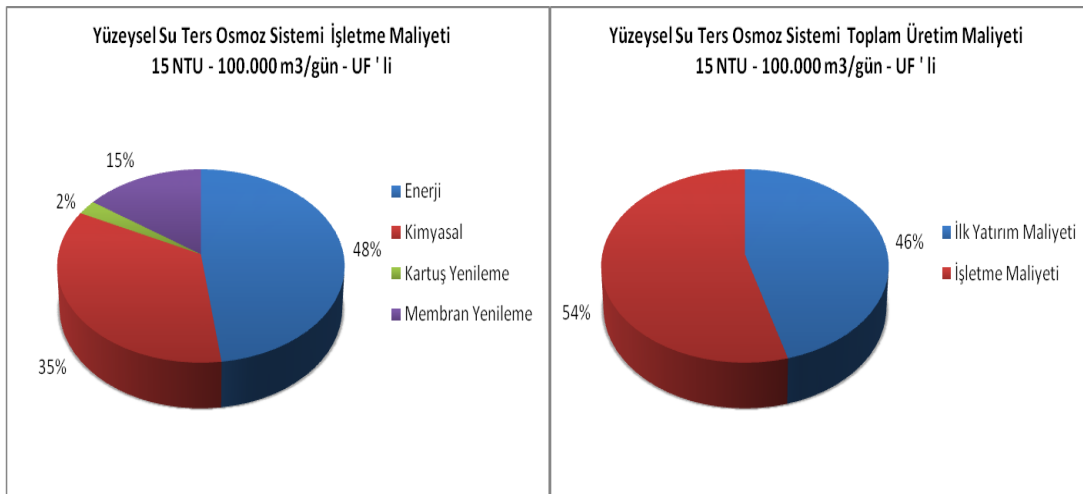
Şekil 5.48 : Ön arıtmalı derin kuyu pompasız kuyu suyu ters osmoz sistemlerinin ilk yatırım ve işletme maliyeti oranları, işletme maliyeti bileşenleri



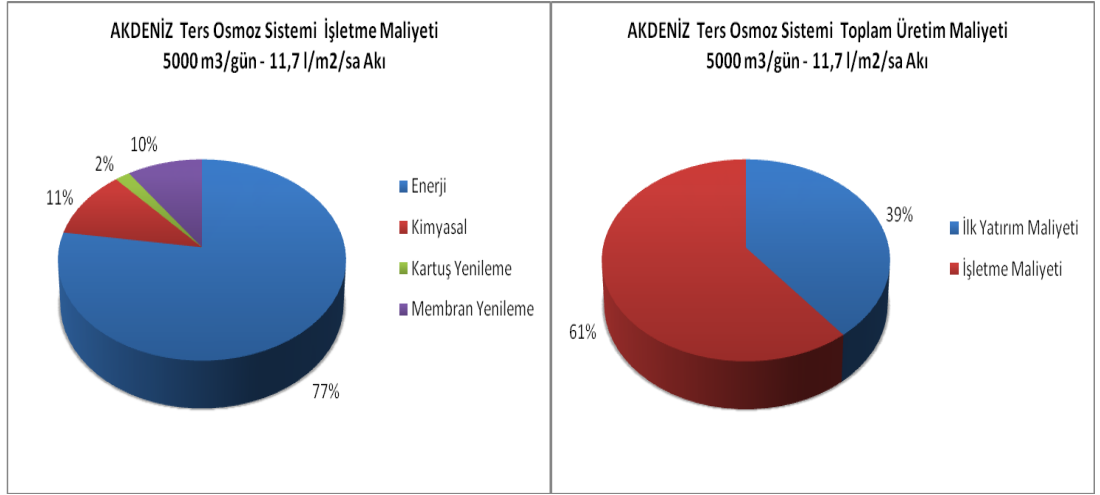
Şekil 5.49 : Ön arıtmalı derin kuyu pompasız kuyu suyu ters osmoz sistemlerinin ilk yatırım ve işletme maliyeti oranları, işletme maliyeti bileşenleri



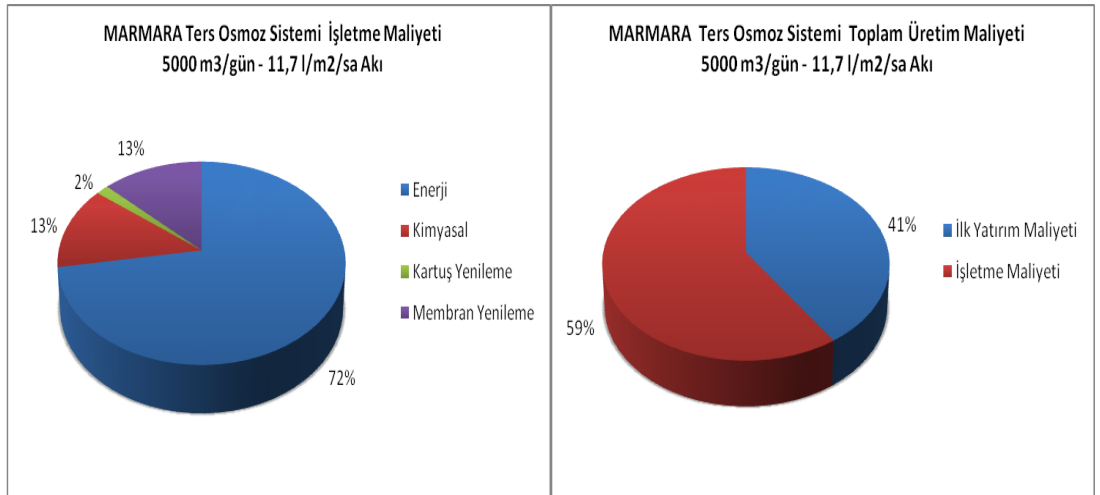
Şekil 5.50 : Konvansiyonel ön arıtmalı yüzeysel su ters osmoz sistemlerinin ilk yatırım ve işletme maliyeti oranları, işletme maliyeti bileşenleri.



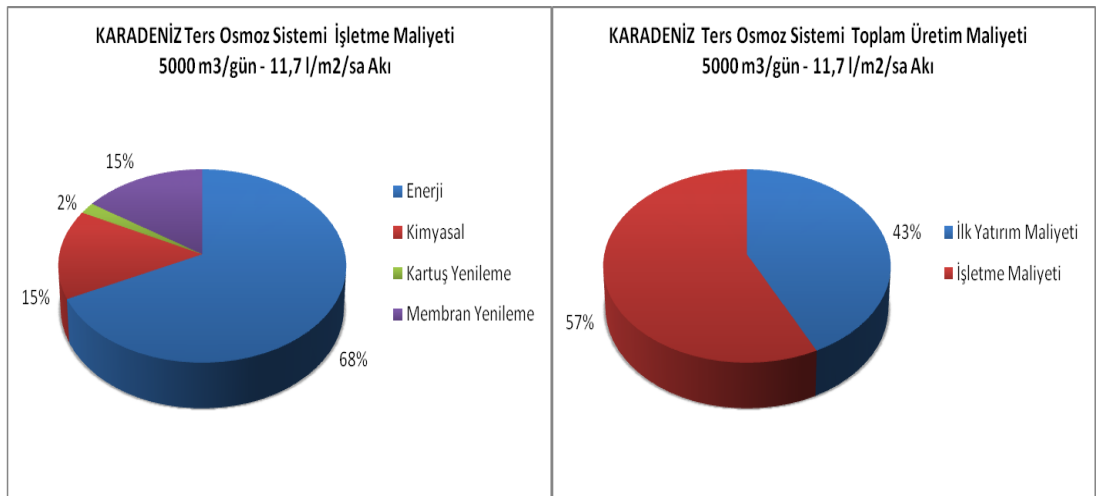
Şekil 5.51 : Ultrafiltrasyon ile ön arıtmalı yüzeysel su ters osmoz sistemlerinin ilk yatırım ve işletme maliyeti oranları, işletme maliyeti bileşenleri.



Şekil 5.52 : Akdeniz’den ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretmenin ilk yatırım ve işletme maliyeti oranları, işletme maliyeti bileşenleri.



Şekil 5.53 : Marmara’dan ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretmenin ilk yatırım ve işletme maliyeti oranları, işletme maliyeti bileşenleri.



Şekil 5.54 : Karadeniz’den ters osmoz sistemiyle içme ve kullanma suyu üretmenin ilk yatırım ve işletme maliyeti oranları, işletme maliyeti bileşenleri.

6. SONUÇLAR

Kuyu sularının membran sistemlerle arıtımında , 4 farklı tuzluluktaki ham suyun membran sistem öncesi, ön arıtma olarak mekanik ve kum filtre kullanılması durumları, ürün suyu tuzluluk değerlerinin 3 farklı değerde elde edilmesi ve derin kuyu pompalarının maliyete dahil edilip edilmemesi durumları , ters osmoz ve nanofiltrasyon sistemlerinin maliyet analizleri ve karşılaştırmaları yapılmıştır.

Yüzeysel sularda 3 farklı bulanıklıkta, ön arıtmanın konvansiyonel bir sistem olan çöktürme ve kum filtresi veya ultrafiltrasyon sistemi olması durumlarına göre maliyet analizleri ve karşılaştırmaları yapılmıştır.

3 farklı tuzlulukta denizimizin ham su olarak kullanıldığı sistemlerin birim su maliyetleri incelenmiştir. Akdeniz, Marmara ve Karadeniz' in tuzluluğunun içilebilir değerlere getirilmesinin maliyet analizleri yapılırken deniz suyu arıtımında maliyetle doğrudan ilgili olan membran akıları 3 farklı değere göre maliyet analizleri yapılmıştır.

Bu maliyet analizlerinden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- Kuyu suyu ters osmoz sistemlerinde minimum maliyetler en düşük tuzlulukta en yüksek kapasiteli sistemlerde kum filtreli ön arıtma kullanıldığında elde edilmektedir. En yüksek tuzlulukta kuyu suyunun 1000 m³/gün kapasitede ki ters osmoz sistemiyle arıtılması, en düşük tuzlulukta en yüksek kapasitede arıtılmasının işletme maliyeti olarak 3 kat, toplam üretim maliyeti olarak 2 buçuk kat daha pahalı olduğu sonucuna varılmıştır.
- Ön arıtmada kum filtre kullanılmasının 10.000 m³/gün kapasitenin üzerinde ki sistemlerde mekanik filtreye göre ilk yatırım maliyeti olarak % 15 – 20 daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir.
- Düşük basınçlı ters osmoz membranlarının düşük tuzlulukta ki sular için işletme maliyetlerini nanofiltrasyon membranlarıyla hemen hemen aynı olduğu belirlenmiştir. İlk yatırım maliyeti olarak nanofiltrasyon sistemi % 10 – 15 daha pahalıdır.

- Ters osmoz sisteminden çıkan ürün suyunun iletkenlik değeri düşük olduğu için ham suyla karışım yapmanın kuyu sularının arıtılmasının işletme maliyetini yarıya düşürebildiği sonucuna varılmıştır.
- 200 mSS basma yüksekliğinde ki derin kuyu pompalarının ters osmoz sisteminin işletme maliyetine en yüksek % 80 oranında, en düşük % 35 oranında etki ettiği tespit edilmiştir.
- Yüzeysel su kaynakları ters osmoz yöntemiyle arıtılırken konvansiyonel ön arıtma sistemleri kullanılması durumunda bütün bulanık değerlerinde en düşük kapasite de ki sistemin en yüksek kapasitede ki sisteme oranla işletme maliyetinin % 30 , ilk yatırım maliyetinin % 40 daha pahalı olduğu görülmüştür.
- Ön arıtmada UF kullanılması konvansiyonel arıtma yöntemlerinin kullanılmasına göre toplam üretim maliyeti olarak % 30 daha pahalı olduğu tespit edilmiştir. Özellikle ham su kalitesinin kötü olduğu durumlarda membran tıkanma riskini minimuma indirmek için konvansiyonel sistemlere göre çok daha güvenilir olan UF prosesleri tercih edilebilir.
- Yüzeysel suların ters osmozla sistemiyle arıtımının işletme maliyetleri nanofiltrasyon sistemiyle her iki ön arıtma metodunda ve bütün bulanıklık değerlerinde hemen hemen aynı olduğu belirlenmiştir.
- Ters osmoz sistemiyle en yüksek su üretim maliyetleri en yüksek tuzluluğa sahip olan Akdeniz'dedir. Bütün deniz su arıtım proseslerinde yüksek basınç pompasının kapasitesi sınırlayıcı etken olmuştur. 5000 m³/gün' den büyük kapasite de sistem tek ünite halinde tasarlanamamaktadır. Birim su maliyetleri bu kapasiteden sonra düşmediği görülmüştür.
- En yüksek akı değeri ile en düşük akı değerinde her üç denizde de toplam yatırım maliyetinde önemli bir farklılık yoktur. Düşük akılı sistemlerin toplam üretim maliyeti % 4 -5 daha pahalıdır.
- Akdeniz'in arıtılmasının işletme maliyeti Karadeniz'e göre % 56 daha pahalıdır.
- Seçilen en düşük iletkenlik değerine sahip kuyu suyunun ters osmozla arıtılmasının toplam üretim maliyeti Akdeniz'in arıtılmasından toplam üretim maliyeti bazında 5 buçuk kat daha ucuzdur.

- Birim su maliyetlerini tespit etmek için oluşturulan a ve b katsayıları arasında anlamlı ilişkiler tespit edilememiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Url-1 <www.dsi.gov.tr>, alındığı tarih 03.04.2009.
- [2] **Hendricks, D. W.**, 2006: Water Treatment Unit Processes: Physical and Chemical, CRC Press.
- [3] **Dölgen D., Sarptaş, H., Alpaslan M. N.**, 2009: Merkezi İçme ve Kullanma Suyu Arıtma Sistemlerinde Uygulanan Yöntemlerin Değerlendirilmesi: İzmir Örneği, TMMOB İzmir Kent Sempozyumu.
- [4] Url-2 <<http://www.etcaritma.com/sartma/Dezenfeksiyon.htm>>, alındığı tarih 08.04.2009.
- [5] Url-3 <<http://monokloramin.kayabek.net/dezenfeksiyon.Y.htm>>, alındığı tarih 08.04.2009.
- [6] **Baker, R. W.**, 2004: Membrane Technology and Applications, 2nd edition, Wiley&Sons Ltd, Membrane Technology and Research, Inc., Menlo Park, California.
- [7] **Matsuura, T.**, 1994: Synthetic Membranes and Membrane Separation Processes, CRC Press,
- [8] **Koltuniewicz, A. B., Drioli, E.**, 2008: Membranes in Clean Technologies: Theory and Practice, Wiley-VCH.
- [9] **Jolley, R. L., Condie, L. W.**, 1990: Water Chlorination: Chemistry, Environmental Impact and Health Effects, By Conference on Water Chlorination: Environmental Impact and Health Effects, CRC Press.
- [10] **Lauren F. Greenlee, Desmond F. Lawler, Benny D. Freeman, Benoit Marrot, Philippe Moulin**, 2008: Reverse osmosis desalination: Water soruces, technology, and today's challenges, IWA, 23-27.
- [11] **Mark Wilf**, 2007: Reverse Osmosis, Nanofiltration and Hybrid Systems Process, Design, Applications and Economics, Balaban Desalination Publications, 190-220.
- [12] **Jose Diaz, Caneja and Manuel Farinas**, 2008: Cost Estimation Briefing for Large Seawater Reverse Osmosis Facilities in Spain, 125-138.
- [13] **R.A. Bergman**, 1995: Membrane softening versus lime softening in Florida: a cost comparison update,
- [14] **Samar Adham**, 1996: Characteristics and Costs of MF and UF Plants, AWWA Journal
- [15] **Akgül Demet**, 2006: Türkiye'de Ters Osmoz ve Nanofiltrasyon Sistemleri İle İçme ve Kullanma Suyu Üretiminin Maliyet Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 102-123.

EKLER

EK A.1 : Tasarım İçeriği izelgeleri

Çizelge A.1.1 : Kuyu Suyu Tasarımlarından Elde Edilen Değerler

		1.000 m³/d TDS : 1000 ppm	1.000 m³/d TDS : 1000 ppm NF	5.000 m³/d TDS : 1000 ppm	5.000 m³/d TDS : 1000 ppm NF	10.000 m³/d TDS : 1000 ppm	10.000 m³/d TDS : 1000 ppm NF	100.000 m³/d TDS : 1000 ppm	100.000 m³/d TDS : 1000 ppm NF
Ürün Debisi	m³/gün	1000	1000	5000	5000	10000	10000	100000	100000
Besleme Debisi	m³/gün	1250,00	1250,00	6250	6250	12500	12500	125000	125000
Konsantre Su	m³/gün	250,00	250,00	1250	1250	2500	2500	25000	25000
Ortalama Akı	l/m2.sa	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4
Geri Kazanım	%	80	80	80	80	80	80	80	80
Bulanıklık		1	1	1	1	1	1	1	1
Sıcaklık	C	19	19	19	19	19	19	19	19
SDI 15 500 ml		3	3	3	3	3	3	3	3
Membran Ömrü	yıl	5	5	5	5	5	5	5	5
Yıllık akı azalması	%	7	7	7	7	7	7	7	7
Tuz geçişi artışı	%	10	10	10	10	10	10	10	10
Hamsu TDS	ppm	1016	1016	1016	1016	1016	1016	1016,53	1016,53
Ünite Adedi		1	1	1	1	1	1	2	2
1. Kademe									
Element Tipi		ESPA 4	ESNA1 - LF2	ESPA 4	ESNA1 - LF2	ESPA 4	ESNA1 - LF2	ESPA 4	ESNA1 - LF2
Element/Vessel		6	6	6	6	6	6	6	6
Vessel Adedi		5	5	26	26	56	56	265	265
2. Kademe									
Element Tipi		ESPA 4	ESNA1 - LF2	ESPA 4	ESNA1 - LF2	ESPA 4	ESNA1 - LF2	ESPA 4	ESNA1 - LF2
Element/Vessel		6	6	6	6	6	6	6	6
Vessel Adedi		3	3	14	14	24	24	135	135
Besleme Basıncı	bar	7,8	6,4	7,7	6,4	7,6	6,4	7,6	6,5
Membran Adedi		48	48	240	240	480	480	4800	4800
Vessel Adedi		8	8	40	40	80	80	800	800
Enerji Tüketimi	kwh	0,50	0,42	0,35	0,29	0,38	0,32	0,28	0,24

Çizelge A.1.1 : Kuyu Suyu Tasarımlarından Elde Edilen Değerler (devamı)

		300.000 m³/d TDS : 1000 ppm	300.000 m³/d TDS : 1000 ppm NF	1.000 m³/d TDS : 2000 ppm	5.000 m³/d TDS : 2000 ppm	10.000 m³/d TDS : 2000 ppm	100.000 m³/d TDS : 2000 ppm	300.000 m³/d TDS : 2000 ppm	1.000 m³/d TDS : 5000 ppm
Ürün Debisi	m³/gün	300000	300000	1000	5000	10000	100000	300000	1000
Besleme Debisi	m³/gün	375000	375000	1428	7142	14285	142857	428571	1666
Konsantre Su	m³/gün	75000	75000	428,57	2142,86	4285,71	42857,14	128571	666
Ortalama Akı	l/m2.sa	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4
Geri Kazanım	%	80	80	70	70	70	70	70	60
Bulanıklık		1	1	1	1	1	1	1	1
Sıcaklık	C	19	19	19	19	19	19	19	19
SDI 15 500 ml		3	3	3	3	3	3	3	3
Membran Ömrü	yıl	5	5	5	5	5	5	5	5
Yıllık akı azalması	%	7	7	7	7	7	7	7	7
Tuz geçişi artışı	%	10	10	10	10	10	10	10	10
Hamsu TDS	ppm	1016,53	1016,53	1989,78	1989,78	1989,78	1989,78	1989,78	5003,03
Ünite Adedi		6	6	1	1	1	4	12	1
1. Kademe									
Element Tipi		ESPA 4	ESNA1 - LF2	ESPA 4	ESPA 4	ESPA 4	ESPA 4	ESPA 4	CPA 2
Element/Vessel		6	6	6	6	6	6	6	6
Vessel Adedi		265	265	5	26	56	120	120	5
2. Kademe									
Element Tipi		ESPA 4	ESNA1 - LF2	ESPA 4	ESPA 4	ESPA 4	ESPA 4	ESPA 4	CPA 2
Element/Vessel		6	6	6	6	6	6	6	6
Vessel Adedi		135	135	3	14	24	80	80	3
Besleme Basıncı	bar	7,6	6,5	9,6	9,4	9,2	9	9	21,7
Membran Adedi		14400	14400	48	240	480	4800	14400	48
Vessel Adedi		2400	2400	8	40	80	800	2400	8
Enerji Tüketimi	kwh	0,28	0,24	0,57	0,35	0,35	0,35	0,35	1,36

Çizelge A.1.1 : Kuyu Suyu Tasarımlarından Elde Edilen Değerler (devamı)

		5.000 m³/d TDS : 5000 ppm	10.000 m³/d TDS : 5000 ppm	100.000 m³/d TDS : 5000 ppm	300.000 m³/d TDS : 5000 ppm	1.000 m³/d TDS : 10000 ppm	5.000 m³/d TDS : 10000 ppm	10.000 m³/d TDS : 10000 ppm	100.000 m³/d TDS : 10000 ppm	300.000 m³/d TDS : 10000 ppm
Ürün Debisi	m³/gün	5000	10000	100000	300000	1000	5000	10000	100000	300000
Besleme Debisi	m³/gün	8333	16666	166666	500000	1818,	9090	18181	181818	545454
Konsantre Su	m³/gün	3333	6666	66666	200000	818	4090	8181	81818	245454
Ortalama Akı	l/m2.sa	23,4	23,3	23,3	23,3	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4
Geri Kazanım	%	60	60	60	60	55	55	55	55	55
Bulanıklık		1	1	1	1	1	1	1	1	1
Sıcaklık	C	19	19	19	19	19	19	19	19	19
SDI 15 500 ml		3	3	3	3	3	3	3	3	3
Membran Ömrü	yıl	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Yıllık akı azalması	%	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Tuz geçişi artışı	%	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Hamsu TDS	ppm	5003,03	5003,03	5003,03	5003,03	9988,03	9988,03	9988,03	9988,03	9988,03
Ünite Adedi		1	1	5	15	1	1	1	5	15
1. Kademe										
Element Tipi		CPA 2	CPA 2	CPA 2	CPA 2	CPA 2	CPA 2	CPA 2	CPA 2	CPA 2
Element/Vessel		6	6	6	6	6	6	6	6	6
Vessel Adedi		26	52	104	104	5	26	52	104	104
2. Kademe										
Element Tipi		CPA 2	CPA 2	CPA 2	CPA 2	CPA 2	CPA 2	CPA 2	CPA 2	CPA 2
Element/Vessel		6	6	6	6	6	6	6	6	6
Vessel Adedi		14	28	56	56	3	14	28	56	56
Besleme Basıncı	bar	21,7	21,5	21,5	21,5	28,3	28,1	28,1	28,1	28,1
Membran Adedi		240	480	4800	14400	48	240	480	4800	14400
Vessel Adedi		40	80	800	2400	8	40	80	800	2400
Enerji Tüketimi	kwh	1,25	1,25	0,82	0,82	1,71	1,40	1,40	1,25	1,25

Çizelge A.1.2 : Yüzeysel Su Tasarımlarından Elde Edilen Değerler

		Flow :1.000 m³/d 5 NTU	Flow :1.000 m³/d 5 NTU NF	Flow :5.000 m³/d 5 NTU	Flow :5.000 m³/d 5 NTU NF	Flow :10.000 m³/d 5 NTU	Flow :10.000 m³/d 5 NTU NF	Flow :100.000 m³/d 5 NTU	Flow :100.000 m³/d 5 NTU NF
Ürün Debisi	m³/d	1000	1000	5000	5000	10000	10000	100000	100000
Besleme Debisi	m³/d	1250	1250	6250	6250	12500	12500	125000	125000
Konsantre Su	m³/d	250	250	1250	1250	2500	2500	25000	25000
Ortalama Akı	l/m2.h	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4
Geri Kazanım	%	80	80	80	80	80	80	80	80
Bulanıklık		1	1	1	1	1	1	1	1
Sıcaklık	C	19	19	19	19	19	19	19	19
SDI 15 500 ml		3	3	3	3	3	3	3	3
Membran Ömrü	years	5	5	5	5	5	5	5	5
Yıllık akı azalması	%	7	7	7	7	7	7	7	7
Tuz geçişi artışı	%	10	10	10	10	10	10	10	10
Hamsu TDS	ppm	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Ünite Adedi		1	1	1	1	1	1	2	2
1. Kademe									
Element Tipi		ESPA 4	ESNA1 - LF2	ESPA 4	ESNA1 - LF2	ESPA 4	ESNA1 - LF2	ESPA 4	ESNA1 - LF2
Element/Vessel		6	6	6	6	6	6	6	6
Vessel Adedi		5	5	26	26	56	56	265	265
2. Kademe									
Element Tipi		ESPA 4	ESNA1 - LF2	ESPA 4	ESNA1 - LF2	ESPA 4	ESNA1 - LF2	ESPA 4	ESNA1 - LF2
Element/Vessel		6	6	6	6	6	6	6	6
Vessel Adedi		3	3	14	14	24	24	135	135
Besleme Basıncı	bar	7,8	6,4	7,7	6,4	7,6	6,4	7,6	6,5
Membran Adedi		48	48	240	240	480	480	4800	4800
Vessel Adedi		8	8	40	40	80	80	800	800
Enerji Tüketimi		0,50	0,42	0,35	0,29	0,38	0,32	0,28	0,24

Çizelge A.1.2 : Yüzeysel Su Tasarımlarından Elde Edilen Değerler (devamı)

		300.000 m³/gün 5 NTU	300.000 m³/gün 5 NTU NF	1.000 m³/gün 10 NTU	5.000 m³/gün 10 NTU	10.000 m³/gün 10 NTU	100.000 m³/gün 10 NTU	300.000 m³/gün 10 NTU	1.000 m³/gün 15 NTU
Ürün Debisi	m³/d	300000	300000	1000	5000	10000	100000	300000	1000
Besleme Debisi	m³/d	375000	375000	1250	6250	12500	125000	375000	1250
Konsantre Su	m³/d	75000	75000	250	1250	2500	25000	75000	250
Ortalama Akı	l/m2.h	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4
Geri Kazanım	%	80	80	80	80	80	80	80	80
Bulanıklık		1	1	1	1	1	1	1	1
Sıcaklık	C	19	19	19	19	19	19	19	19
SDI 15 500 ml		3	3	3	3	3	3	3	3
Membran Ömrü	years	5	5	5	5	5	5	5	5
Yıllık akı azalması	%	7	7	7	7	7	7	7	7
Tuz geçişi artışı	%	10	10	10	10	10	10	10	10
Hamsu TDS	ppm	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Ünite Adedi		6	6	1	1	1	2	6	1
1. Kademe									
Element Tipi		ESPA 4	ESNA1 - LF2	ESPA 4	ESPA 4	ESPA 4	ESPA 4	ESPA 4	ESPA 4
Element/Vessel		6	6	6	6	6	6	6	6
Vessel Adedi		265	265	5	26	56	265	265	5
2. Kademe									
Element Tipi		ESPA 4	ESNA1 - LF2	ESPA 4	ESPA 4	ESPA 4	ESPA 4	ESPA 4	ESPA 4
Element/Vessel		6	6	6	6	6	6	6	6
Vessel Adedi		135	135	3	14	24	135	135	3
Besleme Basıncı	bar	7,6	6,5	7,8	7,7	7,6	7,6	7,6	7,8
Membran Adedi		14400	14400	48	240	480	4800	14400	48
Vessel Adedi		2400	2400	8	40	80	800	2400	8
Enerji Tüketimi		0,28	0,24	0,50	0,35	0,38	0,28	0,28	0,50

Çizelge A.1.2 : Yüzeysel Su Tasarımlarından Elde Edilen Değerler (devamı)

		5.000 m³/gün 15 NTU	10.000 m³/gün 15 NTU	100.000 m³/gün 15 NTU	300.000 m³/gün 15 NTU
Ürün Debisi	m³/d	5000	10000	100000	300000
Besleme Debisi	m³/d	6250	12500	125000	375000
Konsantre Su	m³/d	1250	2500	25000	75000
Ortalama Akı	l/m2.h	23,4	23,4	23,4	23,4
Geri Kazanım	%	80	80	80	80
Bulanıklık		1	1	1	1
Sıcaklık	C	19	19	19	19
SDI 15 500 ml		3	3	3	3
Membran Ömrü	years	5	5	5	5
Yıllık akı azalması	%	7	7	7	7
Tuz geçişi artışı	%	10	10	10	10
Hamsu TDS	ppm	1000	1000	1000	1000
Ünite Adedi		1	1	2	6
1. Kademe					
Element Tipi		ESPA 4	ESPA 4	ESPA 4	ESPA 4
Element/Vessel		6	6	6	6
Vessel Adedi		26	56	265	265
2. Kademe					
Element Tipi		ESPA 4	ESPA 4	ESPA 4	ESPA 4
Element/Vessel		6	6	6	6
Vessel Adedi		14	24	135	135
Besleme Basıncı	bar	7,7	7,6	7,6	7,6
Membran Adedi		240	480	4800	14400
Vessel Adedi		40	80	800	2400
Enerji Tüketimi		0,35	0,38	0,28	0,28

Çizelge A.1.3 : Deniz Suyu Tasarımlarından Elde Edilen Değerler

		1.000 m³/gün AKDENİZ 15,6 l/m²/sa	1.000 m³/gün AKDENİZ 13,3 l/m²/sa	1.000 m³/gün AKDENİZ 11,7 l/m²/sa	5.000 m³/gün AKDENİZ 15,6 l/m²/sa	5.000 m³/gün AKDENİZ 13,3 l/m²/sa	5.000 m³/gün AKDENİZ 11,7 l/m²/sa
Ürün Debisi	m ³ /gün	1000	1000	1000	5000	5000	5000
Besleme Debisi	m ³ /gün	2500	2500	2500	12500	12500	12500
Konsantre Su	m ³ /gün	1500	1500	1500	7500	7500	7500
Ortalama Akı	l/m ² .h	15,6	13,3	11,7	15,6	13,3	11,7
Geri Kazanım	%	40	40	40	40	40	40
Bulanıklık		1	1	1	1	1	1
Sıcaklık	C	20	20	20	20	20	20
SDI 15 500 ml		3	3	3	3	3	3
Membran Ömrü	yıl	5	5	5	5	5	5
Yıllık akı azalması	%	7	7	7	7	7	7
Tuz geçişi artışı	%	10	10	10	10	10	10
Hamsu TDS	ppm	36153	36153	36153	36153	36153	36153
Ünite Adedi		1	1	1	1	1	1
Element Tipi		SWC5	SWC5	SWC5	SWC5	SWC5	SWC5
Element/Vessel		6	6	6	6	6	6
Vessel Adedi		12	14	16	60	70	80
Besleme Basıncı	bar	57,3	54,6	52,6	57,3	54,6	52,6
Membran Adedi		72	84	96	360	420	480
Vessel Adedi		12	14	16	60	70	80
Enerji Tüketimi	kWh	3,87	3,71	3,60	3,67	3,47	3,40

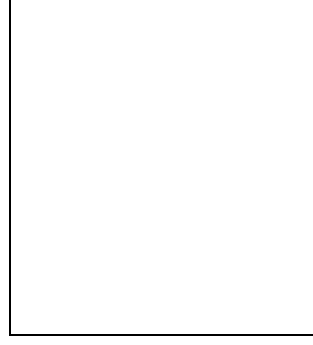
Çizelge A.1.3 : Deniz Suyu Tasarımlarından Elde Edilen Değerler (devamı)

		1.000 m³/gün MARMARA 15,6 l/m²/sa	1.000 m³/gün MARMARA 13,3 l/m²/sa	1.000 m³/gün MARMARA 11,7 l/m²/sa	5.000 m³/gün MARMARA 15,6 l/m²/sa	5.000 m³/gün MARMARA 13,3 l/m²/sa	5.000 m³/gün MARMARA 11,7 l/m²/sa
Ürün Debisi	m³/gün	1000	1000	1000	5000	5000	5000
Besleme Debisi	m³/gün	2222	2222	2222	11111	11111	11111
Konsantre Su	m³/gün	1222	1222	1222	6111	6111	6111
Ortalama Akı	l/m2.h	15,6	13,3	11,7	15,6	13,3	11,7
Geri Kazanım	%	45	45	45	45	45	45
Bulanıklık		0	0	0	0	0	0
Sıcaklık	C	19	19	19	19	19	19
SDI 15 500 ml		3	3	3	3	3	3
Membran Ömrü	yıl	5	5	5	5	5	5
Yıllık akı azalması	%	7	7	7	7	7	7
Tuz geçişi artışı	%	10	10	10	10	10	10
Hamsu TDS	ppm	24987	24987	24987	24987	24987	24987
Ünite Adedi		1	1	1	1	1	1
Element Tipi		SWC5	SWC5	SWC5	SWC5	SWC5	SWC5
Element/Vessel		6	6	6	6	6	6
Vessel Adedi		12	14	16	60	70	80
Besleme Basıncı	bar	46,8	44,4	42,5	44,7	54,6	52,6
Membran Adedi		72	84	96	360	420	480
Vessel Adedi		12	14	16	60	70	80
Enerji Tüketimi	kWh	2,92	2,80	2,59	2,67	2,59	2,51

Çizelge A.1.3 : Deniz Suyu Tasarımlarından Elde Edilen Değerler (devamı)

		1.000 m³/gün KARADENİZ 15,6 l/m²/sa	1.000 m³/gün KARADENİZ 13,3 l/m²/sa	1.000 m³/gün KARADENİZ 11,7 l/m²/sa	5.000 m³/gün KARADENİZ 15,6 l/m²/sa	5.000 m³/gün KARADENİZ 13,3 l/m²/sa	5.000 m³/gün KARADENİZ 11,7 l/m²/sa
Ürün Debisi	m ³ /gün	1000	1000	1000	5000	5000	5000
Besleme Debisi	m ³ /gün	2083	2083	2083	10416	10416	10416
Konsantre Su	m ³ /gün	1083	1083	1083	5416	5416	5416
Ortalama Akı	l/m ² .h	15,6	13,3	11,7	15,6	15,6	15,6
Geri Kazanım	%	48	48	48	48	48	48
Bulanıklık		0	0	0	0	0	0
Sıcaklık	C	19	19	19	19	19	19
SDI 15 500 ml		3	3	3	3	3	3
Membran Ömrü	yıl	5	5	5	5	5	5
Yıllık akı azalması	%	7	7	7	7	7	7
Tuz geçişi artışı	%	10	10	10	10	10	10
Hamsu TDS	ppm	18826	18826	18826	18826	18826	18826
Ünite Adedi		1	1	1	1	1	1
Element Tipi		SWC5	SWC5	SWC5	SWC5	SWC5	SWC5
Element/Vessel		6	6	6	6	6	6
Vessel Adedi		12	14	16	60	70	80
Besleme Basıncı	bar	37	35	33,5	37	35	37
Membran Adedi		72	84	96	360	420	480
Vessel Adedi		12	14	16	60	70	80
Enerji Tüketimi	kWh	2,19	2,10	2,02	2,12	2,02	1,95

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Paşa Hüseyin Arı

Doğum Yeri ve Tarihi: Ankara 07.08.1983

Adres: Fahrettin Kerim Gökay Cad. Ufuk Sok. 7/3 K. Çamlıca / İSTANBUL

Lisans Üniversite: Kocaeli Üniversitesi