İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE'DE TERS OSMOZ VE NANOFİLTRASYON SİSTEMLERİ İLE İÇME VE KULLANMA SUYU ÜRETİMİNİN MALİYET ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Demet AKGÜL

Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Programı : ÇEVRE BİLİMLERİ VE MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2006

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE'DE TERS OSMOZ VE NANOFİLTRASYON SİSTEMLERİ İLE İÇME VE KULLANMA SUYU ÜRETİMİNİN MALİYET ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Demet AKGÜL
(501971425)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 14 Temmuz 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 7 Haziran 2006

Tez Danışmanı :	**Doç.Dr. İsmail KOYUNCU**
Diğer Jüri Üyeleri	**Prof.Dr. Cumali KINACI (İ.T.Ü.)**
	Prof.Dr. Bülent KESKİNLER (G.Y.T.E.)

HAZİRAN 2006

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, Türkiye`de içme ve kullanma suyu üretimi için kurulan ters osmoz ve nanofiltrasyon sistemlerinin ekonomik boyutları incelenmiştir. Bu amaçla, üç denizimize ve kaliteli içme ve kullanma suyu sıkıntısı yaşanan bölgelerimizdeki kuyu sularına ait su analizleri ile birçok kuyu suyu ve deniz suyu ters osmoz sistemi ve nanofiltrasyon sistemi tasarımı yapılarak başta ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti olmak üzere çeşitli yönlerden maliyet analizi yapılmıştır. Bu çalışmanın yerel olarak üretilen içme ve kullanma suyu ters osmoz ve nanofiltrasyon sistemlerinin ilk yatırım ve işletilmesindeki maliyet perspektiflerine ışık tutmasını diliyorum.

Tezim boyunca bana destek veren, tezimi oluşturmamda ve sunuma hazır hale getirmemde yol gösteren ve kaynak sağlayan sayın hocam Doç. Dr. İsmail Koyuncu`ya teşekkür ederim.

Tezime başlarken beni ilgi alanıma uygun uyumlu bir çalışma çıkarabileceğim danışman hocama yönlendiren sayın hocam Prof. Dr. Cumalı Kınacı'ya da teşekkür ederim.

Geniş kapsamlı maliyet araştırması gerektiren bu tezimde bana piyasa fiyatlarını temin etmem için büyük destek veren Bölümümüz 1992 üçüncüsü arkadaşım Hülya Yıldız`a burada içten teşekkürlerimi sunmak istiyorum.

Ayrıca, yoğun çalışma hayatımın paralelinde yürütmüş olduğum bu çalışmam suresince zamanımı ve ilgimi esirgemek zorunda kaldığım yakınlarıma anlayışlarından dolayı çok teşekkür ederim.

Haziran 2006 **Demet AKGÜL**

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR **iv**
TABLO LİSTESİ **v**
ŞEKİL LİSTESİ **vi**
SEMBOL LİSTESİ **xiii**
ÖZET **xiv**
SUMMARY **xvi**

1. GİRİŞ **1**
1.1. Çalışmanın Anlam ve Önemi 1
1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı 2

2. DOĞAL SU KAYNAKLARI KİRLİLİĞİ VE ARITMA YÖNTEMLERİ **4**
2.1. Doğal Su Kaynakları Kirliliklerinin Oluşumu 4
2.2. Su Kaynakları Kirleticilerinin Tanımlanması 5
2.2.1. Niteliksel ve niceliksel kirleticiler 5
2.2.2. Spesifik kirleticiler 5
2.3. İçme Suyu Arıtma Yöntemleri 8
2.3.1. Klasik içme suyu arıtma yöntemleri 8
2.3.2. İleri içme suyu arıtma yöntemleri 9
2.4. Türkiye'nin Su Potansiyeli ve Kullanımı 12
2.5. Türkiye'de Kullanılan İçme Suyu Arıtma Yöntemleri 12

3. MEMBRAN PROSESLER **14**
3.1. Tarihçe 14
3.2. Membranların Çalışma Mekanizması 15
3.3. Membran Modüllerinin Yapısı ve Dizaynı 17
3.3.1. Spiral sargılı modüller 18
3.4. Membran Prosesi Sınıflandırması 18
3.4.1. Mikrofiltrasyon prosesi 20
3.4.2. Ultrafiltrasyon prosesi 20
3.4.3. Nanofiltrasyon prosesi 20
3.4.4. Ters osmoz prosesi 21
3.4.4.1 İşletme şartlarının ters osmoz performansına etkisi 23
3.4.4.2 Membran tıkanması ve ön arıtmanın önemi 24
3.4.4.3 Membranın temizlenmesi ve performansının iyileştirilmesi 25

4. MEMBRAN PROSESLERİN İÇME VE KULLANMA SUYU AMAÇLI KULLANIMINDA MALİYETİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER 26
4.1. Membran Proseslerde Ön Arıtmanın Maliyete Etkisi 26
4.1.1. Bulanıklık gidermenin maliyete etkisi 27
4.1.2. Okside edici maddeleri gidermenin maliyete etkisi 28
4.1.3. Demir ve mangan gidermenin maliyete etkisi 29
4.1.4. Organik madde gidermenin maliyete etkisi 29
4.1.5. Sertliğin ve silikanın maliyete etkisi 30
4.1.6. Antiskalant dozajı ve pH ayarlamanın maliyete etkisi 30
4.1.7. Kartuş filtrasyonun maliyete etkisi 31
4.2. Membran Seçiminin Maliyete Etkisi 31
4.3. Sistem Tasarımının Maliyete Etkisi 34
4.4. Besleme Suyu Kalitesinin Maliyete Etkisi 36
4.5. Membran Prosesi Sonrası İşlemlerin Maliyete Etkisi 37
4.6. Enerji Geri Kazanma Ünitesinin Maliyete Etkisi 38
4.7. Kontrol Cihazlarının ve Otomasyonun Maliyete Etkisi 39
4.8. Maliyeti Etkileyen Diğer Unsurlar 39

5. SİSTEM TASARIMI VE MALİYET ANALİZ METODLARI 40
5.1. Projeksiyon Programı ve Tasarımların Yapılışı 40
5.1.1. Membran prosesi projeksiyon programının tanıtımı 40
5.1.2. Projeksiyon programında kullanılan parametreler ve denklemeler 41
5.1.3. Membran prosesinin tasarım aşamaları 42
5.1.4. Sistemlerin tasarımında kullanılan membranların teknik özellikleri 47
5.1.5. Projeksiyon programının membran prosesinin tasarımında kullanılması 48
5.2. Maliyet Hesabında Kullanılacak Su Kalitelerinin Belirlenmesi 53
5.3. Membran Prosesi Tasarımlarının Oluşturulması 54
5.4. Membran Prosesi Öncesi ve Sonrası ünitelerin Tasarlanması 56
5.5 Maliyetlerin Tespit Edilmesi 60
5.5.1. Su arıtma sisteminde maliyeti oluşturan unsurların belirlenmesi 60
5.5.2. Membran prosesi maliyetinin tespit edilmesi 60
5.5.3. Membran prosesi öncesi ve sonrası ünitelerin maliyetlerinin tespiti 63
5.5.4. İşletme maliyetlerinin tespiti 64

6. MALİYET ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ 65
6.1. Kuyu Suyu Sistemlerinin Maliyet Değerlendirmesi 65
6.1.1. Kuyu suyu ters osmoz ve nanofiltrasyon membran sistemlerinin karşılaştırılması (TDS=930 mg/l tuzluluktaki Polatlı-Ankara suyu) 65
6.1.2 TDS değeri 1070 mg/l olan Tekirdağ ve 1800 mg/l olan Silivri kuyu suları üzerinde yapılan çalışmalar 75

6.1.3 TDS değerleri 2230 ve 2670 mg/l olan Bodrum kuyu suları üzerinde yapılan çalışmalar 78
6.1.4 TDS değerleri 3640 mg/l ve 7350 mg/l olan Kıbrıs kuyu suları üzerinde yapılan çalışmalar 91
6.1.5 Farklı konsantrasyonlardaki kuyu suyu ters osmoz sistemlerinin maliyet karşılaştırması 94
6.2. Deniz Suyu Sistemlerinin Maliyet Değerlendirmesi 105
6.2.1. TDS değeri 36.000-38.000 mg/l arası olan Akdeniz suyu üzerinde yapılan çalışmalar 105
6.2.2. Deniz suyu ters osmoz sistemlerinin karşılaştırması 113
6.3. Kuyu Suyu ve Deniz Suyu Sistemlerinin Maliyet Karşılaştırması 123
6.4. Ters Osmoz Sistemlerinin Oransal Olarak Maliyetlerinin Değerlendirmesi 132

7. SONUÇLAR 135

KAYNAKLAR 138

EKLER 140

ÖZGEÇMİŞ 200

KISALTMALAR

TDS	: Toplam çözünmüş madde
SDI	: Silt densidite indeksi (Tıkanma indeksi)
LSI	: Langelier doygunluk indeksi
SMBS	: Sodyum metabisülfit
MWCO	: Moleküler ağırlık kesme sınırı
RO	: Ters osmoz
NF	: Nanofiltrasyon
UF	: Ultrafiltrasyon
MF	: Mikrofiltrasyon
NTU	: Bulanıklık birimi
PVC	: Polivinil klorür
PP	: Polipropilen

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 3.1	Ters osmozun uygulama alanları.....	22
Tablo 4.1	Standart test şartlarında içme suyu membranlarının kıyaslanması..	32
Tablo 4.2	Filmtec membranların maliyet kıyaslaması.....	33
Tablo 4.3	Tuzluluk, basınç ve sıcaklığın yatırım ve işletme maliyeti üzerindeki etkisi.....	37
Tablo 5.1	Filmtec membranları için projeksiyon programı tasarım denklemleri.....	43
Tablo 5.2	8" Filmtec membranları için SDI, akı ve geri kazanım oranları ve konsantre ile besleme debi limitleri.....	44
Tablo 5.3	Kuyu suyu ve deniz suyu membran sistemleri için aşama sayıları	45
Tablo 5.4	Sistemlerin tasarımında kullanılan membranların teknik özellikleri.....	47
Tablo 5.5	Ters osmoz ve nanofiltrasyon sistemi tasarımı yapılan kuyu sularına ait su kaliteleri.....	58
Tablo 5.6	Deniz suyu ters osmoz sistemi tasarımı yapılan denizlere ait su kaliteleri.....	59
Tablo 5.7	Ters osmoz sistemi maliyet tablosu örneği.....	62
Tablo A.1	Polatlı kuyu suyu nanofiltrasyon sistemi tasarımlarından elde edilen datalar.....	142
Tablo A.2	Polatlı kuyu suyu ters osmoz sistemi tasarımlarından elde edilen datalar.....	143
Tablo A.3	Tekirdağ kuyu suyu ters osmoz sistemi tasarımlarından elde edilen datalar.....	144
Tablo A.4	Silivri kuyu suyu ters osmoz sistemi tasarımlarından elde edilen datalar.....	145
Tablo A.5	Bodrum birinci kuyu suyu ters osmoz sistemi tasarımlarından elde edilen datalar.....	146
Tablo A.6	Bodrum ikinci kuyu suyu ters osmoz sistemi tasarımlarından elde edilen datalar.....	147
Tablo A.7	Kıbrıs birinci kuyu suyu ters osmoz sistemi tasarımlarından elde edilen datalar.....	148
Tablo A.8	Kıbrıs ikinci kuyu suyu ters osmoz sistemi tasarımlarından elde edilen datalar.....	149
Tablo A.9	Akdeniz suyu ters osmoz sistemi tasarımlarından elde edilen datalar.....	150
Tablo A.10	Marmara deniz suyu ters osmoz sistemi tasarımlarından elde edilen datalar.....	151
Tablo A.11	Karadeniz suyu ters osmoz sistemi tasarımlarından elde edilen datalar.....	152

ŞEKİL LİSTESİ

		Sayfa No
Şekil 3.1	Membran çalışma mekanizmasının şematik gösterimi……..	15
Şekil 3.2	Modül dizaynlarının şematik gösterimleri…….....	17
Şekil 3.3	Hidrolik akış modelleri…….	17
Şekil 3.4	Spiral sargılı membran modülü…….....	18
Şekil 3.5	Gözenek boyutu, membran ayırma prosesi ve nüfuz edecek madde boyutu arasındaki ilişki…….....	19
Şekil 3.6	Osmoz ve ters osmoz olayı…….....	21
Şekil 3.7	Tek ve çok kademeli ters osmoz sistemlerinin şematik gösterimi…	23
Şekil 3.8	Basınç, sıcaklık ve geri kazanım oranının membran akısına ve ürün kalitesine etkisi……..	24
Şekil 5.1	ROSA projeksiyon programında besleme suyu değerlerinin girildiği sayfa…….....	49
Şekil 5.2	ROSA projeksiyon programında pH ayarının girildiği ve çökelti oranlarının gösterildiği sayfa…...…….....	50
Sekil 5.3	ROSA projeksiyon programında sistem konfigürasyonunun girildiği sayfa.....	51
Şekil 5.4	ROSA projeksiyon programı proje dökümleri…….	52
Şekil 5.5	Argo Analyzer programı……..	57
Şekil 5.6	Su arıtma sisteminde maliyeti oluşturan unsurlar…….....	60
Şekil 6.1	TDS=930 mg/l tuzluluktaki Ankara-Polatlı kuyu suyu ters osmoz sisteminin ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkisi...……	66
Şekil 6.2	TDS=930 mg/l tuzluluktaki Ankara-Polatlı kuyu suyu ters osmoz sistemine ait ilk yatırım maliyeti ile işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki……..	67
Şekil 6.3	TDS=930 mg/l tuzluluktaki Ankara-Polatlı kuyu suyu nanofiltrasyon sisteminin ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkisi...…….	69
Şekil 6.4	TDS=930 mg/l tuzluluktaki Ankara-Polatlı kuyu suyu nanofiltrasyon sistemine ait ilk yatırım maliyeti ile işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki……...	70
Şekil 6.5	TDS=930 mg/l tuzluluktaki Ankara-Polatlı kuyu suyu ters osmoz ve nanofiltrasyon sistemlerinin ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkilerinin kıyaslaması…….	72
Şekil 6.6	TDS=930 mg/l tuzluluktaki Ankara-Polatlı kuyu suyu ters osmoz ve nanofiltrasyon sistemleri için işletme ve toplam üretim maliyetinin ürün debisi ve enerji fiyatı ile ilişkilerinin kıyaslaması	73
Şekil 6.7	TDS=930 mg/l tuzluluktaki Ankara-Polatlı kuyu suyu ters osmoz ve nanofiltrasyon sistemleri için membran yenileme maliyeti, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin membran ömrü ile	

ilişkilerinin kıyaslaması…… 74
Şekil 6.8 TDS=1070 mg/l tuzluluktaki Tekirdağ kuyu suyu ters osmoz sisteminin ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkisi …….. 76
Şekil 6.9 TDS=1800 mg/l tuzluluktaki Silivri kuyu suyu ters osmoz sisteminin ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkisi …….. 77
Şekil 6.10 TDS=2230 mg/l tuzluluktaki Bodrum kuyu suyu ters osmoz sisteminin ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkisi …….. 79
Şekil 6.11 TDS=2670 mg/l tuzluluktaki Bodrum kuyu suyu ters osmoz sisteminin ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkisi …….. 80
Şekil 6.12 TDS=2670 mg/l tuzluluktaki Bodrum kuyu suyu ters osmoz sistemine ait ilk yatırım maliyeti ile işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki…….. 81
Şekil 6.13 TDS=2670 mg/l tuzluluktaki Bodrum kuyu suyu ters osmoz sistemin ait akı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki.....…….. 83
Şekil 6.14 TDS=2670 mg/l tuzluluktaki Bodrum kuyu suyu ters osmoz sistemine ait geri kazanım oranı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki ...……... 84
Şekil 6.15 TDS=2670 mg/l tuzluluktaki Bodrum kuyu suyu ters osmoz sistemine ait enerji fiyatı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki ...…….. 86
Şekil 6.16 TDS=2670 mg/l tuzluluktaki Bodrum kuyu suyu ters osmoz sistemine ait kimyasal fiyatı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki……... 87
Şekil 6.17 TDS=2670 mg/l tuzluluktaki Bodrum kuyu suyu ters osmoz sistemine ait membran ömrü ile işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki……. 88
Şekil 6.18 TDS=2670 mg/l tuzluluktaki Bodrum kuyu suyu ters osmoz sistemin ait ön arıtma grubunun ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetine etkisi..……..... 89
Şekil 6.19 TDS=2670 mg/l tuzluluktaki Bodrum kuyu suyu ön arıtmalı ters osmoz sisteminin ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkisi……... 90
Şekil 6.20 TDS=3640 mg/l tuzluluktaki Kıbrıs kuyu suyu ters osmoz sisteminin ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkisi……... 92
Şekil 6.21 TDS= 7350 mg/l tuzluluktaki Kıbrıs kuyu suyu ters osmoz sisteminin ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkisi……... 93
Şekil 6.22 Farklı tuzluluklardaki beş kuyu suyu ters osmoz sistemine ait ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkileri ……..…..…….. 95
Şekil 6.23 Farklı tuzluluklardaki beş kuyu suyu ters osmoz sistemi için enerji fiyatının ilk yatırım, işletme maliyeti ve toplam üretim maliyetleri üzerindeki etkileri..……..... 96

Şekil 6.24 Farklı tuzluluklardaki beş kuyu suyu ters osmoz sistemi için kimyasal fiyatının ilk yatırım, işletme maliyeti ve toplam üretim maliyetleri üzerindeki etkileri…….. 98
Şekil 6.25 Farklı tuzluluklardaki beş kuyu suyu ters osmoz sistemi için membran ömrünün işletme maliyeti ve toplam üretim maliyeleri üzerindeki etkileri...…….. 99
Şekil 6.26 Farklı tuzluluklardaki beş kuyu suyu ters osmoz sistemi için akının ilk yatırım, işletme maliyeti ve toplam üretim maliyeti üzerindeki etkileri…….. ……. 100
Şekil 6.27 Farklı tuzluluklardaki beş kuyu suyu ters osmoz sistemi için kimyasal fiyatının ilk yatırım maliyeti, işletme maliyeti ve toplam üretim maliyeti üzerindeki etkileri…….. 101
Şekil 6.28 Farklı tuzluluklardaki beş kuyu suyu ters osmoz sistemi ön arıtma grubunun ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkileri ……..…….. 103
Şekil 6.29 Farklı tuzluluklardaki beş kuyu suyu ön arıtmalı ters osmoz sisteminin ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkileri …….……... 104
Şekil 6.30 Akdeniz deniz suyu ters osmoz sisteminin ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkisi ……... 106
Şekil 6.31 Akdeniz için deniz suyu ters osmoz sistemine ait ilk yatırım maliyetinin işletme maliyeti ve toplam üretim maliyeti ile ilişkisi. 107
Şekil 6.32 Akdeniz için deniz suyu ters osmoz sistemine ait akı ile ilk yatırım, işletme maliyeti ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki...……..... 108
Şekil 6.33 Akdeniz için deniz suyu ters osmoz sistemine ait geri kazanım oranı ile ilk yatırım, işletme maliyeti ve toplam üretim maliyetleri arasındaki ilişkisi……. 109
Şekil 6.34 Akdeniz için deniz suyu ters osmoz sistemine ait enerji fiyatının işletme maliyeti ve toplam üretim maliyeti üzerindeki etkisi…….. 111
Şekil 6.35 Akdeniz deniz suyu ön arıtmalı ters osmoz sisteminin ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkisi…... 112
Şekil 6.36 Deniz suyu ters osmoz sistemlerinin ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkilerinin kıyaslaması ……... 114
Şekil 6.37 Deniz suyu ters osmoz sistemlerinin enerji fiyatı ile işletme maliyeti ve toplam üretim maliyeti ilişkilerinin kıyaslaması ...…... 115
Şekil 6.38 Deniz suyu ters osmoz sistemlerinin kimyasal fiyatı ile işletme maliyeti ve toplam üretim maliyeti ilişkilerinin kıyaslaması……... 116
Şekil 6.39 Deniz suyu ters osmoz sistemlerinin membran ömrü ile işletme maliyeti ve toplam üretim maliyeti ilişkilerinin kıyaslaması……... 117
Şekil 6.40 Deniz suyu ters osmoz sistemlerinin akı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti ilişkilerinin kıyaslaması…….. 118
Şekil 6.41 Deniz suyu ters osmoz sistemlerinin geri kazanım oranı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetleri ilişkileri kıyaslaması 119
Şekil 6.42 Deniz suyu ters osmoz sistemlerinin ön arıtma grubunun ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkilerinin kıyaslaması …….…….. 121
Şekil 6.43 Ön arıtmalı deniz suyu ters osmoz sistemlerinin ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkilerinin kıyaslaması…… 122

Şekil 6.44 Deniz suyu ve kuyu suyu ters osmoz sistemlerinin ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkilerinin kıyaslaması ..……..... 124
Şekil 6.45 Deniz suyu ve kuyu suyu ters osmoz sistemlerinin enerji fiyatı ile işletme maliyeti ve toplam üretim maliyeti ilişkileri kıyaslaması.... 125
Şekil 6.46 Deniz suyu ve kuyu suyu ters osmoz sistemlerinin kimyasal fiyatı ile işletme maliyeti ve toplam üretim maliyeti ilişkileri kıyaslaması……..... 126
Şekil 6.47 Deniz suyu ve kuyu suyu ters osmoz sistemlerinin akı ile ilk yatırım, işletme maliyeti ve toplam üretim maliyeti ilişkileri kıyaslaması……..... 127
Şekil 6.48 Deniz suyu ve kuyu suyu ters osmoz sistemlerinin geri kazanım oranı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti ilişkilerinin kıyaslaması……... 128
Şekil 6.49 Deniz suyu ve kuyu suyu ters osmoz sistemlerinin ilk yatırım, işletme maliyeti ve toplam üretim maliyetlerinin konsantrasyon ile ilişkilerinin kıyaslaması ……..... 130
Şekil 6.50 Ön arıtmalı deniz suyu ve kuyu suyu ters osmoz sistemlerinin ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkilerinin kıyaslaması ……..……... 131
Şekil 6.51 Ön arıtmasız deniz suyu ve kuyu suyu ters osmoz sistemlerinin ilk yatırım ve işletme maliyeti oranları ve oransal olarak işletme maliyeti bileşenleri……... 133
Şekil 6.52 Ön arıtmalı deniz suyu ve kuyu suyu ters osmoz sistemlerinin ilk yatırım ve işletme maliyeti oranları ve oransal olarak işletme maliyeti bileşenleri……... 134
Şekil A.1 Polatlı kuyu suyu nanofiltrasyon sistemi tasarımlarından elde edilen datalar…… 142
Şekil A.2 Polatlı kuyu suyu ters osmoz sistemi tasarımlarından elde edilen datalar……... 143
Şekil A.3 Tekirdağ kuyu suyu ters osmoz sistemi tasarımlarından elde edilen datalar…… 144
Şekil A.4 Silivri kuyu suyu ters osmoz sistemi tasarımlarından elde edilen datalar……... 145
Şekil A.5 Bodrum birinci kuyu suyu ters osmoz sistemi tasarımlarından elde edilen datalar…… 146
Şekil A.6 Bodrum ikinci kuyu suyu ters osmoz sistemi tasarımlarından elde edilen datalar…… 147
Şekil A.7 Kıbrıs birinci kuyu suyu ters osmoz sistemi tasarımlarından elde edilen datalar…… 148
Şekil A.8 Kıbrıs ikinci kuyu suyu ters osmoz sistemi tasarımlarından elde edilen datalar…… 149
Şekil A.9 Akdeniz suyu ters osmoz sistemi tasarımlarından elde edilen datalar……... 150
Şekil A.10 Marmara Denizi suyu ters osmoz sistemi tasarımlarından elde edilen datalar…… 151
Şekil A.11 Karadeniz suyu ters osmoz sistemi tasarımlarından elde edilen datalar……... 152

Şekil B.1 TDS=930 mg/l tuzluluktaki Polatlı kuyu suyu nanofiltrasyon sistemine ait akının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti ile ilişkisi..... 154
Şekil B.2 TDS=930 mg/l tuzluluktaki Polatlı kuyu suyu nanofiltrasyon sistemine ait geri kazanım oranının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti ile ilişkisi..... 155
Şekil B.3 TDS=930 mg/l tuzluluktaki Polatlı kuyu suyu nanofiltrasyon sistemine ait enerji fiyatı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki..... 156
Şekil B.4 TDS=930 mg/l tuzluluktaki Polatlı kuyu suyu nanofiltrasyon sistemine ait kimyasal fiyatı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki..... 157
Şekil C.1 TDS=930 mg/l tuzluluktaki Polatlı kuyu suyu ters osmoz sistemine ait akının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti ile ilişkisi..... 159
Şekil C.2 TDS=930 mg/l tuzluluktaki Polatlı kuyu suyu ters osmoz sistemine ait geri kazanım oranının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti ile ilişkisi..... 160
Şekil C.3 TDS=930 mg/l tuzluluktaki Polatlı kuyu suyu ters osmoz sistemine ait enerji fiyatı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki..... 161
Şekil C.4 TDS=930 mg/l tuzluluktaki Polatlı kuyu suyu ters osmoz sistemine ait kimyasal fiyatı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki..... 162
Şekil D.1 TDS=1070 mg/l tuzluluktaki Tekirdağ kuyu suyu ters osmoz sistemine ait akının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti ile ilişkisi..... 164
Şekil D.2 TDS=1070 mg/l tuzluluktaki Tekirdağ kuyu suyu ters osmoz sistemine ait geri kazanım oranının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti ile ilişkisi..... 165
Şekil D.3 TDS=1070 mg/l tuzluluktaki Tekirdağ kuyu suyu ters osmoz sistemine ait enerji fiyatı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki..... 166
Şekil D.4 TDS=1070 mg/l tuzluluktaki Tekirdağ kuyu suyu ters osmoz sistemine ait kimyasal fiyatı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki..... 167
Şekil E.1 TDS=1800 mg/l tuzluluktaki Silivri kuyu suyu ters osmoz sistemine ait akının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti ile ilişkisi..... 169
Şekil E.2 TDS=1800 mg/l tuzluluktaki Silivri kuyu suyu ters osmoz sistemine ait geri kazanım oranının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti ile ilişkisi..... 170
Şekil E.3 TDS=1800 mg/l tuzluluktaki Silivri kuyu suyu ters osmoz sistemine ait enerji fiyatı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki..... 171
Şekil E.4 TDS=1800 mg/l tuzluluktaki Silivri kuyu suyu ters osmoz sistemine ait kimyasal fiyatı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki..... 172

Şekil F.1 TDS=2230 mg/l tuzluluktaki Bodrum kuyu suyu ters osmoz sistemine ait akının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti ile ilişkisi..... 174
Şekil F.2 TDS=2230 mg/l tuzluluktaki Bodrum kuyu suyu ters osmoz sistemine ait geri kazanım oranının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti ile ilişkisi..... 175
Şekil F.3 TDS=2230 mg/l tuzluluktaki Bodrum kuyu suyu ters osmoz sistemine ait enerji fiyatı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki..... 176
Şekil F.4 TDS=2230 mg/l tuzluluktaki Bodrum kuyu suyu ters osmoz sistemine ait kimyasal fiyatı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki..... 177
Şekil G.1 TDS=3640 mg/l tuzluluktaki Kıbrıs kuyu suyu ters osmoz sistemine ait akının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti ile ilişkisi..... 179
Şekil G.2 TDS=3640 mg/l tuzluluktaki Kıbrıs kuyu suyu ters osmoz sistemine ait geri kazanım oranının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti ile ilişkisi..... 180
Şekil G.3 TDS=3640 mg/l tuzluluktaki Kıbrıs kuyu suyu ters osmoz sistemine ait enerji fiyatı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki..... 181
Şekil G.4 TDS=3640 mg/l tuzluluktaki Kıbrıs kuyu suyu ters osmoz sistemine ait kimyasal fiyatı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki..... 182
Şekil H.1 TDS=7350 mg/l tuzluluktaki Kıbrıs kuyu suyu ters osmoz sistemine ait akının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti ile ilişkisi..... 184
Şekil H.2 TDS=7350 mg/l tuzluluktaki Kıbrıs kuyu suyu ters osmoz sistemine ait geri kazanım oranının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti ile ilişkisi..... 185
Şekil H.3 TDS=7350 mg/l tuzluluktaki Kıbrıs kuyu suyu ters osmoz sistemine ait enerji fiyatı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki..... 186
Şekil H.4 TDS=7350 mg/l tuzluluktaki Kıbrıs kuyu suyu ters osmoz sistemine ait kimyasal fiyatı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki..... 187
Şekil I.1 Marmara Denizi suyu ters osmoz sistemine ait ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkisi…… 189
Şekil I.2 Marmara Denizi suyu ters osmoz sistemine ait akının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti ile ilişkisi……... 190
Şekil I.3 Marmara Denizi suyu ters osmoz sistemine ait geri kazanım oranının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti ile ilişkisi.. 191
Şekil I.4 Marmara Denizi suyu ters osmoz sistemine ait enerji fiyatı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki…… 192
Şekil I.5 Marmara Denizi suyu ters osmoz sistemine ait kimyasal fiyatı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki….. 193
Şekil J.1 Karadeniz suyu ters osmoz sistemine ait ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkisi …….. 195
Şekil J.2 Karadeniz suyu ters osmoz sistemine ait akının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti ile ilişkisi……... 196

Şekil J.3 Karadeniz suyu ters osmoz sistemine ait geri kazanım oranının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti ile ilişkisi……. 197
Şekil J.4 Karadeniz suyu ters osmoz sistemine ait enerji fiyatı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki…… 198
Şekil J.5 Karadeniz suyu ters osmoz sistemine ait kimyasal fiyatı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki…… 199

SEMBOL LİSTESİ

C_p : Ürün suyu konsantrasyonu
C_f : Besleme suyu konsantrasyonu
C_{fc} : Besleme/konsantre tarafında ortalama konsantrasyon
f : Akı
%R : Tutma oranı
Y : Geri kazanım oranı
ΔP : Basınç farkı
ΔC : İletkenlik farkı
ΔT : Sıcaklık farkı
ΔP-Δπ : Membran yüzeyindeki net basınç
Q_b : Besleme akımının debisi
Q_k : Konsantre akımının debisi
Q_s : Süzüntü akımının debisi
q_1 : Üretici tarafından verilen arıtılmış su hacmi
q_p : Gerçek arıtılmış su hacmi
PCF : Sıcaklık düzeltme faktörü
TCF : Basınç düzeltme faktörü
MFRC : İşletme süresi düzeltme faktörü
SP_s : Sistemin tuz geçirgenliği
SP_M : Membran tuz geçiş oranı
Q : Membrandan geçen debi
S : Membranın ıslak yüzey alanı
N_A : Tuz akısı
N_E : Membran sayısı
N_V : Membran kılıfı sayısı
N_{EpV} : Bir kılıfa girecek membran sayısı
E_p : Sistemdeki toplam membran sayısı
R : Aşama oranı
n : Aşama sayısı

TÜRKİYE'DE TERS OSMOZ VE NANOFİLTRASYON SİSTEMLERİ İLE İÇME VE KULLANMA SUYU ÜRETİMİNİN MALİYET ANALİZİ

ÖZET

Günümüzde Türkiye`de bölgesel içme ve kullanma suyu sıkıntısı yaşanmaktadır. Baraj, göl, akarsular gibi yüzeysel su kaynakları ve kaynak suları bulunmayan veya yetersiz olan bu bölgelerde, alternatif çözümler bulmak gerekmektedir. Alternatif çözümler arasında en kalıcı ve güvenli çözüm, mevcut kaynaklara yönelerek yeraltı suyunu veya bölge denize yakın ise deniz suyunu arıtarak içme ve kullanma suyu temin etmektir.

Tuzluluk oranı yüksek olan kuyu ve deniz suyundan klasik arıtma yöntemleri ile içilebilir su elde etmek mümkün değildir. Bu suların arıtılması için farklı arıtma yöntemlerinin uygulanması gerekmektedir. Bu yöntemler arasında kimyasal tüketimi, enerji tüketimi ve arıtabilme aralığı bakımından en tercih edilen yöntem membran proseslerdir.

Türkiye`de membran proseslerin içme ve kullanma suyu üretmek amaçlı kullanımının yaygın hale gelmesi, 2000 yılından sonra esas olarak lokal üretimler ile başlamıştır ve bu güne kadar ciddi bir maliyet analizi yapılmamıştır. Her geçen gün üretimi ve kullanımı artan bu sistemlerin kapsamlı olarak yapılacak bir maliyet analizi, tasarım ve seçimlerinde ekonomik açıdan faydalı datalar sağlayacaktır.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'de ters osmoz ve nanofiltrasyon sistemleri ile içme ve kullanma suyu üretiminin maliyet analizini yapmaktır. Maliyet analizi yapılacak tasarımlar için yedi kuyu suyu ve üç deniz suyu kalitesi kullanılmıştır. Her su kalitesi için 5 farklı kapasitede, 3 farklı geri kazanım oranında ve 3 farklı akıda olmak üzere 45 tasarım yapılmıştır. Bütün su kaliteleri için toplamda 495 tasarım üzerinde çalışılmıştır. Çalışmada bu tasarımların ilk yatırım maliyeti, işletme maliyeti ve toplam üretim maliyetlerinin analizi yapılmış ve değerlendirilmiştir.

Akının, geri kazanım oranının, membran ömrünün, enerji maliyetinin ve kimyasal maliyetinin, sistemlerin ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Aynı zamanda, değişik fiyatlardaki tüketim malzemelerinin işletme ve toplam üretim maliyeti üzerindeki etkileri tespit edilmiştir. Bu maliyet analizleri yapılırken standart ön artma grubunun ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerine etkisi de incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlarla, nanofiltrasyon sisteminin, ters osmoz sistemine oranla ilk yatırım maliyeti bakımından hemen hemen aynı olduğu, işletme maliyeti bakımından %30 ve toplam üretim maliyeti bakımından ise %20 oranında daha ekonomik olduğu görülmüştür.

En yüksek maliyetlerin, çözünmüş madde konsatrasyonu yüksek olan sularda oluştuğu, deniz suyu ters osmoz sistemlerinin ilk yatırım maliyetinin, kuyu suyu sistemlerinden yaklaşık 4-4.5 kat, Akdeniz deniz suyu sisteminden elde edilen işletme maliyetleri ve toplam üretim maliyetlerinin, düşük tuzluluktaki kuyu suyu sistemine göre en az 2.5 kat daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Kuyu suyu ve deniz suyu ters osmoz sistemleri tasarım ve ekipmanları seçilirken, maliyet açısından ilk önce önem verilmesi gereken konunun sistemin enerji tüketimi olduğu görülmüştür.

COST ANALYSIS FOR DRINKING AND USAGE WATER PRODUCTION WITH REVERSE OSMOSIS AND NANOFILTRATION SYSTEMS IN TURKEY

SUMMARY

Today in Turkey, regional drinking and usage water stress is being faced. Alternative solutions should be found for regions where no dams, lakes or rivers are absence. The most permenant and reliable solution between alternatives for drinking and usage water production is to struggle with existing sources and to treat ground water or sea water if the area is close to the sea.

It is not possible to produce drinking water with conventional treatment methods from salty ground water or sea water. Different treatment methods should be applied to treat these waters. Best preferable method in chemical and energy consumption and salt removing range is membrane processes.

Widespreading of membrane processes in Turkey as drinking and usage water production has been after year 2000, mainly with the start of local system productions. No serious cost anaylsis has been done until today. With a detailed cost analysis, useful datas for economical point of view will be met in the conception and selection of these systems that are being produced and used more and more each day.

The purpose of this study is to make a cost analysis in Turkey for reverse osmosis and nanofiltration systems for drinking and usage water production. Seven well water and three sea water quality is used for the conception of the systems whose cost analysis are performed. For each water quality, totally 45 conception is performed with 5 different capacities, 3 different recoveries and 3 different fluxes. For all water qualities it has been studied on totally 495 conception. Investment costs, operating costs and total productoin costs of the systems are analyzed and evaluated during the study.

It has been researched for the effects of flux, recovery, membrane life, energy cost, chemical cost on the investment costs, operating costs and total production costs of the systems. Besides, the effects of different priced consumption materials on operating and total production costs are determined. The effect of standard pretreatment group on investment costs, operating costs and total productoin costs are also researched during the study.

By the results obtained, compared with reverse osmosis systems, nanofiltration systems was found approximately the same in investment costs, 30% economical in operating costs and %20 economical in total production costs.

Highest costs were found at systems worked with waters that has high dissolved material concentration. Sea water reverse osmosis systems were found 4-4.5 times more expensive in investment costs than well water systems. Operating and total production costs of Akdeniz sea water systems were found 2.5 times more than well water systems with low salt concentration.

It has been seen that, energy consumption is the most important point in selecting the conception and equipment of well water and sea water reverse osmosis systems.

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Anlam ve Önemi

Yakın gelecekte su arıtma sektörünün dünyada çok önemli bir sektör haline geleceği tahmin edilmektedir. Suyu ve arıtılmasını bu kadar değerli yapan, sanayide giderek daha fazla ve daha kaliteli su ihtiyacı oluşması, giderek daha fazla miktarda ve farklı kirliliklerde atıksu üretiliyor olması, temiz içme ve kullanma suyu kaynaklarının giderek tükenmesi ve artan nüfusa karşı yetersiz kalmasıdır.

Türkiye, dünyada su kıtlığı az görülen veya su kıtlığı olmayan bir ülke olarak kabul edilmektedir. Devlet İstatistik Enstitüsü`ne göre ise Türkiye, yılda ortalama kişi başına 1.735 m^3 kullanılabilir su potansiyeli olan ve bu haliyle su stresi içinde olan bir ülkedir. 2025 yılı nüfusunun 79 milyon olacağı öngörülerek kişi başına düşen kullanılabilir su miktarının, 1300 m^3 gibi rakamlara düşeceği hesaplanmaktadır. Tüm bu tahminler, mevcut kaynakların 25 yıl sonrasına hiç tahrip edilmeden aktarılması durumu için geçerli olmaktadır.[9]

Günümüzde Türkiye`de bölgesel içme ve kullanma suyu sıkıntısı yaşanmaktadır. Türkiye'de yağış miktarı bölgeden bölgeye farklılık göstermektedir. Baraj, göl, akarsular gibi yüzeysel su kaynakları ve kaynak suları bulunmayan veya yetersiz olan bu bölgelerde, alternatif çözümlere yönelmek gerekmektedir. Bu çözümler, kilometrelerce boru hattı döşeyerek başka bölgelerden su getirmek, tankerle temiz su kaynaklarından su taşımak veya mevcut su kaynaklarını kullanarak uygun yöntemlerle arıtmaktır. Söz konusu alternatifler arasında en kalıcı ve ekonomik çözüm, mevcut kaynaklara yönelerek yeraltı suyunu veya bölge denize yakın ise deniz suyunu arıtarak içme ve kullanma suyu temin etmektir.

Tuzluluk oranı yüksek olan kuyu ve deniz suyunundun klasik arıtma yöntemleri ile içilebilir su elde etmek mümkün değildir. Bu suların arıtılması için farklı arıtma yöntemlerinin uygulanması gerekmektedir. Bu yöntemlerin başlıcaları buharlaştırma, iyon değiştirme, ters elektrodiyaliz ve membran proseslerdir. Bu yöntemler arasında en tercih edilen yöntem membran proseslerdir. Çünkü, buharlaştırmanın enerji

maliyeti çok yüksektir. İyon değiştirme prosesi, yüksek tuzluluklarda kimyasal tüketimi çok fazla olan bir prosestir. Ayrıca, ters elektrodiyaliz ancak belli tuzluluk değerlerine kadar (2000 mg/l) arıtabilen ve yüksek tuzluluk değerlerinde enerji maliyetinden dolayı pahalı bir prosestir.

Membran proseslerin içme ve kullanma suyu üretimi amaçlı kullanımı dünyada ve ülkemizde hızla yaygınlaşmaktadır. Bu yaygınlaşma, bu sistemlerin daha ekonomik hale gelmesini sağlamaktadır. Bugün dünyada, membran prosesler ile yapılmış çok büyük ölçekli içme ve kullanma suyu arıtma sistemleri mevcuttur. Bu örnekler, gelecekte yeterli düzeyde kaliteli içme ve kullanma suyu sıkıntısı gündeme geldiğinde, hızla artacaktır.

Ülkemizde, membran prosesler ağırlıklı olarak sanayiye yüksek kalitede su temin etmek için kullanılmaktadır. İçme ve kullanma suyu üretmek amaçlı kullanımının yaygın hale gelmesi, 2000 yılından sonra olmuştur. Bu yaygınlaşma esas olarak lokal üretimler ile başlamıştır. Bugün Türkiye`de sayısı fazla olmasa da, bir kısmı yurtdışından mühendislik desteği de alarak kendi atölyelerinde ters osmoz sistemi üreten su arıtma firmaları mevcuttur ve bu firmaların sayısı her geçen gün artmaktadır.

1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Türkiye`de, içme ve kullanma suyu amaçlı ters osmoz sistemlerinin bugüne kadar ciddi bir maliyet analizi yapılmamıştır. Her geçen gün üretimi ve kullanımı artan bu sistemlerin kapsamlı olarak yapılacak bir maliyet analizinin sistemlerin tasarım ve seçiminde ekonomik açıdan faydalı datalar sağlayacaktır. Dolayısıyla bu çalışmanın amacı, Türkiye`de içme ve kullanma suyu sıkıntısı yaşanan bölgelerde, kuyulardan veya denizden ters osmoz membranları ile su temin edilmesi durumunda, membran sistemlerinin maliyet analizinin yapılarak Türkiye'deki bu boşluğun doldurulmasıdır.

Bu kapsamda, üçü, Akdeniz, Marmara ve Karadeniz olmak üzere deniz suyu ve yedisi, Türkiye`de içme kullanma suyu sıkıntısı yaşanan bölgelere ait kuyu suları olmak üzere toplam 10 çeşit su kalitesi üzerinde, farklı kapasite, geri kazanım oranı ve akılarda 495 adet deniz suyu ters osmoz, kuyu suyu ters osmoz ve nanofiltrasyon sistemi tasarımı yapılmış ve bu tasarımların ilk yatırım, işletme ve toplam üretim

maliyetleri başta olmak üzere çeşitli yönlerden maliyet analizi oluşturulmuştur. İlk yatırım ve işletme maliyetini etkileyen faktörlerin etki oranları tespit edilmiştir.

Akının, geri kazanım oranının, membran ömrünün, enerji maliyetinin ve kimyasal maliyetinin, sistemlerin ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Aynı zamanda, değişik fiyatlardaki tüketim malzemelerinin işletme ve toplam üretim maliyeti üzerindeki etkileri tespit edilmiştir. Bu maliyet analizleri yapılırken standart ön artma grubunun ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerine etkisi de incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlarla, nanofiltrasyon sistemleri ve ters osmoz sistemleri ile kuyu suyu ve deniz suyu ters osmoz sistemleri birbirleriyle kıyaslanmış ve maliyet açısından sistemlerin tasarım ve seçimine etki edebilecek önemli konular belirlenmiştir.

2. DOĞAL SU KAYNAKLARI KİRLİLİĞİ VE ARITMA YÖNTEMLERİ

2.1 Doğal Su Kaynakları Kirliliklerinin Oluşumu

Yüzey kaynaklarından buharlaşarak ve bitkilerin terlemeleri yolu ile atmosfere giren su, soğuk atmosfer tabakasında yoğunlaşarak tekrar dünya yüzeyine çeşitli yağış şekilleri ile geri dönmektedir. Su, atmosferden oksijen, karbondioksit ve karbon monoksit, sülfürik oksitler gibi doğal ve endüstriyel emisyonları da çözmektedir. Tipik bir yağmur suyu pH derecesi 5-6 arasında iken, bu çözünmüş gazlarla yüksek seviyede temasa geçmesi daha da asidik konuma gelmesine neden olmaktadır. [2]

Yüzeye ulaşan yağışlar tekrar yeraltı su havzalarını ve yüzey suyu kaynaklarını doldurmaktadır. Yeryüzünün gözenekli üst kabuğundan filtrelenerek süzülen sudaki organik kirliliğin önemli bölümü topraktaki bakteriyolojik aktivite ile tüketilmekte ve nispeten temiz az derece asidik bir solüsyon yeraltı su havzalarına ulaşmaktadır. Bu asidik hal ile su, bir çok minerali çözmektedir. Özellikle kireçtaşı çok çözünmekte ve suya kalsiyum girişine neden olmakta, diğer jeolojik formasyonlar ise suya, magnezyum, demir, sülfat ve klorür gibi minerallerin geçişini sağlamaktadır. Bu minerallerin suya eklenmesi, suyun pH derecesini 7-8.5 arasına yükseltmektedir.[2]

Nehirler, göller, barajlar gibi yüzeysel su kaynakları ise topraktan süzülmediği için yeraltı su kaynaklarına oranla daha az mineral içermektedir. Ancak, yüzeysel su kaynakları bitkilere temas ettiği ve yüzeyde sürüklenerek gelen su yüzey kirliliklerini topladığı için daha fazla organik madde ve askıda katı madde içermektedir.

Yeraltı ve yerüstü su kaynakları farklı kirlilikler taşıdıkları için, uygulanacak arıtma yöntemleri de farklı olmaktadır. Yüzeysel su kaynaklarında ağırlıklı olarak mikrobiyolojik kirlilik, askıda katı madde ve organik madde giderimi yapılması gerekirken, yeraltı su kaynaklarında öncelikle iyon giderimi yapmak gerekmektedir. Yüzeysel su kaynaklarını konvansiyonel arıtma yöntemleri ile arıtmak mümkün iken, iyon yüküne bağlı olarak yer altı su kaynaklarına genellikle ileri arıtma yöntemleri uygulamak gerekmektedir.

2.2 Su Kaynaklarındaki Kirleticilerin Tanımlanması

Su kaynakları kirleticileri niteliksel, niceliksel ve spesifik kirleticiler olarak ayrılabilmektedir. Aşağıda bu kirleticilerden kısaca bahsedilmiştir.

2.2.1 Niteliksel ve niceliksel kirleticiler

Niteliksel tanımlama genellikle suyun görünüm veya estetik karakteristiklerini belirtmek için kullanılmaktadır. Bunlar, bulanıklık, tat ve koku, renk olarak özetlenebilir. Suyun kalitesini etkileyen temel niceliksel analizler ise pH, toplam katılar, iletkenlik ve mikrobiyolojik kirliliklerdir. [1]

Bulanıklık, suyun bulanık görünmesine neden olan askıda katı maddelerden kaynaklanmaktadır. Genellikle küçük boyuttaki partiküller çabuk çökmeyi engellemekte ve bulanıklığın giderilmesi için suyun arıtılması gerekmektedir. Askıda katı maddeler ise gravimetrik analizler ile belirlenmekte ve mg/l veya ppm olarak tanımlanmaktadır.

Diğer bir niteliksel parametre olan tat, suda zararlı bir kirliliğin belirtisi olabilmektedir. Ama, kesin böyle bir kirlilik olduğu konusunda bilgi veremez. Koku ise zararlı bir kirliliğin önceden belirlenmesi açısından önemlidir. Kokunun diğer bir etkisi ise suyun estetik kalitesini bozmasıdır. [2]

Suda renk, en çok organik madde tarafından oluşturulmakta, bundan başka metal iyonları da suya renk vermektedir. Eğer sağlığa zarar verecek bir maddeden kaynaklanan bir renk kirliliği değilse, renk sadece estetik bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. [1]

pH, suyun asidik veya bazikliği konusunda bir fikir vermektedir. pH değerinin koagülasyon, klorlama, yumuşatma gibi bir çok arıtma prosesine etkisi vardır. Ayrıca, sudaki bileşik ve iyonların çökelme potansiyelini etkilemektedir.[2]

2.2.2 Spesifik kirleticiler

Doğal su kaynaklarında en çok rastlanan spesifik kirletciler aşağıda anlatılmıştır.

Sertlik: Suda kalsiyum ve magnezyum iyonlarının varlığı sertlik olarak tanımlanmaktadır. Sertliğin suda istenmeyişinin başlıca sebebi suyun tadını bozması, sabunun köpürmesini engellemesi ve su hatlarında çökelti oluşturmasıdır. Birçok

klinik raporda ise, suyun sertliği ile kalp hastalıkları arasında bir ilişki bulunduğu belirtilmektedir. [4]

Demir: Yerkabuğunun %5`ini oluşturan demir, yaygın bir su kirleticisidir. Değerlik değiştirebildiği için giderilmesi zordur. Suda çözünmüş olan +2 değerlikli formundan, suda çözünmeyen +3 değerlikli formuna geçebilir.[2] Demiri enerji kaynağı gibi kullanan bakteri türleri demiri indirgemekte ve paslı, jelatinimsi bir çamur oluşturarak su borusunu tıkamaktadır. Demir, membranlara zarar verdiği için ters ozmos gibi membran proseslerde istenmemektedir. İçme suyunda demirin 0,3 mg/l konsantrasyona kadar tadı fark edilmez. İnsan biyolojisi için gerekli bir elementtir ve 1-3 mg/l arasında içme suyunda bulunabilmektedir. Vücutta birikim yaparak zararlı hale gelebileceği maksimum müsaade edilebilir değerine (3 mg/l) kadar suda bulunması zaten tat açısından istenmediği için içme sularında sağlık açısından problem yaratan bir parametre olduğu söylenemez.[3]

Mangan: Mangan, demir gibi davrandığı halde çok düşük konsantrasyonlarda su sistemi problemlerine neden olabilmektedir. Ancak mangan, demir kadar çok rastlanan bir su kirleticisi değildir. Mangan koyu, neredeyse siyah bir çökelti oluşturmaktadır. Mangan da demir gibi membranlara zarar veren bir parametredir.[2] İnsan vücudu için gerekli olmakla birlikte fazlası nörolojik rahatsızlıklara neden olabilmektedir. O nedenle mangana içme suyunda en fazla 0.05 mg/l değerine kadar müsaade edilmektedir.[3]

Klor: Çözeltilerde, klor gazı çözünmekte ve su ile reaksiyona girerek hipoklorit anyonu ve hipoklorik asidini oluşturmaktadır. Nötr pH değerinde, tüm klor daha güçlü oksidasyon formu olan hipoklorit anyonu formunda olmaktadır. pH değeri 7`nin altında ise hipoklorik asit dominanttır ve çok daha iyi dezenfektan özelliği taşımaktadır. Klorun tat ve koku yapma problemi vardır. Klor aynı zamanda bazı organik maddeler ile reaksiyona girerek kanserojenik maddeler olan trihalometan (THM) bileşiklerini oluşturmaktadır.[2]

Sülfat: Sülfatın suda bulunması çok yaygındır. Düşük seviyelerde sülfat sadece özel proseslerde problem yaratmaktadır. Yüksek seviyelerde ise, acı bir tat oluşturmakta ve laksatif etki yapmaktadır. Çoğu iki değerlikli metal-sülfat tuzları çözünmemekte ve düşük konsantrasyonda çökmektedir.[2] Sülfatın içme suyundaki fazlalığı da ishale sebep olabilmektedir. Şiddetli ishal ile su kaybının meydana gelmesi, özellikle bebeklerde ve çocuklarda ölüm ile sonuçlanabilmektedir.[4]

Nitrat-Nitrit: Nitrat veya nitrit, doğada da bulunmakla beraber varlıkları insan tarafından oluşturulan bir kirlilik olarak kabul edilmektedir. Nitratın en yaygın kaynakları hayvan atıkları, kanalizasyon, endüstriyel kimyasallar ve gübrelerdir. Suda nitritin bulunması ise kirlenmiş bir suyun kaynağa ulaşması veya oksidasyon şartlarının bulunmayışı ile ilgili olmaktadır.[2]

Nitrat, özellikle bebeklerde methaemoglobinaemia hastalığına, yani mavi bebek sendromuna sebep olmaktadır. Nitrat, bebeklerin midesinde nitrite indirgenmekte ve nitrit, hemoglobini okside edip methaemoglobine çevirerek gerekli oksijenin taşınmasının engellenmesine neden olmaktadır. Çok ileri durumlarda ölüm söz konusu olmaktadır. [3]

Sodyum: Sodyum iyonu suya sodyum klorür, sodyum karbonat, sodyum nitrat ve sodyum sülfat gibi tuzların çözünmesi ile girmektedir. Bundan başka reçine ile yumuşatma prosesinde suya karışmaktadır. Yüksek konsantrasyonlarında, kan basıncını yükselterek hipertansiyonunun ortaya çıkmasına neden olmakta ve 200 mg/l'nin üzerinde suyun tadını bozmaktadır. [3,5]

Potasyum: Potasyum çoğunlukla klorür ile bileşik halinde bulunmakta ve sodyum klorür kadar yaygın bulunmasa da benzer özellikleri taşımaktadr. Potasyum klorür, sadece çok su temini istendiğinde problem olmaktadır.[2]

Florür: Florür doğal olarak topraktan gelmektedir. Dental açıdan gerekli seviyede florür konsantrasyonuna sahip olmayan içme sularında bazen dağıtım sistemlerine florür eklenmektedir. Genelde olması istenen miktar, 0,5-1,5 mg/l'dir. [6]

Silika: Doğadan temin edilen her su bir miktar silika içermektedir. Silikanın yarattığı problemler arasında kabuklaşma, camlaşma ve çökelme sayılabilmektedir. Silika, çöküp kabuklaşan birçok tuzun tersine yüksek pH değerlerinde daha fazla çözünmektedir. Silika kabuklaşmasını gidermek zordur. Genellikle iyonik veya kolloidal formda bulunmaktadır. Doğal sularda üç formun bileşimi halinde bulunmaktadır: reaktif (iyonik), nonreaktif (kolloidal) ve partiküler. Koloidal silika, ters osmoz gibi filtrasyon sistemlerinin verimlerini düşürmektedir. [2]

Fosfat: Fosfat suya, fosfatın yaygın bulunduğu gübrelerin üzerinden yüzey akısı ile veya deterjanlardan gelmektedir. Fosfat aynı zamanda suya, organik enkazların bozunmasından ulaşmaktadır. Çok saf su istenmediği sürece suda, önemli bir problem teşkil etmemektedir. [2]

Baryum: Baryum, kayalardan yeraltı ve yüzeysel sularına geçmektedir. Endüstriyel olarak da çeşitli faaliyetler sonucunda ortama verilmektedir. Kronik olarak baryuma maruz kalma hipertansiyona neden olmaktadır. Bu nedenle, içme suyunda müsaade edilir değeri 0,7 mg/l'dir. [3,4]

Arsenik: Arsenik içeren kayaların parçalanması sonucu arsenik ortama karışmaktadır. Bundan başka, bazı maden cevherlerinin erimesi sonucunda ortaya çıkmaktadır. Arsenik yediğimiz ürünlerden vücudumuza gelebilmektedir ve kanserojendir. Deri, mesane, akciğer kanseri ve damar ve kalp hastalıklarına sebep olmaktadır. İçme suyunda en fazla 0,01 mg/l değerine kadar müsaade edilmektedir. [3,7]

1.3 İçme Suyu Arıtma Yöntemleri

Belediyelerin ve kamunun kullandığı suyun önemli bölümü nehir, göl ve barajlar gibi yüzey su kaynaklarından temin edilmekte ve genellikle klasik içme suyu arıtma sistemleri ile arıtılmaktadır. Bu ihtiyacın yanında, bazı özel su tüketimleri de vardır. Özel su kullanımlarının önemli bölümü ise, kuyulardan çekilen yeraltı suyundan temin edilmekte ve çoğunlukla ileri içme suyu arıtma yöntemleri ile arıtılmaktadır. aşağıda, klasik ve ileri içme suyu arıtma yöntemlerinden kısaca bahsedilmistir.

2.3.1 Klasik içme suyu arıtma sistemleri

Genellikle bulanıklığı ve askıda katı maddeleri gidermek için çok aşamalı bir prosesdir. Hızlı karıştırma, yavaş karıştırma, çökeltme ve filtrasyon ünitelerinden oluşmaktadır. Önce koagülant eklenmesi ve pH ayarı ile kimyasallar flok oluşturmaya başlamakta, oluşan floklar çökeltme tankında yerçekimi ile çöktürülmekte ve/veya kum filtrelerinde tutulmaktadır. Çökeltme ile 25 mikrondan büyük partiküller giderilmektedir. Kum filtresinin kullanıldığı yerlerde, renk ve koku giderimi için bazen suya toz aktif karbon da verilmektedir. [2]

İçme sularının arıtılmasında dezenfeksiyon çok önemli bir aşamadır. Genellikle suya durultulduktan ve/veya yumuşatıldıktan sonra klor verilmektedir. Kullanım noktasında sudaki serbest klor miktarının 0.2-0.5 mg/l olması hedeflenmektedir. Şayet suda yüksek oranda organik madde kirliliği var ise, klor bu organik maddeler ile reaksiyona girerek zararlı dezenfeksiyon yan ürünlerini oluşturmaktadır.[2]

Boru hatlarında korozyonu önlemek ve özellikle hatlardan kurşun çözülmesini önlemek için pH değerinin 7.5-8.0 arasına ayarlanması gerekmektedir. pH değerinin bu aralıklarda olması içme suyu kalitesi için de gereklidir. Bu nedenle, sistem sonunda pH ayarı yapılmaktadır.

2.3.2 İleri içme suyu arıtma sistemleri

Talebe ve ihtiyaca göre suyun daha ileri düzeyde arıtılması mümkün olmaktadır. Aşağıda içme suyu üretiminde kullanılan başlıca ileri arıtma yöntemlerinden kısaca bahsedilmistir.

Kum filtreleri, 20 mikrona kadar partiküllerin tutulması amacıyla kullanılmakta ve ekonomik olarak büyük kapasiteleri arıtabilmektedir. Filtrasyonun üst bölgesinde bulunan ince dolgu tabakası çabuk tıkanmakta ve bu nedenle, filtrenin sıkça geri yıkanması gerekmektedir. Bazı durumlarda, kum filtresinden sonra daha hassas bir filtrasyon prosesine gerek duyulmaktadır.

Çift tabakalı filtreler birden fazla dolgu malzemesinden oluşmaktadır. Altta, daha küçük tane çapında olan malzemeler kullanılmaktadır. Bu filtrelerde en çok kullanılan malzemeler, garnet, kum ve antrasit'dir. Çift tabakalı filtreler, askıda katı maddeleri giderebilmekte, ancak çözünmüş maddeleri gidememektedir.

Düşük pH`lı suda asiditeyi nötralize etmek için kullanılan *nötralizasyon filtreleri* genellikle kalsiyum karbonat ve kalsit ortamından oluşmaktadır. Kalsit aynı zamanda, suya sertlik artırıcı iyonlar vererek suyun bir miktar sertliğini artırmaktadır.

Oksidasyon filtreleri, demir, mangan ve hidrojen sülfür gibi bir takım kirleticileri okside etmek için arıtma işleminde mangan oksitlerini oksijen kaynağı olarak kullanmaktadır. Okside edilmiş partiküller, filtreler tarafından tutulabilecek bir çökelti oluşturmaktadır. [2]

İyon değiştirici reçinelere yoğunluk ve porozite açısından çok benzeyen *aktif karbon filtreler,* birçok çözünmüş organikleri adsorbe etmekte ve su içerisindeki klor ve diğer halojenleri gidermektedir. Ancak, tuzları gidememektedir. Aktif karbon filtreleri, düşük moleküler ağırlıklı organikleri (<100 MW) ve kloru gidermek için kullanılan en ekonomik metotlardan birisidir. [2] Aktif karbon filtreler, bakteri ve patojenik maddelerin üreyebileceği bir ortam haline gelebilmektedir. Bu bakteriyel

kirliliğe engel olabilmek için aktif karbonun periyodik olarak geri yıkanması veya değiştirilmesi gerekmektedir. Aktif karbon filtresi düzenli olarak geri yıkanarak içerisinde biriken askıda katı maddeler atılmaktadır.

Su içerisindeki 0.1 mikrona kadar çeşitli boyutlardaki partikülleri tutmak için pamuk, selüloz veya sentetik iplikten yada polipropilen gibi malzemelerden yapılan *kartuş filtreler* kullanılmaktadır. Kartuş filtreler, genellikle kum filtrelerden sonra kullanılan hassas bir partikül arıtma işlemidir.

Su yumuşatma işlemi kireç-soda ile yumuşatma veya reçineli yumuşatma şeklinde iki başlıca yöntemle yapılmaktadır. Kireç-soda yöntemi gittikçe yerini reçineli yumuşatmaya bırakmaktadır. *Yumuşatma reçineleri* ile su içerisindeki kalsiyum ve magnezyum tutularak suyun sertliğini gidermek yaygın bir arıtma yöntemi haline gelmiştir. Bu reçineler daha sonra tuzlu su ile yıkanarak rejenere edilmektedir.

Kireç-soda yöntemi ile yumuşatma prosesinde, suya kireç (CaO) ve soda (Na_2CO_3) eklenerek sudaki kalsiyum ve magnezyum, çökeltme ile sudan giderilebilmektedir. Proses ucuz olmakla birlikte sudaki bütün sertliği gidereememekte ve ancak 50-120 ppm seviyesine çekebilmektedir. Prosesin bir dezavantajı da pH'yı yükseltmesidir. Bu durum, suyun içme suyu olarak kullanılabilmesi için prosesin sonunda tekrar pH ayarı yapılmasını gerektirmektedir.[2]

Reçine sistemleri suyu saflaştırmak amacıyla da kullanılmaktadır. Sudaki anyon ve katyon iyonlarını tutmak için üretilen *deiyonizasyon reçineleri* membranlara alternatif olarak kullanılan en yaygın saflaştırma prosesidir. Bu prosesin en büyük dezavantajı, asit ve kostik gibi tehlikeli kimyasallar ile rejenere edilmeleridir.

Arıtma sistemlerinin başında suya genellikle *oksidant* dozlanmaktadır. *Ozon ve potasyum permanganat,* birçok uygulamada kullanılan güçlü bir oksidanttır. Çoğu organik bileşiği oksitlerler, tad ve koku kontrolünde etkindirler. Demir ve manganı da oksitleyerek filtrelerde tutulmasını sağlarlar.

Sodyum metabisülfit gibi *indirgenler* klor veya ozon gibi oksidantları nötralize etmek amacıyla kullanılmaktadır. Membran proseslerde veya iyon değiştirme sistemlerinde, membranların veya reçinelerin hassas oldukları oksidantlar tarafından bozulmalarına engel olmaktadırlar. İndirgenlerin oksidantları nötralize etmek için gerekli temas süresine dikkat etmek gerekmektedir.[2]

En ileri içme suyu arıtma yöntemi olan saflaştırma prosesleri arasında en yaygın olanı membran proseslerdir. Membran prosesler, ters osmoz, nanofiltrasyon, ultrafiltrasyon ve mikrofiltrasyon sistemleri şeklinde dört gruba ayrılmaktadır.

Ters osmoz sistemleri (RO) ortalama olarak % 99 oranında sudaki bütün iyonları gidermektedir. Bundan başka çoğu organik bileşikleri, virüs, bakteri ve projenleri tutmaktadır. Bu kadar yüksek iyon giderme oranı içme sularında tercih edilmediği için birçok uygulamada sistemin sonuna pH dengeleyici ve sertlik artırıcı filtre olan kalsit filtreler eklenmektedir. Deniz suyunu arıtmak için özel olarak üretilen ters osmoz membranları ortalama 60 bar gibi yüksek basınçta beslendiğinde, deniz suyundan iyi kalitede içme suyu temin edilebilmektedir.

Nanofiltrasyon sistemleri 250 ile 1000 arası moleküler ağırlıktaki organik bileşikleri ve +2 değerlikli tuzları ters osmoz sistemine oranla daha düşük basınçta ve daha fazla su geçirerek tutmaktadır. Nanofiltrasyon sistemleri içme suyu arıtmasında özellikle yumuşatma amaçlı olarak gittikçe yaygınlaşarak kullanılmaktadır.[2]

Ultrafiltrasyon sistemleri (UF) RO ve NF sistemleri ile benzer bir sistemdir. Ancak, daha çok partükül giderimi amaçlı olarak kullanılmaktadırlar. Ultrafiltrasyon sistemleri 1000 daltonun üzerindeki katıları tutmaktadır. Membranlardaki daha yüksek gözenek boyutundan dolayı, çok daha düşük işletme basıncı gerekmektedir (<7 bar). Ultrafiltrasyon, çoğu iyonların ve küçük molekül ağırlıklı organiklerin geçişine izin vererek daha büyük organikleri, kolloidleri, bakterileri ve virüsleri tutmaktadır. Ultrafiltrasyon sistemleri yüzeysel su kaynaklarının arıtılmasında ve RO ve NF sistemlerinin önünde ön arıtma olarak sıkça kullanılmaktadır.[2]

Mikrofiltrasyon sistemleri 0.5-2 bar arasında işletilen filtrelerden oluşmakta ve 0.1-3 mikron arasındaki partikülleri tutmaktadır. Mikrofiltrasyon sistemlerinin, kartuş filtrelere oranla daha yüksek ilk yatırım maliyetleri olmalarına karşın, işletme maliyetleri daha düşüktür. [2]

Spesifik iyonların çözünürlük limitini aşarak konsantre olmasını ve çöküp kabuk yapmasını engellemek için suya *antiskalant (dispersant)* eklenmektedir. Antiskalantlar, kristal oluşumunu bozmakta ve böylelikle, büyümelerine engel olarak sonrasında çökelmenin önüne geçmektedir.

2.4 Türkiye`nin Su Potansiyeli ve Kullanımı

Türkiye'nin elde edilebilir toplam su potansiyeli 205 km^3'tür. Buradan, 65 milyon nüfusa göre Türkiye'de yaklaşık kişi başına yılda ortalama 3.150 m^3 su düşmektedir. Eğer bu hesaplama 110 km^3 olan ekonomik kullanılabilir su potansiyeli dikkate alınarak yapılırsa, yılda kişi başına 1.735 m^3 su düşmektedir.[9]

Bir ülkenin su kaynakları açısından zengin bir ülke sayılabilmesi için yılda ortalama kişi başına 10.000 m^3 su potansiyeline sahip olması gerektiği kabul edilmektedir. Su potansiyeli yılda ortalama kişi başına 1.000-2.000 m^3 düşen ülkeler su stresi içinde, 1000 m^3 altında kalan ülkeler ise su kıtlığı içinde sayılmaktadır. Buna göre, Türkiye 1.735 m^3 su potansiyeli ile su stresi içinde bir ülke konumundadır. Üstelik Devlet İstatistik Enstitüsü, 2025 yılı nüfusunun 79 milyon olacağını öngörmüştür. Bu durumda, 2025 yılı için kişi başına düşen kullanılabilir su miktarının 1300 m^3 gibi rakamlara düşeceği söylenebilmektedir. Tüm bu tahminler mevcut kaynakların 25 yıl sonrasına hiç tahrip edilmeden aktarılması durumu için geçerli kabul edilmiştir. [9]

Türkiye'de kullanılabilir yeraltı ve yerüstü su potansiyelinin % 35'i kullanılmakta, geriye kalanı ise kullanımı beklemektedir. Kullanılabilir yerüstü su potansiyelinin % 67'si, yeraltı su kaynaklarının ise % 27'si hala kullanıma sunulamamıştır. Türkiye'de yüzeysel kaynakların yaklaşık % 33'ü, yeraltı su potansiyelinin yaklaşık % 48'i kullanılmamaktadır. Erişilebilen suyun 32,9 km^3`ü yerüstü suları iken, 6 $km^3$'ü yeraltı sularıdır. Bu suyun 29,2 $km^3$`ü (%75) sulama, 5,7 km^3`ü (%15) içme-kullanma suyu, 4 $km^3$`ü (%10) ise sanayi suyu ihtiyaçlarının karşılanmasında kullanılmaktadır.

2.5 Türkiye`de Uygulanan İçme Suyu Arıtma Yöntemleri

Türkiye'de kullanılan içmesuyu arıtma tesisleri, konvansiyonel su arıtma tesisi sınıfındadır. Aşağıda bazı büyük şehirlerimizdeki su arıtma tesislerinden kısaca bahsedilmiştir.

İstanbul`un en büyük kapasiteli arıtma kompleksi olan 1.100.000 m^3/gün kapasiteli Ömerli arıtma kompleksinde bulunan 550.000 m^3/gün kapasiteli Orhaniye arıtma tesisi, ön klorlama ünitesi, alüminyum sülfat ve polielektrolit dozaj üniteleri, yavaş karıştırıcılar, katlı çökelticiler ve kum filtrelerinden oluşmaktadır. Aynı komplekste yer alan Muradiye arıtma tesisinin kapasitesi 300.000 m^3/gün`dür. Burada ham suya

koagülalant dozlanarak hızlı karıştırıcılarda polielektrolit verilmektedir. Sonra 100 mikron mikrokum beslemesi, hızlı ve yavaş karıştırma, hidrosiklon ile mikrokum ayırma, lamelli çöktürme, kum filtrasyonu ve klorlama yapılmaktadır.[10]

İstanbul`un diğer arıtma kompleksi olan Kağıthane arıtma tesisleri`nde ortalama 500.000 m^3/gün su arıtılmaktadır. Buradaki Çelebi Mehmet Han tesisi, kimyasal ıslah ünitesi, hızlı karıştırma (koagülüsyon), yavaş karıştırma (flokülasyon), çöktürme ve filtrasyon üniteleri ile çamur giderme ünitesinden oluşmaktadır.[10]

İvedik Su Arıtma Tesisleri, Ankara'nın içme, kullanma ve endüstri suyu ihtiyacını karşılamaktadır. Türkiye'nin en büyük içme suyu arıtma tesisidir ve Avrupa'daki en büyük 10 arıtma tesisi arasındadır. Tamamlanan ilk iki kısmının toplam kapasitesi 1.128.000 m^3/gün'dür. Tesisin akış şekli, klorlama, asit ile pH ayarlama, alüminyum sülfat ve polielektrolit dozlama, durultucu tanklarında durultma, gerektiğinde klorlama, potasyum permanganat ve aktif karbon dozlaması, hızlı kum filtrelerinde filtrasyon, klorlanma ve kireç ile pH ayarlanmasından oluşmaktadır .[11]

Bursa şehrinin su ihtiyacını karşılayan Dobruca içme suyu arıtma tesislerinin toplam günlük kapasitesi 500.000 m^3'tür. Tesisteki üniteler sırasıyla havalandırma, klor ve kimyasal dozaj üniteleri, durultucular, filtrasyon ve çamur yoğunlaştırıcılardır.[12]

Yukarıda verilen örneklerden de anlaşılabileceği gibi Türkiye'de belediyeler içme suyunu arıtmak için konvansiyonel arıtma modeli uygulamaktadırlar. Düşük tuzlulukta, bu arıtma modeli en ekonomik çözüm olmaktadır. Suyun tuzluluk oranı arttıkça bu sistemler ile içme suyu elde etmek mümkün değildir. Çünkü bu sistemlerde hedef, suyu dezenfekte etmek, bulanıklık, tat, koku, renk, organik madde, nitrit-nitrat ve ağır metal giderimi yapmak, pH ayarlamaktır. Kaliteli yüzeysel suyu bulunmayan Bodrum gibi yerlerde, öncelikle yeraltı suyunun kullanılması söz konusu olmaktadır. Yeraltı suları yüzey sularına oranla daha yüksek tuzluluktadır ve membran prosesler gibi ileri arıtma yöntemlerini kullanmak gerekmektedir.

Diğer bir doğal su kaynağı deniz suyudur. Oldukça pahalı bir yöntem olan deniz suyu arıtması ülkemizde az yerde uygulanmaktadır. Ancak, su sıkıntısının yüksek olduğu bölgelerde gittikçe yaygınlaşan bir arıtma yöntemidir. Bu sistemlerin kurulumu arttıkça daha ekonomik bir çözüm olacaktır ve gelecekte yaygın bir arıtma prosesi haline gelecektir. Bu amaçla her geçen gün sayısı artan deniz suyu ters osmoz sistemleri sürekli olarak geliştirilmektedir.

3. MEMBRAN PROSESLER

3.1 Tarihçe

Membranların, su arıtma sistemlerinde ciddi olarak kullanımı 1960 'lı yıllardan sonra gündeme gelmiştir. Fakat, membranlarla ilgili ilk bilimsel çalışmalar 18. yüzyıla dayanmaktadır. Abbe Nolet osmosis sözcüğünü 1748'de suyun bir diyafram arasından geçirgenliğini tanımlamak için kullanmıştır. 19. yüzyıl boyunca ve 20. yüzyılın başlarında membranların endüstriyel veya ticari bir kullanımı olmamıştır. 1906'da Bechhold dereceli gözenek boyutları olan nitrosellüloz membran hazırlama tekniği geliştirince, 1930'ların başlarında mikroporoz membranların kullanımı ticari olarak mümkün olmuştur. Sonraki 20 yıl içinde bu ilk mikrofiltrasyon membran teknolojisi başka polimerlerle, özellikle selüloz asetatla membran hazırlanmasına kadar gelişmiş ve İkinci Dünya Savaşı'nın sonunda içme suyunun membran filtrasyonuyla ilk kayda değer uygulamaları başlamıştır. 1960 yılına doğru modern membran biliminin elemanları geliştirilmiştir. Ancak bu yıllarda, membranların dünya çapında kullanımını engelleyen dört problem vardı. Bunlar, membranlar güvenilir değildi, çok yavaştı, çok az seçiciydi ve çok pahalıydı.[13]

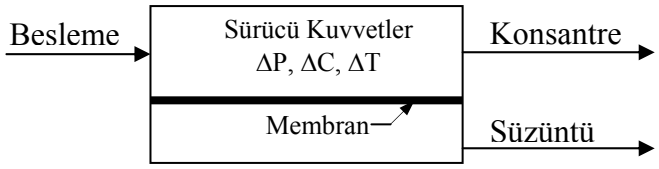
Membran ayırma uygulamasını laboratuvardan endüstri proseslerine taşıyan buluş, 1960'ların başında Loeb ve Sourirajan tarafından keşfedilen ve o dönemde var olan membranlara göre 10 kat daha yüksek akıya sahip ters osmoz membranları olmuştur. Bu buluş, ters osmoz teknolojisini pratik bir teknoloji haline getirmiş ve zamanla daha da geliştirilerek ticari hale gelmiştir.[13]

1960-1980 arasındaki 20 yıl boyunca membran teknolojisinde çok büyük değişimler olmuştur. Orijinal Loeb-Sourirajan membran teknolojisinin üzerine son derece ince ve yüksek performanslı membranlar üretmek için başka teknolojiler geliştirilmiştir. Membran stabilitesini artıran spiral sargılı, boşluklu elyaf, kapilar ve plak ve çerçeve modüller halinde membranları düzenleme yöntemleri geliştirilerek 1980'lere doğru mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, ters osmoz ve elektrodiyaliz prosesleri dünyada bir çok büyük tesiste kurulmuştur [13]. Hala, diğer membran proseslerin geliştirilmesine

ve spesifik alanlarda faydalı kullanımlarına ağırlık verilmekte ve çalışmalar yapılmaktadır. Günümüzde membran prosesler, ağırlıklı olarak içme ve kullanma suyu temini, metalurji, kağıt ve karton, tekstil, ilaç, otomotiv, biyoteknoloji ve kimya endüstrilerinin yanısıra, proses suyu üretmek, su içindeki değerli maddeleri geri kazanmak veya buhar kazanlarına tamamlama suyu hazırlamak için tercih edilen bir proses konumundadır.

3.2 Membranların Çalışma Mekanizması

Membran, karışım halindeki maddelerin iki ayrı faza ayrılmasında seçici bariyer rolü oynayan bir tabakadır. Bu tabaka sayesinde çözünmüş ve partiküler maddeler membrana giren besleme akımından ayrılmaktadır. Bunun sonucunda besleme akımı, süzüntü ve konsantre akım olmak üzere iki ayrı akım halinde membrandan çıkmaktadır. Membran tabakasından süzülerek geçen akım süzüntü, geçemeyerek tutulan akım da konsantre akım olarak adlandırılmaktadır. Besleme akımının iki ayrı akıma ayrılmasında, sürücü kuvvetler (ΔP, ΔC, ΔT) etkin rol oynamaktadır. Bu kuvvetler sayesinde membran yüzeyinde taşınma mekanizması aktivite kazanmakta ve membran yüzeyinden diğer tarafa besleme akımının süzülebilen kısmı geçerek süzüntü akımını oluşturmaktadır. [14] Membran çalışma mekanizmasına ait gösterim Şekil 3.1`de verilmiştir.



Şekil 3.1: Membran Çalışma Mekanizmasının Şematik Gösterimi [14]

Membranların performansı akı, seçicilik veya tutma gibi terimlerle ifade edilmektedir. Bir membranın birim alanından birim zamanda geçen akım miktarına akı denmektedir. Akı, m^3/m^2.gün veya lt/m^2.saat birimleri ile ifade edilmektedir. Seçicilik membrandan geçen kısmın, tutma ise alıkoyulan kısmın bir ölçüsüdür.

İdeal membranda yüksek seçicilik veya tutma ve yüksek akı veya geçirimlilik istenmektedir.[15] Membran seçiciliği, tutma oranı (%R) ile ifade edilmektedir.

$$\%R = \frac{Cf - Cp}{Cf} \qquad (3.1)$$

Cp = Süzüntü akımı konsantrasyonu

Cf = Besleme akımı konsantrasyonu

%R birimsiz bir büyüklük olup, 0 ile 1 arasında değişmektedir. %R'nin 0 olması çözünmüş maddelerin membrandan geçtiğini, yani tutulmanın hiç olmadığını göstermektedir. %R 'nin 1 olması ise membrandan hiçbir maddenin geçmediğini ve tutulmanın tam olduğunu göstermektedir.

Membranda geri kazanım (Y), besleme akımının ne oranda süzüntü akımına dönüştüğünü gösteren bir ifade olup,

$$\%Y = [\ (Qb - Qk) / Qb\ ] \times 100 = Qs / Qb \times 100 \qquad (3.2)$$

bağıntısı ile ifade edilmektedir.

Qb = Besleme akımın debisi

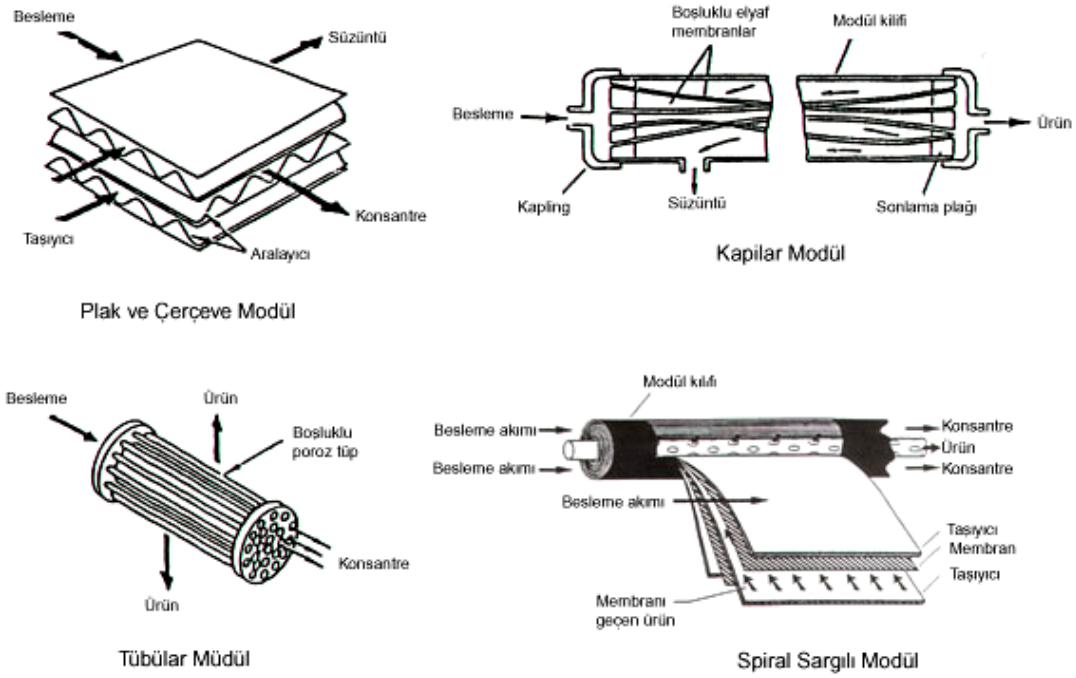
Qk = Konsantre akımın debisi

Qs = Süzüntü akımın debisi

Membran proseslerde verime, besleme suyunun hızı ile çözünmüş madde ve partikül konsantrasyonu, çözünmüş maddelerin cinsi, basınç, sıcaklık ve pH etki etmektedir.[16]

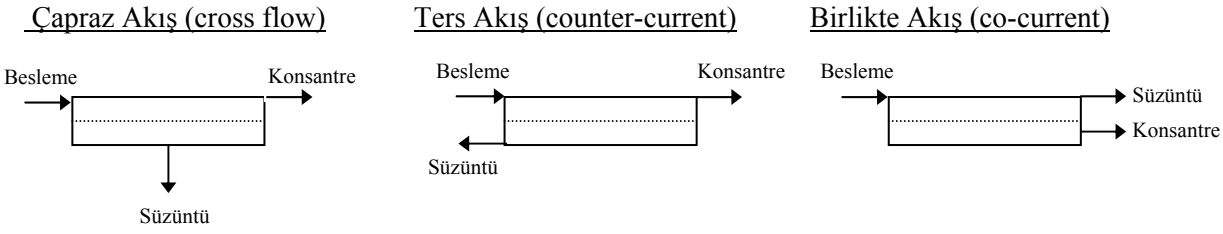
3.3 Membran Modüllerinin Yapısı ve Dizaynı

Yüksek performanslı bir membran prosesi membranın yüzey alanının büyük olduğu membran modülü ile elde edilmektedir. İlk modül dizaynları basit filtrasyon teknolojisine dayanıyordu ve bir çeşit filtre preste tutulan membran tabakalarından oluşmaktaydı. Bunlar plak ve çerçeve modüller olarak adlandırılmaktadır. Aynı dönemde bir dizi membran tüpünden oluşan diğer sistemlerde geliştirilmiştir. İki sistemde hala kullanılmakta ise de nispeten yüksek maliyetlerinden dolayı, daha ekonomik olan spiral sargılı ve boşluklu elyaf modüller geliştirilmiş ve yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. [13] Bu dizaynlar Şekil 3.2`de gösterilmiştir.



Şekil 3.2: Mödül Dizaynlarının Şematik Gösterimleri [13]

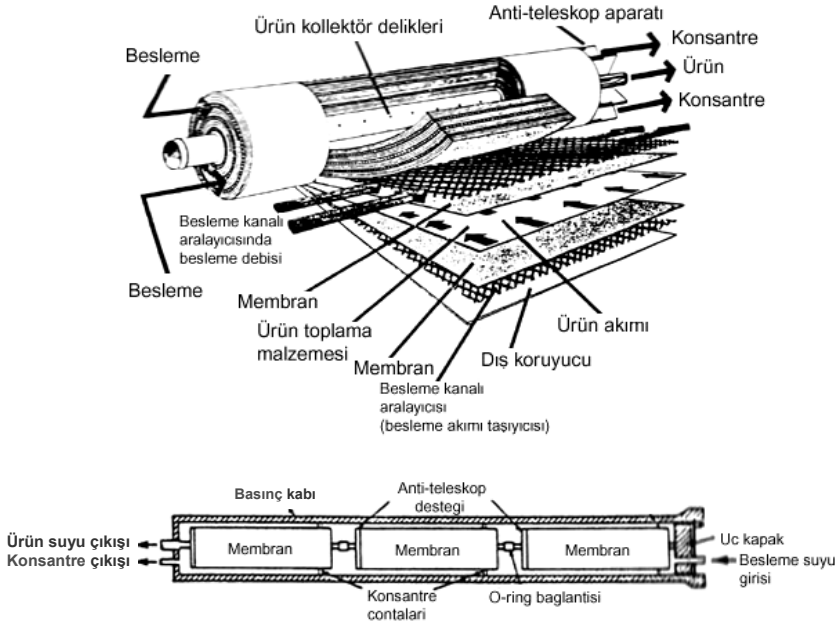
Modül dizaynında kullanılan başlıca akış türleri çapraz, ters ve birlikte akışlardır. Bu akışların prensipleri Şekil 3.3`de gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Hidrolik Akış Modelleri [16]

3.3.1 Spiral sargılı modüller

Önceleri suni böbrek için kullanılan spiral sargılı modüller ters osmoz sistemleri için geliştirilmiştir. Ticari modüller tipik olarak 36-40" uzunluğunda ve 4", 6", 8" ve 12" çapındadır. Bu modüller her birinin yaklaşık olarak 20 ft^2 alanı olan merkezi toplama borusuna sarmalanmış bir dizi membran ve süzüntü suyu taşıyıcı örtüsünden oluşmaktadır. Çok yapraklı dizaynlar merkez boruya doğru giden sızıntı gazının karşıladığı basınç düşmesini minimize etmek için kullanılmaktadır. Basit membran örtüleri kullanılsaydı, çok büyük basınç düşmesi gerçekleşerek sızıntı mesafesi oluşturacaktı.[13] Bu tip çok yapraklı dizayn Şekil 3.4'de gösterilmiştir.

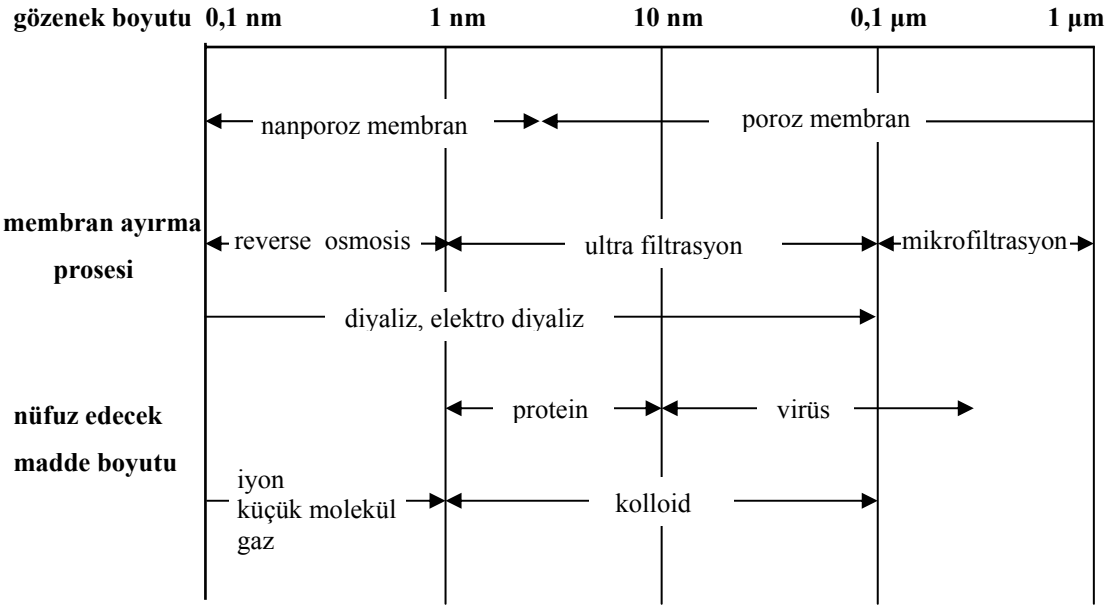


Şekil 3.4: Spiral Sargılı Membran Modülü [13]

3.4 Membran Prosesi Sınıflandırması

Sürücü kuvveti basınç olan membran ayırma uygulamaları uygun boyutlarda gözenekleri olan membranlar kullanılarak, partikülleri veya değişik boyutta çözünen maddeleri ayırmak için sürekli bir prosesin dizayn edilmesini kapsamaktadır. Bu prosesler tutabildikleri tane boyutuna göre mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon ve ters osmoz (RO) prosesleridir. MF, UF, NF ve RO, partikülleri membranın gözenek çapını ve partiküllerin boyutunu temel alarak tutan moleküler eleme etkisini kullanarak, 10 Å 'dan 10 μm'ye kadar çapı olan partikülleri ayırmak veya gidermek için kullanılmaktadır.

Belli boyutta taneciği ayırmak için değişik gözenek boyutlarında membranlar geliştirilmiştir. Ters osmoz membranlarının gözenek boyutu moleküler boyutla kıyaslandığında çok küçüktür. Membran performansını arttırmak için gözenek boyutu, gözenek boyutunun dağılımı ve gözenek yoğunluğu hassas olarak kontrol edilmektedir. Şekil 3.5`de gözenek boyutu ve membran ayırma prosesi arasındaki ilişki verilmiştir.



Şekil 3.5: Gözenek boyutu, membran ayırma prosesi ve nüfuz edecek madde boyutu arasındaki ilişki [17]

Mikrofiltrasyonun malzemesi genellikle kristalimsi polimerden oluşmaktadır. Ultrafiltrasyonun malzemesi ise şekilsiz polimerdir. Mühendislik plastikleri diye adlandırılan malzemeler iki membran için de uygulanmaktadır. Ters osmoz membranlarında ise çoğunlukla selüloz asetat veya poliamid türü polimerler kullanılmaktadır.[17]

Ters osmoz membranları ve modülleri üzerine araştırmalar ve gelişmeler sonunda birbiri ardına yeni yüksek performanslı membranlar ve modüller ortaya çıkmıştır. Ters osmoz membranlarının morfolojisi de zaman içinde asimetrik yapıdan ince filmli kompozit yapıya dönmüştür.[13]

3.4.1 Mikrofiltrasyon prosesi

Mikrofiltrasyon membranlarının üç temel karakteristiği gözenek boyutu, filtrasyon kapasitesi ve giderme verimidir. Bu membranlar için 2 bar`dan az basınç yeterlidir.

Poroz mikrofiltrasyon membranlarını gözenek boyutu ve gözenek boyutu dağılımı ile membranın maksimum çalışma basıncında işletildiği zaman arıtabileceği toplam su miktarı olan filtrasyon kapasitesi karakterize etmektedir. Filtrasyon kapasitesi, arıttığı çözelti ve filtrasyon hızı ile değişmektedir. Genellikle membranların önüne daha büyük gözenek boyutu olan bir ön filtre yerleştirerek membranın ömrü uzatılmaktadır.[17]

Mikrofiltrasyon, makromoleküllerin membrandan geçmesine izin verirken 0,1 μm boyutundan büyük partiküllerin membrandan geçmesini engellemektedir. Mikrofiltrasyonda, akım membran yüzeyine paralel olarak uygulanmaktadır. Membrandan geçemeyen kısım membran üzerinde birikmekte ve membran yüzeyindeki direnci artırmaktadır. Membranın filtrasyon verimi azaldığı zaman membran temizlenmeli veya değiştirilmelidir.[18]

3.4.2 Ultrafiltrasyon prosesi

Ultrafiltrasyon membranlarının temel karakteristikleri akı, çözünmüş maddeleri tutma ve moleküler ağırlık kesme sınırı (MWCO)'dır. Giderme verimi, genellikle besleme konsantrasyonuna ve besleme konsantrasyonun karıştırma hızına bağlıdır.

Ultrafiltrasyon genel olarak, endüstriyel ayrıştırma işlemlerinde, su arıtımında ve temiz su proseslerinde ters osmoz membranlarını korumak için ön arıtma amacıyla kullanılmaktadır. Membranları 2-10 bar gibi düşük basınçlarda çalıştırılmaktadır.[17]

Kolloidal partiküller, biomoleküller ve şeker iyonları ultrafiltrasyon membranında tutulan maddelerden bazılarıdır. Ultrafiltrasyon membranları ağırlıklı olarak, gıda ve ilaç endüstrilerinde proseste değerli maddelerin konsantrasyonu veya geri kazanımı için, kimya, kağıt ve tekstil endüstrilerinde ise atıksu arıtımında kullanılmaktadır.

3.4.3 Nanofiltrasyon prosesi

Nanofiltrasyon, ters osmoz ile aynı karakteristiklerde bir membran teknolojisidir. Ters osmoz teknolojisi 0,1 nm'den daha küçük çözünmüş molekülleri tutarken, nanofiltrasyon çapı 1 nm'ye kadar olan molekülleri tutmaktadır. [20]

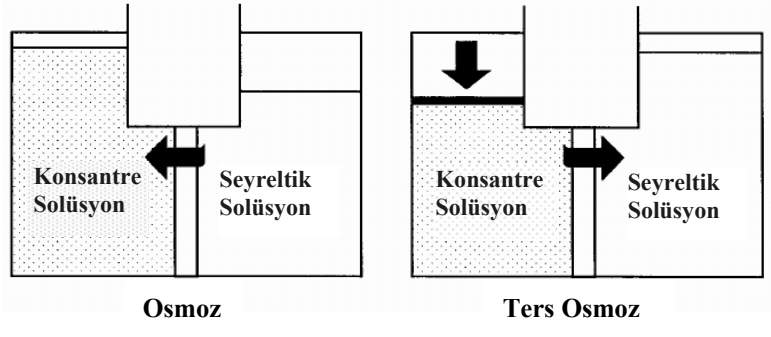
Nanofiltrasyon esasında, ürün suyu kalitesinin çok saf olması gerekmeyen durumlarda veya giderilmesi gereken çözünmüş madde miktarının tipik kuyu suyu ya da deniz suyu tuzluluğunda olmadığı durumlarda, ters osmoz sisteminin daha düşük basınçlı bir versiyonudur. Bu nedenle enerji maliyeti de ters osmoz prosesine oranla daha düşüktür. Nanofiltrasyon, özellikle kuyu suyu ya da nehir veya göl gibi yüzeysel suların arıtılması için uygundur.

Nanofiltrasyon prosesi, kalsiyum ve magnezyum gibi sertlik yapan iyonları giderebilmektedir ve kireç ile yumuşatma veya sodyum klorür zeolit teknolojilerine cazip bir alternatiftir. Aynı zamanda, bakteri ve virüsler ile istenmeyen klorlanmış hidrokarbonlar ve trihalometanlar oluşturmadan organik kökenli rengi de gidermektedir. Ayrıca, içme suyu güvenliğini sağlamak için yüzey ve yeraltı suyundan pestisit ve diğer organik kirleticileri de ayırabilmektedir.[20]

Nanofiltrasyon prosesi, tekstil sanayi, kağıt sanayi, elektro kaplama endüstrisi, boya endüstrisi ve gıda endüstrisi atıksularının arıtımında da kullanılmaktadır.

3.4.4 Ters osmoz prosesi

Osmoz, saf suyun membran arasından geçerek konsantre çözelti tarafına akması olayıdır. Şekil 3.6`da arasında sadece suyu geçiren yarı geçirgen membran bulunan iki kaptan birine konsantre su, diğerine de saf su konmuştur. İki çözelti arasında konsantrasyon dengesi sağlanana kadar saf su osmoz olayı ile konsantre çözelti tarafına geçmeye çalışacaktır. Bu arada konsantre çözeltinin su yüksekliği, su kolonunun basınç gücü su geçisini engelleyene kadar artacaktır. Bu su kolonu yüksekliğinin denge noktası, membrana karşı su basıncı denen `osmotik basınç` olarak adlandırılmaktadır. Bu su kolonuna basınç uygulanırsa suyun akışı ters yöne doğru değişmekte ve buna `ters osmoz` denmektedir.[21]



Şekil 3.6: Osmoz ve Ters Osmoz Olayı [21]

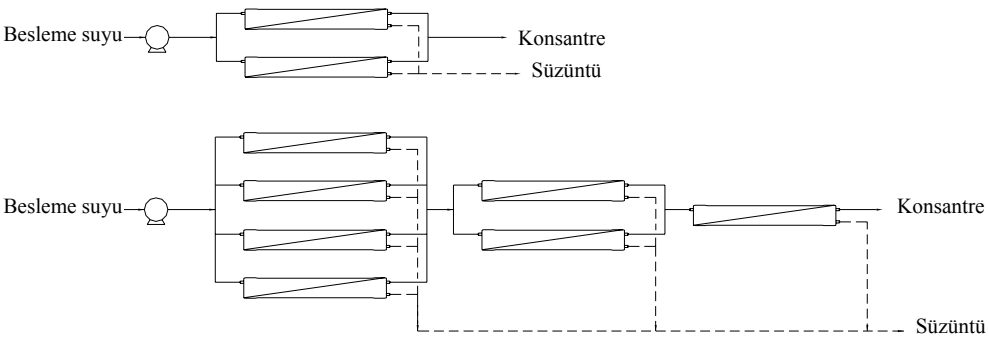
Su geçirgenligi yüksek olan membranların tuz geçirgenliği de yüksektir. Alıkoyma (tutma), ayırma derecesi, iyonik yük, moleküler ağırlık, non-polarite, hidrasyon derecesi, moleküler dallanma derecesi arttıkça artmaktadır. Yani, divalent iyonlar monovalent iyonlardan daha yüksek oranda tutulmakta, moleküler ağırlıgı ve klorür gibi hidrasyon derecesi yüksek türlerin alıkonması daha fazla olmakta ve polaritesi az olan iyonlar ters osmoz membranından daha az geçmektedir. [21]

Ters osmoz üzerine araştırmalar iki alanda sınıflandırılabilir: Temel araştırmalar ve uygulamalar. Temel araştırma alanı membran malzemelerinin dizaynını, membrana şekil verilmesini ve membran geçirgenliğinin karakteristiğini içermektedir. Ters osmoz prosesi çoğunlukla düşük molekül ağırıklı çözünmüş iyonların giderilmesi için kullanılmaktadır. Uygulama alanı ise, membran modülü konfigürasyonunu, ters osmoz proseslerinde mühendisliği ve uygulamadaki problemlerdir. Ters osmozun temel kullanım alanları suyun tuzsuzlaştırılması ve konsantrasyonu veya su içindeki değerli ürünlerin geri kazanılmasıdır. Tablo 3.1`de uygulama alanları verilmektedir.

Tablo 3.1: Ters Osmozun Uygulama Alanları [17]

Endüstri	Uygulama
Su Üretimi	Deniz suyunun ve tuzlu suyun tuzsuzlaştırılması, endüstriyel kullanımlar için su tuzsuzlaştırılması, temiz suyun üretimi
Süt Ürünleri, Deniz Ürünleri Prosesi	Laktozun peyniraltı suyundan geri kazanımı, deniz ürünleri proseslerinden protein ve amino asitlerin geri kazanımı ve konsantrasyonu, balık etinden amino asitlerin üretimi
Gıda	Soya suyunun arıtımı, soya prosesinde atıksu için kapalı sistemler, sebze ve meyve özsuyunun konsantrasyonu, şarap üretimi için üzüm özsuyunun konsantrasyonu, şeker sıvılarının konsantrasyonu, monosakarozun arıtımı, alkol üretiminde distilasyon artığının arıtımı, et ve balık sularının fermentasyonu
İlaç ve Tıp	Bitki ilaçlarının konsantrasyonu, ilaç prosesine saf su temini
Kimya	Petrokimya endüstrisinde gliserinin atıksudan geri kazanımı, fotoğrafçılık endüstrisinde kimyasalların atıksudan geri kazanılması
Tekstil ve Boya Endüstrisi	Boya işlerinde boya veya ek maddelerinin veya kapalı sistemin geri kazanılması, tekstil endüstrisinde atıksu arıtımı ve atıksudan yağın geri kazanılması
Yüzey Hazırlama	Alüminyum elektrolevha prosesinden boyaların geri kazanım, metal plaka endüstrisinde durulama suyundan değerli metallerin geri kazanımı ve durulama suyunun yeniden kullanılması
Su Arıtımı	Evsel atıksudan azot ve fosfor giderimi, evsel atıksuların arıtılması

Ters osmoz sistemleri Şekil 3.7`de gösterildiği gibi, tek kademeli veya çok kademeli sistemlerden oluşabilmektedir. Tek kademeli bir sistemde geri kazanım oranı düşüktür. Çok kademeli bir sistemde modül sıralaması çam ağacına benzemektedir. Çok geçişli sistemlerde ise seri halinde bağlanan modüllerin sayısı basınç düşmesinden dolayı sınırlandığı için her geçişte uygulanan basıncı artırmak için destek bir pompa kullanılmaktadır.



Şekil 3.7: Tek kademeli ve çok kademeli ters osmoz sistemlerinin şematik gösterimi

3.4.4.1 İşletme şartlarının ters osmoz performansına etkisi

Membran modülünün arıtılmış su hacmi q_1 (m^3/gün) ve süzüntü oranı, standart şartlar altında pratik kullanım için üretici tarafından verilmekte ve standart şartlardan sapan faktörler ile düzeltilmektedir. q_p değeri,

$$q_p = (PCF)(TCF)(MFRC)\, q_1 \qquad (3.3)$$

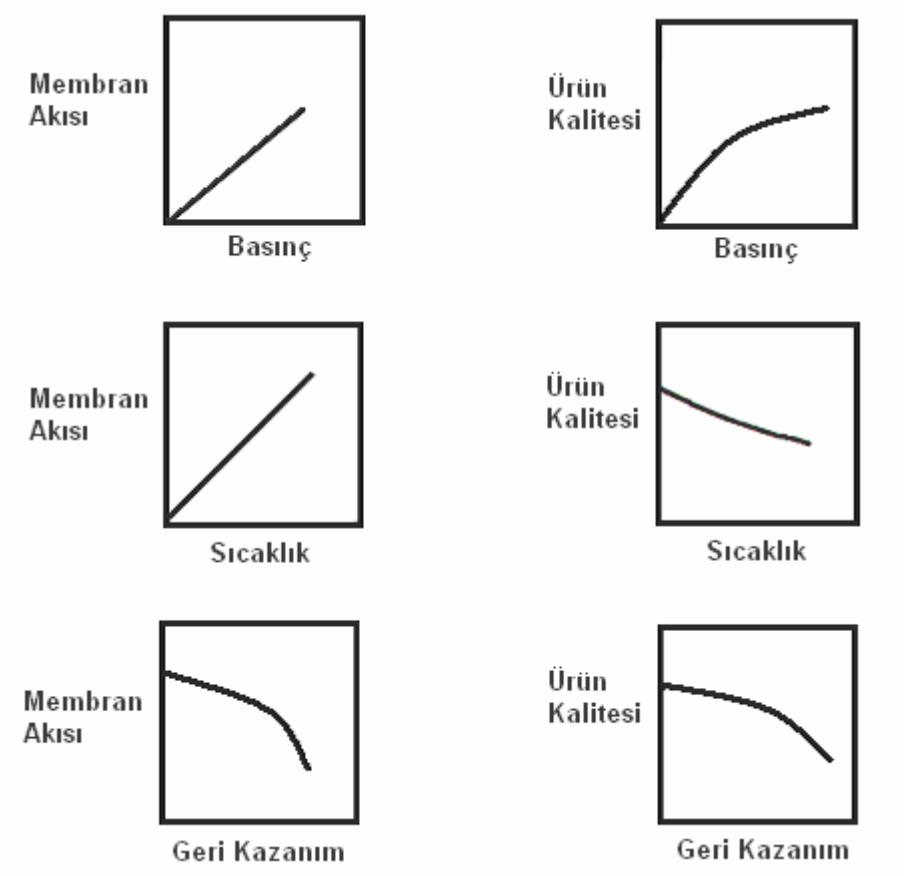
ile hesaplanmaktadır. Burada, (PCF),(TCF) ve (MFRC) sırasıyla basınç, sıcaklık ve işletme süresi için düzeltme faktörleridir. (PCF) faktörü standart koşullarda osmotik basınç farkı ile uygulanan basınç farkı arasındaki farkın oranıdır. (TCF) faktörü standart sıcaklık değeri olan 25 ^oC'ye göre ^oC başına %2-3'tür. (MFRC) faktörü işletme süresi, uygulanan basınç ve sıcaklığın bir fonksiyonudur.[17]

Denklemden görüldüğü gibi arıtılmış su kapasitesi basınç, sıcaklık ve işletme süresinden etkilenmektedir. Ters osmoz prosesinde basınç arttıkça akı da artmaktadır. Sıcaklık da basınç gibi akıyla dogru orantılıdır ve hem akıyı hem de

osmotik basıncı etkilemektedir. Şekil 3.8'de, değişik işletme şartlarının etkileri gösterilmiştir.

Ters osmoz sistemlerinde giriş suyu konsantrasyonu arttıkça, osmotik basınçta meydana gelen artışa bağlı olarak membrana uygulanan net basınç azalmakta ve bunun sonucu olarak da giderme verimi düşmektedir. [14]

Membran performansına etki eden diğer bir işletme şartı da yatay hız ve türbülanstır. Membran yüzeyinde oluşturulan karışım, yüzeyde oluşan kek tabakasının hidrolik direncini ve konsatrasyon polarizasyonu tabakasının kalınlığını azaltmaktadır.[14]



Şekil 3.8: Basınç, sıcaklık ve geri kazanım oranının membran akısına ve ürün kalitesine etkisi [13]

3.4.4.2 Membran tıkanması ve ön arıtmanın önemi

Tıkanma işletme maliyetini ve membran ömrünü belirlemede önemli bir faktördür. Ters osmoz sistemleri çözünmüs maddeleri gidermek amacıyla dizayn edildiği için, en çok rastalan tıkanma tipi partiküllerin membran yüzeyinde kek şeklinde çökelti oluşturmasıdır. Bu nedenle, membranlardan önce askıda katı maddeler giderilmelidir.

Diğer bir tıkanma şekli çökelme oluşumudur. Çökelme çoğunlukla silika, baryum sülfat, kalsiyum sülfat, stronyum sülfat, kalsiyum karbonat ve kalsiyum florürün çözünürlük limitleri aşılınca oluşmaktadır. Bu limiti aşmak çözünmeyen tuzların membran yüzeyine çökelmesine neden olmaktadır. Bundan başka metal oksitlerin, kolloidal sülfürün, silikanin, siltin ve organiklerin çökelmesi de membranı tıkamaktadır. Membran yüzeyindeki çökelmeyi önlemek için ön arıtmayı dikkatli seçmek ve geri kazanım oranını belirlerken çökelmeyi de göz önüne alıp işletmede de bu geri kazanım oranını aşmamak gerekmektedir. [13]

Üçüncü bir membran tıkanma sebebi bakterilerdir. Membran yüzeyi biyofilm oluşumu için çok uygun bir ortamdır. Bu oluşumlar akıyı düşürmekte ve basınç gereksinimini, dolayısyla da enerji tüketimini artırmaktadır. Suyun ters osmoz sistemine girmeden önce mutlaka dezenfekte edilmesi gerekmektedir.

3.4.4.3 Membranın temizlenmesi ve performansının iyileştirilmesi

Su akısı ve çözünen maddenin tutulması, ters osmoz membranın performansının tespiti için bir indeks gibi kullanılmaktadır. Membran ayırma prosesi devam ederken geri dönüşümlü veya geri dönüşümsüz hasar ile sonuçlanan membran performansında bazı bozulmalar görülmektedir. Membran performansındaki geri dönüşümsüz hasar, fiziko-kimyasal indirgeme sonucu oluşmaktadır. Diğer yandan geri dönüşümlü hasar membran yüzeyi üzerinde oluşan kek, jel ve adsorpsiyona bağlı olarak membran tıkanmasından dolayı ortaya çıkmaktadır. Aynı zamanda bu tabakalar, membran matriksi içinde ve besleme veya süzüntü yolunda membran modüllerinin tıkanmasını meydana getirerek oluşmaktadır. Membran performansının yeniden kazanılması için fiziksel ve kimyasal metotlar kullanılmaktadır. Fiziksel temizlemede, ultrason veya hava enjeksiyonu yıkaması ile ters akım kullanılmaktadır. Bu uygulamalar sistem işletilirken yapılmaktadır.[17]

Kimyasal temizlemede asit ve sitrik asitin amonyum tuzu, iyonik olmayan yüzey aktif maddeler, enzim deterjanları gibi çeşitli kimyasallar kullanılmaktadır. Asidik ürünler, özellikle membrandaki çökelmenin giderilmesi için kullanılmaktadır. Bakteri ve organik madde kirliliğini gidermek için ise bazik temizleme kimyasalları kullanılmaktadır.

4. MEMBRAN PROSESLERİN İÇME VE KULLANMA SUYU AMAÇLI KULLANIMINDA MALİYETİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

4.1 Membran Proseslerde Ön Arıtmanın Maliyete Etkisi

Ön arıtma grubu, membran sistemlerinin ilk yatırım maliyetini artırmaktadır. Bu nedenle bazen ön arıtmaya önem verilmemekte veya yetersiz yapılmaktadır. Ancak, ön arıtma ters osmoz ve nanofiltrasyon sistemlerinde kilit noktalardan biridir ve sistemlerin performansı için kaçınılmaz bir yatırımdır. Tipik olarak, ön arıtma grubunun maliyeti besleme suyunun kalitesine bağlı olarak ilk yatırım maliyetinin %35`ine kadar çıkabilmektedir.[13]

Membran proseslerde ön arıtma, membranın performansının korunması açısından çok önemlidir. Özellikle içme suyu amaçlı olarak yaygın kullanılan spiral sargılı ince film kompozit membranlar oldukça hassas yapıdadır ve bir çok parametreden etkilenmektedir. Ön arıtması iyi yapılmayan sistemler tıkanma, çökelti oluşumu ve membranın indirgenmesinden dolayı hızla performanslarını kaybetmektedir. Eğer, geri dönüşümlü bir performans kaybı var ise, çeşitli kimyasallar kullanılarak uygulanacak membran temizleme prosedürleri ile membranlar ilk durumlarına yakın bir debi ve su kalitesi üretimine dönebilmektedir. Ancak geri dönüşümsüz bir tıkanma gerçekleşmiş ise bunu onarmak mümkün olamamaktadır. Ön arıtması yeterli olmayan bir çok tesis bu nedenle ciddi zararlara uğramakta, kullanılmaz duruma gelen membranlarını atmak zorunda kalmaktadır. Yeniden membran satın alarak ve hatta ön arıtma grubu ekleterek hem maddi bir kayba uğramakta, hem de üretim kayıpları yaşanmaktadır. Bu nedenle, membran proseslerde ön arıtma grubunu çok dikkatli seçmek gerekmektedir.

Ön arıtma grubu bazı durumlarda uygulanacak ileri arıtma prosesinin seçimini de etkilemektedir. Membran proseslere beslenecek suyun kalite kısıtlamalarından dolayı yoğun ön arıtma yapılması gereken hallerde, yüksek yatırım maliyetinden kaçmak için farklı ileri arıtma prosesleri de tercih edilebilmektedir.

Spiral sargılı ince film kompozit membranların kullanıldığı proseslerde besleme suyunda bulanıklık, organik madde, bakteri, demir ve mangana sadece eser miktarda müsaade edilmektedir. Bundan başka, sertlik ve silika gibi çökelti oluşturan ve membranı tıkayan maddeler de, ancak antiskalantların yeterli geldiği miktarda, besleme suyunda bulunabilmektedir.

4.1.1 Bulanıklık gideriminin maliyete etkisi

Spiral sargılı ince film kompozit membranların kullanıldığı bir membran prosesine beslenecek suda, bulanıklık 1 NTU değerinden az ve SDI değeri ise en fazla 3 istenmektedir. Kuyu sularında çoğunlukla bulanıklık düşüktür ve ham suyu 12-20 m/st kesit hızındaki kum filtrelerinden geçirmek yeterli olmaktadır. Ancak yüzey sularının bulanıklık muhtevası yüksektir. Bu nedenle, yüzey suyu kaynağı kullanılması durumunda, bulanıklık giderimi çok daha önemli bir maliyet unsuru olabilmektedir. Yüksek bulanıklıktaki suların, koagülant veya polimer ilavesi devamında geniş filtrasyon kesit alanına sahip kum filtrelerinden geçirilerek ön arıtması yapılabilmektedir. Ancak çoğunlukla, yüzey sularında bu yeterli bir çözüm olmamakta ve çökeltme tankı ve çamur giderimine ihtiyaç duyulmaktadır. Bundan dolayı da önemli bir maliyet artışı olmaktadır. Şayet suda çok küçük partiküller de var ise, bunları klasik yöntemler ile gidermek mümkün değildir ve mikrofiltrasyon veya ultrafiltrasyon prosesine geçmek gerekir ki, bu proseslerin ilk yatırım maliyeti yüksektir.

Filtrelerin kesit alanları büyüdükçe, maliyetleri artmaktadır. 1,000 m^3/gün kapasiteli bir sistemde kuyu suyu kullanılması durumunda takribi 20 m/saat kesit hızı sağlanan 1600 mm çapında bir basınçlı kum filtresi yeterli olabilirken, yüzey suyu kullanılması durumunda 10 m/st`ten daha düşük kesit hızında ve en az 2500 mm çapında bir kum filtresi kullanılması gerekmektedir. Bu filtrelerden ikincisi, ilkine oranla yaklaşık %80 daha yüksek maliyetlidir. Kesit hızı 12 m/saat seçilirse, yine 1600 mm çapındaki filtreye göre %40 daha yüksek maliyetli olmaktadır. 5,000 m^3/gün kapasiteli sistemde, 12 m/saat kesit hızlı filtrenin, 20 m/saat kesit hızlı bir filtreye oranla maliyeti %60 daha yüksektir.

Suya kimyasal ilavesi ek bir işletme maliyeti oluşturmaktadır. Kullanılacak koagülantın ve/veya polimerin maliyeti ise ihtiyaç duyulan dozaj oranı ile orantılı olarak artmaktadır. Örnek olarak, 5,000 m^3/gün kapasiteli bir suya 4.25 $/kg

fiyatında 8 mg/l koagülant dozlandığında, günlük takriben 170 $ işletme maliyeti oluşacaktır. Bu miktar m³ başına 0.034 $ işletme maliyetine denk gelmektedir.

4.1.2 Okside edici maddeleri gidermenin maliyete etkisi

Klor, ozon, permanganat gibi suyu dezenfekte etmek ve demir ile mangan gibi iyonları okside etmek amacıyla suya eklenen oksidasyon elementleri, membranları okside ederek indirgemekte ve yapısına zarar vermektedir. Bu elementlerin mutlaka membranlara ulaşmadan sudan giderilmeleri gerekmektedir.

Klor (hipoklorit) ve ozon, suyu dezenfekte etmek için kullanılmaktadır. İkisinin de işletme maliyetleri son derece düşük olmakla birlikte, ozon dozlama sisteminin ilk yatırım maliyeti yüksektir ve genellikle spesifik veya çok büyük kapasiteli projeler ile ozon dozlanması gereken özel durumlarda tercih edilmektedir. Çoğunlukla kullanılan klor dozaj sisteminin maliyeti ise dozaj pompası, çözelti tankı ve klor veya debi kontrol cihazından oluşmaktadır ki, toplam sistem içinde düşük bir maliyet oluşturmaktadır. Klor aynı zamanda çözünmüş demiri okside etmek için de kullanılmaktadır.

Yaygın olarak çözünmüş manganı okside etmek amacıyla kullanılan permanganat güçlü bir oksidandır ve aynı zamanda çözünmüş demiri de oksitleyerek filtrelerde tutulabilecek partiküllere dönüştürmektedir. Maliyeti klora oranla daha yüksektir ve sadece manganın oksidasyonu söz konusu olduğunda kullanımı tercih edilmektedir. Hipokloritin kg maliyeti ortalama 0.35 $ iken, permanganatın kg maliyeti ortalama 2.5 $`dır. İsletme maliyeti açısından bakıldığında, 3 mg/l mangan içeren bir sudan mangan gidermek için m³ basına permanganat maliyeti takribi, 0.015 $`dır.

Bu oksidantların sudan giderimi için yaygın olarak, aktif karbon veya sodyum metabisülfit kullanılmaktadır. Aktif karbon filtresi ilk yatırım maliyetinden dolayı ve her 1-1.5 yılda bir dolgu malzemesi değiştirilmesi gerektiği için bir çok işletmede, sadece oksidantların giderilmesi amacıyla tercih edilmemektedir. Sodyum metabisülfit ise, ucuz bir kimyasaldır ve düşük ilk yatırım maliyeti vardır. Kilogram maliyeti ortalama 0.06 $`dır.

4.1.3 Demir ve mangan gidermenin maliyete etkisi

Su kaynaklarında, özellikle yeraltı sularında en sık rastlanan metaller, demir ve mangandır. Bu iyonlar membranların üzerine metal oksit bileşikleri şeklinde çöktüğü için mutlaka ön arıtmada giderilmeleri gerekmektedir. Demir ve mangan okside edici maddeler tarafından çözünmez iyonlara dönüştürüldükten sonra filtrelerde tutulmaktadır. Bu iyonların tutulmaları için filtrasyon hızının düşük olması gerektiğinden, geniş kesit alanlı filtre seçilmektedir. Eğer demir ve mangan konsantrasyonu yüksek ise oksidasyon elemanları ile temas sürelerini artırmak için bir temas tankına gerek duyulmaktadır. Bundan başka suda mangan var ise filtrenin üst tabakasına antrasit yerleştirilerek mangan için uygun bir oksidasyon ve tutulma tabakası oluşturulmaktadır. Antrasit maliyeti yüksek bir dolgu malzemesidir ve ortalama kg fiyatı 0.9 $`dır. 2 mg/l mangan içeren 5,000 m³/gün kapasiteli bir sistemde antrasit maliyeti, 9,000 $ civarındadır.

4.1.4 Organik madde gidermenin maliyete etkisi

Organik maddelerin membran yüzeyinde adsorpsiyonu akının düşmesine neden olmaktadır. Bu nedenle, ön arıtmada giderilmeleri gerekmektedir. Çözünmüş düşük moleküler ağırlıklı organik maddelerin giderimi için uygulanan en düşük maliyetli sistem, aktif karbon filtresidir. Bu filtreler kum filtrelerine benzemekte, ancak içleri kuma göre çok daha yüksek maliyetli granüler aktif karbon ile doldurulmaktadır. Aktif karbon miktarı uygun temas süresini yakalamak için suyun organik madde muhtevasına bağlı olarak artmaktadır. Tipik olarak 1,000 m³/gün kapasiteli ve 5 dakika temas süresi sağlanan bir sistemde aktif karbon filtresinin maliyeti, 3 dakika temas süreli aktif karbon filtreye oranla %40 daha pahalıdır. Yüzey sularının organik madde içeriği yüksek olduğu için aktif karbon filtresi yatırımı önemli bir maliyettir. Aktif karbon zamanla tükendiği ve içinde bakteriyolojik ortam oluştuğu için genelde 1-1.5 yıl içerisinde değiştirilmektedir. Bu da aktif karbon için işletme maliyeti oluşturmaktadır. Ancak, söz konusu işletme maliyeti, m³ bazında ciddi bir maliyet artışına neden olmamaktadır.

Diğer bir giderme yöntemi olan koagülasyon-flokülasyon çok fazla organik madde var ise veya aynı zamanda yüksek miktarda askıda katı madde varsa tercih edilen bir yöntemdir. Bu yöntem aktif karbondan daha yüksek maliyetlidir ve kontrolü daha zordur. Bir diğer organik madde giderme yöntemi ise ultrafiltrasyon prosesidir.

4.1.5 Sertliğin ve silikanın maliyete etkisi

Kalsiyum ve magnezyum iyonları suda sıkça rastlanan $CaSO_4$, $CaCO_3$, $MgCO_3$, $Mg(OH)_2$ ve $Ca_3(PO_4)_2$ bileşikleri yaparak potansiyel çökelti problemi oluşturmaktadırlar. Aynı şekilde fazla silika da çökelti yapmaktadır. Bu çökeltiler, zamanla üretilen suyun kapasite ve kalitesini düşürmektedir. Bu nedenle, antiskalantların müsaade ettiği miktara kadar suda bulunmaları gerekmektedir.

Sertlik giderimi reçineli yumuşatma sistemleri ile yaygın olarak yapılmaktadır. Arıtılacak suyun kapasitesi ve sertlik derecesi seçilecek sistemin boyutunu ve buna bağlı olarak maliyetini etkilemektedir. Örneğin, 2,000 m^3/gün kapasiteli ve 60 Fr sertliğindeki suyu arıtan bir yumuşatma sistemi, 1,000 m^3/gün kapasiteli ve 30 Fr sertliğindeki suyu arıtan bir yumuşatma sistemine oranla, yaklaşık olarak 2.5 kat daha pahalıdır. Kıyaslama, 12 saat rejenerasyon aralığına ve tekli sisteme göre yapılmıştır. Yumuşatma sistemleri, rejenerasyon aralığının sıklığı ve rejenerasyon süresinin uzunluğundan dolayı çoğunlukla tandem yapılırlar. Bu da maliyeti artırır. Bu nedenle, genellikle ters osmoz sisteminin başına antiskalant dozlayarak ve bazen buna ilaveten asit dozajı ile pH değerini düşürerek bileşiklerin çökelmelerine engel olunmaktadır. Ancak, bu her zaman mümkün ve ekonomik değildir. Bazı durumlarda çökelmeye kimyasal ilavesi ile engel olunamamaktadır. Bazı durumlarda ise kimyasal ilavesinin işletme maliyeti çok yüksek çıkmakta ve tercih edilmemektedir.

Silika giderimi ise sertlik giderimine oranla daha zor bir prosestir. Koloidal silikayı ve bir bölüm çözünmüş silikayı koagülant veya polimer ilavesi ile çökeltmek veya filtrelerde tutmak mümkündür. Diğer bir silika giderme yöntemi de kireç-soda ile yumuşatma yöntemidir. Ancak bu yöntem çok eski bir yöntemdir ve artık tercih edilmemektedir. Söz konusu yöntemler, yüksek debiler ile çalışılmadığı sürece yüksek maliyetler oluşturmamaktadır. Ancak, çözünmüş silikayı bu yöntemlerle genellikle yeterince gidermek mümkün olmamaktadır. Bu durumda, mikrofiltrasyon veya ultrafiltrasyon prosesleri kullanmak gerekir ki, bu prosesler yatırım maliyetini artırmaktadır. Son zamanlarda, oldukça yüksek silika değerlerine kadar çökelmeyi engelleyen antiskalantlar geliştirilmiştir.

4.1.6 Antiskalant dozajı ve pH ayarlamanın maliyete etkisi

Antiskalant, konsantre akım içinde geri kazanım oranına bağlı olarak 4-5 katına kadar konsantre olan bazı bileşiklerin membran yüzeyine çökmelerini engellemek

amacıyla dozlanmaktadır. Antiskalantlar, ilgili projeksiyonlarından elde edilen değerlere göre değişebilmekle birlikte, çoğunlukla 2-4 mg/l arasında dozlanmaktadır. Piyasada kullanılan antiskalantların fiyatı ortalama 2.5-9 $/kg arasındadır. 5,000 m^3/gün kapasiteli bir sistemde 6 $/Kg fiyatında 3 mg/l antiskalant dozlamanın günlük maliyeti 90 $, yıllık maliyeti ise 32,800 $ gibi azımsanmayacak bir maliyettir.

5,000 m^3/gün kapasiteli ve 100 Fr sertliğindeki bir sistemde çökelti oluşumuna karşı önlem almak için antiskalanta ilaveten 85 mg/l %98 sülfürik asit dozlanırsa, pH ayarından dolayı günlük kimyasal tüketimi 435 kg olmaktadır. Bunun maliyeti ise 155 $, yıllık maliyeti ise 56,600 $ gibi ciddi bir maliyettir. Böyle bir durumda yumuşatma sistemi yapmak çok daha ekonomik olmaktadır. Bu maliyet antiskalant maliyeti ile toplandığında, membran üzerinde çökelti kontrolünün yıllık maliyeti 90,000 $ civarına çıkmaktadır.

4.1.7 Kartuş filtrasyonun maliyete etkisi

Kartuş filtreler membranları küçük partiküllerden korumak amacıyla 1-5 mikron arasında seçilmekte ve 2-12 haftada bir değiştirilmektedir. Bu üniteler, hem ilk yatırım hem de işletme maliyetini az miktarda etkilemektedir. Kartuş filtrasyon üniteleri, genellikle ters osmoz sisteminin şasesi üzerine monteli olmakta ve membran prosesi maliyetinin %2-5`ini oluşturmaktadır. Membran prosesinin kapasitesi büyüdükçe, toplam maliyet içindeki yüzde oranı azalmaktadır.

4.2 Membran Seçiminin Maliyete Etkisi

İçme suyu arıtma sistemlerinde piyasada yaygın olarak dört model spiral sargılı ince film kompozit membran kullanılmaktadır. Bunlar, şebeke suyu, kuyu suyu (acı su) ve deniz suyu ters osmoz membranları ile nanofiltrasyon membranlarıdır. Dört model membran arasındaki fark besleme suyu tuzluluğuna göre kullanılabilirlikleri ve giderme verimleridir. Son yıllarda kuyu suyu membranlarının düşük basınçta işletilenleri de kullanılmaktadır. Tablo 4.1`de Dow Filmtec ve GE Osmonics markalarına ait 40” uzunluğundaki içme ve kullanma suyu membranlarına ait özellikler verilmiştir.

Tablo 4.1`de görüldüğü gibi nanofiltrasyon membranları ile daha düşük basınçlarda çalışılabilmektedir. Aynı şekilde düşük enerjili ters osmoz membranları ile de daha düşük basınçlarda çalışılabilmektedir. Ancak bu düşük enerjili membranlar normal

membranlara kıyasla besleme suyu kalitesine ve işletme şartlarına karşı daha hassastır ve ancak iyi kalitede besleme sularında tercih edilmektedir. Nanofiltrasyon membranları, içme suyu hazırlamak için ideal membranlardır. Diğer kuyu suyu membranlarına oranla sudaki tuzluluğun daha az bölümünü gidermekte ve daha az enerji harcamaktadır. Nanofiltrasyon membranları bazen `su yumuşatma membranları` olarak da adlandırılmaktadır. Ancak, çok yüksek tuzluluktaki sular için uygun değildirler. Deniz suyu membranları ise çok yüksek basınçlarda işletilmekte ve enerji maliyetleri yüksektir. Bu nedenle, son yıllarda deniz suyu membran prosesleri için enerji geri kazanım sistemleri geliştirilmiştir.

Tablo 4.1: Standart Test Şartlarında İçme Suyu Membranlarının Kıyaslanması (Filmtec membranlar için verilen değerler 25 ºC`de 20 dakika sonrasıdır. Osmonics membranlar için verilen değerler 25 ºC`de 24 saat sonrasıdır.)

Membran modeli	**Membran tipi**	**NaCl beslemesi (mg/l)**	**Ort. NaCl giderimi (%)**	**Geri kazanım (%)**	**Besleme basıncı (bar)**
Filmtec NF90-400	Kuyu suyu NF	2000	97	15	4.8
Filmtec BWLE-440	Kuyu suyu RO	2000	99.2	15	10.3
Filmtec BW30-400	Kuyu suyu RO	2000	99.5	15	15.5
Filmtec SWHR380	Deniz suyu RO	32000	99.7	8	55
Osmo Muni NF-365	Kuyu suyu NF	2000	98	15	6.9
Osmonics AK 8040F	Kuyu suyu RO	2000	99	15	8
Osmonics AG 8040F	Kuyu suyu RO	2000	99.5	15	15.5
Osmonics AD 8040F	Deniz suyu RO	32000	99.6	7	55

Filmtec nanofiltrasyon membranları ile %75 geri kazanmda işletilen 1,000 m³/gün kapasiteli ve 1,000 mg/l tuzluluktaki 15 ºC su sıcaklığındaki kuyu suyu sisteminin enerji tüketimi ortalama 408 kWh/gün iken, normal kuyu suyu ters osmoz membranları ile işletilen bir sistemin enerji tüketimi 888 kWh/gün olmaktadır. Birim enerji maliyetini 0.06 $/kWh alırsak, nanofiltrasyon membranları ile işletilen sistemin günlük enerji maliyeti 24.5 $, kuyu suyu ters osmoz membranları ile işletilen sistemin maliyeti ise 53.3 $'dır. Yani, iki sistem arasında %55 oranında bir enerji maliyeti farkı vardır.

Enerji maliyeti deniz suyu ters osmoz sistemlerinde çok ciddi bir işletme maliyeti faktördür. Bu maliyetle baş edebilmek için son yıllarda enerji geri kazanım sistemleri geliştirilmiştir. 1,000 m³/gün kapasiteli ve %35 geri kazanımda oranında işletilen 36,000 mg/l tuzluluktaki bir sistemin enerji tüketimi ~6264 kWh/gün ve birim enerji maliyeti ise 0.375 $/m³`tür. Söz konusu sistemin pistonlu hidrolik yük değiştirici tipi enerji geri kazanma ünitesi ile enerji tüketimi ~2500 kWh/gün ve birim enerji maliyeti ise 0.15 $/m³`tür. Bu rakamlarda ön arıtma grubu dikkate alınmamıştır.

Yukarıda verilen örneklerden de görüldüğü üzere enerji maliyeti sistemin en yüksek sürekli işletme maliyetini oluşturmaktadır. Bu nedenle membran seçimi yapılırken membran maliyeti yanında enerji tüketimlerine de dikkat etmek gerekmektedir. Özellikle sistem tasarımları yapılırken geri kazanım oranının ve konfigürasyonun enerji tüketimi üzerindeki etkisi incelenmeli ve ilk yatırım ile enerji maliyetleri arasındaki denge kurulmalıdır. Yüksek basınç pompaları, pompanın kendisi ve elektrik aksamından dolayı membran prosesi maliyetinin, membranlar ve membran kılıflarından sonra en büyük bölümünü oluşturmaktadır.

Nanofiltrasyon membranları daha düşük giderme verimi olduğu halde diğer tuzlu su membranlarına oranla daha pahalıdır. Bunun nedeni piyasada diğer membranlara oranla daha az satılıyor ve buna bağlı olarak daha az üretiliyor olmalarıdır. Üretim ne kadar fazla ise, fiyatlar o kadar düşmekte ve rekabet de o kadar artmaktadır.

Deniz suyu membranları diğer membranlara oranla daha pahalı membranlardır. Bunun iki nedeni vardır. Birincisi, basınca ve besleme suyu tuzluluğuna karşı daha dayanıklı üretilmeleri, diğeri ise kuyu suyu membranlarına oranla daha az tüketilmeleridir. Membranların maliyet kıyaslaması Tablo 4.2`de verilmiştir.

Tablo 4.2: Filmtec Membranların Maliyet Kıyaslaması

Membran Modeli	Filmtec NF90-400	Filmtec BWLE-440	Filmtec BW30-400	Filmtec SWHR380
Lokal fiyatı	900 $	785 $	750 $	875 $

Membranlar, membran proseslerde sistem maliyetinin en önemli bölümünü oluşturmaktadır. Kapasite arttıkça membranların toplam sistem maliyeti içindeki oranı daha da artmaktadır. 1,000 m³/gün kapasiteli bir sistemde membranların maliyeti membran prosesinin toplamda yaklaşık %40`ını oluştururken, 2,000 m³/gün

kapasiteli sistemde % 45`ini oluşturmakta ve bu oran sistemin kapasitesi arttıkça artmaktadır.

Membranlar 3-5 yılda bir yenilenmektedir. İyi işletilen sistemlerde bu süre 7 yıla kadar çıkabilmektedir. Çok daha uzun işletilen membranlar var ise de bu kadar iyi besleme suyu şartları pratikte çok nadir sağlanmaktadır. Membran değişimi yukarıda verilen oranlardan da anlaşılacağı üzere ciddi bir işletme maliyeti oluşturmaktadır. Bu nedenle, ön arıtmayı iyi yaparak ve sistemi, tasarım değerleri içinde kontrollü olarak işleterek membran ömrünü uzatmak önemli bir işletme maliyeti kazancı sağlamaktadır.

Membran seçiminin etkilediği bir faktör de membran kılıflarıdır. Nanofiltrasyon membranları ve düşük basınçlı membranlar için 300 psi basınç dayanımındaki membran kılıfı yeterli olabilirken, normal kuyu suyu membranlarında çoğunlukla 450 psi dayanımdaki kılıfın kullanılması gerekmektedir. Deniz suyu membranları için ise 1000 psi veya 1200 psi basınç dayanımında membran kılıfı seçmek gerekmektedir. Membran kılıflarının fiyatları, içlerine alabildikleri membran sayısı ve basınç dayanımı arttıkça artmaktadır. Bu nedenle deniz suyu membranları için kullanılan membran kılıfları diğerlerine kıyasla daha pahalıdır. Membran kılıfları, özellikle büyük sistemlerde membranlardan sonra membran prosesinde en yüksek maliyeti oluşturmaktadır.

4.3 Sistem Tasarımının Maliyete Etkisi

İçme suyu elde etmek için kullanılan membran proseslerde saf su üretimi hedeflenmediği için tek kademeli sistem tasarımı yapılmaktadır. Ancak, tek kademeli sistem farklı konfigürasyonlarda kurulabilir. Örneğin, 8 modülden çıkan konsantre su 4 modüle girebilir, veya 6 modülden çıkan konsantre su önce 4 modüle sonra da 2 modüle girecek şekilde tasarlanabilir. Bu, ağaç şeklindeki modül tasarımları faklı düzenlemelerle yapılabilmektedir. Genellikle arıtılacak su kapasitesi arttıkça, modül sıra sayıları da artmaktadır. Küçük kapasiteli sistemler tek sıralı dizayn edilirken, orta ve büyük ölçekli sistemler çoğunlukla iki veya üç sıralı dizayn edilmektedir. Bu düzenlemeler, sistemin enerji tüketimleri üzerinde etkili olmakta ve sıra sayısı arttıkça uygulanması gereken basınç artmaktadır. Örneğin, 1800 m^3/gün kapasiteli 500 mg/l tuzluluktaki bir kuyu suyu ters osmoz sisteminin konfigürasyonu, 72 membran ile her biri 6 membran içeren 12 modül tek aşamalı, 8 ve 4 modül şeklinde

iki aşamalı veya 6, 4 ve 2 modül şeklinde üç aşamalı yapılabilmektedir. Bu konfigürasyonlarda iki aşamalı sistem tek aşamalı sisteme oranla %10 daha yüksek basınçla beslenmektedir. Üç aşamalı sistem ise, tek aşamalı sisteme oranla %30 ve iki aşamalı sisteme oranla %16 daha yüksek basınç ile beslenmektedir. Büyük kapasitelerde tek aşamalı paralel bağlı modüller geri kazanım oranının düşüklüğünden dolayı tercih edilmemektedir. Büyük kapasitedeki sistemlerin konfigürasyonu iki veya üç aşamalı yapılır ki, iki aşamalı sistem işletme maliyeti açısından daha ekonomik olmaktadır.

Akı, enerji tüketiminde tasarım açısından çok etkili bir faktördür. Membranın metrekaresi başına ne kadar ürün elde edilmek isteniyorsa, uygulanması gereken basınç da ona bağlı olarak artmakta ve sistemde harcanan enerji o kadar fazla olmaktadır. O nedenle, ters osmoz ve nanofiltrasyon sistemlerini dizayn ederken, az membran kullanarak ilk yatırım maliyetinden kaçınmak işletme maliyetini artırmaktadır. Bu dengenin iyi kurulması gerekmektedir.

Membran prosesinin dizaynında maliyeti etkileyen diğer bir önemli faktör geri kazanım oranıdır. Sistemin geri kazanım oranı arttıkça uygulanan basınç artmakta, ancak besleme debisi ve birim enerji maliyeti düşmektedir. Aynı zamanda, besleme debisi düştüğü için ön arıtma grubunun yatırım maliyeti de düşmektedir. Bundan başka geri kazanım oranı arttıkça konsantre akımının konsantrasyonu da artmakta ve buna bağlı olarak dozlanan antiskalant ve/veya asit konsantrasyonu da artmaktadır. Bununla birlikte, membranların daha sık yıkamaya tabi tutulması da önemli bir faktördür. Su sıkıntısı yaşanmayan yerlerde geri kazanım oranını yüksek seçmemek doğru bir yöntemdir. Yüksek geri kazanım oranı tercih edildiğinde, daha fazla daha fazla çökelti problemi yaşanmaktadır. Bu hesapların sistemin tasarımı sırasında dikkatle yapılması gerekmektedir. Bazen işletme maliyetleri o kadar yüksek olabilmekte ki, ilk yatırım maliyeti artırılarak geri kazanım oranı düşük sistemler daha ekonomik olmaktadır. Çoğunlukla ise, özellikle suyun pahalı olduğu durumlarda geri kazanım oranı yüksek sistemler daha ekonomik bir seçim olmaktadır.

Besleme suyu fazla tuzlu olmayan sistemlerde, konsantre akımının bir bölümü basınç pompasının girişine verilebilmektedir. Ancak, bu uygulamanın çok dikkatli yapılması gerekmektedir. Çünkü, membranlar daha tuzlu suyla besleneceği için, çökelti ve tıkanmaya karşı daha büyük bir potansiyelle karşı karşıya kalmaktadırlar.

Dozlanacak kimyasalların miktarı artmakta ve membran temizleme aralığı kısalmaktadır. Bu yöntem, büyük sistemlerde ön arıtma grubunun kapasitesini düşürmek için de kullanılabilmektedir. Ama, bu uygulama tuz yükü düşük sular ile yapılmaktadır.

4.4 Besleme Suyu Kalitesinin Maliyete Etkisi

Besleme suyunun tuzluluğunun ve sıcaklığının, maliyet üzerinde sistem dizaynı ve besleme basıncı bakımından önemli etkisi vardır. Tuzluluk oranı membran tipini, membran adedini, besleme basıncını, borulama malzemesini ve kimyasal tüketimini etkilemektedir. Sıcaklık ise, en çok besleme basıncını doğrudan etkilemektedir.

Nanofiltrasyon membranları normal tuzlu su membranlarına göre daha pahalı olmalarına rağmen, sistem tasarımları ve üretilecek su için gerekli membran adetleri birbirine çok yakındır. Ancak deniz suyu ile aynı miktardaki suyu üretmek için en az %50 daha fazla membran kullanılmaktadır. Deniz suyu membranlarının daha pahalı olduğu ve sistemde kullanılan malzemelerin korozyon ile basınca karşı dayanıklı seçilmesi gerektiği göz önüne alınırsa, çok daha yüksek ilk yatırım maliyeti ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, deniz suyu arıtma sistemi sadece başka doğal su kaynağı kullanılamadığı zaman tercih edilmelidir.

Suyun tuzluluğu arttıkça sistemin ürün debisi de azalmaktadır. Bu durumda, ya daha fazla membran kullanmak ya da besleme basıncını artırmak gerekmektedir. Örneğin, 1000 m^3/gün kapasiteli 500 mg/l tuzluluktaki bir kuyu suyu ters osmoz sistemi için gerek duyulan besleme basıncı yaklaşık 16 bar iken, 2000 mg/l tuzlulukta gerek duyulan basınç yaklaşık 19 bardır. Yani, hem işletme maliyeti hem de daha yüksek güçte ve iyi malzeme kalitesinde pompa seçiminden dolayı ilk yatırım maliyeti artmaktadır.

Sıcaklığın da işletme maliyeti üzerinde ciddi etkisi vardır. Suyun sıcaklığı arttıkça uygulanması gereken basınç azalmaktadır. Örneğin, 1000 m^3/gün kapasiteli 2000 mg/l tuzluluktaki bir ters osmoz sistemine 10 ºC su sıcaklığında 22 bar basınç uygulanması gerekirken, 25 ºC su sıcaklığında 15 bar`dan az basınç yeterli olmaktadır. Bu durum, hem işletme maliyetini hem de daha güçlü pompa seçiminden dolayı ilk yatırım maliyetini artırmaktadır.

Nanofiltrasyon sistemlerinde besleme basıncı düşük ise bütün borulama, plastik alaşımlı (PVC, PP, vs.) yapılabilmektedir. Kuyu suyu ters osmoz sistemlerinde basınçsız hatlar plastik malzemeden yapılabilirken, basınçlı hatlar paslanmaz çelik malzemeden seçilmektedir. Deniz suyu sistemlerinde ise basınçlı hat borulamaları tuzluluğa dayanıklı dubleks adı verilen yüksek alaşımlı çelik malzemeden seçilir ki, bu malzeme ilk yatırım maliyetini ciddi oranda etkilemektedir. Besleme basıncı seçilecek modülün basınç dayanımını da belirlediği için maliyeti etkilemektedir. Deniz suyu sistemlerinde 1000-1200 psi basınca dayanıklı modüller seçilir ve bu modüller 300-450 psi modüllere oranla %35 daha pahalıdır. Tablo 4.3`de tuzluluk, basınç ve sıcaklığın ilk yatırım ve işletme maliyeti üzerindeki etkileri verilmiştir.

Yukarıdaki örneklerde verilen basınç değerleri Dow markasına ait Filmtec NF90-400 ve Filmtec BW30-400 model membranların Rosa projeksiyon programındaki tıkanma faktörü 0.90 ile elde edilen sonuçlar referans alınarak verilmiştir.

Tablo 4.3: Tuzluluk, basınç ve sıcaklığın yatırım ve işletme maliyeti üzerinde etkisi

Durum	**Birincil etki**	**İşletme maliyetine etkisi**	**Yatırım maliyetine etkisi**	**Su kalitesine etkisi**
Tuzluluk artarsa	Basınç artar	İşletme maliyeti artar	Pompa maliyeti artar	Arıtılmış su kalitesi düşer
Sıcaklık artarsa	Basınç azalır	İşletme maliyeti azalır	Pompa maliyeti azalır	Arıtılmış su kalitesi düşer
Basınç artarsa	Üretilen su miktarı artar	İşletme maliyeti artar	Pompa maliyeti artar	Arıtılmış su kalitesi yükselir

4.5 Membran Prosesi Sonrası İşlemlerin Maliyete Etkisi

Membran prosesinden sonra ürün suyunun kalitesine ve kullanım yeri mesafesine göre ilave işlemler yapılabilmektedir. Çoğunlukla, içme suyunda dezenfeksiyon işlemi uygulanmakta ve bu amaçla suya klor dozlanmaktadır. Dozlanan klor miktarı, sadece su depolanırken veya iletim hattındayken oluşabilecek bakteriyolojik kirlenmeye karşıdır ve düşük dozlardadır. Klor dozaj ünitelerinin yatırım maliyetleri de düşüktür. Bu nedenle, ileri dezenfeksiyonun toplam maliyetlere etkisi düşüktür.

Bir başka membran prosesi sonrası işlem ise suyun pH`ını ayarlamaktır. Membran prosesinden çıkan ürün suyunun pH derecesi, giriş suyuna bağlı olarak 4.5-6.0 arasındadır ve çoğunlukla 5.0-5.5 civarlarındadır. Bu pH derecesi, içme suyu için çok

düşüktür ve ideal olan 7.0-8.0 pH aralığına çekilmesi gerekmektedir. Bu işlem suya kostik dozlayarak yapılabileceği gibi, kireç dozlayarak da yapılabilmektedir. Kireç dozajının bir avantajı, fazla demineralize edilmiş suya bir miktar mineral eklemesi ve sertliği artırmasıdır. Diğer bir avantajı da, kirecin kostiğe göre daha ucuz ve daha az korozif bir kimyasal olmasıdır. pH ayarı için gerekli kimyasal dozajını azaltmak amacıyla sistemin sonuna bir karbondioksit giderici eklenebilmektedir. Karbondioksit giderici ile suyun içerisindeki karbondioksit miktarı düşürülerek pH derecesi yaklaşık 0.5 birim yükseltilmektedir. Karbondioksit giderici, sistemin ilk yatırım maliyetini % 3-6 oranında artırmaktadır. Bazı tesislerde karbondioksit gidericinin terfi pompası masrafından kaçınmak için, karbondioksit giderici kolonu, temiz su deposunun üstüne yerleştirilmektedir. Bu yöntem, özellikle büyük sistemlerde ciddi tasarruf sağlamaktadır.

4.6 Enerji Geri Kazanma Ünitesinin Maliyete Etkisi

Deniz suyu ters osmoz sistemlerinde yüksek enerji ihtiyacını ve birim işletme maliyetini düşürmek için, basınçlandırılmış konsantre akımdaki enerjiyi geri kazanmak amacıyla enerji geri kazanım sistemleri kullanmak gerekmektedir. Bu şekilde en az % 35 oranındaki enerjiyi geri kazanmak mümkün olmaktadır. Enerji geri kazanım üniteleri, easasen deniz suyu arıtma sistemleri için çok uygun olsa da, kuyu suyu uygulamalarında da kullanılmaları mümkün olmaktadır. [13]

Deniz suyu ters osmoz sistemlerinde enerjiyi geri kazanmak için birkaç sistem geliştirilmiştir. Bunlar:

-Konsantre akımdaki hidrolik enerjinin % 85-90`nını geri kazandıran Pelton çarkı.

- Konsantre akımdaki hidrolik enerjinin %80-90`nını geri kazandıran kademeli ters çalışan santrifüj pompa.

- Konsantre akımdaki hidrolik enerjinin %90-95`ini geri kazandıran pistonlu hidrolik yük değiştirici.

Bu çalışmada yüksek geri kazanım sağlayan pistonlu hidrolik yük değiştirici kullanılmıştır. Bu üniteler, sistemin ilk yatırım maliyetini ürün suyu kapasitesine bağlı olarak %10-20 oranında artırmaktadır. Ancak bu miktar, elde edilen enerji kazancı ile 1-1.5 yılda geri kazanılmaktadır.

4.7 Kontrol Cihazlarının ve Otomasyonun Maliyete Etkisi

Kontrol ve otomasyon birimleri su arıtma sistemlerinde ve özellikle membran prosesler gibi ileri arıtma sistemlerinde çok önemli ünitelerdir. Sistemlerin sürekli ve doğru çalışması bu üniteler sayesinde temin edilmektedir. Ayrıca, otomatik kontrol üniteleri sistemin bir operatör ile kontrol edilme ihtiyacını azalttığı için işletme maliyetini düşürmektedir. Bundan başka operatör dikkatsizliğine ve hatalarına karşı da sistemi korumaktadır. Membran proseslerde en önemli kontrol cihazları debimetre, iletkenlik ölçer, sıcaklık ölçer, basınç ölçer ve klor ölçerdir. Sistemin çıkış suyu kalitesinin takip edilmesi ve sistem debilerinin kontrol edilmesi için, sistemde iletkenlik ölçer ve debimetrelerin bulunması şarttır. Sisteme klorlu ve sıcaklık sınırını aşan suların girmemesi için klor ölçer ve sıcaklık ölçer de kullanılmaktadır. Ayrıca, yüksek basınçların sisteme zarar vermemesi için basınç ölçerler kullanılmaktadır.

Bütün bu kontrol cihazlarını, basınç pompasının durup çalışmasını ve sistemdeki otomatik vanalar gibi ekipmanların çalışmalarını yönetecek bir otomasyon sistemi gerekmektedir. Membran sistemi üzerindeki elektrik panosu ve otomasyon biriminin maliyeti sistemin kapasitesine göre değişmektedir. Ölçüm ve kontrol cihazları, toplam ilk yatırım maliyetini %5-10 oranında artırabilmektedir.

4.8 Maliyeti Etkileyen Diğer Unsurlar

Maliyeti artıran diğer unsurlar arasında, sisteme ayrılan alan ve sistem için yapılan inşaat en yüksek maliyeti oluşturmaktadır. Arazi ve inşaat, sistemin ilk yatırım maliyetine %8-12 oranında ilave maliyet getirmektedir.

Maliyeti etkileyen bir diğer unsur ise, su temini ve depolama ile iletimidir. Yüzey sularında su alma yapıları yapmak, yeraltı sularında ise kuyu açmak ve bundan sonra da, suyu ham su deposuna iletecek pompaları temin etmek gerekmektedir. Ayrıca, alınan suyu ham su deposuna taşıyacak boru hattı ile ham su deposu da maliyeti artırmaktadır. Arıtılan suyu depolamak ve iletmek ise, diğer bir maliyet unsurudur. Sonuç olarak, su alma, depolama ve iletme birimleri sistemin ilk yatırım maliyetini artırmaktadır.

Su satın alınıyorsa, su fiyatı da bir işletme maliyeti oluşturmaktadır. Diğer bir maliyet unsuru ise yedek parçalardır. Sistemin iki yıllık yedek parça gideri genellikle, ilk yatırım maliyetinin, %3-5'i arası kabul edilmektedir.

5. SİSTEM TASARIMI VE MALİYET ANALİZ METODLARI

5.1 Projeksiyon Programı ve Tasarımların Yapılışı

Bu çalışmada, Türkiye`nin çeşitli bölgelerindeki yeraltı su kaynakları ile deniz suyunun içme ve kullanma suyu üretimi için membran prosesler ile arıtılmasının maliyeti incelenmiştir. Bu amaçla, yeraltı ve yüzeysel su kaynakları için ters osmoz veya nanofiltrasyon membranları ve deniz suyu için deniz suyu ters osmoz membranları kullanılarak farklı tasarımlar yapılmıştır. Bu tasarımlarda, kapasitenin, akının, su kalitesinin, geri kazanma oranının, ön arıtmanın, enerjinin ve kimyasal kullanımının maliyete etkileri analiz edilmiştir. Sistemler hem ilk yatırım maliyetleri hem de işletme maliyetleri kapsamında incelenmiş ve uzun vadedeki kazanımlar ilk yatırım maliyetleri ile kıyaslanmıştır. Çalışmada kullanılan su analizleri, General Elektrik W&PT Haasrode-Belçika laboratuarındaki su analiz kayıtlarından, Kimser Analiz laboratuvar kayıtlarından ve su arıtma firmalarından temin edilmiştir.

5.1.1 Membran prosesi projeksiyon programının tanıtımı

Membran üretici firmalar, ürettikleri membranların üzerinde kapsamlı araştırmalar yaparak membranın çeşitli su kalitelerinde, farklı tasarımlarda ve işletme şartlarında davranışlarını incelemektedirler. Bu incelemeler neticesinde elde edilen datalardan bir takım modeller çıkarılmaktadır ve üretici firmalar bu modellerin data olarak girildiği bir program hazırlamaktadırlar. Söz konusu programlarda, kullanılacak membranın tasarlanan sistem içerisindeki beklenen performansı bir çok açıdan görülebilmektedir.

Bu çalışma için yapılan membran prosesi tasarımları Filmtec membranlar ile yürütüldüğü için, Dow Chemicals firmasının kendi ürettiği Filmtec marka membranların projeksiyonunun yapılması amacıyla hazırladığı Ters Osmoz Sistemi Analiz programı ROSA kullanılmıştır. Tasarımlar söz konusu programın en son versiyonu olan 6.0.1 versiyonu ile yapılmıştır.

ROSA 6.0.1 projeksiyon programına data olarak ham su kalitesi, su kaynağı ve SDI değeri ile su sıcaklığı girilmektedir. Bundan başka programa data olarak, sistemin başında yumuşatma yapılacaksa, yumuşatma yapılacağının ve pH ayarı yapılacaksa, hangi pH değerinde su verileceğinin bilgileri girilmektedir. Bu data girişlerinden sonra ürün suyu miktarı, geri kazanım oranı, tıkanma faktörü, membran tipi ve membran adedi ile membran konfigürasyonu girilerek programın akıyı, besleme suyu basıncını ve çıkış suyu kalitesini hesaplaması istenmektedir. Bu program kullanılarak, aynı kapasitedeki suyu çeşitli konfigürasyonlar ve farklı membran tipleri kullanarak değişik tasarımlar ile elde etmek mümkündür.

5.1.2 Projeksiyon programında kullanılan parametreler ve denklemler

Sistemin tuz geçirgenliği SP_s, aşağıdaki denklemde verildiği gibi bileşiğin ürün suyu konsantrasyonunun (C_p) (iyon, organik bileşik veya TDS) besleme suyundaki konsantrasyonuna (C_f) oranı alınarak hesaplanmaktadır.

$$SP_s = C_p / C_f \tag{5.1}$$

Sadece ham su ile beslenen sistemlerde, SP_s, sistemin geri kazanım oranının Y ve membran tuz geçişinin SP_M bir fonksiyonudur:

$$SP_s = \frac{1 - (1 - Y)^{SP_M}}{Y} \tag{5.2}$$

Burada, membranın tuz geçirgenliği SP_s, bileşiğin ürün suyu konsantrasyonunun (C_p) besleme/konsantre tarafındaki ortalama konsantrasyonuna (C_{fc}) oranıdır.

$$SP_s = C_p / C_{fc} \tag{5.3}$$

Konsantre akımın sirküle edildiği sistemlerde aşağıda hesaplaması verilen β değeri kullanılmaktadır.

$$\beta = \frac{\text{Modülden çıkan ürün debisi}}{\text{Modülden çıkan konsantre debisi}} \tag{5.4}$$

Konsantrenin kısmi olarak beslemeye sirküle edildiği sistemlerde tuz geçirgenliği,

$$SP_s = \frac{(1+\beta)^{SP_M} - 1}{Y(1+\beta)^{SP_M} - Y(1+\beta) + \beta} \tag{5.5}$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Resirkülasyon akımları olan çok kademeli sistemlerde bu tuz geçişi her kademe için ayrı ayrı hesaplanmaktadır.

Ters osmoz sisteminin performansı besleme basıncı ve tuz geçişi ile tanımlanmaktadır. RO membranından geçen debi (Q), en basit tarifle membranın ıslak yüzey alanı (S) ile net basıncın çarpımı ile hesaplanmaktadır ($\Delta P - \Delta\pi$) .

$$Q = (A)(S)(\Delta P - \Delta\pi) \tag{5.6}$$

Tuz geçişi difüzyon ile gerçekleşmektedir. Bu nedenle, tuz akısı (N_A) membranın iki tarafındaki tuz konsantrasyon farkı ile orantılıdır.

$$N_A = B(C_{fc} - C_p) \tag{5.7}$$

Besleme basıncını ve ürün suyu kalitesini hesaplamak için ortalama değerler kullanılmaktadır. Eğer membran adedi yerine besleme basıncı verilirse, membran adedini hesaplamak çok daha kolay olmaktadır. Projeksiyon programında kullanılan tasarım denklemleri Tablo 5.1`de verilmiştir.

5.1.3 Membran prosesinin tasarım aşamaları

Membran prosesi tasarımında aşağıdaki aşamalar takip edilmiştir:

Aşama 1. Besleme ve arıtılmış su özelliklerinin belirlenmesi: Membran sisteminin tasarımı, su özelliği, miktarı ve kullanım amacına bağlıdır. Bu nedenle, önce su analizleri temin edilmiş ve kullanılabilecek su miktarı belirlenmiştir. Sonra da kullanım amacına uygun su kalitesi ve kapasitesi tespit edilmiştir.

Tablo 5.1: Filmtec Membranları İçin Projeksiyon Programı Tasarım Denklemleri [21]

Madde	Denklem	Denklem No.su
Toplam ürün debisi	$Q = N_E S_E \overline{A}\,\overline{\pi}(\mathrm{TCF})(\mathrm{FF})P_f - \frac{\overline{\Delta P}_{fc}}{2} P_p - \pi_f\left[\frac{\overline{C}_{fc}}{C_f} p_f - (\overline{1} - \overline{R})\right]$	(5.8)
Konsantrenin konsantrasyonun besleme konsantrasyonuna oranı	$\frac{C_{fc}}{C_f} = \frac{-\overline{R}\ln(1 - Y/Y_L)}{Y - (1-Y_L)\ln(1 - Y/Y_L)} + (1 - \overline{R})$	(5.9)
Sistemin maksimum geri kazanımı	$Y_L = 1 - \frac{\pi_f(\overline{pf})(\overline{R})}{P_f - \overline{\Delta P}_{fc} - P_p}$	(5.10)
Konsantre taraftaki konsantrasyonun besleme tarafındakine yaklaşık log-ortalama oranı	$\left.\frac{C_{fc}}{C_f}\right\|_{Y_L,\overline{R}=1} = -\frac{\ln(1-Y)}{Y}$	(5.11)
Ortalama membran geri kazanımı	$Y_i = 1 - (1-Y)^{1/n}$	(5.12)
Ortalama polarizasyon faktörü	$\overline{pf} = EXP[0.7\overline{Y}_i]$	(5.13)
Konsantre taraftaki ortalama osmotik basınç	$\overline{\pi} = \pi_i\left(\frac{\overline{C}_{fc}}{C_f}\right)\overline{pf}$	(5.14)
2 kademeli sistemde konsantre tarafındaki basınç düşmesi	$\overline{\Delta P}_{fc} = 0.04\overline{q}_{fc}^{\,2}$	(5.15)
	$\Delta P_{fc} = \left[\frac{0.1(Q/1440)}{YN_{V2}}\right]\left(\frac{1}{N_{VR}} + 1 - Y\right)$	(5.16)
Tek bir membranın veya tek kademeli sistemde konsantre tarafındaki basınç düşmesi	$\Delta P_{fc} = 0.01n\overline{q}_{fc}^{\,1.7}$	(5.17)
Membran tuz geçirgenliğinin konsantre tarafındaki ortalama osmotik basıncın fonksiyonu olarak hesaplanması	$\overline{A}(\overline{\pi}) = 0.125; \overline{\pi} \le 25$	(5.18)
	$\overline{A}(\overline{\pi}) = 0.125 - 0.011\left(\frac{\overline{\pi} - 25}{35}\right); 25 \le \overline{\pi} \le 200$	(5.19)
	$\overline{A}(\overline{\pi}) = 0.070 - 0.0001(\overline{\pi} - 200); 200 \le \overline{\pi} \le 400$	(5.20)
Ürün konsantrasyonu	$C_p = BC_{fc}\overline{pf}(\mathrm{TCF})\left(\frac{N_E S_E}{Q}\right)$	(5.21)

Aşama 2. Akış konfigürasyonunun ve kademe sayısının belirlenmesi: Tuzsuzlaştırma sistemlerinde standart debi konfigürasyonu sadece ham su ile beslemedir. Bazen daha yüksek geri kazanım oranı elde etmek veya konsantre tarafındaki su miktarını artırmak için konsantre resirkülasyonu yapılabilmektedir.

İçme suyu arıtmak için tasarlanan sistemlerin neredeyse tamamı tek kademelidir. Ürün suyunun ikinci bir membran sistemine girdiği iki kademeli sistemler sadece çok yüksek tuzluluk durumlarında kullanılmaktadır. Ancak, iki kademeli sistemler içme suyu üretimi için ekonomik değildir. Bu çalışmada sadece tek kademeli sistemler kullanılmıştır.

Aşama 3. Membran tipinin seçilmesi: Membranların seçimi besleme suyu tuzluluğuna göre belirlenmiştir. Az tuzlu sular için nanofiltrasyon membranları, TDS değeri 1,000 mg/l`den fazla olan sular için kuyu suyu ters osmoz membranları ve TDS değeri 10,000 mg/l`den fazla olan sular için deniz suyu membranları kullanılmıştır.

Aşama 4. Ortalama membran akısının seçilmesi: Sistemin ortalama membran akısı seçilirken Tablo 5.2`de verilen tasarım akı değerleri örnek alınmıştır.

Tablo 5.2: 8" Filmtec membranları için SDI, akı ve geri kazanım oranları ve konsantre ile besleme debisinin limitleri.[21]

Su kaynağı	RO ürün	Kuyu	Yüzey suyu		Deniz suyu	
Giriş SDI indeksi	SDI<1	SDI<3	SDI<3	SDI<5	SDI<3	SDI<5
Ortalama sistem akısı l/m^{2}st	36-43	27-34	22-29	20-27	13-20	11-17
Maksimum eleman geri kazanımı %	30	19	17	15	15	13
Minimum Konsantre Debisi (m^3/st)						
BW membranları (400 ft^2 ve 440 ft^2)	2.3	3.0	3.0	3.4		
NF membranları	2.3	3.0	3.0	3.4		
SW membranları	2.3	3.0	3.0	3.4	3.0	3.4
Maksimum Besleme Debisi (m^3/st)						
BW ve NF membranlar (400 ft^2)	17	17	17	15		
SW membranları (380 ft^2)	16	16	16	15	16	14

Aşama 5. Gerekli Membran sayısının hesaplanması: Membran sayısı (N_E) ürün debisinin (Q_p) tasarımında seçilen akıya (f) ve kullanılan membranın yüzey alanına (S_E) bölünerek elde edilmektedir:

$$N_E = Q_p / (f. S_E) \quad (5.22)$$

Aşama 6. Gerekli membran kılıf sayısının hesaplanması: Gerekli membran kılıfı adeti *(N_V)*, toplam membran sayısının *(E_p)*, bir kılıfa girecek membran sayısına *(N_{EpV})* bölünmesi ile bulunmuştur:

$$N_V = E_p / N_{EpV} \quad (5.23)$$

Aşama 7. Aşama sayısının belirlenmesi: Aşama sayısı besleme suyunun sistemden çıkan ve konsantre olarak deşarj edilene kadar kaç adet membran kılıfını geçmesi gerektiğini ifade etmektedir. Her aşamada belli sayıda paralel bağlı membran kılıfı vardır. Aşama sayısı, geri kazanım oranı, kılıf başına düşen membran adedi ve ham suyun tuzluluğunun bir fonksiyonudur. Sistem geri kazanım oranı ne kadar yüksekse ve suyun tuzluluğu ne kadar az ise, membranları o kadar çok seri halinde çalıştırmak mümkündür. Kuyu suyu ve deniz suyu membranları için geri kazanım oranına göre aşama sayıları Tablo 5.3`de verilen değerlere göre tespit edilmiştir.

Tablo 5.3: Kuyu Suyu ve Deniz Suyu Membran Sistemleri İçin Aşama Sayıları [21]

Geri kazanım (%)	Seri bağlı halde membran adedi	Kademe sayısı (6-elemanlı kılıflarda)
Kuyu suyu sistemleri		
40-60	6	1
70-80	12	2
85-90	8	3
Deniz suyu sistemleri		
35-40	6	1
45	7-12	2
50	8-12	2
55-60	12-14	2

Aşama 8. Aşama oranının seçilmesi: Membran kılıfı sayısının sonraki aşamalarla ilişkisi aşama oranı *(R)* olarak tanımlanmaktadır.

$$R = N_V(i) / N_V(i+1) \quad (5.24)$$

Birinci aşamada 4 membran kılıfı, ikinci aşamada 3 membran kılıfı ve üçüncü aşamada 2 membran kılıfı bulunan, 3 aşamalı bir sistemin aşama oranı 4:3:2 olarak alınmıştır.

İdeal bir sistemde bütün membran kılıfları aynı sayıda eleman içermekte ve her aşamada aynı oranda geri kazanım oranı elde edilmektedir. Aşama sayısı *n* olan bir sistemde aşama oranı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$R = [\ 1 / (1 - Y)\ ]^{1/n} \qquad (5.25)$$

Birinci aşamadaki membran kılıfı adedi *Nv(1),* aşama oranı toplam membran kılıfı adedine bölünerek bulunabilmektedir.

İki aşamalı ve üç aşamalı sistemlerde birinci aşamadaki membran adedi sırasıyla aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$Nv(1) = \frac{Nv}{1 + R^{-1}} \quad (n = 2) \quad , \quad Nv(1) = \frac{Nv}{1 + R^{-1} + R^{-2}} \quad (n = 3) \qquad (5.26)$$

İkinci aşamadaki membran kılıfı sayısı ise,

$$Nv(2) = Nv(1) / R \text{ ile hesaplanmaktadır.} \qquad (5.27)$$

Diğer bir konfigürasyon şekli ise birinci aşamanın besleme debisi ile son aşamanın konsantre debisini belirlemektir. Bu metotta, besleme debisi her 6 elemanlı 8" membran kılıfından 8-12 m^3/st su geçecek şekilde seçilmektedir. Bu durumda, son aşamadaki membran kılıfı adedi, her bir kılıftan minimum konsantre debisi olan 3.6 m^3/st konsantre akımı geçecek şekilde seçilmektedir. Bu çalışmada, bu metodun kullanılması tercih edilmiştir.

Aşama 9. Ürün suyu debi oranının dengelenmesi: Sistemin sonunda yer alan membranların ürün debisi normalde ön sırada bulunan membranlara oranla daha azdır. Bu durum, besleme/konsantre kanalındaki basıncın düşmesi ile beslemeden konsantreye doğru osmotik basıncın yükselmesinin bir sonucudur. Yüksek sistem geri kazanım oranı, yüksek besleme suyu tuzluluğu, yüksek su sıcaklığı ve yeni membranların çalıştırılması durumlarından herhangi birinde ilk membranlar ile son membranların ürün suyu debisi oranı çok yüksek çıkabilmektedir. İyi bir tasarımda bu oranın çok yüksek olmaması gerekmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada bu orana dikkat edilmiştir.

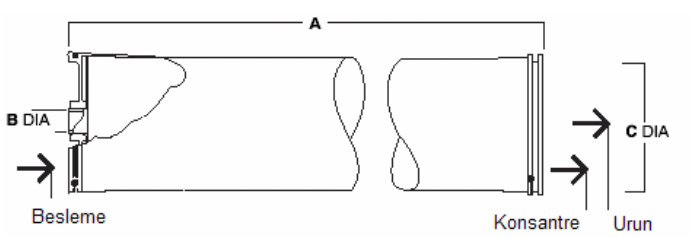
Aşama 10. Membran sisteminin analiz ve optimize edilmesi: Yukarıda verilen aşamalar tamamlandıktan sonra ROSA (Reverse Osmosis System Analysis) programı kullanılarak sistem analiz edilmiş ve gerekli küçük değişikliklerden sonra tasarımın son hali verilmiştir.

5.1.4 Sistemlerin tasarımında kullanılan membranların teknik özellikleri

Sistemlerin tasarımında NF90-200 nanofiltrasyon membranları, BW30-400 kuyu suyu membranları ve SWHR-380 deniz suyu membranları kullanılmıştır. Bu membranlar, tuz tutma kapasiteleri, yüksek verimleri ve yaygın olarak kullanılıyor olmalarından dolayı tercih edilmiştir. Söz konusu membranlara ait teknik özellikler Tablo 5.4`de verilmiştir.

Tablo 5.4: Sistemlerin Tasarımında Kullanılan Membranların Teknik Özellikleri [21]

Membran modeli	NF90-400	BW30-400	SWHR-380
Membran tipi	İnce film kompozit poliamid		
Aktif alan (ft^2 - m^2)	400 – 37	400 – 37	380 – 35
Besleme kanalı boşluğu (mil)		28	28
NaCl tutma oranı (%)	85-95	99.5	99.7
Std şartlarda ürün debisi (m^3/gün)	28.4	23	23
Maksimum işletme basıncı (bar)	41	69	69
Maksimum basınç düşmesi (bar)	1.0	1.0	1.0
Maksimum işletme sıcaklığı (ºC)	45	45	45
Sürekli işletmede pH aralığı	3-10	2-11	2-11
Kısa süreli temizlenmede pH aralığı	1-12	1-12	1-12
Maksimum silt densite indeksi (SDI)	5	5	5
Serbest klor toleransı (ppm)	< 1	< 1	< 1
Membran uzunluğu, *A* (inch - mm)	40 – 1,016	40 – 1,016	40 – 1,016
Membran çapı, *C* (inch - mm)	7.9 – 201	7.9 – 201	7.9 – 201
Ürün toplama kanalı çapı,*B* (inch-mm)	1.5 – 38	1.125 – 29	1.125 – 29

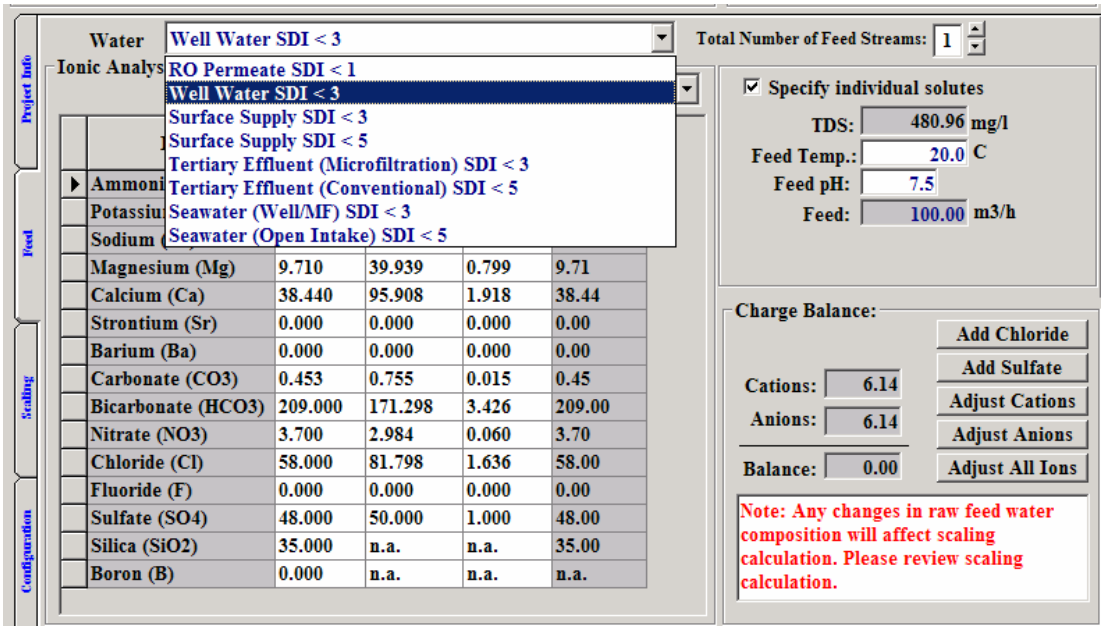


Az tuzlu sular için nanofiltrasyon membranları (NF), TDS değeri 1,000 mg/l`den fazla olan sular için kuyu suyu ters osmoz membranları (BW) ve TDS değeri 10,000 mg/l`den fazla olan sular için deniz suyu membranları (SW) kullanılmıştır.

5.1.5 Projeksiyon programının membran prosesinin tasarımında kullanılması

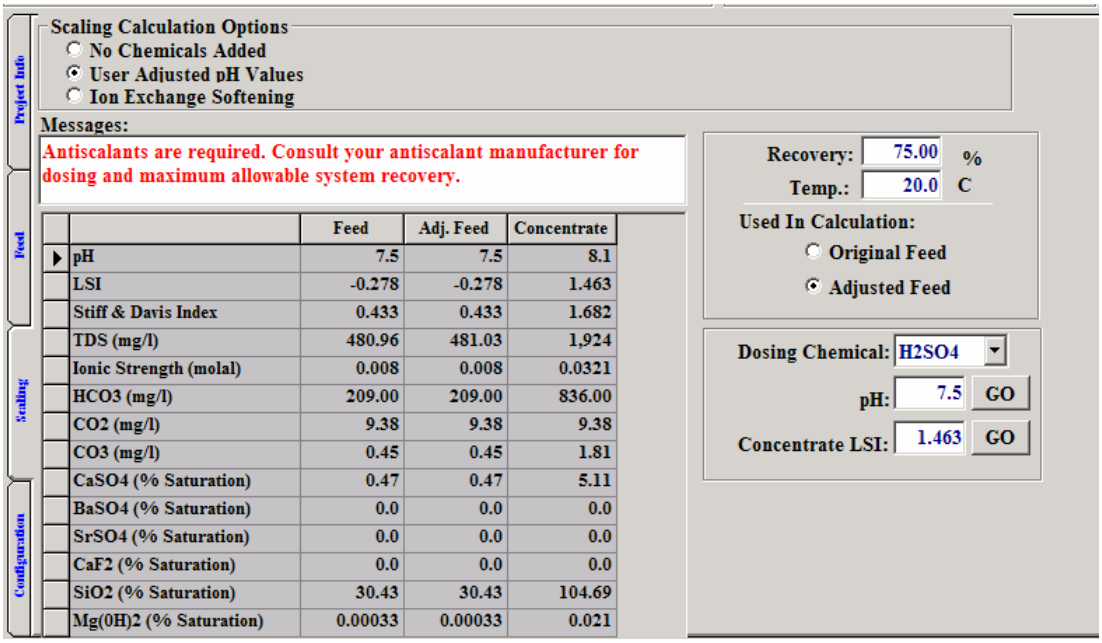
Ters osmoz sistemi tasarımı yapılırken projeksiyon programına girilen ilk data besleme suyu özellikleridir. Bu özellikler su tipi ile başlamaktadır. Su tipinin seçilmesi SDI değerinin belirlenmesi açısından önemlidir. SDI değeri, suyun 0.45 mikronluk bir filtreden geçirilmesi ile elde edilen bir değerdir. Bu değer, projeksiyon programı içerisinde membranın tıkanma ve su geçirme oranının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Kuyu suları alçak kuyu olmadığı sürece bulanık değildir ve SDI değeri çoğunlukla 3`ün altındadır. Bu nedenle programda, SDI < 3 olarak kabul edilmiştir.

Projeksiyon programında verilen ikinci data ham su değerleridir. Bu bölümde su sıcaklığı ve pH derecesi girildikten sonra, spesifik kirletici değerleri girilmektedir. Program, değerler girilirken katyon ve anyon dengesini yaparak verilerin balansını kontrol etmektedir. Girilen değerler, iyon olarak dengede değil ise kullanıcıya dengeye getirmek için beş seçenek sunulmaktadır. Bu seçenekler, dengenin katyon veya anyon yönünde bozulmasına bağlı olarak klorür eklemek, sülfat eklemek, bütün katyonları ayarlamak, bütün anyonları ayarlamak veya bütün iyonları ayarlamak şeklindedir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1: ROSA projeksiyon programında besleme suyu değerlerinin girildiği sayfa

Besleme suyu değerleri girildikten sonra ikinci sayfada membran prosesinden önce yumuşatma sistemi var ise, bu bilgi verilmekte ve pH ayarı yapılacaksa, hangi kimyasal ile pH değerinin kaça çekileceği bilgisi girilmektedir. pH değeri suyun Langlier Doygunluk İndeksini (LSI) etkilediği için programda pH değerini değiştirdikçe LSI değerinin değişimini de görmek mümkündür. Bu değişim ancak sistem tasarımı yapıldıktan sonra görülebilmektedir. LSI değeri özellikle içinde çok fazla tuz taşıyan konsantre akımda önemlidir. Sisteme dozlanan antiskalantlar ile LSI`yı 2.2-2.4 değerlerine kadar kontrol etmek mümkündür. Programın ikinci sayfasında besleme, ayarlanmış besleme ve konsantre akımlarına ait pH, LSI, S&D, TDS , iyonik güç, karbondioksit ve karbonat miktarı ile çökelme potansiyeli olan bileşiklerin antiskalantsız çökelme oranları verilmektedir. Özetle, bu sayfa membranların üzerinde oluşabilecek çökeltiyi tespit etmek ve gerekli önlemleri almak için düzenlenmiştir. Söz konusu sayfa Şekil 5.2`de verilmiştir.

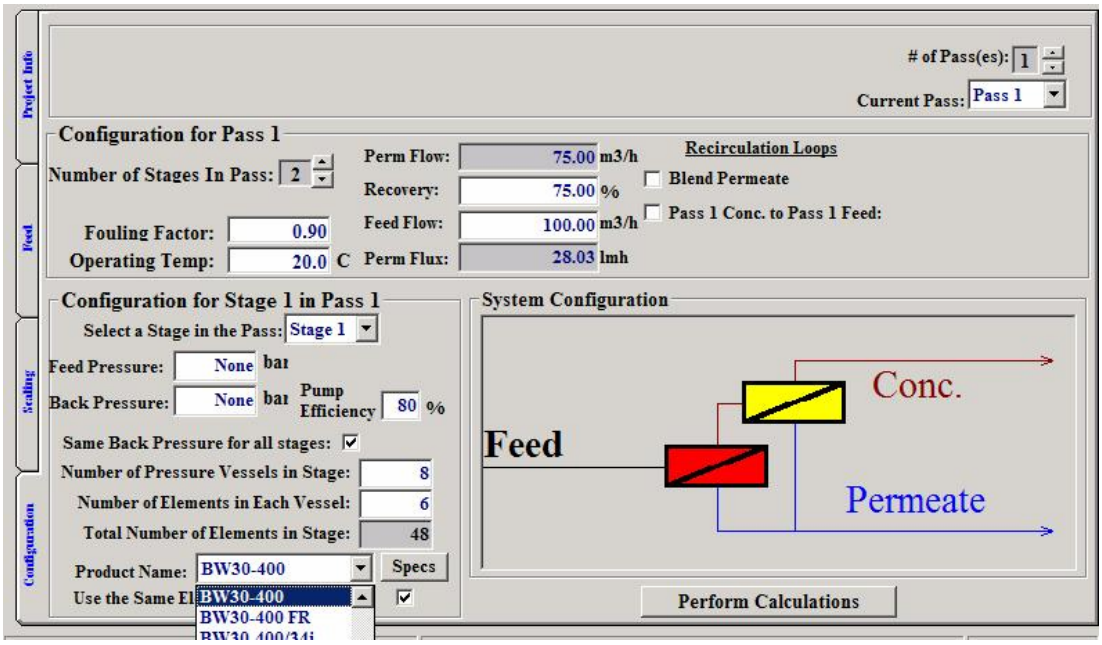


	Feed	Adj. Feed	Concentrate
pH	7.5	7.5	8.1
LSI	-0.278	-0.278	1.463
Stiff & Davis Index	0.433	0.433	1.682
TDS (mg/l)	480.96	481.03	1,924
Ionic Strength (molal)	0.008	0.008	0.0321
HCO3 (mg/l)	209.00	209.00	836.00
CO2 (mg/l)	9.38	9.38	9.38
CO3 (mg/l)	0.45	0.45	1.81
CaSO4 (% Saturation)	0.47	0.47	5.11
BaSO4 (% Saturation)	0.0	0.0	0.0
SrSO4 (% Saturation)	0.0	0.0	0.0
CaF2 (% Saturation)	0.0	0.0	0.0
SiO2 (% Saturation)	30.43	30.43	104.69
Mg(0H)2 (% Saturation)	0.00033	0.00033	0.021

Şekil 5.2: ROSA projeksiyon programında pH ayarının girildiği ve çökelti gösterildiği sayfa

Bundan sonraki adım sistem konfigürasyonunun yapılmasıdır. Konfigürasyon yapılırken Bölüm 5.3.1`de verilen aşamalardan ve denklemlerden faydalanarak Şekil 5.3`deki sayfa doldurulmaktadır. Önce, elde edilecek su kapasitesi girilmekte ve bu suyu elde etmek için ne kadar geri kazanım uygulanması istendiği belirtilmektedir. Bu sayfada aynı zamanda sistem tasarımının güvenlik faktörü de diyebileceğimiz tıkanma faktörü girilmektedir. Bu çalışmada, %10 emniyet alınmıştır ve tıkanma faktörü 0.90 seçilmiştir.

Bundan sonra kaç aşamalı bir sistem olacağı belirlenmiştir. İçme suyu üretmek için saflığı yüksek bir su gerekmediği için bu çalışmada hep tek kademeli sistem tasarımı kullanılmıştır. Daha sonraki adım aşama sayısının belirlenmesidir. Bu sayı belirlendikten sonra her aşamada kaç membran kılıfı ve her kılıfta kaç membran kullanılacağı verisi girilmektedir. Bu konfigürasyon yapıldıktan sonra membran tipi seçilmekte ve programdan uygulanan tasarıma göre hesaplamaları yapması istenmektedir. Şekil 5.3`de konfigürasyonların yapıldığı sayfa verilmiştir.



Şekil 5.3: ROSA projeksiyon programında sistem konfigürasyonunun girildiği sayfa

Program bu aşamadan sonra, Tablo 5.1`deki denklemleri kullanarak gerekli hesaplamaları yapmakta ve yapılan tasarımın dökümünü çıkartmaktadır. Çıkan dökümde istenen suyun elde edilmesi için gerekli basınç değeri, akı, takribi enerji tüketimi ile her aşama ve her elemanın besleme debisi, besleme basıncı, geri kazanım oranı, ürün debisi, ürünün tuzluluğu yer almaktadır. Ayrıca, her aşama için konsantre debisi ve basıncı verilmektedir. Bundan başka, besleme akımının, ayarlanmış besleme akımının, her aşama için konsantre ve ürün suyu akımlarının spesifik iyon konsantrasyonları ile silika, TDS ve pH değerleri verilmektedir. Sistemin başında pH ayarı için kimyasal dozajı yapılıyorsa, tüketim miktarı da bu dökümde yer almaktadır. Şekil 5.4`de bu dökümler gösterilmiştir.

Bu dökümde öncelikle dikkat edilen değerler ürün suyu kalitesi ile akıdır. Ürün suyu kalitesi düşük veya akı çok yüksek ise tasarıma geri dönülerek konfigürasyon değişiklikleri yapılabilmektedir. pH, sistemin sonunda ayarlanacağı için fazlaca dikkate alınmamıştır.

Project Information:

System Details

Feed Flow to Stage 1	100.00 m3/h	Pass 1 Permeate Flow	75.01 m3/h	Osmotic Pressure:	
Raw Water Flow to System	100.00 m3/h	Pass 1 Recovery	75.01 %	Feed	0.24 bar
Feed Pressure	13.81 bar	Feed Temperature	20.0 C	Concentrate	0.93 bar
Fouling Factor	0.90	Feed TDS	481.03 mg/l	Average	0.59 bar
Chem. Dose	None	Number of Elements	72	Average NDP	11.22 bar
Total Active Area	2675.52 M2	Average Pass 1 Flux	28.03 lmh	Power	47.96 kW
Water Classification: Well Water SDI < 3				Specific Energy	0.64 kWh/m3

Stage	Element	#PV	#Ele	Feed Flow (m3/h)	Feed Press (bar)	Recirc Flow (m3/h)	Conc Flow (m3/h)	Conc Press (bar)	Perm Flow (m3/h)	Avg Flux (lmh)	Perm Press (bar)	Boost Press (bar)	Perm TDS (mg/l)
1	BW30-400	8	6	100.00	13.46	0.00	46.56	11.48	53.44	29.96	0.00	0.00	2.42
2	BW30-400	4	6	46.56	11.13	0.00	24.99	9.23	21.57	24.19	0.00	0.00	5.78

Pass Streams (mg/l as Ion)							
Name	Feed	Adjusted Feed	Concentrate		Permeate		
			Stage 1	Stage 2	Stage 1	Stage 2	Total
NH4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	78.66	78.66	168.44	312.85	0.42	1.12	0.62
Mg	9.71	9.71	20.82	38.74	0.02	0.06	0.04
Ca	38.44	38.44	82.44	153.38	0.10	0.25	0.14
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO3	0.45	0.45	2.17	7.12	0.00	0.00	0.00
HCO3	209.00	209.00	445.16	820.64	1.33	2.99	1.79
NO3	3.70	3.70	7.84	14.38	0.10	0.25	0.14
Cl	58.00	58.06	124.51	231.62	0.15	0.41	0.23
F	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO4	48.00	48.00	102.99	191.69	0.08	0.21	0.12
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO2	35.00	35.00	74.92	139.17	0.21	0.48	0.29
CO2	9.38	9.38	10.08	11.90	9.37	10.49	9.70
TDS	480.96	481.03	1029.31	1909.59	2.42	5.78	3.37
pH	7.50	7.50	7.76	7.92	5.41	5.70	5.52

Stage Details

Stage 1	Element	Recovery	Perm Flow (m3/h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m3/h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
	1	0.10	1.19	1.74	12.50	481.03	13.46
	2	0.10	1.15	1.94	11.31	531.53	12.98
	3	0.11	1.12	2.19	10.15	591.62	12.57
	4	0.12	1.09	2.49	9.03	664.60	12.22
	5	0.13	1.07	2.90	7.94	755.54	11.92
	6	0.15	1.05	3.46	6.87	872.52	11.67
Stage 2	Element	Recovery	Perm Flow (m3/h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m3/h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
	1	0.09	1.00	3.91	11.64	1029.31	11.13
	2	0.09	0.96	4.48	10.64	1125.52	10.70
	3	0.09	0.92	5.19	9.68	1236.18	10.31
	4	0.10	0.88	6.07	8.76	1364.71	9.98
	5	0.11	0.84	7.19	7.89	1515.56	9.69
	6	0.11	0.80	8.63	7.05	1694.59	9.44

Şekil 5.4: ROSA projeksiyon programı proje dökümleri

Dökümde aynı zamanda Şekil 5.2`deki tablo da yer almaktadır. Bu tablodan ürün suyunun ve konsantre akımın Langelier Satürasyon İndeksi (LSI) değerini ve karbondioksit miktarını görmek mümkündür. LSI değerinin 2'den küçük olmasına dikkat edilmiştir. LSI değeri yüksek çıkan tasarımlarda, sistemin membran sayısı değiştirilmiştir. Gerekli görüldüğünde ise sistemin başında pH ayarı yapılmıştır.

Proje bilgilerinin verildiği dökümde en önemli datalardan biri sayfanın sonunda verilen uyarılardır. Uyarılar, tasarım uyarıları ve çözünürlük uyarıları seklinde iki başlık altında verilmektedir. Bu uyarılar konfigürasyon hatalarını, membranların tıkanma ile çökelti bilgilerini ve pratikte karşılaşılacak problemleri içermektedir. Aynı zamanda uygulanması gereken çözümden de bahsedilmektedir. Uyarılar bölümüne bakmadan bir projeksiyonu tamamlamak mümkün değildir. Çalışmada yer alan bütün projelerde uyarılar dikkate alınmış ve gerekli değişiklikler yapılmıştır. Programın verdiği uyarılar, kayıt işaretlerinin yanında aşağıda verilmiştir.

*Yüksek besleme suyu debisi

**Yüksek ürün suyu debisi

***Düşük konsantre suyu debisi

****Yüksek besleme basıncı

*****Yüksek geri kazanım oranı

Çalışmanın akışı açısından uyarıya rağmen kalması uygun görülen tasarımlarda uyarılar kayıt edilmiştir.

5.2 Maliyet Hesabında Kullanılacak Su Kalitelerinin Belirlenmesi

Maliyet hesabi için 10 farklı su kalitesi üzerinde çalışılmıştır. Bu sulardan yedi tanesi kuyu suyu, üç tanesi de deniz suyudur. Kuyu suları için bir adet Ankara-Polatlı bölgesi, birer adet Tekirdağ ve Silivri bölgesi ile ikişer adet kaliteli içme ve kullanma suyu sıkıntısı yaşanan Bodrum ve Kıbrıs bölgesi kuyu suları kullanılmıştır. Deniz suyu olarak Akdeniz, Marmara ve Karadeniz suyu ile çalışılmıştır. Kuyu sularına ait su kaliteleri Tablo 5.5`de, deniz sularına ait su kaliteleri ise Tablo 5.6`da verilmiştir.

Su kaliteleri sınıflandırması aşağıdaki gibi yapılmıştır.

–Kalite 1: İç Anadolu / Ankara-Polatlı : TDS 500-1,000 mg/l

–Kalite 2: Trakya / Tekirdağ, Silivri : TDS 1,000-2,000 mg/l

–Kalite 3: Ege / Bodrum : TDS 2,000-3,000 mg/l

–Kalite 4: Kıbrıs : TDS 3,000-10,000 mg/l

–Kalite 5: Denizler / Akdeniz-Ege, Marmara, Karadeniz : TDS 10,000-40,000 mg/l

5.3 Membran Prosesi Tasarımlarının Oluşturulması

Her bir su kalitesi için 5 faklı ürün suyu kapasitesinde, 3 farklı geri kazanım oranında ve 3 farklı akıda olmak üzere 45 değişik membran prosesi tasarımı yapılmıştır. Bu tasarımlar aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur.

Hangi kalite sularda hangi membranların kullanılacağının seçimi:

–Kalite 1: NF90-400 & BW30-400

–Kalite 2: BW30-400

–Kalite 3: BW30-400

–Kalite 4: BW30-400

–Kalite 5: SW30HR-380

Kapasitelerin belirlenmesi:

– 250 m^3/gün (~10.4 m^3/st)

– 1,000 m^3/gün (~42 m^3/st)

– 2,000 m^3/gün (~84 m^3/st)

– 5,000 m^3/gün (~210 m^3/st)

– 10,000 m^3/gün (~420 m^3/st)

Geri kazanım oranlarının belirlenmesi:

–Kuyu suyu için : %65, %70, % 75

–Deniz suyu için: %30, %35, %40

Akı değerlerinin belirlenmesi:

–Kuyu suyu için : 22.2 l/m^2.st, 26.9 l/m^2.st, 31.4 l/m^2.st

–Deniz suyu için: 19.8, l/m^2.st, 14.2 l/m^2.st, 11.3 l/m^2.st

Geri kazanım oranları seçilirken kuyu ve deniz suyu sistemleri için performanslarının en yüksek olduğu aralıklar kullanılmıştır. En yaygın kuyu suyu geri kazanım oranı %75`tir. Bunun üzerindeki geri kazanım oranları pratikte konsantre akımın tuzluluk oranı çok fazla arttığı için sakıncalı bulunmakta ve ancak tuzluluğu düşük ve membrana zarar verecek hiç bir madde içermeyen sularda daha yüksek geri kazanım oranları uygulanmaktadır. Bu nedenle, söz konusu çalışmada daha yüksek akılar

üzerinde çalışılmamıştır. Bunun yerine, besleme suyunun tuzluluğu arttıkça önem kazanan daha düşük geri kazanım oranları üzerinde çalışılmıştır. Deniz suyu için en yaygın kullanılan aralık %30 - %40 arası olduğu için, bu çalışmada söz konusu aralık kullanılmıştır. Aynı şekilde akılar da seçilirken pratikte en yüksek performansların alındığı aralıklar belirlenmiştir. Bir adet 8" çapında ve 40" uzunluğunda membranın 1 m^3 su geçirdiği kabul edilerek tasarımlara başlanmıştır. Bu çalışmada, bu aralık %15-20 oranında artırılıp, %15-20 oranında düşürülerek çalışılacak akılar belirlenmiştir.

Ters osmoz membranları pratikte 3-5 yılda bir performanslarını yitirdikleri için değiştirilmeleri gerekmektedir. Bu nedenle, membran ömrü hesabı 3 yıl, 4 yıl ve 5 yıl için yapılmıştır. Bu çalışmada membran ömrü belirtilmeyen analizlerde ortalama bir membran ömrü olan 4 yıl kullanılmıştır.

Farklı bölgelerin enerji fiyatları da farklı olabilmektedir. En yaygın evsel tip enerji fiyatı kWh başına 6 cent'tir. Endüstrilerde ise 8-9 cent'tir. Bu nedenle maliyet eğrileri 6-9 cent/kWh arası enerji fiyatı ile çalışılmıştır. Enerji fiyatı belirtilmeyen yerlerde ise, en yaygın enerji fiyatı olan 6 cent/kWh kullanılmıştır.

Kuyu suyu sistemlerinde debi, geri kazanım oranı ve akının belirtilmediği eğrilerde kapasite 1,000 m^3/gün, akı 26.9 l/m^2.st ve geri kazanım oranı %75 kullanılmıştır.

Deniz suyu sistemlerinde debi, geri kazanım oranı ve akının belirtilmediği eğrilerde kapasite 1,000 m^3/gün, akı 14.2 l/m^2.st ve geri kazanım oranı Akdeniz için %35, Marmara ve Karadeniz için %40 kullanılmıştır.

Deniz suyu ters osmoz sistemlerinin tasarımında pistonlu hidrolik yük değiştirici tipi enerji geri kazanma üniteleri kullanılmıştır.

Tasarımlardan elde edilen datalar Ek A'da, Ankara-Polatlı kuyu suyu nanofiltrasyon sistemi için Tablo A.1`de, Ankara-Polatlı kuyu suyu ters osmoz sistemi için Tablo A.2`de, Tekirdağ kuyu suyu ters osmoz sistemi için Tablo A.3`de, Silivri kuyu suyu ters osmoz sistemi için Tablo A.4`de, Bodrum kuyu suları ters osmoz sistemleri için Tablo A.5 ve Tablo A.6`da, Kıbrıs kuyu suları ters osmoz sistemleri için Tablo A.7 ve Tablo A.8`de, Akdeniz deniz suyu ters osmoz sistemi için Tablo A.9`da, Marmara deniz suyu ters osmoz sistemi için Tablo A.10`da ve Karadeniz suyu ters osmoz sistemi için Tablo A.11`de verilmiştir.

5.4 Membran Prosesi Öncesi ve Sonrası Ünitelerin Tasarlanması

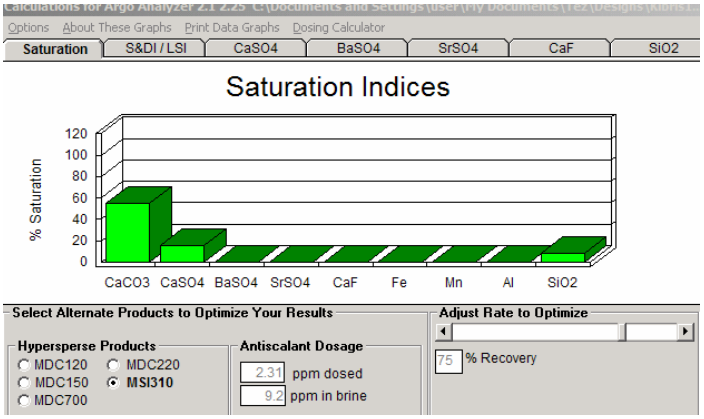
Membran prosesinden önce kullanılacak ön arıtma grubu ham su kaynağına göre tasarlanmıştır. Kuyu sularının birinci tip ön arıtma grubu klorlama, kum filtresi ve aktif karbon filtresi üniteleri ile tasarlanmıştır. Kum filtresi hızı 15-20 m/st ve aktif karbon filtresi temas suresi 3 dakika seçilmiştir. Klor dozaj miktarı ise, 3 mg/l alınmıştır.

Yeraltı su kaynaklarının ikinci tip ön arıtma grubu ise, klorlama, kum filtresi ve sodyum metabisülfit dozaj ünitesi şeklinde tasarlanmıştır. Sodyum metabisülfit dozaj miktarı, klor dozaj miktarı ile aynı alınmıştır.

Üçüncü tip ön arıtma grubu sadece klorlama ve sodyum metabisülfit dozajından oluşmaktadır.

Deniz suyu sistemleri için ikinci ve üçüncü tip ön arıtma sistemlerinin maliyetleri hesaplanmış ve bunlara bir de asit dozaj ünitesi eklenmiştir. Deniz suyu sistemlerinde kum filtresi gövdeleri takviyeli camelyaf malzemeden seçilmiştir. Burada kum filtresi hızı 15 m/saat'ten küçük seçilmiştir.

Bütün membran proseslerden önce antiskalant dozaj ünitesi kullanılmıştır. Antiskalant dozaj üniteleri ters osmoz sistemlerinin ayrılmaz bir bölümü olduğu için maliyeti ters osmoz sistemleri içinde hesaplanmıştır. Antiskalant hesabı piyasada en fazla kullanılan Hypersperse MSI 310 ve MCD 220 olarak iki çeşit Betz marka antiskalant ve Permetreat 191 olarak bir çeşit Nalco kimyasalı için hesaplanmıştır. Bu kimyasalların dozaj miktarları firmaların çıkardığı antiskalant dozajı analiz programlarına ham su kalitesi, ürün suyu kapasitesi ve geri kazanım oranı girilerek elde edilmiştir. Bu amaçla, Betz antiskalantları için hazırlanmış Sekil 5.5`de gösterilen Argo Analyzer programı kullanılmıştır. Nalco kimyasalının dozaj miktarı için ise, bu firmaya ait program kullanılmıştır.



Şekil 5.5: Argo Analyzer Programı

Deniz suyunun tuzluluğu ve sertliği fazla olduğu için, membran yüzeyinde çökelme ve tıkanma riski yüksek olan deniz suyu arıtma sistemlerinde antiskalanta ilaveten asit dozlanarak pH ayarı yapılmıştır. Asit dozaj miktarları antiskalant programında bulunan miktara göre belirlenmiştir.

Membran prosesi sonrası için suyun pH ayarını yapmak, içme suyu için fazla yumuşak ve iyondan arınmış olan suya kalsiyum eklemek, dezenfekte etmek ve karbondioksit dengesini sağlamak için kireç dozajı yapıldığı kabul edilmiştir. Bu ünitenin ilk yatırım ve işletme maliyeti çok düşük olduğu için bu maliyet çalışmasında ihmal edilebilir maliyet olarak kabul edilmiş ve hesaplanmamıştır.

Tablo 5.5: Ters osmoz ve nanofiltrasyon sistemi tasarımı yapılan kuyu sularına ait su kaliteleri

		Polatlı	Tekirdağ	Silivri	Bodrum-1	Bodrum-2	Kıbrıs-1	Kıbrıs-2
Parametre	**Birim**							
pH		7.1	7.24	6.9	7.68	7.7	6.9	7.2
TDS	mg/l	930	1067	1806	2230	2670	3640	7350
Sodyum	mg/l	38	137	164	153	440	754	2100
Potasyum	mg/l	0.6	1.7	2.6	2	1.2	7.8	41
Kalsiyum	mg/l $CaCO_3$	336	264	616	886	338	580	499
Magnezyum	mg/l $CaCO_3$	220	352	617	761	1010	790	707
Amonyum	mg/l	0	0	0	0	0.24	0	0
Stronyum	mg/l	0	0	0	0	0	0	0
Baryum	mg/l	0	0	0	0	0	0	0
Bikarbonat	mg/l $CaCO_3$	344	98	105	99	123	460	700
Klorür	mg/l	59	554	912	1124	1150	1602	2663
Sülfat	mg/l	198	32	196	185	540	288	1318
Nitrat	mg/l	9	5	0	0	0	0	0
Silika	mg/l	18	26	6	5	5	7	5
Demir+Mangan	mg/l	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1

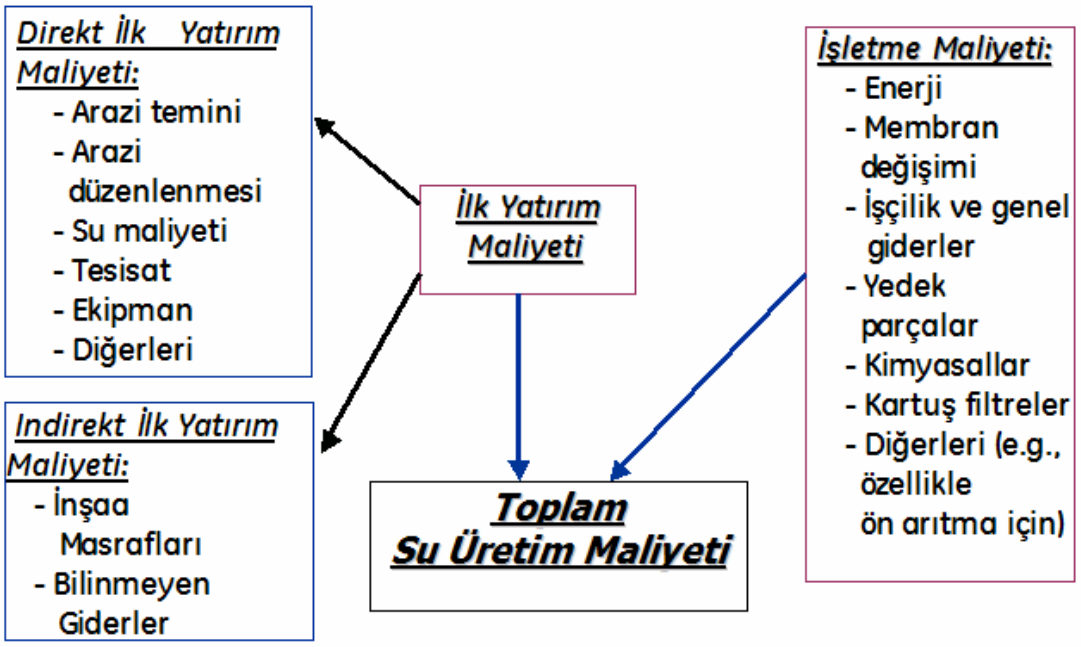
Tablo 5.6: Deniz suyu ters osmoz sistemi tasarımı yapılan denizlere ait su kaliteleri

		Akdeniz	Marmara	Karadeniz
Parametre	**Birim**			
pH		8.3	8.3	8.2
TDS	mg/l	37100	24400	19100
Sodyum	mg/l	11544	7700	5930
Potasyum	mg/l	388	276	220
Kalsiyum	mg/l	1302	282	226
Magnezyum	mg/l	415	853	646
Amonyum	mg/l	0	0	0
Stronyum	mg/l	6.3	5.2	4
Baryum	mg/l	0.01	0	0
Bikarbonat	mg/l	146	187	157
Klorür	mg/l	20500	13200	10420
Sülfat	mg/l	2790	1860	1490
Florür	mg/l	< 1	< 1	< 1
Nitrat	mg/l	< 1	< 1	< 1
Silika	mg/l	5	< 1	< 1
Demir+Mangan	mg/l	< 0.1	< 0.1	< 0.1

5.1 Maliyetlerin Tespit Edilmesi

5.5.1 Su arıtma sisteminde maliyeti oluşturan unsurların belirlenmesi

Bir su arıtma sisteminin maliyetini oluşturan unsurlar aşağıdaki Şekil 5.6`da verilmiştir.



Şekil 5.6: Su Arıtma Sisteminde Maliyeti Oluşturan Unsurlar

Yapılan çalışmada arazi, inşaat ve su maliyetinin her yerde aynı olduğu kabul edilmiştir ve ilk yatırım maliyeti hesabına eklenmemiştir. İlk yatırım maliyeti olarak sistemin kendisi ve sahaya yerleştirilip devreye alınması hesaplanmıştır. İşletme maliyeti olarak ise, enerji, membran değişimi, kimyasallar, kartuş filtreler ve ön arıtma grubu giderleri hesaplanmıştır.

5.5.2 Membran prosesi maliyetinin tespit edilmesi

Membran prosesinin maliyeti antiskalant dozajı ve kartuş filtrasyon ile başlayan şase üzerinde montajlı bütün bir sistem olarak hesaplanmıştır. Söz konusu sistemde bulunan ekipmanlar aşağıda verilmiştir :

•Ana Ekipmanlar: Membranlar, membran kılıfları, yüksek basınç pompası

•Koruyucu Ekipmanlar: 5 mikron kartuş filtrasyon, membran yıkama ünitesi, antiskalant dozaj ünitesi

•Ölçüm Ekipmanları: İletkenlik ölçer, debimetreler, redoksmetre, sıcaklık ölçer, basınç anahtarları, basınç ölçerler

•Otomasyon: Otomatik kontrol panosu, yumuşak kalkış, manometre panosu

•Borulama & Aksesuarları: Yüksek basınç hatlarında paslanmaz borulama & aksesuarları, alçak basınç hatlarında PVC borulama & aksesuarları

•Şase: Karbon çelik şase ve koruma boyası

•Nakliyeler: Membran kılıfları ve membranlar için İtalya nakliye

•İşçilik ve Diğerleri

Deniz suyu arıtma sistemlerinde yüksek alaşımlı malzemeden yapılmış pompa ve yüksek basınç hattı borulaması fiyatı kullanılmıştır.

Ölçüm ekipmanları olarak maliyet hesabında giriş, ürün ve konsantre akımlar için debimetre ile giriş ve ürün suyu için iletkenlik ölçer kullanılmıştır. Ayrıca, sistemin girişinde sıcaklık ölçer ve alçak basınç anahtarı, sistemin çıkısında ise yüksek basınç anahtarı ile sistemin çeşitli yerleri için manometreler hesaplanmıştır. Elektrik kontrol panosunun maliyeti ise otomatik kontrollü sistem için hesaplanmıştır.

Sistemin maliyeti hesaplanırken, paslanmaz çelik kartuş filtre kılıfı ve 5 mikron iplik kartuşlar için Eurosan firmasının, 250 m^3/gün üstü kapasitelerde paslanmaz çelik malzemeli basınç pompası için KSB firmasının, 250 m^3/gün kapasiteli ve deniz suyu sistemlerinde Grundfos firmasının, membran kılıfları için Codeline markasının, debi metreler için George Fischer markasının, iletkenlik ölçer için ise Endress Hauser markasının lokal dağıtıcılarının fiyatları ve kontrol panosu için yerel piyasa fiyatları kullanılmıştır. Sistemlerde yüksek basınç pompası için yumuşak kalkış olduğu kabul edilmiştir ve Siemens marka için lokal maliyeti alınmıştır.

Membran prosesinin maliyetine, membran yıkama ünitesi de eklenmiştir. Membran yıkama ünitesi polietilen bir tank ile yıkama pompası ve borulamadan oluşmaktadır.

Membran fiyatı olarak, 250 m^3/gün sistem için standart iskontolu lokal fiyat kullanılmıştır. Sistemlerin kapasitesi arttıkça membran fiyatına nihai %25`in üzerinde ilave iskonto uygulanmıştır. Kartuş filtre fiyatı ise 9 Euro/adet alınmıştır. Ters osmoz sistemine ait maliyet tablosu ekipman dökümü Tablo 5.7`de verilmiştir.

İlk yatırım maliyeti, dolar bazında 5 yıl banka kredisi için %8 oranında bileşik faiz uygulanarak hesaplanmıştır. Piyasadan ters osmoz sistemlerinin %50 karla temin edildiği kabul edilmiştir. Sistemlerinin ekonomik ömrü 15 yıl kabul edilmiş ve ilk yatırım maliyetleri ilk 5 yıl için hesaplanmıştır.

Tablo 5.7: Ters Osmoz Sistemi Maliyet Tablosu Örneği

EKIPMAN	FIRMA-MARKA-MODEL	ADET	Br.FIYAT	Top.FIYAT
MEMBRANLAR VE KILIFLAR				
MEMBRANLAR	FILMTEC BW30-400	9	550 €	7,979,400,000 TL
KILIFLAR	CODELINE 80A45-3	3	980 €	4,739,280,000 TL
YUKSEK BASINÇ POMPASI				
Y.B.P. (AISI 316)	GRUNDFOS CR15-17, 15 KW	1	2,435 €	3,925,220,000 TL
FLANŞ (AISI 316)	BORŞEN BORU	1	30 €	48,360,000 TL
VANA (AISI 316)	BORŞEN BORU	1	39 €	62,868,000 TL
ÇEKVALF (AISI 316)	BORŞEN BORU	1	58 €	93,496,000 TL
DİRSEK (AISI 316)	BORŞEN BORU	2	12 €	38,688,000 TL
BORU (AISI 316)	BORŞEN BORU	2	25 €	80,600,000 TL
ANTISKALANT DOZAJ ÜNİTESİ VE KARTUŞ FİLTRASYON				
DOZAJ POMPASI	PROMINENT CNPa 1000	1	220 €	354,640,000 TL
PE TANK	FLOTEKS-100 litre	1	29 €	46,748,000 TL
KARTUŞ FİLTRELER	GE OSM HYTREX 05-40	3	9 €	43,524,000 TL
KARTUŞ FİLTRE KILIFI	SKM-3	1	255 €	411,060,000 TL
YIKAMA ÜNİTESİ				
YIKAMA POMPASI	GRUNDFOS CHI12-15, 1.6 KW	1	366 €	589,992,000 TL
KARTUŞ FİLTRE KILIFI	SKM-3	1	255 €	411,060,000 TL
PE TANK	FLOTEKS-620 litre	1	90 €	145,080,000 TL
BLOK VANA	PN. KELEBEK DN50	1	89 €	143,468,000 TL
PANO VE ÖLÇÜM EKİPMANLARI				
URUN DEBİMETRESİ	G+F SIGNET 8550-1P	1	420 €	677,040,000 TL
KONSANTRE DEBIMETRESI	G+F SIGNET 8550-1P	1	420 €	677,040,000 TL
İLETKENLİK ÖLÇER	ENDRESS HAUSER CLM 221	2	625 €	2,015,000,000 TL
DİJİTAL TERMOSTAT	Pt 100 1/2" problu	1	110 €	177,320,000 TL
ALCAK BASINÇ ANAHTARI	DANFOSS KP1	1	25 €	40,300,000 TL
YUKSEK BASINÇ ANAHTARI	DANFOSS KP3	2	25 €	80,600,000 TL
BASINC TRANSMITTERI	WIKA	2	165 €	531,960,000 TL
KONTROL PANOSU	PLC ELEKTRİK	1	1,500 €	2,418,000,000 TL
YUMUSAK KALKIS	SIEMENS - 15 KW	1	175 €	282,100,000 TL
ELEKTRİK MALZEMELERİ	GERSAN		300 €	483,600,000 TL
MANOMETRELER	AISI 20 bar 100 mm gliserinli	6	20 €	193,440,000 TL
BORULAMA VE AKSESUARLARI				
VANA (AISI 316)	BORŞEN BORU	1	26 €	41,912,000 TL
CEKVALF (AISI 316)	BORŞEN BORU	1	56 €	90,272,000 TL
DIRSEK (AISI 316)	BORŞEN BORU	3	10 €	48,360,000 TL
BORU (AISI 316)	BORŞEN BORU	2	20 €	64,480,000 TL
DİĞER PASLANMAZ	BORŞEN BORU		77 €	123,430,840 TL
VİKTOLİK CONTALAR		9	16 €	232,128,000 TL
GIRIS BLOK VANASI	PN. KELEBEK DN50	1	70 €	112,840,000 TL
GIRIS MANUEL VANA	KELEBEK DN50	1	44 €	70,928,000 TL
URUN MANEL VANA	KELEBEK DN40	1	44 €	70,928,000 TL
KONSANTRE MANUEL VANA	KELEBEK DN32	1	44 €	70,928,000 TL
PVC BORULAMA			77 €	123,430,840 TL
ŞASE			500 $	671,000,000 TL
İŞÇİLİK+NAKLİYE+GÜMRÜK				
ATÖLYE İŞÇİLİK				750,000,000 TL
İSVİÇRE NAKLİYE+GÜMRÜK			350 €	564,200,000 TL
İTALYA NAKLİYE+GÜMRÜK			650 €	1,047,800,000 TL
DİĞER (%2)			500 $	671,000,000 TL
TOPLAM		**19,506 €**	**23,430 $**	**31,443,521,680 TL**

5.5.3 Membran prosesi öncesi ve sonrası ünitelerin maliyetlerinin tespiti

Membran prosesi öncesi ünitelerde dozaj sistemleri, kum filtresi, aktif karbon filtresi, kum filtresi için geri yıkama pompası ile vantilatör ve otomasyon maliyeti hesaplanmıştır. Sistemlerin sahaya nakil edilip, sahada montajlarının yapılması ve devreye alınması da ilk yatırım maliyeti içinde hesaplanmıştır.

Dozaj ünitelerinin ekipmanları, polietilen tank ile dozaj pompasından ve ölçüm ekipmanlarından oluşmaktadır. Polietilen tank için yerel piyasa fiyatı, dozaj pompaları için Prominent marka selenoid dozaj pompaları fiyatı ve debimetre, klor ölçer, pH metre için George Fischer markası ürünlerin fiyatları kullanılmıştır.

Kum filtreleri, iç ve dış koruması yapılmış karbon çelik basınç tanklı ve pnömatik aktuatörlü kelebek vanalı olarak seçilmiştir. Borulamada ve vanalarda kuyu suyu için demir, deniz suyu için PVC malzeme fiyatı alınmıştır. Kum filtreleri için yerel piyasa fiyatları kullanılmıştır. Aktif karbon filtreleri için de aynı malzemeler seçilmiş ve yine yerel piyasa fiyatları kullanılmıştır.

Ön arıtma grubunun maliyet hesabında aşağıdaki maliyetler kullanılmıştır :

- Klor Dozaj Ünitesi: Prominent marka dozaj pompası, Floteks marka kimyasal tankı, G+F marka elektronik debi metre
- Metabisülfit Dozaj Ünitesi: Prominent marka dozaj pompası, Floteks marka kimyasal tankı
- Asit Dozaj Ünitesi: Prominent marka dozaj pompası, Floteks marka dozaj tankı, G+F marka pH metre
- Kuyu Suyu için Katmanlı Kum Filtresi: Karbon çelik tank, iç ve diş koruma boyası, Galvaniz borulama, Burçelik kelebek vanalar, Nozzlelar, Pnömatik pano, diğerleri.
- Deniz Suyu için Katmanlı Kum Filtresi: Astral marka takviyeli camelyaf tank, PVC borulama, G+F marka PVC kelebek vanalar, Nozzlelar, Pnömatik pano, diğerleri
- Blower: FPZ marka vantilatör
- Aktif Karbon Filtresi: Karbon çelik tank, İç-diş koruma boyası, Aktif Karbon, Galvaniz borulama, Burçelik kelebek vanalar, Nozzlelar, Pnömatik pano, diğerleri
- Otomasyon: PLC`li kontrol panosu
- Saha borulaması
- Nakliye
- İşçilik ve Diğerleri

250 m^3/gün kapasiteli ürün suyu kapasitesi olan ters osmoz sistemlerinde kum filtresi ve aktif karbon filtresi maliyet hesabında vana olarak Siata marka çok yönlü vana kullanılmıştır.

İlk yatırım maliyeti, dolar bazında 5 yıl banka kredisi için %8 oranında bileşik faiz uygulanarak hesaplanmıştır. Maliyet hesabında, piyasadan ön arıtma grubunun %50 karla temin edildiği kabul edilmiştir ve üretim maliyetleri 1.5 ile çarpılmıştır.

5.5.4 İşletme maliyetlerinin tespiti

İşletme maliyetlerini, yenilemelerin isletme maliyeti ve sürekli tüketimlerin işletme maliyeti olarak ikiye ayırmak mümkündür. Aşağıda bu maliyetlerden bahsedilmiştir.

Yenilemelerin işletme maliyetinin oluşturulması

Membran proseslerinin işletme maliyeti hesabında aşağıdaki malzemelerin zaman içinde yenilenmelerinin maliyetleri çıkarılmıştır.

•Aktif Karbon: Aktif karbonun 1.5 yılda bir yenilendiği kabul edilmiştir.

•Kartuş Filtreler: Sistemde kullanılan kartuş filtrelerin 6 haftada bir yenilendiği kabul edilmiştir.

•Membranlar: Membran ömürleri için 3 farklı yıl seçilerek maliyet hesabı yapılmıştır; 3 yıl, 4 yıl ve 5 yıl.

–Sürekli tüketimlerin işletme maliyetinin oluşturulması:

Membran proseslerinin işletme maliyeti hesabında aşağıdaki sürekli giderlerin alternatifli maliyetleri çıkarılmıştır.

•Kimyasallar: Piyasada en çok kullanılan üç antiskalant için tüketim hesabı yapılarak, işletme maliyetleri hesaplanmıştır: Betz MSI310, Betz MCD220, Nalco Permatreat 191. Kimyasal fiyatları olarak piyasa fiyatları kullanılmıştır.

•Enerji Maliyeti: Enerji maliyetleri, bölgelere göre farklılık gösterdiği için 6-9 cent arası dört faklı fiyatta hesaplanmıştır.

6. MALİYET ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

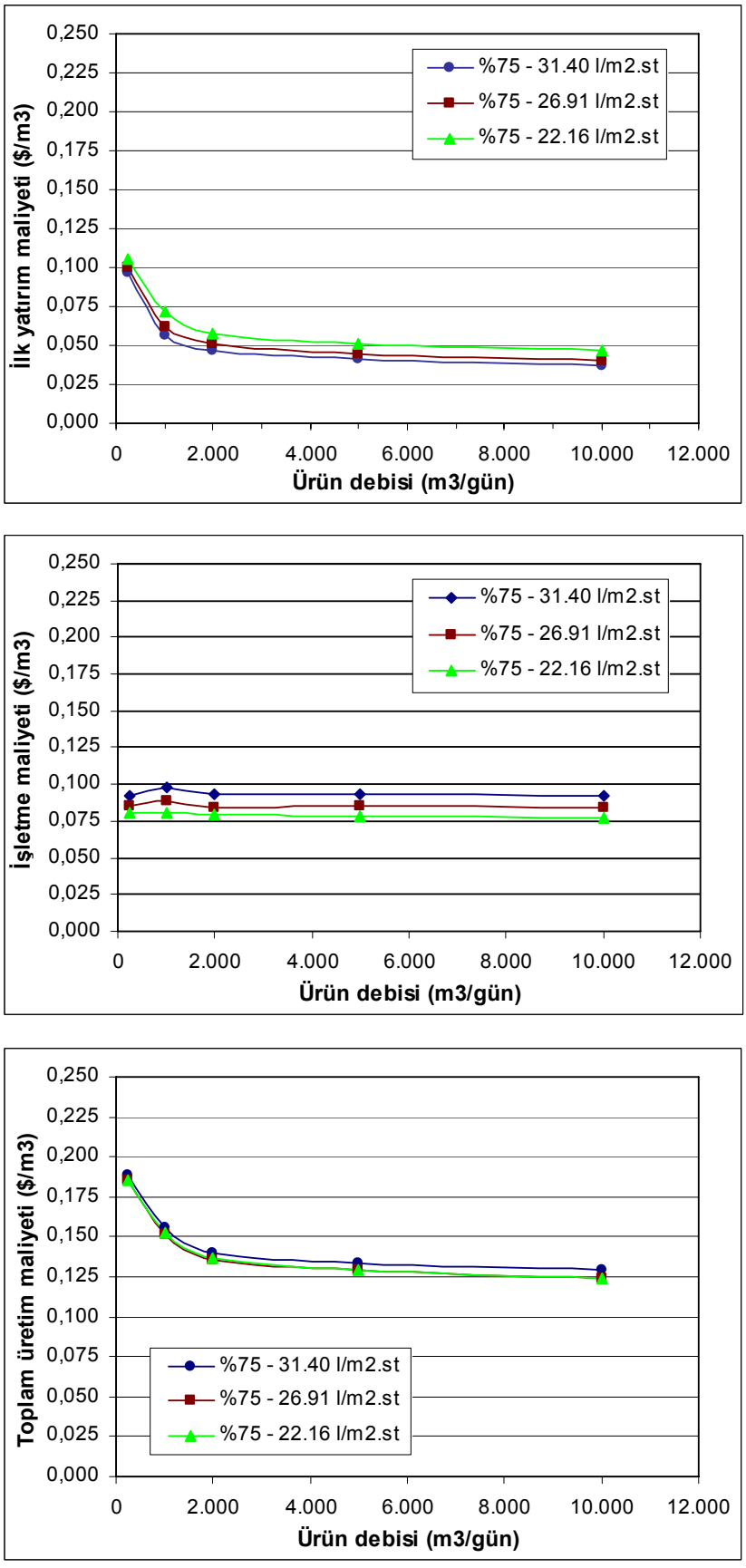
6.1 Kuyu Suyu Sistemlerinin Maliyet Değerlendirmesi

6.1.1 Kuyu suyu ters osmoz ve nanofiltrasyon sistemlerinin karşılaştırılması (TDS=930 mg/l tuzluluktaki Polatlı-Ankara kuyu suyu)

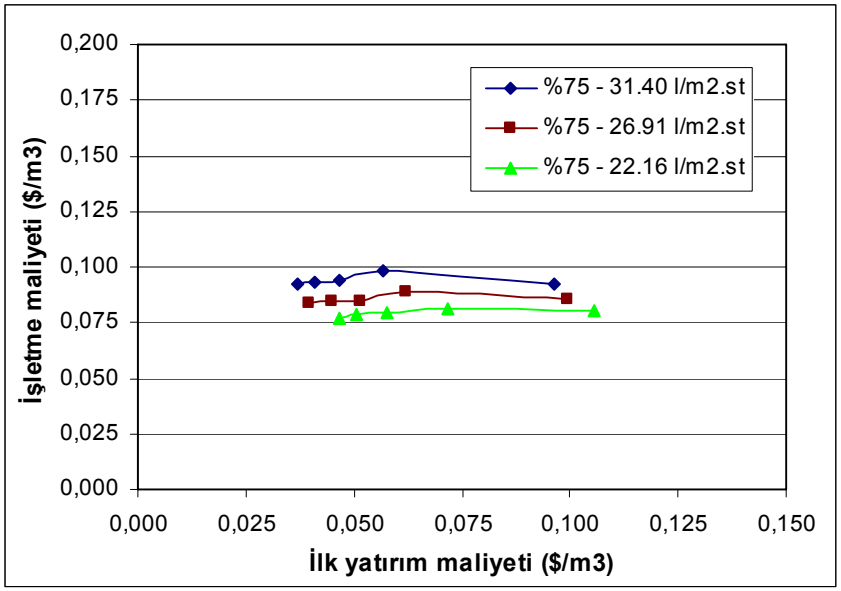
Kuyu suyu ters osmoz ile nanofiltrasyon sistemlerinin maliyetlerinin karşılaştırılması için, TDS değeri 930 mg/l değerindeki Polatlı kuyu suyu ile iki farklı membran prosesi maliyet analiz çalışması yapılmıştır. Bu çalışmalardan ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisiyle ilişkisi ile ilk yatırım maliyetinin işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişkisi %75 geri kazanım oranı ve üç farklı akıda ters osmoz sistemi için Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'de, nanofiltrasyon sistemi için ise Şekil 6.3 ve Şekil 6.4`de verilmiştir.

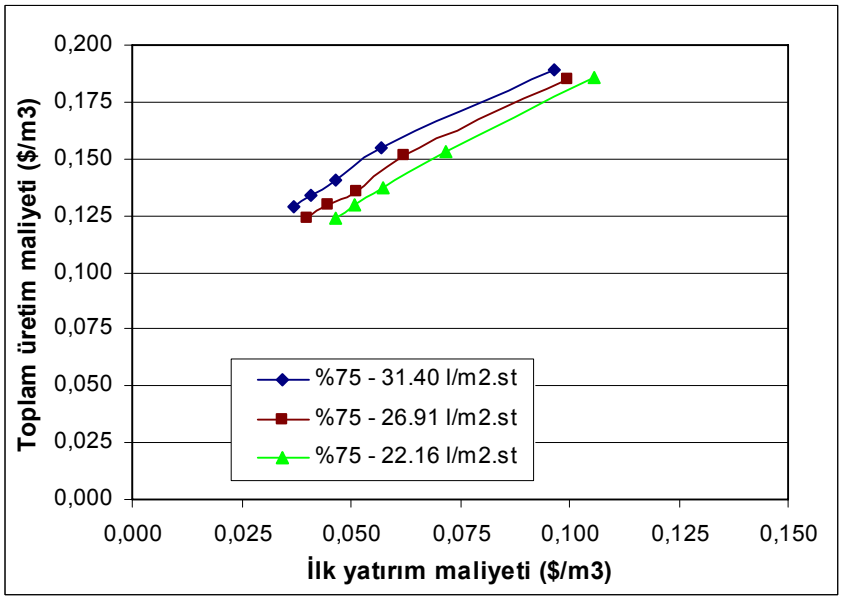
Ek B`de bu kuyu suyu nanofiltrasyon sistemlerine ait akının ve geri kazanım oranının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetine etkisi, Şekil B.1 ve Şekil B.2`de beş farklı kapasite için verilmiştir. Enerji maliyetinin ve kimyasal maliyetinin işletme ve toplam üretim maliyetine etkisi, Şekil B.3 ve Şekil B.4`de üç farklı akı ve beş farklı kapasite için verilmiştir. Aynı şekiller ters osmoz sistemi için Ek C`de sırasıyla, Şekil C.1, Şekil C.2, Şekil C.3 ve Şekil C.4`de verilmiştir.

Ters osmoz sistemi için elde edilen verilerden, debinin maliyet üzerindeki etkisi için iki ayrı bölgeden söz edilebilmektedir. Bunlar, ilk yatırım maliyetinin kapasite ile hızla azaldığı 2000 m^3/gün'den küçük debiler ve maliyetteki azalmanın yavaşladığı 2000 m^3/gün'den büyük debi değerleridir.



Şekil 6.1: TDS=930 mg/l tuzluluktaki Ankara-Polatlı kuyu suyu ters osmoz sisteminin ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkisi





Şekil 6.2: TDS=930 mg/l tuzluluktaki Ankara-Polatlı kuyu suyu ters osmoz sistemine ait ilk yatırım maliyeti ile işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki

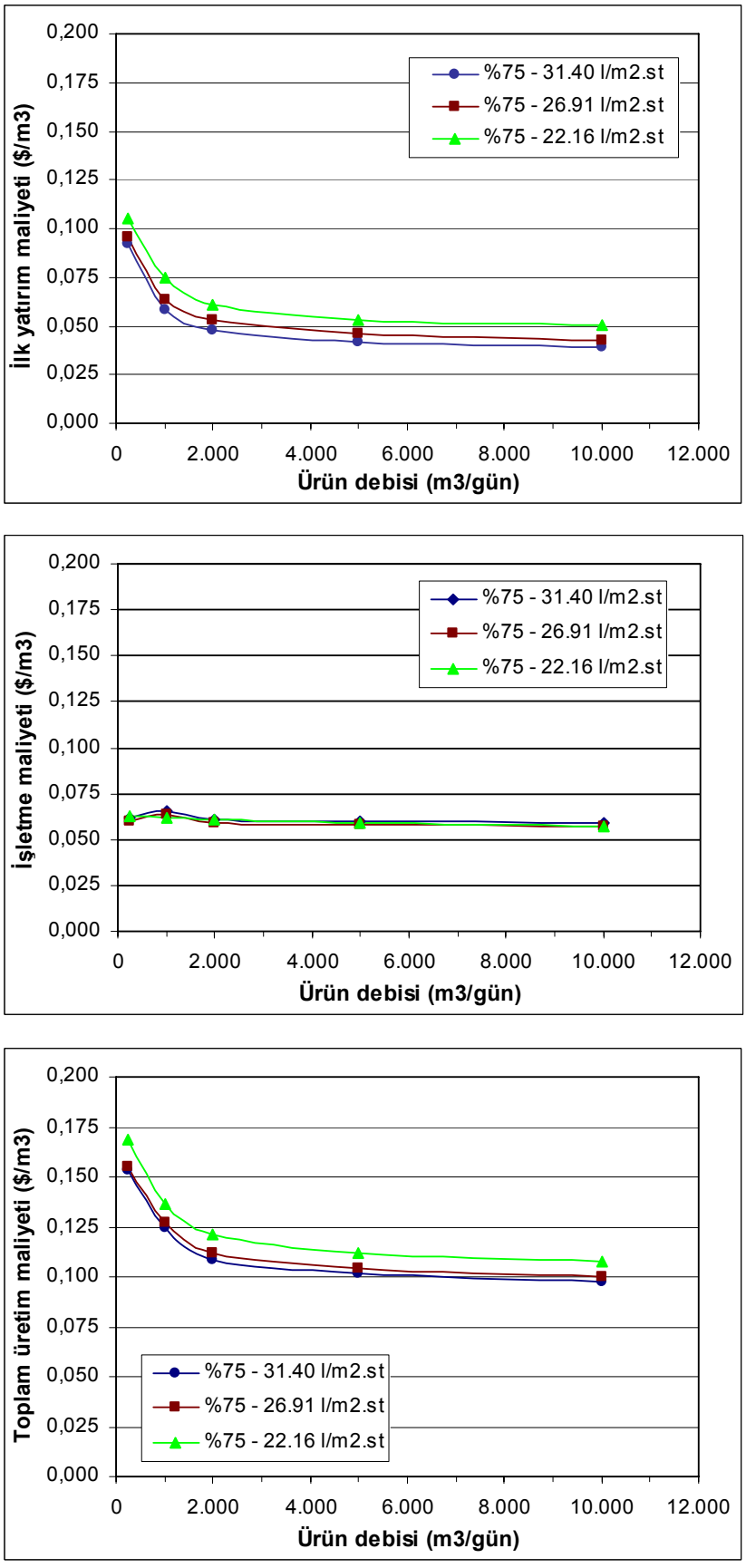
Akının düşmesi ile kullanılan membran miktarı arttığı için ilk yatırım maliyeti de artmaktadır. En yüksek ilk yatırım maliyeti 250 m^3/gün debi ve 22.16 l/m^2.st akıda 0.106 \$/m^3 olarak bulunmuştur (Şekil 6.1). Diğer akılarda ise 250 m^3/gün debide ilk yatırım maliyetleri 0.100 \$/m^3 ve 0.096 \$/m^3 olarak elde edilmiştir.Üretim kapasitesi 2000 m^3/gün iken, ilk yatırım maliyetleri yaklaşık yarı yarıya düşmektedir. 5000 m^3/gün`den sonra ise, üç akı için de ilk yatırım maliyeti 0.05 \$/m^3 değerinin altına inmekte ve kapasite daha da büyüdükçe 0.035-0.050 \$/m^3 arasında sabitlenmektedir.

Farklı akılardaki işletme maliyetleri, ilk yatırım maliyetinin tersine en düşük akıda en düşük olarak elde edilmiştir (Şekil 6.1). Her üç akıda da işletme maliyeti 0.075-0.95 \$/m^3 arasında kalmaktadır. İşletme maliyetleri 1000 m^3/gün`de çok az yükselip, 2000 $m^3$/gün`den sonra sabitlenmektedir. En yüksek işletme maliyeti 1000 m^3/gün debide 31.4 l/m^2.st akıda 0.098 \$/m^3 olarak bulunmuştur. Akılar arasındaki işletme maliyeti farkı ise %10 olarak tespit edilmiştir.

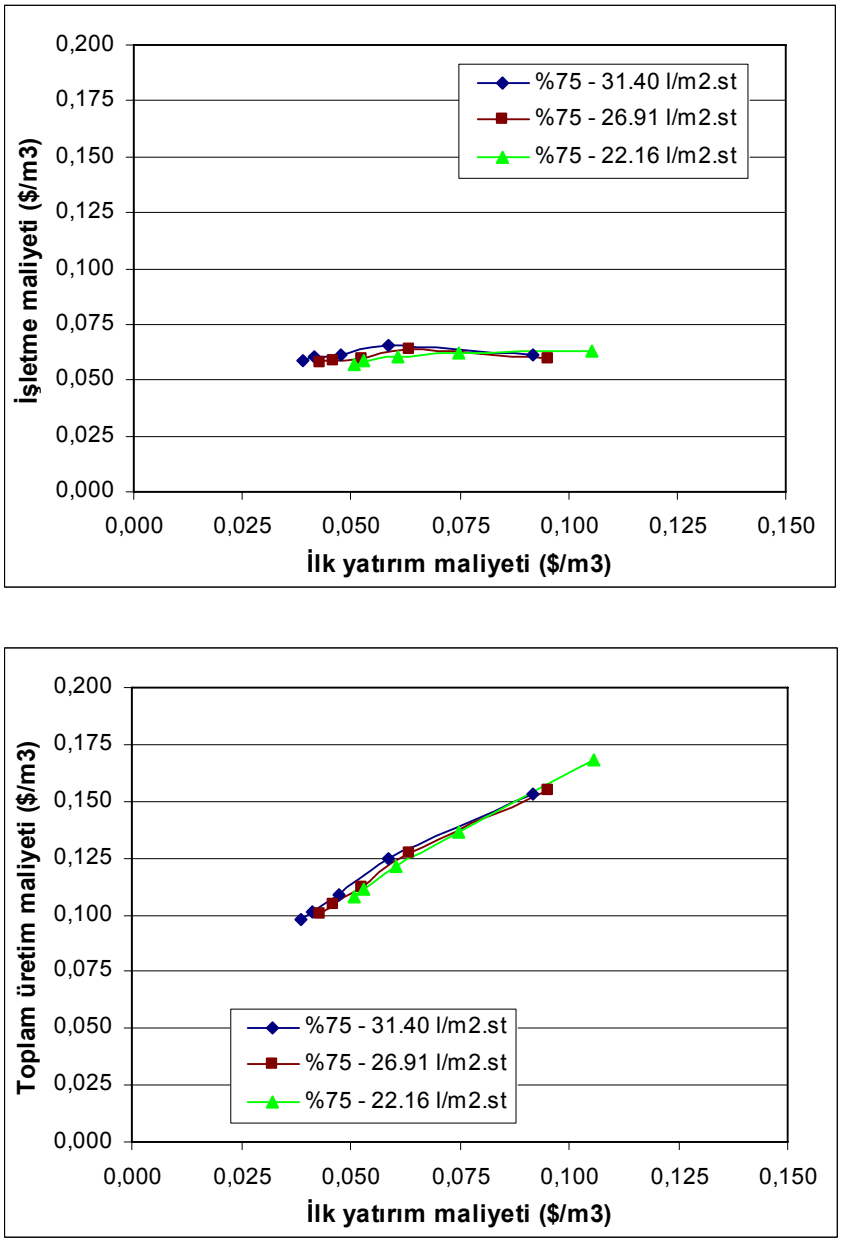
Akının ilk yatırım maliyeti ile işletme maliyeti arasındaki ilişkisi ters orantılı olduğu için toplam üretim maliyetleri, her üç akı değeri için birbirine yaklaşmıştır (Şekil 6.1). 2000 m^3/gün`ün altındaki debilerde, toplam üretim maliyeti debi ile lineer olarak azalmıştır. Bu azalma, ilk yatırım maliyetinde görülen azalmadan yavaş olmuştur. 2000 $m^3$/gün`den sonra ise 0.125 \$/m^3 civarında sabitlenmiştir.

İşletme maliyetinin birim üretim için değeri, 1000 m^3/gün debiye kadar debi azaldıkça ilk yatırım maliyeti ile lineer olarak artmakta ve 1000 m^3/gün'ün altındaki debilerde ilk yatırım maliyeti ile ters orantılı olarak azalmaktadır. Toplam üretim maliyeti ise, ilk yatırım maliyeti ile lineer artmaktadır (Şekil 6.2).

Nanofiltrasyon sistemi ile yapılan maliyet analizinde (Şekil 6.3 ve Şekil 6.4), ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkisi ters osmoz sistemi ile hemen hemen aynı bulunmuştur. 250 m^3/gün debide ters osmoz sistemi ilk yatırım maliyeti nanofiltrasyona göre %5 oranında yüksek iken, 5000 m^3/gün debideden sonra %5 oranında düşmektedir. Bu verilerden, düşük üretim kapasitelerinde ters osmoz sistemi için seçilen daha yüksek basınçlardaki pompanın maliyette etkili olduğu, yüksek üretim kapasitelerde ise çok sayıdaki membranın maliyetinin sistemdeki ekipmanlara baskın çıktığı ve daha pahalı olan nanofiltrasyon membranının ilk yatırım maliyetinde en etkili faktör olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 6.3: TDS=930 mg/l tuzluluktaki Ankara-Polatlı kuyu suyu nanofiltrasyon sisteminin ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkisi



Şekil 6.4: TDS= 930 mg/l tuzluluktaki Ankara-Polatlı kuyu suyu nanofiltrasyon sistemine ait ilk yatırım maliyeti ile işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki

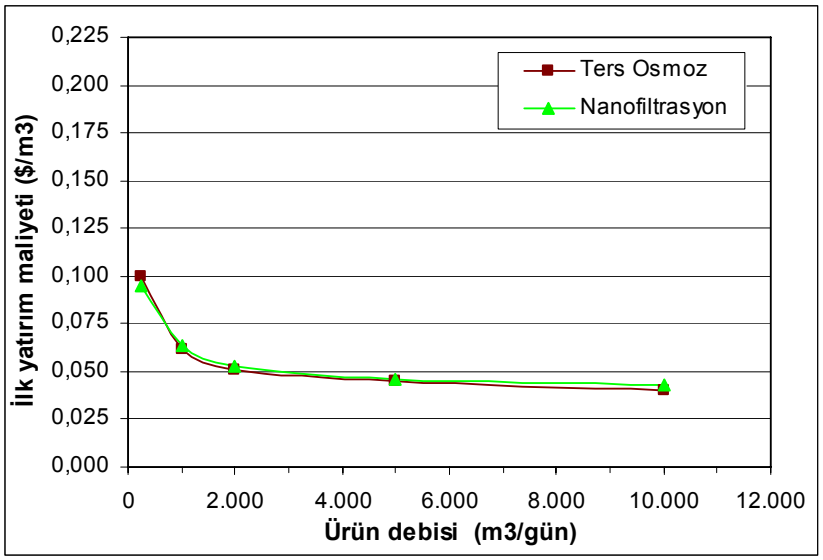
İşletme maliyeti, her üç akı için de 1000 m^3/gün debide çok az artması dışında 0.06 $/$m^3$ civarında sabit bulunmuştur. Buradan, nanofiltrasyon sistemlerinde düşük besleme basıncından dolayı akının işletme maliyetinde etkili olmadığı görülmektedir.

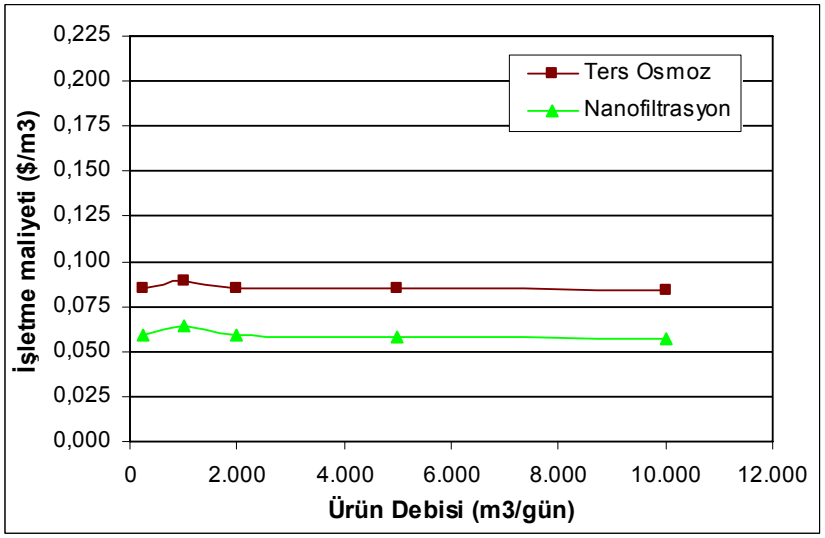
Toplam üretim maliyeti, her üç akı için de üretim debisi 250 m^3/gün ve altına düştükçe 0.15 $/$m^3$`ü geçmekte, 5000 $m^3$/gün`den büyük debilerde ise, 22.16 l/m^2.st akıda 0.11 $/$m^3$ civarında ve diğer akılarda 0.10 $/$m^3$ civarında sabitlenmektedir.

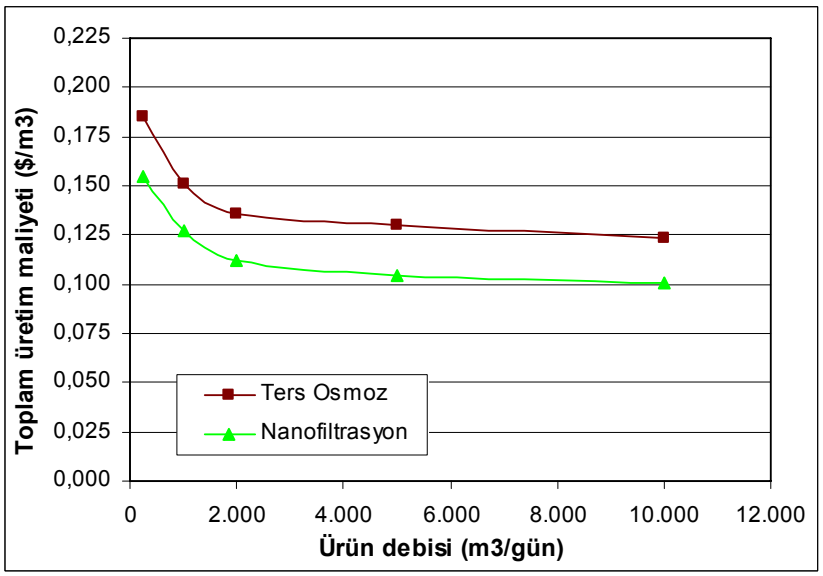
Nanofiltrasyon membranlarının ilk yatırım maliyetinin, işletme ve toplam üretim maliyeti üzerindeki etkisi, Şekil 6.4'de verilmiştir. Ters osmoz membranları ile elde edilen sonuçlara benzer şekilde, işletme maliyeti belirli bir ilk yatırım değerinden sonra azalmakta, toplam üretim maliyeti ise ilk yatırım maliyeti ile artmaktadır.

İki farklı membran sistemi için (nanofiltrasyon ve ters osmoz), %75 geri kazanım oranı ve 26.9 l/m^2.st akı ile tasarımı için, ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkilerinin kıyaslamaları Şekil 6.5`de verilmiştir. Aynı tasarımda iki farklı membran sistemi için ürün debisinin, birim üretim enerji maliyeti ve enerji fiyatının, 1000 $m^3$/gün üretim için işletme ile toplam üretim maliyeti üzerindeki etkisi bakımından kıyaslaması Şekil 6.6`da verilmiştir. Yine aynı tasarımda membran ömrünün, 1000 m^3/gün üretim için membran yenileme maliyeti, işletme maliyeti ve toplam üretim maliyeti bakımından kıyaslaması Şekil 6.7`de verilmiştir.

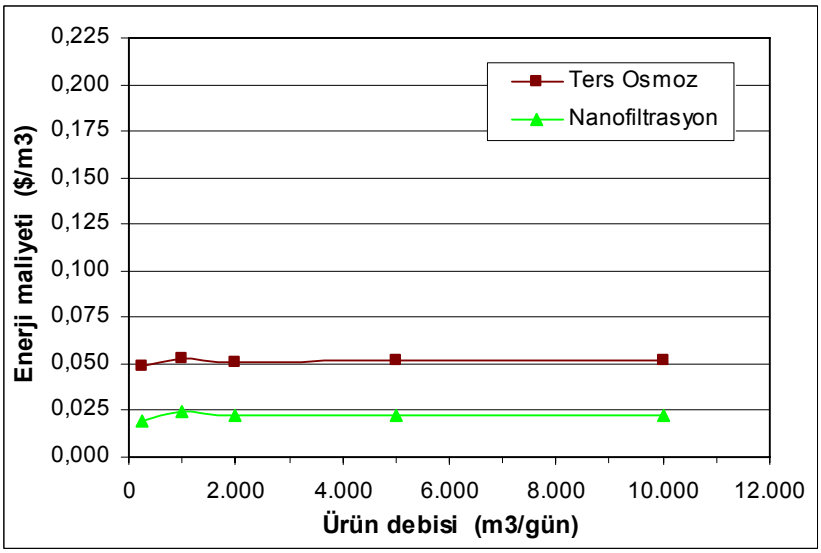
Elde edilen veriler, nanofiltrasyon sisteminin ters osmoz sistemi ile ilk yatırım maliyeti bakımından hemen hemen aynı olduğunu, işletme maliyeti bakımından %30 ve toplam üretim maliyeti bakımından ise %20 civarında daha ekonomik olduğunu göstermektedir. Enerji tüketim maliyeti açısından, ters osmoz sisteminin nanofiltrasyon sistemine oranla en az 2 kat daha pahalı olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6.6).

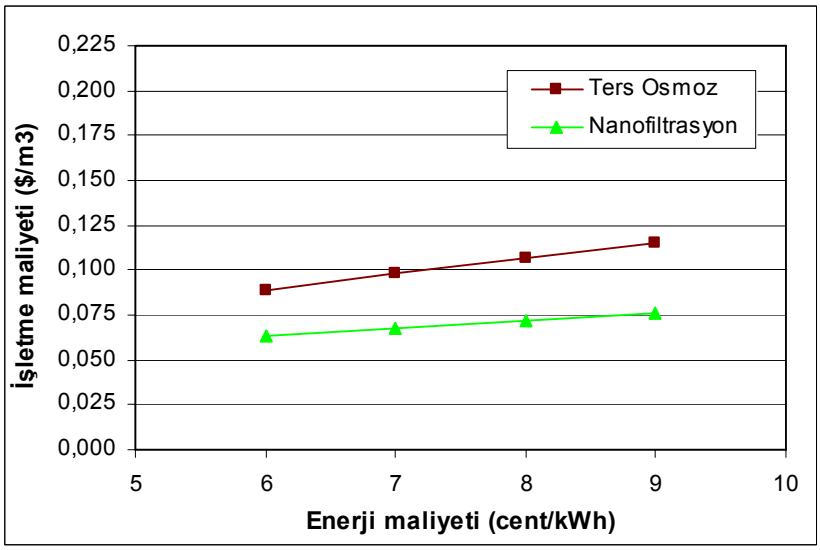


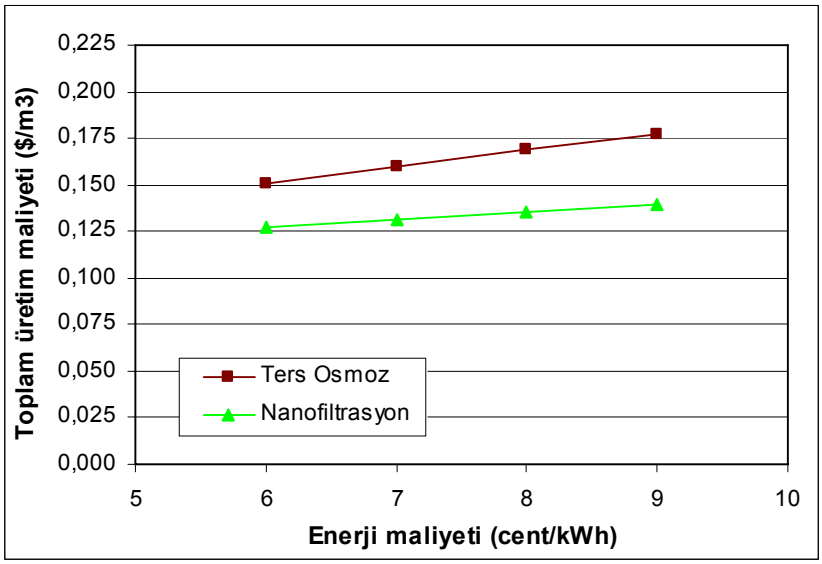




Şekil 6.5: TDS=930 mg/l tuzluluktaki Ankara-Polatlı kuyu suyu ters osmoz ve nanofiltrasyon sistemlerinin ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkilerinin kıyaslaması

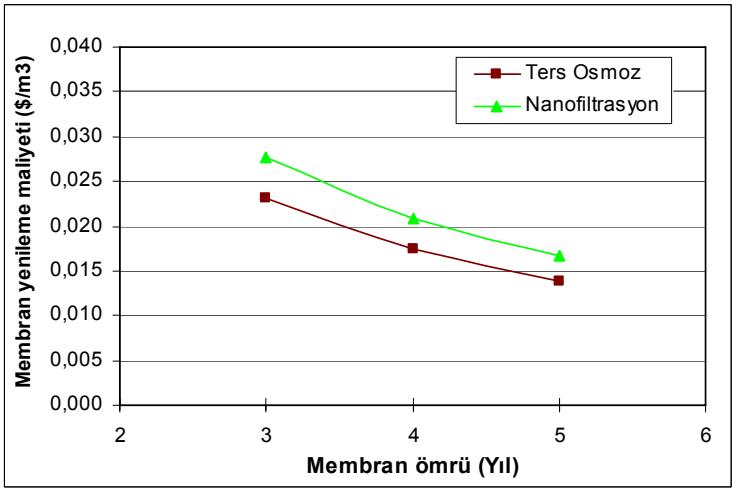


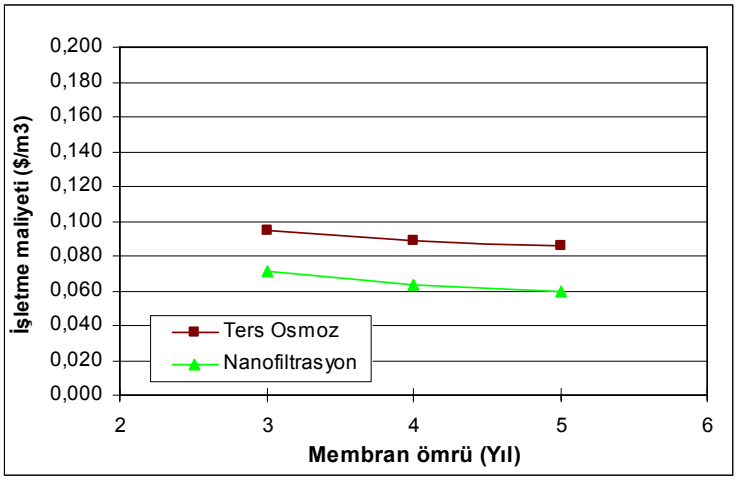


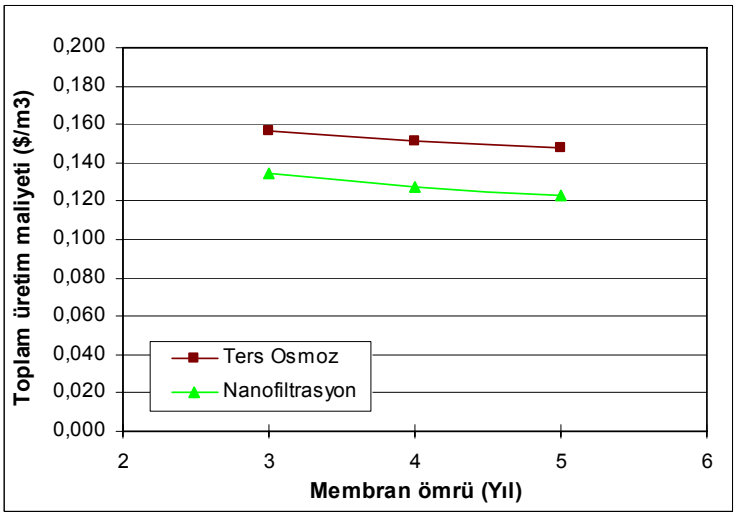


Şekil 6.6: TDS=930 mg/l tuzluluktaki Ankara-Polatlı kuyu suyu ters osmoz ve nanofiltrasyon sistemleri için işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ve enerji fiyatı ile ilişkilerinin kıyaslaması

Membran yenileme maliyeti nanofiltrasyon sisteminde birim üretim bazında ters osmoz sistemine oranla %20 daha pahalı olmaktadır.







Şekil 6.7: TDS=930 mg/l tuzluluktaki Ankara-Polatlı kuyu suyu ters osmoz ve nanofiltrasyon sistemleri için membran yenileme maliyeti, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin membran ömrü ile ilişkilerinin kıyaslaması

6.1.2 TDS değeri 1070 mg/l olan Tekirdağ ve 1800 mg/l olan Silivri kuyu suları üzerinde yapılan çalışmalar

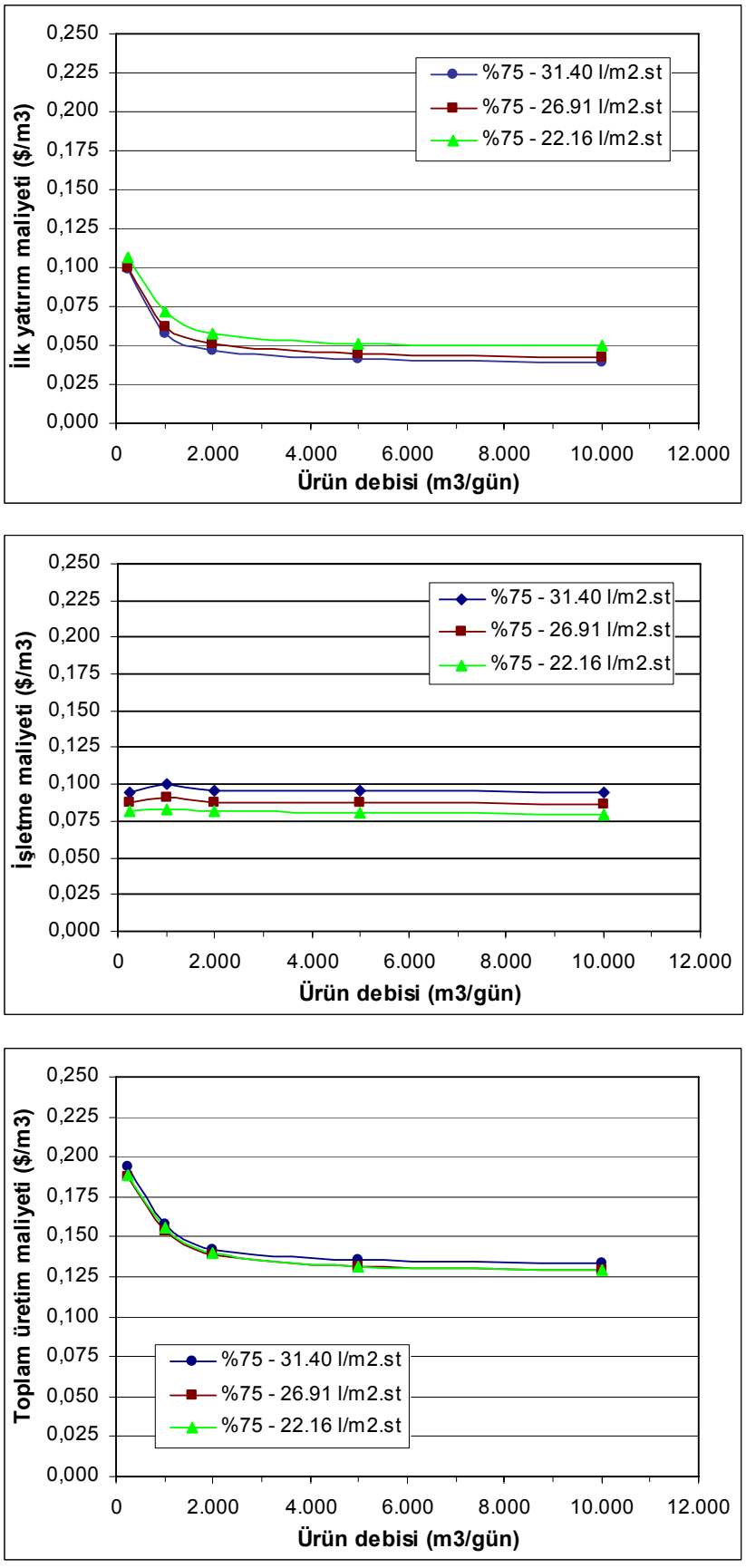
Tekirdağ ve Silivri kuyu suları için kuyu suyu ters osmoz membranları ile maliyet analiz çalışması yapılmıştır. Bu çalışmalara ait ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkisi, %75 geri kazanım oranı ve üç farklı akı için sırasıyla Şekil 6.8 ve Şekil 6.9`da verilmiştir.

Ek D`de Tekirdağ kuyu suyu ters osmoz sistemine ait akının ve geri kazanım oranının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişkisi Şekil D.1 ve Şekil D.2`de beş farklı kapasite için verilmiştir. Enerji maliyetinin ve kimyasal maliyetinin işletme ve toplam üretim maliyetine etkisi Şekil D.3 ve Şekil D.4`de üç farklı akı ve beş farklı kapasite için verilmiştir. Aynı şekiller, Silivri kuyu suyu ters osmoz sistemi için Ek E`de sırasıyla Şekil E.1, Şekil E.2, Şekil E.3 ve Şekil E.4`de verilmiştir.

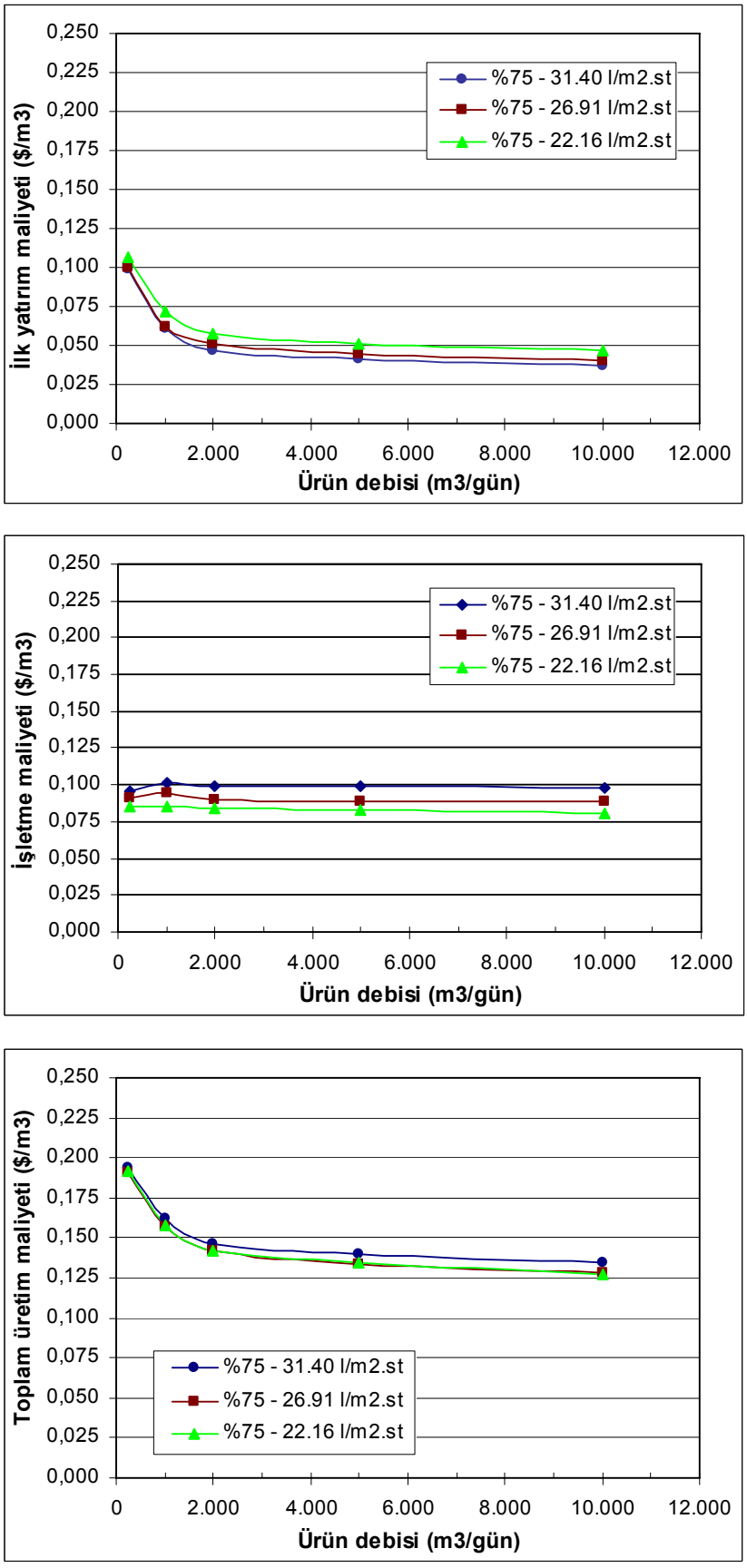
Bir önceki bölümde elde edilen verilere benzer şekilde, birim üretim maliyeti değerleri, kapasite ile azalmaktadır. Birim ilk yatırım maliyeti, 2000 m^3/gün değerine kadar hızlı bir şekilde azalmış, 2000 m^3/gün değerinden sonra ise sabitlenmeye başlamıştır.

TDS değeri 1070 mg/l olan Tekirdağ kuyu suyu sisteminde, en yüksek ilk yatırım maliyeti 250 m^3/gün debide ve 22.16 l/m^2.st akıda 0.106 \$/m^3 olarak bulunmuştur. Diğer akılarda ise 250 m^3/gün kapasitede ilk yatırım maliyeti 0.10 \$/m^3 civarındadır. Üretim kapasitesi 2000 m^3/gün iken bu ilk yatırım maliyetleri yarı yarıya düşmektedir. 5000 m^3/gün`den sonra ise üç akıda da ilk yatırım maliyeti 0.05 \$/m^3 değerinin altına inmekte ve kapasite daha da büyüdükçe 0.04-0.05 \$/m^3 arasında sabitlenmektedir. Akılar arasında, ortalama %10 ilk yatırım maliyeti farkı bulunmuştur.

Her üç akıda da işletme maliyeti 0.075-0.10 \$/m^3 arasında kalmaktadır. İşletme maliyetleri 1000 m^3/gün debide çok az yükselip, 2000 m^3/gün debiden itibaren sabitlenmektedir. En yüksek işletme maliyeti 1000 m^3/gün debide 31.4 l/m^2.st akıda 0.101 \$/m^3 olarak elde edilmiştir. Akılar arasındaki işletme maliyeti farkı ise %10 olarak bulunmuştur.



Şekil 6.8: TDS=1070 mg/l tuzluluktaki Tekirdağ kuyu suyu ters osmoz sisteminin ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkisi



Şekil 6.9: TDS=1800 mg/l tuzluluktaki Silivri kuyu suyu ters osmoz sisteminin ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkisi

Debi, 2000 m^3/gün`nün altına düşerken toplam üretim maliyeti üretim debisi ile ters orantılı olarak lineer artmaktadır. 2000 $m^3$/gün`den sonra ise 0.135 \$/m^3 civarında sabitlenmektedir. En yüksek toplam üretim maliyeti 250 m^3/gün debi ve 31.4 l/m^2.st akıda 0.194 \$/m^3 olarak bulunmuştur.

Silivri kuyu suyu için elde edilen veriler, Tekirdağ kuyu suyu için elde edilen veriler ile hemen hemen aynıdır. İki sistem arasında görülen en belirgin fark, Silivri suyunun daha tuzlu olmasından dolayı enerji tüketiminin daha fazla olmasından kaynaklanan %2-3 oranında işletme maliyeti artışı olarak bulunmuştur.

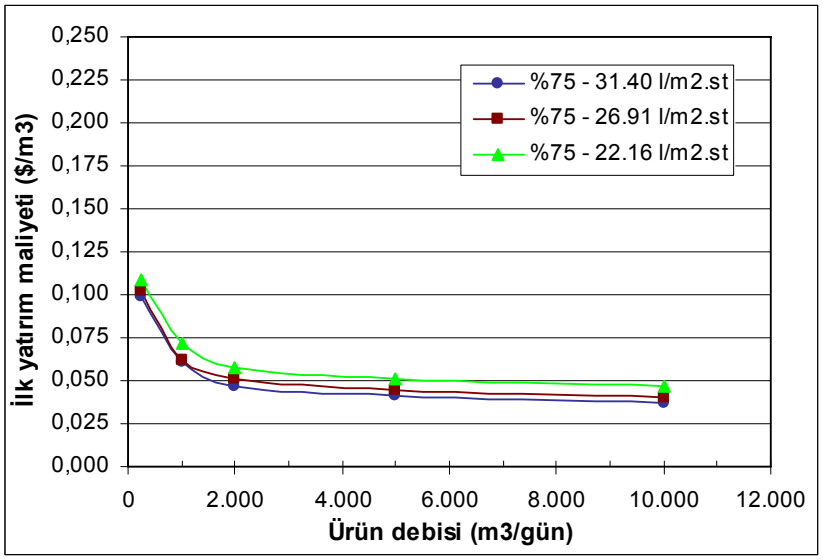
6.1.3 TDS değerleri 2230 ve 2670 mg/l olan Bodrum kuyu suları üzerinde yapılan çalışmalar

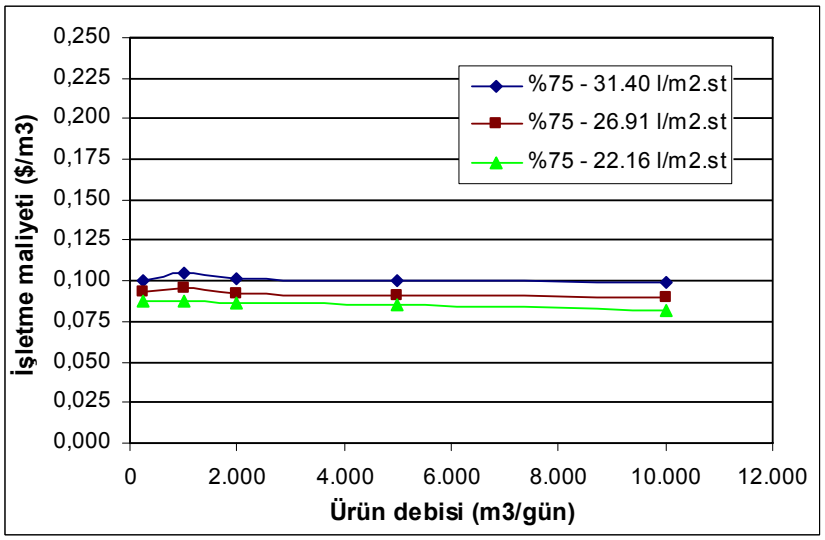
Bodrum için iki farklı kuyu suyu ile ters osmoz sistemi maliyet analiz çalışması yapılmıştır. Bu çalışmalara ait ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkisi ile ilk yatırım maliyetinin işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişkisi, %75 geri kazanım oranı ve üç farklı akı için Şekil 6.10, Şekil 6.11 ve Şekil 6.12`de verilmiştir.

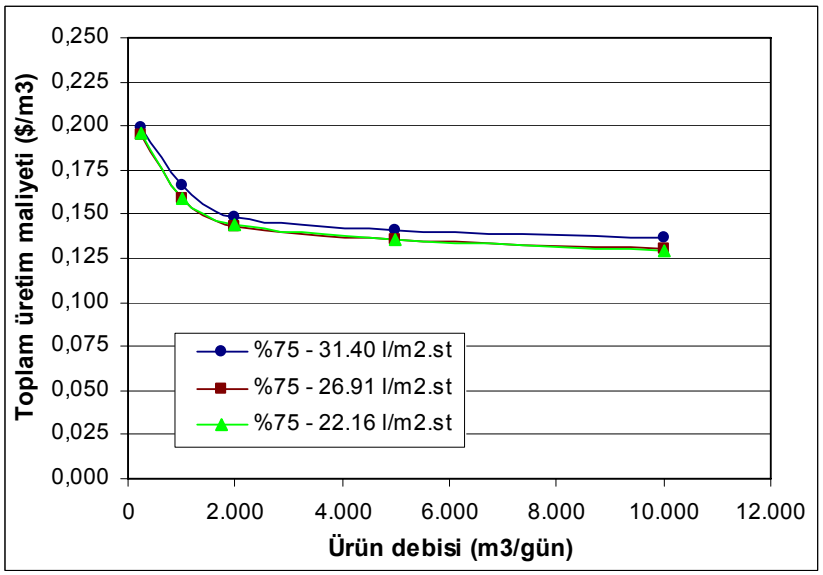
Her iki sistem için yapılan maliyet analizinde de 5000 m^3/gün'den itibaren ilk yatırım maliyetlerinin 0.035-0.05 \$/m^3 arasında sabitlenmeye başladığı ve 2000-1000 m^3/gün arasında biraz yükseldiği görülmektedir. Kapasite 1000 m^3/gün`nün altına düşerken ise, ilk yatırım maliyeti debi ile ters orantılı olarak lineer şekilde hızla artmaktadır. Görülen en yüksek ilk yatırım maliyeti, 22.16 l/m^2.st akıda ve 250 m^3/gün debide 0.09 \$/m^3 olmuştur.

1000 m^3/gün ile 250 m^3/gün kapasiteli sistemler arasında ilk yatırım maliyetinin birim üretim bazında 1.5 kattan daha fazla arttığı görülmektedir. Söz konusu artış 2000 m^3/gün ile 250 m^3/gün kapasiteli sistemler arasında 2 kat olmaktadır.

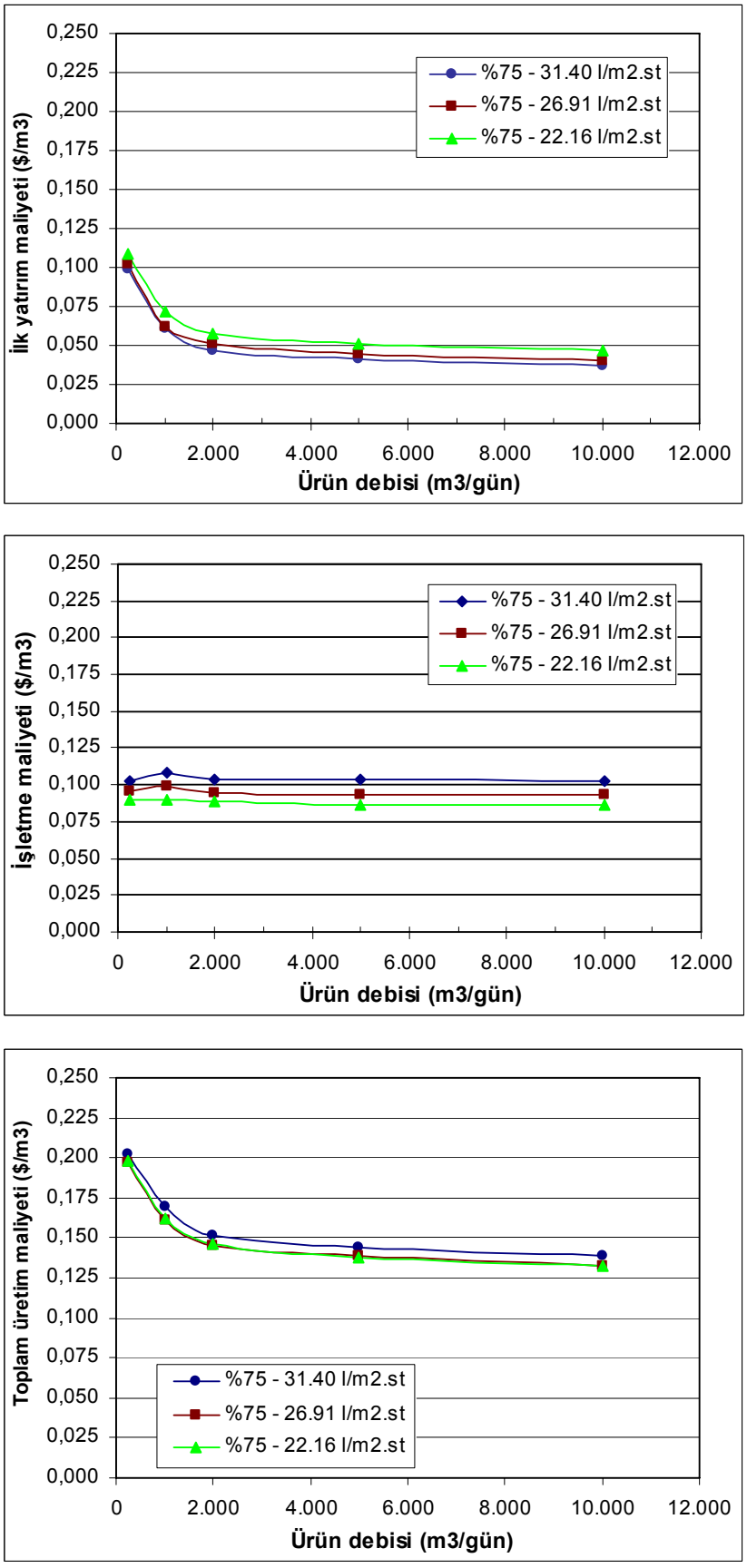
Sistemlerin işletme maliyetleri 1000 m^3/gün kapasitede gerçekleşen %5`lik pik haricinde sabittir ve en yüksek akıda en yüksek işletme maliyeti oluşmaktadır. Daha düşük tuzluluktaki kuyu suyunun enerji tüketiminden dolayı işletme maliyeti, yüksek tuzluluktakine göre %4 oranında daha düşüktür ve her üç akı için de 0.08-0.105 \$/m^3 arasında değişmektedir.



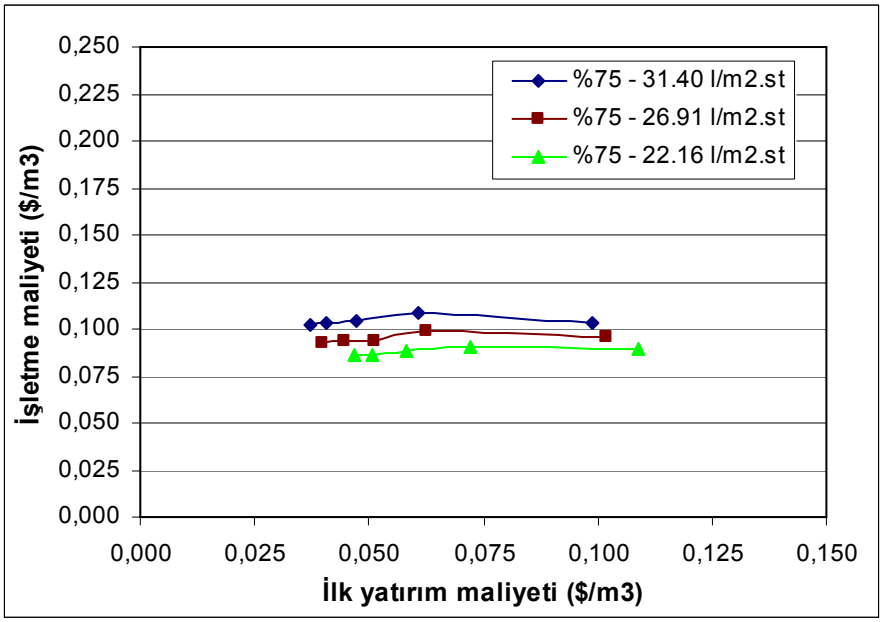


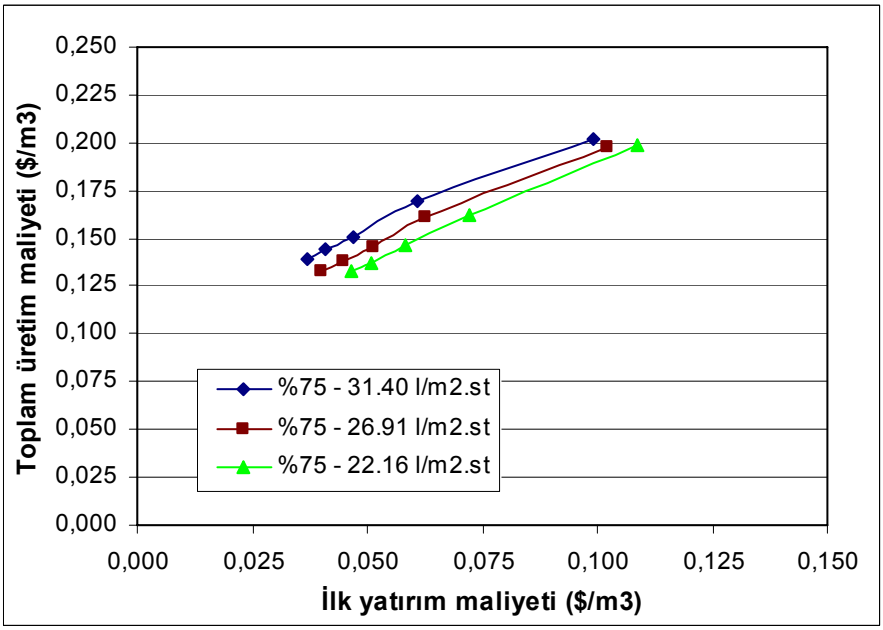


Şekil 6.10: TDS=2230 mg/l tuzluluktaki Bodrum kuyu suyu ters osmoz sisteminin ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkisi



Şekil 6.11: TDS=2670 mg/l tuzluluktaki Bodrum kuyu suyu ters osmoz sisteminin ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkisi





Şekil 6.12: TDS=2670 mg/l tuzluluktaki Bodrum kuyu suyu ters osmoz sistemine ait ilk yatırım maliyeti ile işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki

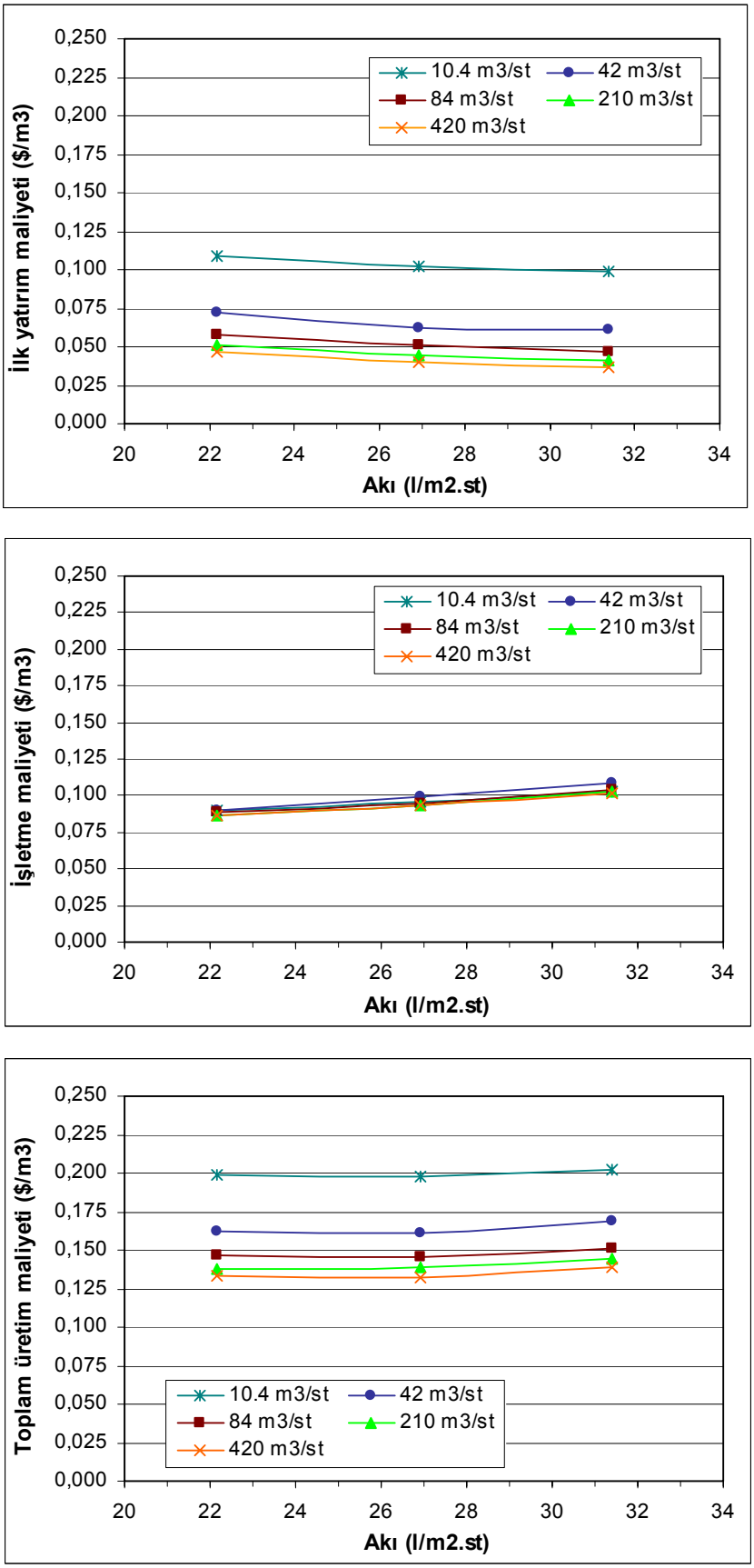
İki tuzluluktaki sistemin de toplam üretim maliyeti hemen hemen aynıdır ve 2000 m^3/gün kapasiteden sonra 0.30-0.45 \$/m^3 arasında sabitlenmektedir. 2000 m^3/gün altındaki kapasitede ise debi ile ters orantılı olarak lineer artmaktadır. İki tuzlulukta da görülen en yüksek toplam üretim maliyeti, 250 m^3/gün debide 0.20 \$/m^3`tür.

Her iki tuzluluktaki sistemde de ilk yatırım maliyeti toplam üretim maliyeti ile lineer bir artış göstermektedir.

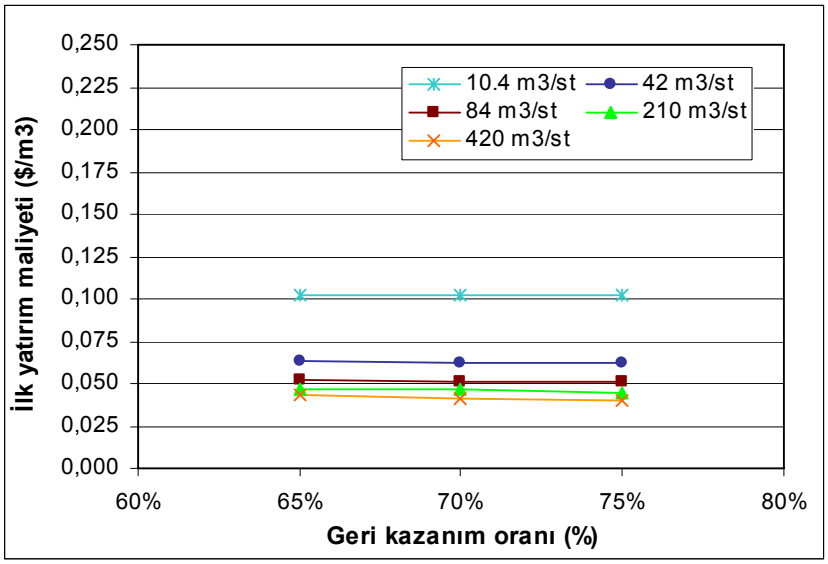
2670 mg/l tuzluluktaki Bodrum kuyu suyuna ait akının ve geri kazanım oranının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişkisi Şekil 6.13 ve Şekil 6.14`de beş farklı kapasite için verilmiştir. Enerji maliyetinin ve kimyasal maliyetinin işletme ve toplam üretim maliyetine etkisi Şekil 6.15 ve Şekil 6.16`de üç farklı akı ve beş farklı kapasite için verilmiştir. Membran ömrünün işletme ve toplam üretim maliyetine etkisi de Şekil 6.17`de beş farklı kapasite için verilmiştir. Ön arıtma grubunun ve ön arıtmalı ters osmoz sisteminin ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkisi ise Şekil 6.18 ve Şekil 6.19`de beş farklı kapasite için verilmiştir.

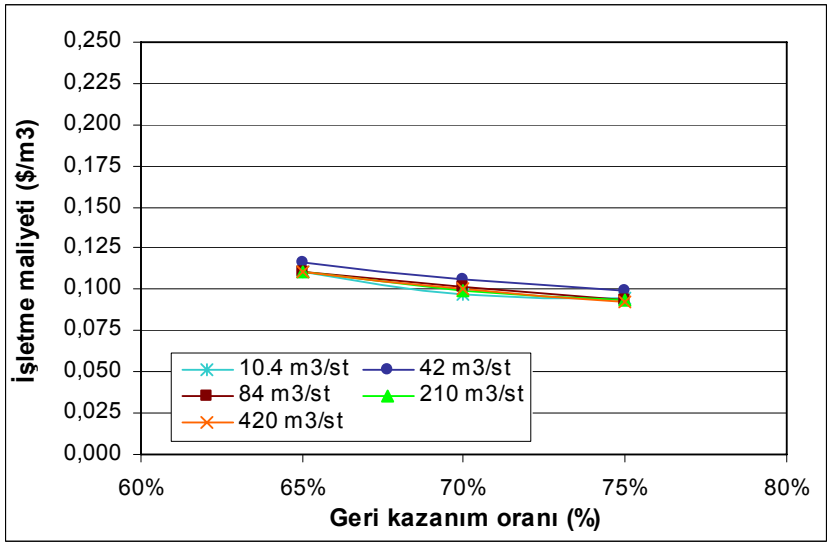
Ek F`de 2230 mg/l tuzluluktaki Bodrum kuyu suyu ters osmoz sistemine ait akının ve geri kazanım oranının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişkisi Şekil F.1 ve Şekil F.2`de beş farklı kapasite için verilmiştir. Enerji maliyetinin ve kimyasal maliyetinin işletme ve toplam üretim maliyetine etkisi Şekil F.3 ve Şekil F.4`de üç farklı akı ve beş farklı kapasite için verilmiştir.

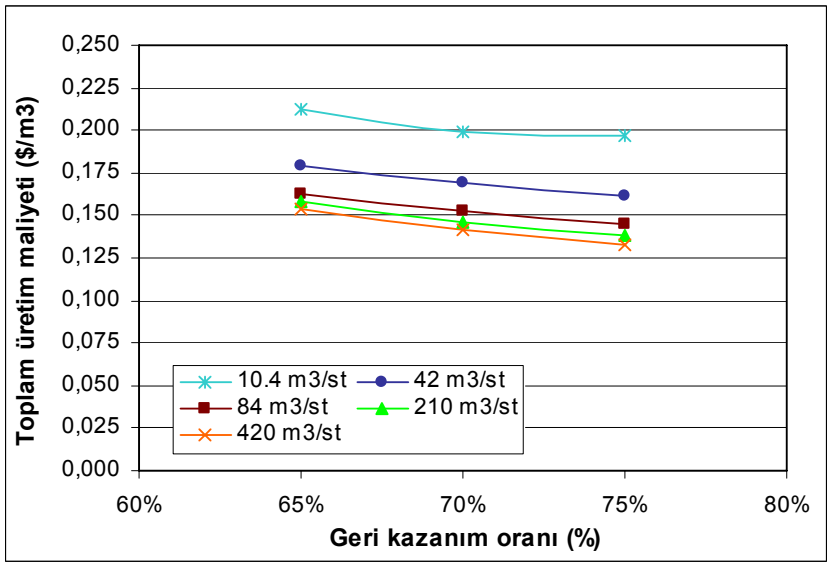
Şekil 6.13`de verilen 31.4 l/m^2.st, 26.9 l/m^2.st ve 22.2 l/m^2.st olan üç farklı akı için yapılan maliyet analizlerinde akının birim üretim başına ilk yatırım maliyetini 31.4-26.9 l/m^2.st arasında %10'a kadar ve 31.4-22.2 l/m^2.st arasında ise %10-30 oranında artırdığı tespit edilmiştir. Akı azaldıkça kullanılan membran adedi arttığı için, ilk yatırım maliyeti yükselmektedir. Buna karşılık akının azalması işletme maliyetini düşürmektedir. Akı-işletme maliyeti eğrisinden akının artması ile işletme maliyetinin lineer arttığı görülmektedir. Akının ilk yatırım ve işletme maliyetine etkisi ters orantılı olduğu için toplam üretim maliyetine etkisi 31.4-22.2 l/m^2.st arasında %5'in altında kalmakta ve toplam üretim maliyetini az derecede doğrusal olarak artırmaktadır. Elde edilen verilerden, akının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerine etkisinin ürün kapasitesi büyüdükçe arttığı görülmektedir.



Şekil 6.13: TDS=2670 mg/l tuzluluktaki Bodrum kuyu suyu ters osmoz sistemin ait akı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki







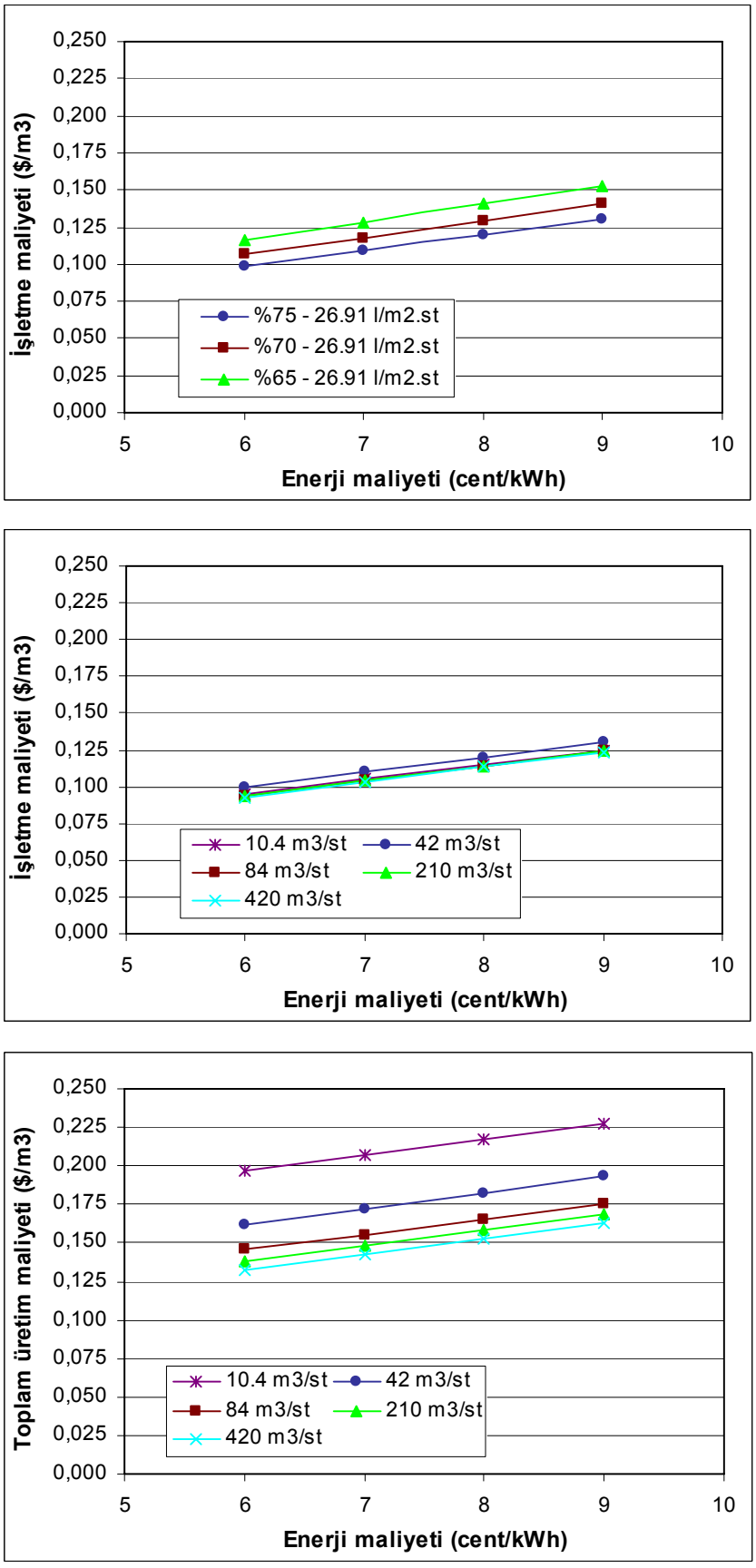
Şekil 6.14: TDS=2670 mg/l tuzluluktaki Bodrum kuyu suyu ters osmoz sistemine ait geri kazanım oranı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki

Şekil 6.14`de geri kazanım oranının ilk yatırım maliyetine etkisi olmadığı görülmektedir. Buna karşılık geri kazanım oranı arttıkça işletme maliyeti düşmektedir. Bunun nedeni, geri kazanım oranı arttıkça besleme suyu miktarındaki azalmanın uygulanan besleme basıncındaki artışa oranla daha etkili olmasıdır. Bundan dolayı harcanan enerji miktarı da azalmaktadır. İşletme maliyetindeki bu azalma toplam üretim maliyetinde de etksini göstermektedir. Sistemin geri kazanım oranı arttıkça, toplam üretim maliyeti düşmektedir. Toplam üretim maliyeti beş farklı kapasite için 0.13-0.22 $\$/m^3$ arasında kalmaktadır ve %65 ile %75 geri kazanım oranları arasında, %5-15 arası azalmaktadır.

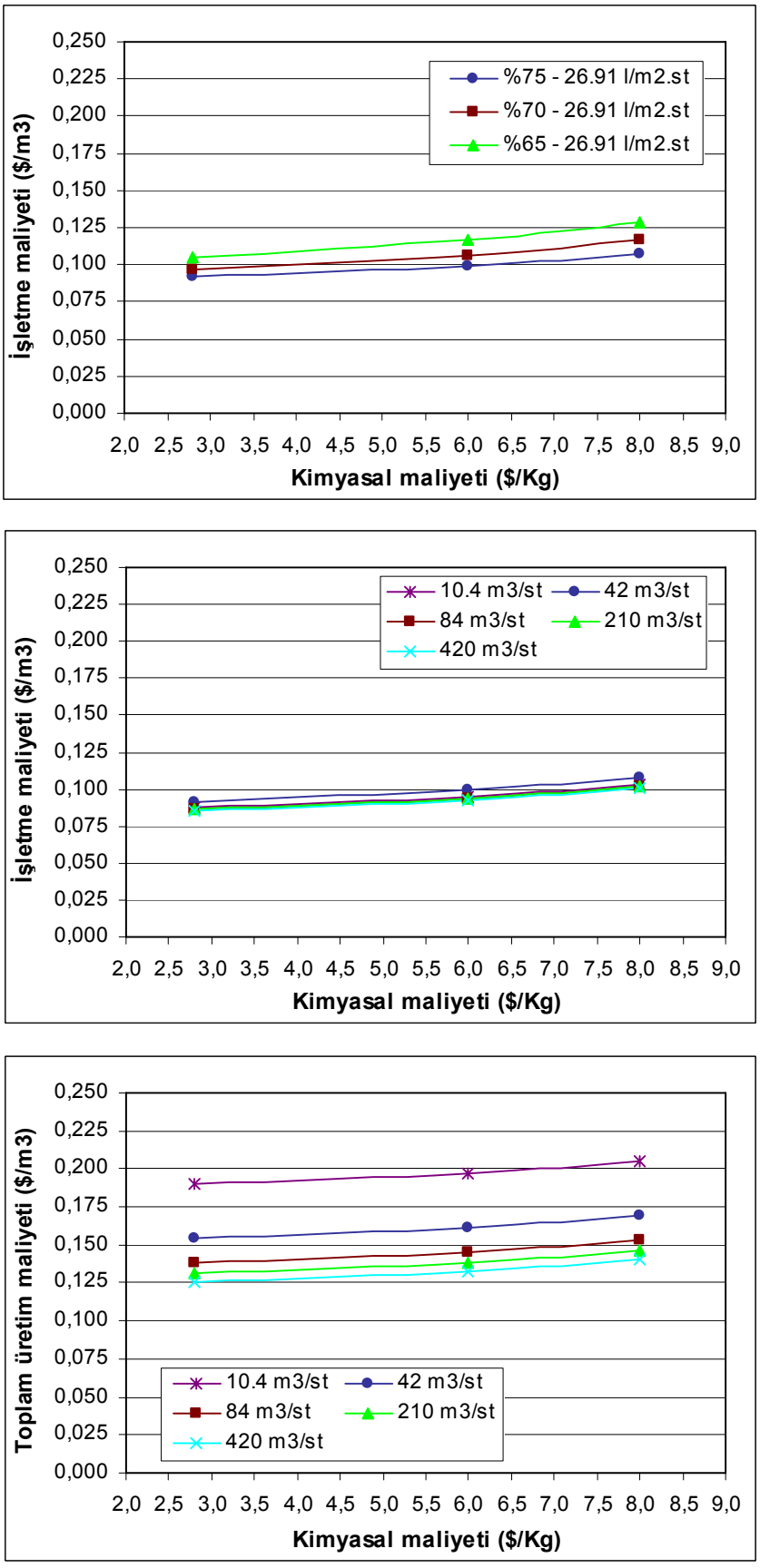
Şekil 6.15`de enerji fiyatının birim işletme ve toplam üretim maliyetini doğrusal olarak etkilediği ve lineer olarak artırdığı görülmektedir. Enerji fiyatının 6 centten 9 cente çıkması, işletme maliyetini %30`dan fazla artırmaktadır. Toplam üretim maliyetini ise %15-25 artırmaktadır. Geri kazanım oranı azaldıkça enerji tüketimi arttığı için enerji fiyatının yüksek olduğu bölgelerde zorunlu olmadıkça daha yüksek geri kazanım oranı olan sistemleri tercih etmek ekonomik açıdan önemlidir.

Kimyasal fiyatının da birim işletme ve toplam üretim maliyetine etkisi enerji fiyatı ile aynıdır ve doğrusal olarak lineer artırmaktadır. Geri kazanım oranı arttıkça besleme debisi de arttığı için besleme hattına dozlanan kimyasal miktarı da artmaktadır. Bu nedenle, en yüksek kimyasal tüketimi en düşük akıda görülmektedir. Kimyasal fiyatları arttıkça kullanım miktarları biraz azalsa da 2.8 $/kg ile 8 $/kg kimyasal kullanılması durumunun kıyaslaması yapıldığında, maliyeti 8 $/kg olan kimyasalın, işletme maliyetini beş kapasite için de ortalama %18 artırdığı görülmektedir.

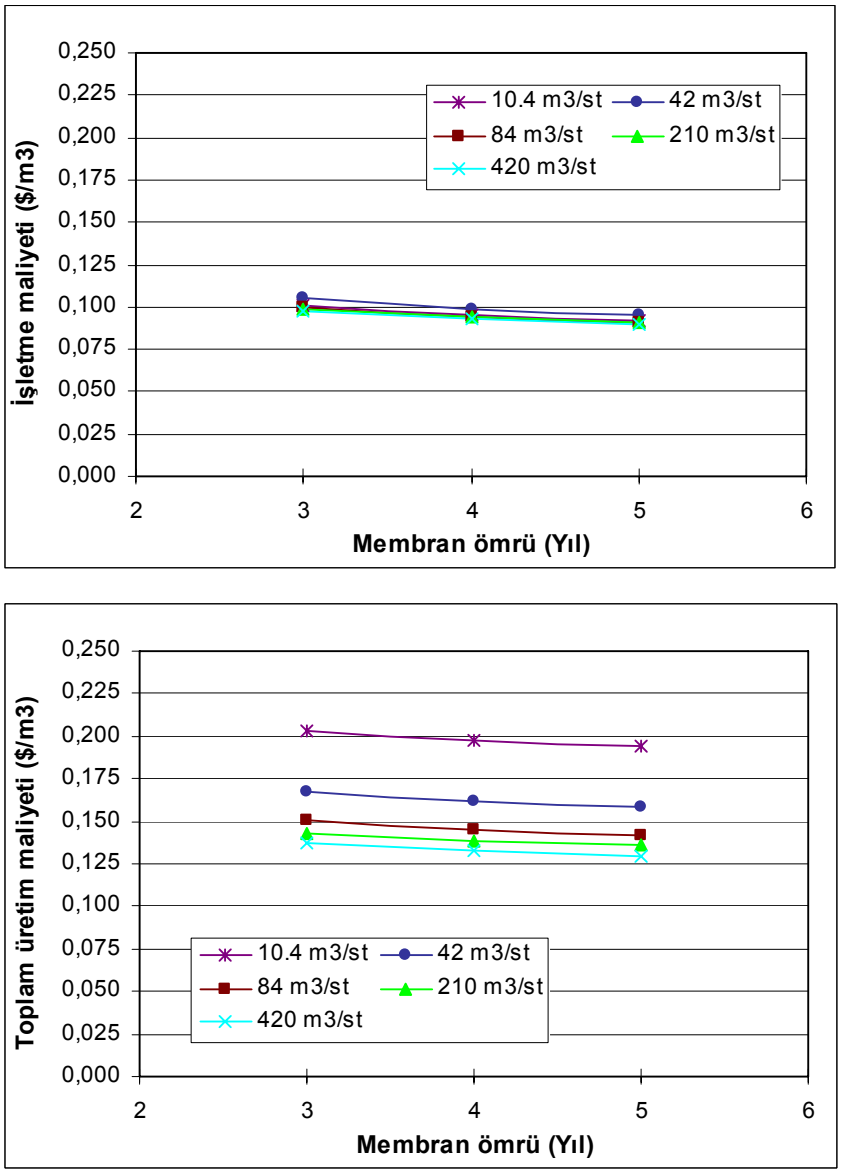
Şekil 6.17`de membran ömrünün sistemin birim işletme ve birim toplam üretim maliyetini lineer olarak düşürdüğü görülmektedir. Membran ömrü, 3 yıldan 5 yıla çıkarken, sistemin işletme maliyeti %10 oranında azalmaktadır. Sistemin toplam üretim maliyeti ise membran ömrüne bağlı olarak, %5 civarında azalmaktadır.



Şekil 6.15: TDS=2670 mg/l tuzluluktaki Bodrum kuyu suyu ters osmoz sistemine ait enerji fiyatı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki

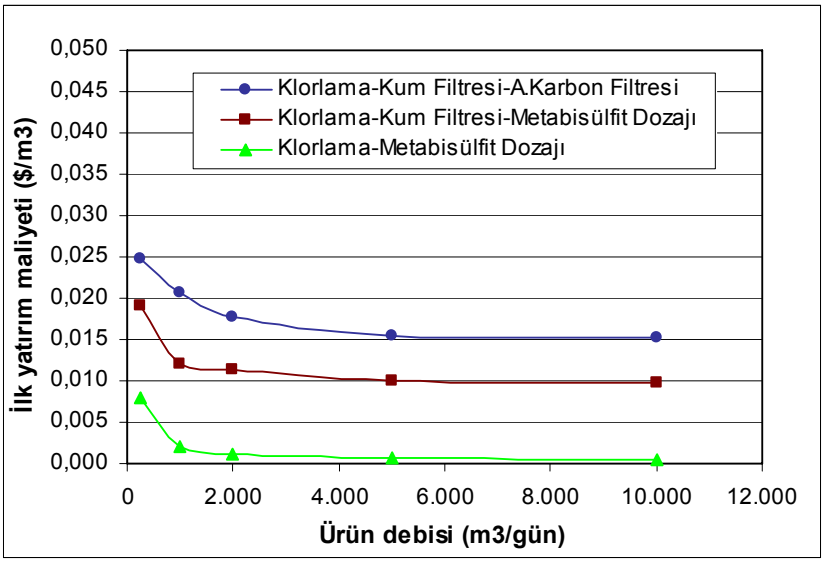


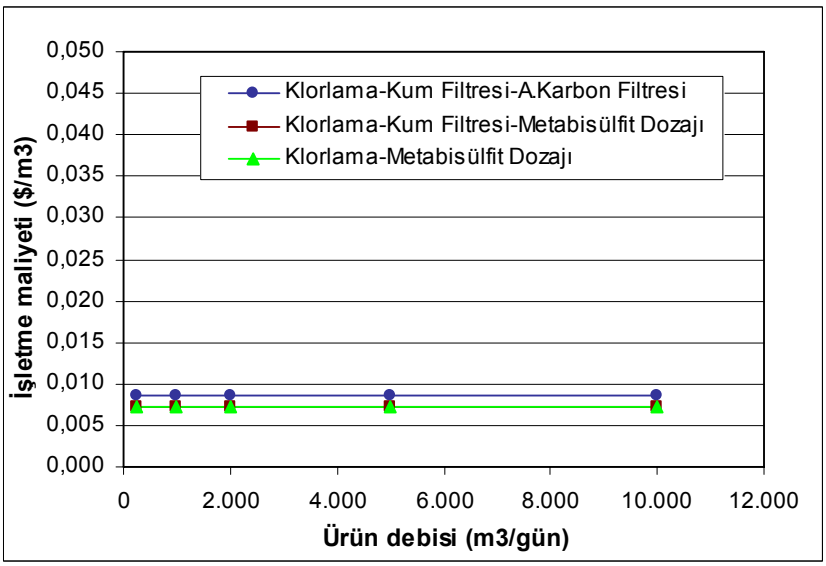
Şekil 6.16: TDS=2670 mg/l tuzluluktaki Bodrum kuyu suyu ters osmoz sistemine ait kimyasal fiyatı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki

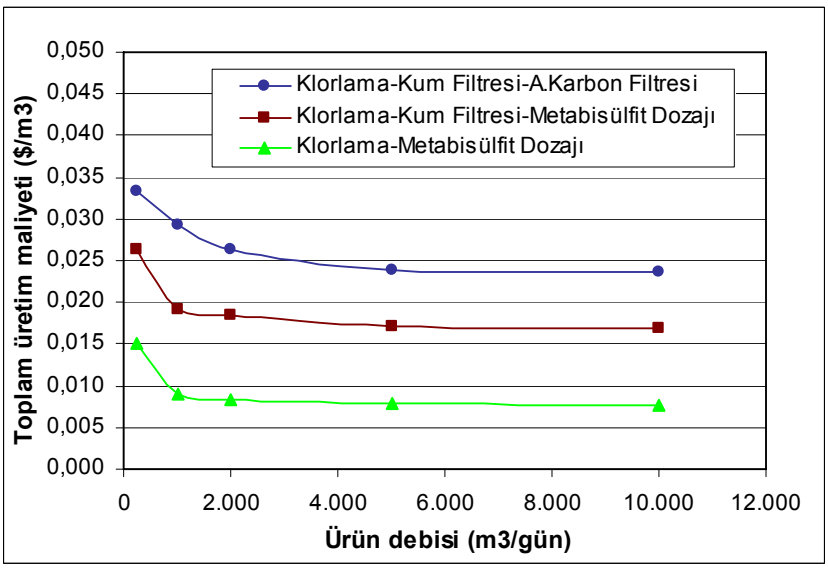


Şekil 6.17: TDS=2670 mg/l tuzluluktaki Bodrum kuyu suyu ters osmoz sistemine ait membran ömrü ile işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki

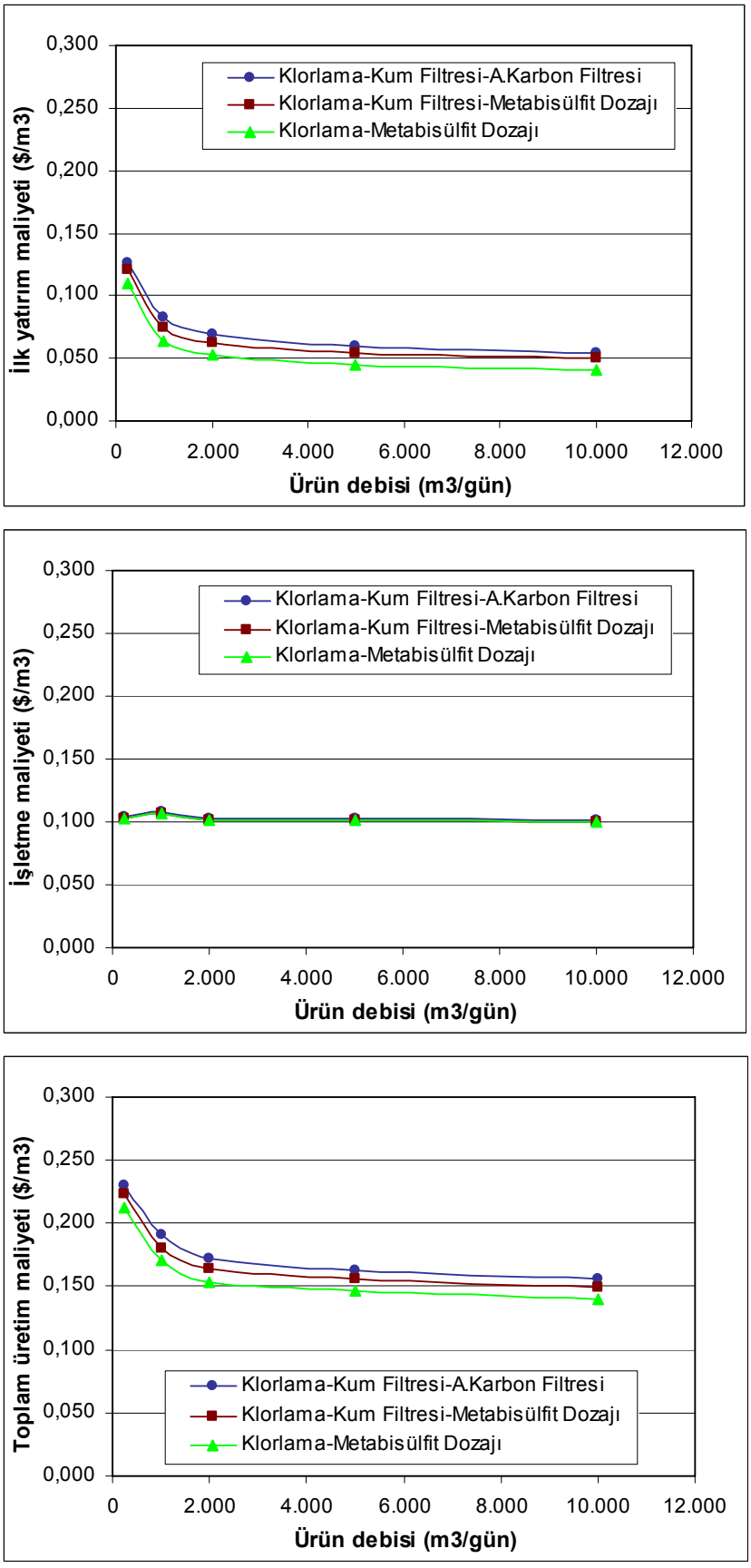
Şekil 6.18`de üç farklı ön arıtma grubunun birim ilk yatırım maliyetinin 2000 $m^3$/gün kapasiteye kadar parabolik olarak azaldığı ve 2000 $m^3$/gün`den sonra sabitlendiği görülmektedir. İlk yatırım maliyetleri 0.025 \$/m^3`den az bulunmuştur. Klorlama ve sodyum metabisülfitten oluşan ön arıtma grubunun 2000 m^3/gün kapasiteden sonra birim ilk yatırım maliyeti sıfıra yakındır. Ön arıtma gruplarının işletme maliyetleri 0.01 \$/m^3 değerinin altındadır ve debi ile sabittir. Aktif karbon filtresi içeren sistemin işletme maliyeti daha yüksektir ve 0.085 \$/m^3 bulunmuştur. Diğer sistemlerin ise işletme maliyeti ise 0.072 \$/m^3 bulunmuştur. Toplam üretim maliyeti 2000 m^3/gün`e kadar parabolik azalıp, bundan sonra sabitlenmektedir. Aktif karbon filtresi bulunan sistemde ise 5000 m^3/gün'den sonra sabitlenmektedir. Sabit noktada en yüksek toplam üretim maliyeti aktif karbon filtresi olan sistemde 0.034 \$/m^3 bulunmuştur.







Şekil 6.18: TDS=2670 mg/l tuzluluktaki Bodrum kuyu suyu ters osmoz sistemin ait ön arıtma grubunun ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetine etkisi



Şekil 6.19: TDS=2670 mg/l tuzluluktaki Bodrum kuyu suyu ön arıtmalı ters osmoz sisteminin ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkisi

Ön arıtma grubunun birim ilk yatırım maliyeti ters osmoz sistemine oranla daha düşük ancak benzer olduğu için, ön arıtmalı ters osmoz sisteminin debi ile ilk yatırım maliyeti eğrisi sadece ters osmoz sistemininki ile hemen hemen aynıdır. Ön arıtmalı ters osmoz sisteminin işletme maliyeti her üç ön arıtma grubu ile de aynıdır ve 1000 m^3/gün debide oluşan %25 pik haricinde 0.1 \$/m^3 civarında sabit bulunmuştur. Üç ön arıtma grubu ile ters osmoz sisteminin toplam üretim maliyeti hemen hemen aynıdır ve en yüksek aktif karbon bulunan sistemdedir. Sistemlerin toplam üretim maliyetlerinin 2000 m^3/gün`e kadar lineer olarak düştükten sonra, 0.14-0.16 \$/m^3 arasında sabitlendiği görülmüştür. Ön arıtmalı ters osmoz sisteminde en yüksek maliyet 250 m^3/gün debide ortalama 0.23 \$/m^3 bulunmuştur.

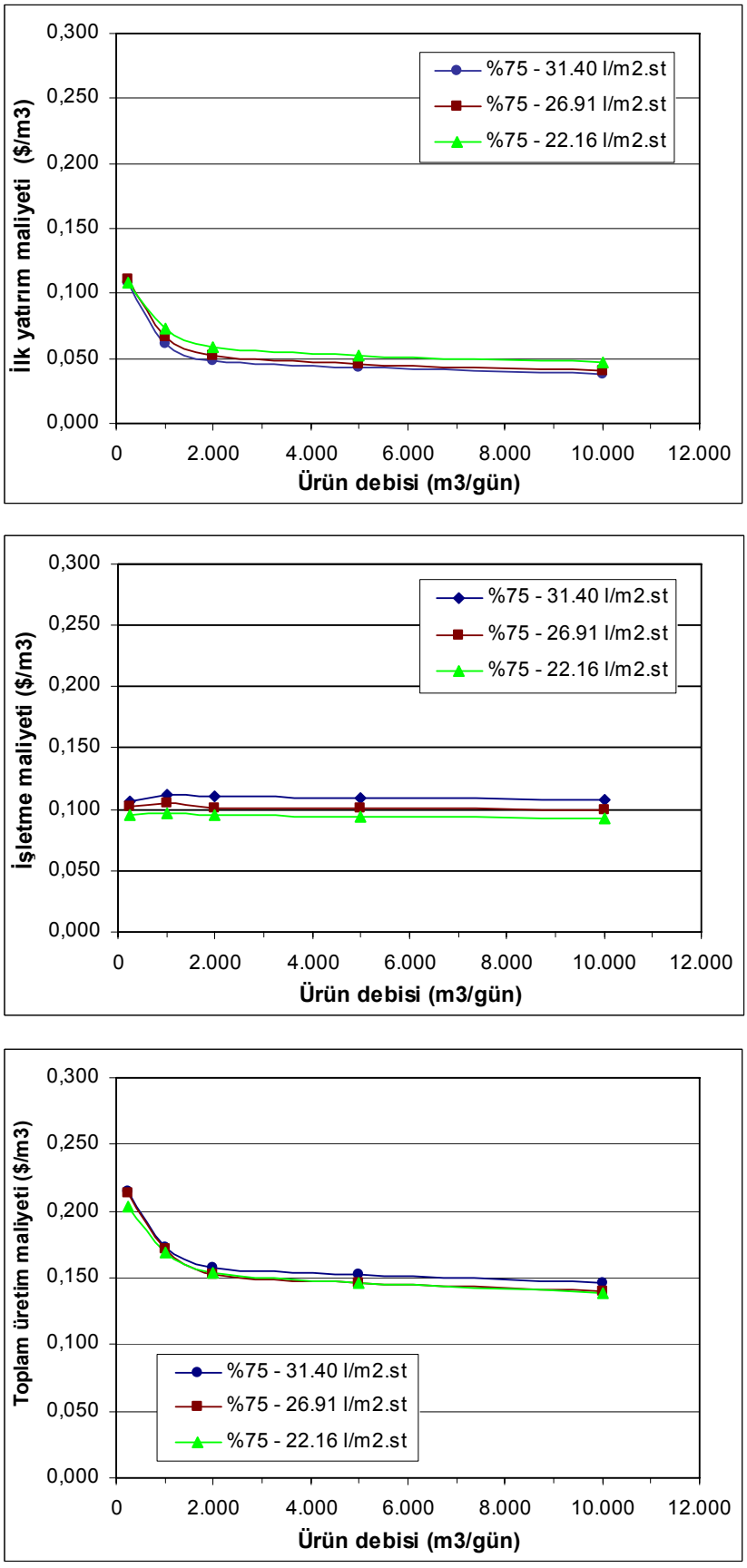
6.1.4 TDS değerleri 3640 mg/l ve 7350 mg/l olan Kıbrıs kuyu suları üzerinde yapılan çalışmalar

Kıbrıs için iki farklı kuyu suyu ile ters osmoz sistemi maliyet analiz çalışması yapılmıştır. Bu çalışmalara ait ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkisi %75 geri kazanım oranı ve üç farklı akı için Şekil 6.20 ve Şekil 6.21`de verilmiştir.

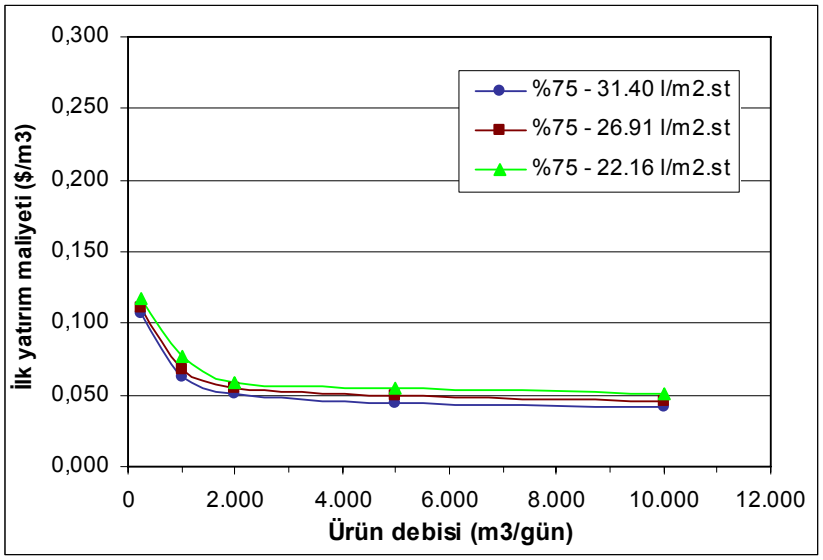
Ek G`de 3640 mg/l tuzluluktaki Kıbrıs kuyu suyu ters osmoz sistemine ait akının ve geri kazanım oranının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişkisi Şekil G.1 ve Şekil G.2`de beş farklı kapasite için verilmiştir. Enerji maliyetinin ve kimyasal maliyetinin işletme ve toplam üretim maliyetine etkisi Şekil G.3 ve Şekil G.4`de üç farklı akı ve beş farklı kapasite için verilmiştir. Aynı şekiller, 7350 mg/l tuzluluktaki Kıbrıs kuyu suyu ters osmoz sistemi için Ek H`da sırasıyla Şekil H.1, Şekil H.2, Şekil H.3 ve Şekil H.4`de verilmiştir.

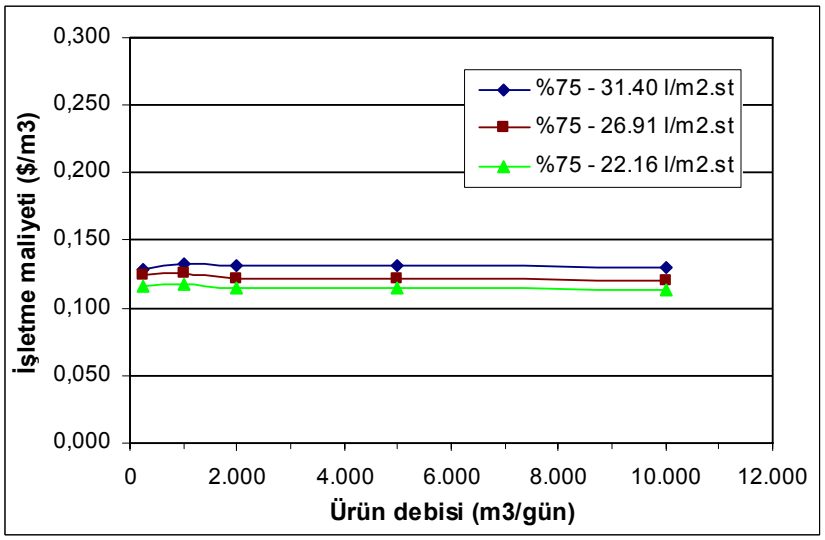
Her iki tuzluluktaki suyun da ilk yatırım maliyeti eğrileri birbirine yakınlık göstermektedir ve Bodrum kuyu sularının eğrileri ile hemen hemen aynıdır.

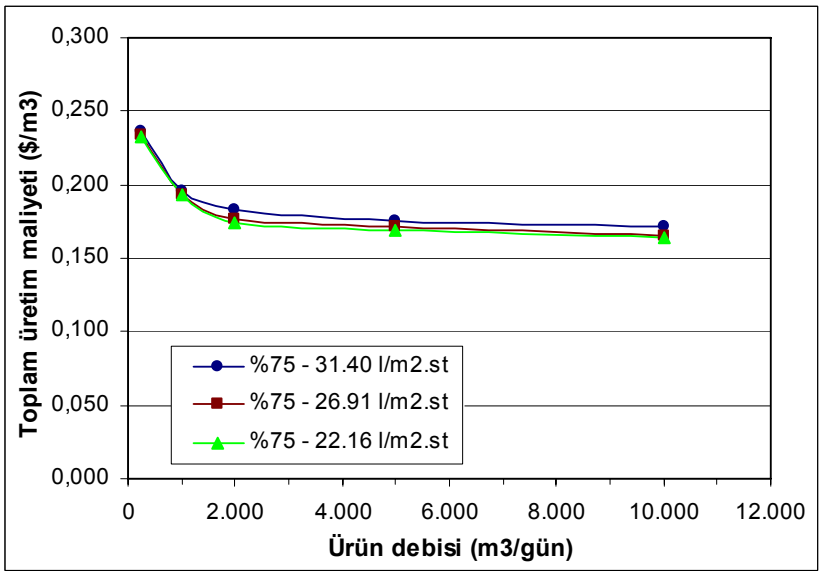
İşletme maliyeti bakımından ise, yüksek tuzluluktaki kuyu suyu düşük tuzluluktaki kuyu suyuna oranla ortalama %25 daha yüksektir. 2000 m^3/gün kapasiteden sonra düşük tuzluluktaki kuyu suyu akıya göre, 0.09-0.11 \$/m^3 arasında sabitlenirken, yüksek tuzluluktaki kuyu suyu, akıya göre 0.11-0.13 \$/m^3 arasında sabitlendiği tespit edilmiştir.



Şekil 6.20: TDS=3640 mg/l tuzluluktaki Kıbrıs kuyu suyu ters osmoz sisteminin ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkisi







Şekil 6.21: TDS= 7350 mg/l tuzluluktaki Kıbrıs kuyu suyu ters osmoz sisteminin ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkisi

Toplam üretim maliyeti, 3640 mg/l tuzluluktaki kuyu suyunda 31.4 l/m^2.st akıda ve 250 m^3/gün debide 0.215 \$/m^3 değerinde maksimum bulunmuş ve 2000 m^3/gün`den sonra akıya bağlı olarak 0.14-0.15 \$/m^3 arasında sabitlendiği görülmüştür.

Toplam üretim maliyeti, 7350 mg/l tuzluluktaki kuyu suyunda ise 31.4 l/m^2.st akıda ve 250 m^3/gün debide 0.24 \$/m^3 olarak en yüksek bulunmuştur ve 2000 m^3/gün`den sonra akıya bağlı olarak 0.165-0.175 \$/m^3 arasında sabitlendiği görülmüştür.

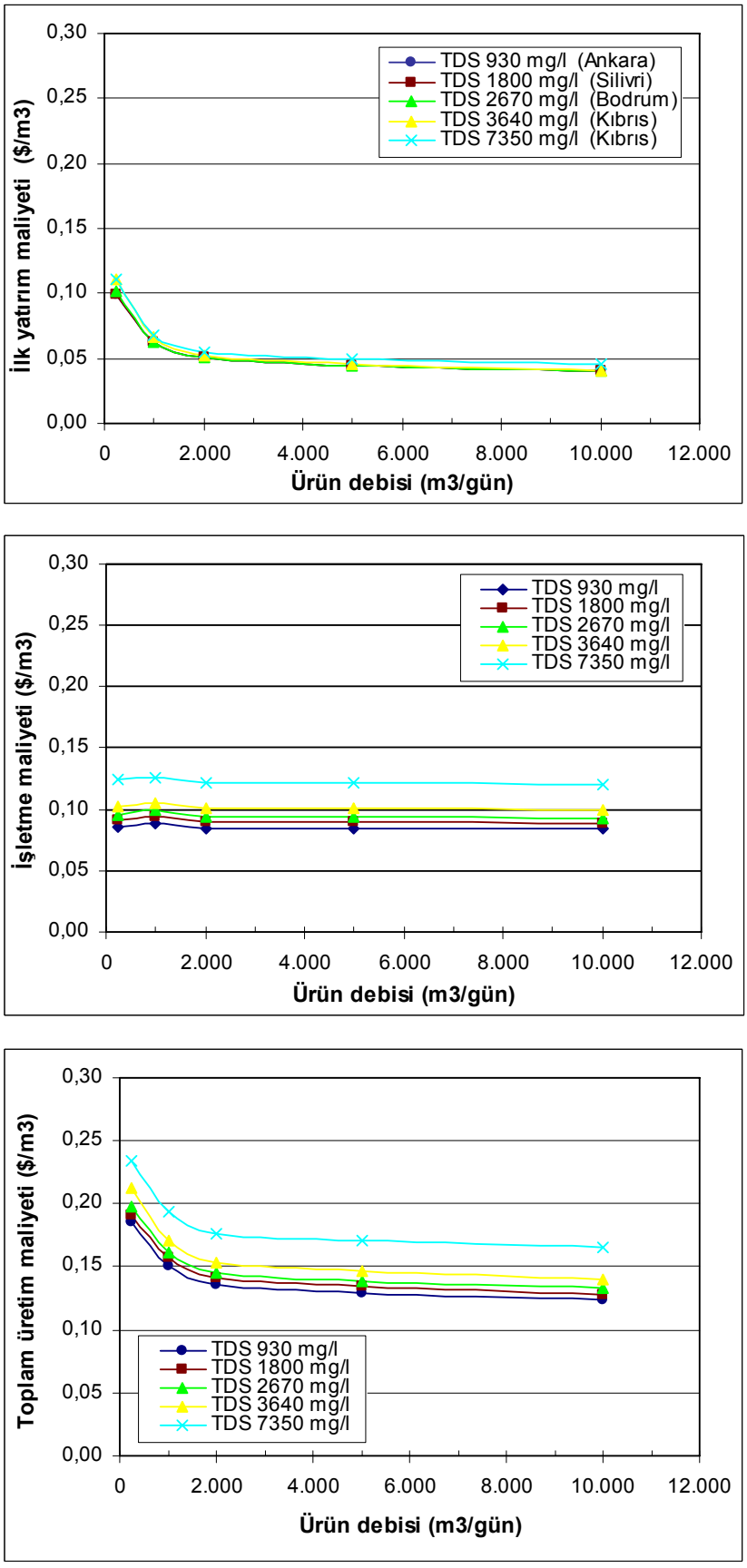
Toplam üretim maliyetinin diğer kuyu sularında olduğu gibi ilk yatırım maliyeti ile lineer bir artış gösterdiği görülmektedir.

6.1.5 Farklı konsantrasyonlardaki kuyu suyu ters osmoz sistemlerinin maliyet karşılaştırması

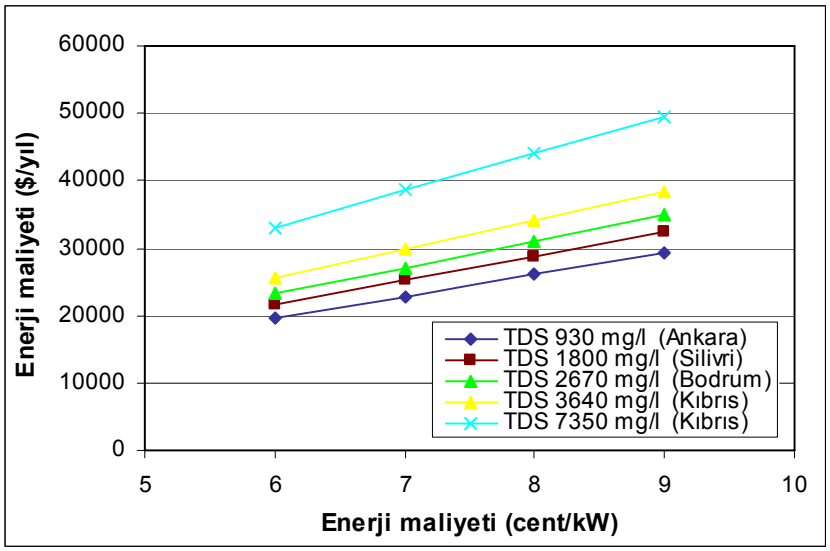
Toplam çözünmüş madde değerleri, 900 mg/l ile 7350 mg/l arasında beş kuyu suyuna ait ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkisi Şekil 6.22`de verilmiştir. Bu kuyu sularına ait enerji fiyatı, kimyasal fiyatı ve membran ömrünün işletme maliyeti ve toplam üretim maliyeti üzerindeki etkisi sırasıyla Şekil 6.23, Şekil 6.24 ve Şekil 6.25`de verilmiştir. Akının, geri kazanım oranının, ön arıtma grubunun ve ön arıtmalı ters osmoz sistemlerinin ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti eğrileri ise Şekil 6.26, Şekil 6.27, Şekil 6.28 ve Şekil 6.29`da verilmiştir.

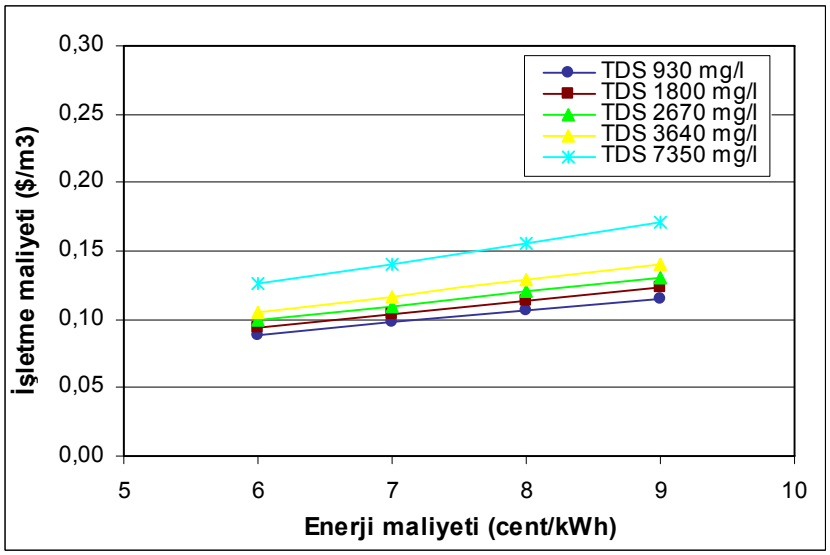
Beş farklı kalitedeki kuyu suyu üzerinde yapılan ters osmoz sistemi maliyet analizlerinde %75 geri kazanım oranı ve 26.9 l/m^2.st akı için oluşturulan tüm eğrilerde, 2000 m^3/gün debi değerine kadar hızlı bir şekilde azaldığı ve 2000 m^3/gün değerinin üstündeki debi değerlerinde maliyetteki azalmanın yavaşladığı ve hemen hemen sabit kaldığı görülmektedir. 2000 m^3/gün`den sonra birim üretim başına düşen ilk yatırım maliyetleri 0.04 – 0.05 \$/$m^3$ arasında bulunmuştur. Ürün debisi 250 $m^3$/gün`den 1000 m^3/gün`e yükselirken birim üretim başına düşen ilk yatırım maliyetinin ortalama %40 oranında, 2000 $m^3$/gün`e geldiğinde ise yarı yarıya azaldığı tespit edilmiştir.

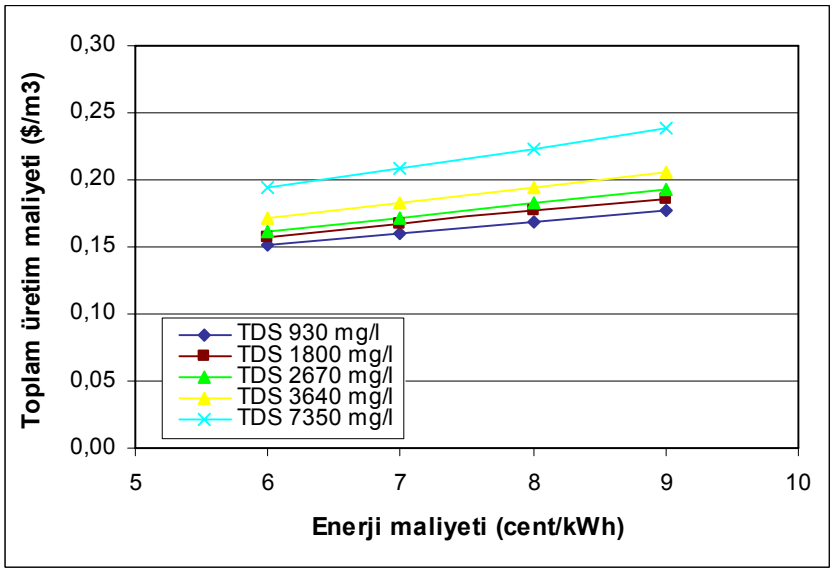
En yüksek ilk yatırım maliyeti en yüksek tuzlulukta görülmektedir. Bu durum tuzluluk arttıkça uygulanması gereken basınç arttığı için daha büyük pompa ve motor seçiminden kaynaklanmaktadır. 7350 mg/l tuzluktaki kuyu suyunun ilk yatırım maliyeti 930 mg/l tuzluluktaki suya oranla yaklaşık %10 daha yüksek bulunmuştur.



Şekil 6.22: Farklı tuzluluklardaki beş kuyu suyu ters osmoz sistemine ait ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkileri







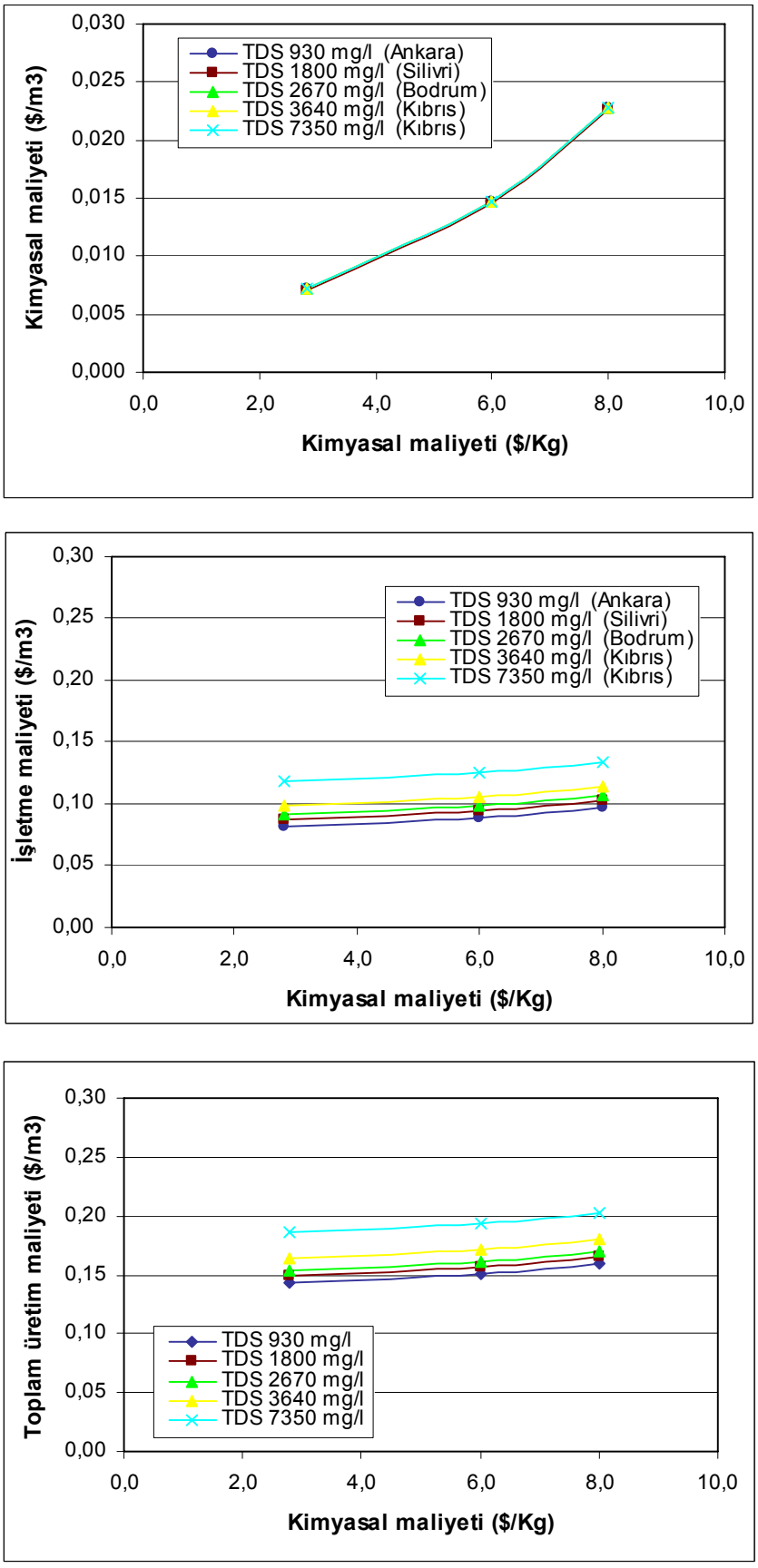
Şekil 6.23: Farklı tuzluluklardaki beş kuyu suyu ters osmoz sistemi için enerji fiyatının ilk yatırım, işletme maliyeti ve toplam üretim maliyetleri üzerindeki etkileri

İşletme maliyetleri incelendiğinde yine yüksek tuzluktaki sistemin en yüksek işletme maliyetini oluşturduğu görülmektedir. İşletme maliyetleri tuzluluk arttıkça artmaktadır. Bunun en önemli nedeni enerji tüketimidir. 930 mg/l ile 7350 mg/l arasında işletme maliyetinin %40 oranında arttığı tespit edilmiştir.

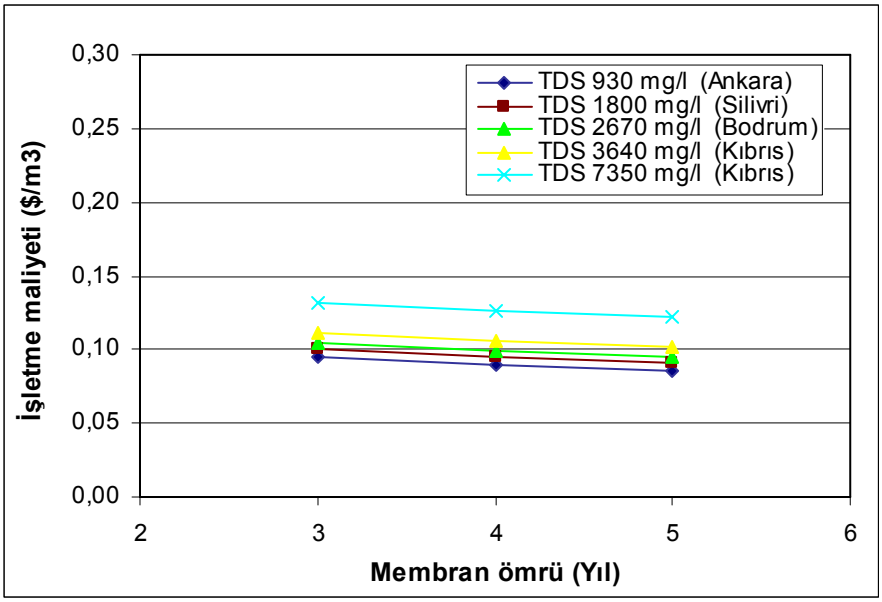
Toplam üretim maliyeti de yine tuzluluk arttıkça artmaktadır. 930 mg/l ile 7350 mg/l arasında toplam üretim maliyetinin %30 arttığı tespit edilmiştir. Beş kalitedeki kuyu suyu için de toplam üretim maliyeti 250 m^3/gün ile 2000 m^3/gün arasında ortalama %25 oranında düşmekte ve 2000 m^3/gün`den itibaren sabitlenmektedir.

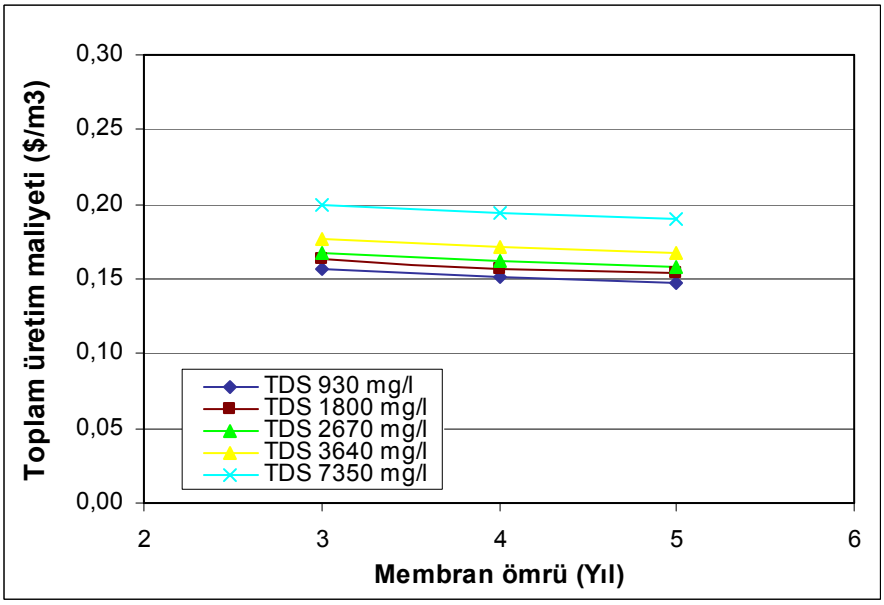
Enerji maliyeti eğrilerinde tuzluluk arttıkça sistemin enerji maliyetinin arttığı açıkça görülmektedir. Tuzluluk oranı 930 mg/l olan sistemin enerji fiyatı 6 cent için yıllık enerji tüketimi yaklaşık 20.000 $ iken, tuzluluk 7350 mg/l olduğunda bu rakam 33.000 $ olmaktadır. Enerji fiyatı arttıkça sistemlerin işletme maliyetleri de önemli oranda artmaktadır. Enerji fiyatı 6 cent iken işletme maliyeti 0.1 $/$m^3$ olan sistemin enerji tüketimi 9 cent iken işletme maliyeti %30 artmakta ve 1.3 $/$m^3$ olmaktadır. Toplam üretim maliyeti de enerji fiyatı ve tuzluluk ile artmaktadır. TDS değeri 930 mg/l olan sistemin enerji fiyatı 6 cent için toplam üretim maliyeti 0.151 $/$m^3$ bulunurken, TDS değeri 7350 mg/l olan sistemin toplam üretim maliyeti 0.194 $/$m^3$ bulunmuştur. Yani, yaklaşık %30 arttığı tespit edilmiştir.

Farklı tuzluluktaki kuyu sularında birim üretim başına kimyasal maliyetinin aynı olduğu ve işletme maliyetinin kimyasal fiyatı ile lineere yakın bir artış yaptığı görülmektedir. Ancak, kimyasal fiyatının enerji fiyatı kadar sistem üzerinde etkili olmadığı anlaşılmaktadır.



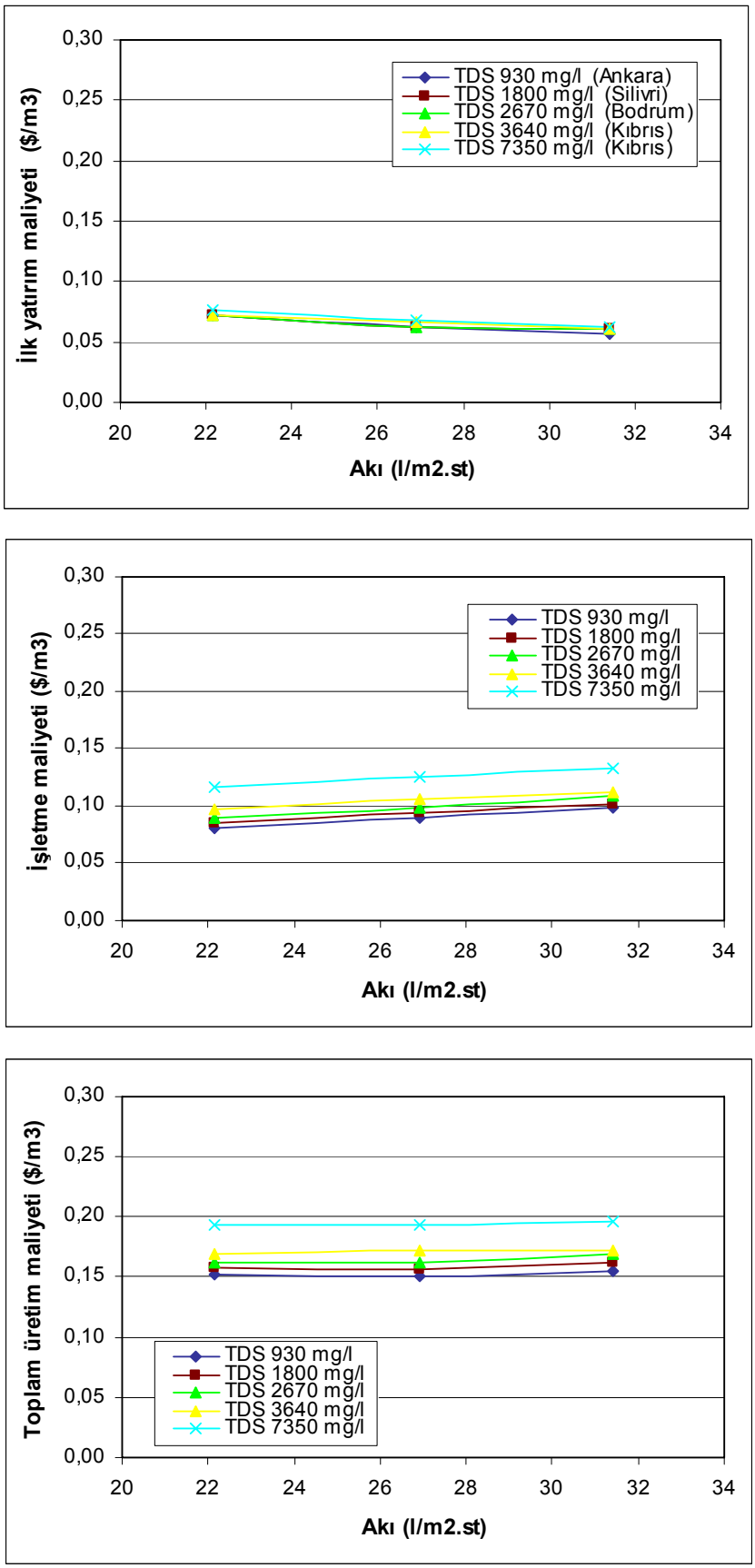
Şekil 6.24: Farklı tuzluluklardaki beş kuyu suyu ters osmoz sistemi için kimyasal fiyatının ilk yatırım, işletme maliyeti ve toplam üretim maliyetleri üzerindeki etkileri



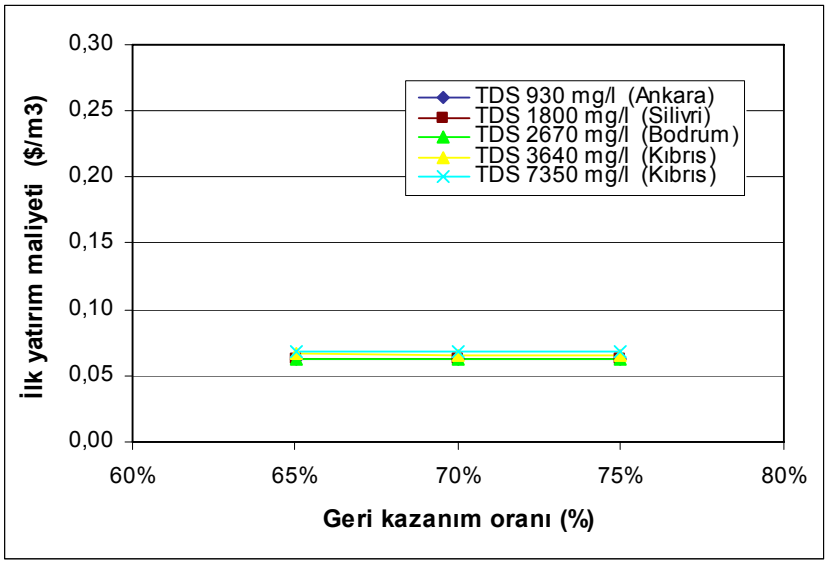


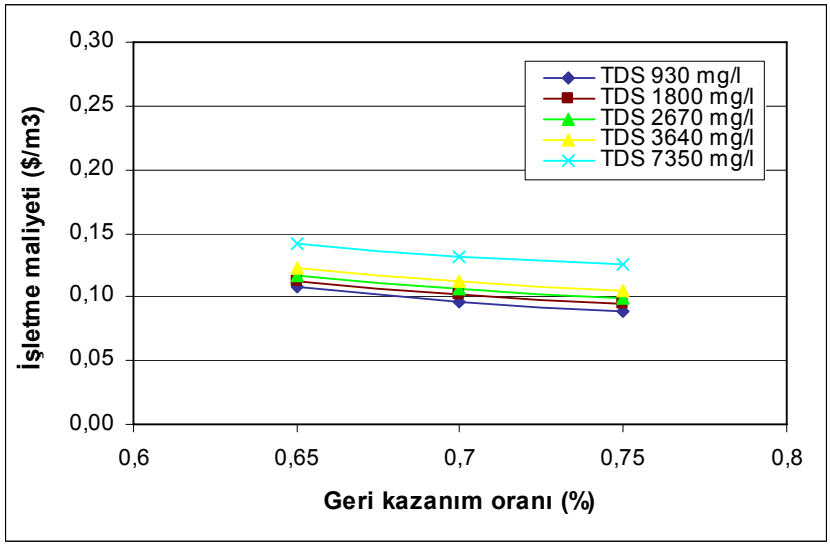
Şekil 6.25: Farklı tuzluluklardaki beş kuyu suyu ters osmoz sistemi için membran ömrünün işletme maliyeti ve toplam üretim maliyetleri üzerindeki etkileri

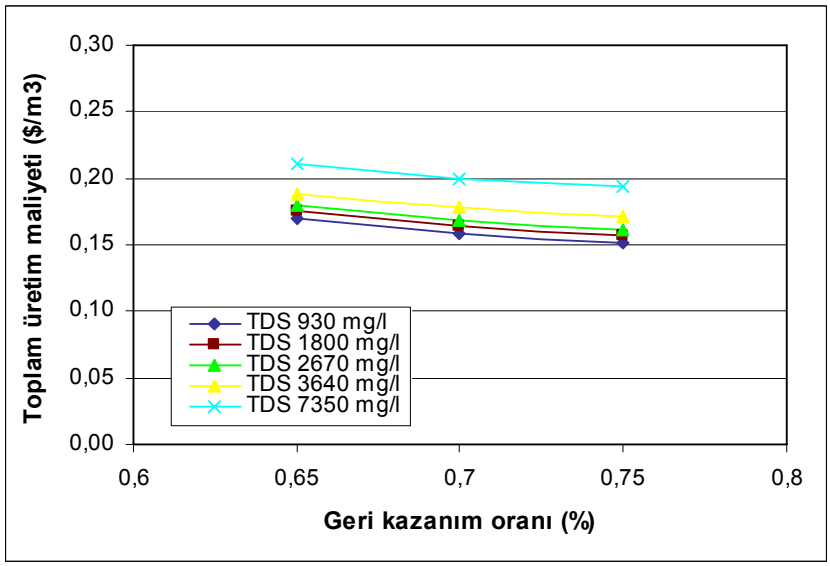
Yapılan maliyet analizinde membranlara ön arıtması iyi yapılmış su beslendiği kabul edildiği için suyun tuzluluğunun membran ömrü üzerinde aynı etkiyi gösterdiği varsayılmıştır. O nedenle Şekil 6.25`de membran ömrünün sistemin işletme ve toplam üretim maliyetine etkisi bütün kuyu sularında aynı çıkmıştır ve membran ömrü arttıkça işletme ve toplam üretim maliyeti azalmıştır.



Şekil 6.26: Farklı tuzluluklardaki beş kuyu suyu ters osmoz sistemi için akının ilk yatırım, işletme maliyeti ve toplam üretim maliyetleri üzerindeki etkileri







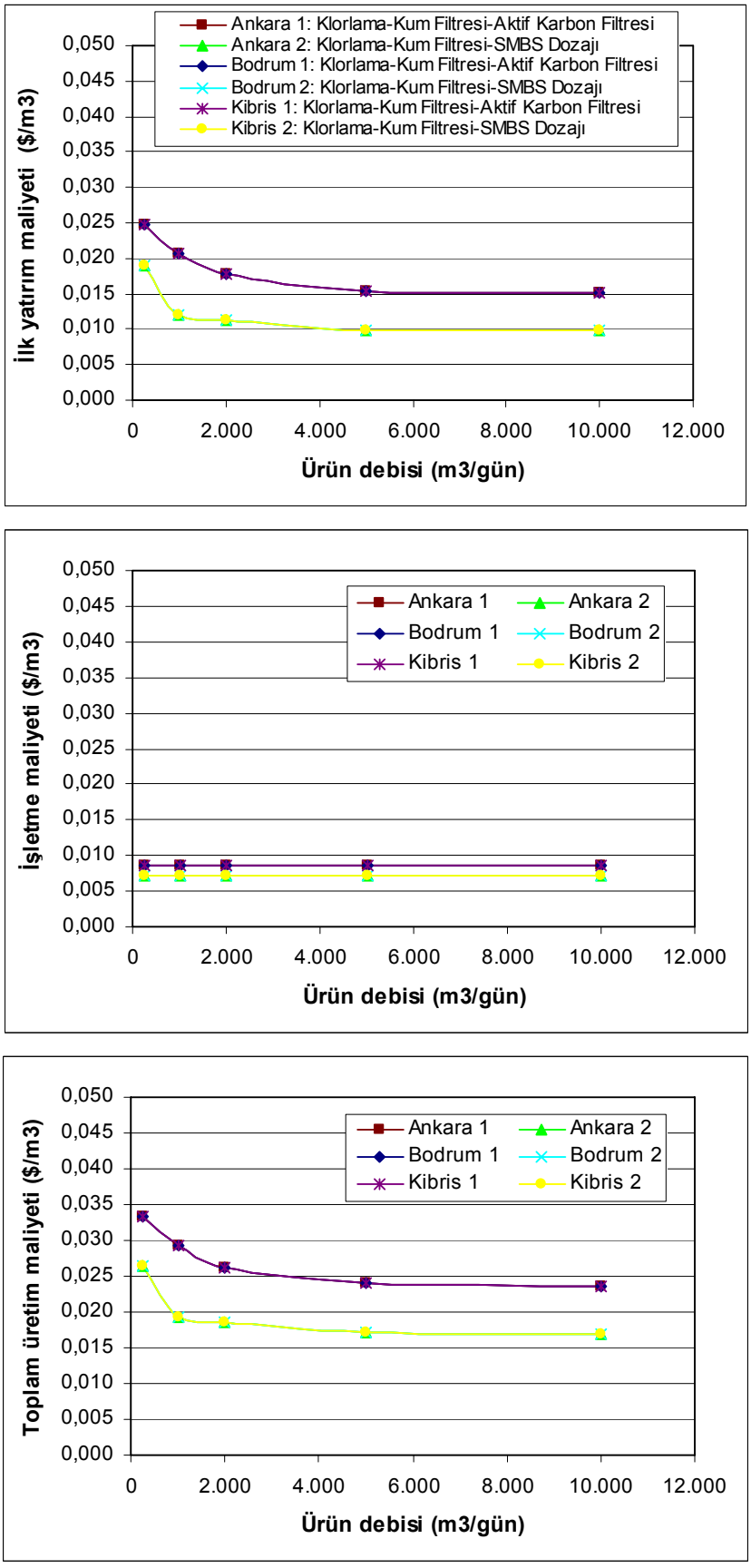
Şekil 6.27: Farklı tuzluluklardaki beş kuyu suyu ters osmoz sistemi için kimyasal fiyatının ilk yatırım maliyeti, işletme maliyeti ve toplam üretim maliyeti üzerindeki etkileri

Akının yüksek olduğu sistem tasarımlarında kullanılan membran adedi azaldığı ilk yatırım maliyeti azalmakta, ancak enerji tüketimi arttığı için işletme maliyeti artmaktadır. Bu durum toplam üretim maliyetinde akının etkisini düşürmektedir. Akı 22.2 l/m^2st değerinden 31/4 l/m^2.st değerine çıkarken, beş kalitedeki kuyu suyu için ortalama olarak ilk yatırım maliyetinin %15-20 oranında azaldığı, işletme maliyetinin %15-20 oranında arttığı ve toplam üretim maliyetinin ise etkilenmediği tespit edilmiştir.

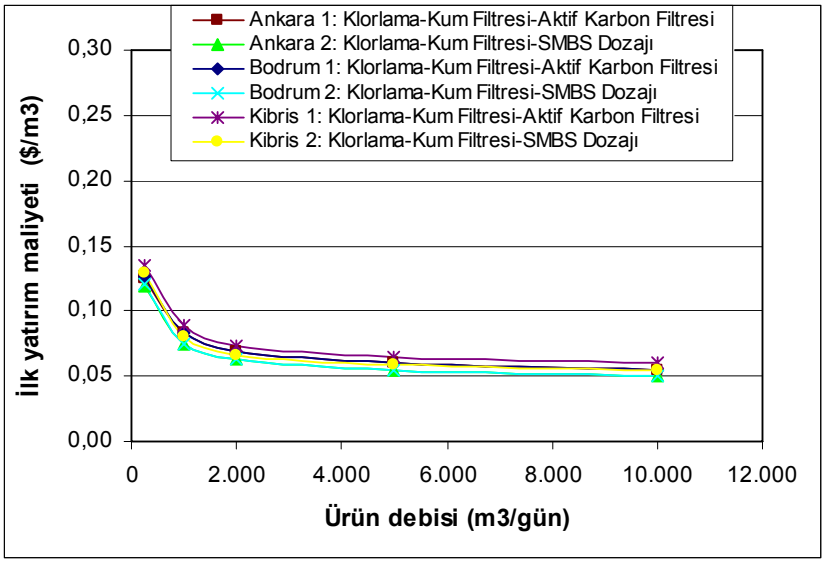
İlk yatırım maliyeti geri kazanım oranından etkilenmemekte, işletme maliyeti ve toplam üretim maliyetini ise lineer ters orantılı olarak düşürmektedir. Bunun nedeni daha önce de belirtildiği gibi kullanılan su miktarının düşmesi ve basıncın az miktarda artmasından dolayı tüketilen enerjinin azalmasıdır.

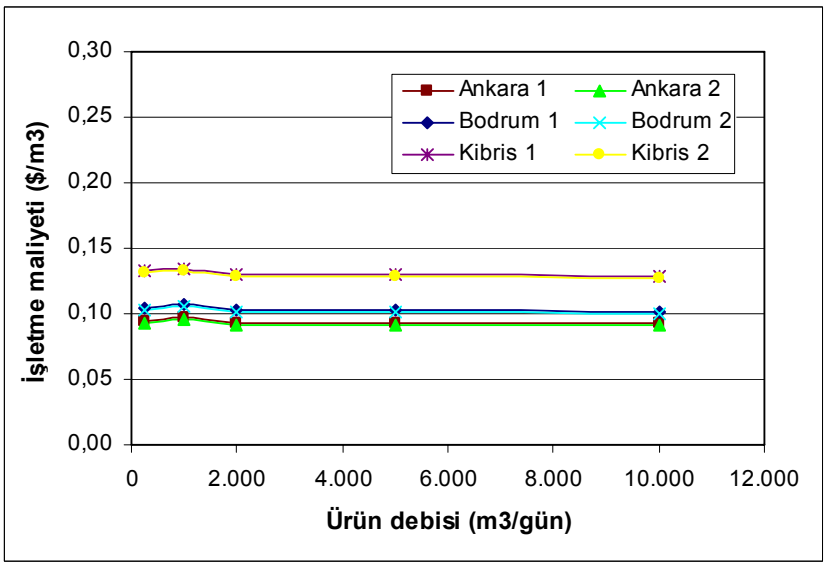
Suların tuzluluk oranları ön arıtma grubunu etkilememektedir. Üzerinde çalışılan suların bulanıklık, bakteriyolojik kirlilik, organik madde ve ağır metaller gibi membranlarda istenmeyen parametreleri aynı kabul edildiği için Şekil 6.28`de verilen her iki ön arıtma grubu için de ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti suyun tuzluluğundan etkilenmemektedir.

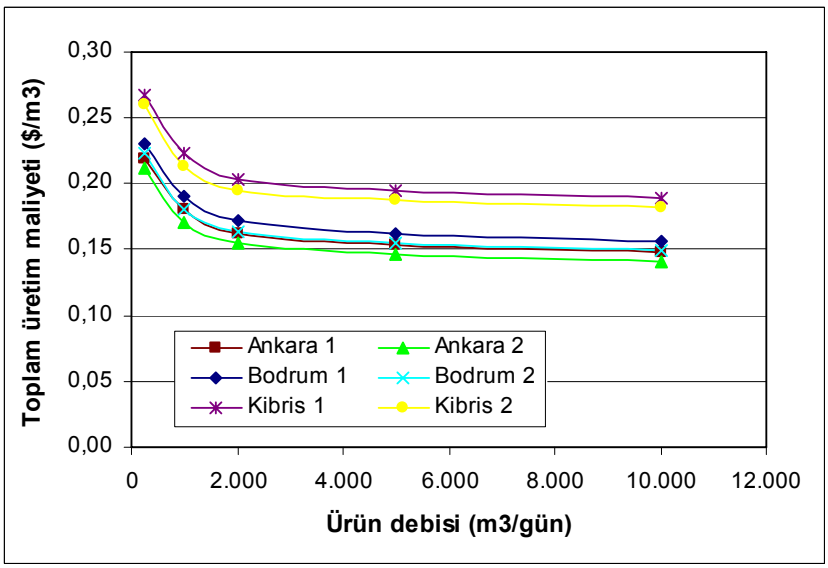
Şekil 6.29`da ön arıtmalı ters osmoz sisteminde ters osmoz sistemine ait ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin baskın çıktığı ve ön arıtmadan gelen az miktardaki artış dışında ön arıtmasız ters osmoz sistemi ile aynı olduğu görülmektedir. Ön arıtma grubu suyun tuzluluğundan etkilenmediği için, ön arıtmalı ters osmoz sistemi beş kalitedeki kuyu suyu için de aynı maliyet artışını oluşturmaktadır.



Şekil 6.28: Farklı tuzluluklardaki beş kuyu suyu ters osmoz sistemi ön arıtma grubunun ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkileri







Şekil 6.29: Farklı tuzluluklardaki beş kuyu suyu ön arıtmalı ters osmoz sisteminin ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkileri

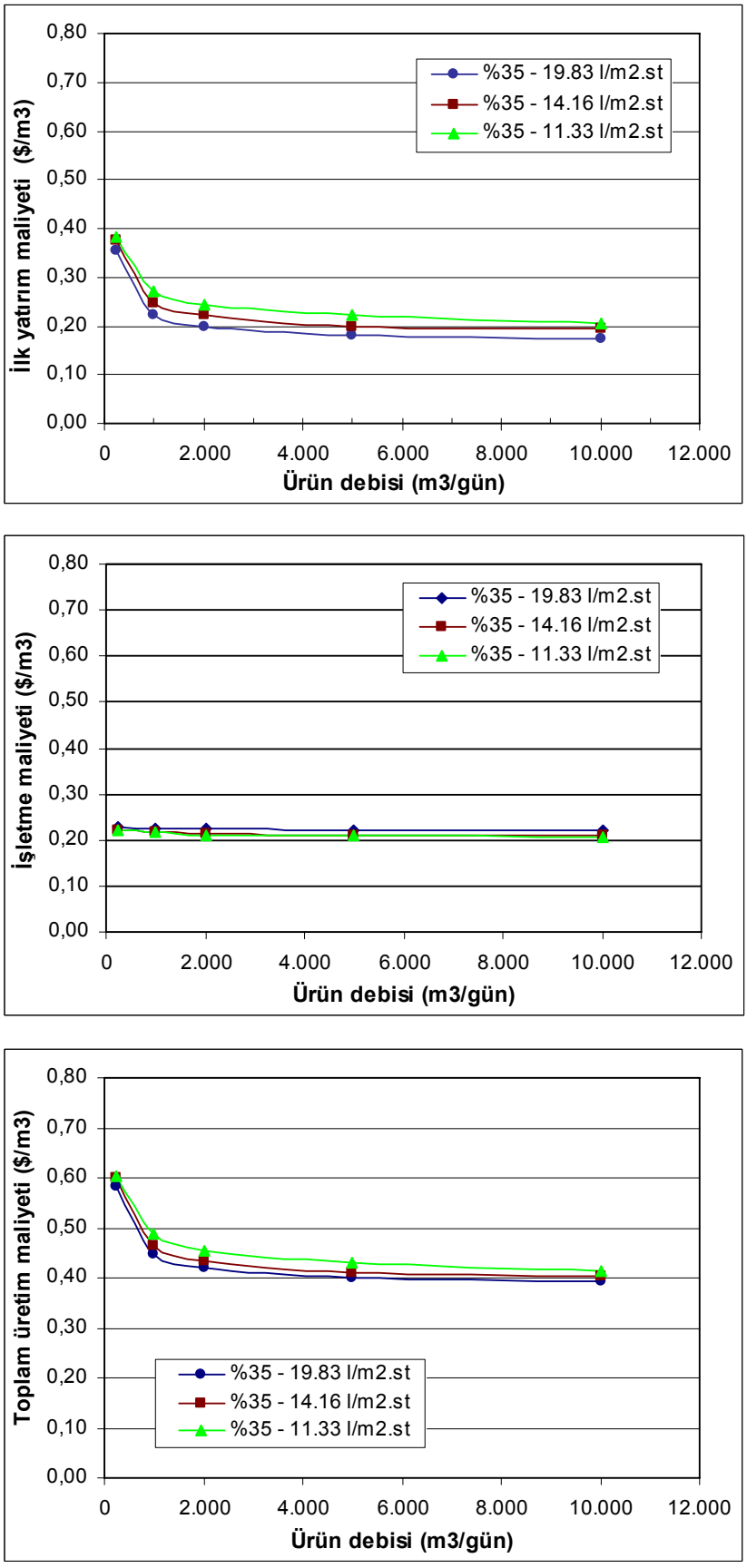
6.2 Deniz Suyu Sistemlerinin Maliyet Değerlendirmesi

6.2.1 TDS değeri 36.000-38.000 mg/l arası olan Akdeniz suyu üzerinde yapılan çalışmalar

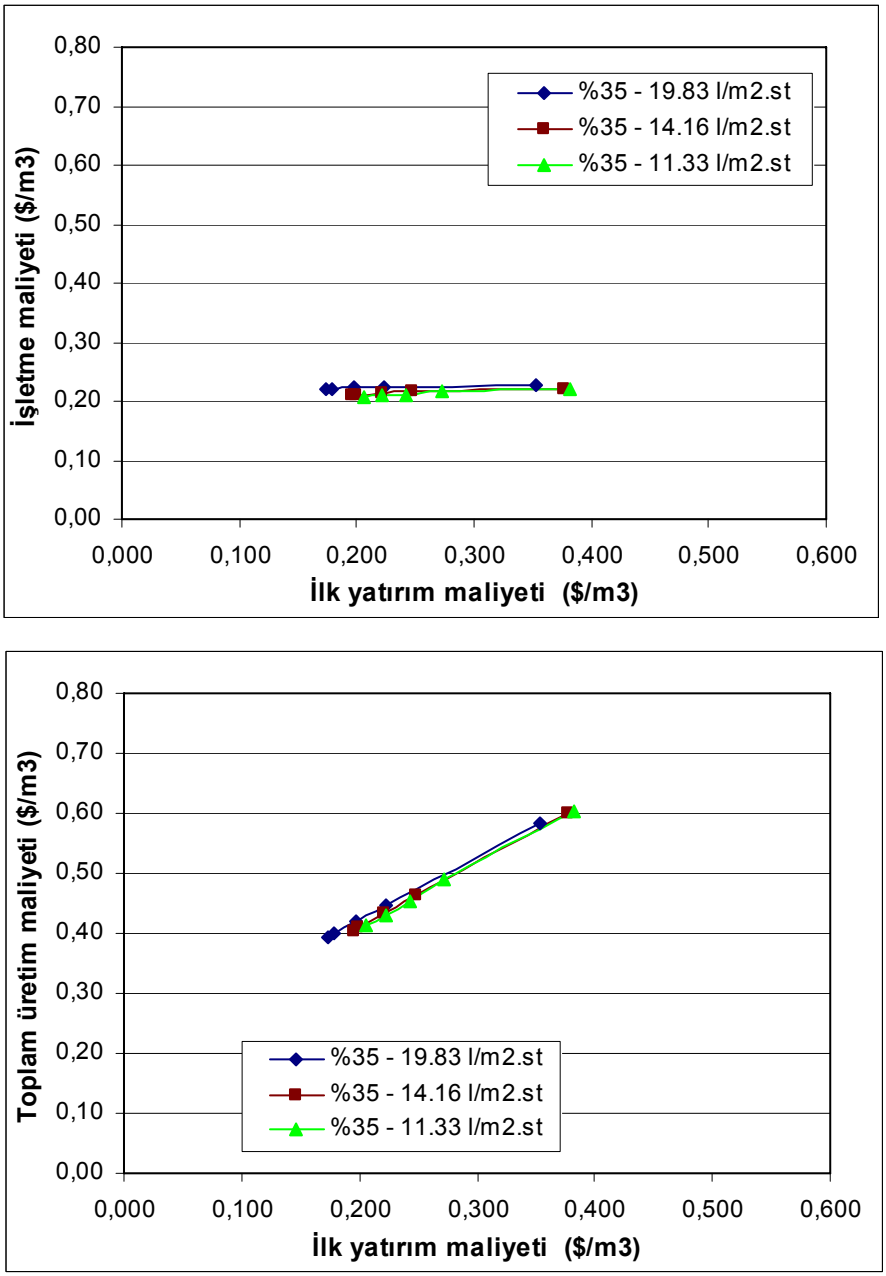
Akdeniz suyuna ait %35 geri kazanım oranı ve üç farklı akı için ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkisi ile ilk yatırım maliyetinin işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişkisi Şekil 6.30 ve Şekil 6.31`de verilmiştir. Akının ve geri kazanım oranının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişkisi Şekil 6.32 ve Şekil 6.33`de beş farklı kapasite için verilmiştir. Enerji maliyetinin işletme ve toplam üretim maliyetine etkisi de Şekil 6.34`de üç farklı akı ve beş farklı kapasite için verilmiştir. Ön arıtmalı ters osmoz sisteminin ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetine etkisi ise Şekil 6.35`de beş farklı kapasite için verilmiştir.

Akdeniz suyu ters osmoz sistemlerinde de kuyu sistemleri gibi ilk yatırım maliyeti 2000 m^3/gün debi değerinden sonra azalmaya başlamakta, 5000 m^3/gün değerinden sonra ise sabitlenmektedir. En yüksek birim ilk yatırım maliyeti 250 m^3/gün kapasitede ve 11.33 l/m^2.st akıda 0.38 \$/m^3 olarak bulunmuştur. Kapasite 1000 m^3/gün` den 250 $m^3$/gün`e düşerken birim ilk yatırım maliyeti %40-60 oranında artmaktadır. 5000 m^3/gün kapasiteden sonra sistemlerin birim ilk yatırım maliyeti, 250 m^3/gün debi değerine oranla %45-50 daha düşük değerlerde sabitlenmektedir. Akıdaki artış, ilk yatırım maliyetini artırırken, işletme maliyetini azaltmaktadır.

İşletme maliyeti, 2000 m^3/gün debiye kadar çok az azalıp, bundan sonra akı 19.83 l/m^2.st iken 0.22 \$/m^3 ve altında ise yaklaşık olarak 0.21 \$/m^3 değerinde sabit kalmaktadır. Toplam üretim maliyeti üç akı için de aynıdır ve 2000 m^3/gün`den sonra 0.40 \$/m^3 civarında sabitlenmektedir.



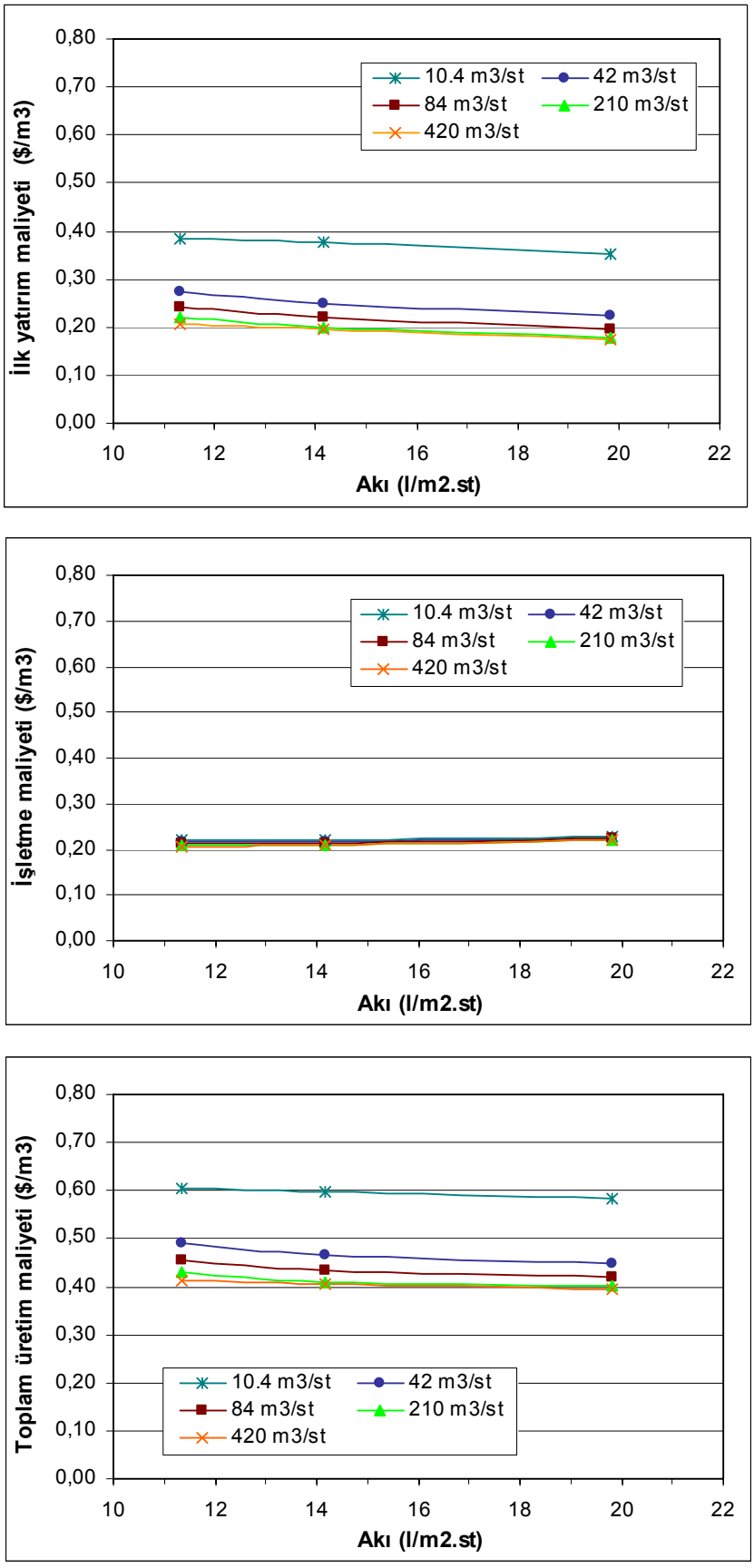
Şekil 6.30: Akdeniz deniz suyu ters osmoz sisteminin ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkisi



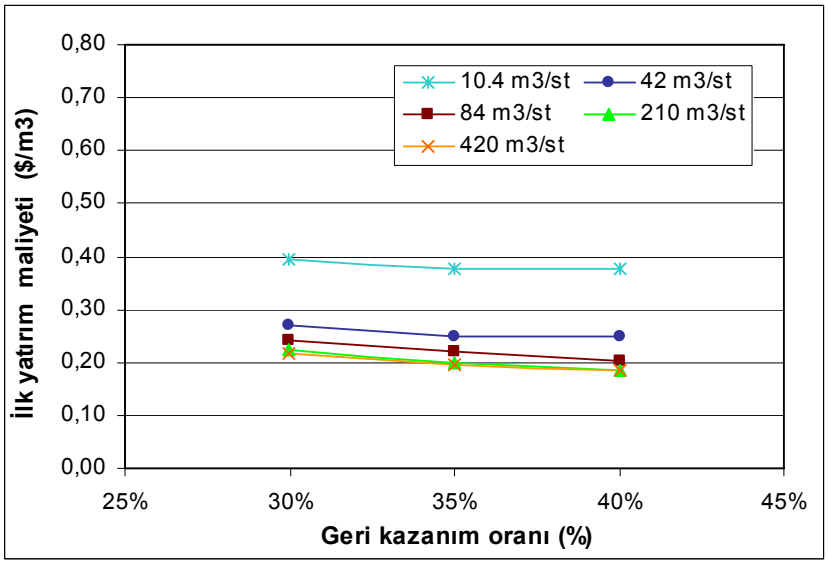
Şekil 6.31: Akdeniz için deniz suyu ters osmoz sistemine ait ilk yatırım maliyetinin işletme maliyeti ve toplam üretim maliyeti ile ilişkisi

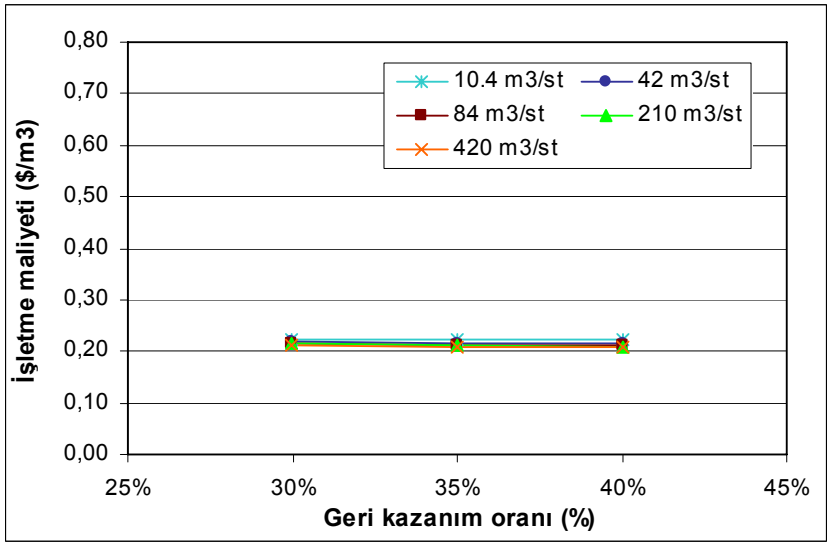
İşletme maliyetinin aynı enerji geri kazanım sistemi kullanılması durumu için akıya bağlı olarak ilk yatırım maliyetinden az etkilendiği, akı yükseldikçe ilk yatırım maliyetinin düştüğü ve işletme maliyetinin yükseldiği görülmektedir. Toplam üretim maliyetinin ise ilk yatırım maliyeti ile lineer doğrusal olarak arttığı görülmektedir.

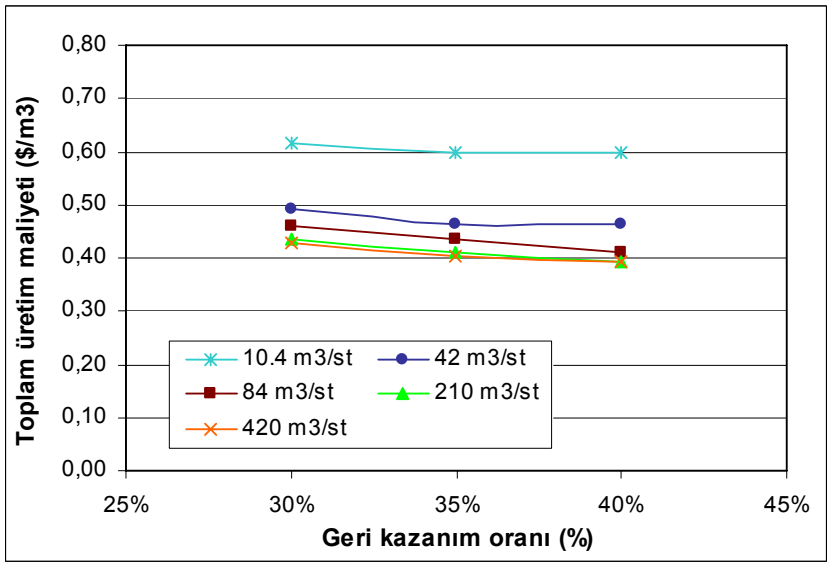
Akının ilk yatırım maliyetini, kapasite 1000 m^3/gün`nün üzerine çıktığında 11.33-19.83 l/m^2.st arasında yaklaşık %15-20 düşürdüğü görülmektedir. Akının işletme maliyetine etkisi yine aynı akılar arasında beş kapasite için %3-6 arasındadır. Akının toplam üretim maliyetine etkisi hemen hemen hiç yoktur.



Şekil 6.32: Akdeniz için deniz suyu ters osmoz sistemine ait akı ile ilk yatırım, işletme maliyeti ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki







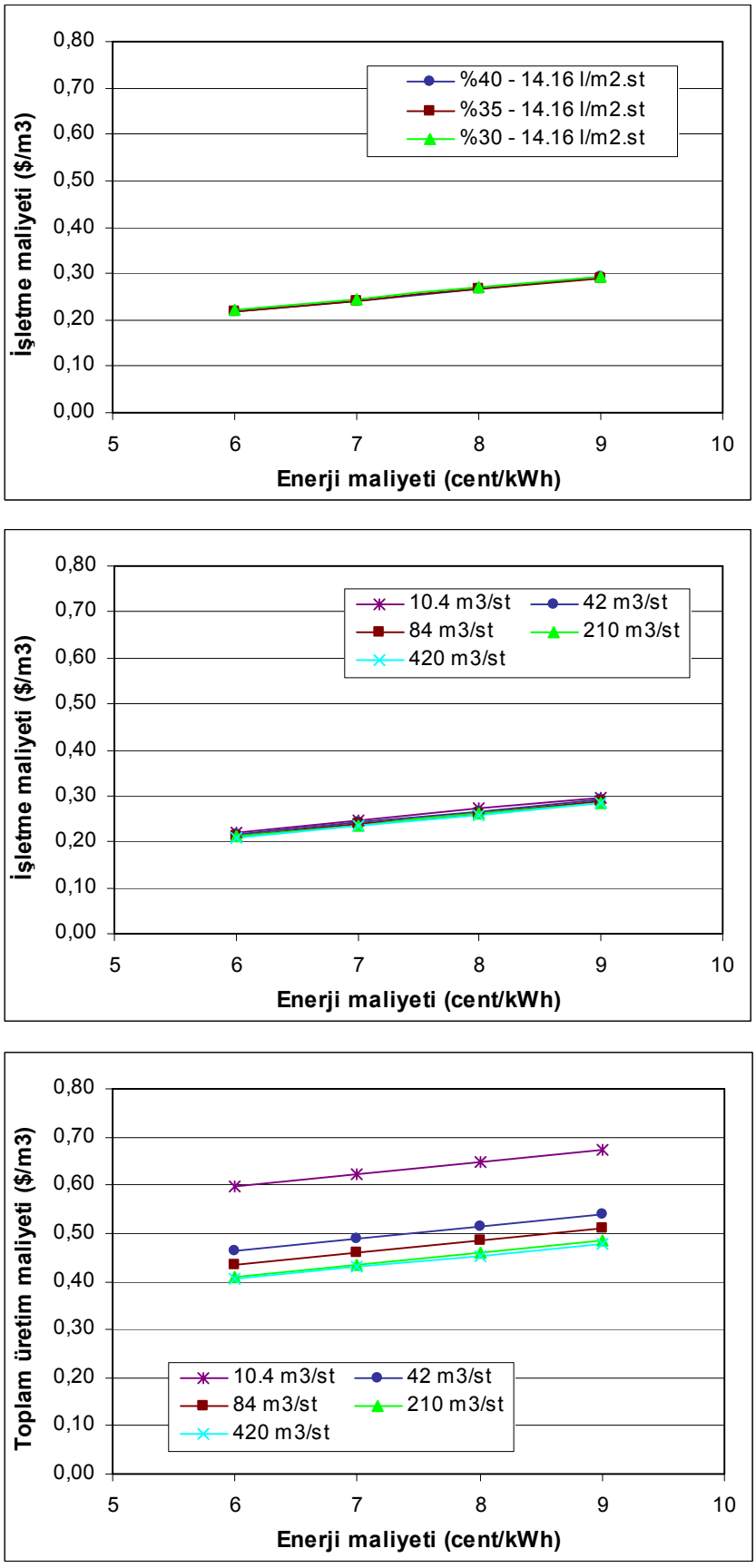
Şekil 6.33: Akdeniz için deniz suyu ters osmoz sistemine ait geri kazanım oranı ile ilk yatırım, işletme maliyeti ve toplam üretim maliyetleri arasındaki ilişkisi

İlk yatırım maliyetinin geri kazanım oranı arttıkça az miktarda azaldığı ve işletme maliyetini etkilemediği görülmektedir. Geri kazanım oranı arttıkça toplam üretim maliyeti de düşmektedir. Geri kazanım oranı %30`dan %40`a çıkarken toplam üretim maliyetinin debiye bağlı olarak %3-10 arası düştüğü tespit edilmiştir.

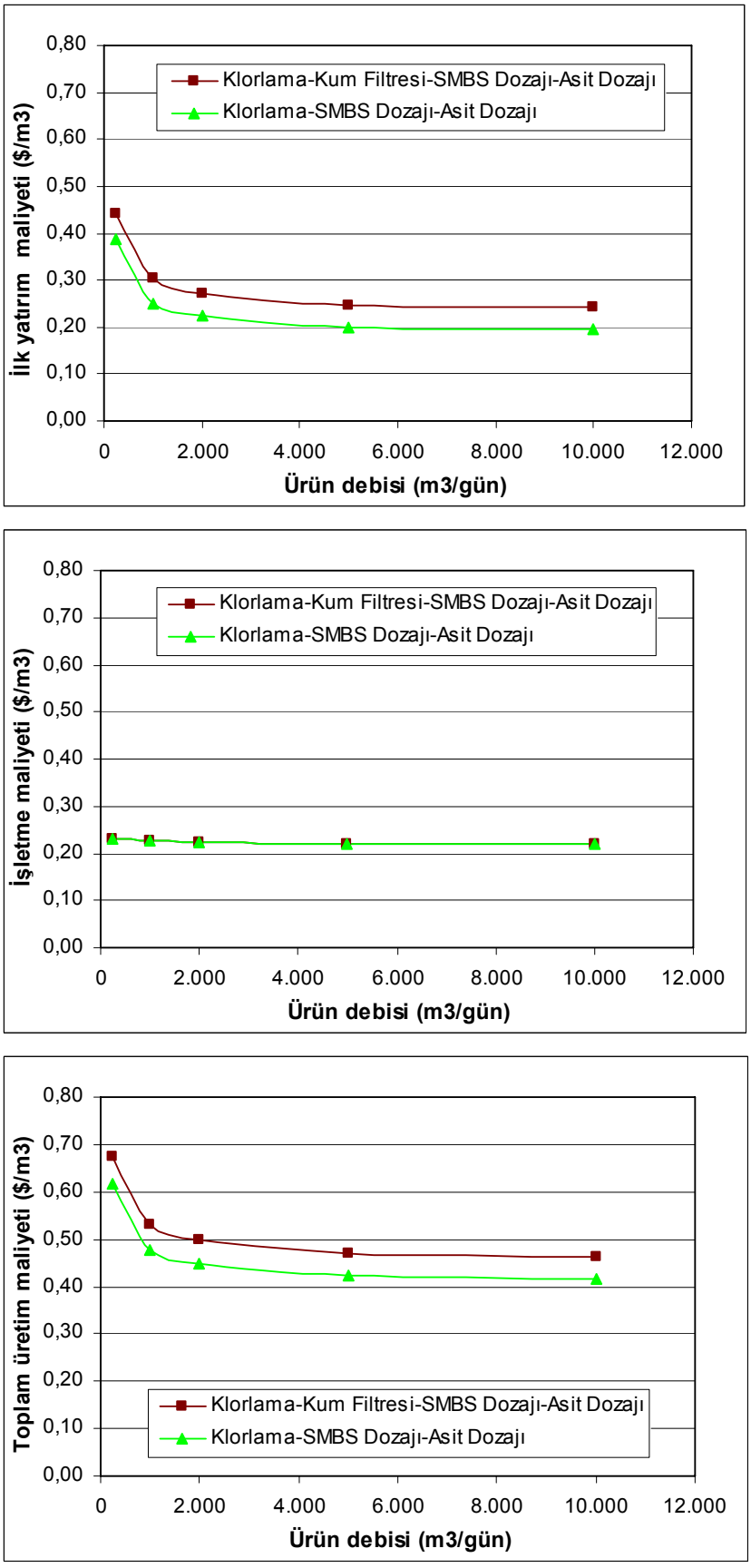
Enerji maliyeti, işletme ve toplam üretim maliyetini doğrudan etkilemektedir ve her iki maliyet de enerji fiyatı arttıkça lineer olarak artmaktadır. Enerji fiyatı 6 cent/kWh`dan 9 cent/kWh`a çıkarken sistemin toplam işletme maliyeti ortalama %35 artmaktadır ve takribi 0.215 $/m^3`den 0.290 $/m$^3$`e çıkmaktadır.

Ön arıtma grubunda kum filtresi bulunmasının, ilk yatırım maliyetini %25 oranında artırdığı görülmektedir. Ön arıtma grubunun işletme maliyetini %5 oranında, toplam üretim maliyetini ise kum filtresi olmadan %5, kum filtresi ile yaklaşık olarak %15 oranında artırmaktadır.

Ek I`da Marmara Denizi suyuna ait %40 geri kazanım oranı ve üç farklı akı için ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkisi Şekil I.1`de verilmiştir. Akının ve geri kazanım oranının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetine etkisi Şekil I.2 ve Şekil I.3`de beş farklı kapasite için verilmiştir. Enerji ve kimyasal maliyetinin işletme ve toplam üretim maliyetine etkisi de Şekil I.4 ve Şekil I.5`de 3 farklı akı ve beş farklı kapasite için verilmiştir. Aynı şekiller, Karadeniz suyu için Ek J`de sırasıyla Şekil J.1, Şekil J.2, Şekil J.3, Şekil J.4 ve Şekil J.5`de verilmiştir.



Şekil 6.34: Akdeniz için deniz suyu ters osmoz sistemine ait enerji fiyatının işletme maliyeti ve toplam üretim maliyeti üzerindeki etkisi



Şekil 6.35: Akdeniz deniz suyu ön arıtmalı ters osmoz sisteminin ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkisi

6.2.2 Deniz suyu ters osmoz sistemlerinin maliyet karsılaştırması

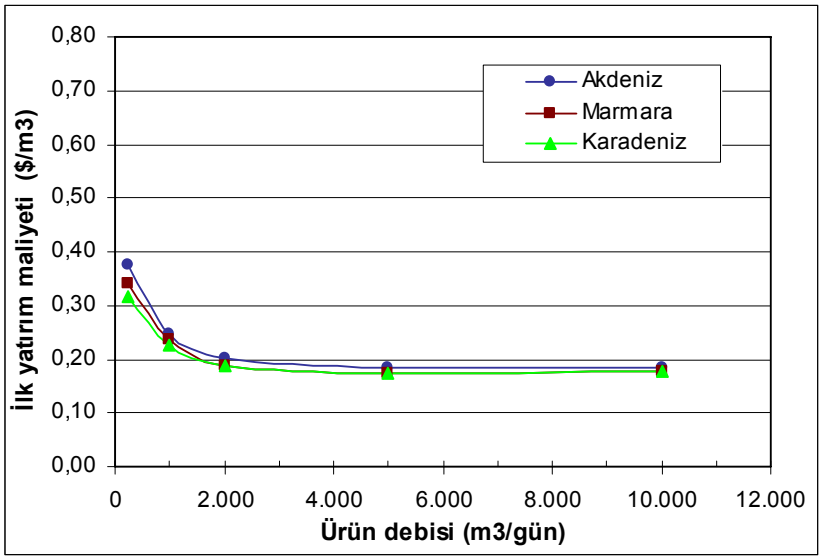
Akdeniz, Marmara ve Karadeniz suyu ters osmoz sistemlerinin ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkileri Şekil 6.36`da verilmiştir. Deniz suyu sistemlerine ait enerji fiyatı, kimyasal fiyatı ve membran ömrünün işletme maliyeti ve toplam üretim maliyeti üzerindeki etkisi sırasıyla Şekil 6.37, Şekil 6.38 ve Şekil 6.39`da verilmiştir. Akının, geri kazanım oranının, ön arıtma grubunun ve ön arıtmalı ters osmoz sistemlerinin ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti eğrileri Şekil 6.40, Şekil 6.41, Şekil 6.42 ve Şekil 6.43`de verilmiştir.

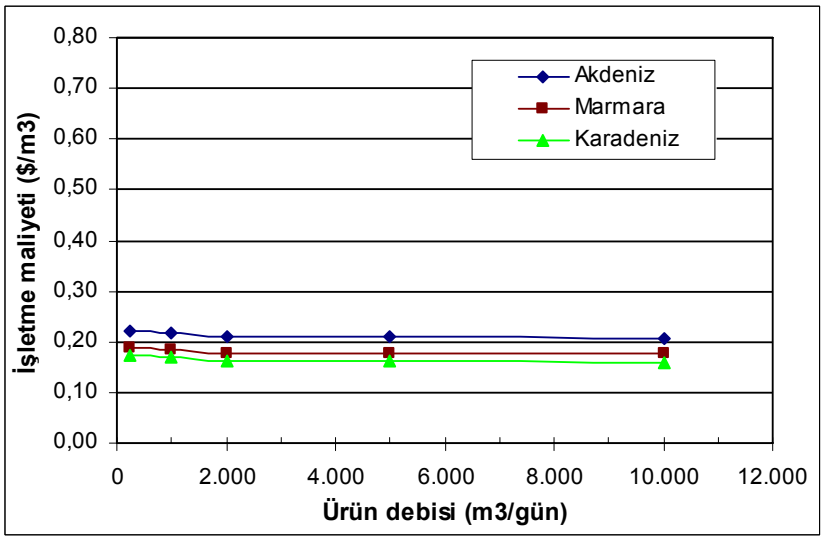
Şekil 6.36`da %40 geri kazanım oranı ve 14.2 $l/m^2$.st akı için yapılan eğrilerde Akdeniz suyu ters osmoz sisteminin birim ilk yatırım maliyetinin %5 oranında diğerlerinden daha yüksek olduğu ve Marmara ile Karadeniz`in hemen aynı olduğu görülmektedir. En yüksek birim ilk yatırım maliyeti Akdeniz sisteminde 250 m^3/gün kapasitede 0.375 $\$/m^3$ olarak bulunmuştur. Her üç deniz suyu sisteminde de, 2000 m^3/gün`den sonra birim üretim maliyeti çok az azalmakta ve 5000 $m^3$/gün`den sonra Akdeniz için 0.185 $\$/m^3$ değerinde ve Marmara ile Karadeniz için 0.177 $\$/m^3$ değerinde sabitlenmektedir.

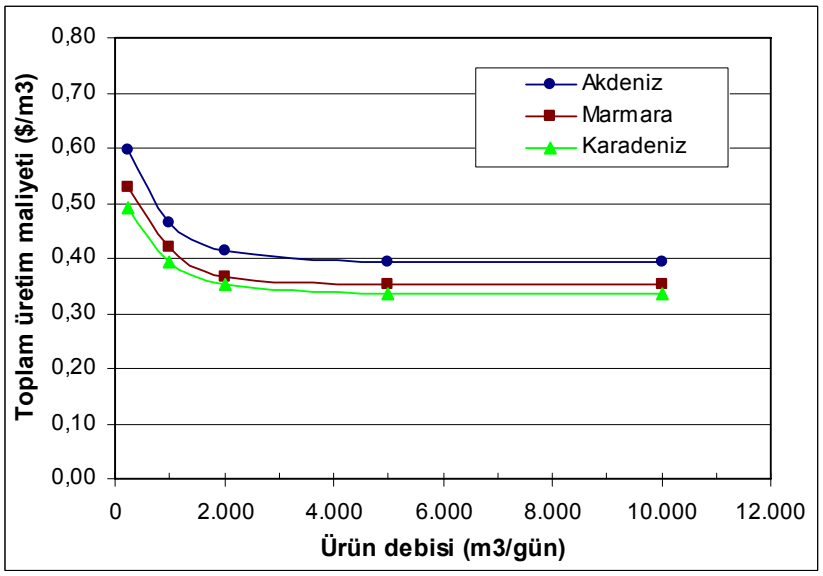
Sistemlerin işletme maliyetleri de, 2000 m^3/gün ürün debisine kadar bir miktar azalmakta ve bundan sonra sabitlenmektedir. En yüksek işletme maliyeti Akdeniz suyu sisteminde sabit eğride 0.21 $\$/m^3$ olarak bulunmuştur. Karadeniz ile Marmara sistemleri arasında %10, Marmara ile Akdeniz sistemleri arasında %18 ve Karadeniz ile Akdeniz sistemleri arasında %30 işletme maliyeti farkı bulunmuştur. Bu işletme maliyeti farkları enerji tüketiminden kaynaklanmaktadır.

Toplam üretim maliyeti her üç sistemde de 2000 m^3/gün debiye kadar %30 oranında azalmakta ve bundan sonra sabitlenmektedir. Sabit noktada Akdeniz, Marmara ve Karadeniz suyu ters osmoz sistemlerinin toplam üretim maliyetleri sabit eğride sırasıyla 0.39 $\$/m^3$, 0.35 $\$/m^3$ ve 0.34 $\$/m^3$ olarak bulunmuştur.

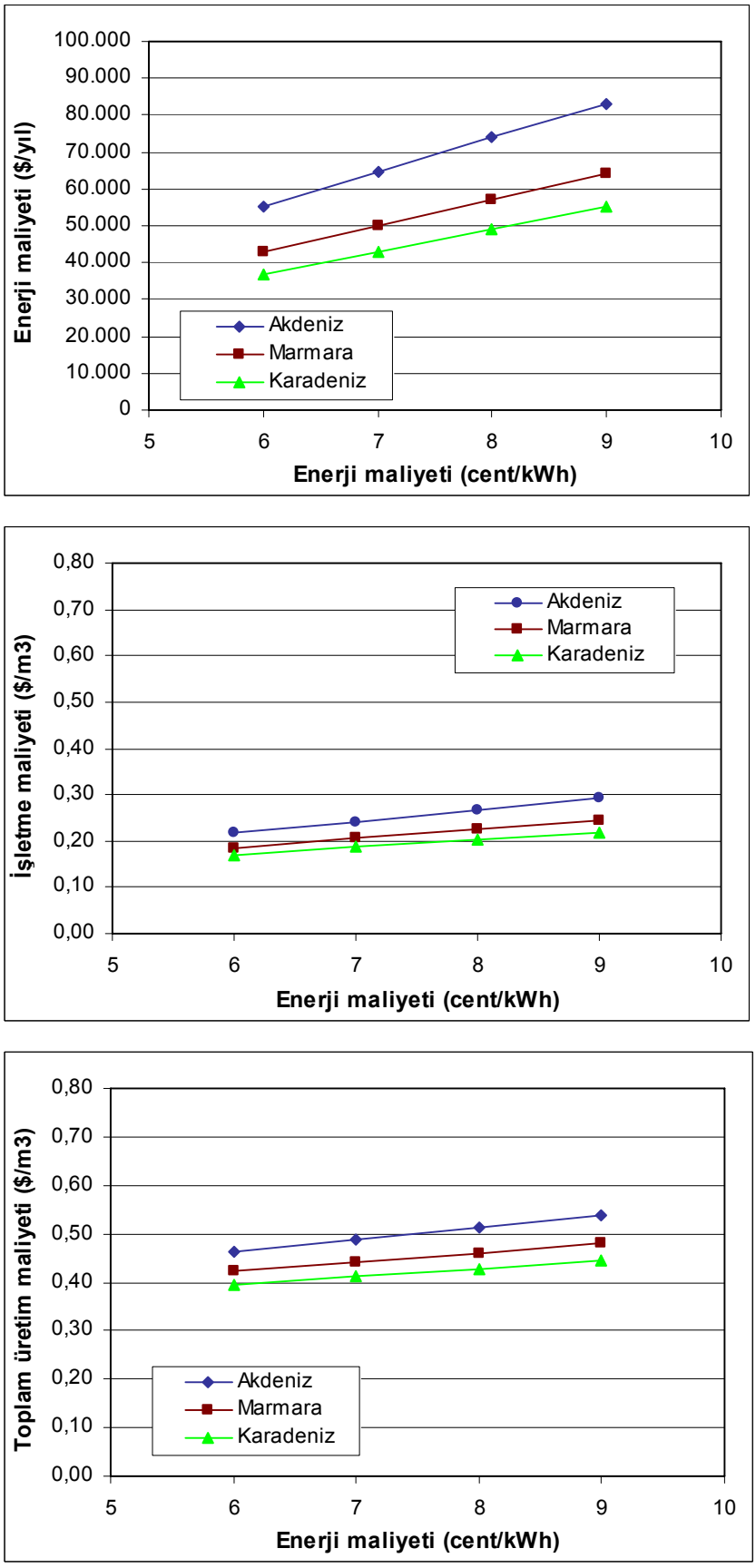
Enerji fiyatındaki artış, sistemleri işletme ve toplam üretim maliyeti bakımından doğrudan etkilemektedir ve enerji fiyatı arttıkça doğrusal yönde lineer olarak artırmaktadır. Enerji fiyatı 6 cent iken, %40 geri kazanım oranında ve 14.2 l/m^2.st akıdaki 1000 m^3/gün kapasiteli sistem için Akdeniz suyu ters osmoz sisteminin yıllık enerji maliyeti 55.000 $, Marmara sisteminin 43.000 $ ve Karadeniz sisteminin



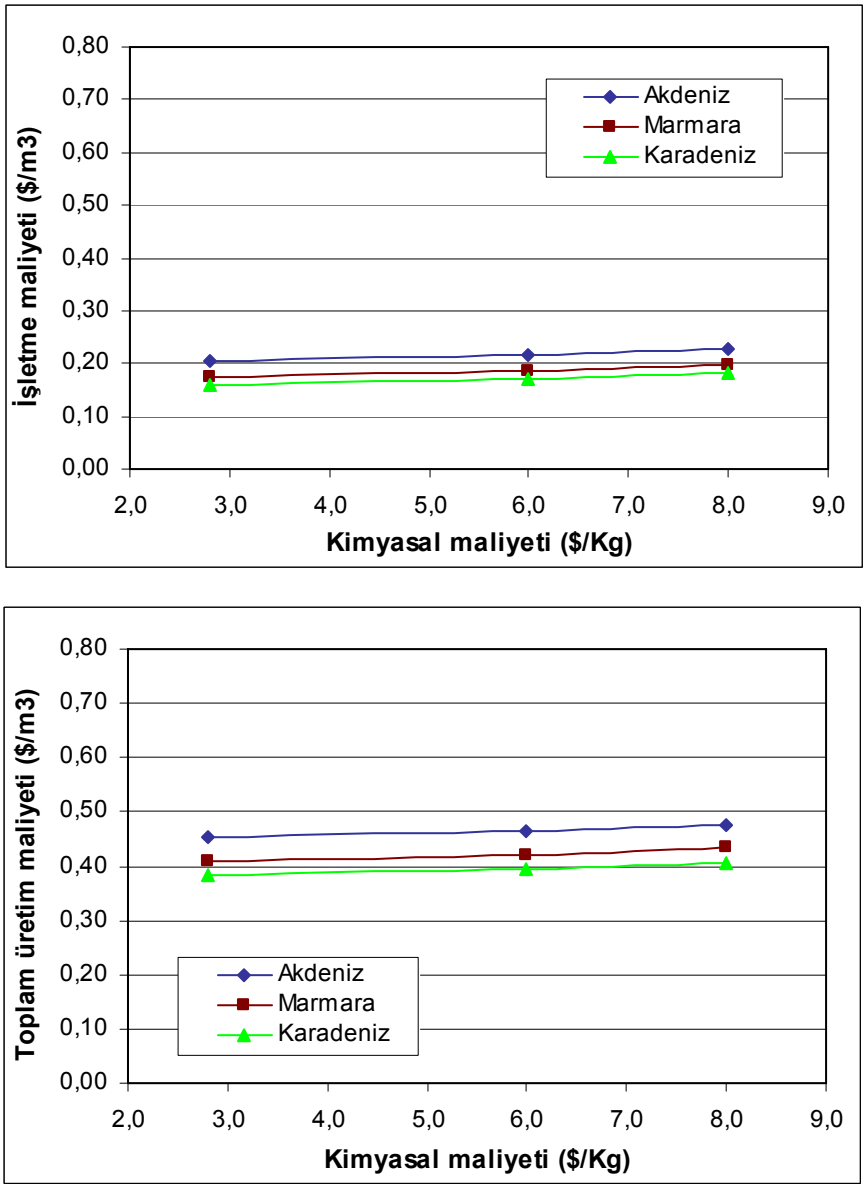




Şekil 6.36: Deniz suyu ters osmoz sistemlerinin ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkilerinin kıyaslaması



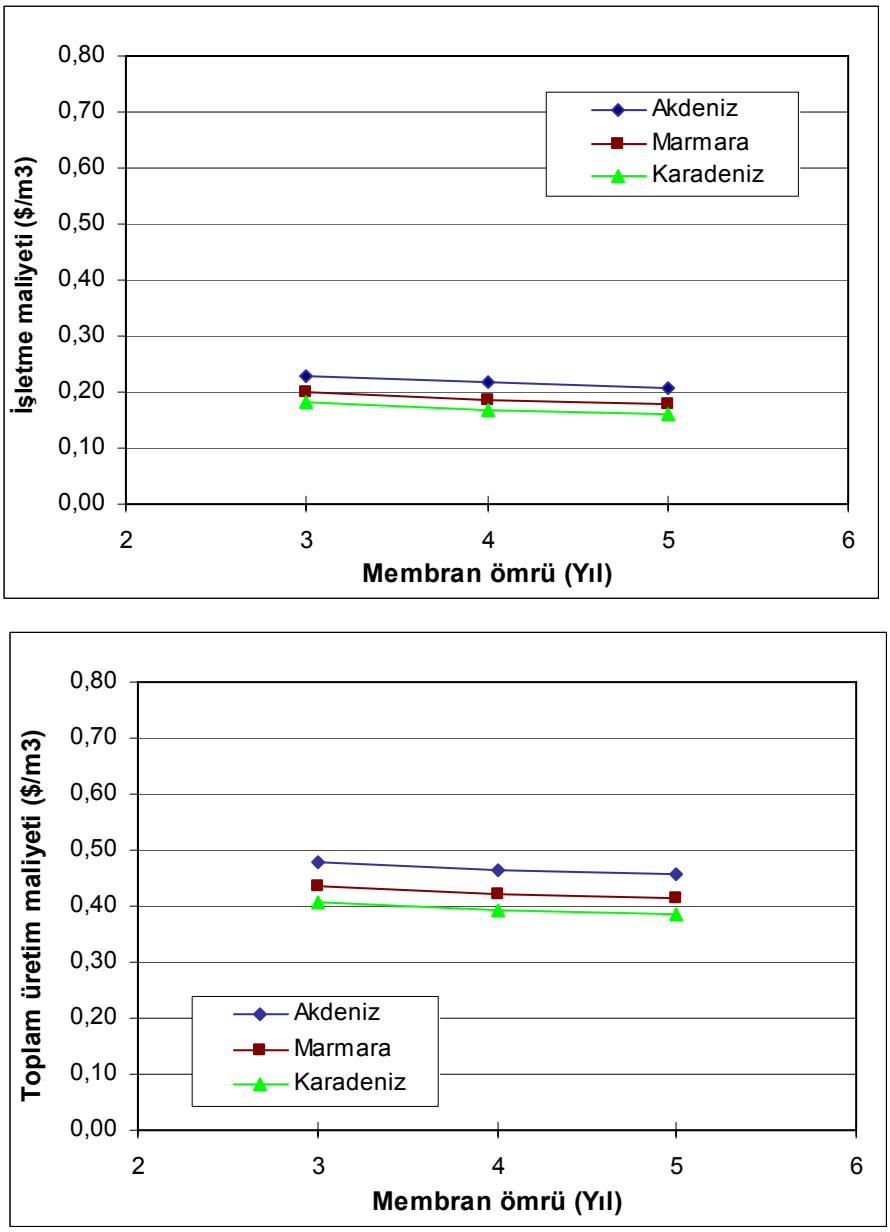
Şekil 6.37: Deniz suyu ters osmoz sistemlerinin enerji fiyatı ile işletme maliyeti ve toplam üretim maliyeti ilişkilerinin kıyaslaması



Şekil 6.38: Deniz suyu ters osmoz sistemlerinin kimyasal fiyatı ile işletme maliyeti ve toplam üretim maliyeti ilişkilerinin kıyaslaması

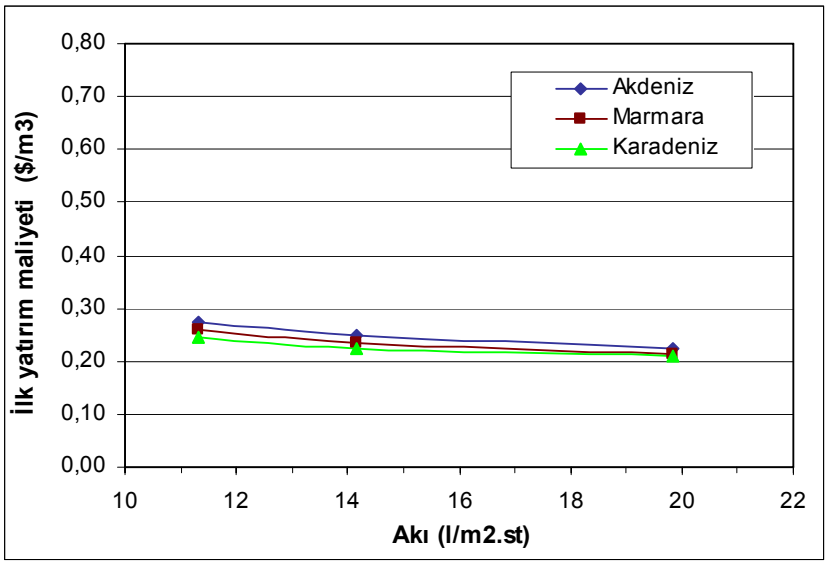
37.000 $ bulunmuştur. Enerji fiyatı 9 cente çıktığında Akdeniz suyu ters osmoz sisteminin enerji maliyeti yılda 83.000 $`a çıkmaktadır.

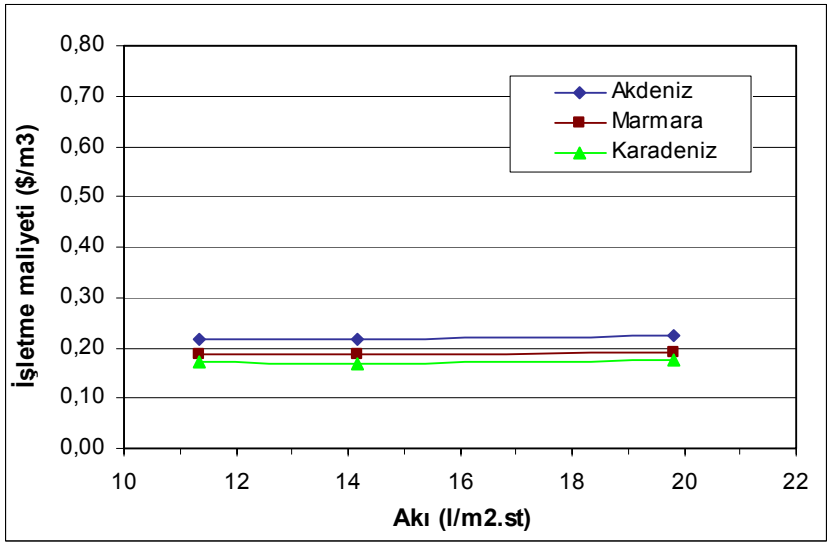
Kimyasal maliyetleri arttıkça, sistemlerin işletme ve toplam üretim maliyetlerinin lineer olarak arttığı görülmektedir. Ancak, kimyasalların etkisi enerji maliyetine oranla çok daha azdır. Enerji fiyatındaki artışın etkisi kimyasallara oranla 3 kat daha fazla olmaktadır.

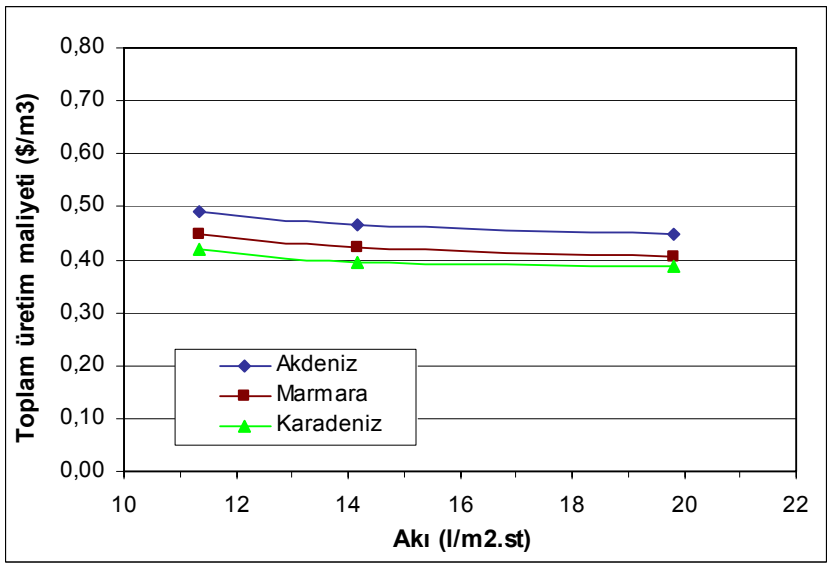


Şekil 6.39: Deniz suyu ters osmoz sistemlerinin membran ömrü ile işletme maliyeti ve toplam üretim maliyeti ilişkilerinin kıyaslaması

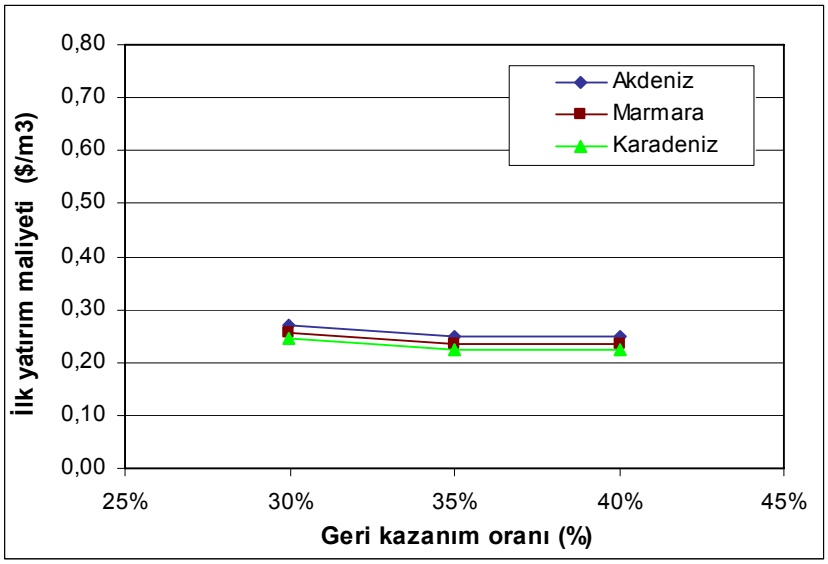
Membran ömrünün uzaması her üç deniz suyu için de işletme ve toplam üretim maliyetinde lineer azalma sağlamaktadır. Membran ömrü 3 yıldan 5 yıla çıkarken işletme maliyeti %10 oranında, toplam üretim maliyeti ise %5 oranında azalmaktadır.

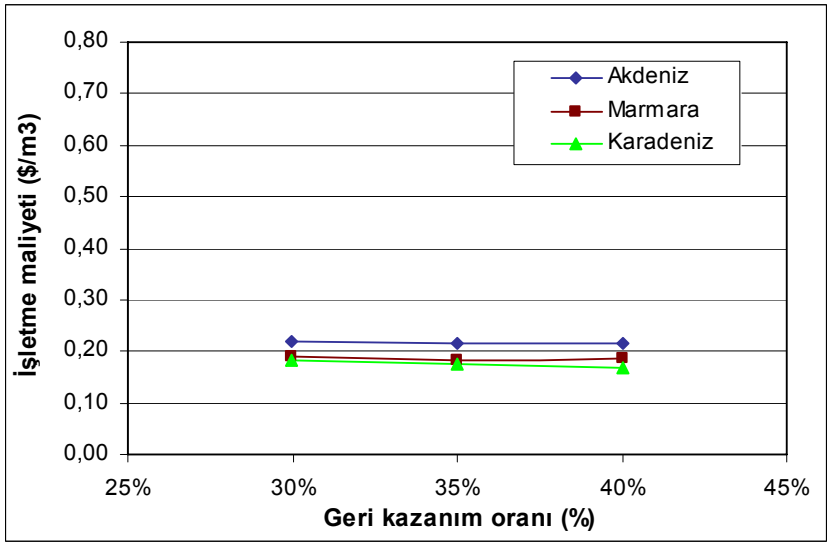


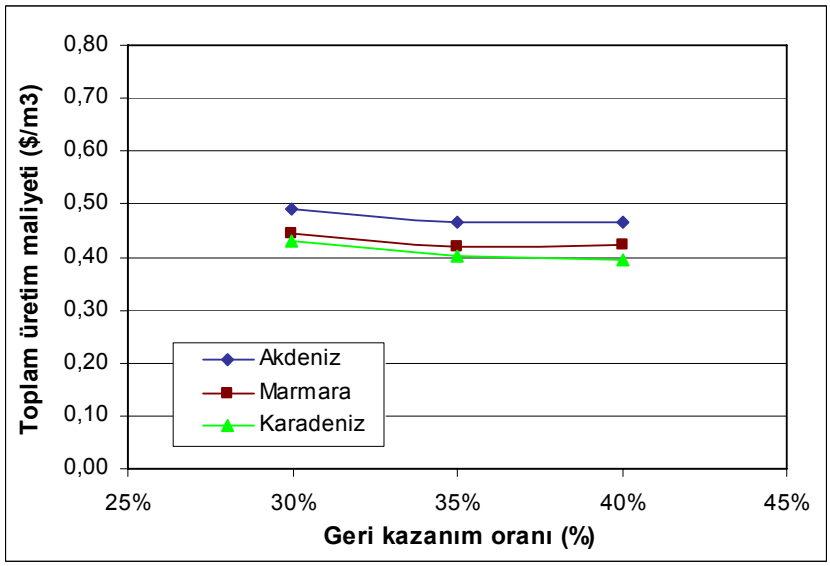




Şekil 6.40: Deniz suyu ters osmoz sistemlerinin akı ile ilk yatırım, işletme maliyeti ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişkilerinin kıyaslaması





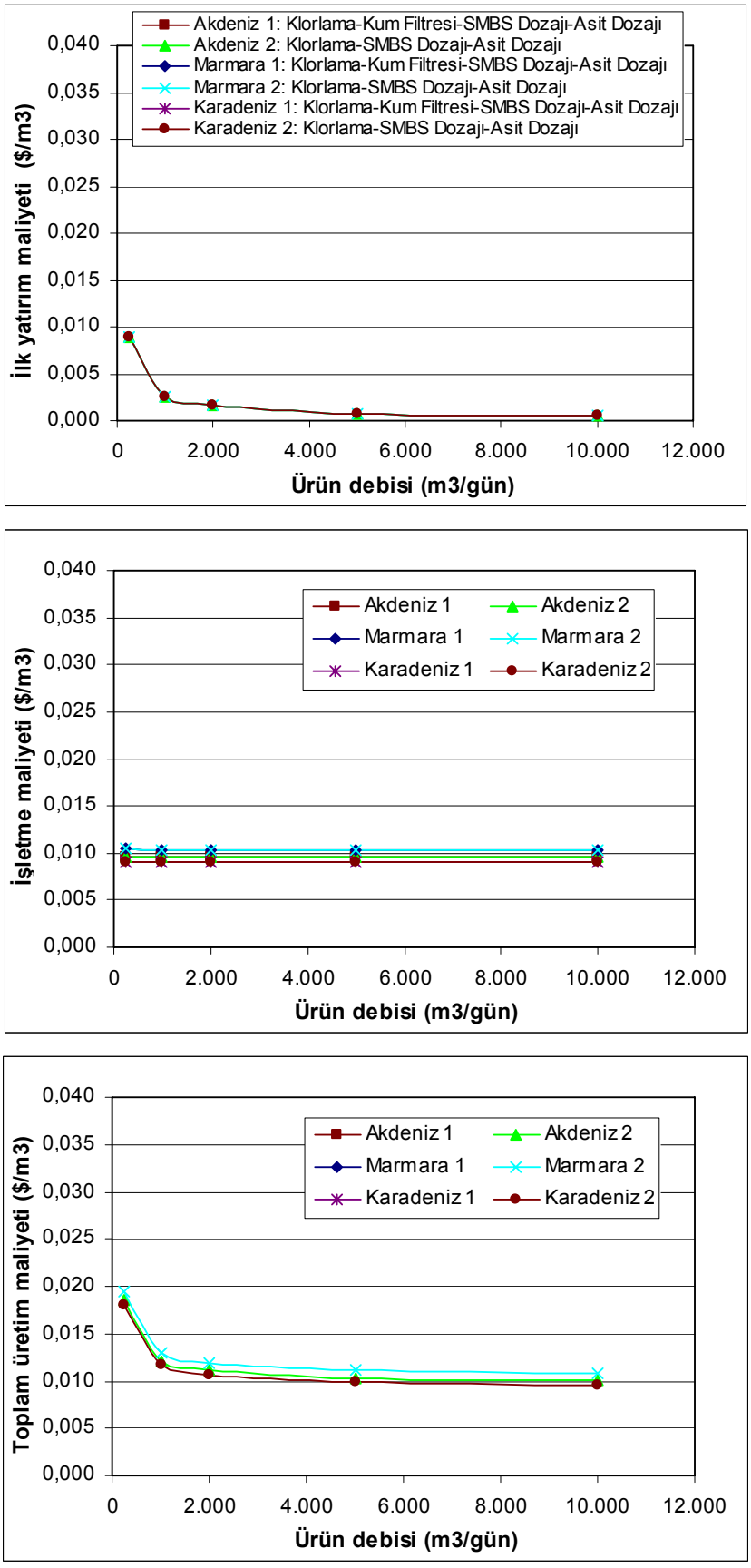


Şekil 6.41: Deniz suyu ters osmoz sistemlerinin geri kazanım oranı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetleri ilişkilerinin kıyaslaması

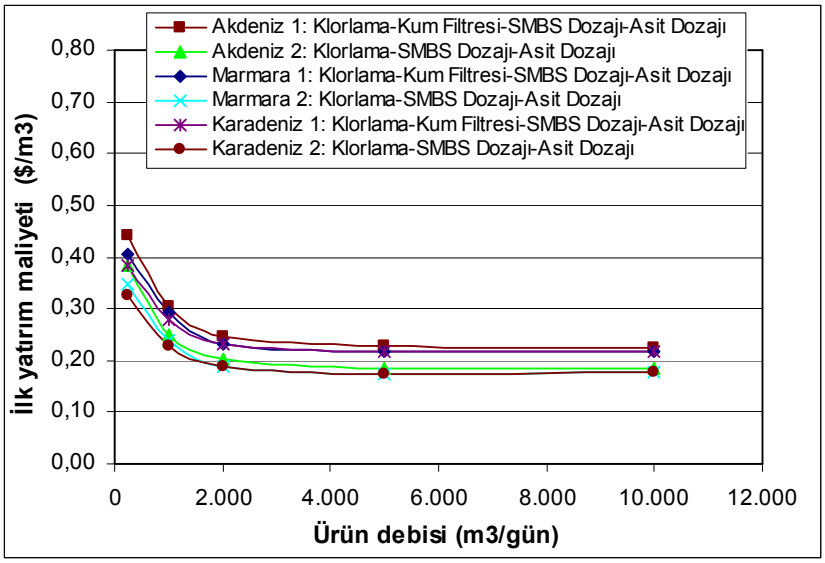
Akı, ilk yatırım maliyetinde diğer bütün sistemlerde olduğu gibi etkili olmaktadır. Deniz suyu sistemlerinde akı, 11.33 l/m^2.st`ten 19.83 l/$m^2$.st`e çıkarken ilk yatırım maliyeti %10-20 arasında azalmaktadır. Akının üç deniz suyu için de aynı etkiyi oluşturduğu görülmektedir. Akının artması ile işletme maliyeti çok az derecede artmaktadır. Toplam üretim maliyeti ise az derecede düşmektedir.

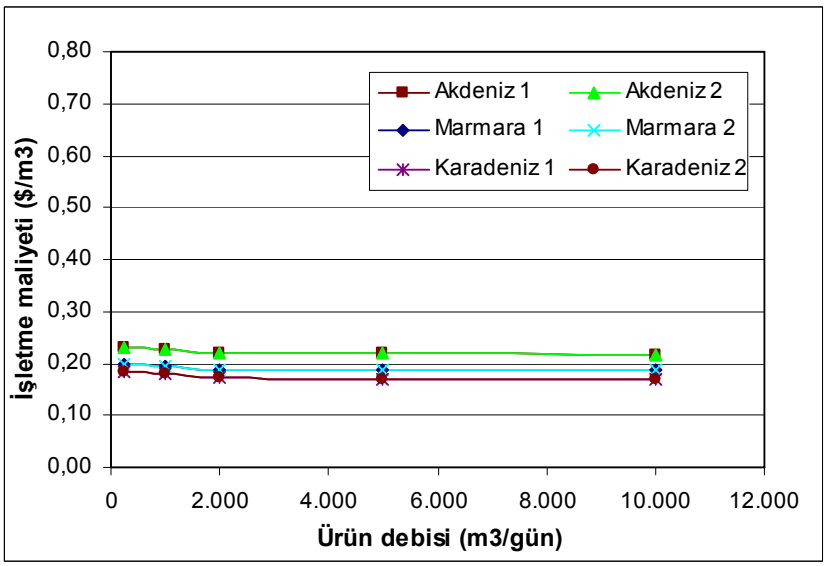
Geri kazanım oranı her üç sistemde de %30`dan %40`a çıkarken ilk yatırım maliyetinde %8 oranında azalma görülmektedir. Geri kazanım oranının işletme maliyeti açısından Karadeniz suyunda az derecede etkili olduğu, Marmara ve Akdeniz suyunda etkisiz olduğu anlaşılmaktadır. Toplam üretim maliyetinin ise, geri kazanım oranı arttıkça az derecede düştüğü görülmektedir.

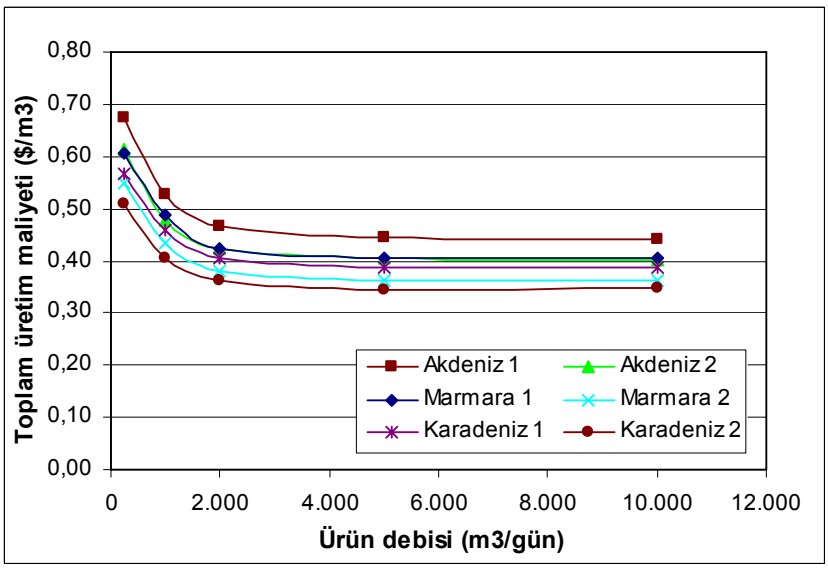
Ön arıtma grubu, asit dozaj miktarları dışında deniz suyunun tuzluluğundan ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetleri açısından etkilenmemektedir. Marmara denizi suyu için elde edilen asit dozaj miktarı en çok bulunduğu için işletme maliyeti diğerlerinden daha yüksektir. Bu oranlar, ön arıtmalı ters osmoz sisteminde enerji maliyeti ve antiskalant maliyeti ile birleştiğinde etkisini yitirmektedir.



Şekil 6.42: Deniz suyu ters osmoz sistemlerinin ön arıtma grubunun ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkilerinin kıyaslaması







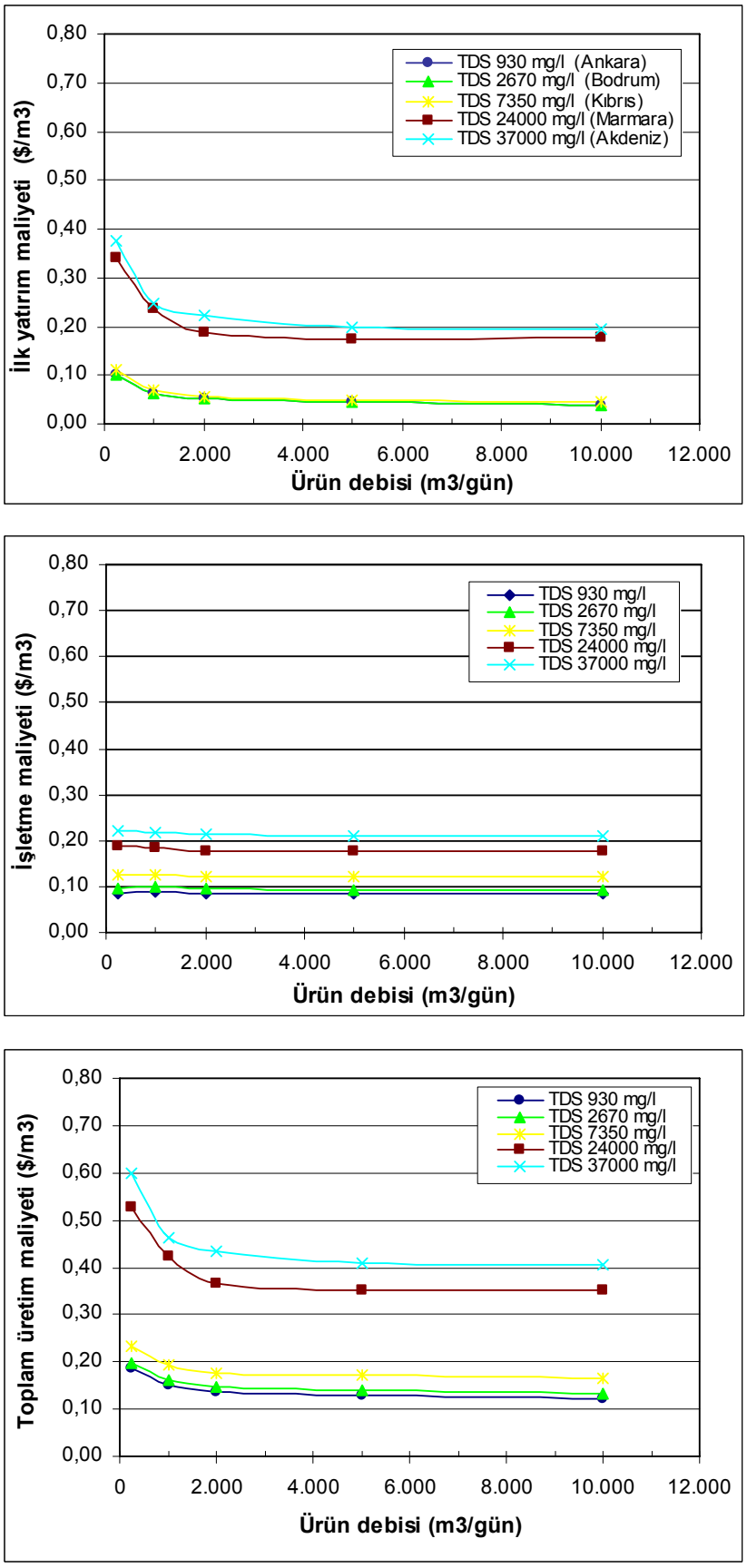
Şekil 6.43: Ön arıtmalı deniz suyu ters osmoz sistemlerinin ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkilerinin kıyaslaması

6.3 Kuyu Suyu ve Deniz Suyu Sistemlerinin Maliyet Karşılaştırması

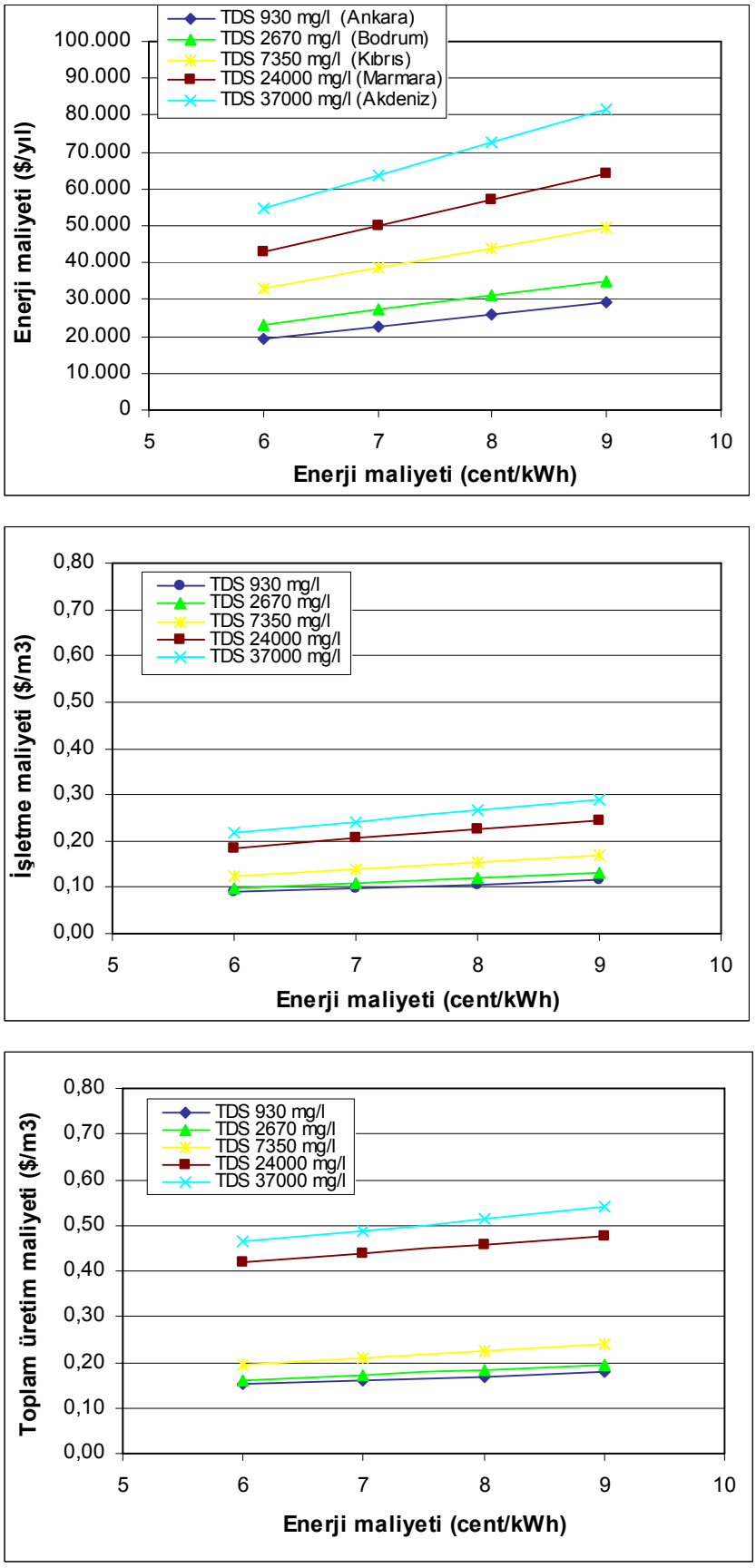
Seçilen üç kuyu suyu ve Akdeniz ile Marmara olmak üzere iki deniz suyu ters osmoz sisteminin 1000 m^3/gün üretim debisi için ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkileri Şekil 6.44'de verilmiştir. Bu sulara ait enerji fiyatı ve kimyasal fiyatının işletme maliyeti ve toplam üretim maliyeti üzerindeki etkisi sırasıyla Şekil 6.45 ve Şekil 6.46`da verilmiştir. Akının, geri kazanım oranının, ön arıtmanın ve konsantrasyonun ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti ile ilişkileri ise sırasıyla Şekil 6.47, Şekil 6.48, Şekil 6.49 ve Şekil 6.50`de verilmiştir. Konsantrasyon eğrileri sadece kuyu suyu, sadece deniz suyu ve kuyu suyu ile deniz suyu birlikte olmak üzere üç ayrı şekilde yapılmıştır.

Elde edilen veriler deniz suyu ters osmoz sistemlerinin kuyu suyu ters osmoz sistemlerine oranla ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti bakımından çok daha yüksek maliyetli olduğunu açıkça göstermektedir. Deniz suyu ters osmoz sistemlerinin ilk yatırım maliyeti kuyu suyu sistemlerinden yaklaşık 4-4.5 kat daha fazla elde edilmiştir. İşletme maliyeti bakımından Akdeniz suyu en düşük tuzluluktaki kuyu suyundan 2.5 kat, toplam üretim maliyeti bakımından ise 2.5-3 kat daha maliyetli bulunmuştur.

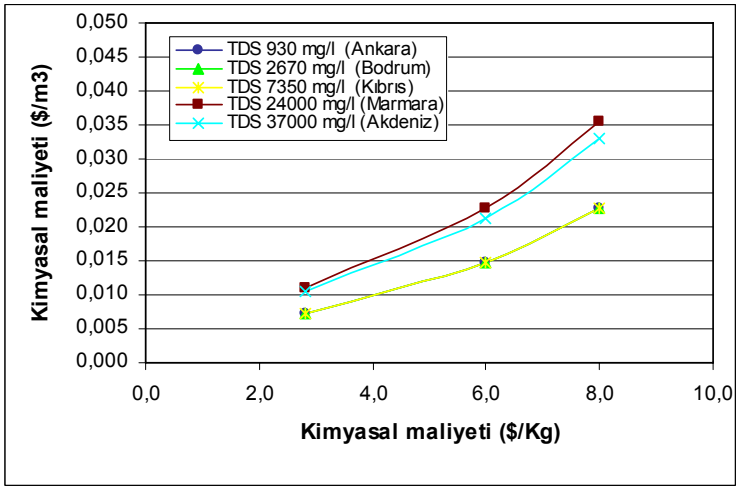
Enerji maliyetleri de deniz suyu arıtma sistemlerinde belirgin şekilde kuyu suyundan yüksek elde edilmiştir. Tuzluluk arttıkça enerji maliyetinin de yükseldiği görülmektedir. 1000 m^3/gün kapasiteli sistem için 930 mg/l tuzluluktaki kuyu suyu ile Akdeniz suyu arasında sadece enerji tüketimi bakımından 6 cent/kWh enerji fiyatı için yıllık 35.000 $ işletme maliyeti farkı bulunmuştur. Bu maliyet farkı oransal olarak 2.5 kattan daha fazla olmaktadır. Enerji fiyatı arttıkça işletme ve toplam üretim maliyetindeki artışın deniz suyu ters osmoz sistemlerinde kuyu sistemlerine oranla daha yüksek olduğu görülmektedir.

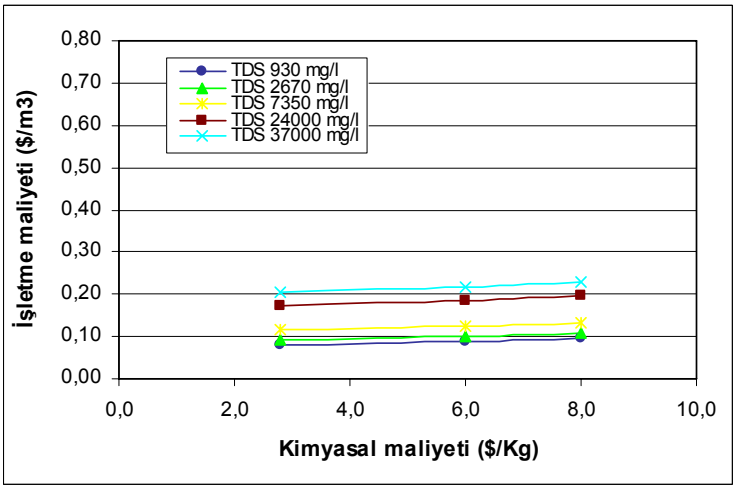


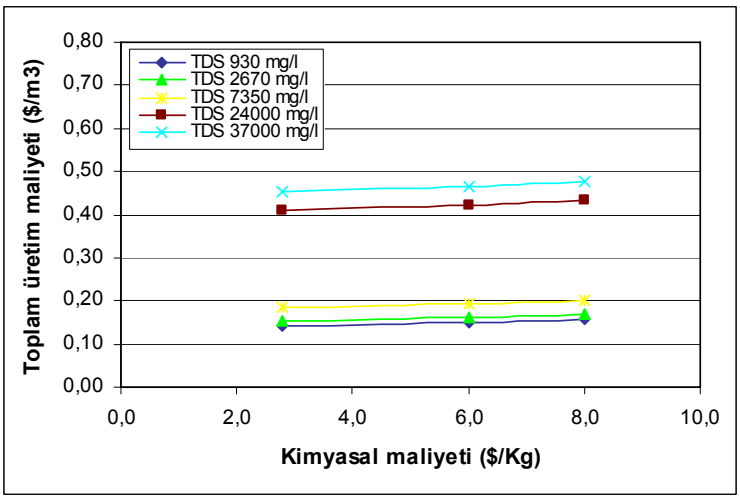
Şekil 6.44: Deniz suyu ve kuyu suyu ters osmoz sistemlerinin ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkilerinin kıyaslaması



Şekil 6.45: Deniz suyu ve kuyu suyu ters osmoz sistemlerinin enerji fiyatı ile işletme maliyeti ve toplam üretim maliyeti ilişkilerinin kıyaslaması

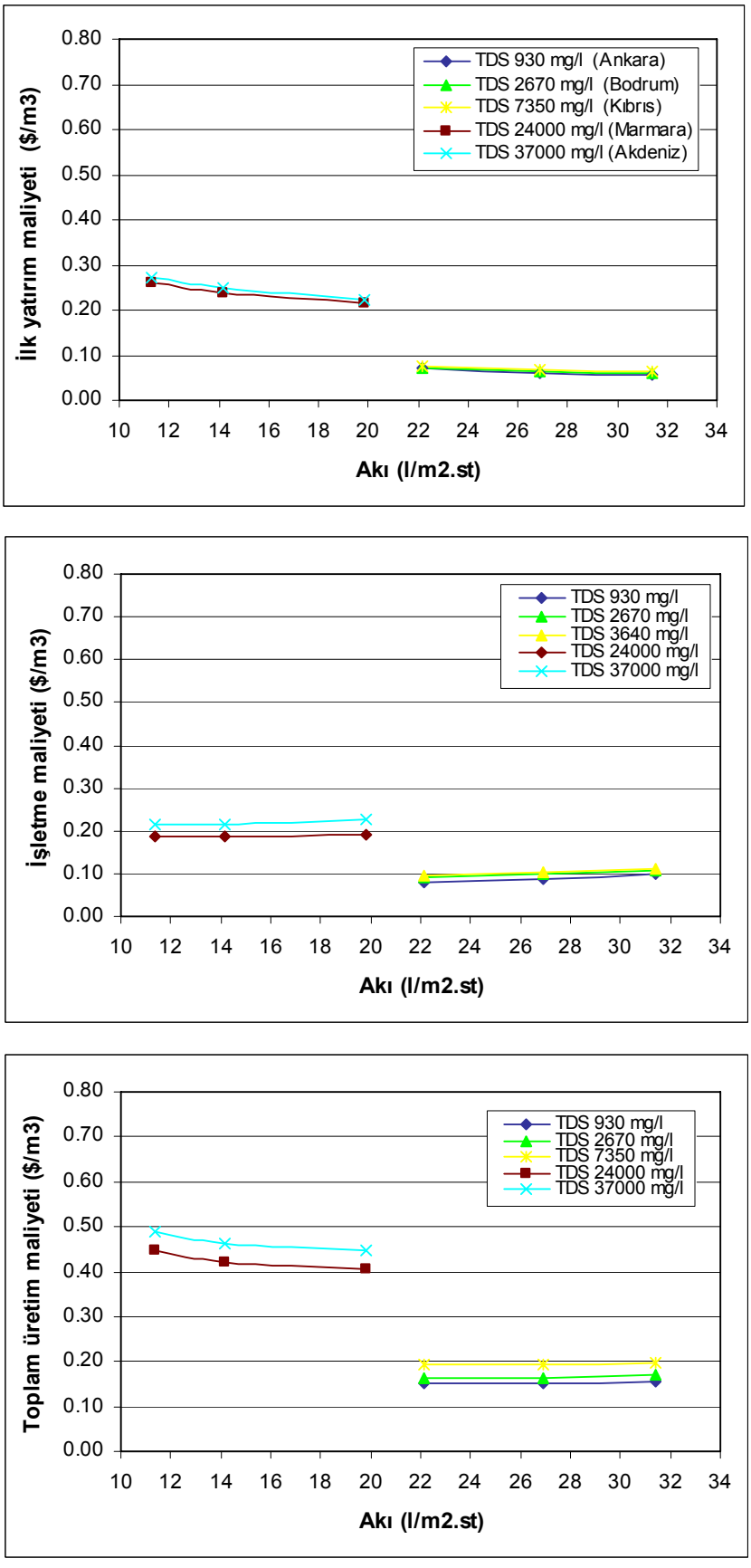




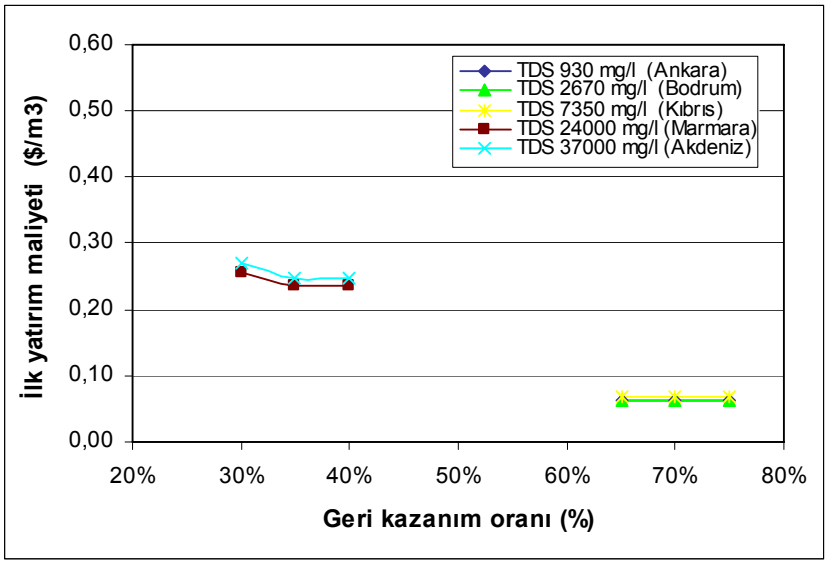


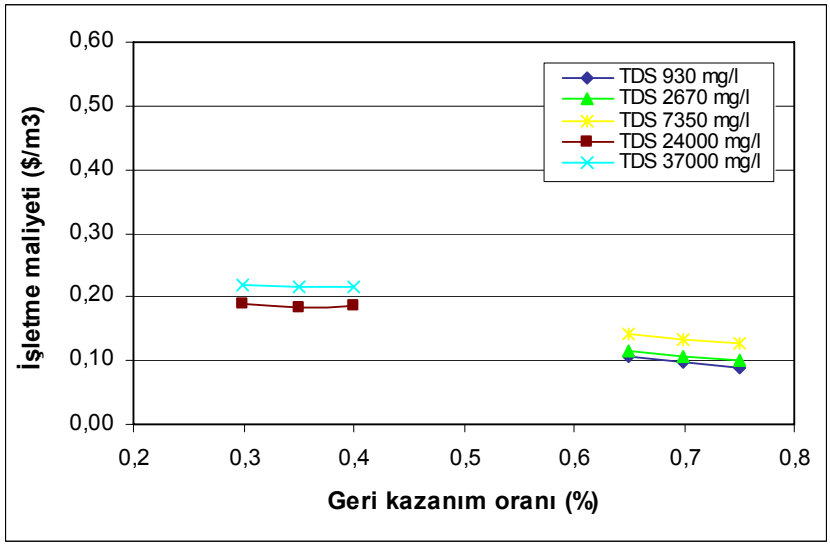
Şekil 6.46: Deniz suyu ve kuyu suyu ters osmoz sistemlerinin kimyasal fiyatı ile işletme maliyeti ve toplam üretim maliyeti ilişkilerinin kıyaslaması

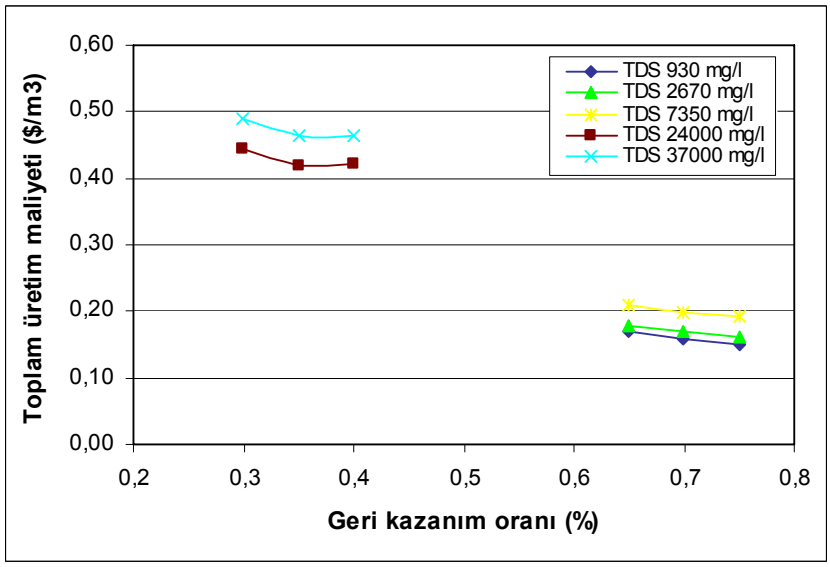
Kimyasal tüketimi bakımından da, deniz suyu ters osmoz sistemleri kuyu suyu sistemlerine oranla 1.5 kat daha yüksek maliyetli bulunmuştur. Bu durum suyun tuzluluğundan ziyade, ön arıtma yapılması gereken besleme suyunun daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 6.47: Deniz suyu ve kuyu suyu ters osmoz sistemlerinin akı ile ilk yatırım, işletme maliyeti ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişkilerinin kıyaslaması







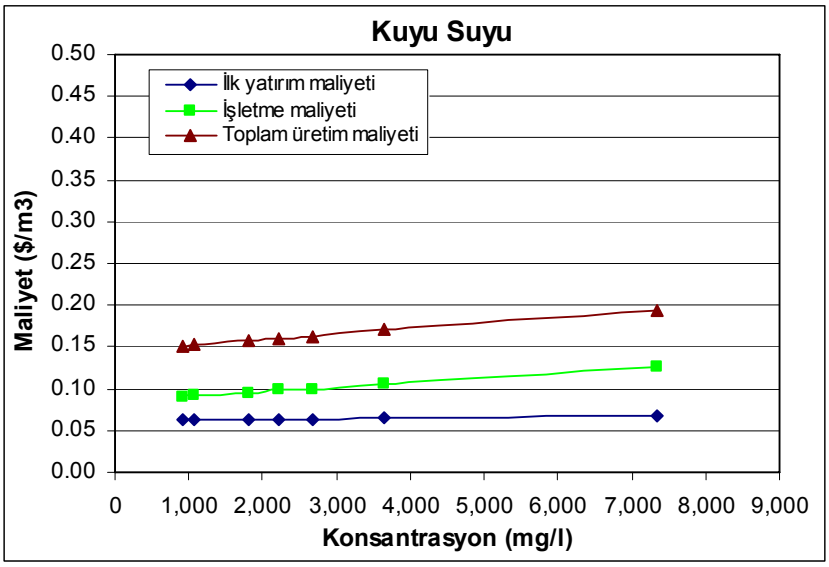
Şekil 6.48: Deniz suyu ve kuyu suyu ters osmoz sistemlerinin geri kazanım oranı ile ilk yatırım, işletme maliyeti ve toplam üretim maliyeti ilişkilerinin kıyaslaması

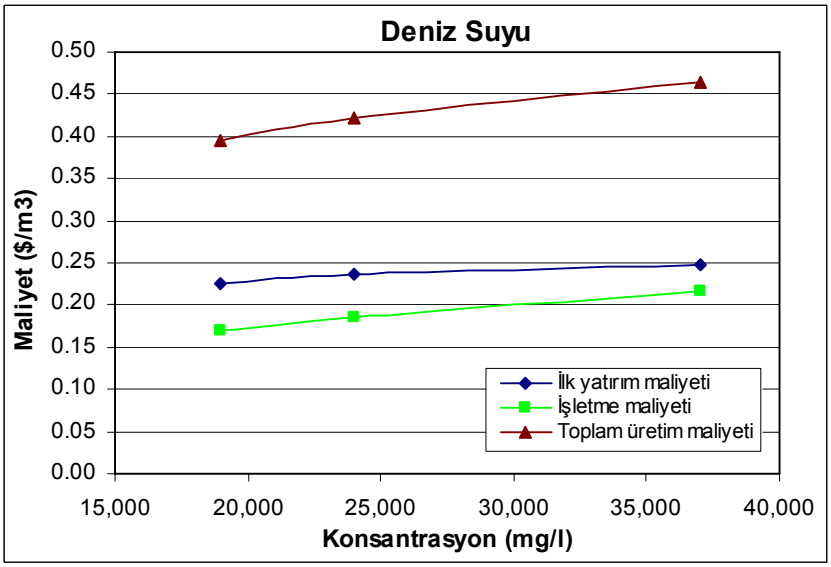
Akının, ilk yatırım maliyeti olarak deniz suyu ters osmoz sistemlerine etkisinin kuyu suyundan daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun en önemli nedeni, deniz suyu sistemlerinde kuyu suyu sistemlerine oranla çok daha fazla membran kullanılıyor olması ve bir diğer nedeni de deniz suyu membranlarının bir miktar daha pahalı olmasıdır. Akının deniz suyu sistemleri üzerindeki etkisi işletme maliyetinde önemini yitirmektedir. Eğrilerden, akının toplam üretim maliyeti bakımından da deniz suyu sistemleri üzerinde kuyu suyu sistemlerine oranla daha fazla etkili olduğu görülmektedir.

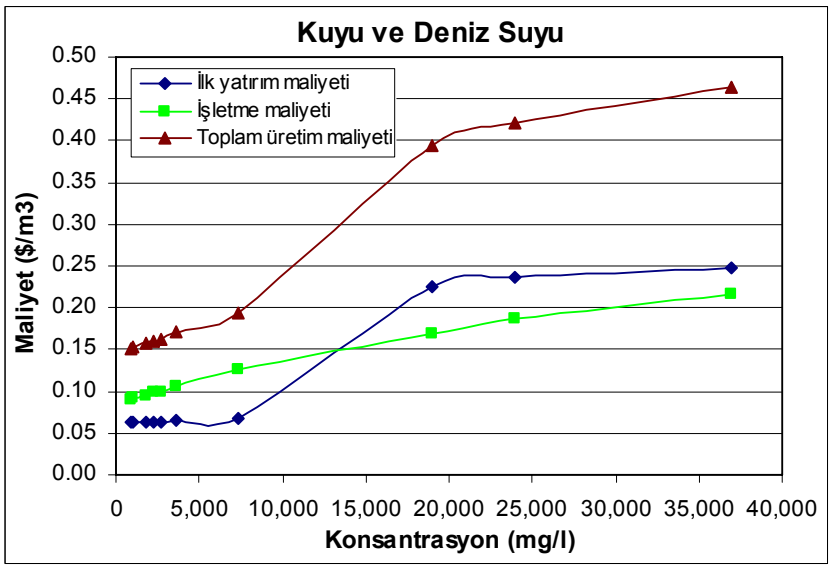
Geri kazanım oranının ilk yatırım maliyeti üzerindeki etkisi deniz suyu sistemlerinde %30 ile %35 geri kazanım oranı arasında belirgin şekilde görülürken, kuyu suyu sistemleri üzerinde etkisiz bulunmuştur. Bunun nedeni, deniz suyu sistemlerinde geri kazanım ünitelerinin konsantre atık debisine göre seçilmesi ve geri kazanım oranı düştükçe bu ünitelerin boyutlarının da büyümesidir. Yine enerji geri kazanım ünitelerinden dolayı, işletme maliyetinde geri kazanım oranının etkisi deniz suyu arıtma sistemlerinden daha az görülmektedir. Kuyu suyu sistemlerinde ise geri kazanım oranı arttıkça işletme maliyeti belirgin şekilde düşmektedir. Aynı şekilde toplam üretim maliyetinde de geri kazanım oranının etkisi kuyu suyu sistemlerinde daha fazla görülmektedir.

Ön arıtma grubu olarak da kum filtresi kullanılması durumunda, deniz suyu ön arıtma grubu kuyu suyu ön arıtma grubundan 4 kat daha pahalı bulunmuştur. Bunun nedeni deniz suyu sistemlerinin besleme suyunun ve dolayısıyla ön arıtma yapılacak su miktarının çok daha fazla olmasıdır. Yine bu nedenle, işletme maliyeti açısından deniz suyu sistemleri kuyu suyu sistemlerinden daha yüksek maliyetli bulunmuştur. Bu etki toplam üretim maliyetinde de deniz suyunun daha yüksek maliyetli olması seklinde görülmektedir.

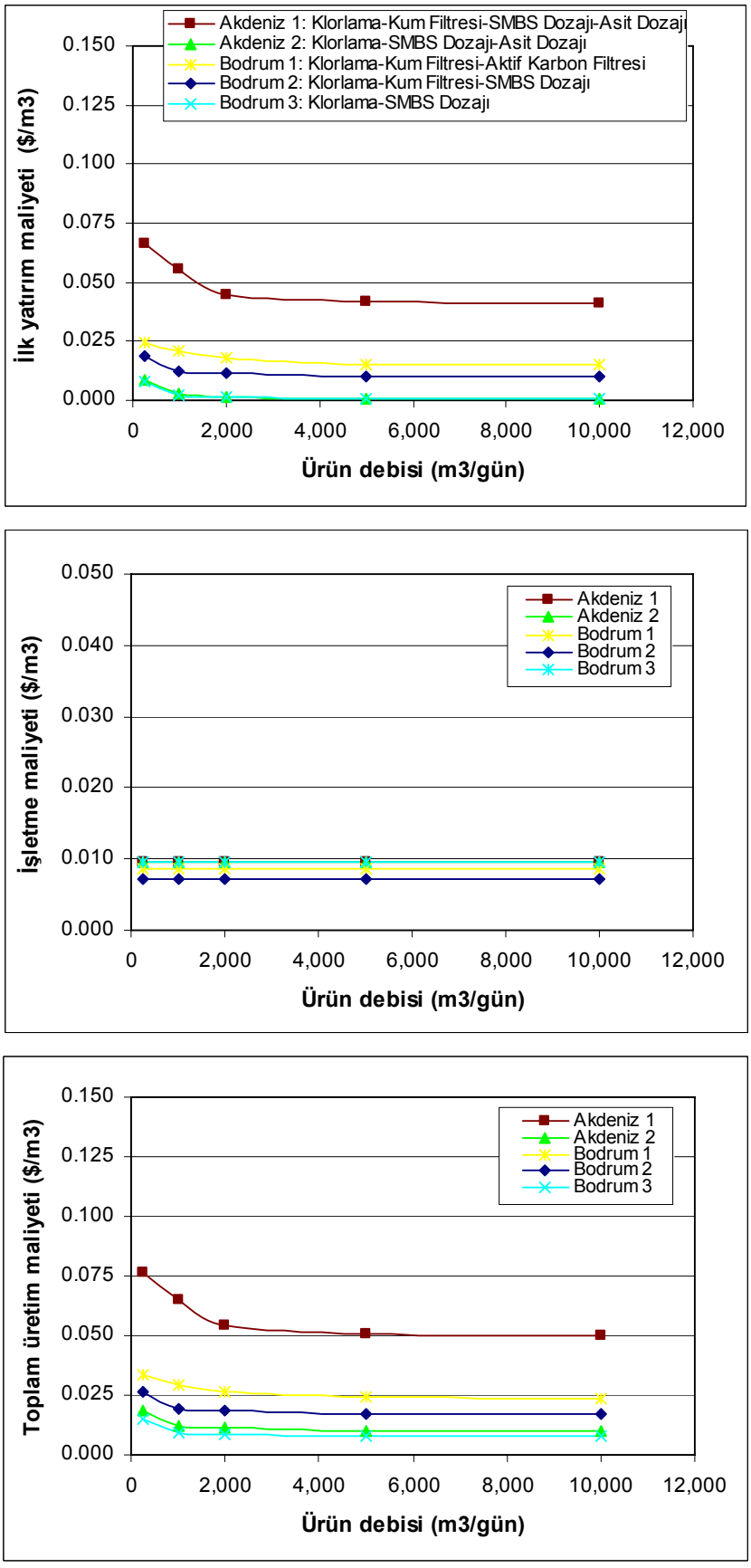
Hem kuyu suyunda hem de deniz suyunda konsantrasyonun artması, ilk yatırım maliyeti üzerinde çok az derecede etkili görülmektedir. İşletme ve toplam üretim maliyeti ise konsantrasyon ile lineer doğrusal olarak artmaktadır. Su kalitesi kuyu suyundan deniz suyuna geçerken, ilk yatırım maliyetinin işletme maliyetini aştığı görülmektedir. Deniz suyu ve kuyu suyu sistemleri birlikte incelendiğinde ise, kuyu suyundan deniz suyuna geçerken ilk yatırım maliyetinin 3 kattan, işletme maliyetinin 1.5 kattan ve toplam üretim maliyetinin ise 2 kattan fazla arttığı tespit edilmiştir.







Şekil 6.49: Deniz suyu ve kuyu suyu ters osmoz sistemlerinin ilk yatırım, işletme maliyeti ve toplam üretim maliyetlerinin konsantrasyon ile ilişkilerinin kıyaslaması



Şekil 6.50: Ön arıtmalı deniz suyu ve kuyu suyu ters osmoz sistemlerinin ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkilerinin kıyaslaması

6.4 Ters Osmoz Sistemlerinin Oransal Olarak Maliyetlerinin Değerlendirmesi

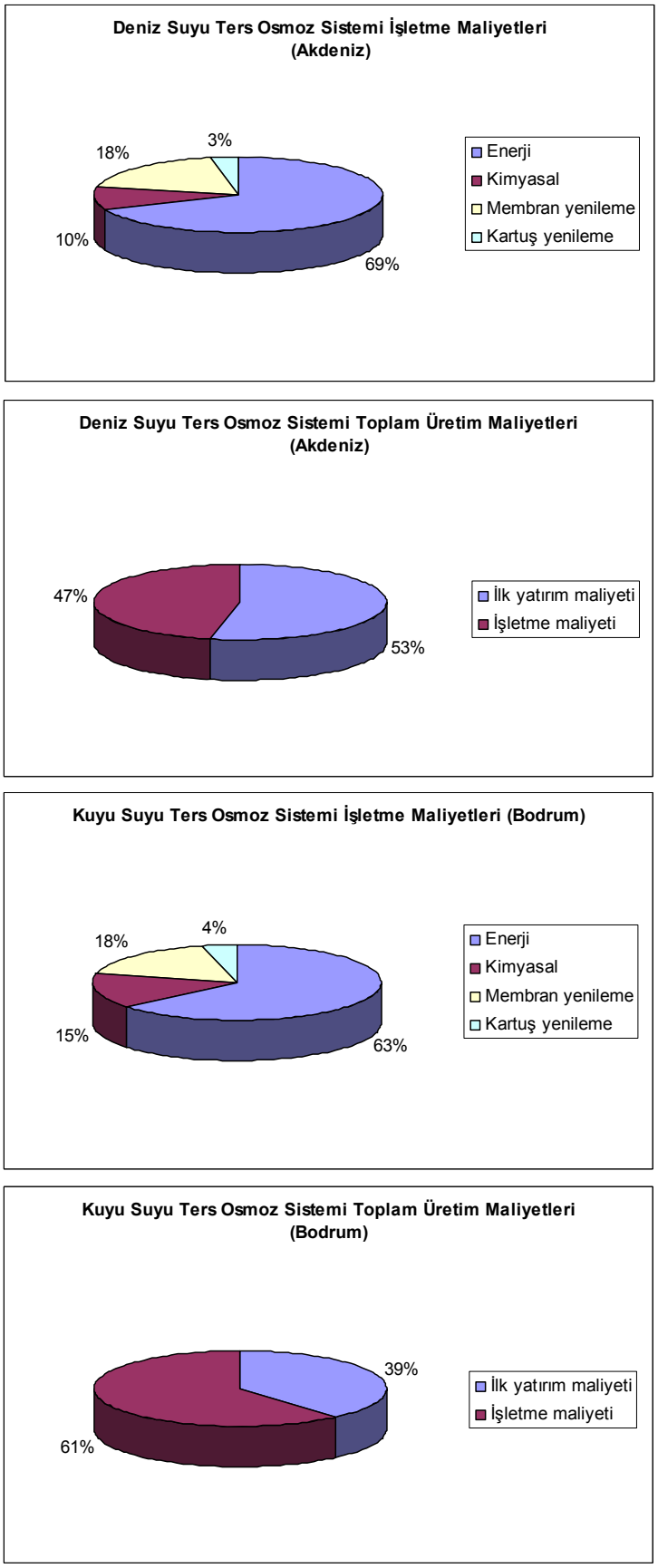
Şekil 6.51`de ön arıtma grubu olmadan ve Şekil 6.52`de ön arıtma grubu ile birlikte deniz suyu ve kuyu suyu ters osmoz sistemlerine ait oransal olarak ilk yatırım ve işletme maliyeti ile işletme maliyeti bileşenleri verilmiştir.

Şekillerden, enerjinin deniz suyu ters osmoz sistemlerinde kuyu suyu sistemlerine oranla daha etkili bir işletme maliyeti faktörü oluşturduğu görülmektedir.

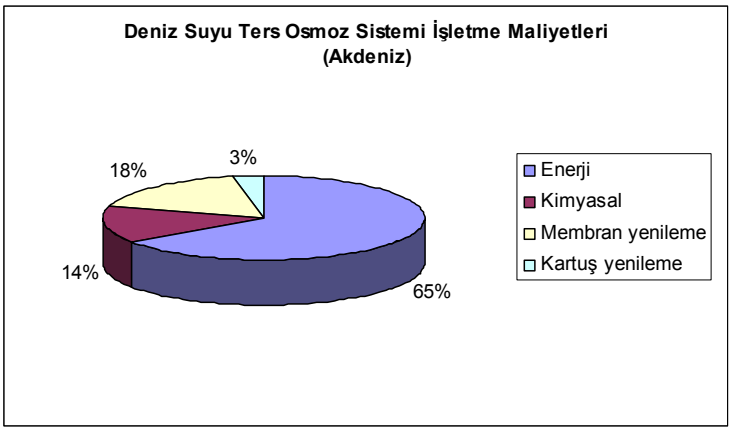
Membran yenileme maliyetinin işletme maliyetine etkisi ise, her iki sistemde de hemen hemen aynı oranda bulunurken, kimyasal maliyetinin kuyu suyu ters osmoz sistemlerinde daha etkili olduğu görülmektedir.

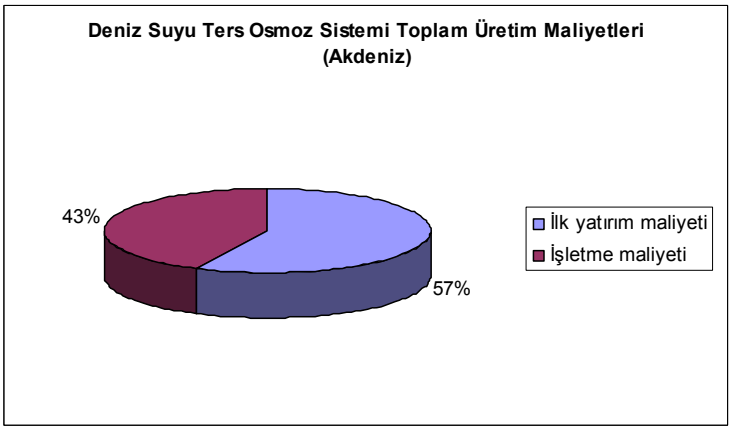
Bu verilerden, işletme maliyetinin toplam üretim maliyetinin en önemli paydasını oluşturduğu ve işletme maliyeti içinde ise enerji tüketiminin en önemli oranı oluşturduğu açıkça görülmektedir. Buradan, ters osmoz sistemleri tasarım ve ekipmanları seçilirken maliyet açısından ilk önce önem verilmesi gereken konunun sistemin enerji tüketimi olması gerektiği anlaşılmaktadır.

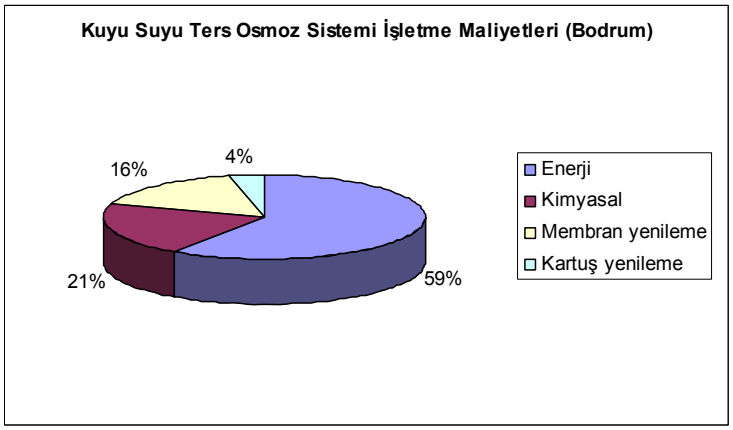
Enerji tüketiminden sonra maliyet açısından en fazla dikkat edilmesi gereken konu deniz suyu sisteminde membran fiyatı, kuyu suyu sisteminde ise kimyasal tüketimi olarak bulunmuştur.

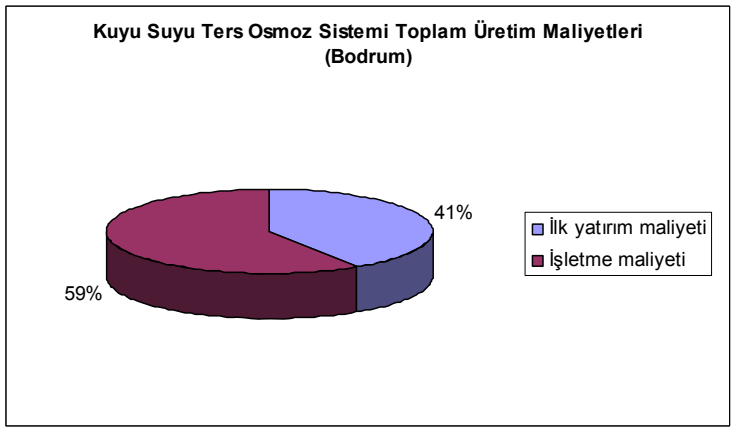


Şekil 6.51: Ön arıtmasız deniz suyu ve kuyu suyu ters osmoz sistemlerinin ilk yatırım ve işletme maliyeti oranları ve oransal olarak işletme maliyeti bileşenleri









Şekil 6.52: Ön arıtmalı deniz suyu ve kuyu suyu ters osmoz sistemlerinin ilk yatırım ve işletme maliyeti oranları ve oransal olarak işletme maliyeti bileşenleri

7. SONUÇLAR

Türkiye'nin değişik bölgelerinden alınan 7 farklı tuzluluktaki kuyu suyu ve 3 farklı tuzluluktaki deniz suyu üzerinde yapılan maliyet analizinden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- Düşük tuzluluk değerinde nanofiltrasyon sistemi, ters osmoz sistemine oranla ilk yatırım maliyeti bakımından hemen hemen aynı olmakta, işletme maliyeti bakımından %30 ve toplam üretim maliyeti bakımından ise %20 oranında daha ekonomik olarak elde edilmektedir.

- Enerji tüketimi bakımından ters osmoz sistemi, nanofiltrasyon sistemine oranla en az 2 kat daha pahalı olmaktadır. Membran yenileme maliyeti ise nanofiltrasyon sisteminde, ters osmoz sistemine oranla %20 daha pahalı olarak elde edilmektedir.

- En yüksek maliyetler, çözünmüş madde konsatrasyonu yüksek olan sularda oluşmaktadır. Deniz suyu ters osmoz sistemlerinin ilk yatırım maliyeti, kuyu suyu sistemlerinden yaklaşık 4-4.5 kat, Akdeniz deniz suyu sisteminden elde edilen işletme maliyetleri ve toplam üretim maliyetleri, düşük tuzluluktaki kuyu suyu sistemine göre en az 2.5 kat daha yüksek maliyetli olmaktadır.

- İlk yatırım maliyetleri, 2000 m^3/gün debi değerine kadar hızlı bir şekilde azalmakta, 2000 m^3/gün - 5000 m^3/gün arasında çok az azalıp, 5000 m^3/gün debi değerinden sonra ise debiden bağımsız hale gelmektedir. Birim İlk yatırım maliyeti, debi değeri 250 m^3/gün`den 2000 $m^3$/gün`e çıkarken, yarı yarıya azalmaktadır.

- Enerji fiyatı, birim işletme ve toplam üretim maliyetini doğrusal olarak etkilemekte ve enerji fiyatının 6 centten 9 cente çıkması, işletme maliyetini

%30'dan fazla ve toplam üretim maliyetini %15-25 oranında artırmaktadır. Deniz suyu ters osmoz sistemlerinin enerji maliyetleri, kuyu suyu ters osmoz sistemlerine oranla belirgin şekilde daha yüksek olmaktadır.

- Membran ömrünün maliyet üzerindeki etkisi, bütün kuyu ve deniz sularında aynı olmakta, membran ömrünün 3 yıldan 5 yıla çıkması, sistemin işletme maliyetini %10 oranında ve toplam üretim maliyetini %5 civarında azaltmaktadır.
- Kimyasal maliyetinin etkisi, enerji ve membran yenileme maliyeti kadar etkili olmamaktadır. Kimyasal tüketimi bakımından da deniz suyu ters osmoz sistemleri kuyu suyu sistemlerine oranla 1.5 kat daha yüksek maliyetli bulunmaktadır.
- Kuyu sularında, akı değeri 22.2 l/m^2.st değerinden 31.4 l/m^2.st değerine çıkarken, ilk yatırım maliyeti %15-20 oranında azalmakta ve işletme maliyeti %15-20 oranında artmaktadır. Sonuç olarak, akının toplam üretim maliyeti üzerinde etkisi olmadığı görülmektedir.
- Deniz suyu sistemlerinde akı, 11.33 l/m^2.st`ten 19.83 $l/m^2$.st`e çıkarken ilk yatırım maliyeti %10-20 oranında azalmaktadır. Akının artması ile işletme maliyeti çok az derecede artmaktadır. Toplam üretim maliyeti ise %10 civarında düşmektedir.
- Kuyu sularında, geri kazanım oranı (%65–75 aralığında) ilk yatırım maliyetini etkilememekte, işletme maliyeti ve toplam üretim maliyetini ise lineer olarak düşürmektedir. Deniz suyunda ise geri kazanım oranı %30`dan %40`a çıkarken, ilk yatırım maliyetinde %8 oranında azalma olmakta, toplam üretim maliyeti ise geri kazanım oranı arttıkça çok az miktarda azalmaktadır.
- Hem kuyu suyu hem de deniz suyu ters osmoz sistemlerinde konsantrasyonun artması ilk yatırım maliyeti üzerinde etkili olmamakta, işletme ve toplam üretim maliyeti ise konsantrasyon ile lineer olarak artmaktadır.
- Ön arıtma grubu işletme maliyeti, toplam işletme maliyeti içinde etkisiz olmaktadır.

- Kuyu suyu sistemlerinde işletme maliyeti, toplam üretim maliyetinin en önemli paydasını oluşturmakta (%60'ın üzerinde), işletme maliyeti içinde ise enerji tüketimi en önemli oranı (%60'ın üzerinde) oluşturmaktadır. Deniz suyu sistemlerinde ise, ilk yatırım maliyeti ile işletme maliyeti birbirine çok yakın olmakta ve her biri toplam üretim maliyetinin yaklaşık yarı yarıya paydasını oluşturmaktadır. İşletme maliyeti içinde ise enerji tüketimi en önemli oranı (%70) oluşturmaktadır. Bu sonuçlara göre, kuyu suyu ve deniz suyu ters osmoz sistemleri tasarım ve ekipmanları seçilirken, maliyet açısından ilk önce önem verilmesi gereken konu sistemin enerji tüketimi olmaktadır.
- Yapılan ilk yatırım maliyeti kıyaslamalarında ters osmoz sistemlerinin lokal üretimlerden temin edilmesi ile Amerika veya Avrupa`dan temin edilmesi arasında takriben %35 maliyet farkı olduğu görülmektedir. Bu ilk yatırım maliyeti farkı sistemlerin kapasitesi küçüldükçe daha da artmaktadır.

KAYNAKLAR

[1] **WHO**, 1984. Guidlines for Drinking Water Quality, Vol. 2, Healthcare and Other Supporting Information, WHO Press, Geneva.

[2] **Osmonics,** 1997. *Pure Water Handbook,* Minnetonka.

[3] **WHO**, 2005. Nutrients in Drinking Water, WHO Press, Geneva.

[4] **Greiner, A. D., Obolensky, A., Singer, P. C.,** 1992. Technical Note: Comparing Predicted and Observed Concentrations of DBPs. *Journal of American Water Works association, 99-102.*

[5] **Kürüm, F.,** 1991. İçme Sularının Klorlanmasında Trihalometanların Oluşumu, *Su Kirlenmesi Kontrolü Dergisi. Cilt 1 Sayı 2, 111-114.*

[6] **Akar, A.**, 2000. İçme Suyu Kalitesi Açısından Kirlilik Parametrelerinin İrdelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[7] **D`Itri, F. M., Wolfson, L., G.,** 1988. Rural Groundwater Contamination, Lewis Publishers Inc., Second Printing, Michigan, USA.

[8] Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği, 1998. Resmi Gazete.

[9] **Esenyel, Ö.,** 2001. Türkiye`nin Su Potansiyeli ve Potansiyelin Kullanılması, Harp Akademileri Basımevi, İstanbul.

[10] İSKİ İnternet Sitesi, http://www.iski.gov.tr.

[11] ASKİ İnternet Sitesi, http://www.aski.gov.tr.

[12] BUSKİ İnternet Sitesi, http://www.buski.gov.tr.

[13] **Baker, R. W.,** 1991. Membrane Seperation Systems: Recent developments and Future Directions, Noyes Data Corp.

[14] **Koyuncu, İ.,** 1997. Membran Teknolojisinin Çevre Mühendisliğinde Kullanım Potansiyeli ve Ters Osmoz ile Amonyum İyonu Giderimi, *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[15] **Mulder, M.,** 1996. Basic Principles of Membrane Technology, 2nd Edition, Kluwer Academic Publisher.

[16] **Kural, E.,** 2000. Tekstil Boyahane Atıksularının Nanofiltrasyon Membranları ile Geri Kazanımı ve Renk Giderimi, *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[17] **Osada, Y., Nakagawa, T.,** 1992. Membrane Science and Technology, Marcel Dekkel Inc.

[18] **Koyuncu, İ.,** 2001. Nanofiltrasyon Membranları ile Tuz Gideriminde Organik İyon Etkisi, *Doktora Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[19] **Bilstad, T.,** 1997. Membrane Operations, *Water Sci. Tech. Vol. 36, no 2-3*.

[20] DOW İnternet Sitesi, http://www.dow.com.

[21] **DOW Liquid Seperations**, 2004. *Filmtec Reverse Osmosis Membranes Technical Manual.*

EKLER

EK A

Tablo A.1: Polatlı kuyu suyu nanofiltrasyon sistemi tasarımlarından elde edilen datalar

Besleme Debisi (m3/st)	Geri Kazanım Oranı (%)	Akı (l/m2.st)	Membran Adedi	Besleme Basıncı (bar)	Enerji Tüketimi (kW/st)	Ürünün TDS Değeri (mg/l)	Konantre LSI Değeri	Uyarı Türü
10.000 m3/gün								
560	75	31,40	360	8.4	163	29	1.62	**
560	75	26,91	420	7.2	140	33	1.62	
560	75	22,16	510	6	115	39	1.61	
600	70	31,40	360	8.7	180	27	1.42	**
600	70	26,91	420	7.4	154	30	1.42	**
600	70	22,16	510	6.1	126	36	1.41	
646	65	31,40	360	9	201	25	1.24	**
646	65	26,91	420	7.6	171	28	1.24	**
646	65	22,16	510	6.3	140	33	1.24	
5.000 m3/gün								
280	75	31,40	180	8.4	82	29	1.62	**
280	75	26,91	210	7.1	69	33	1.62	
280	75	22,43	252	6.1	59	38	1.61	
300	70	31,40	180	8.6	90	27	1.42	**
300	70	26,91	210	7.3	76	30	1.42	**
300	70	22,43	252	6.2	65	35	1.41	
323	65	31,40	180	9	101	25	1.24	**
323	65	26,91	210	7.6	85	28	1.24	**
323	65	22,42	252	6.4	72	33	1.24	
2.000 m3/gün								
112	75	31,40	72	8.4	33	29	1.62	**
112	75	26,91	84	7	28	33	1.62	
112	75	22,16	102	6.1	24	39	1.61	
120	70	31,40	72	8.1	31	29	1.42	**
120	70	26,91	84	7.2	30	30	1.42	**
120	70	22,16	102	6.2	26	35	1.41	
129	65	31,40	72	9	40	25	1.24	**
129	65	26,91	84	7.4	33	29	1.24	**
129	65	22,16	102	6.4	29	33	1.24	

Besleme Debisi (m3/st)	Geri Kazanım Oranı (%)	Akı (l/m2.st)	Membran Adedi	Besleme Basıncı (bar)	Enerji Tüketimi (kW/st)	Ürünün TDS Değeri (mg/l)	Konantre LSI Değeri	Uyarı Türü
1.000 m3/gün								
56,0	75	31,40	36	8.4	16.3	29	1.62	**
56,0	75	26,91	42	7.8	15	33	1.62	**
56,0	75	22,16	51	5.8	11.3	38	1.61	
60,0	70	31,40	36	8.6	18	27	1.42	**
60,0	70	26,91	42	7.7	17	30	1.42	**
60,0	70	22,16	51	5.9	12.3	35	1.41	
64,6	65	31,40	36	9	20	25	1.24	**
64,6	65	26,91	42	8.3	17	28	1.24	**
64,6	65	22,16	51	6	13.5	33	1.24	
250 m3/gün								
13,9	75	31,16	9	6.6	3.2	30	1.62	*****
13,9	75	28,04	10	6.2	3	32	1.62	*****
13,9	75	21,57	13	5.2	2.5	40	1.61	*****
14,9	70	31,16	9	6.6	3.4	27	1.42	*****
14,9	70	28,04	10	6.2	3.2	29	1.42	*****
14,9	70	21,57	13	5.2	2.7	36	1.41	
16,0	65	31,16	9	6.6	3.7	25	1.24	*****
16,0	65	28,04	10	6.2	3.5	27	1.24	*****
16,0	65	21,57	13	5.3	3	33	1.24	

Tablo A.2: Polatlı kuyu suyu ters osmoz sistemi tasarımlarından elde edilen datalar

Besleme Debisi (m3/st)	Geri Kazanım Oranı (%)	Akı (l/m2.st)	Membran Adedi	Besleme Basıncı (bar)	Enerji Tüketimi (kW/st)	Ürünün TDS Değeri (mg/l)	Konantre LSI Değeri	Uyarı Türü
10.000 m3/gün								
560	75	31,40	360	19.6	380	4.2	1.64	
560	75	26,91	420	16.4	320	4.6	1.64	
560	75	22,16	510	13.3	258	5.3	1.64	
600	70	31,40	360	19.6	408	4	1.43	
600	70	26,91	420	16.4	342	4.3	1.43	
600	70	22,16	510	13.4	280	5	1.43	
646	65	31,40	360	20	448	3.6	1.25	*
646	65	26,91	420	16.7	375	4	1.25	
646	65	22,16	510	13.4	300	5	1.26	
5.000 m3/gün								
280	75	31,40	180	19.6	190	4.2	1.64	
280	75	26,91	210	16.4	159	4.6	1.64	
280	75	22,43	252	13.5	132	5.3	1.64	
300	70	31,40	180	19.6	204	4	1.43	
300	70	26,91	210	16.4	170	4.3	1.43	
300	70	22,43	252	13.5	141	4.9	1.43	
323	65	31,40	180	20	224	3.6	1.25	*
323	65	26,91	210	16.6	186	4	1.25	
323	65	22,42	252	13.7	154	4.5	1.25	
2.000 m3/gün								
112	75	31,40	72	19.6	76	4	1.64	
112	75	26,91	84	16	62	5	1.64	
112	75	22,16	102	13.3	52	5.3	1.64	
120	70	31,40	72	18	71	4	1.43	
120	70	26,91	84	16.2	68	4.3	1.43	
120	70	22,16	102	13.4	56	5	1.43	
129	65	31,40	72	20	90	3.6	1.25	*
129	65	26,91	84	16.5	74	4	1.25	
129	65	22,16	102	13.7	61	4.6	1.25	

Besleme Debisi (m3/st)	Geri Kazanım Oranı (%)	Akı (l/m2.st)	Membran Adedi	Besleme Basıncı (bar)	Enerji Tüketimi (kW/st)	Ürünün TDS Değeri (mg/l)	Konantre LSI Değeri	Uyarı Türü
1.000 m3/gün								
56,0	75	31,40	36	19.6	38	4	1.64	
56,0	75	26,91	42	16.8	33	5	1.64	
56,0	75	22,16	51	13.1	26	5.3	1.63	
60,0	70	31,40	36	19.6	41	4	1.43	
60,0	70	26,91	42	17.1	36	4.3	1.43	
60,0	70	22,16	51	13.2	28	5	1.43	
64,6	65	31,40	36	20	45	4	1.25	*
64,6	65	26,91	42	17.5	39	4	1.25	
64,6	65	22,16	51	13.4	30	5	1.26	
250 m3/gün								
13,9	75	31,16	9	17.4	8.4	4.4	1.64	*****
13,9	75	28,04	10	15.6	7.6	5	1.64	*****
13,9	75	21,57	13	12.2	6	5.5	1.64	
14,9	70	31,16	9	17.3	9	4	1.43	*****
14,9	70	28,04	10	15.6	8	4	1.43	*****
14,9	70	21,57	13	12.2	6.3	5	1.43	
16,0	65	31,16	9	17.3	9.6	4	1.26	*****
16,0	65	28,04	10	16	8.7	4	1.26	
16,0	65	21,57	13	12.3	7	5	1.26	

Tablo A.3: Tekirdağ kuyu suyu ters osmoz sistemi tasarımlarından elde edilen datalar

Besleme Debisi (m3/st)	Geri Kazanım Oranı (%)	Akı (l/m2.st)	Membran Adedi	Besleme Basıncı (bar)	Enerji Tüketimi (kW/st)	Ürünün TDS Değeri (mg/l)	Konantre LSI Değeri	Uyarı Türü
10.000 m3/gün								
560	75	31,40	360	20.3	395	6	1.09	
560	75	26,91	420	17.2	333	7	1.09	
560	75	22,16	510	14	272	8.1	1.09	
600	70	31,40	360	20.3	422	5.5	0.89	
600	70	26,91	420	17.1	356	6.3	0.89	
600	70	22,16	510	14	293	8	0.89	
646	65	31,40	360	20.6	462	5.1	0.71	*
646	65	26,91	420	17.3	388	5.8	0.71	
646	65	22,16	510	14.2	319	7	0.72	
5.000 m3/gün								
280	75	31,40	180	20.3	198	6	1.09	
280	75	26,91	210	17.1	166	7	1.09	
280	75	22,43	252	14.2	138	8	1.09	
300	70	31,40	180	20.3	211	5.5	0.89	
300	70	26,91	210	17	177	6.3	0.89	
300	70	22,43	252	14.2	148	7.3	0.89	
323	65	31,40	180	20.6	231	5.1	0.71	*
323	65	26,91	210	17.3	194	5.8	0.71	
323	65	22,42	252	14.3	161	6.8	0.71	
2.000 m3/gün								
112	75	31,40	72	20.3	79	6	1.09	
112	75	26,91	84	17	66	7	1.09	
112	75	22,16	102	14.1	55	8	1.08	
120	70	31,40	72	20.3	85	5.5	0.89	
120	70	26,91	84	16.9	71	6.3	0.89	
120	70	22,16	102	14.1	59	7.4	0.89	
129	65	31,40	72	20.6	93	5	0.71	*
129	65	26,91	84	17.1	77	6	0.71	
129	65	22,16	102	14.2	64	6.8	0.71	

Besleme Debisi (m3/st)	Geri Kazanım Oranı (%)	Akı (l/m2.st)	Membran Adedi	Besleme Basıncı (bar)	Enerji Tüketimi (kW/st)	Ürünün TDS Değeri (mg/l)	Konantre LSI Değeri	Uyarı Türü
1.000 m3/gün								
56,0	75	31,40	36	20.3	40	6	1.09	
56,0	75	26,91	42	17.6	34	7	1.09	
56,0	75	22,16	51	13.8	27	8	1.08	
60,0	70	31,40	36	20.3	43	5.5	0.89	
60,0	70	26,91	42	17.8	37	6.3	0.89	
60,0	70	22,16	51	13.8	29	7.4	0.89	
64,6	65	31,40	36	20.6	46	5	0.71	*
64,6	65	26,91	42	18.1	41	5.8	0.71	
64,6	65	22,16	51	14	31	6.8	0.72	
250 m3/gün								
13,9	75	31,16	9	18.2	9.7	6	1.09	*****
13,9	75	28,04	10	16.4	8	7	1.09	*****
13,9	75	21,57	13	12.9	6.2	8	1.09	
14,9	70	31,16	9	18	9.3	6	0.89	*****
14,9	70	28,04	10	16.3	8.4	6	0.89	
14,9	70	21,57	13	12.8	6.7	7	0.89	
16,0	65	31,16	9	18	10	5	0.72	*****
16,0	65	28,04	10	16.3	9	5	0.72	
16,0	65	21,57	13	12.9	7	7	0.72	

Tablo A.4: Silivri kuyu suyu ters osmoz sistemi tasarımlarından elde edilen datalar

Besleme Debisi (m3/st)	Geri Kazanım Oranı (%)	Akı (l/m2.st)	Membran Adedi	Besleme Basıncı (bar)	Enerji Tüketimi (kW/st)	Ürünün TDS Değeri (mg/l)	Konantre LSI Değeri	Uyarı Türü
10.000 m3/gün								
560	75	31,40	360	19,6	380	4,2	1,64	
560	75	26,91	420	16,4	320	4,6	1,64	
560	75	22,16	510	13,3	258	5,3	1,64	
600	70	31,40	360	19,6	408	4	1,43	
600	70	26,91	420	16,4	342	4,3	1,43	
600	70	22,16	510	13,4	280	5	1,43	
646	65	31,40	360	20	448	3,6	1,25	*
646	65	26,91	420	16,7	375	4	1,25	
646	65	22,16	510	13,4	300	5	1,26	
5.000 m3/gün								
280	75	31,40	180	19,6	190	4,2	1,64	
280	75	26,91	210	16,4	159	4,6	1,64	
280	75	22,43	252	13,5	132	5,3	1,64	
300	70	31,40	180	19,6	204	4	1,43	
300	70	26,91	210	16,4	170	4,3	1,43	
300	70	22,43	252	13,5	141	4,9	1,43	
323	65	31,40	180	20	224	3,6	1,25	*
323	65	26,91	210	16,6	186	4	1,25	
323	65	22,42	252	13,7	154	4,5	1,25	
2.000 m3/gün								
112	75	31,40	72	19,6	76	4	1,64	
112	75	26,91	84	16	62	5	1,64	
112	75	22,16	102	13,3	52	5,3	1,64	
120	70	31,40	72	18	71	4	1,43	
120	70	26,91	84	16,2	68	4,3	1,43	
120	70	22,16	102	13,4	56	5	1,43	
129	65	31,40	72	20	90	3,6	1,25	*
129	65	26,91	84	16,5	74	4	1,25	
129	65	22,16	102	13,7	61	4,6	1,25	

-

Besleme Debisi (m3/st)	Geri Kazanım Oranı (%)	Akı (l/m2.st)	Membran Adedi	Besleme Basıncı (bar)	Enerji Tüketimi (kW/st)	Ürünün TDS Değeri (mg/l)	Konantre LSI Değeri	Uyarı Türü
1.000 m3/gün								
56,0	75	31,40	36	19,6	38	4	1,64	
56,0	75	26,91	42	16,8	33	5	1,64	
56,0	75	22,16	51	13,1	26	5,3	1,63	
60,0	70	31,40	36	19,6	41	4	1,43	
60,0	70	26,91	42	17,1	36	4,3	1,43	
60,0	70	22,16	51	13,2	28	5	1,43	
64,6	65	31,40	36	20	45	4	1,25	*
64,6	65	26,91	42	17,5	39	4	1,25	
64,6	65	22,16	51	13,4	30	5	1,26	
250 m3/gün								
13,9	75	31,16	9	17,4	8,4	4,4	1,64	*****
13,9	75	28,04	10	15,6	7,6	5	1,64	*****
13,9	75	21,57	13	12,2	6	5,5	1,64	
14,9	70	31,16	9	17,3	9	4	1,43	*****
14,9	70	28,04	10	15,6	8	4	1,43	*****
14,9	70	21,57	13	12,2	6,3	5	1,43	
16,0	65	31,16	9	17,3	9,6	4	1,26	*****
16,0	65	28,04	10	16	8,7	4	1,26	
16,0	65	21,57	13	12,3	7	5	1,26	

Tablo A.5: Bodrum birinci kuyu suyu ters osmoz sistemi tasarımlarından elde edilen datalar

Besleme Debisi (m3/st)	Geri Kazanım Oranı (%)	Akı (l/m2.st)	Membran Adedi	Besleme Basıncı (bar)	Enerji Tüketimi (kW/st)	Ürünün TDS Değeri (mg/l)	Konantre LSI Değeri	Uyarı Türü
10.000 m3/gün								
560	75	31,40	360	21.9	423	12	1.17	
560	75	26,91	420	18.5	359	14	1.17	
560	75	22,16	510	15	292	17	1.17	
600	70	31,40	360	21.7	452	11	0.97	
600	70	26,91	420	18.5	385	13	0.96	
600	70	22,16	510	15	312	15	0.96	
646	65	31,40	360	21.9	392	10	0.79	
646	65	26,91	420	18.6	418	12	0.79	
646	65	22,16	510	15	337	14	0.79	
5.000 m3/gün								
280	75	31,40	180	21.9	213	12	1.17	
280	75	26,91	210	18.4	179	14	1.17	
280	75	22,43	252	15.5	151	16	1.17	
300	70	31,40	180	21.7	226	11	0.97	
300	70	26,91	210	18.4	192	13	0.96	
300	70	22,43	252	15.5	161	15	0.96	
323	65	31,40	180	22	246	10	0.79	
323	65	26,91	210	18.5	208	11	0.79	
323	65	22,42	252	15.6	174	13	0.79	
2.000 m3/gün								
112	75	31,40	72	21.9	85	12	1.17	
112	75	26,91	84	18.3	71	14	1.17	
112	75	22,16	102	15.4	60	16	1.17	
120	70	31,40	72	21.7	90	11	0.97	
120	70	26,91	84	18.3	76	13	0.97	
120	70	22,16	102	15.4	64	15	0.97	
129	65	31,40	72	22	99	10	0.8	
129	65	26,91	84	18.4	83	12	0.8	
129	65	22,16	102	15.5	70	13.5	0.8	

Besleme Debisi (m3/st)	Geri Kazanım Oranı (%)	Akı (l/m2.st)	Membran Adedi	Besleme Basıncı (bar)	Enerji Tüketimi (kW/st)	Ürünün TDS Değeri (mg/l)	Konantre LSI Değeri	Uyarı Türü
1.000 m3/gün								
56,0	75	31,40	36	21.9	43	10	1.76	
56,0	75	26,91	42	19.1	37	11	1.76	
56,0	75	22,16	51	15.1	30	14	1.75	
60,0	70	31,40	36	21.7	45	9	1.61	
60,0	70	26,91	42	19.2	40	10	1.61	
60,0	70	22,16	51	15	31	12	1.61	
64,6	65	31,40	36	21.9	49	8	1.48	
64,6	65	26,91	42	19.4	44	10	1.48	
64,6	65	22,16	51	15	34	11	1.47	
250 m3/gün								
13,9	75	31,16	9	20	9.6	11	1.75	*****
13,9	75	28,04	10	18	9	11	1.75	*****
13,9	75	21,57	13	14.4	7	14	1.75	*****
14,9	70	31,16	9	19.6	10	9	1.61	*****
14,9	70	28,04	10	17.8	9	10	1.61	*****
14,9	70	21,57	13	14.2	7.3	13	1.61	
16,0	65	31,16	9	19.4	11	9	1.48	*****
16,0	65	28,04	10	17.6	10	9	1.48	
16,0	65	21,57	13	14.1	8	12	1.48	

Tablo A.6: Bodrum ikinci kuyu suyu ters osmoz sistemi tasarımlarından elde edilen datalar

Besleme Debisi (m3/st)	Geri Kazanım Oranı (%)	Akı (l/m2.st)	Membran Adedi	Besleme Basıncı (bar)	Enerji Tüketimi (kW/st)	Ürünün TDS Değeri (mg/l)	Konantre LSI Değeri	Uyarı Türü
10.000 m3/gün								
560	75	31,40	360	22.8	442	14	1.41	
560	75	26,91	420	19.3	374	16	1.41	
560	75	22,16	510	16.2	315	19	1.41	
600	70	31,40	360	22.5	468	13	1.27	
600	70	26,91	420	19.2	400	15	1.27	
600	70	22,16	510	16.1	335	18	1.27	
646	65	31,40	360	22.6	508	12	1.14	
646	65	26,91	420	19.3	433	14	1.14	
646	65	22,16	510	16.1	361	16	1.14	
5.000 m3/gün								
280	75	31,40	180	22.8	221	14	1.41	
280	75	26,91	210	19.2	186	16	1.41	
280	75	22,43	252	16	158	19	1.41	
300	70	31,40	180	22.5	234	13	1.26	
300	70	26,91	210	19.1	199	15	1.26	
300	70	22,43	252	16.2	168	17	1.26	
323	65	31,40	180	22.6	254	12	1.13	
323	65	26,91	210	19.2	216	13	1.13	
323	65	22,42	252	16.2	182	16	1.13	
2.000 m3/gün								
112	75	31,40	72	22.8	89	14	1.41	
112	75	26,91	84	19	74	16	1.41	
112	75	22,16	102	16.2	63	19	1.41	
120	70	31,40	72	22.5	94	13	1.27	
120	70	26,91	84	19	79	15	1.27	
120	70	22,16	102	16	67	17	1.27	
129	65	31,40	72	22.6	102	12	1.14	
129	65	26,91	84	19	86	13	1.14	
129	65	22,16	102	16	72	16	1.14	

Besleme Debisi (m3/st)	Geri Kazanım Oranı (%)	Akı (l/m2.st)	Membran Adedi	Besleme Basıncı (bar)	Enerji Tüketimi (kW/st)	Ürünün TDS Değeri (mg/l)	Konantre LSI Değeri	Uyarı Türü
1.000 m3/gün								
56,0	75	31,40	36	22.8	44	14	1.41	
56,0	75	26,91	42	20	39	16	1.41	
56,0	75	22,16	51	16	31.2	19	1.41	
60,0	70	31,40	36	22.5	47	13	1.27	
60,0	70	26,91	42	20	42	15	1.27	
60,0	70	22,16	51	15.9	33	17	1.27	
64,6	65	31,40	36	22.6	51	12	1.14	
64,6	65	26,91	42	20	45	13	1.14	
64,6	65	22,16	51	15.3	35	17	1.14	
250 m3/gün								
13,9	75	31,16	9	20.8	10	15	1.41	*****
13,9	75	28,04	10	18.7	9.1	16	1.41	*****
13,9	75	21,57	13	15.2	7.3	19	1.41	*****
14,9	70	31,16	9	20	10.6	13	1.14	*****
14,9	70	28,04	10	15.9	10.3	15	1.14	
14,9	70	21,57	13	15.2	7.4	17	1.14	*****
16,0	65	31,16	9	20.2	11.2	12	1.14	*****
16,0	65	28,04	10	18.4	10.3	13	1.14	
16,0	65	21,57	13	14.8	8.3	17	1.14	

Tablo A.7: Kıbrıs birinci kuyu suyu ters osmoz sistemi tasarımlarından elde edilen datalar

Besleme Debisi (m3/st)	Geri Kazanım Oranı (%)	Akı (l/m2.st)	Membran Adedi	Besleme Basıncı (bar)	Enerji Tüketimi (kW/st)	Ürünün TDS Değeri (mg/l)	Konantre LSI Değeri	Uyarı Türü
10.000 m3/gün								
560	75	31,40	360	24.8	480	26	1.71	**
560	75	26,91	420	21.4	416	30	1.71	
560	75	22,16	510	18.1	352	36	1.71	
600	70	31,40	360	24.6	512	23.4	1,52	
600	70	26,91	420	21.2	441	27	1.51	
600	70	22,16	510	17.8	370	32.3	1.51	
646	65	31,40	360	24.3	545	22	1.34	**
646	65	26,91	420	21.1	473	25	1.35	
646	65	22,16	510	17.7	396	30	1.35	
5.000 m3/gün								
280	75	31,40	180	24.8	241	26	1.71	**
280	75	26,91	210	21.4	208	30	1.71	
280	75	22,43	252	18.3	178	36	1.71	
300	70	31,40	180	24.3	253	24	1.51	**
300	70	26,91	210	20.9	218	27	1.51	
300	70	22,43	252	17.9	186	32	1.51	
323	65	31,40	180	24.3	273	22	1.34	**
323	65	26,91	210	20.8	233	25	1.34	
323	65	22,42	252	17.7	199	30	1.34	
2.000 m3/gün								
112	75	31,40	72	24.8	96	26	1.71	**
112	75	26,91	84	21.2	83	30	1.71	
112	75	22,16	102	18.3	71	36	1.71	
120	70	31,40	72	24.6	103	24	1.52	
120	70	26,91	84	21	87	27	1.51	
120	70	22,16	102	17.9	75	33	1.51	
129	65	31,40	72	24.6	111	22	1.35	
129	65	26,91	84	21	94	25	1.35	
129	65	22,16	102	17.6	79	30	1.34	

Besleme Debisi (m3/st)	Geri Kazanım Oranı (%)	Akı (l/m2.st)	Membran Adedi	Besleme Basıncı (bar)	Enerji Tüketimi (kW/st)	Ürünün TDS Değeri (mg/l)	Konantre LSI Değeri	Uyarı Türü
1.000 m3/gün								
56,0	75	31,40	36	24.8	48	26	1.71	**
56,0	75	26,91	42	22	43	30	1.71	
56,0	75	22,16	51	18	35	38	1.71	
60,0	70	31,40	36	24.6	51	24	1.52	
60,0	70	26,91	42	21.6	45	27	1.51	
60,0	70	22,16	51	17.6	37	34	1.51	
64,6	65	31,40	36	24.3	55	114	1.34	
64,6	65	26,91	42	21.6	46	25	1.34	
64,6	65	22,16	51	17.4	39	32	1.34	
250 m3/gün								
13,9	75	31,16	9	22.9	11	28	1.71	*****
13,9	75	28,04	10	20.9	10	30	1.71	*****
13,9	75	21,57	13	17	8	37	1.71	*****
14,9	70	31,16	9	22.3	11.5	25	1.51	*****
14,9	70	28,04	10	20.4	10.5	27	1.51	*****
14,9	70	21,57	13	16.6	8.6	34	1.51	
16,0	65	31,16	9	21.9	12.2	23	1.35	*****
16,0	65	28,04	10	20	11	25	1.35	
16,0	65	21,57	13	16.3	9	31	1.35	

Tablo A.8: Kıbrıs ikinci kuyu suyu ters osmoz sistemi tasarımlarından elde edilen datalar

Besleme Debisi (m3/st)	Geri Kazanım Oranı (%)	Akı (l/m2.st)	Membran Adedi	Besleme Basıncı (bar)	Enerji Tüketimi (kW/st)	Ürünün TDS Değeri (mg/l)	Konantre LSI Değeri	Uyarı Türü
10.000 m3/gün								
560	75	31,40	360	31.6	614	55	1.93	**
560	75	26,91	420	28	545	64	1.92	
560	75	22,16	510	24.6	478	78	1.92	
600	70	31,40	360	30.3	631	50	1.78	**
600	70	26,91	420	26.8	557	57	1.78	
600	70	22,16	510	23.4	487	69	1.78	
646	65	31,40	360	29.8	667	45	1.64	**
646	65	26,91	420	26.1	586	53	1.64	
646	65	22,16	510	22.7	508	63	1.64	
5.000 m3/gün								
280	75	31,40	180	31.6	307	55	1.93	**
280	75	26,91	210	28	272	64	1.92	
280	75	22,43	252	24.8	242	77	1.92	
300	70	31,40	180	30.3	316	49	1.78	**
300	70	26,91	210	26.7	278	57	1.78	
300	70	22,43	252	23.5	245	69	1.78	
323	65	31,40	180	29.7	334	45	1.64	**
323	65	26,91	210	26	292	53	1.64	
323	65	22,42	252	22.8	256	63	1.64	
2.000 m3/gün								
112	75	31,40	72	31.6	123	55	1.93	**
112	75	26,91	84	27.7	108	65	1.92	
112	75	22,16	102	24.6	96	78	1.92	
120	70	31,40	72	30.3	127	50	1.78	**
120	70	26,91	84	26.6	111	58	1.78	
120	70	22,16	102	23.4	98	70	1.78	
129	65	31,40	72	30	134	45	1.64	**
129	65	26,91	84	26	117	53	1.64	
129	65	22,16	102	22.7	102	63	1.64	

Besleme Debisi (m3/st)	Geri Kazanım Oranı (%)	Akı (l/m2.st)	Membran Adedi	Besleme Basıncı (bar)	Enerji Tüketimi (kW/st)	Ürünün TDS Değeri (mg/l)	Konantre LSI Değeri	Uyarı Türü
1.000 m3/gün								
56,0	75	31,40	36	31.6	62	55	1.92	**
56,0	75	26,91	42	28.4	55	64	1.92	**
56,0	75	22,16	51	24.5	48	78	1.92	
60,0	70	31,40	36	30.3	63	50	1.77	**
60,0	70	26,91	42	27.4	57	57	1.77	
60,0	70	22,16	51	23.2	48	69	1.78	
64,6	65	31,40	36	30	68	45	1.64	**
64,6	65	26,91	42	27	61	52	1.64	
64,6	65	22,16	51	22.4	50	63	1.64	
250 m3/gün								
13,9	75	31,16	9	30	14.5	59	1.92	*****
13,9	75	28,04	10	27.8	13.4	64	1.92	*****
13,9	75	21,57	13	23.6	11.4	82	1.92	*****
14,9	70	31,16	9	28.6	14.8	53	1.77	*****
14,9	70	28,04	10	26.4	13.7	57	1.77	*****
14,9	70	21,57	13	22.3	11.5	72	1.77	
16,0	65	31,16	9	27.6	15.4	48	1.64	*****
16,0	65	28,04	10	25.4	15.2	52	1.64	*****
16,0	65	21,57	13	21.4	11.9	65	1.64	

Tablo A.9: Akdeniz suyu ters osmoz sistemi tasarımlarından elde edilen datalar

Besleme Debisi (m3/st)	Geri Kazanım Oranı (%)	Akı (l/m2.st)	Membran Adedi	Besleme Basıncı (bar)	Enerji Tüketimi (kW/st)	Ürünün TDS Değeri (mg/l)	Konantre LSI Değeri	Uyarı Türü
10.000 m3/gün								
1050	40	19.83	600	66.4	2422	114	1.63	
1050	40	14.16	840	57.6	2102	157	1.63	
1050	40	11.33	1050	53.5	1952	196	1.63	
1200	35	19.83	600	64	2776	107	1.56	
1200	35	14.16	840	55.3	2300	148	1.56	
1200	35	11.33	1050	51	2130	185	1.56	
1400	30	19.83	600	62.1	3020	102	1.5	
1400	30	14.16	840	53.3	2591	141	1.5	
1400	30	11.33	1050	49.1	2388	176	1.5	
5.000 m3/gün								
525	40	19.83	300	66.4	1211	114	1.63	
525	40	14.16	420	57.6	1051	157	1.63	
525	40	11.27	528	53.5	975	197	1.63	
600	35	19.83	300	64	1334	107	1.56	
600	35	14.16	420	55.3	1151	148	1.56	
600	35	11.27	528	51	1063	185	1.56	
700	30	19.83	300	62.1	1510	102	1.5	
700	30	14.16	420	53.3	1296	141	1.5	
700	30	11.27	528	49.1	1120	176	1.5	
2.000 m3/gün								
210	40	19.83	120	66.4	485	114	1.63	
210	40	14.16	168	57.6	420	157	1.63	
210	40	11.33	210	53.5	390	196	1.63	
240	35	19.83	120	64	534	107	1.56	
240	35	14.16	168	55.3	460	148	1.56	
240	35	11.33	210	51	426	184	1.56	
280	30	19.83	120	62.1	604	102	1.5	
280	30	14.16	168	53.3	518	141	1.5	
280	30	11.33	210	49.1	478	175	1.5	

Besleme Debisi (m3/st)	Geri Kazanım Oranı (%)	Akı (l/m2.st)	Membran Adedi	Besleme Basıncı (bar)	Enerji Tüketimi (kW/st)	Ürünün TDS Değeri (mg/l)	Konantre LSI Değeri	Uyarı Türü
1.000 m3/gün								
105	40	19.83	60	66	241	114	1.63	
105	40	14.16	84	57.5	210	157	1.63	
105	40	11.02	108	53	193	201	1.63	
120	35	19.83	60	63.7	265	107	1.56	
120	35	14.16	84	55	230	148	1.56	
120	35	11.02	108	50.5	211	190	1.56	
140	30	19.83	60	61.8	300	102	1.5	
140	30	14.16	84	53.2	258	141	1.5	
140	30	11.02	108	48.6	236	180	1.5	
250 m3/gün								
26,1	40	19.68	15	66	60	116	1.63	
26,1	40	14.76	20	58.5	53	153	1.63	
26,1	40	11.81	25	54.3	49	190	1.63	
29,8	35	19.68	15	63.4	66	109	1.56	
29,8	35	14.76	20	56	58	144	1.56	
29,8	35	11.81	25	51.7	54	179	1.56	
34,7	30	19.68	15	61.3	74	104	1.5	
34,7	30	14.76	20	53.9	65	137	1.5	
34,7	30	11.81	25	49.7	60	169	1.5	

Tablo A.10: Marmara Denizi suyu ters osmoz sistemi tasarımlarından elde edilen datalar

Besleme Debisi (m3/st)	Geri Kazanım Oranı (%)	Akı (l/m2.st)	Membran Adedi	Besleme Basıncı (bar)	Enerji Tüketimi (kW/st)	Ürünün TDS Değeri (mg/l)	Konantre LSI Değeri	Uyarı Türü
10.000 m3/gün								
1050	40	19.83	600	66.4	2422	114	1.63	
1050	40	14.16	840	57.6	2102	157	1.63	
1050	40	11.33	1050	53.5	1952	196	1.63	
1200	35	19.83	600	64	2776	107	1.56	
1200	35	14.16	840	55.3	2300	148	1.56	
1200	35	11.33	1050	51	2130	185	1.56	
1400	30	19.83	600	62.1	3020	102	1.5	
1400	30	14.16	840	53.3	2591	141	1.5	
1400	30	11.33	1050	49.1	2388	176	1.5	
5.000 m3/gün								
525	40	19.83	300	66.4	1211	114	1.63	
525	40	14.16	420	57.6	1051	157	1.63	
525	40	11.27	528	53.5	975	197	1.63	
600	35	19.83	300	64	1334	107	1.56	
600	35	14.16	420	55.3	1151	148	1.56	
600	35	11.27	528	51	1063	185	1.56	
700	30	19.83	300	62.1	1510	102	1.5	
700	30	14.16	420	53.3	1296	141	1.5	
700	30	11.27	528	49.1	1120	176	1.5	
2.000 m3/gün								
210	40	19.83	120	66.4	485	114	1.63	
210	40	14.16	168	57.6	420	157	1.63	
210	40	11.33	210	53.5	390	196	1.63	
240	35	19.83	120	64	534	107	1.56	
240	35	14.16	168	55.3	460	148	1.56	
240	35	11.33	210	51	426	184	1.56	
280	30	19.83	120	62.1	604	102	1.5	
280	30	14.16	168	53.3	518	141	1.5	
280	30	11.33	210	49.1	478	175	1.5	

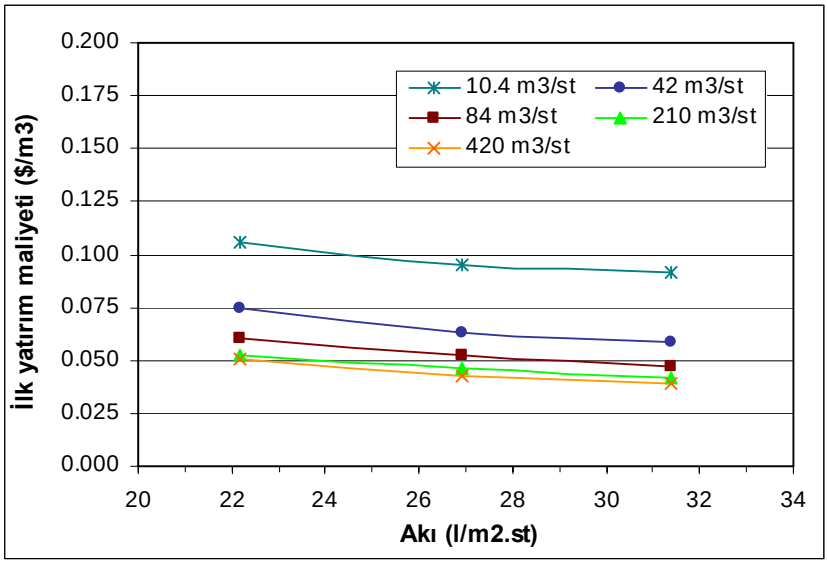
Besleme Debisi (m3/st)	Geri Kazanım Oranı (%)	Akı (l/m2.st)	Membran Adedi	Besleme Basıncı (bar)	Enerji Tüketimi (kW/st)	Ürünün TDS Değeri (mg/l)	Konantre LSI Değeri	Uyarı Türü
1.000 m3/gün								
105	40	19.83	60	66	241	114	1.63	
105	40	14.16	84	57.5	210	157	1.63	
105	40	11.02	108	53	193	201	1.63	
120	35	19.83	60	63.7	265	107	1.56	
120	35	14.16	84	55	230	148	1.56	
120	35	11.02	108	50.5	211	190	1.56	
140	30	19.83	60	61.8	300	102	1.5	
140	30	14.16	84	53.2	258	141	1.5	
140	30	11.02	108	48.6	236	180	1.5	
250 m3/gün								
26,1	40	19.68	15	50	45	77	1.45	
26,1	40	14.76	20	43	39	100	1.45	
26,1	40	11.81	25	39.3	36	125	1.45	
29,8	35	19.68	15	48.6	50	73	1.4	
29,8	35	14.76	20	41.8	43	96	1.4	
29,8	35	11.81	25	37.9	40	118	1.4	
34,7	30	19.68	15	37.4	57	69	1.36	
34,7	30	14.76	20	40.7	49	91	1.36	
34,7	30	11.81	25	36.8	44	113	1.36	

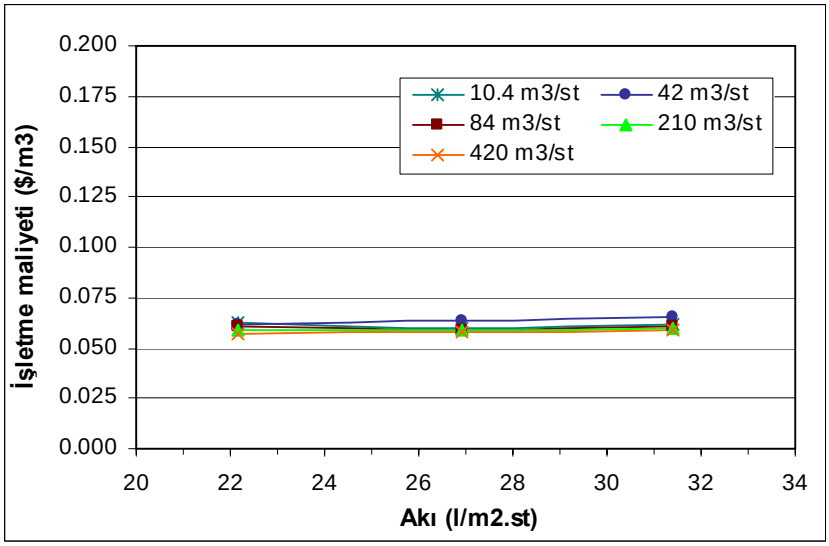
Tablo A.11: Karadeniz suyu ters osmoz sistemi tasarımlarından elde edilen datalar

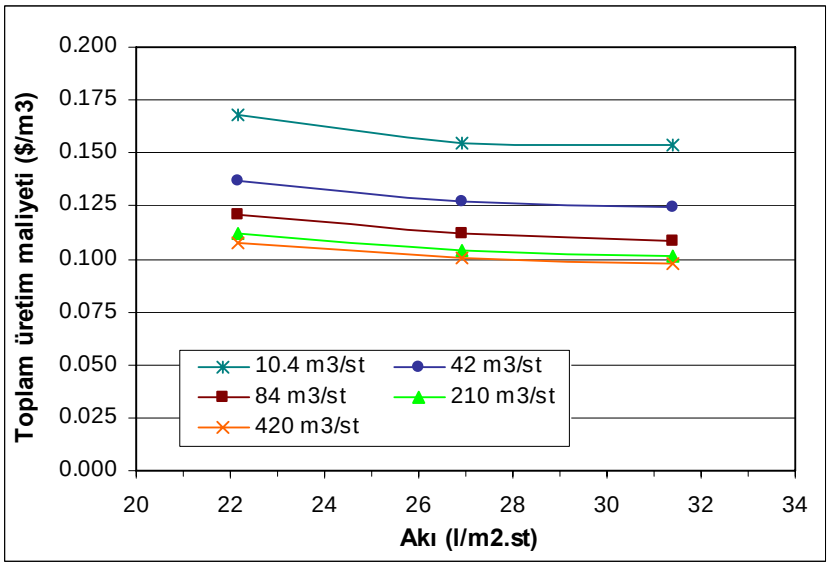
Besleme Debisi (m3/st)	Geri Kazanım Oranı (%)	Akı (l/m2.st)	Membran Adedi	Besleme Basıncı (bar)	Enerji Tüketimi (kW/st)	Ürünün TDS Değeri (mg/l)	Konantre LSI Değeri	Uyarı Türü
10.000 m3/gün								
1050	40	19.83	600	43.8	1596	58	1.24	
1050	40	14.16	840	36	1315	80	1.24	
1050	40	11.33	1050	32.3	1178	99	1.24	
1200	35	19.83	600	42.6	1776	55	1.21	
1200	35	14.16	840	35	1459	76	1.21	
1200	35	11.33	1050	31.4	1307	94	1.12	
1400	30	19.83	600	42	2043	52.3	1.19	
1400	30	14.16	840	34.3	1668	72	1.19	
1400	30	11.33	1050	30.6	1489	90	1.19	
5.000 m3/gün								
525	40	19.83	300	43.8	798	58	1.24	
525	40	14.16	420	36	658	80	1.24	
525	40	11.27	528	32.2	587	100	1.24	
600	35	19.83	300	42.6	888	55	1.21	
600	35	14.16	420	35	730	76	1.21	
600	35	11.27	528	31.3	652	95	1.21	
700	30	19.83	300	42	1021	53	1.19	
700	30	14.16	420	34.3	834	72	1.19	
700	30	11.27	528	30.5	743	90	1.19	
2.000 m3/gün								
210	40	19.83	120	43.8	319	58	1.24	
210	40	14.16	168	36.1	263	80	1.24	
210	40	11.33	210	32.3	236	99	1.24	
240	35	19.83	120	42.6	355	55	1.21	
240	35	14.16	168	35	292	76	1.21	
240	35	11.33	210	31.4	261	94	1.21	
280	30	19.83	120	42	409	52	1.19	
280	30	14.16	168	34.3	334	72	1.19	
280	30	11.33	210	30.6	298	90	1.19	

Besleme Debisi (m3/st)	Geri Kazanım Oranı (%)	Akı (l/m2.st)	Membran Adedi	Besleme Basıncı (bar)	Enerji Tüketimi (kW/st)	Ürünün TDS Değeri (mg/l)	Konantre LSI Değeri	Uyarı Türü
1.000 m3/gün								
105	40	19.83	60	43.8	160	58	1.24	
105	40	14.16	84	36.1	132	80	1.24	
105	40	11.02	108	31.9	116	102	1.24	
120	35	19.83	60	42.6	178	55	1.21	
120	35	14.16	84	35	146	76	1.21	
120	35	11.02	108	31	129	97	1.21	
140	30	19.83	60	42	204	53	1.19	
140	30	14.16	84	34.3	167	72	1.19	
140	30	11.02	108	30.2	147	92	1.19	
250 m3/gün								
26,1	40	19.68	15	43.3	39	59	1.24	
26,1	40	14.76	20	36.8	33	77	1.24	
26,1	40	11.81	25	32.9	30	96	1.24	
29,8	35	19.68	15	42.2	44	56	1.21	
29,8	35	14.76	20	35.7	37	74	1.21	
29,8	35	11.81	25	31.9	33	91	1.21	
34,7	30	19.68	15	41.4	50	53	1.19	
34,7	30	14.76	20	34.9	42	70	1.19	
34,7	30	11.81	25	31.1	38	87	1.19	

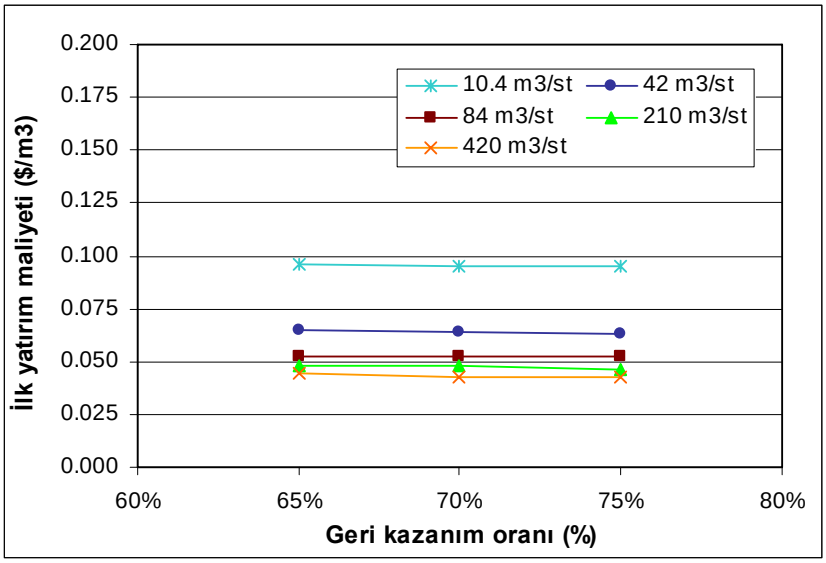
EK B

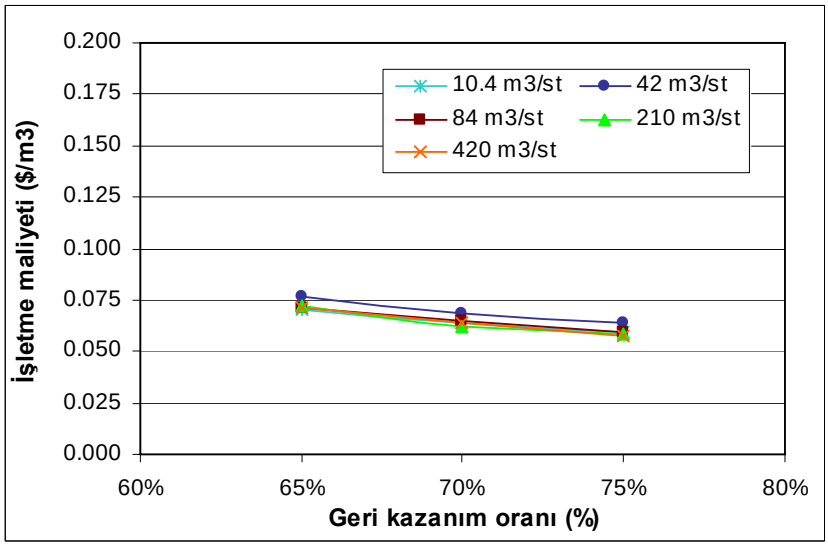


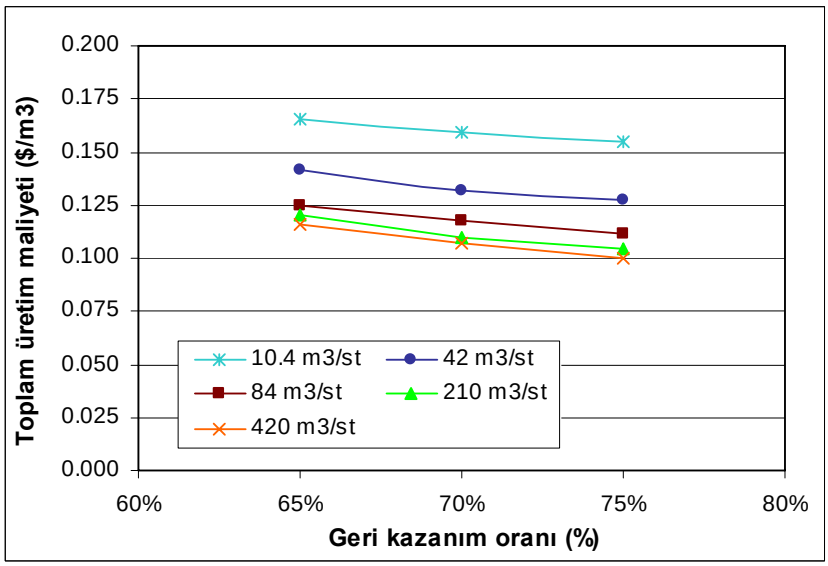




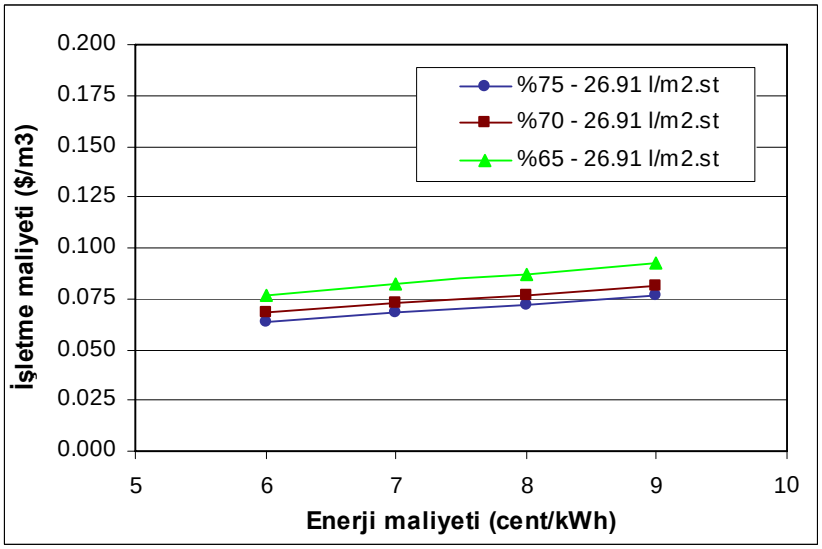
Şekil B.1: TDS=930 mg/l tuzluluktaki Polatlı kuyu suyu nanofiltrasyon sistemine ait akının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti ile ilişkisi

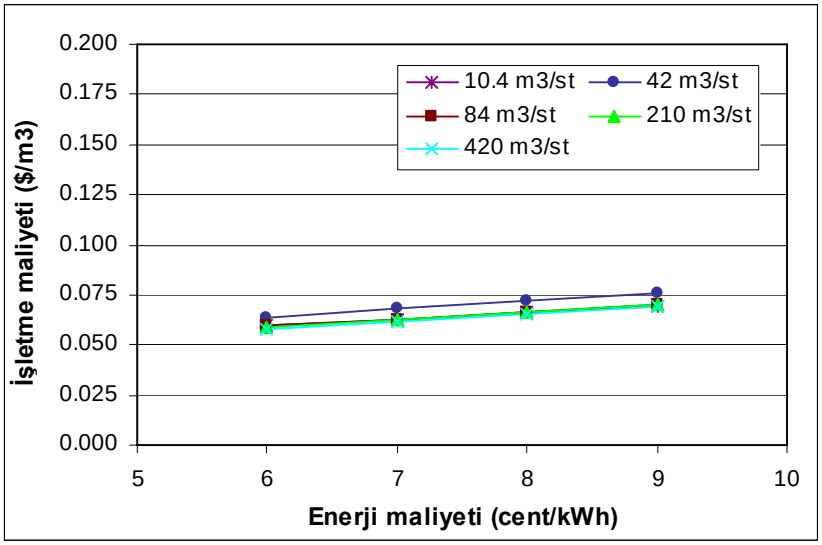


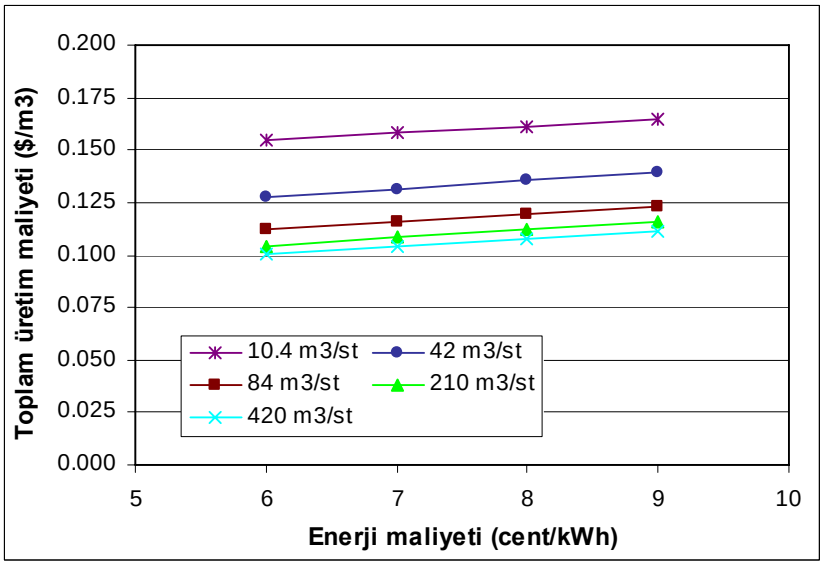




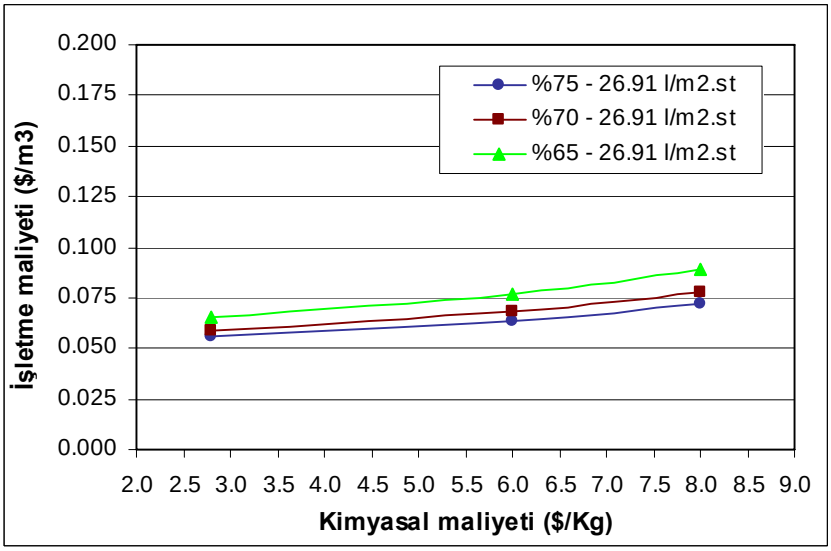
Şekil B.2: TDS=930 mg/l tuzluluktaki Polatlı kuyu suyu nanofiltrasyon sistemine ait geri kazanım oranının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti ile ilişkisi

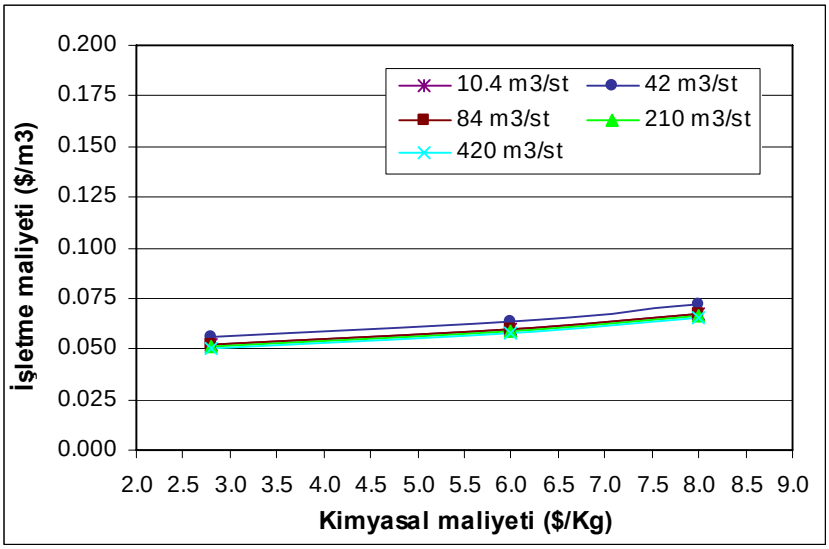


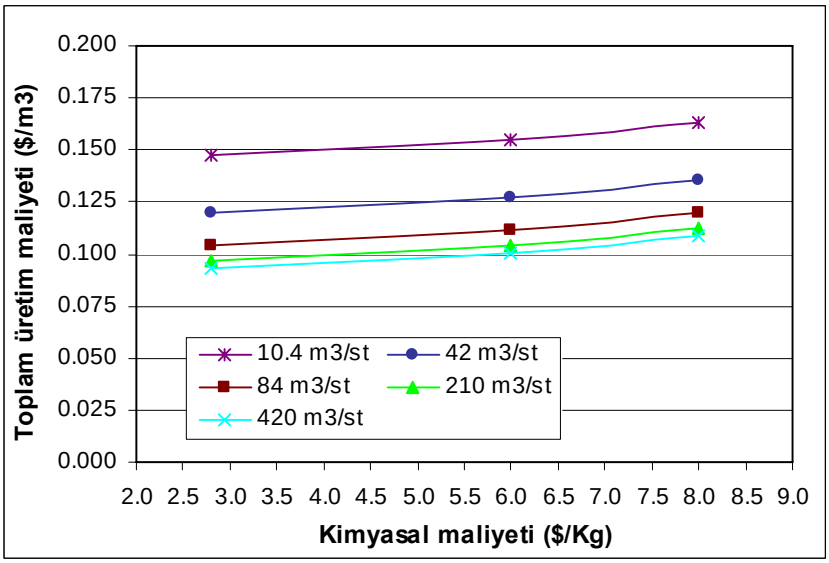




Şekil B.3: TDS=930 mg/l tuzluluktaki Polatlı kuyu suyu nanofiltrasyon sistemine ait enerji fiyatı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki

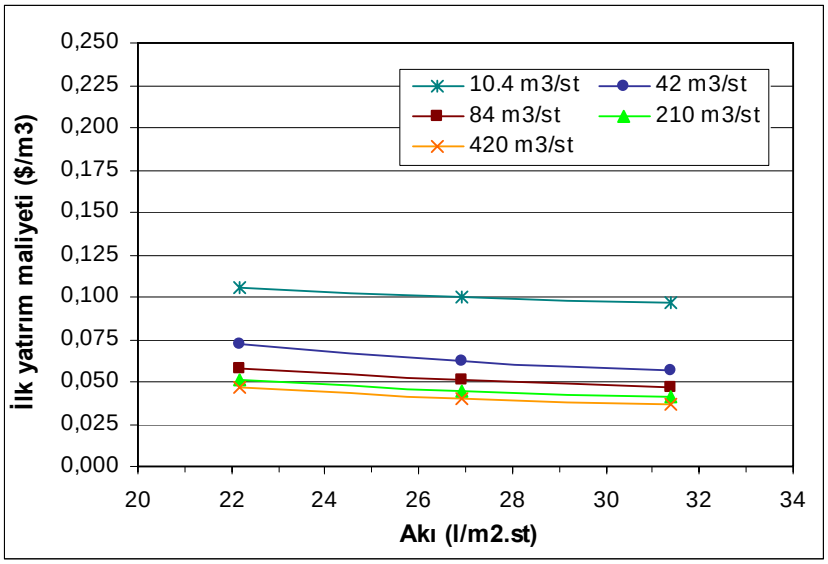


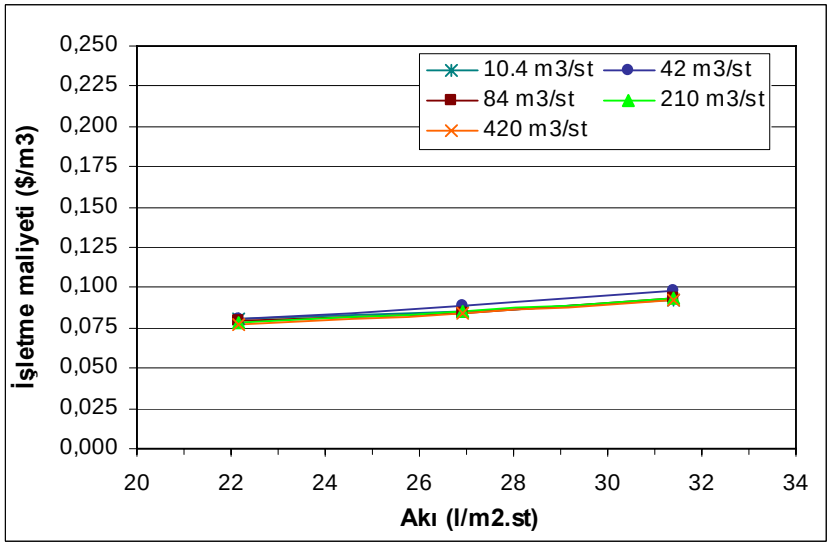


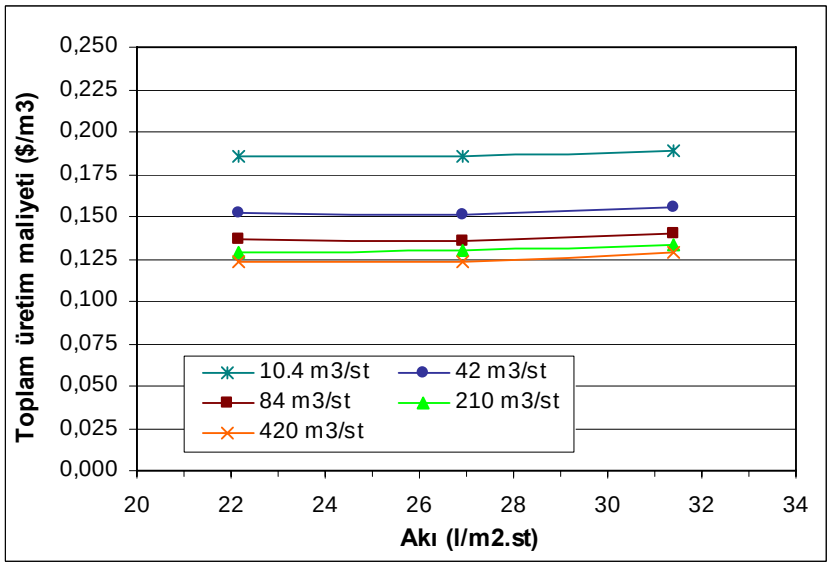


Şekil B.4: TDS=930 mg/l tuzluluktaki Polatlı kuyu suyu nanofiltrasyon sistemine ait kimyasal fiyatı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki

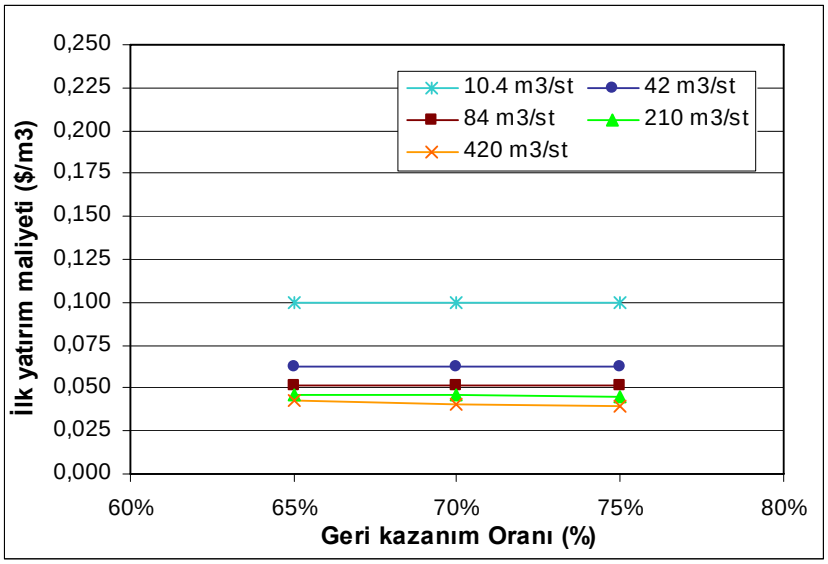
EK C

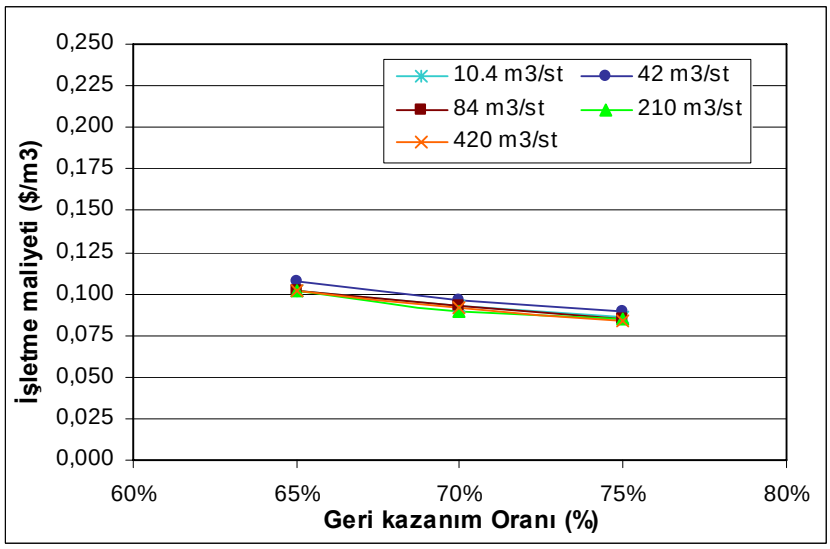


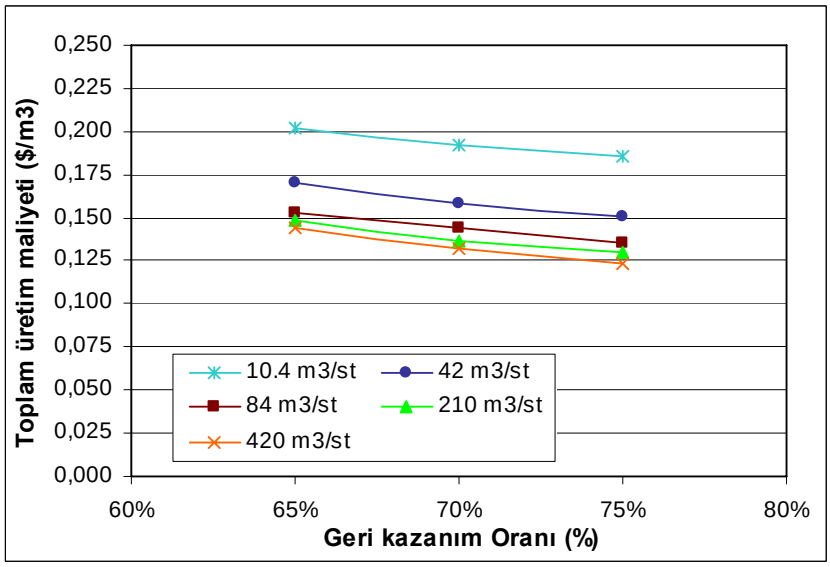




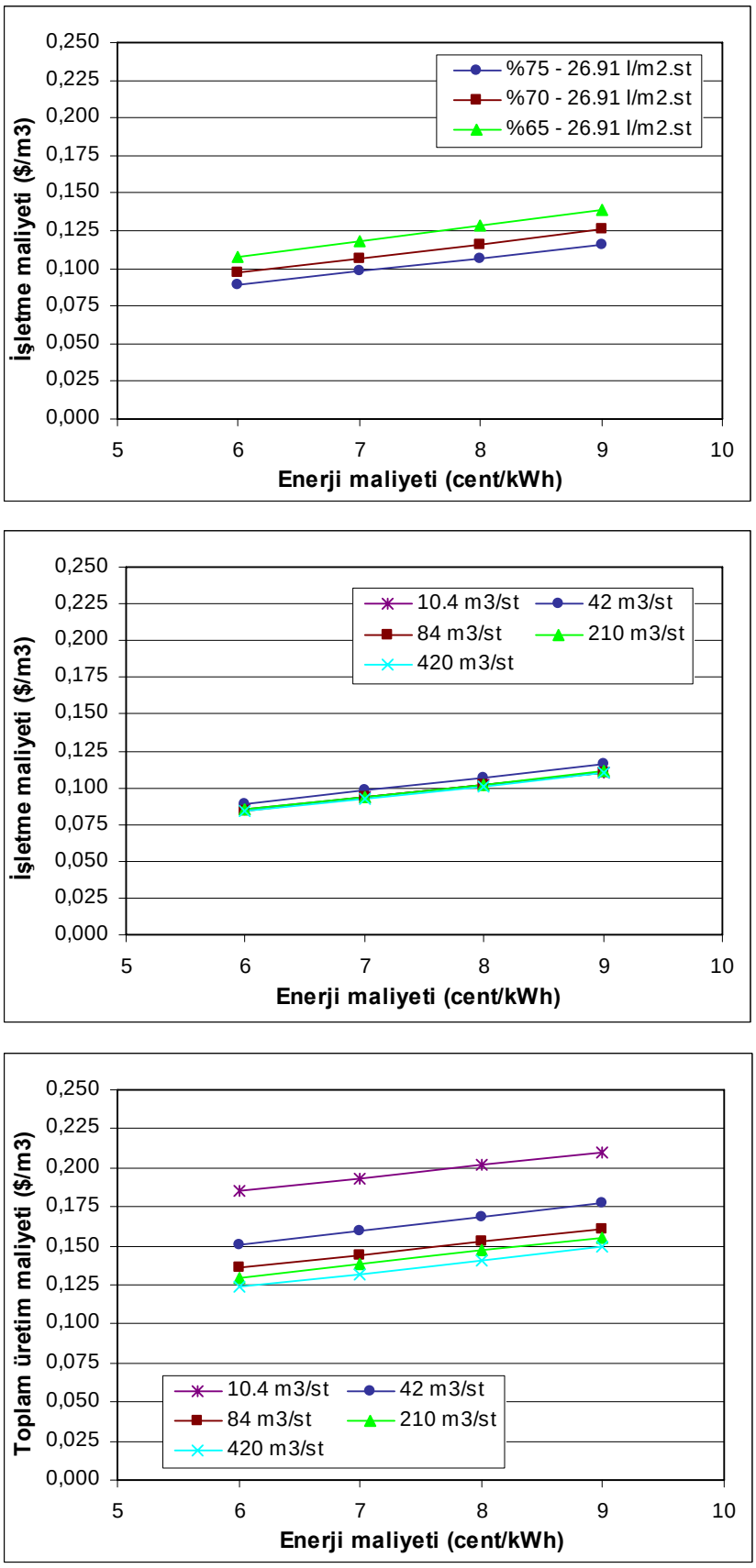
ŞekilC.1: TDS=930 mg/l tuzluluktaki Polatlı kuyu suyu ters osmoz sistemine ait akının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti ile ilişkisi



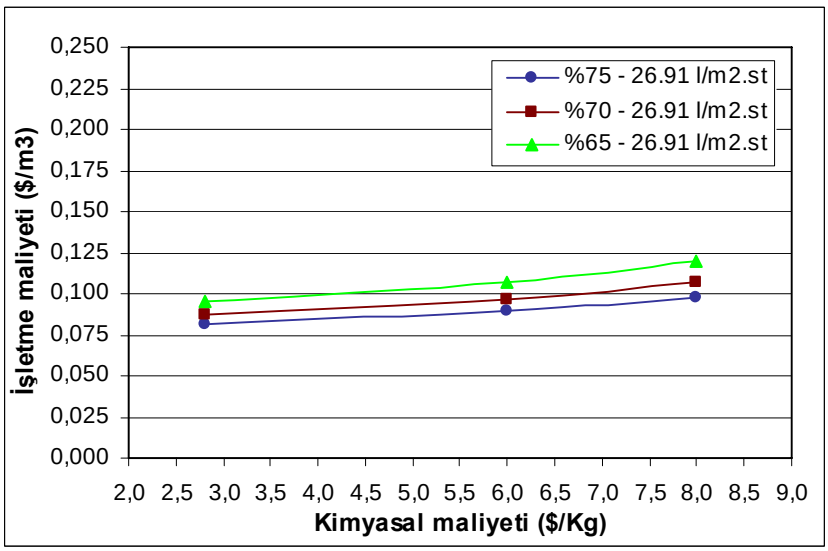


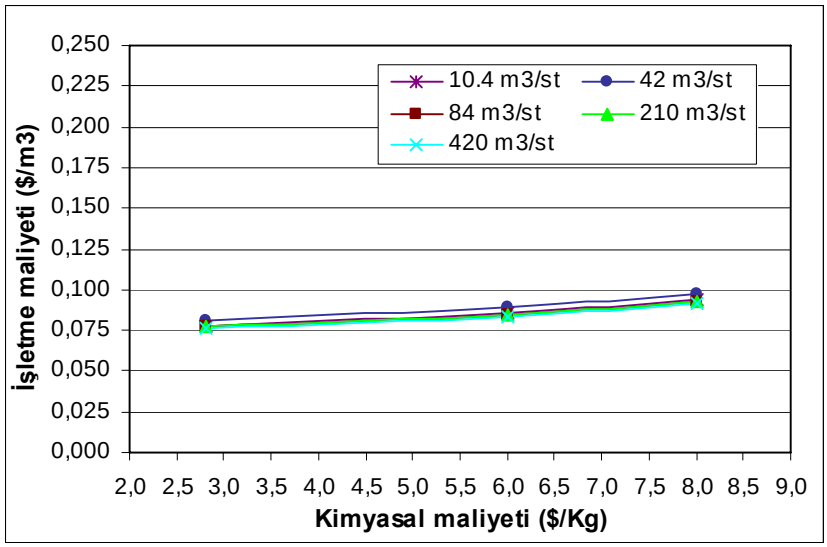


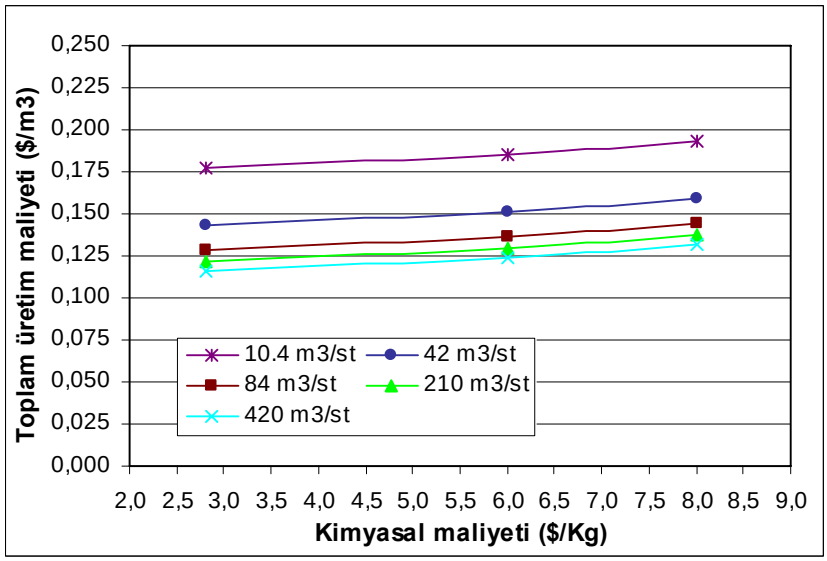
Şekil C.2: TDS=930 mg/l tuzluluktaki Polatlı kuyu suyu ters osmoz sistemine ait geri kazanım oranının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti ile ilişkisi



Şekil C.3: TDS=930 mg/l tuzluluktaki Polatlı kuyu suyu ters osmoz sistemine ait enerji fiyatı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki

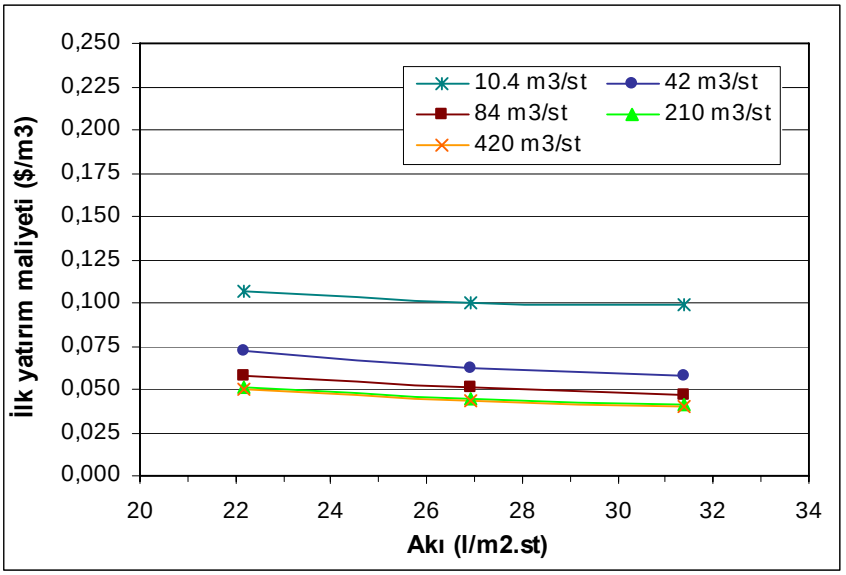


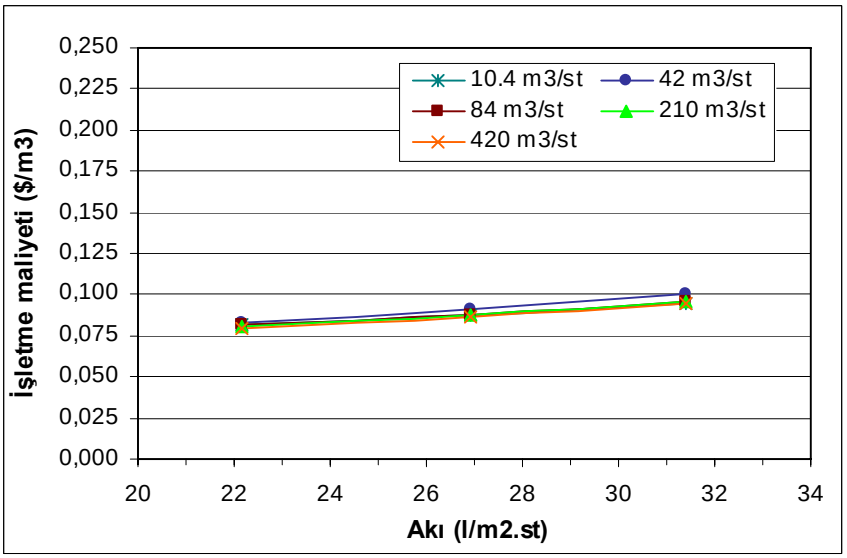


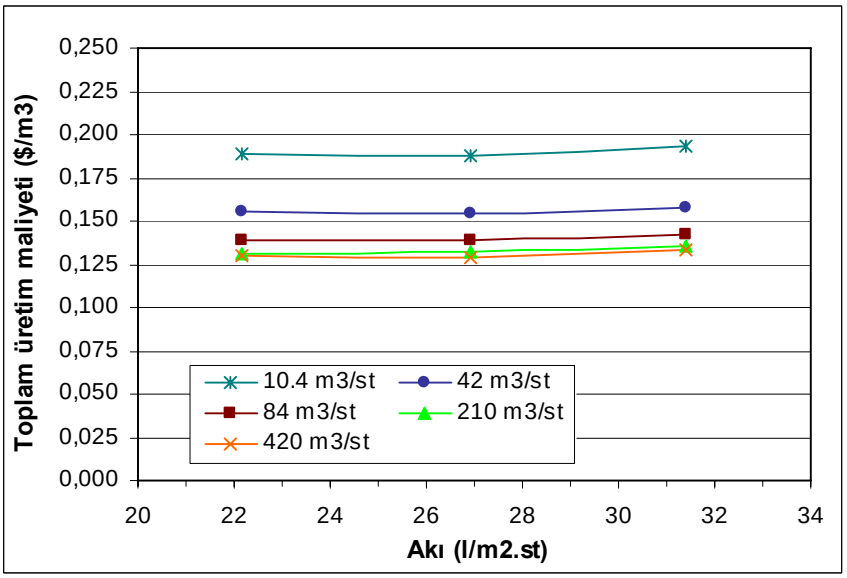


Şekil C.4: TDS=930 mg/l tuzluluktaki Polatlı kuyu suyu ters osmoz sistemine ait kimyasal fiyatı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki

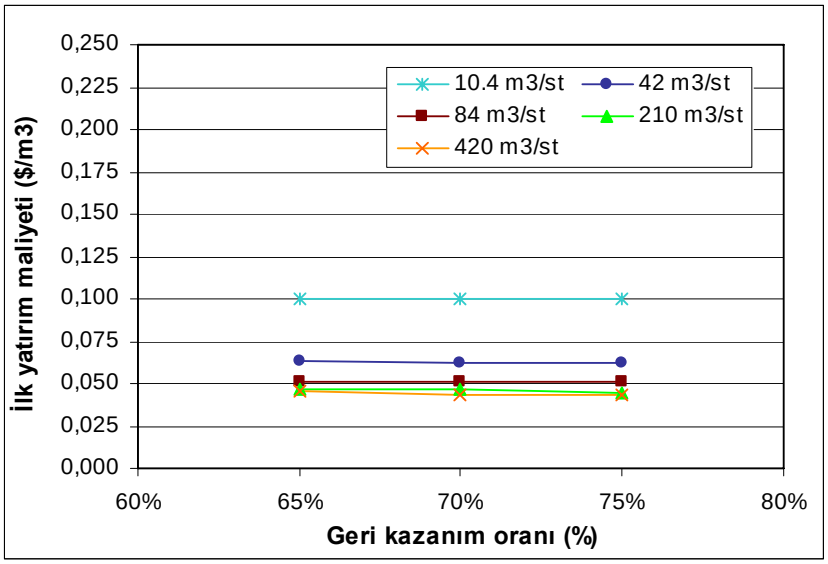
EK D

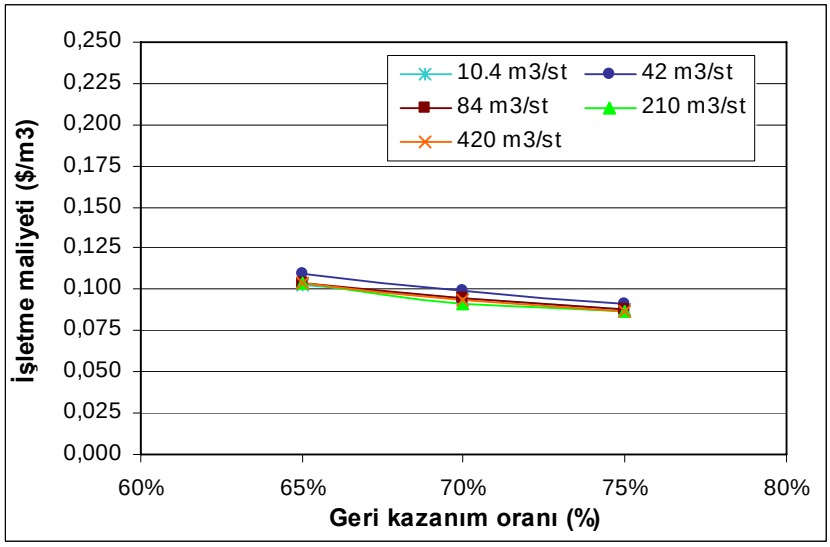


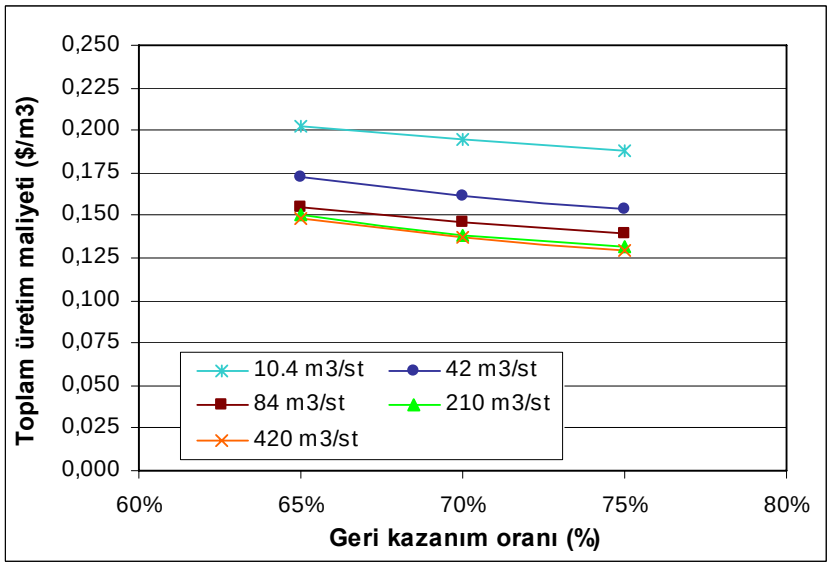




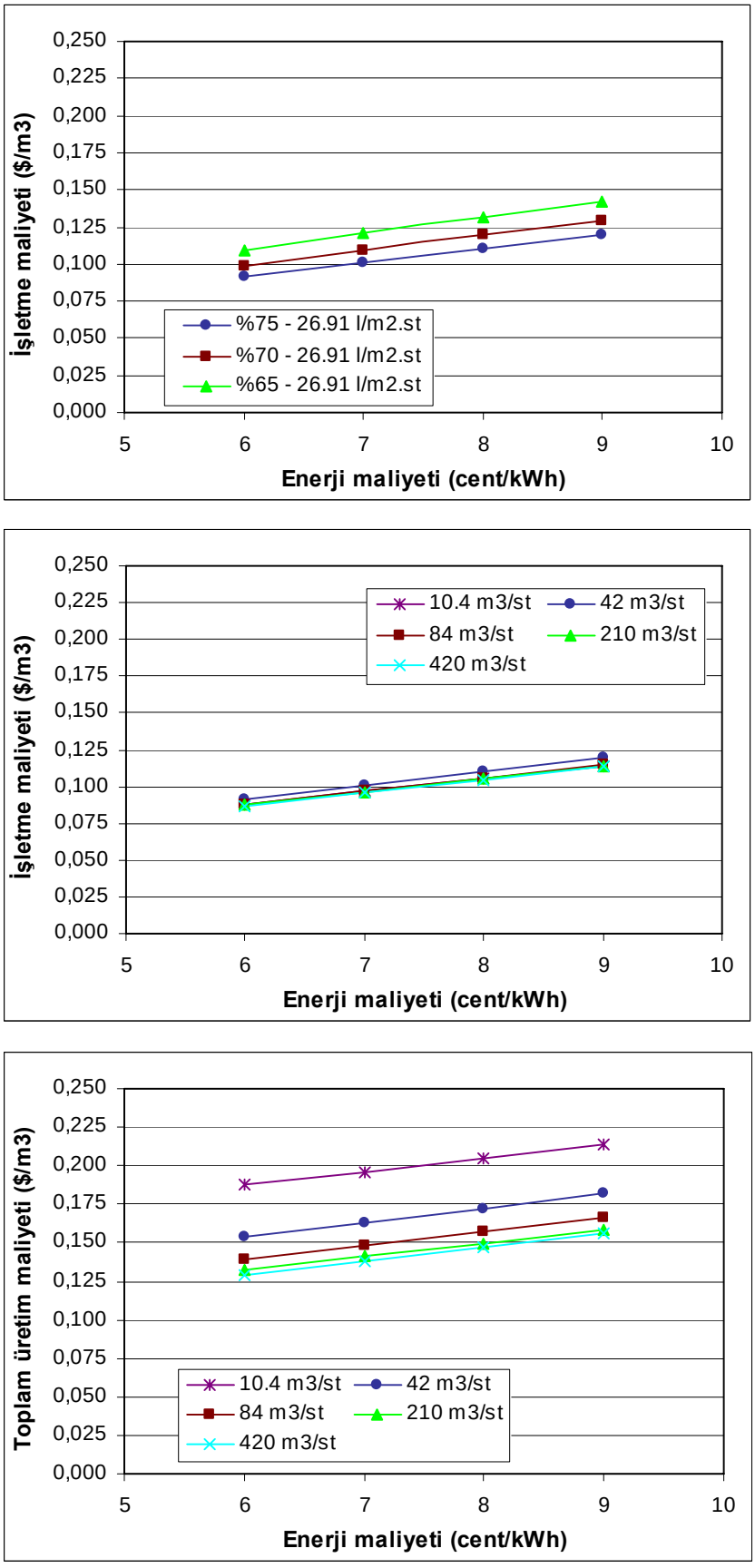
Şekil D.1: TDS=1070 mg/l tuzluluktaki Tekirdağ kuyu suyu ters osmoz sistemine ait akının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti ile ilişkisi



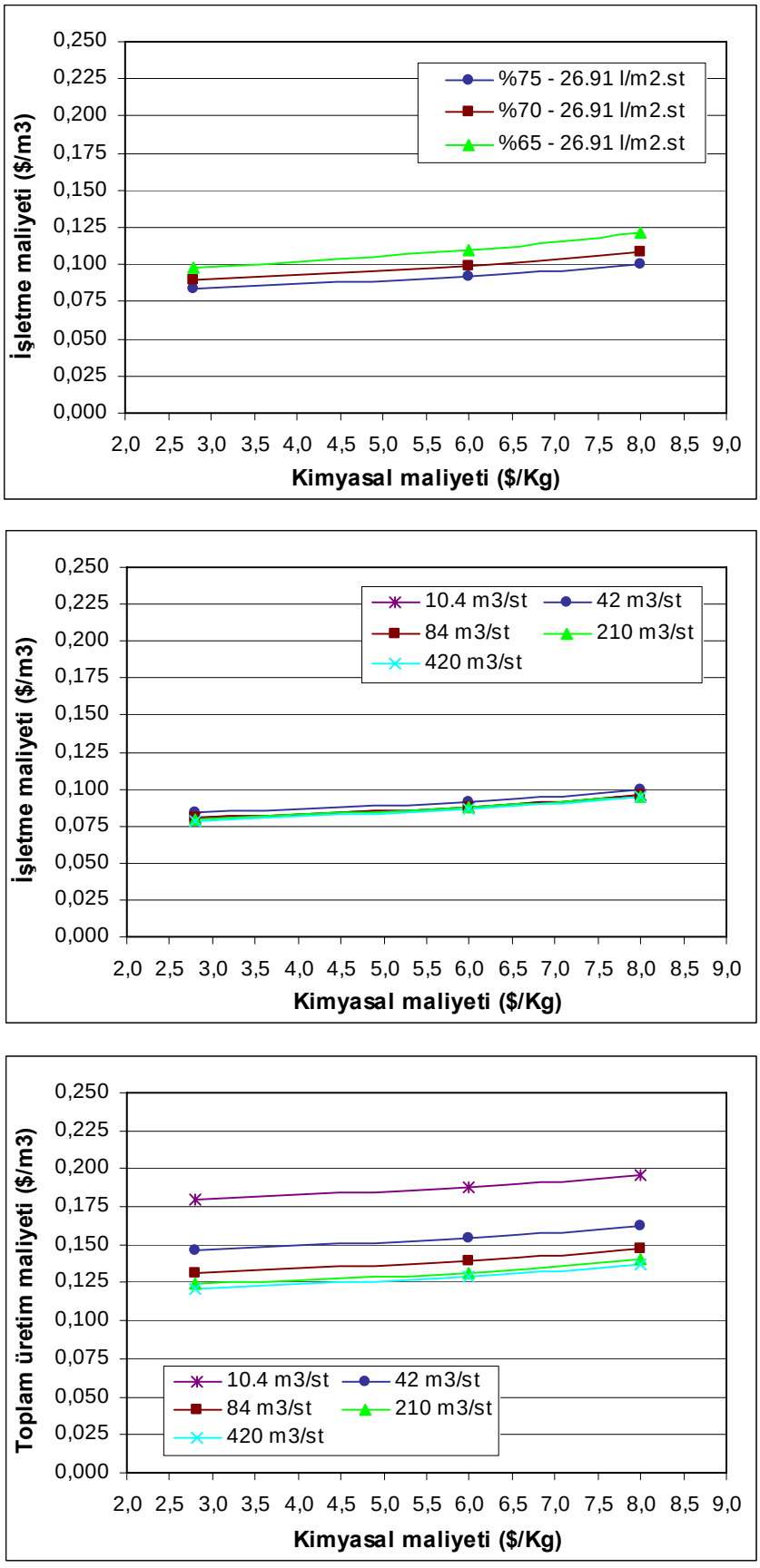




Şekil D.2: TDS=1070 mg/l tuzluluktaki Tekirdağ kuyu suyu ters osmoz sistemine ait geri kazanım oranının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti ile ilişkisi

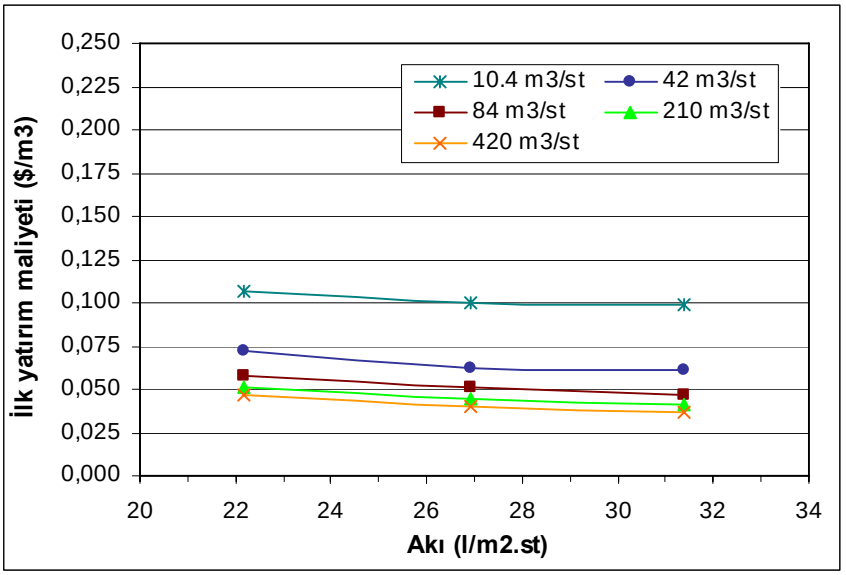


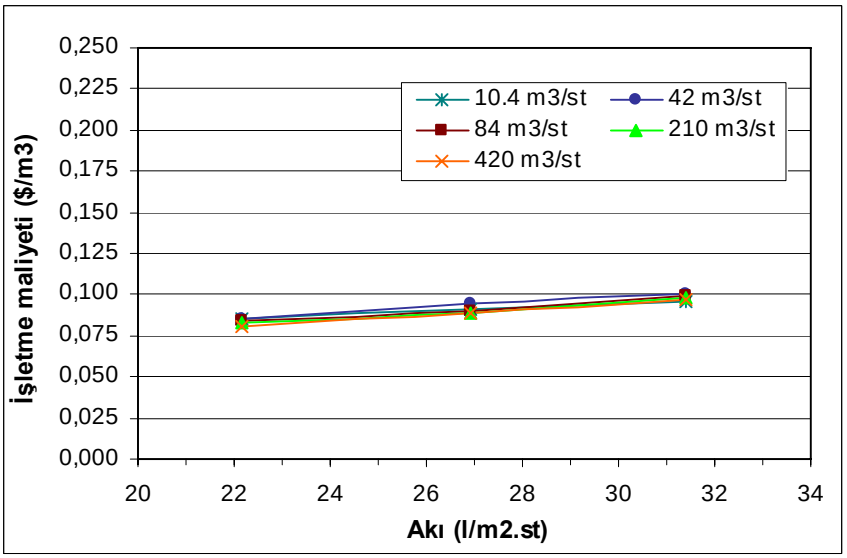
Şekil D.3: TDS=1070 mg/l tuzluluktaki Tekirdağ kuyu suyu ters osmoz sistemine ait enerji fiyatı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki

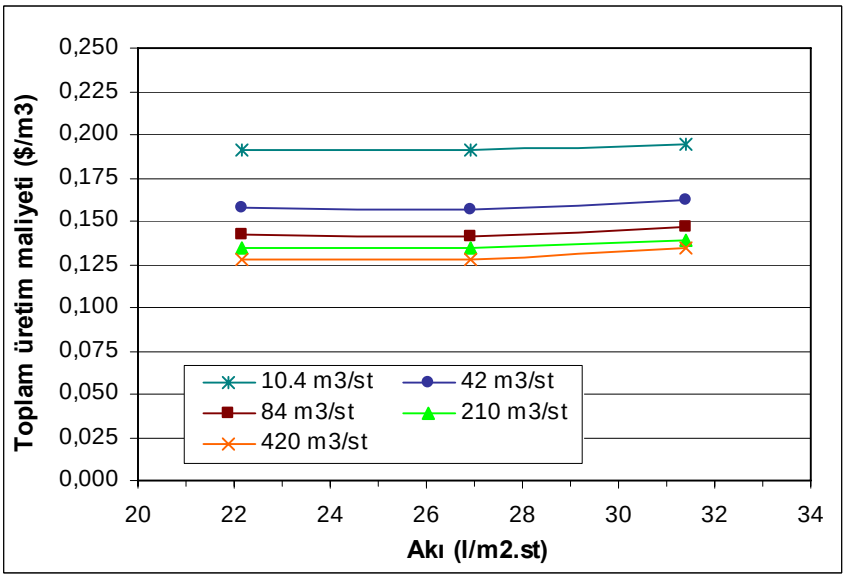


Şekil D.4: TDS=1070 mg/l tuzluluktaki Tekirdağ kuyu suyu ters osmoz sistemine ait kimyasal fiyatı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki

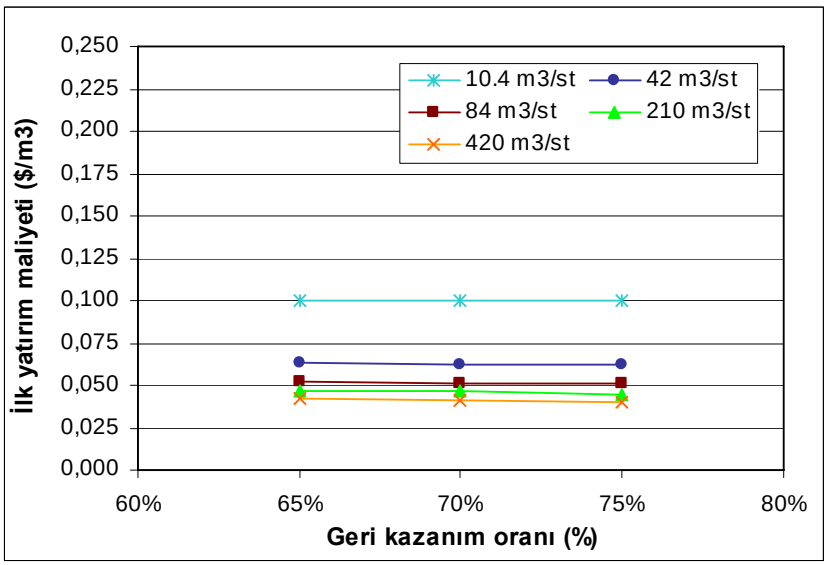
EK E

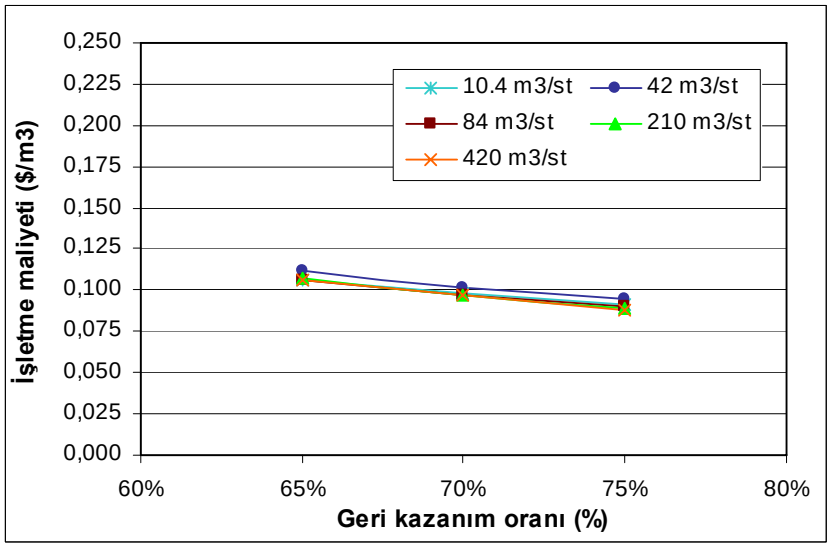


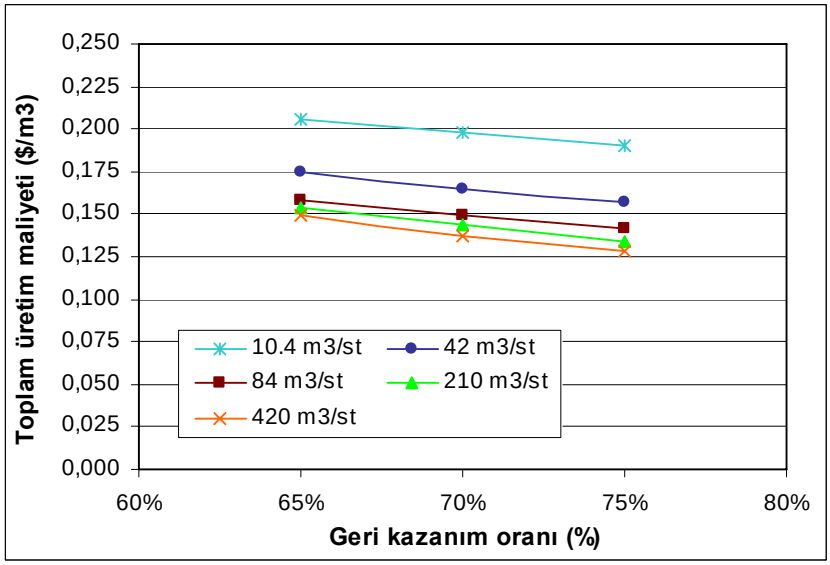




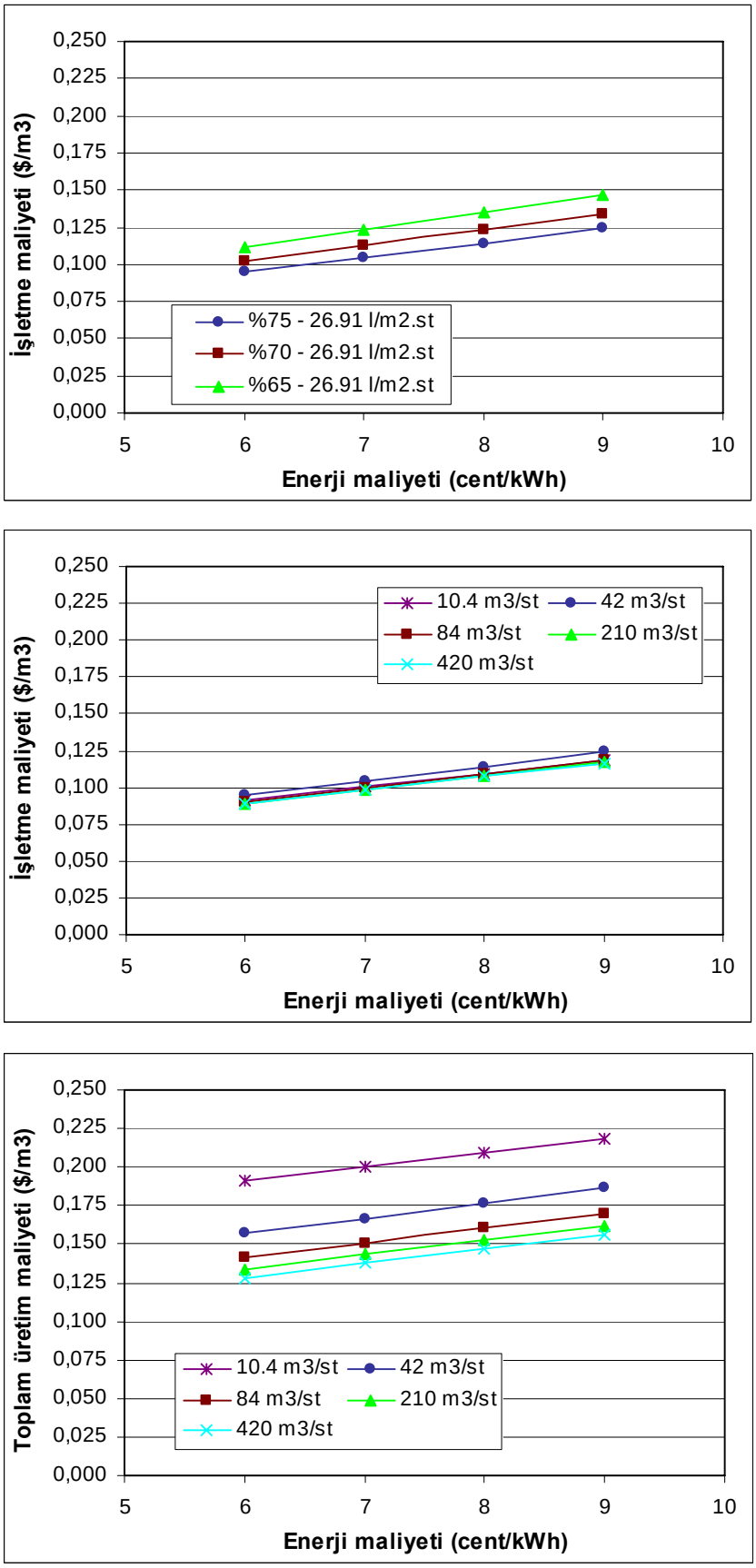
Şekil E.1: TDS=1800 mg/l tuzluluktaki Silivri kuyu suyu ters osmoz sistemine ait akının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti ile ilişkisi



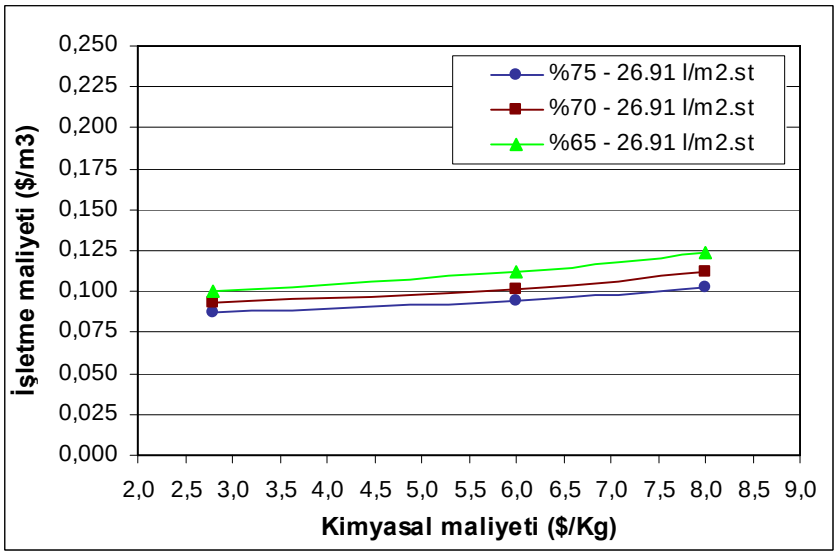


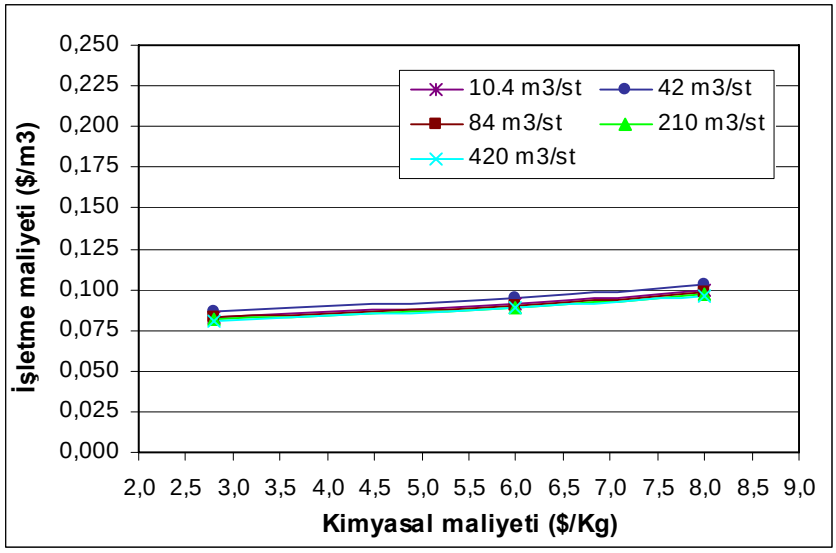


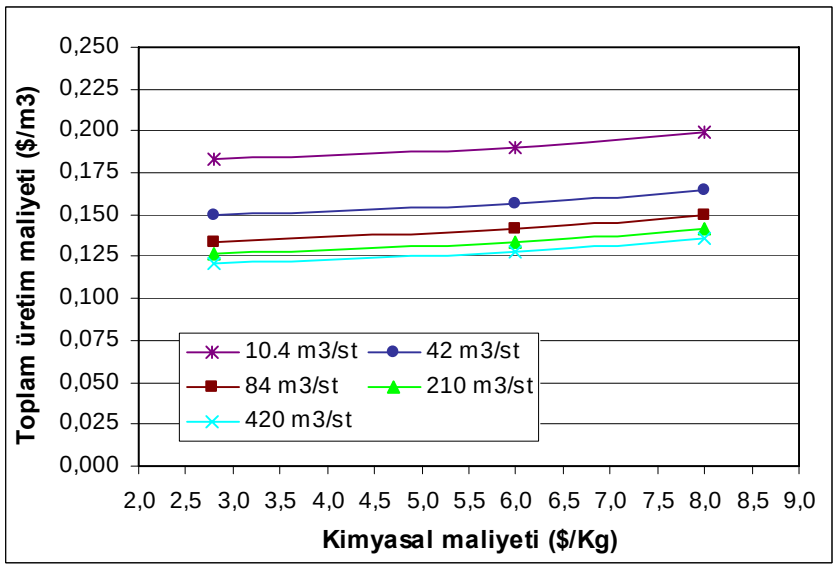
Şekil E.2: TDS=1800 mg/l tuzluluktaki Silivri kuyu suyu ters osmoz sistemine ait geri kazanım oranının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti ile ilişkisi



Şekil E.3: TDS=1800 mg/l tuzluluktaki Silivri kuyu suyu ters osmoz sistemine ait enerji fiyatı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki

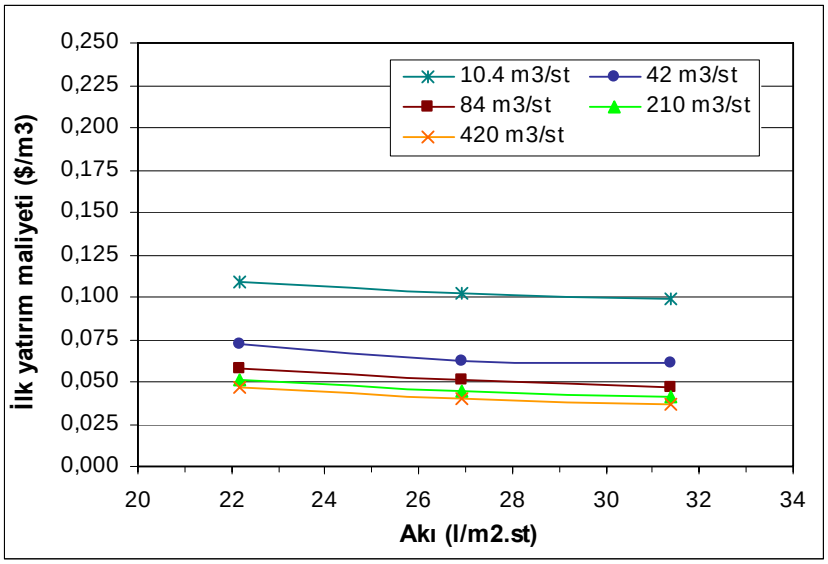


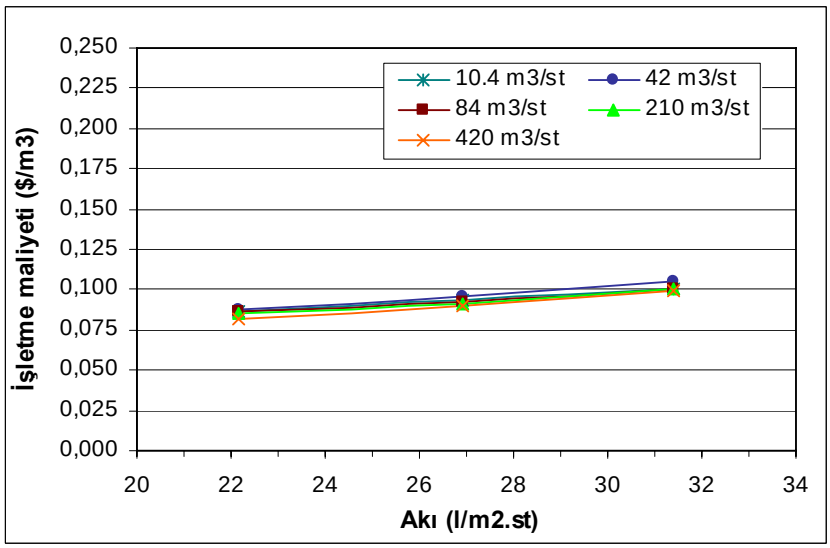


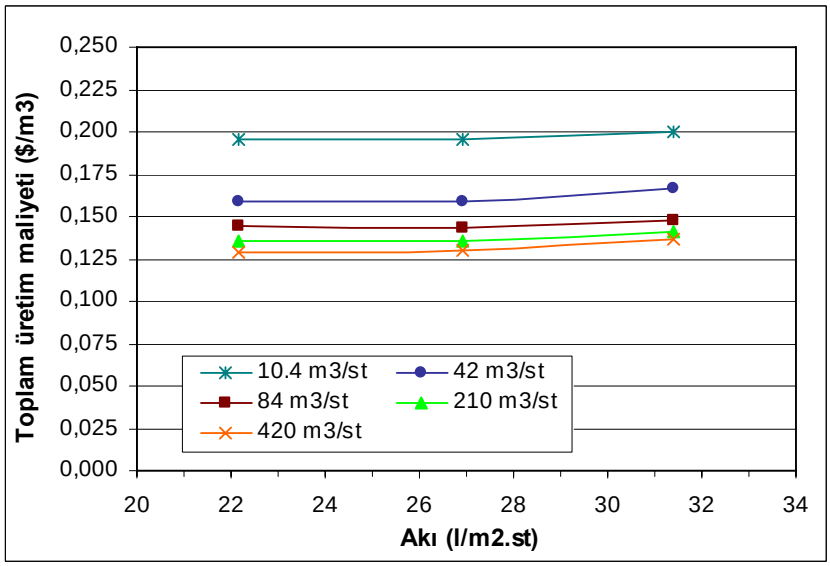


Şekil E.4: TDS=1800 mg/l tuzluluktaki Silivri kuyu suyu ters osmoz sistemine ait kimyasal fiyatı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki

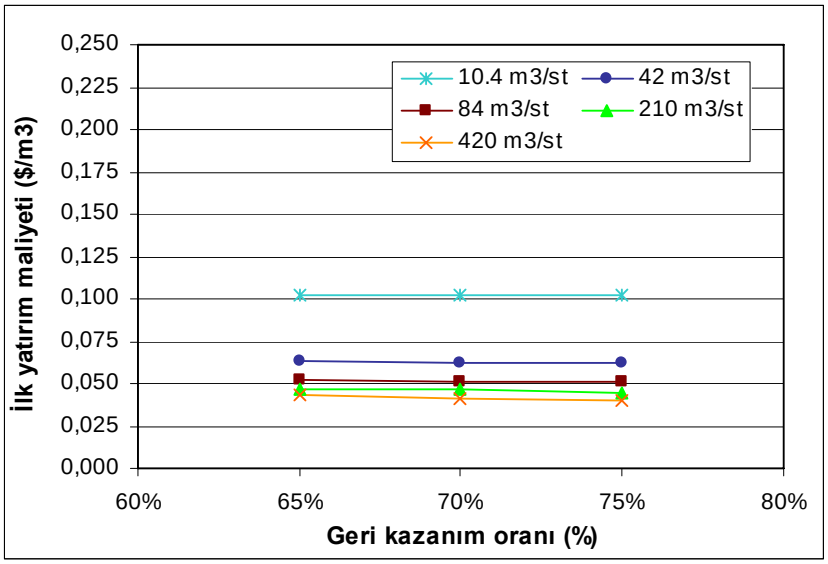
EK F

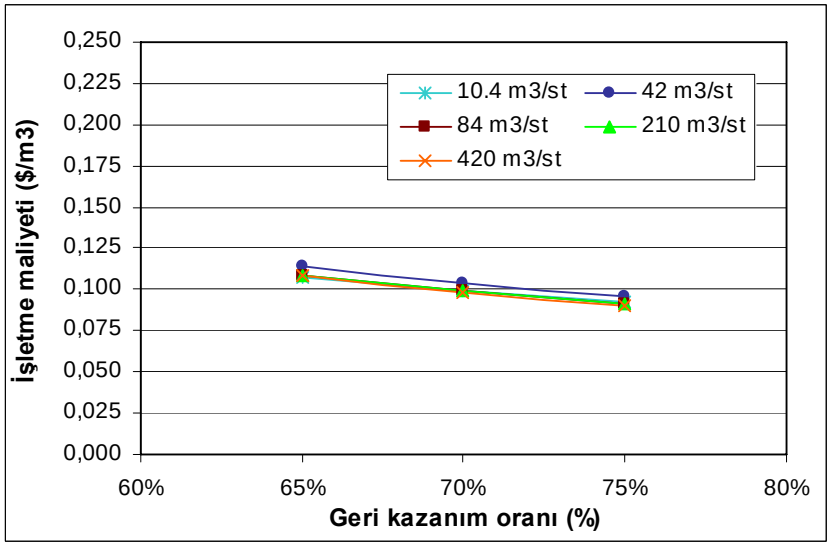


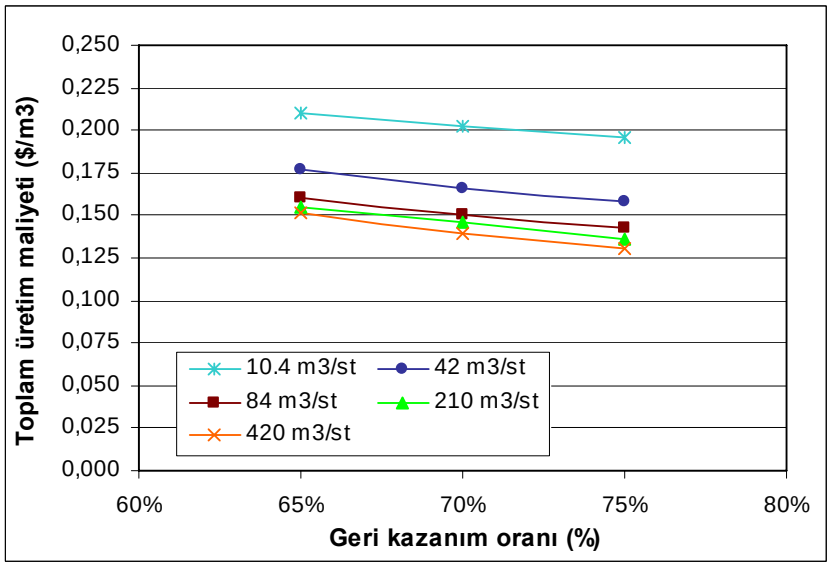




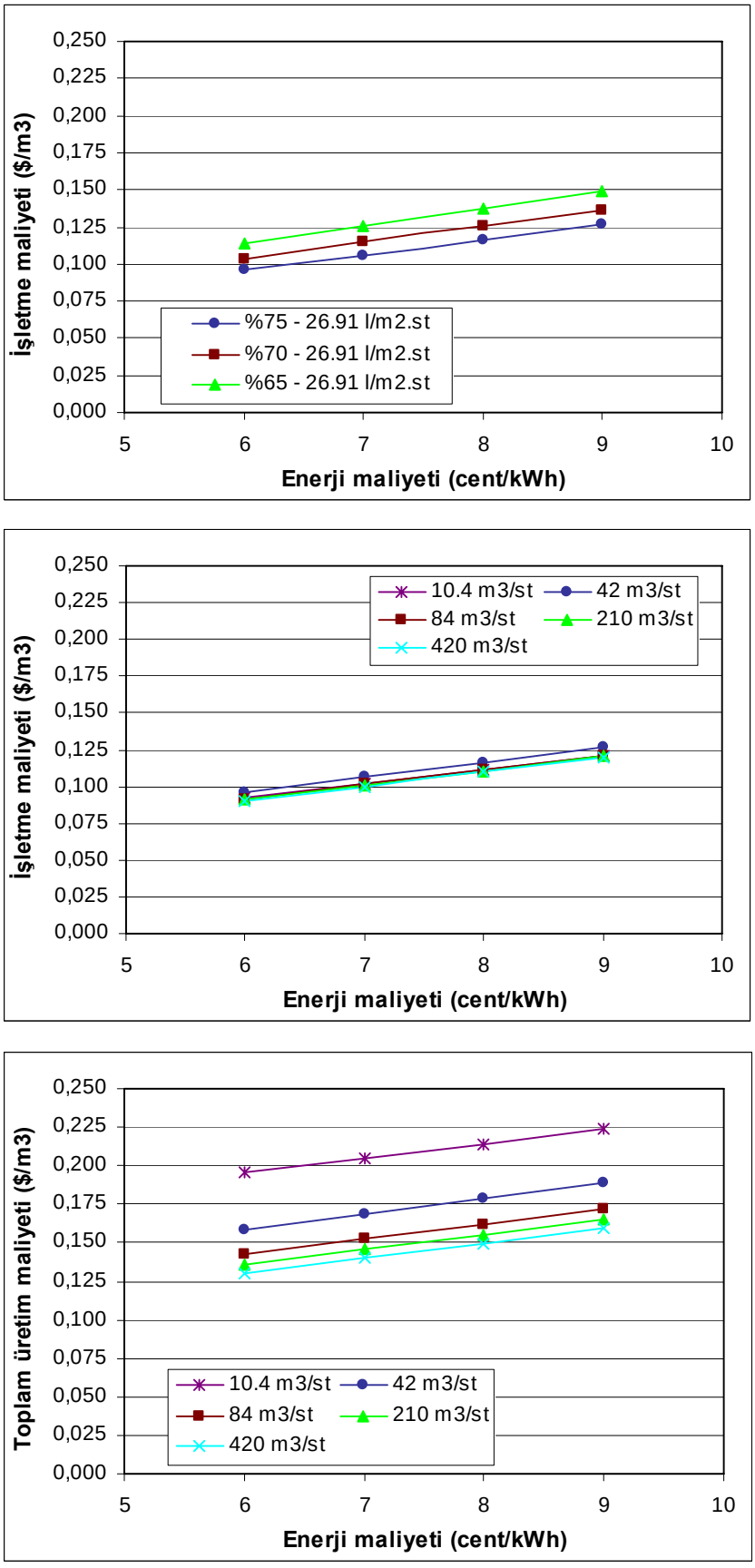
Şekil F.1: TDS=2230 mg/l tuzluluktaki Bodrum kuyu suyu ters osmoz sistemine ait akının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti ile ilişkisi



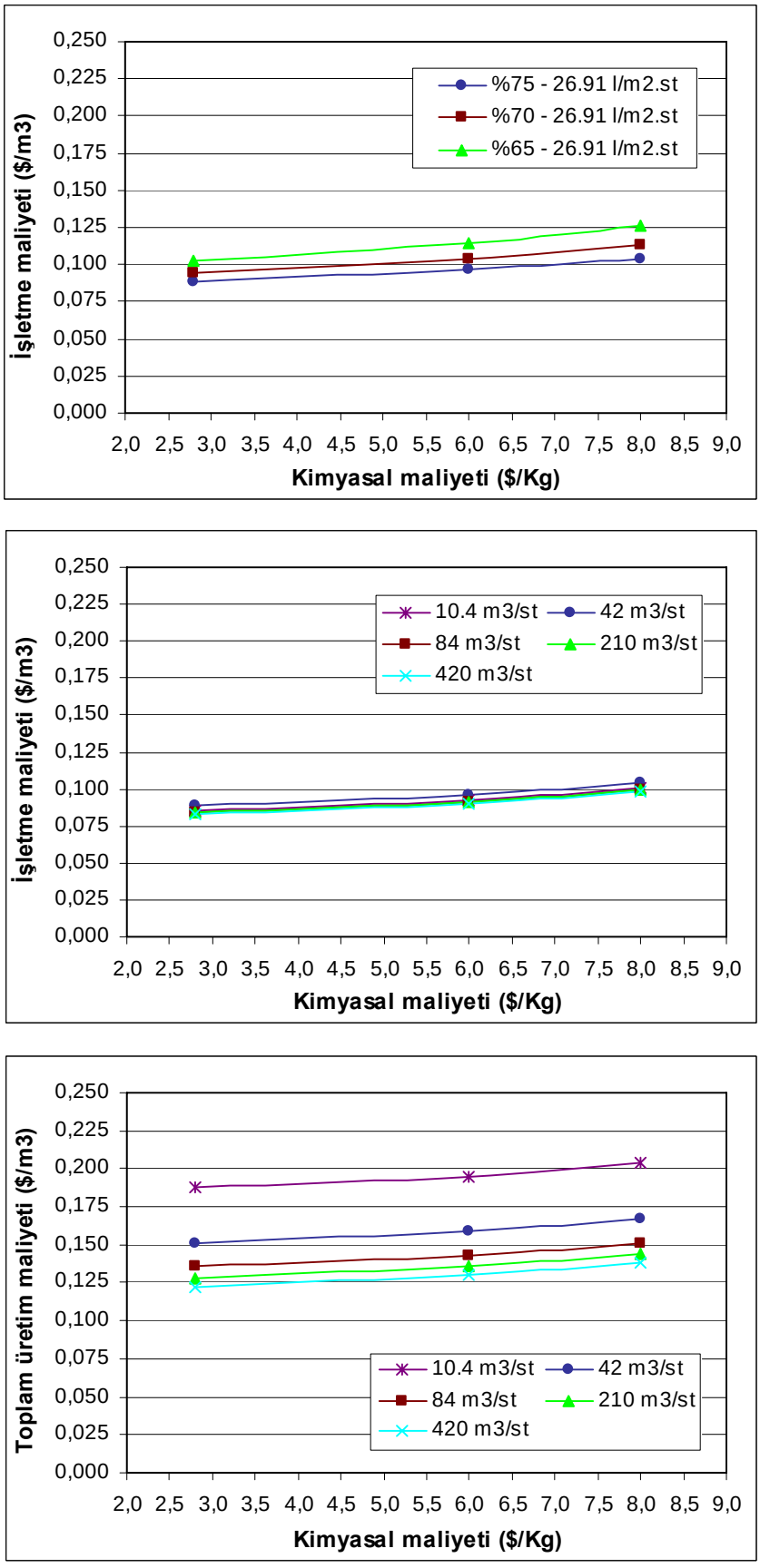




Şekil F.2: TDS=2230 mg/l tuzluluktaki Bodrum kuyu suyu ters osmoz sistemine ait geri kazanım oranının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti ile ilişkisi

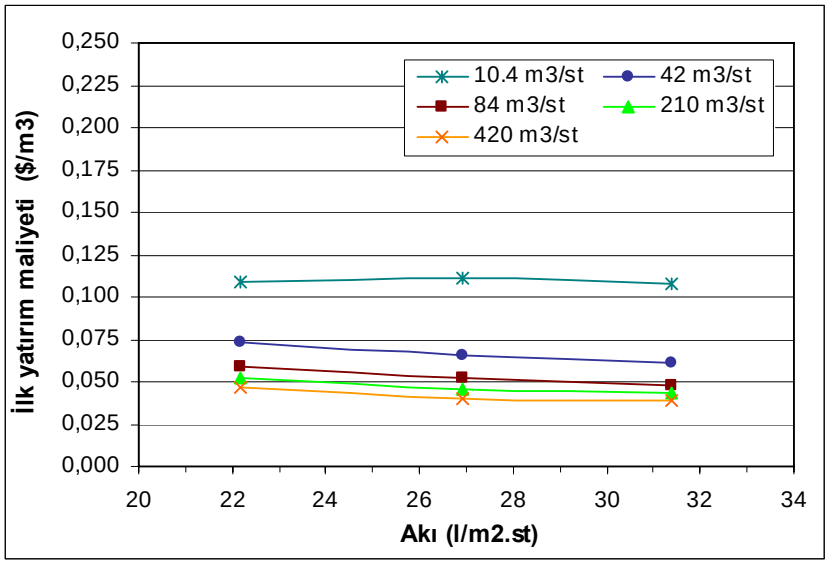


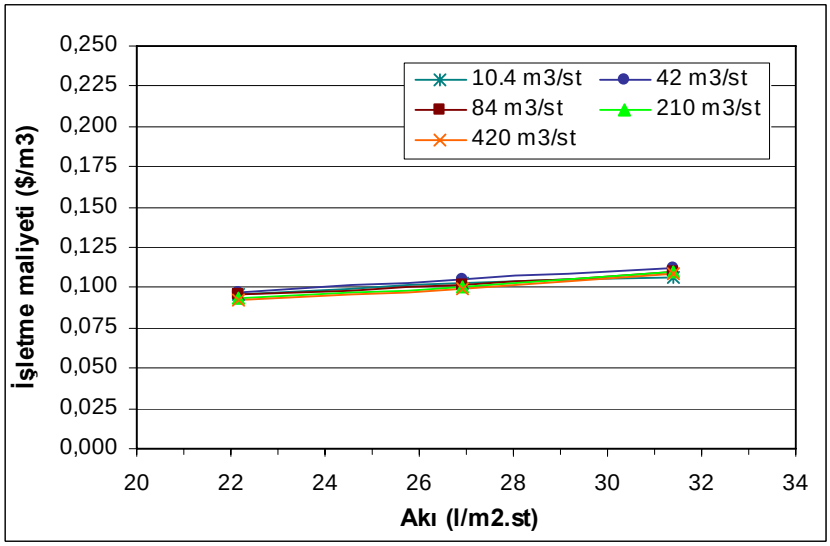
Şekil F.3: TDS=2230 mg/l tuzluluktaki Bodrum kuyu suyu ters osmoz sistemine ait enerji fiyatı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki

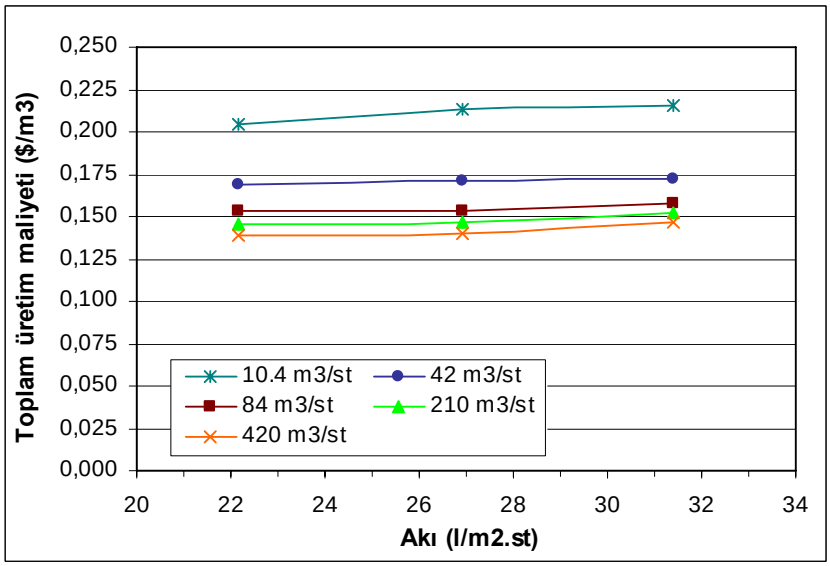


Şekil F.4: TDS=2230 mg/l tuzluluktaki Bodrum kuyu suyu ters osmoz sistemine ait kimyasal fiyatı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki

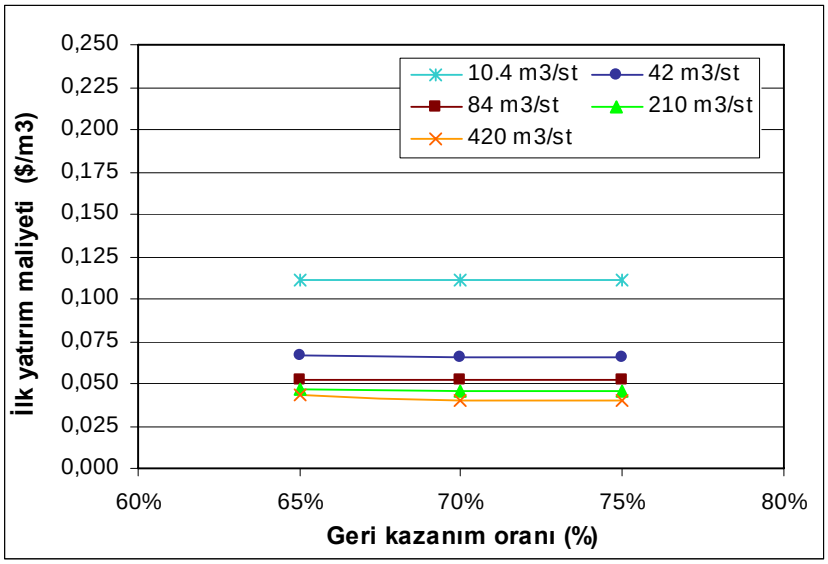
EK G

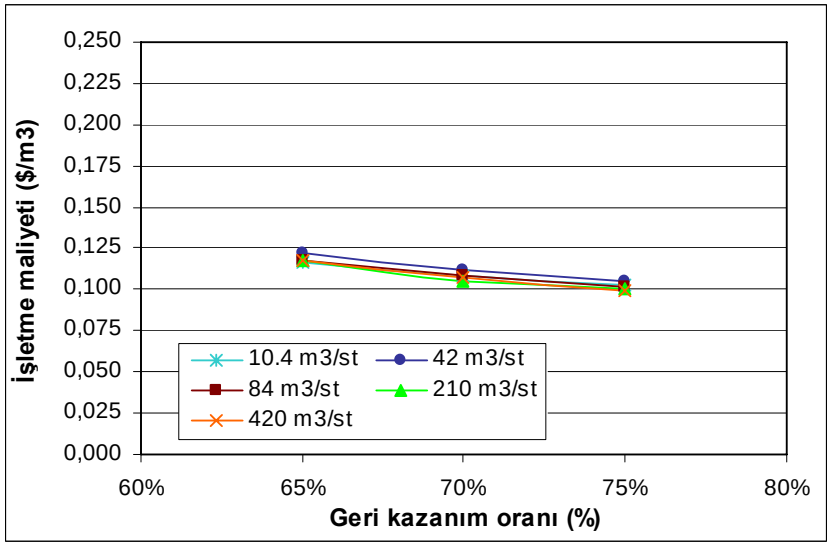


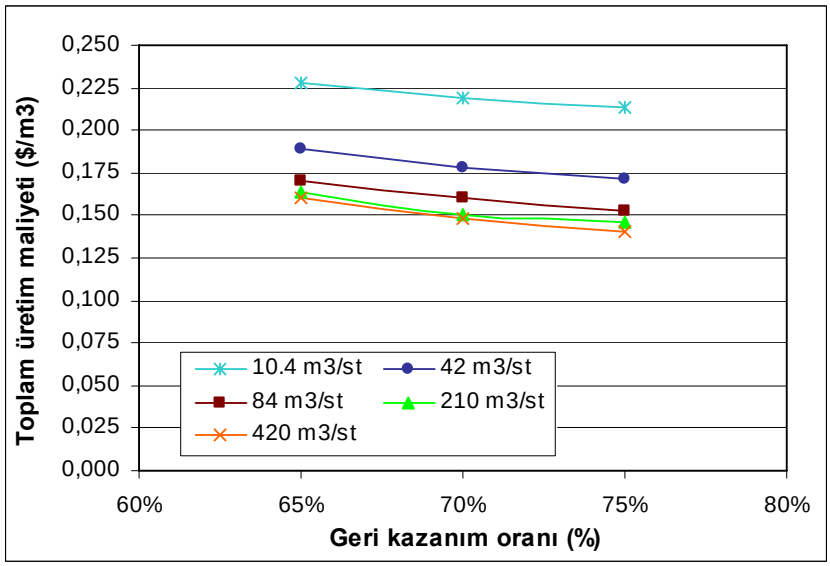




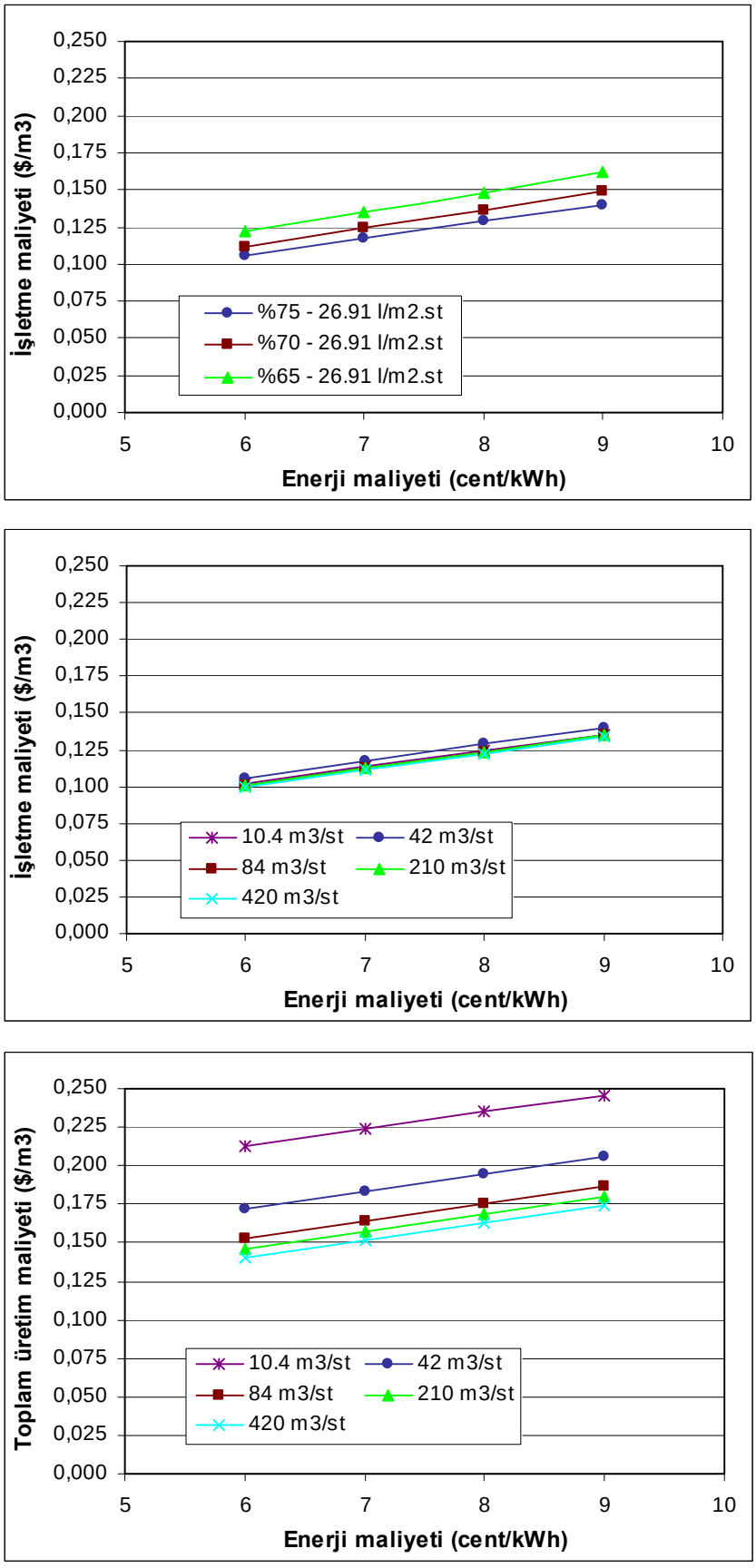
Şekil G.1: TDS=3640 mg/l tuzluluktaki Kıbrıs kuyu suyu ters osmoz sistemine ait akının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti ile ilişkisi



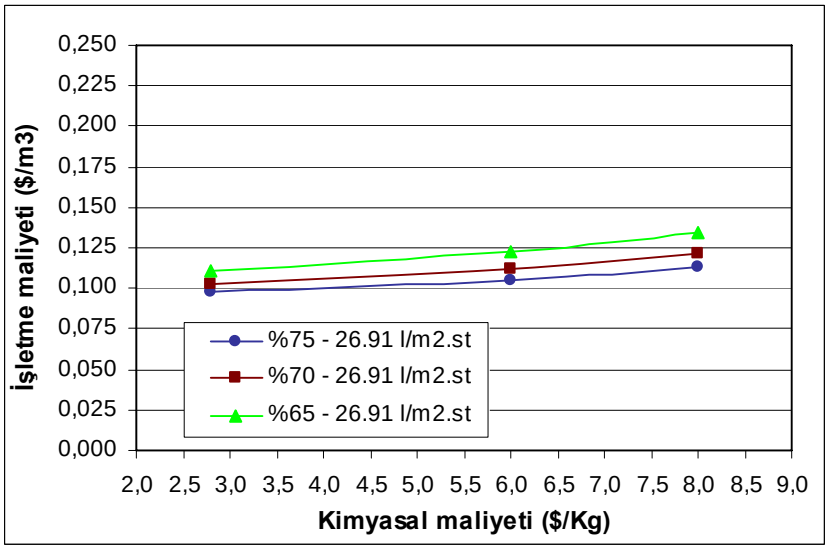


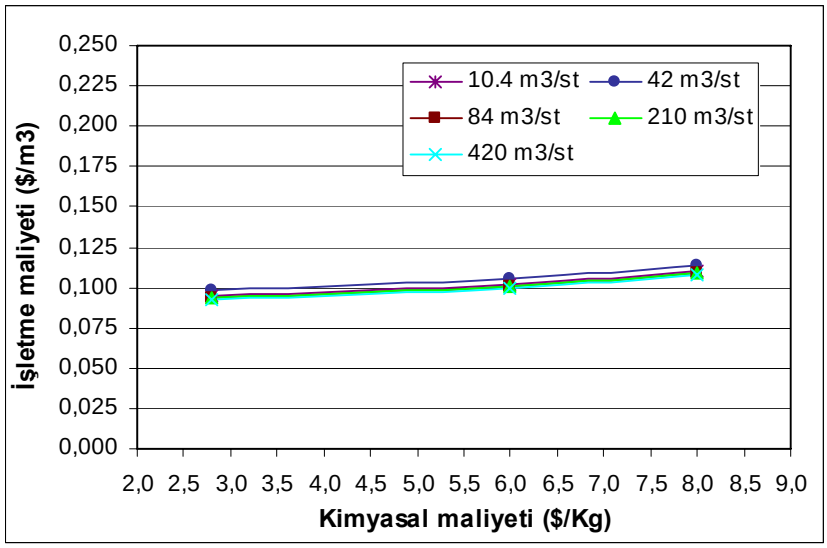


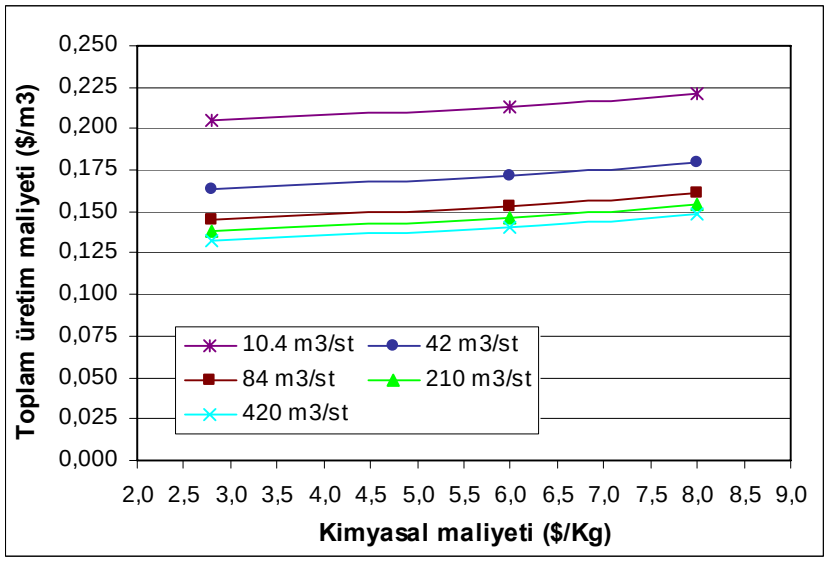
Şekil G.2: TDS=3640 mg/l tuzluluktaki Kıbrıs kuyu suyu ters osmoz sistemine ait geri kazanım oranının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti ile ilişkisi



Şekil G.3: TDS=3640 mg/l tuzluluktaki Kıbrıs kuyu suyu ters osmoz sistemine ait enerji fiyatı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki

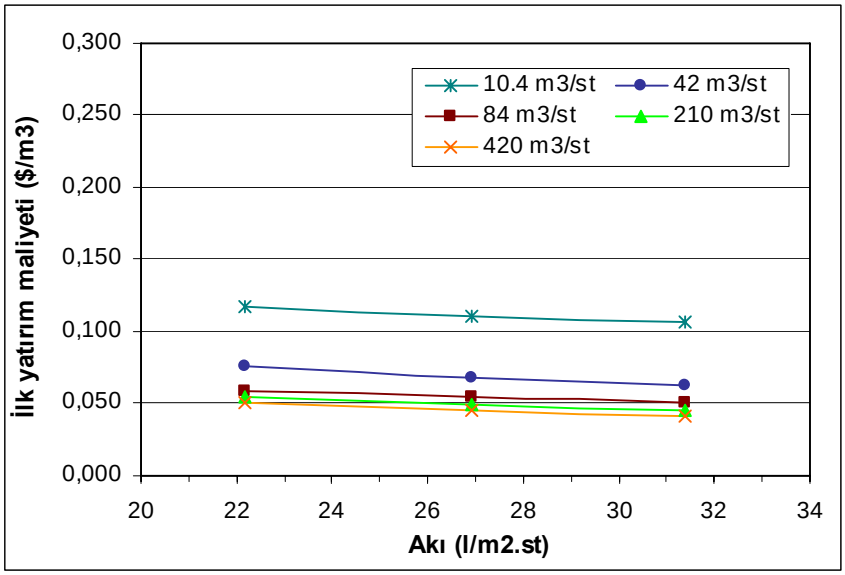


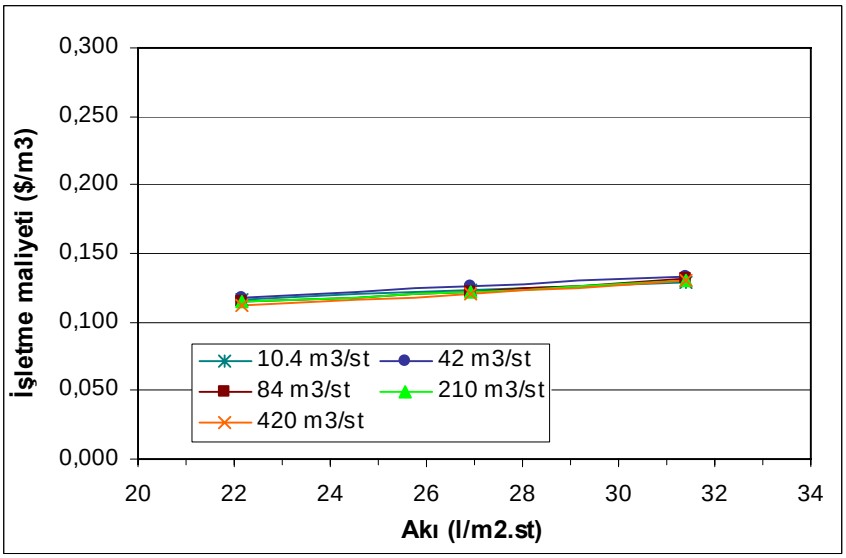


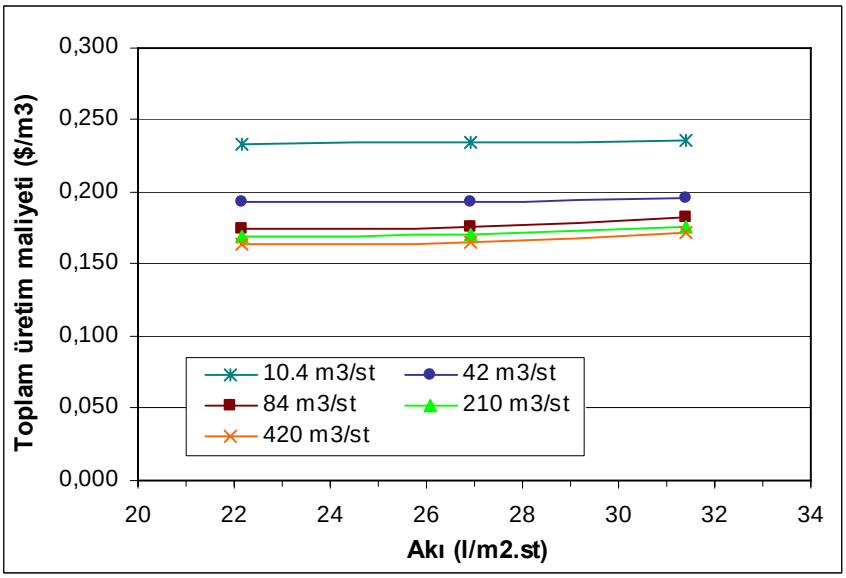


Şekil G.4: TDS=3640 mg/l tuzluluktaki Kıbrıs kuyu suyu ters osmoz sistemine ait kimyasal fiyatı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki

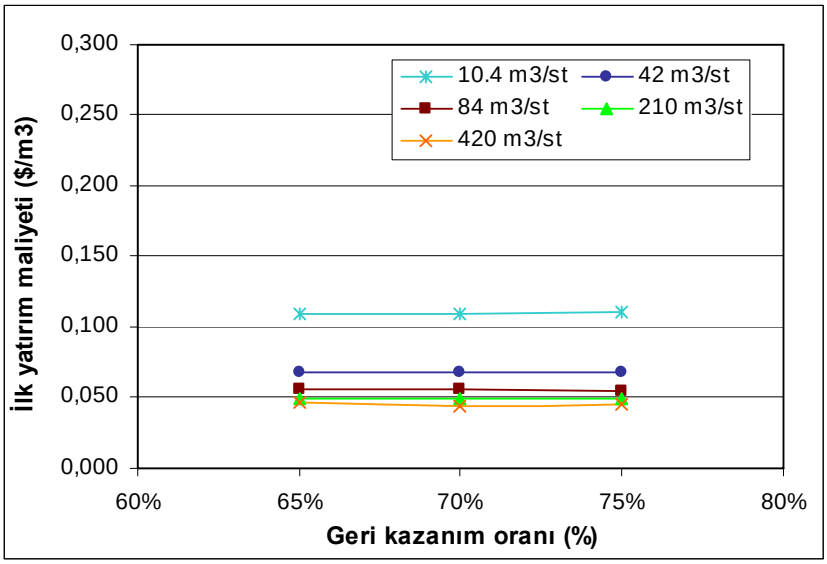
EK H

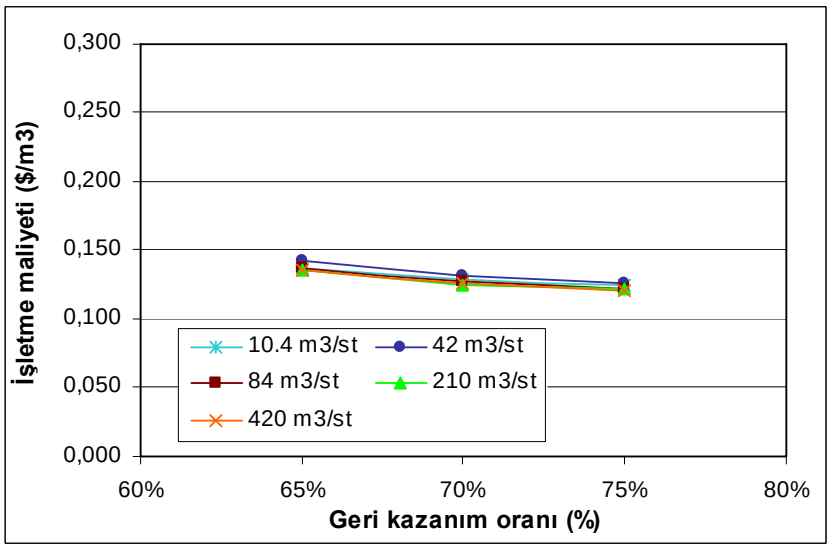


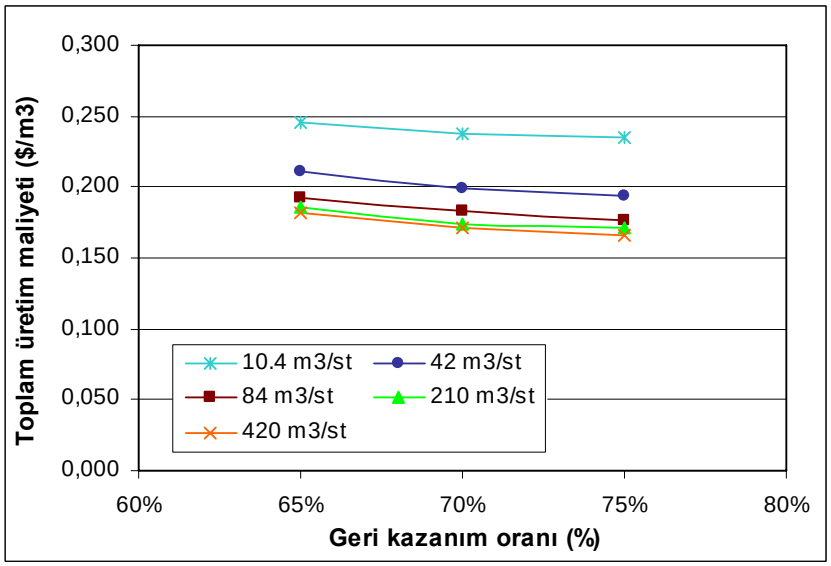




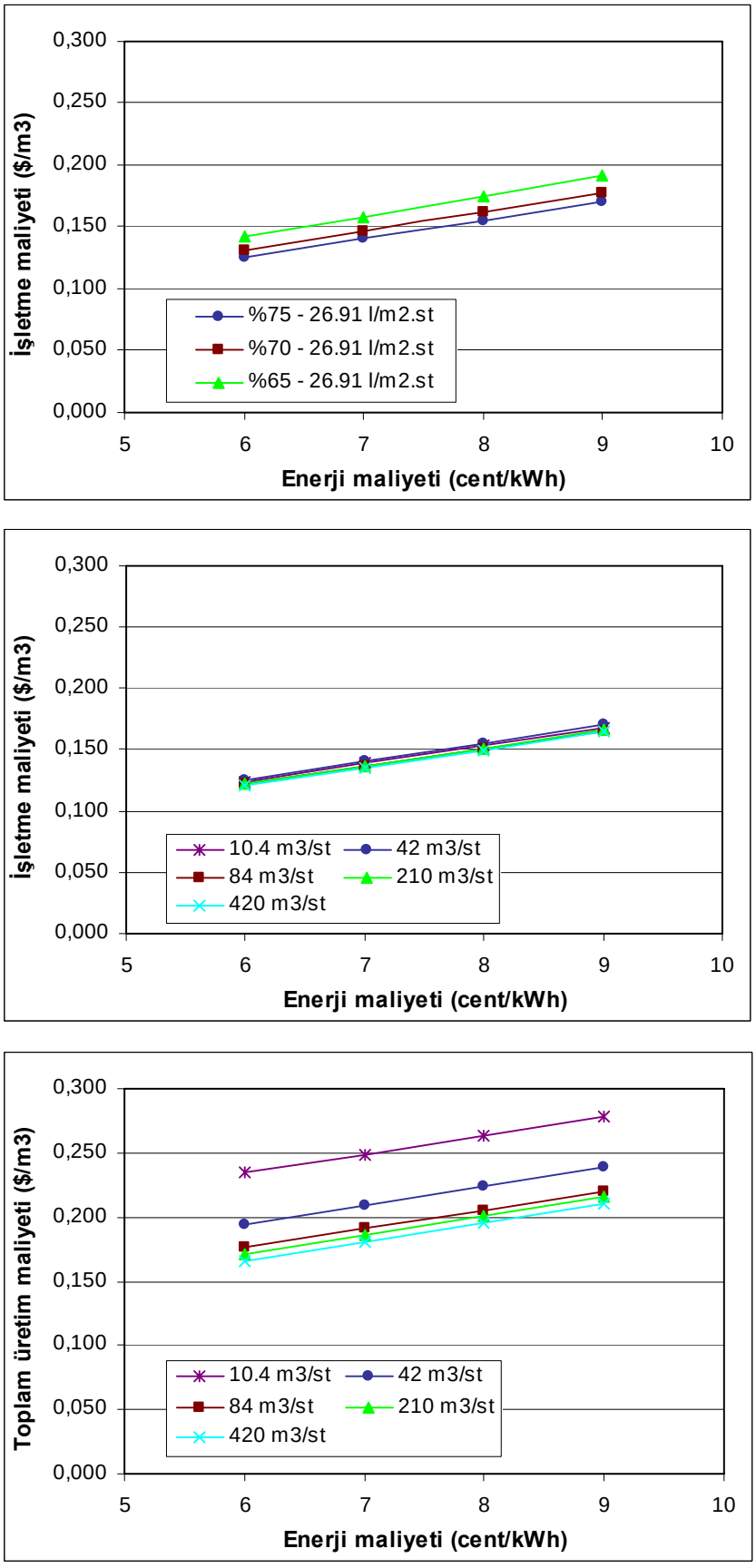
Şekil H.1: TDS=7350 mg/l tuzluluktaki Kıbrıs kuyu suyu ters osmoz sistemine ait akının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti ile ilişkisi



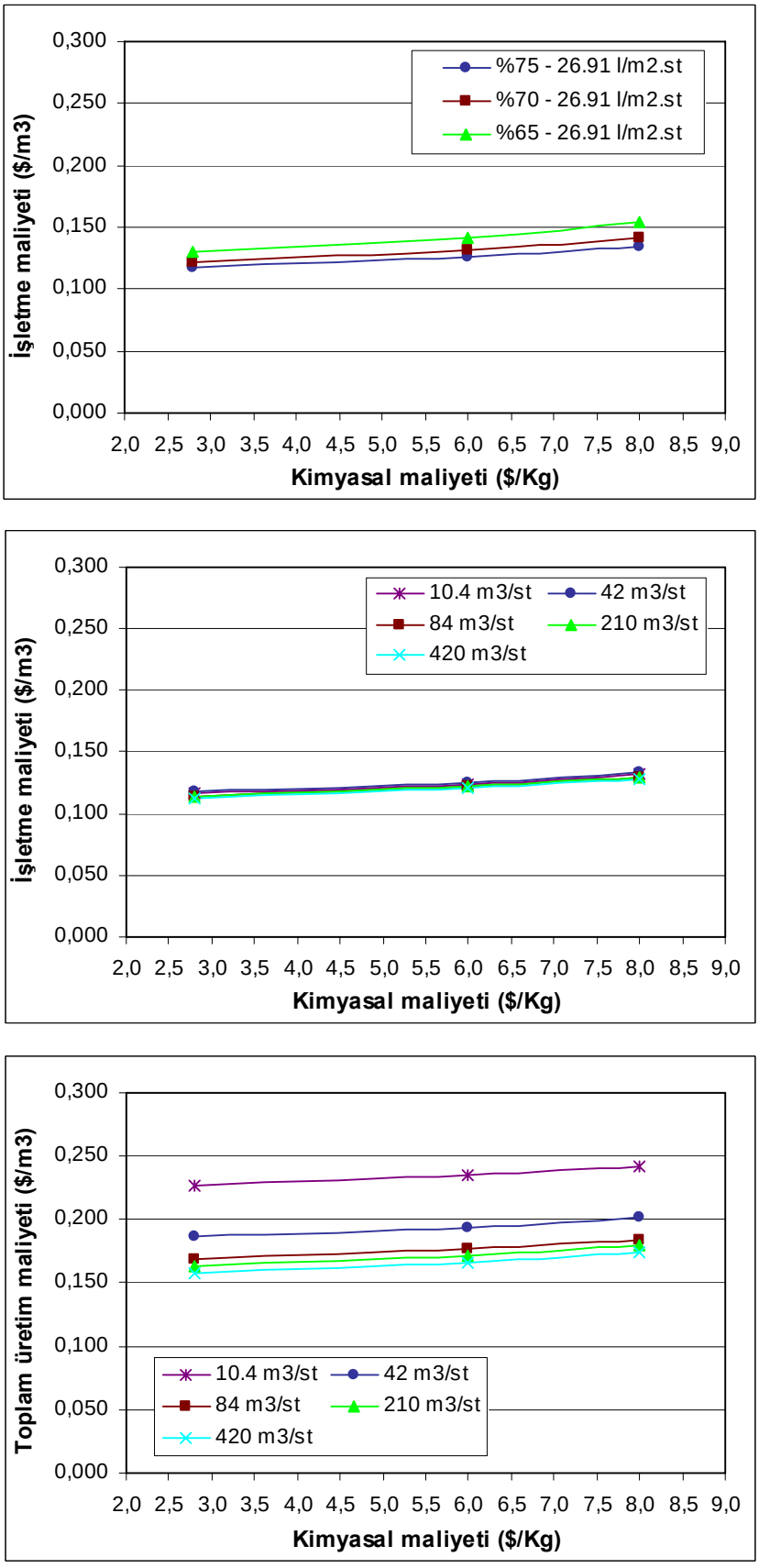




Şekil H.2: TDS=7350 mg/l tuzluluktaki Kıbrıs kuyu suyu ters osmoz sistemine ait geri kazanım oranının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti ile ilişkisi

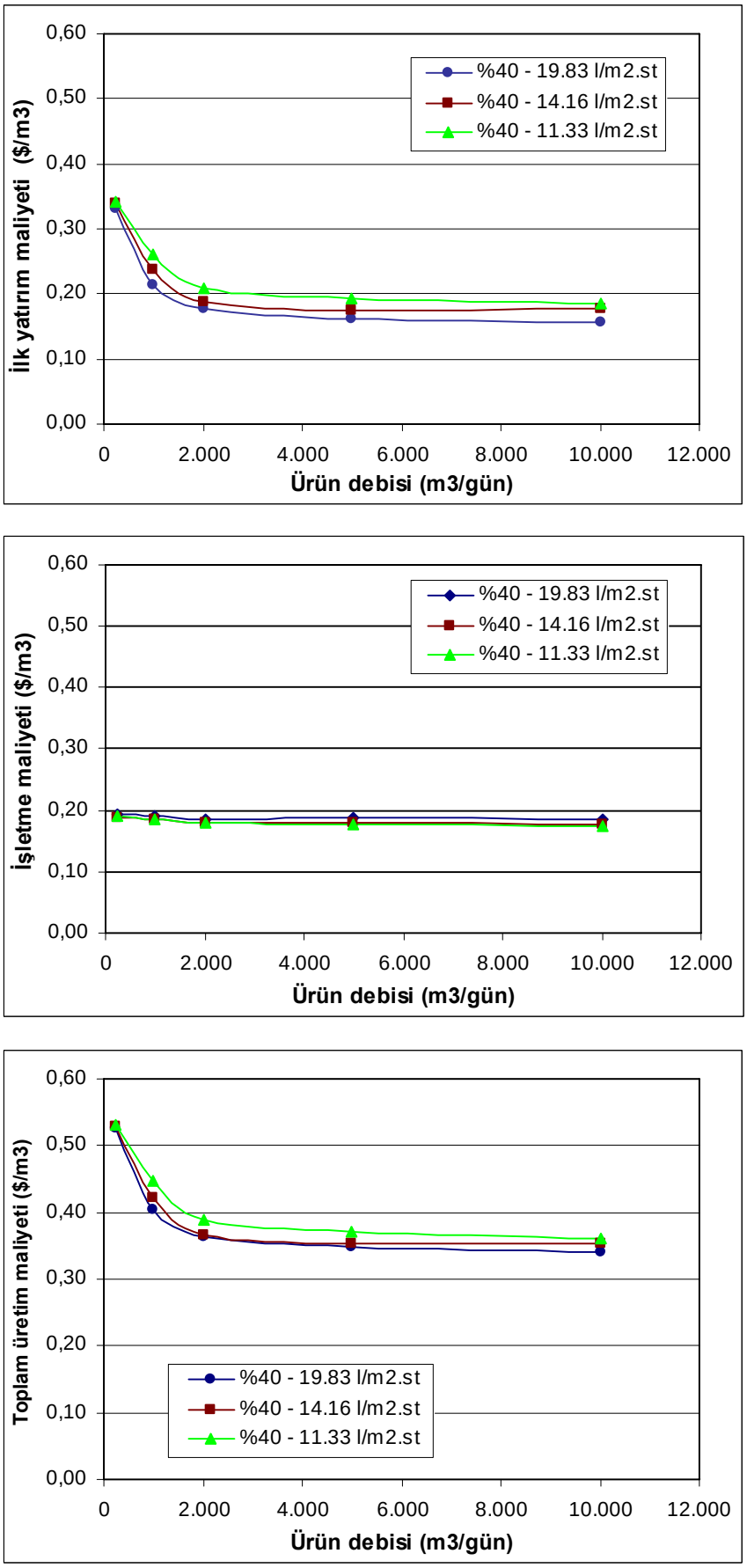


Şekil H.3: TDS=7350 mg/l tuzluluktaki Kıbrıs kuyu suyu ters osmoz sistemine ait enerji fiyatı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki

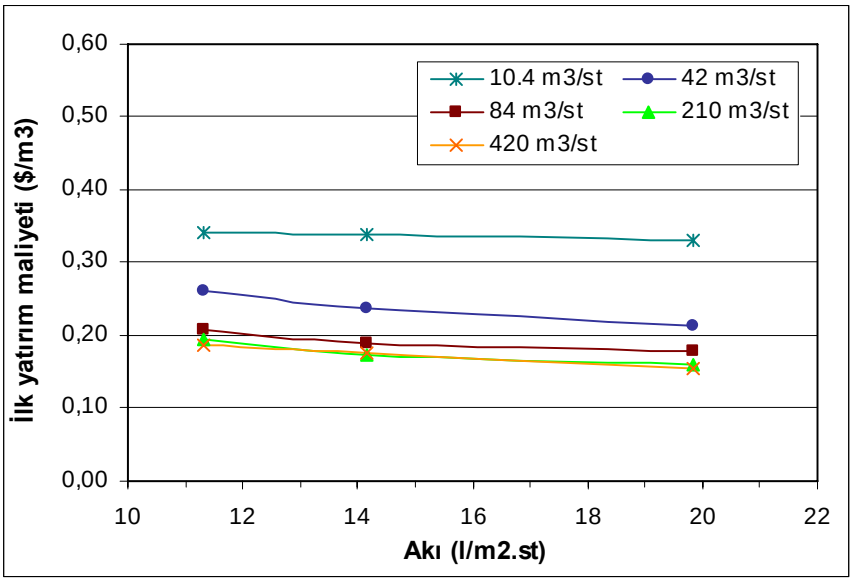


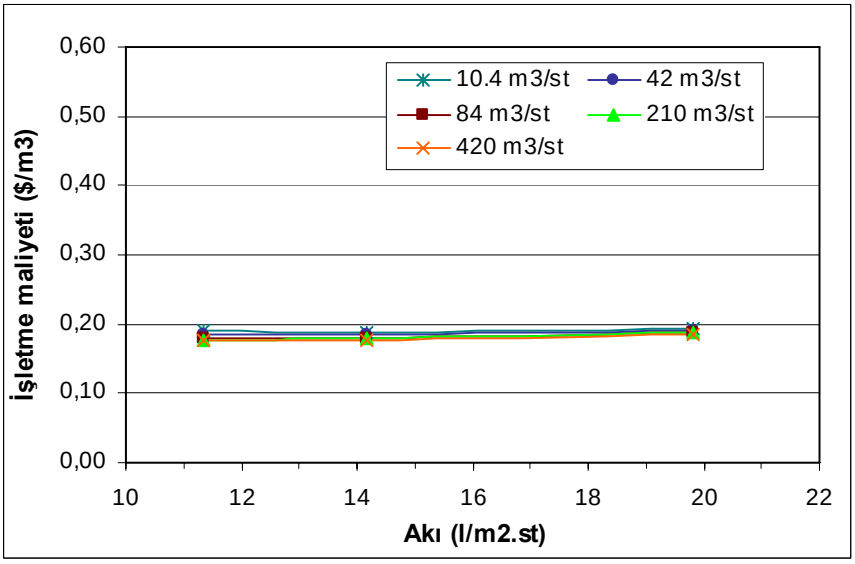
Şekil H.4: TDS=7350 mg/l tuzluluktaki Kıbrıs kuyu suyu ters osmoz sistemine ait kimyasal fiyatı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki

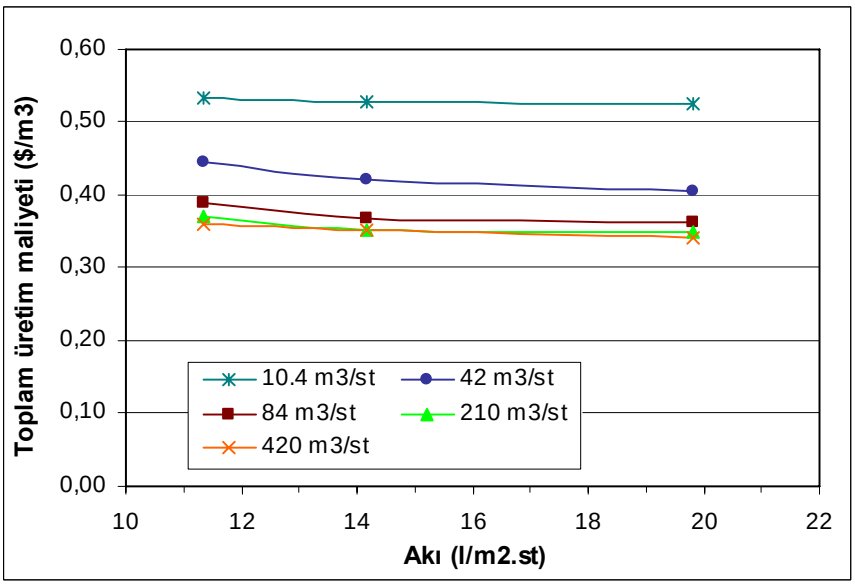
EK I



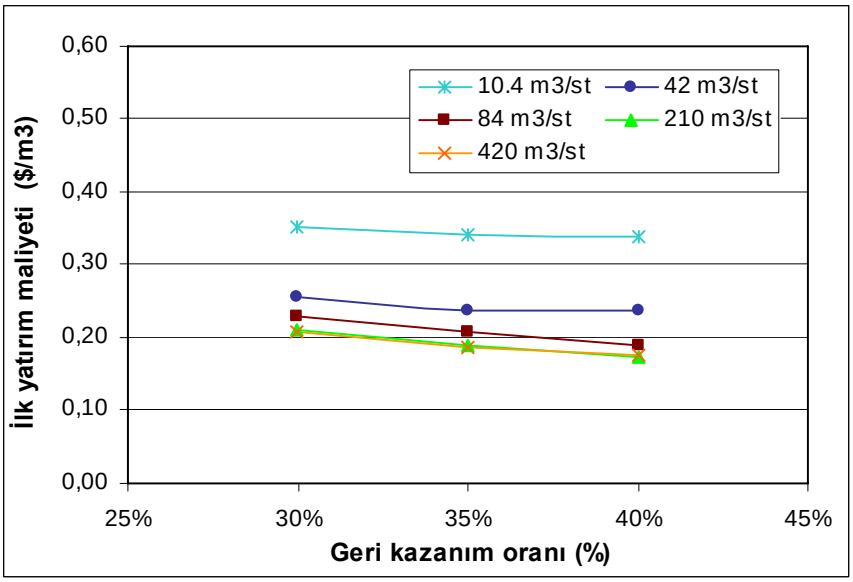
Şekil I.1: Marmara Denizi suyu ters osmoz sistemine ait ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkisi

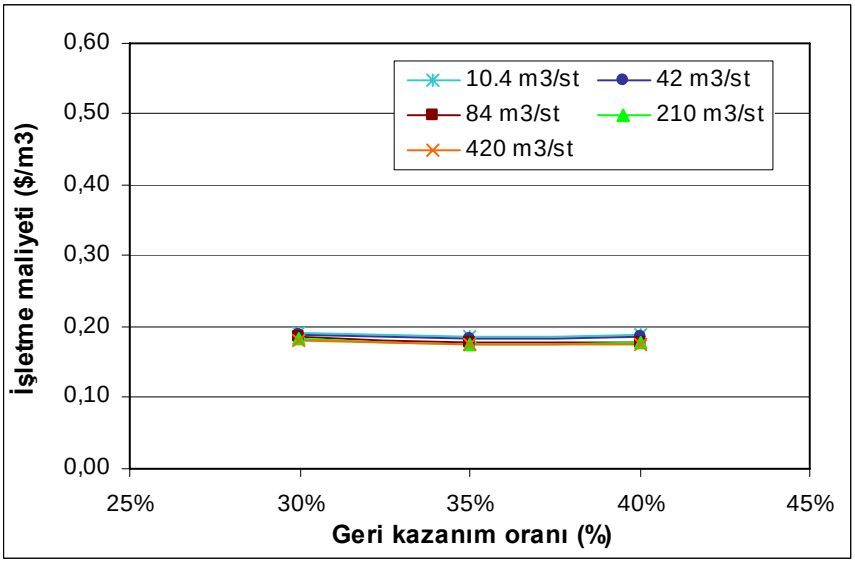


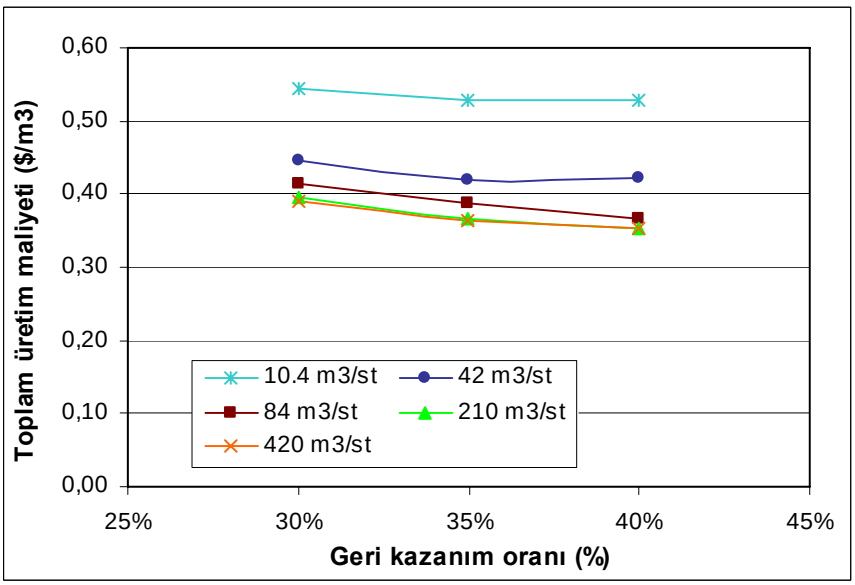




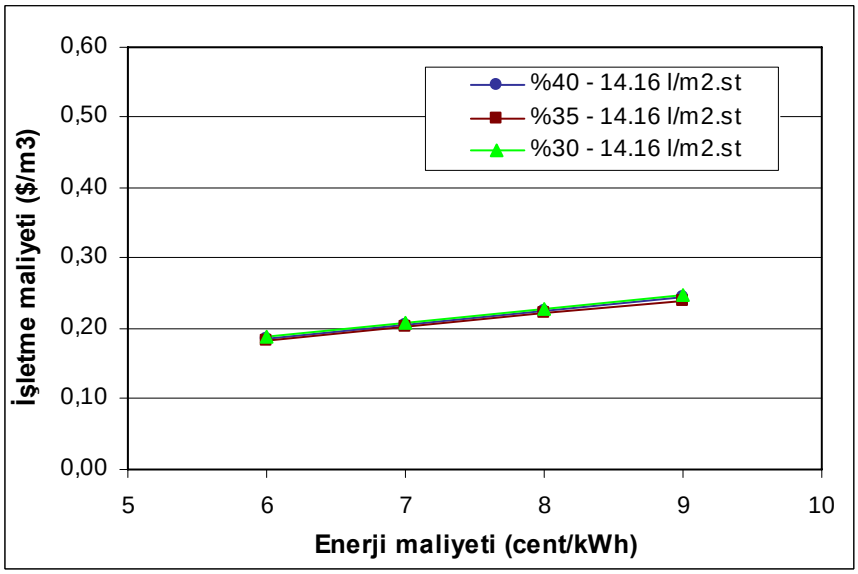
Şekil I.2: Marmara Denizi suyu ters osmoz sistemine ait akının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti ile ilişkisi

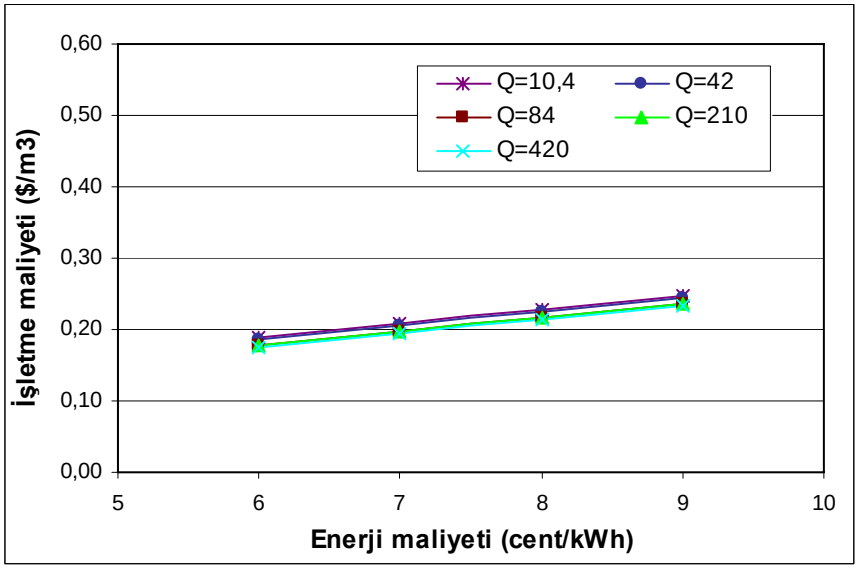


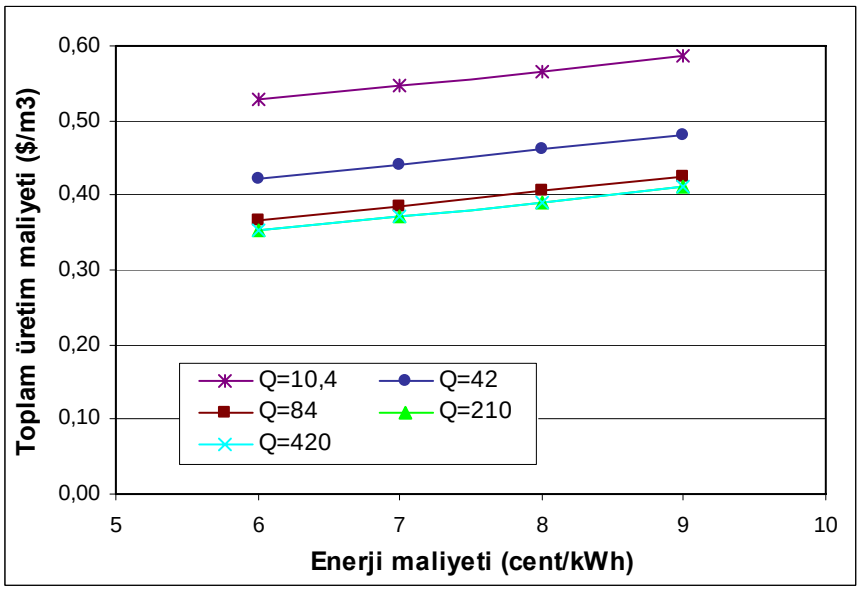




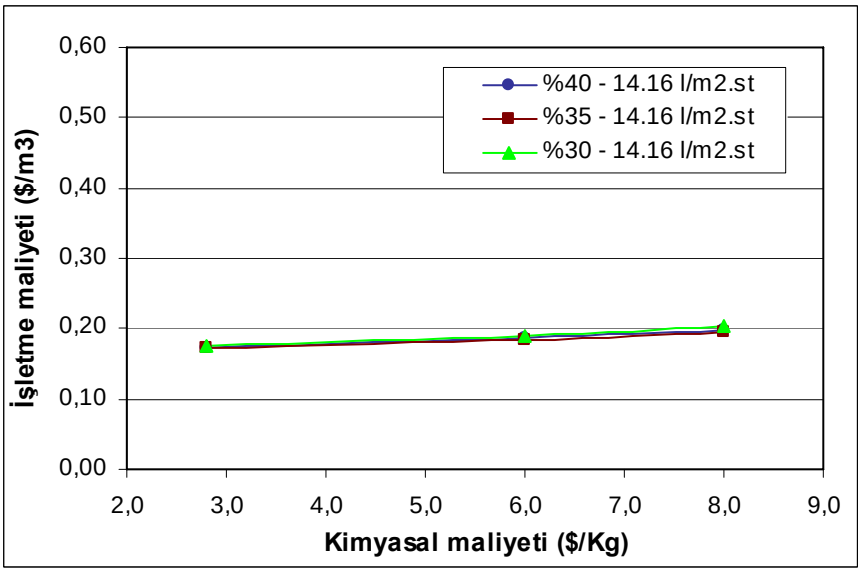
Şekil I.3: Marmara Denizi suyu ters osmoz sistemine ait geri kazanım oranının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti ile ilişkisi

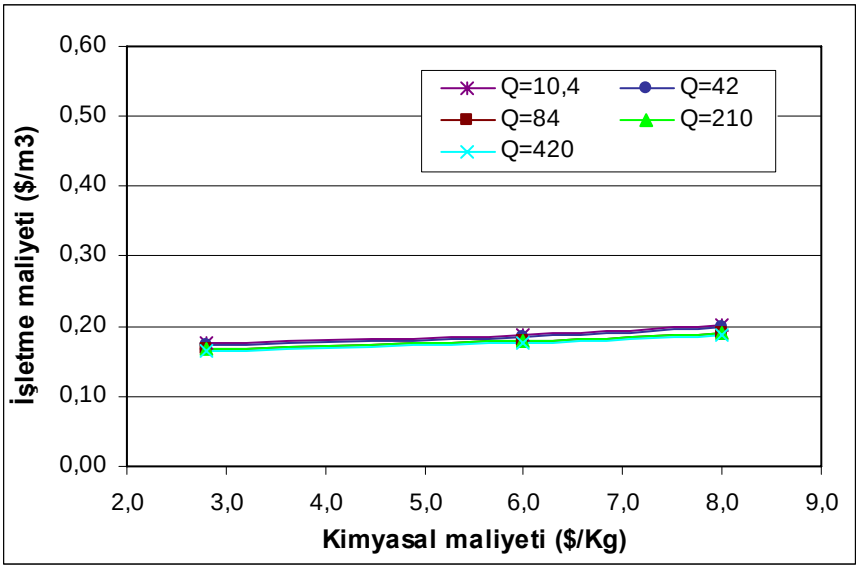


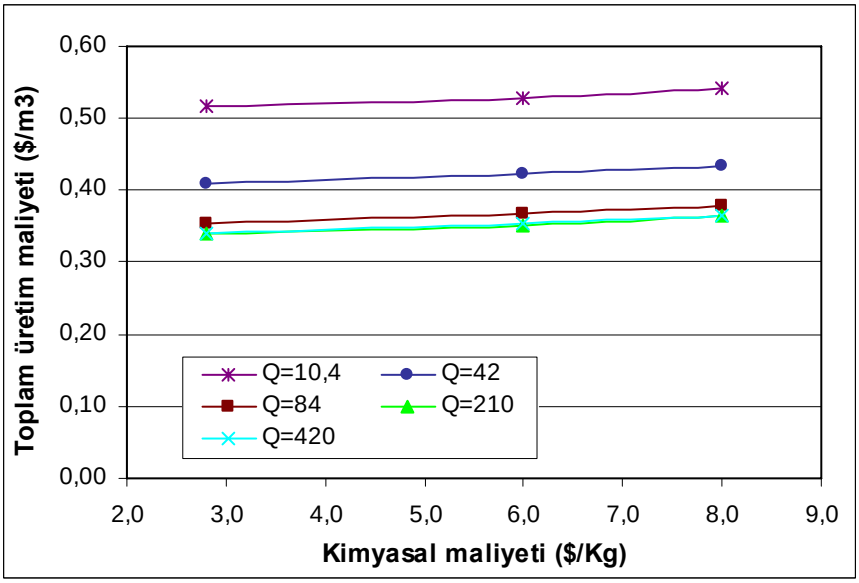




Şekil I.4: Marmara Denizi suyu ters osmoz sistemine ait enerji fiyatı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki

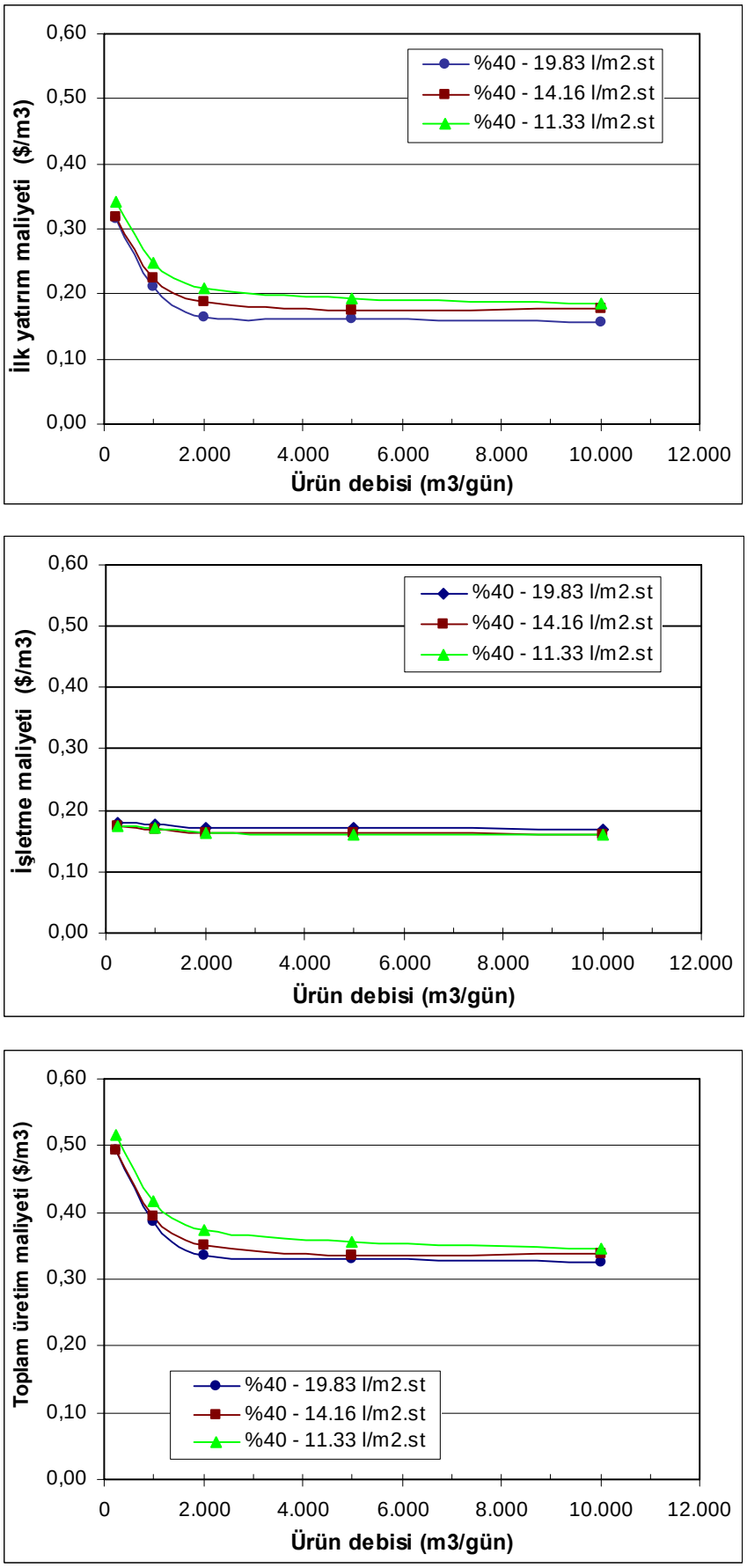




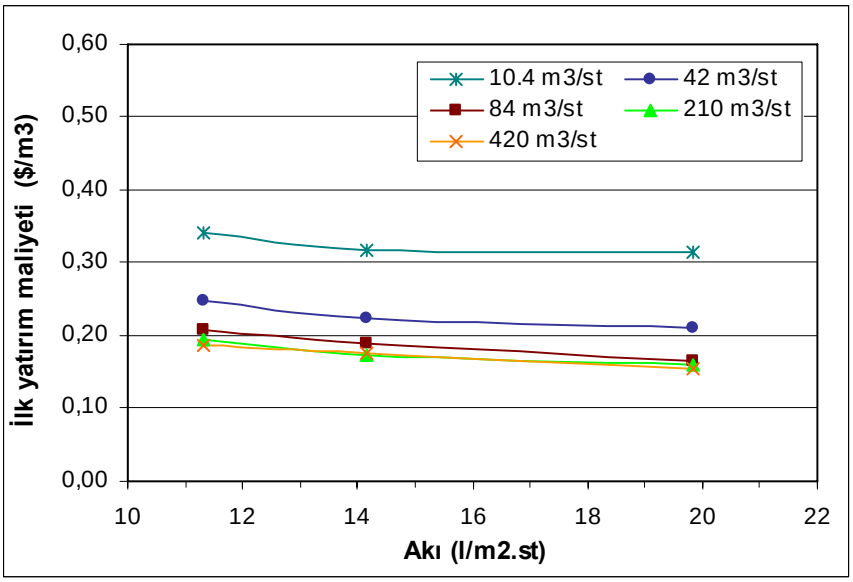


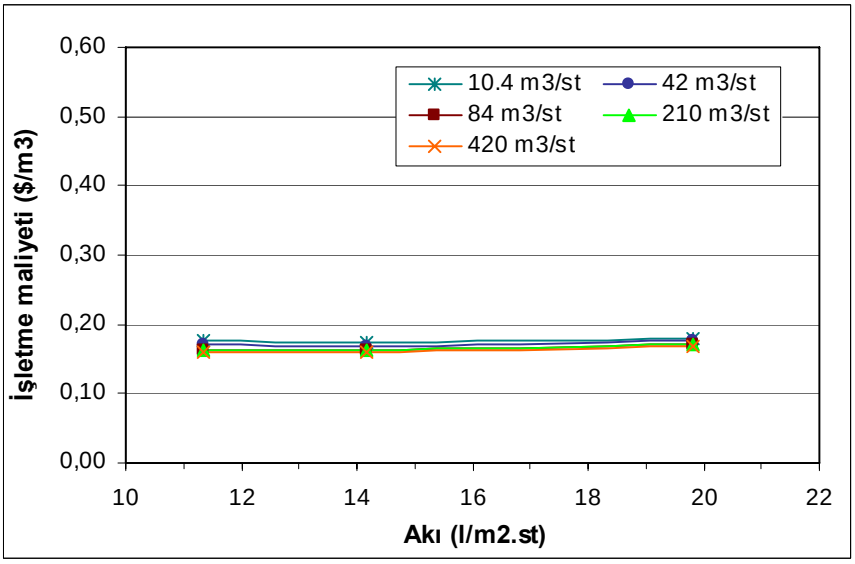
Şekil I.5: Marmara Denizi suyu ters osmoz sistemine ait kimyasal fiyatı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki

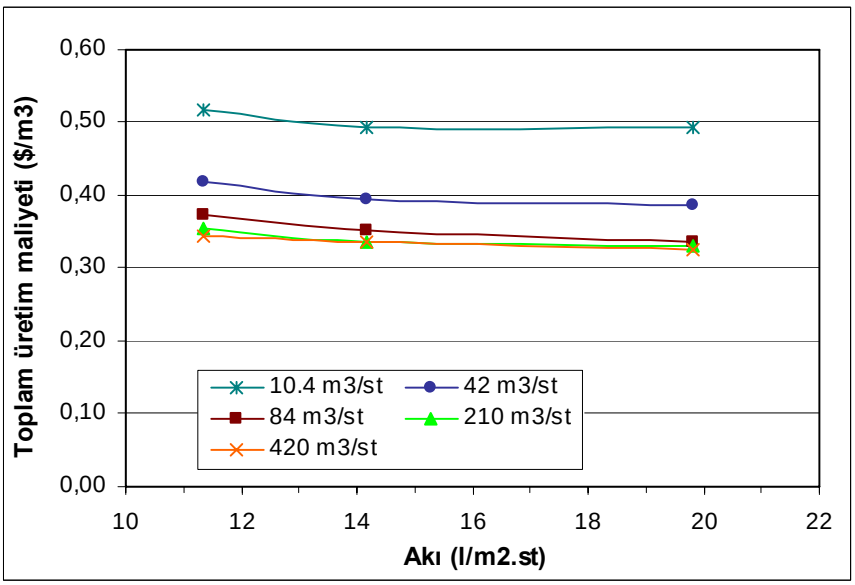
EK J



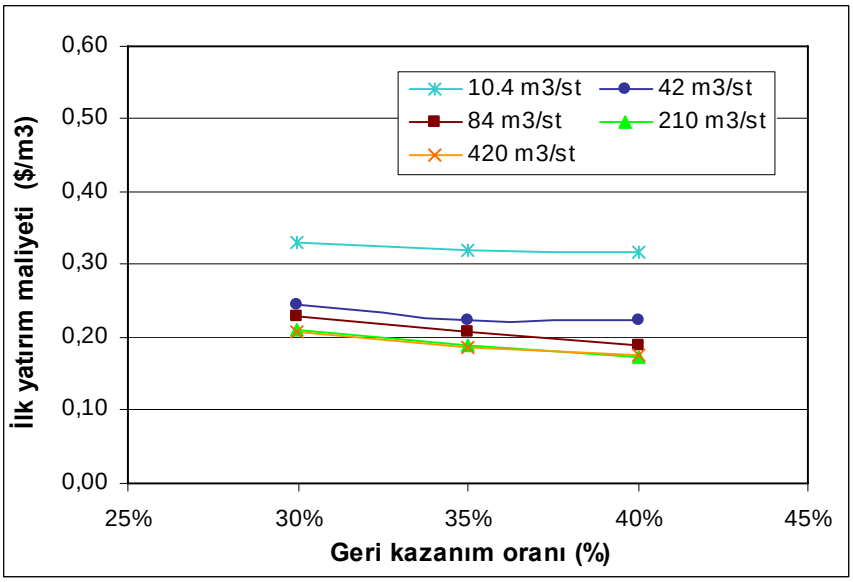
Şekil J.1: Karadeniz suyu ters osmoz sistemine ait ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyetlerinin ürün debisi ile ilişkisi

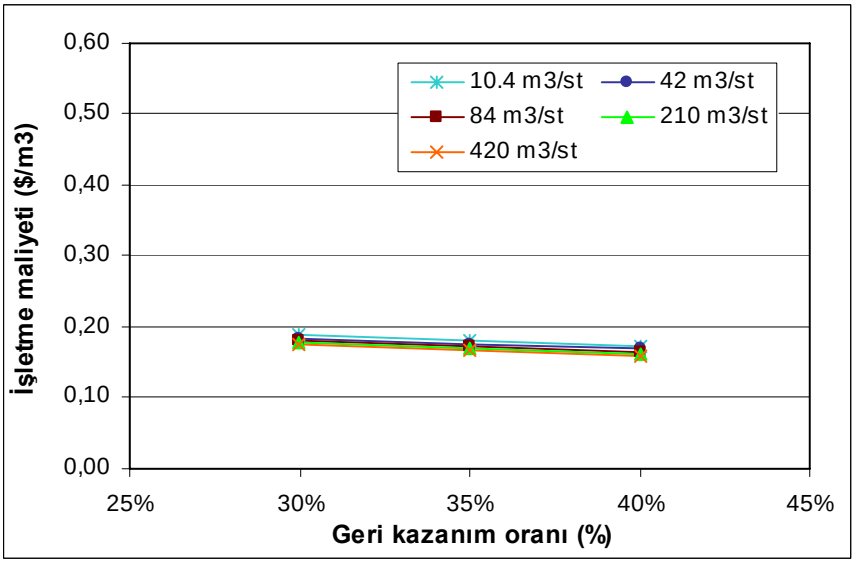


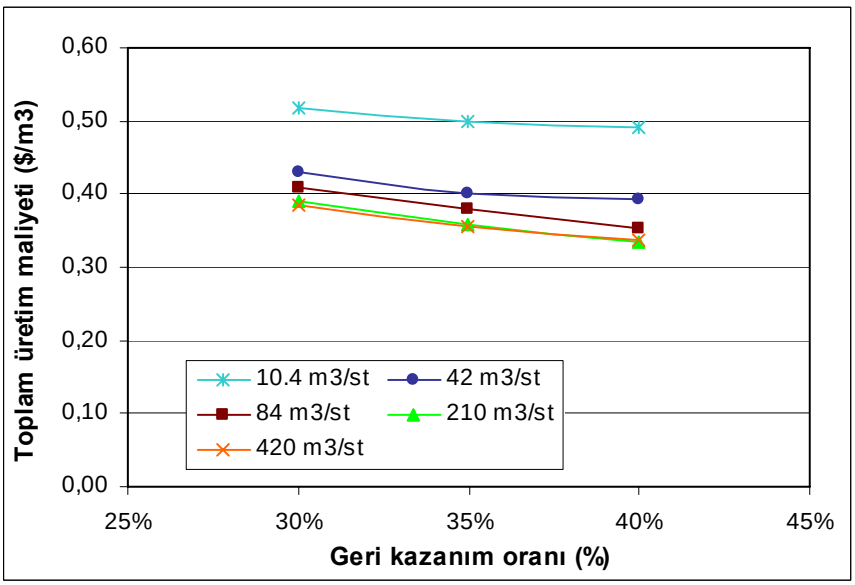




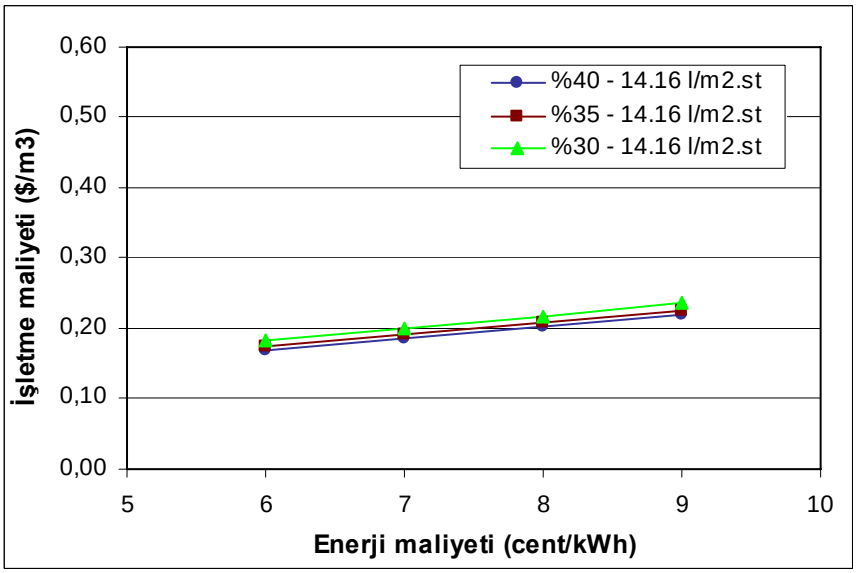
Şekil J.2: Karadeniz suyu ters osmoz sistemine ait akının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti ile ilişkisi

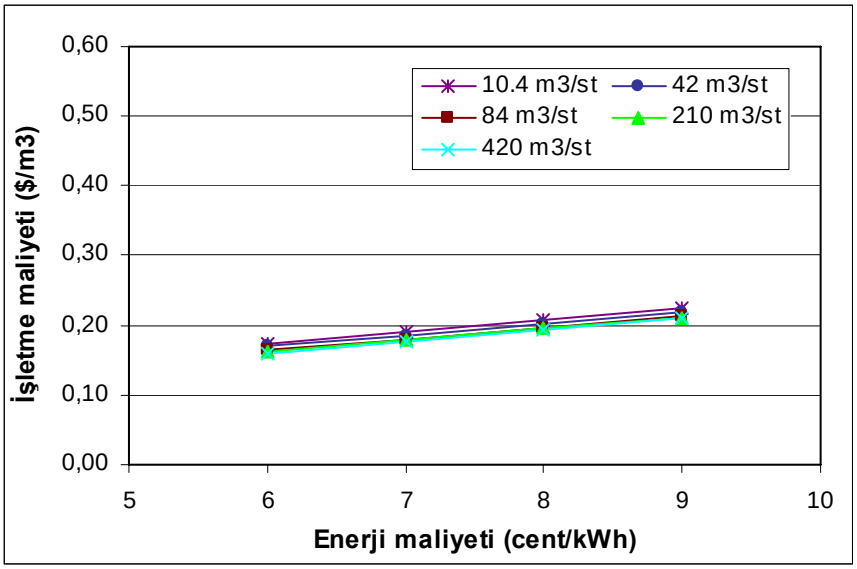


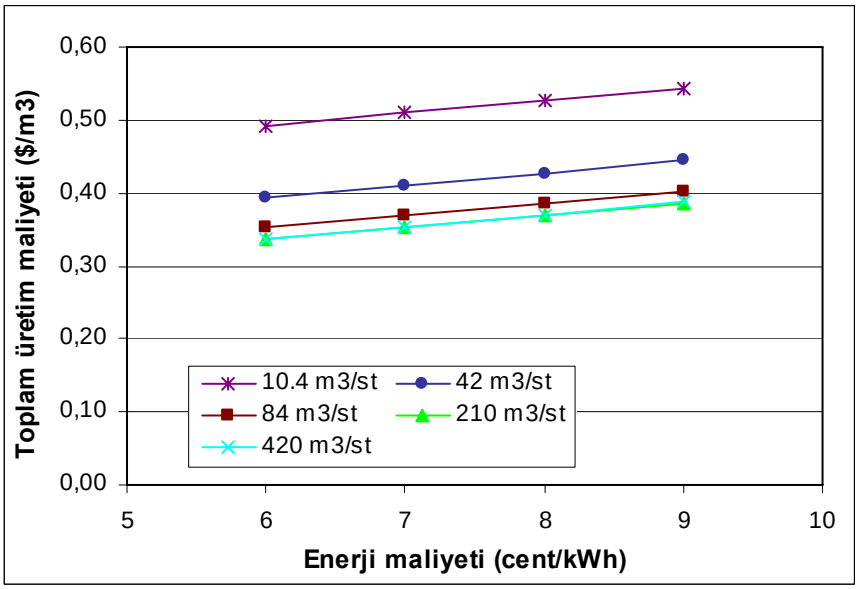




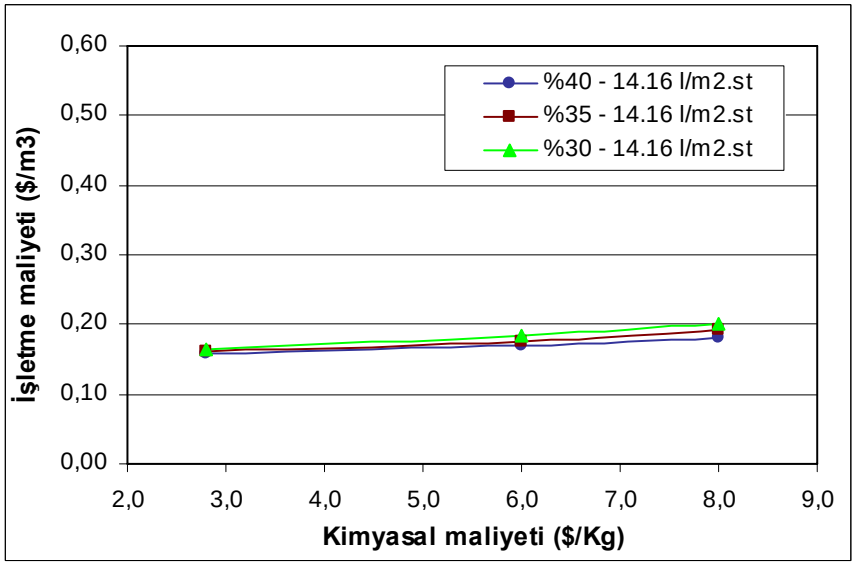
Şekil J.3: Karadeniz suyu ters osmoz sistemine ait geri kazanım oranının ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti ile ilişkisi

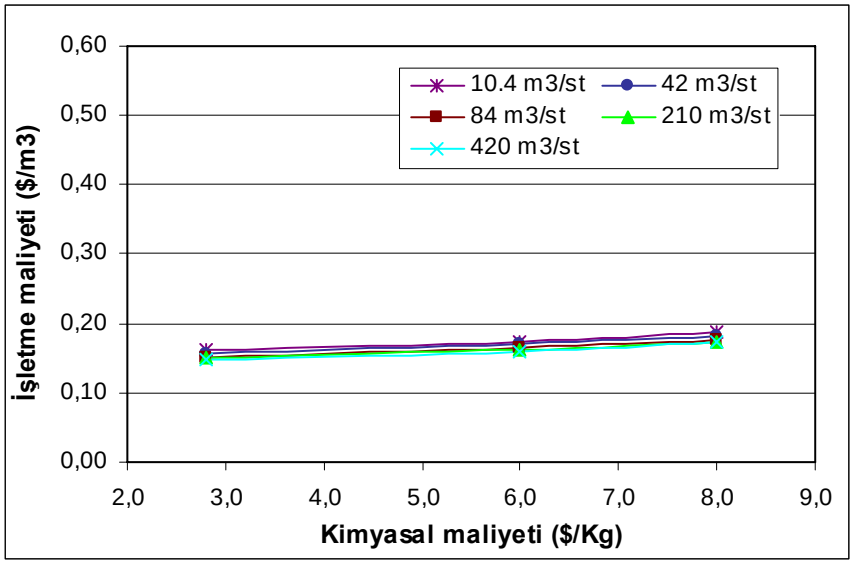


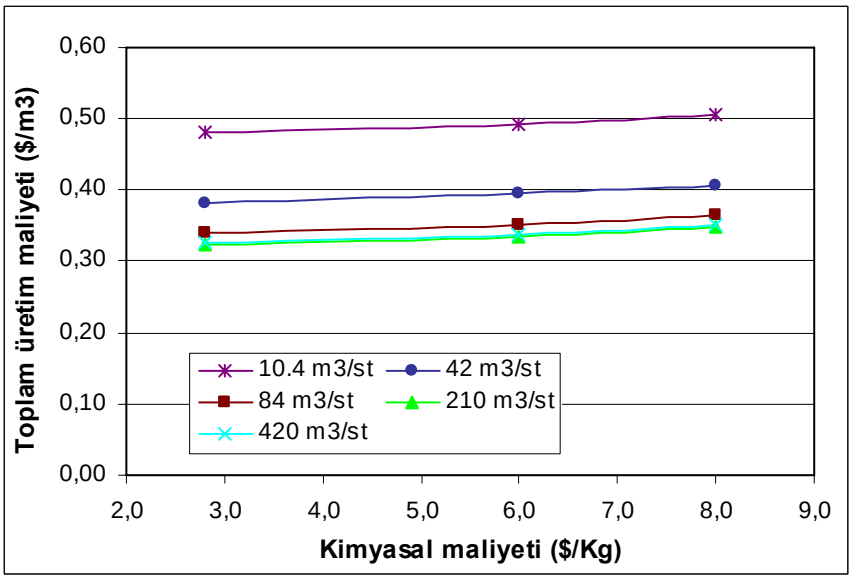




Şekil J.4: Karadeniz suyu ters osmoz sistemine ait enerji fiyatı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki







Şekil J.5: Karadeniz suyu ters osmoz sistemine ait kimyasal fiyatı ile ilk yatırım, işletme ve toplam üretim maliyeti arasındaki ilişki

ÖZGEÇMİŞ

Demet AKGÜL, 1972 yılında Ankara`da doğdu. İlkokulu Hollanda`da, orta ve lise eğitimini 1991 yılında İstanbul`da tamamladı. 1992 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. Lisans eğitimini 1997 yılında tamamlayarak mühendis unvanını aldı. Aynı yıl Arıtım Mühendislik firmasında ilk profesyonel görevine başladı. Yaklaşık sekiz yıl bu firmada çevre mühendisi olarak görev yaptıktan sonra 2005 yılında General Elektrik firmasında Su ve Proses Teknolojileri bölümünde çalışmaya başladı. Halen bu firmada Akdeniz ülkeleri ekipman destek lideri olarak görev yapmaktadır.