

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**NİHAİ KULLANIM AMACINA GÖRE UYGULANAN MEMBRAN
PROSESLER VE DİĞER SU ARITMA YÖNTEMLERİ İLE
İÇME VE PROSES SUYU ÜRETİMİNİN MALİYET ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Saliha ÜNAL
(501061732)**

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İsmail KOYUNCU

HAZİRAN 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**NİHAİ KULLANIM AMACINA GÖRE UYGULANAN MEMBRAN
PROSESLER VE DİĞER SU ARITMA YÖNTEMLERİ İLE
İÇME VE PROSES SUYU ÜRETİMİNİN MALİYET ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Saliha ÜNAL
(501061732)**

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İsmail KOYUNCU

HAZİRAN 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501061732 numaralı Yüksek Lisans / Doktora Öğrencisi **Adı SOYADI Saliha ÜNAL**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**NİHAİ KULLANIM AMACINA GÖRE UYGULANAN MEMBRAN PROSESLER VE DİĞER SU ARITMA YÖNTEMLERİ İLE İÇME VE PROSES SUYU ÜRETİMİNİN MALİYET ANALİZİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. İsmail KOYUNCU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

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

Doç. Dr. Derya İMER
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Eyüp DEBİK
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **4 Mayıs 2015**
Savunma Tarihi : **17 Haziran 2015**

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, çeşitli kirletici tipleri ve bu kirletici tiplerinin suyun nihai kullanım amacına göre membran ve diğer su arıtma yöntemleri kullanılarak arıtılması ile içme ve proses suyu üretiminin maliyet analizi incelenmiştir. 3 farklı özellikte kuyu suyu ve 2 farklı özellikte deniz suyundan içme ve proses suyu elde edilmesinin kurulum ve işletme maliyet tabloları oluşturulmuştur. Arıtma sistemi seçim şekli ve elde edilen sonuçlar ile Türkiye şartlarında orta kapasitede su arıtma sistemlerinin maliyetlerine ulaşılmasında kolaylık sağlamasını dilerim.

Tez çalışmam süresince bana destek veren ve kaynak sağlayan değerli hocam Prof. Dr. İsmail KOYUNCU'ya teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın sonuçlarını teze aktarmamda desteğini ve ilgisini esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Derya İMER'e teşekkür ederim.

Çalışmam boyunca bana destek veren değerli çevre mühendisi arkadaşlarım Yağmur Ağgün Varol, Selen Üneder, Türker Türken ve Recep Kaya'ya teşekkür ederim.

Çalışma hayatım boyunca bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşmaktan çekinmeyen Çevre Yüksek Mühendisi Serdar Gökşen'e teşekkür ederim.

Sektörel bazda malzeme fiyatlarını elde etmemde bana yardımcı olan Gamze Gedik ve Jülyet Koçyan'a teşekkür ederim.

Çalışmam boyunca bana destek olan aileme ve kardeşim Yasemin Ünal'a teşekkür ederim.

Haziran 2015

Saliha Ünal
(Çevre Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	23
1.1 Çalışmanın Anlam ve Önemi	23
1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	24
2. SU KAYNAKLARI KİRLETİCİ TANIMLAMASI.....	27
2.1 Fiziksel ve Biyolojik Kirleticiler	27
2.1.1 Bulanıklık	27
2.1.2 Koku	27
2.1.3 Tat.....	28
2.1.4 Renk.....	28
2.1.5 Mikrobiyal kirlilik	28
2.1.6 pH.....	28
2.2 Kimyasal Kirleticiler	28
2.2.1 Sertlik.....	28
2.2.2 Demir	29
2.2.3 Mangan	29
2.2.4 Nitrat ve nitrit	30
2.2.5 Sodyum.....	30
2.2.6 Klorür.....	30
2.2.7 Sülfat.....	31
2.2.8 Klor.....	31
2.2.9 Potasyum	31
2.2.10 Fosfat	32
2.2.1.1 Alkalinite	32
2.2.1.2 Silika.....	32
2.2.1.3 Bor	33
2.2.1.4 Baryum	33
2.2.1.5 Arsenik.....	33
2.3 İçme ve Kullanma Suyu Arıtma Yöntemleri.....	34
2.3.1 Klasik arıtma yöntemleri	34
2.3.1.1 Dezenfeksiyon	34
2.3.1.2 Havalandırma.....	34
2.3.1.3 Hızlı karıştırma	34
2.3.1.4 Yavaş karıştırma	34
2.3.1.5 Çöktürme	35
2.3.1.6 Filtrasyon	35
2.3.2 İleri Arıtma Yöntemleri	35
2.3.2.1 Kum filtreleri	35
2.3.2.2 Aktif karbon filtreler.....	36
2.3.2.3 Demir mangan giderici filtreler	36
2.3.2.4 İyon değiştirici reçineli sistemler.....	37

2.3.2.5 Zeolit filtre	37
2.3.2.6 Kartuş filtre	37
2.3.2.7 Mekanik filtre	37
2.3.2.8 Arsenik giderici filtre	38
2.3.2.9 Ultraviyole dezenfeksiyonu	38
2.3.2.10 Degazör	39
2.3.2.11 Dolomit filtre	39
2.4 Kimyasal Ön Arıtma Yöntemleri	39
2.4.1. Antiskalant	39
2.4.2 Sodyum metabisülfid	40
2.4.3 Asit	40
2.4.4 Kostik	40
2.4.5. Biosid	40
2.5 Membran Prosesler	41
2.5.1 Mikrofiltrasyon	45
2.5.2 Ultrafiltrasyon	45
2.5.3 Nanofiltrasyon	45
2.5.4 Ters Osmoz	46
2.5.5 Elektrodizyonizasyon	46
3. TASARIM YÖNTEMLERİ VE MALİYET ÇALIŞMALARI.....	51
3.1 Projeksiyon Programının Tanıtımı	51
3.2 Projeksiyon Programının Kullanımı	51
3.3 Tasarımın Yapılması	53
3.4 Tasarım Sonuçlarının Yorumlanması	55
3.5 Maliyet Analizi İçeriği	57
3.6 Kurulum Maliyetinin Kapsamı	57
3.7 İçme suyu eldesine göre yapılan tasarımlarda baz alınan faktörler	63
3.8 Proses suyu eldesine göre yapılan tasarımlarda baz alınan faktörler	65
4. MALİYET ANALİZİ SONUÇLARI.....	69
4.1 Maliyet Senaryoları	69
4.2 Maliyet Performans Kriterleri	72
4.3 İçme Suyu Eldesi Kapsamında Maliyet Değerlendirmesi	72
4.4 Proses Suyu Eldesi Kapsamında Maliyet Değerlendirmesi	84
4.5 Proses Suyu ve İçme Suyu Ters Osmoz Sistemlerinin Oransal Maliyet Kapsamında Değerlendirmesi	90
5. SONUÇLAR	93
5.1 Proses Suyu Kapsamında Elde Edilen Sonuçlar.....	93
5.2 İçme Suyu Kapsamında Elde Edilen Sonuçlar	94
KAYNAKLAR.....	95
EKLER.....	93
ÖZGEÇMİŞ	101

KISALTMALAR

EDI	: Elektrodionizasyon
FRP	: Fiber Katkılı Polyester
MF	: Mikrofiltrasyon
MWCO	: Moleküler Ağırlık Engelleme Sınırı
NF	: Nanofiltrasyon
NTU	: Bulanıklık Birimi
RO	: Ters Osmoz
SDI	: Silt Tıkanma İndeksi
SMBS	: Sodyum Metabisülfid
TDS	: Toplam Çözünmüş Katı Madde
UF	: Ultrafiltrasyon
UV	: Ultraviyole

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Sürücü kuvvetlerine göre membranlar	42
Çizelge 2.2 : Membran yapımında kullanılan çeşitli maddeler	42
Çizelge 2.3 : Membran prosesler akı, basınç ve uygulama alanları.	44
Çizelge 2.4 : Ters osmozla reddedilen maddeler	47
Çizelge 2.5 : EDI besi suyu özellikleri	48
Çizelge 3.1 : Tasarımlarda kullanılan ters osmoz membranlarının özellikleri.....	58
Çizelge 3.2 : Nanofiltrasyon membranı özellikleri.....	59
Çizelge 3.3 : Ultrafiltrasyon membranı özellikleri	59
Çizelge 3.4 : İşletme maliyetleri için baz alınan birim fiyatlar	62
Çizelge 3.5 : Kuyu ve deniz suları kimyasal analiz değerleri.....	63
Çizelge A.1.1 : Ultrafiltrasyon tasarımından elde edilen veriler	98
Çizelge A.1.2 : RO sistemi tasarımından elde edilen veriler.....	99

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1: Membran filtrasyonu.	41
Şekil 2. 2: Süzülen madde, gözenek çapı ve membran prosesleri arasındaki ilişki...	43
Şekil 2. 3: Membran konfigürasyonları.	44
Şekil 2. 4: EDI çalışma prensibi.	49
Şekil 2. 5: EDI sistemi.	49
Şekil 3. 1: IMS Design programı ham su analiz parametreleri giriş ekranı.....	52
Şekil 3. 2: Inge Design programı ham su analiz parametreleri giriş ekranı.	52
Şekil 3. 3: IMS Design programı tasarım ekranı.	54
Şekil 3. 4: Inge Design programı tasarım ekranı.	54
Şekil 3. 5: IMS Design programı sonuç ekranı.	55
Şekil 3. 6: Inge Design programı sonuç ekranı.	56
Şekil 3. 7: EDI programı sonuç ekranı.	57
Şekil 4. 1: İçme suyu eldesi ekipman senaryo ağacı.....	70
Şekil 4. 2 : Proses suyu eldesi için ekipman maliyetleri senaryo ağacı.....	71
Şekil 4.3 : Beş farklı TDS aralığındaki suların RO sistemi ile arıtılmasında ön arıtma ultrafiltrasyon sistemi ile yapılması durumunda sistemin toplam maliyetinin kapasite ve tuzluluk ile ilişkisi.	72
Şekil 4. 4 : Beş farklı TDS aralığındaki suların RO sistemi ile arıtılmasında ön arıtmanın standart filtrasyon sistemleri ile yapılması durumunda sistemin toplam maliyetinin kapasite ve tuzluluk ile ilişkisi.	73
Şekil 4. 5 : Beş farklı TDS aralığındaki suların RO sistemi ile arıtılmasında ön arıtma ultrafiltrasyon sistemi ile yapılması durumunda sistemin ekipman maliyetinin kapasite ve tuzluluk ile ilişkisi.	74
Şekil 4. 6 : Beş farklı TDS aralığındaki suların RO sistemi ile arıtılmasında ön arıtmanın standart filtrasyon sistemleri ile yapılması durumunda sistemin ekipman maliyetinin kapasite ve tuzluluk ile ilişkisi.	75
Şekil 4. 7 : Beş farklı TDS aralığındaki suların RO sistemi ile arıtılmasında ön arıtma ultrafiltrasyon sistemi ile yapılması durumunda sistemin işletme maliyetinin kapasite ve tuzluluk ile ilişkisi.	75
Şekil 4. 8 : Beş farklı TDS aralığındaki suların RO sistemi ile arıtılmasında ön arıtmanın KF sistemleri ile yapılması durumunda sistemin işletme maliyetinin kapasite ve tuzluluk ile ilişkisi.	76
Şekil 4. 9 : 500-1000 ppm TDS aralığındaki kuyu suyundan NF sistemi ile içme suyu elde edilmesinin ön arıtmanın UF ve standart filtrasyon sistemleri ile yapılması durumunda toplam maliyetin kapasite ile ilişkisi.	77
Şekil 4. 10 : 500-1000 ppm TDS aralığındaki kuyu suyundan NF sistemi ile içme suyu elde edilmesinin ön arıtmanın UF ve standart filtrasyon sistemleri ile yapılması durumunda ekipman maliyetin kapasite ile ilişkisi.	77
Şekil 4. 11 : 500-1000 ppm TDS aralığındaki kuyu suyundan NF sistemi ile içme suyu elde edilmesinin ön arıtmanın UF ve standart filtrasyon sistemleri ile yapılması durumunda ekipman maliyetin kapasite ile ilişkisi.	78

Şekil 4. 12 : 500-1000 ppm TDS aralığındaki kuyu suyundan RO sistemi, NF sistemi ve yumuşatma sistemi ile içme suyu elde edilmesinin ön arıtmanın UF sistemleri ile yapılması durumunda toplam maliyetin kapasite ile ilişkisi.	79
Şekil 4. 13 : 500-1000 ppm TDS aralığındaki kuyu suyundan RO sistemi, NF sistemi ve yumuşatma sistemi ile içme suyu elde edilmesinin ön arıtmanın KF sistemleri ile yapılması durumunda toplam maliyetin kapasite ile ilişkisi.	80
Şekil 4. 14 : 500-1000 ppm TDS aralığındaki kuyu suyundan RO sistemi, NF sistemi ve yumuşatma sistemi ile içme suyu elde edilmesinin ön arıtmanın UF sistemleri ile yapılması durumunda ekipman maliyetinin kapasite ile ilişkisi.	81
Şekil 4. 15 : 500-1000 ppm TDS aralığındaki kuyu suyundan RO sistemi, NF sistemi ve yumuşatma sistemi ile içme suyu elde edilmesinin ön arıtmanın KF sistemleri ile yapılması durumunda ekipman maliyetinin kapasite ile ilişkisi.	82
Şekil 4. 16 : 500-1000 ppm TDS aralığındaki kuyu suyundan RO sistemi, NF sistemi ve yumuşatma sistemi ile içme suyu elde edilmesinin ön arıtmanın UF sistemleri ile yapılması durumunda işletme maliyetinin kapasite ile ilişkisi.	82
Şekil 4. 17 : 500-1000 ppm TDS aralığındaki kuyu suyundan RO sistemi, NF sistemi ve yumuşatma sistemi ile içme suyu elde edilmesinin ön arıtmanın KF sistemleri ile yapılması durumunda işletme maliyetinin kapasite ile ilişkisi.	83
Şekil 4. 18 : Beş farklı TDS aralığındaki suların RO sistemleri ile arıtılarak proses suyu elde edilmesinde ön arıtmanın UF sistemi ile yapılması durumunda sistemin toplam maliyetinin kapasite ve tuzluluk ile ilişkisi.	85
Şekil 4. 19 : Beş farklı TDS aralığındaki suların RO sistemleri ile arıtılarak proses suyu elde edilmesinde ön arıtmanın KF sistemi ile yapılması durumunda sistemin toplam maliyetinin kapasite ve tuzluluk ile ilişkisi.	86
Şekil 4. 20 : B: Beş farklı TDS aralığındaki suların RO sistemleri ile arıtılarak proses suyu elde edilmesinde ön arıtmanın UF sistemi ile yapılması durumunda sistemin ekipman maliyetinin kapasite ve tuzluluk ile ilişkisi.	87
Şekil 4. 21 : Beş farklı TDS aralığındaki suların RO sistemleri ile arıtılarak proses suyu elde edilmesinde ön arıtmanın KF sistemi ile yapılması durumunda sistemin ekipman maliyetinin kapasite ve tuzluluk ile ilişkisi.	88
Şekil 4. 22 : Beş farklı TDS aralığındaki suların RO sistemleri ile arıtılarak proses suyu elde edilmesinde ön arıtmanın UF sistemi ile yapılması durumunda sistemin işletme maliyetinin kapasite ve tuzluluk ile ilişkisi.	88
Şekil 4. 23 : Beş farklı TDS aralığındaki suların RO sistemleri ile arıtılarak proses suyu elde edilmesinde ön arıtmanın KF sistemi ile yapılması durumunda sistemin işletme maliyetinin kapasite ve tuzluluk ile ilişkisi.	89
Şekil 4. 24 : Proses suyu eldesi kapsamında 500-1000 ppm TDS değerinde kuyu suyunun UF sistemi ön arıtımında 10000 m ³ /gün kapasiteli ters osmoz sistemlerinin toplam maliyet ve işletme maliyeti oransal dağılımı.	91
Şekil 4. 25 : İçme suyu eldesi kapsamında 500-1000 ppm TDS değerinde kuyu suyunun UF sistemi ön arıtımında 10000 m ³ /gün kapasiteli ters osmoz sistemlerinin toplam maliyet ve işletme maliyeti oransal dağılımı.	91

- Şekil 4. 26 :** Proses suyu eldesi kapsamında 5000-10000 ppm TDS değerinde kuyu suyunun UF sistemi ön arıtımında 10000 m³/gün kapasiteli ters osmoz sistemlerinin toplam maliyet ve işletme maliyeti oransal dağılımı..... 91
- Şekil 4. 27 :** İçme suyu eldesi kapsamında 5000-10000 ppm TDS değerinde kuyu suyunun UF sistemi ön arıtımında 10000 m³/gün kapasiteli ters osmoz sistemlerinin toplam maliyet ve işletme maliyeti oransal dağılımı..... 92
- Şekil 4. 28 :** Proses suyu eldesi kapsamında 38000 ppm TDS değerinde deniz suyunun UF sistemi ön arıtımında 10000 m³/gün kapasiteli ters osmoz sistemlerinin toplam maliyet ve işletme maliyeti oransal dağılımı..... 92
- Şekil 4. 29 :** İçme suyu eldesi kapsamında 38000 ppm TDS değerinde deniz suyunun UF sistemi ön arıtımında 10000 m³/gün kapasiteli ters osmoz sistemlerinin toplam maliyet ve işletme maliyeti oransal dağılımı. 92

NİHAİ KULLANIM AMACINA GÖRE UYGULANAN SU ARITMA YÖNTEMLERİ İLE İÇME VE PROSES SUYU ÜRETİMİNİN MALİYET ANALİZİ

ÖZET

Dünya nüfusunun artışı ile birlikte kaliteli ve yeterli miktarda suya erişim ihtiyacı günden güne önem kazanmaktadır. Sadece dünyada değil Türkiye’de de endüstriyel ve tarımsal faaliyetlerin artışı, dış göç, yaşam kalitesindeki yükseliş, iklim değişiklikleri ile yağışların azalması gibi nedenlerle su sıkıntısı kendini göstermektedir. Türkiye'nin kullanılabilir su potansiyeli 110 milyar m³ olup, bunun % 16'sı içme ve kullanmada, % 72'si tarımsal sulamada, % 12'si de sanayide tüketilmektedir.

Türkiye, kişi başına düşen yıllık ortalama 1.430 m³ su ile su yoksulu bir ülkedir. DSİ Genel Müdürlüğü verileri, 2030 yılında su kaynaklarımızın %100 verimle kullanılacağını öngörmektedir. 2030 yılında nüfusu 80 milyona ulaşacak olan Türkiye, kişi başına düşen 1100 m³ kullanılabilir su miktarıyla, su sıkıntısı çeken bir ülke durumuna gelecektir.

Ülkemizde yaşanan su sıkıntısının giderilmesine yönelik alınacak önlemler arasında doğru su politikalarının ve yönetiminin uygulanmasının yanısıra su arıtma teknolojilerinin kullanımı da ön plana çıkmaktadır. 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 arıtılabilir 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.

Birçok yeni su arıtma teknolojisi ile kuyu suları, yüzeysel sular, deniz sularının arıtılması ve atıksuların geri kazanılarak tekrar kullanılması mümkündür. Sayılan amaçlar için ülkemizde son yıllarda en çok kullanılan su arıtma teknolojisi membran proseslerdir. Membran prosesler ile hem hijyenik içme suyu hem de endüstriyel kullanım için proses suyu elde edilmesi mümkündür.

Bu çalışmada nihai kullanım amacına göre membran prosesleri de içeren su arıtma yöntemleri ile içme ve proses suyu elde edilmesinin maliyet analizleri incelenmiştir.

Farklı kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip kuyu ve deniz sularının orta ölçekte içme suyu ve proses suyu haline getirilmesi için maliyet hesaplamaları yapılmıştır.

Düşük ve orta değerlerde tuzluluk içeren kuyu suları ile orta ve yüksek tuzluluk değeri içeren deniz suları için 1000 m³/gün, 2500 m³/gün, 5000 m³/gün ve 10.000 m³/gün kapasiteler için içme ve proses suyu eldesine göre maliyet analizleri karşılaştırılmıştır.

Kuyu sularında 3 farklı tuzluluk değeri baz alınarak nihai kullanım amacına göre ön arıtma, membran prosesler ve son arıtma yöntemlerinin maliyet analizi incelenmiştir.

Deniz sularında da 2 farklı tuzluluk değeri baz alınarak nihai kullanım amacına göre ön arıtma, membran prosesler ve son arıtma yöntemlerinin maliyet analizi incelenmiştir. Proses suyu eldesi kapsamında kuyu suyu RO sistemlerinde en düşük maliyetlerin 500-1000 ppm TDS aralığında KF sistemlerinin kullanıldığı alternatifler olduğu görülmektedir.

Proses suyu eldesi kapsamında 500-1000 ppm ile 2000-5000 ppm TDS değerlerinde RO sistemleri kullanılması ile EDI sistemleri giriş suyu kalitesinin (31 ppm TDS) temin edildiği görülmüştür.

Proses suyu eldesi kapsamında 5000-10000 ppm TDS değerinde kuyu suyu, 19500 ppm ve 38000 ppm değerlerinde deniz sularının RO sistemi ile arıtılması ile EDI sistemleri giriş suyu kalitesinin yakalanamadığı görülmüştür (sırasıyla 84 ppm, 78 ppm ve 151 ppm).

Bu nedenle istenilen ürün suyu değerine ulaşmak için 2. kademe RO sistemi kullanılması ve ardından EDI sistemi kullanılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

10000 m³/gün kapasite için en düşük tuzluluk değerinde proses suyu eldesi toplam maliyetinin, içme suyu eldesi toplam maliyetinden ortalama % 35 daha pahalı olduğu görülmektedir. İçme suyu eldesi kapsamında NF ve yumuşatma sistemleri karşılaştırılmasında en düşük işletme maliyeti KF sistemlerinin ön arıtma olarak kullanıldığı 1000 m³/gün kapasite için elde edilmiştir.

RO ve NF sistemleri ile içme suyu eldesi kapsamında NF sistemleri birim su ekipman maliyetinin RO sistemlerine göre % 5 daha pahalı olduğu tespit edilmiştir. RO ve NF sistemlerinin işletme maliyetleri açısından karşılaştırılmasında ise RO'nun NF sistemlerine göre % 8 daha pahalı kaldığı hesaplanmıştır. NF sistemleri için kullanılan yüksek basınç pompalarının basınçlarının düşük olması işletme maliyetlerine yansımaktadır.

İçme suyu eldesi kapsamında çıkış suyu kalitesi açısından en düşük TDS değerlerinin RO sistemleri 30-110 ppm seviyelerine indirildiği, NF sistemleri ile TDS değerinin 180 ppm'e ve toplam sertlik değerinin 3 Fr seviyelerine indirilebildiği, yumuşatma sistemlerinde sertlik 1-5 Fr değerine getirilebilse de TDS değerinin aynı kaldığı görülmektedir.

38000 ppm TDS değerine sahip deniz suyundan içme suyu eldesi işletme maliyetinin, 19500 ppm deniz suyundan içme suyu eldesi işletme maliyetine göre ortalama % 16 daha ucuz olduğu tespit edilmiştir.

THE COST ANALYSIS OF OBTAINING DRINKING AND PROCESS WATER AND WATER TREATMENT SYSTEMS FOR THE END USE PURPOSES

SUMMARY

Water is the foundation of life. Without water, life on Earth would have never begun. Acting as a medium in which organic compounds could mix with one another, water facilitated the formation of the planet's first life forms, possibly even protecting them from the sun's radiation.

From those simple starter organisms to the most complex plants and animals, water has played a critical role in survival ever since. In humans, it acts as both a solvent and a delivery mechanism, dissolving essential vitamins and nutrients from food and delivering them to cells. Our bodies also use water to flush out toxins, regulate body temperature and aid our metabolism. No wonder, then, that water makes up nearly 60 percent of our bodies or that we can't go for more than a few days without it. And it is not only we humans who need it; all life is dependent on water to survive. The two major legacies of the 20th Century - the population and technological explosions - have taken their toll on our water supply. More people lack drinking water today than they did two decades ago. More and more freshwater sources are being used-up and contaminated. Modern technologies have allowed us to harness much of the world's water for energy, industry and irrigation - but often at a terrible social and environmental price - and many traditional water conservation practices have been discarded along the way.

The water crisis is the #1 global risk based on impact to society (as a measure of devastation), and the #8 global risk based on likelihood (likelihood of occurring within 10 years) as announced by the World Economic Forum, January 2015. 750 million people around the world lack access to safe water; approximately one in nine people. More than twice the population of the United States lives without access to safe water. Diarrhea caused by inadequate drinking water, sanitation, and hand hygiene kills an estimated 842,000 people every year globally, or approximately 2,300 people per day. 82% of those who lack access to improved water live in rural areas, while just 18% live in urban areas. The problem of water scarcity is a growing one. As more people put ever increasing demands on limited supplies, the cost and effort to build or even maintain access to water will increase. And water's importance to political and social stability will only grow with the crisis

With the increase in the world population, the need of accessing high quality and adequate amount of water becomes very important. Because of increasing industrial and agricultural activities, migration, standard of living, climate change and lack of rainfall, the water shortage manifest itself not only in the world, but also in Turkey. The usable water potential of Turkey is 110 billion m³ and 16% of it is consumed for drinking and usage, 72% for agricultural activities and 12% for industrial activities.

In Turkey, annual average amount of water per person is 1430 m³ which makes it a water poor country. General Directorate for State Hydraulic Works observed that our water resources would be used 100% capacity in 2030. However, in 2030 Turkey's population will be reached to 80 billion and annual average amount of water per person will be decreased to 1100 m³ which makes the country facing the water shortage.

In order to overcome the water shortage problem in our country, the use of water treatment technology as well as the implementation of the right water policies and management measures should be taken. Alternative solutions should be found for regions where no dams, lakes or rivers are absence. The most permanent 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 analysis has been done until today. With a detailed cost analysis, useful data 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.

With the new water treatment technology, it is now possible to purificate the well water, surface or sea water and to recycle the waste water for reutilizing. For these purposes, most widely used water treatment technology in our country is membrane processes. In order to obtain hygienic drinking water and process water for industrial usage, membrane processes can be used. In this study, water treatment processes including membrane processes and cost analysis of obtaining drinking and process water are investigated according to the end use purposes.

Previous thesis studies were made large and medium size cost analysis for obtaining drinking water and in these thesis pre-treatment equipments were also analyzed such as mechanic filter, sand filter and ultrafiltration systems which were used before the membrane process.

However, this thesis –differs from the other studies- covers obtaining the drinking water and process water for medium capacity from the different chemical and physical characteristics of the well and sea water. Also, the operating costs were analyzed in the thesis. The choice of the treatment systems and the results obtained in this thesis help finding out establishing medium capacity water treatment system in Turkey's condition. This thesis would also help the future literature and feasibility studies which will be held on this issue.

In all the process water and drinking water scenarios, standard filtration and ultrafiltration systems alternatives which were used in pre-treatment were evaluated in the context of the effect of the costs. In the context of the drinking water, the cost analyses were evaluated for the RO, NF and softener systems which has 500-1000 ppm.

In order to obtain process water –if the end use is process water- treatment scenarios were evaluated for the effluent salinity values. EDI systems which are used after the RO systems were evaluated for the cost according to influent (using the single staged or double staged RO systems). The costs which transforming the well and sea water - with different chemical and physical properties- into medium level drinking water and process water are analyzed.

In order to obtain drinking and process water, well water containing low and medium level of salinity and sea water containing medium and high level of salinity are analyzed according to 1000 m³/day, 2500 m³/day, 5000 m³/day ve 10000 m³/day capacities and the cost analysis are compared.

For the well water, three different salinity values are used and according to the end use, the cost analysis of pre-treatment, membrane processes and post treatment methods are analyzed. For the sea water, two different salinity values are used and according to the end use, the cost analysis of pre-treatment, membrane processes and post treatment methods are analyzed.

Within the context of obtaining process water in well water RO systems, the lowest cost alternative would be using the KF systems for the TDS range of 500-1000 ppm. Within the context of obtaining process water for the TDS range of 500-1000 ppm and 2000-5000 ppm RO systems gave the best alternative for EDI systems influent water quality (31 ppm TDS).

Within the context of process water, the well water which has 5000-10000 ppm TDS values, using RO systems for sea water which is 19500 ppm and 38000 ppm could not catch the EDI systems influent water quality (84 ppm, 78 ppm and 151 ppm).

We can also see that obtaining process water total cost for 1000 m³/day capacity and lowest salinity value was more expensive than the drinking water total cost. Within the context of drinking water using KF systems as pre-treatment gave the lowest operating cost for 1000 m³/day capacity.

Within the context of drinking water NF systems were more expensive than the RO systems. While we evaluated the operating system costs, RO systems were more expensive than the NF systems. Within the context of drinking water, while we were evaluating the effluent quality, RO systems reduced the TDS values to 30-110 ppm, NF systems reduced the TDS values to 180 and the total hardness to 3 Fr. However the softener systems change the the total hardness to 1-5 Fr but did not affect the TDS values. The operating cost of sea water which has the TDS of 38000 ppm is cheaper than the TDS of 19000 ppm sea water.

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Anlam ve Önemi

Su canlıların yaşaması için hayati öneme sahiptir. En küçüğünden en büyüğüne kadar tüm canlı varlıkların, tüm biyolojik ve insani fonksiyonların devamını sağlayan sudur. Dünyadaki toplam su miktarı 1,4 milyar km^3 'tür. Bu suların % 97,5'i okyanuslarda ve denizlerde tuzlu su olarak, % 2,5'i ise nehir ve göllerde tatlı su olarak bulunmaktadır. Bu kadar az olan tatlı su kaynaklarının da % 90'ının kutuplarda ve yeraltında bulunması sebebiyle insanoğlunun kolaylıkla yararlanabileceği elverişli tatlı su miktarının ne kadar az olduğu anlaşılmaktadır.

DSİ verilerine göre ülkemizin tüketilebilir yerüstü ve yeraltı su potansiyeli yılda ortalama toplam 112 milyar m^3 olup, 44 milyar m^3 'ü kullanılmaktadır. Yılda kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı 1.000 m^3 'ten daha az olan ülkeler su fakiri ve yılda kişi başına düşen kullanılabilir su miktarı 2.000 m^3 'ten daha az olan ülkeler su azlığı çeken ülkeler olarak sınıflandırılmaktadır. Ülkemizde kişi başına düşen yıllık su miktarına göre ülkemiz su azlığı yaşayan bir ülke konumundadır. Kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı 1.519 m^3 civarındadır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 2030 yılı için nüfusumuzun 100 milyon olacağını öngörmüştür. Bu durumda 2030 yılı için kişi başına düşen kullanılabilir su miktarının 1.120 m^3 /yıl civarında olacağı söylenebilir [12].

Ülkemizde yaşanan su sıkıntısının giderilmesine yönelik alınacak önlemler arasında doğru su politikalarının ve yönetiminin uygulanmasının yanısıra su kaynaklarının su arıtma teknolojileri ile arıtılarak kullanımı önem kazanmaktadır.

Su arıtma teknolojilerinin kullanımı ile kuyu suları, yüzeysel sular, deniz sularının arıtılması ve atıksuların geri kazanılarak tekrar kullanılması mümkündür. Sayılan amaçlar için ülkemizde son yıllarda en çok kullanılan su arıtma teknolojisi membran proseslerdir. Membran prosesler ile hem sağlıklı içme suyu hem de endüstriyel kullanım için proses suyu elde edilmesi mümkündür.

Suyun uygun miktarda elde edilmesinin yanısıra kullanım amacına uygun kalitede elde edilmesi de önemlidir. Bu çalışmada nihai kullanım amacına göre membran prosesleri de içeren su arıtma yöntemleri ile içme ve proses suyu elde edilmesinin maliyet analizleri incelenmiştir.

Kullanım amacına göre istenilen çıkış suyu kalitesi baz alınarak hangi arıtma yöntemlerinin uygulanabileceği, ön arıtma sistemlerinin neler olacağı, ana arıtma birimi ve içme veya proses suyu olmasına göre son arıtma sistemlerinde hangi yöntemlerin uygulanabileceği, bu kapsamda günümüzde yaygın olarak kullanılan membran proseslerin maliyet analizindeki yeri değerlendirilmiştir.

1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Bu çalışmada Türkiye’de son 10 yılda kullanımı daha da artan mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon, ters osmoz ve elektrodeiyonizasyon proseslerinin nihai kullanım amacına yönelik maliyetlerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Ülkemizde son yıllarda şehir ve ilçelerde içme suyunun elde edilmesi ile endüstriyel sektörlerde proses suyu ihtiyacının karşılanması maksadıyla membran proseslerin kullanımı artış göstermektedir.

Özellikle yüksek miktarda su kullanan enerji, ilaç, tekstil ve kimya endüstrisi gibi sektörlerde proses suyu için uygun kalitede su kaynağına ulaşım sıkıntı oluşturmaktadır.

Daha önce yapılan büyük ve orta ölçekli maliyet analizi incelenmesi tezlerinde sadece içme suyu elde edilm esine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Membran prosesler öncesinde kullanılan ön arıtma ekipmanlarının mekanik filtre, kum filtre ve ultrafiltrasyon sistemleri olması durumları incelenmiştir.

Bu tez kapsamında ise diğer çalışmalardan farklı olarak orta kapasiteli membran prosesler ile farklı kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip kuyu ve deniz sularının orta kapasitede hem içme suyu eldesi hem de istenilen kalitede proses suyu eldesi için maliyet analizleri yapılmıştır.

Düşük ve orta değerde tuzluluk içeren kuyu suları ile orta ve yüksek tuzluluk değeri içeren deniz suları için 1000 m³/gün, 2500 m³/gün, 5000 m³/gün ve 10.000 m³/gün

kapasiteler için içme ve proses suyu eldesine göre maliyet analizleri karşılaştırılmıştır.

Tüm proses suyu ve içme suyu senaryolarında ön arıtmada standart filtrasyon sistemleri ve ultrafiltrasyon sistemleri alternatiflerinin maliyetlere etkisi değerlendirilmiştir. İçme suyu kapsamında 500-1000 ppm TDS aralığında RO, NF ve yumuşatma sistemlerinin maliyet analizleri yapılmıştır.

Nihai kullanım amacının proses suyu eldesi olması durumunda ve çıkış suyu tuzluluk değerlerine göre arıtma senaryoları şekillendirilmiştir. RO sistemlerinden sonra kullanılacak EDI sistemlerinin girişsuyu kalitesine göre tek kademe ve çift kademe RO sistemlerinin uygulanması ve maliyete etkisi değerlendirilmiştir.

Kuyu sularında 3 farklı tuzluluk değeri baz alınarak nihai kullanım amacına göre ön arıtma, membran prosesler ve son arıtma yöntemlerinin maliyet analizi incelenmiştir.

Deniz sularında da 2 farklı tuzluluk değeri baz alınarak nihai kullanım amacına göre ön arıtma, membran prosesler ve son arıtma yöntemlerinin maliyet analizi incelenmiştir.

2. SU KAYNAKLARI KİRLLETİCİ TANIMLAMASI

2.1 Fiziksel ve Biyolojik Kirleticiler

2.1.1 Bulanıklık

Bulanıklık, suyun ışık geçişini engelleyen, askıda katı madde içeren sularda görülür. Bulanıklığa kil, silt, parçalanmış organik ve inorganik maddeler, çözünmüş renkli organik bileşikler, askıdaki katı maddeler, plankton ve mikroskobik organizmaların meydana getirdiği askıdaki katı maddeler gibi birçok madde neden olabilir. Bulanık su estetik olmadığı gibi patojenik (hastalık yapıcı bakteri bulundurabilir) de olabilir.

Bulanıklık, çevresel açıdan 3 nedenle önem teşkil eder. İlki; estetik açıdan kullanımından kaçınılması, ikincisi filtre edilebilirliğinin düşük olması, son olarak ise dezenfekte edilebilirliğinin etkili olmamasıdır. EPA ve dünya sağlık örgütü (WHO) tarafından 1 NTU (bulanıklık birimi)'yu geçmemesi önerilmektedir. Bulanıklık, genellikle nefelometrik teknikle ölçülür. Cihazda bir ışık kaynağı numuneyi aydınlatır ve dik açılarla yansıtılan ışığın yoğunluğu ölçülerek bulanıklık tayini yapılır. Bulanıklık verisi içme ve kullanma sularında oldukça yaygın olarak kullanılır. Evsel ve endüstriyel atıksularda daha hızlı sonuç elde etmek için Askıda Katı Madde (AKM) yerine kullanılabilir [6].

2.1.2 Koku

Koku zararlı bir kirliliğin suda varolduğunu belirten gerekli bir parametredir. Çünkü tehlikeli ya da en azından suyun estetik kalitesini azaltacak kirleticilerin tespit edilmesinde erken bir uyarı sağlar [osmonics]. Organik ve inorganik bileşikler kokuya katkıda bulunabilir. Koku insani, doğal veya biyolojik kaynaklı olabilir. Doğal kaynaklı koku, tuz ve minerallerin çözünmesi ile oluşur. Demir, mangan ve tuzlar, tuzlu bir tat vermektedir. Mikrobiyal aktivite ile koku, yüzeysel ve yeraltı sularına taşınmaktadır.

2.1.3 Tat

Tat içme suyundaki zararlı kirleticiler için belli bir gösterge olabilir fakat bu kesinlikle zararlı bir kirleticiyi tespit edeceğine dayandırılmaz [6].

2.1.4 Renk

Sudaki renk parametresi öncelikle organik maddelerin suyun içeriğinde yer almasından kaynaklanmaktadır. Bunun yanı sıra bazı metal iyonları (demir ve manganez gibi) suyun renginin değişmesine neden olmaktadır. Suyun renkli olması, sağlıksız olduğu anlamına gelmemekte ve suyun kalitesi hakkında görsel bir bilgi vermektedir. İçerisinde organik madde bulunabileceğini gösterir. Klor ihtiyacını artırır. THM oluşum potansiyelini artırır. Renk parametresi hem sağlık hem de estetik açıdan endişeye sebep olmaktadır [6].

2.1.5 Mikrobiyal kirlilik

Doğal su kaynakları mikrobiyolojik tehditlere açıktır. Sudaki mikrobiyolojik tehditler çeşitlilik göstermektedir. Ancak çoğunlukla mikrobiyal kirlenme insan ya da hayvan dışkı kaynaklıdır.

2.1.6 pH

pH suyun asidik ya da bazik yapıda olma durumunu gösteren bir terimdir. Çevre mühendisliğindeki birçok proseste çok önemli bir yere sahiptir. Kimyasal işlemlerde çökebilirliğe etki ederken, biyolojik işlemlerde organizma aktivitesini etkiler [6].

2.2 Kimyasal Kirleticiler

2.2.1 Sertlik

Sularda çözünmüş olarak bulunan kalsiyum ve magnezyum iyonlarının varlığı sertlik olarak tanımlanmaktadır. Hemen hemen tüm su kaynaklarında farklı derecelerde sertliğin var olduğu bilinmektedir. Sertlikle ilgili ana sorun çökelti oluşturmastır. Kalsiyum ve magnezyumu tarif etmek için karbonat ve bikarbonat sertliği terimleri kullanılmaktadır [6].

Yumuşak bir suya sahip olmak tasarruf sağlar. Endüstriyel kullanımlarda ısıtıcı ve proses teçhizatı, eşanjör, kazan ve borularda kireçlenmeyi önleyerek daha iyi bir ısı transferi, daha az yakıt veya soğutma suyu kullanımı sağlar Evsel kullanımlarda ve

temizlik sektöründe daha az sabun ve temizlik malzemesi kullanılır. Su tesisatı daha uzun ömürlü olur. Yumuşak suyla banyo yapıldığında cilt daha yumuşak olur. Ciltde sabun kalıntıları kalmaz.Kireç-soda yönetmi ve iyon değıştirici reçineler giderimi mümkündür [sukimyası]. Kalp ve kemik rahatsızlıklarında etken olabilmektedir [8].

2.2.2 Demir

Yerkabuğunun % 5'ini oluşturan demir yaygın bir kirleticidir. Çözünebilen Fe^{2+} formundan, çözünmeyen Fe^{3+} durumuna geçişinin kolay olması nedeniyle giderimi zordur [6].

Demiri enerji kaynağı olarak kullanan bakteriler demiri indirgemekte ve paslı, jelatinimsi bir çamur oluşturarak bulunduğu yüzeylerde birikimler yapar. Ayrıca suya kırmızı-kahverengimsi renk verir [8]. Demir, membranlara zarar verdiği için ters ozmos gibi membran proseslerde istenmemektedir. İçme suyunda demirin 0,3 mg/l konsantrasyona kadar tadı fark edilmez. 1-3 mg/l arasında içme suyunda bulunabilmektedir. Vücutta birikim yaparak zararlı hale gelebileceğı maksimum müsaade edilebilir değeri 3 mg/l'dir. Fakat suda bulunması tat ve görünüm açısından istenmez [8].

Çözünebilir demir seyreltici kimyasallar, demir giderim filtreleri, yumuşatma sistemleri, multimedya filtrasyon sistemleri ve sınırlı olarak da ultrafiltrasyon ile giderilebilir. Çökelti kaynağı olarak demir RO besleme basıncı ihtiyacını ve ürün TDS değerini arttırır. Bazı durumlarda, demir varlığı demir indirgeyici bakterilere enerji kaynağı olarak biofouling problemini oluşturur. bakteri ironreducing için bir enerji kaynağı olarak bir biyo-kirlenme sorun oluşturabilir. Bu bakteriler ince bir biyofilm tabakası oluşturarak RO besleme yolunu tıkayabilir [10].

2.2.3 Mangan

Mangan çok düşük konsantrasyonlarda bile su sistemi problemlerine neden olabilmektedir. Mangan içme sularında istenmeyen renk ve bulanıklığa sebep olur. Su borularının iç cidarlarında birikerek, kesit daralmasına ve tıkanmalara yol açarlar [8]. Mangan da demir gibi membranlara zarar veren bir parametredir [6].

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 [6].

Mangan hem kuyu hem de yüzeysel sularda 3 mg/l'ye kadar bulunabilen bir kirleticidir. Demir gibi mangan da yüzeysel sulardaki organik kompleks bileşikler içerisinde bulunabilir. Oksijen içermeyen sularda çözünürdür. Oksitlenmiş halde çözünmez ve siyah mangan dioksit çökeltisi halindedir. İçme suyu yönetmelikleri siyah lekelenme nedeniyle maksimum mangan seviyesini 0,05 ppm olarak sınırlamışlardır. Demir seyreltici kimyasallar mangan çökmesini önlemek için de kullanılabilir [10].

2.2.4 Nitrat ve 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 bulunmaması ile ilgili olmaktadır [6].

Azotlu organik bileşiklerin son yükseltgenme ürünleridir. Kuyu sularında nitrat genelde daha fazla bulunur. Özellikle bebeklerde blue-baby denilen hastalığa neden olur. Vücudu morarmaya başlayan bebeklerde bu hastalık ölüme dahi neden olabilir. İyon değiştirme ve ters ozmos giderim yöntemlerindendir [8].

Nitrat tuzları yüksek çözünürlüğe sahiptir ve RO için çökelti sorunu oluşturmaz. Kuyu suyu kaynaklarında, amonyak ve amonyum nitrat iyonu daha yaygındır [10].

2.2.5 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 [10].

2.2.6 Klorür

Klorür, tüm doğal sularda çok yaygın bir şekilde bulunan iyon türüdür. Sulara yeraltı formasyonlarından çözünme yolu ile ya da tuzlu su – tatlı su girişimleri sonucu katılabilir. İnsan ürününden günde kişi başına ortalama 6 gr kadar klorür atılmaktadır. Klorürün normal konsantrasyonlarında bir sağlık sakıncası yaratmadığı bilinmektedir.

Ancak, 250 mg/l'ten yüksek konsantrasyonlarda tuz tadı oluşmaktadır. Klorür suyun iletkenliğini artırdığı için korozyonu kolaylaştırır. Konsantrasyonların yüksek olduğu sularda klorür; tat, koroziye eğilim ya da yumuşatma prosesine ters etki ile varlığını gösterir [8].

2.2.7 Sülfat

Sülfat, çevre sularına doğal yollardan karışan en önemli iyonlardan biridir. Bütün doğal sularda değişen miktarlarda sülfat bulunur. Düşük seviyelerde sülfat sadece özel proseslerde problem yaratmaktadır. Yüksek seviyelerde ise, acı bir tat oluşturmakta ve laksatif etki yapmaktadır. Sülfür bileşikleri, çeşitli reaksiyonlar sonunda oluşturdukları tat, koku, toksidite ve korozyon gibi problemleriyle önemli kirletici durumundadırlar. Sülfatlar, kazan sularında CaSO_4 ve MgSO_4 çökeltileri oluşturduğundan, bu tip sularda çok düşük miktarlarda tutulmalıdırlar. Çoğu iki değerlikli metal-sülfat tuzları çözünmemekte ve düşük konsantrasyonda çökmektedir.[6] Sodyum sülfat ve magnezyum sülfat, insanlarda müshil etkisi gösterdiklerinden 250 mg/l'te üst sınırla sınırlandırılmıştır.[8] Şiddetli ishal ile su kaybının meydana gelmesi, özellikle bebeklerde ve çocuklarda ölüm ile sonuçlanabilmektedir. Sülfat arıtım yöntemleri ters osmos, distilasyon, oksidasyon veya iyon değiştirici olarak sayılabilir [8].

2.2.8 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 [6].

2.2.9 Potasyum

Potasyum en sık klorür (KCl) ile bulunan bir elementtir ancak sodyum klorür kadar yaygın değildir. Bazı endüstriyel işlemlerde de kullanılır. Sadece saf su kalitesi gerektiğinde KCl varlığı genellikle bir sorundur [6].

2.2.10 Fosfat

Fosfatlar, yüzey sularına fosfatın yaygın olarak bulunduğu gübre ve deterjanlardan girer. Fosfat hidrolojik döngü içerisinde organik birikintilerin bozunması ile de girer. Birçok Antiskalant formülasyonunda fosfatlar kullanılmaktadır. Ultra saf su gerekli olmadıkça çoğu su kaynaklarında bulunan belli seviyelerdeki fosfat bir soruna neden olmaz. Fosfat yüzey suları veya açık depolama tanklarında alg yosunlarının büyümesine sebep olabilir [6].

2.2.1.1 Alkalinite

Alkalinite suyun asidi nötralize etme kabiliyetidir. Doğal olarak meydana gelen alkalinite, dünyanın doğal tamponlama sistemi olarak görev yapar. Bu tamponlama yeteneği küçük dozlarda güçlü asitler (örn. asit yağmuru) sudaki alkalinite ile reaksiyona girdiğinde meydana gelir. Asit karbonatları bikarbonata, bikarbonatları da karbondioksit'e dönüştürür. Her iki reaksiyon suyun pH'ındaki çok küçük değişiklikler içerisinde meydana gelir [10].

Toplam Alkalinite genelde "*mg/L CaCO₃ cinsinden*" ifade edilir. Su içinde bulunan aşağıdaki iyonlar Alkaliniteyi oluştururlar: OH⁻ (Hidroksil iyonu), CO₃⁻ (Karbonat iyonu), HCO₃⁻ (Bikarbonat iyonu) Sanayi proseslerinde istenmediği için giderilmesi gerekir. Suyun Alkalinite değerinin yüksek olması başta buhar kazanı olmakla beraber başkaca işlemler için de zararlıdır. Günümüzde, alkaliniteyi gidermenin en kolay yolu ters osmoz sistemi kullanmaktır. Bunun dışında iyon değiştirici reçinekiireç ile çökertme gibi teknikler de kullanılabilir [9].

2.2.12 Silika

Her su kaynağı en azından bir miktar silika içerir. Silika birkaç ppm'den 200 ppm seviyesine kadar bir oranda doğal olarak oluşur. Dünyadaki en yaygın elementlerden biridir. Silika yarattığı sorunlar arasında çökeltme, boyler kazanları ve soğutma kuleleri içinde camlaşma sayılabilir. Çökelen silikayının giderilmesi zordur. Birçok çökelen tuzun aksine silika daha yüksek pH aralıklarında daha fazla çözünür.

Silika doğal sularda reaktif (iyonik), nonreaktif (kolloidal) ve partiküler formlarda bulunmaktadır. Kolloidal silika ters osmoz gibi filtrasyon sistemlerinin verimini düşürebilir. Yüksek basınçlı kazan sistemlerinde önemli bir husustur [6].

Artan sıcaklık ile reaktif silika çözünürlüğü artar. pH'nın 7'den az veya 7,8'den fazla olduğu durumlarda da çözünürlük artmaktadır. Suda demir varlığında çözünürlük düşer. Silika giderimi pH'ya duyarlıdır [10].

2.2.13 Bor

Bor volkanik jeolojiye sahip bölgelerdeki yer altı sularında yaygın olarak bulunan doğal bir parametredir. İnsanlar için hafif toksik özellikte olmakla birlikte bitkiler ve özellikle narenciye çeşitleri için yüksek toksisiteye sahiptir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) kılavuzunda içme suyundaki bor içeriği için 0.5 mg/lt (ppm) değer verilmiştir. Bor birçok elementin aksine iyonize formda değildir. İçme suları ve deniz suyunda Borik asit (H_3BO_3) veya Borat iyonu olarak iki formda bulunur [11]. Hangi formun dominant olacağı pH değerine bağlıdır. pH 7'den daha düşük değerlerde, borik asit H_3BO_3 ya da $B(OH)$ olarak çözünmemiştir. pH 11.5 daha yüksek bir değerde, boron çözünmüş borat $B(OH)_4^-$ meydana getirir [11].

Deniz suyu bor 3-5 mg/lt (ppm) içerir. Deniz suyu ters osmoz prosesleri ile boru gidermek zordur. Çünkü SWRO membranları pH seviyesi 10'a getirilmediği sürece borik asit giderimini sınırlı düzeyde yapar. Ters osmoz sistemlerinde birinci aşamada SWRO ürün suyu bor içeriği 1-3 mg/lt'dir. IX tuzdan arındırma sırasında ürün su içinde bor istenen seviyelerinin elde edilmesi için SWRO ile kombinasyon halinde de kullanılabilir. SWRO ile birlikte kullanılacak iyon değiştirici reçine ürün suyunda istenilen bor seviyesini sağlayabilir [11].

2.2.14 Baryum

Baryum sülfat en çözünmez alkali sülfattır. Su içinde mevcut olduğunda çökmeye neden olur. Kalsiyum sülfat ve stronsiyum sülfat çökmesinde bir katalizör gibi davranır. Birçok doğal suda baryum sülfat çökmesine sebep olacak seviyede baryum bulunur. baryum konsantre akımı içinde baryum sülfat çökmesine yol açacak bir seviyede mevcuttur [11].

2.2.15 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 [1].

2.3 İçme ve Kullanma Suyu Arıtma Yöntemleri

2.3.1 Klasik arıtma yöntemleri

2.3.1.1 Dezenfeksiyon

İçme suyu kalite standartlarını sağlamak için patojen mikroorganizmaları gidermek ve/veya pasif hale getirmek için kullanılır. İçme suyu tesislerinde, arıtılmış suyun son kullanım noktasına hijyenik bir şekilde iletmesi için tesis çıkışında son kademe dezenfeksiyon yapılmaktadır.

Klor, klordioksit, kloraminler, potasyum permanganat gibi çeşitli kimyasallar, ozon ve ultraviyole dezenfeksiyonu kullanımıyla dezenfeksiyon işlemi gerçekleştirilebilmektedir.

2.3.1.2 Havalandırma

Havalandırma; ham suya oksijen kazandırmak, sularda bulunan demir ve manganın oksitlenerek giderilmesini, suda koku ve tat yaratan uçucu maddelerin uzaklaştırılması, hidrojen sülfür giderme, metanın giderilmesini sağlamak için yapılan bir arıtma işlemidir. Havalandırma havuzları kaskat tipi şeklindedir. Suya hava vermesi amacıyla blower olarak adlandırılan hava körükleri kullanılmaktadır.

2.3.1.3 Hızlı karıştırma

Hızlı karıştırma ünitelerinde, suda bulunan bulanıklık, askıda katı madde, organik ve inorganik kirleticilerin suya koagülant madde ilave edilip stabilitesinin bozulması ve çökemeyen kolloidal maddelerin biraraya gelmesinin sağlanmaktadır. Alüminyum sülfat ve demirklorür gibi tuzlar koagülant madde olarak suya dozlanırlar. Bu kimyasalların suya karışması, havuz içerisinde bulunan bir mekanik karıştırıcı veya hidrolik sıçrama vasıtasıyla yapılabilir.

2.3.1.4 Yavaş karıştırma

Koagülant ilavesiyle oluşan flokların birbirine temas ederek büyüyerek yumaklaşmalarını sağlamak ve çökebilir hale getirmek için amacıyla yavaş karıştırma havuzları kullanılmaktadır. Hızlı çökelmeyi sağlayan yoğun yumaklar için genel olarak polielektrolit kimyasalı kullanılmaktadır. Bu kimyasalların suya karışması, havuz içerisinde bulunan bir mekanik karıştırıcı veya hidrolik sıçrama vasıtasıyla yapılabilir.

2.3.1.5 Çöktürme

Hızlı ve yavaş karıştırma ünitelerindeki işlemlere tabi tutulan boyutu ve ağırlığı arttırılmış ve su içerisinde çökebilir hale gelen maddelerin yerçekimi etkisiyle çöktürme havuzlarında çökelmeye bırakılmasıdır.

2.3.1.6 Filtrasyon

Su arıtmada katı maddelerin tutulması, bulanıklık ve demir-mangan giderimi amacıyla amacılıla filtrasyon üniteleri kullanılmaktadır. Kullanılan en eski arıtma yöntemlerinden biridir. Filtre yatağı kum ve çakıl gibi taneli malzemelerden oluşmaktadır. Tutulan katı maddeler filtre yatağı malzemeleri arasında birikmektedir. Filtrasyon işleminde filtrasyon hızına göre hızlı ve yavaş kum filtreleri kullanılabilir.

2.3.2 İleri Arıtma Yöntemleri

2.3.2.1 Kum filtreleri

Kum veya multimedia filtreler, suyun içerisindeki çökebilir formdaki askıda katı maddelerin süzülerek, berrak bir su üretilmesi için kullanılır. Filtrasyon işleminde 20 μ 'a kadar hassasiyette partikül giderimi sağlanabilmektedir. Filtrasyon işlemi esnasında suyun filtre içerisinde geçiş hızı taneciklerin dolgu malzemesi ile temasında önem taşımaktadır. Kullanımı yaygın olan hızlı kum filtrelerinde su kalitesine göre alınacak filtrasyon hızı aralığı 8-25 m/h olmalıdır. Kuyu ve şehir şebeke sularında ortalama 15-20 m/h filtrasyon hızı alınırken, yüzeysel ve deniz sularında 8-15 m/h arasında alınabilmektedir. Kum filtreleri içerisinde alt bölgede çakıl gibi kalın taneli dolgu malzemeleri kullanılırken, üst bölgede kum ve antrasit gibi ince taneli dolgu malzemeleri kullanılmaktadır.

Kum filtre dolgu malzemesi basınca dayanıklı epoksi boyalı çelik veya polyester malzemeden imal edilen tanklar içerisinde yer almaktadır. Tıkanan dolgu malzemesinin temizlenmesi için su ve zaman zaman hava ile ters yıkama işlemi uygulanmaktadır. Ortalama 5-6 yıllık süreçlerde filtre yatağı malzemesi yenisi ile değiştirilmelidir.

2.3.2.2 Aktif karbon filtreler

Suda istenmeyen koku, tat, renk, serbest ozon, trihalometan tabir edilen klor bileşikleri, bazı organikler, hümik asit, yağ, zirai ilaçlar ve koloidal tabir edilen çok küçük katılar, serbest klor ve organik maddelerin tutulması amacıyla güçlü bir adsorban olan aktif karbon içerikli filtreler kullanılır. Aktif karbon filtreler için kuyu ve şehir şebeke sularında ortalama 15-20 m/h filtrasyon hızı alınırken, yüzeysel ve deniz sularında 8-15 m/h arasında alınabilmektedir. Suyun aktif karbon ile temas süresi önemlidir. Ortalama 4 dk temas süresi alınmaktadır. Aktif karbon hindistan cevizi kabuğu, odun, kömür gibi doğal maddelerin oksijensiz ortamda yüksek sıcaklıkta ısıtılma işlemi tabi tutulması sonucu elde edilir. Aktif karbon gözenekli bir yapıya sahiptir. Su içerisindeki kirleticiler bu gözeneklerde tutulur. Aktif karbon dolgu malzemesi basınca dayanıklı epoksi boyalı çelik veya polyester malzemeden imal edilen tanklar içerisinde yer almaktadır.

Tıkanan dolgu malzemesinin temizlenmesi için su ve zaman zaman hava ile ters yıkama işlemi uygulanmaktadır. Aktif karbon çok gözenekli bir yapıya sahip olması nedeniyle bakteriyel üremeye uygun bir ortam oluşturur. Bu nedenle aktif karbon dolgu malzemesi ortalama 1-2 yılda bir değiştirilmelidir.

2.3.2.3 Demir mangan giderici filtreler

Demir ve mangan gideriminde kullanılan, içerdiği güçlü oksijen grubu nedeniyle tercih edilen oksidant filtre malzemeleri bulunmaktadır. Su arıtmada çok tercih edilen Aqua-mandix, filtrasyon malzemeleri yeterli performansı gösteremediğinde, en üst tabaka olarak filtreye konulabilir.

Aqua-mandix'in temel işlevi güçlü oksijen grubu içermesinden dolayı katalitik işlem olarak açıklanabilir. Aqua-mandix % 65- 80 oranında MnO_2 içermektedir. Çözünmüş demir ve manganın oksidasyonu mekanizması, katalizöre transfer edilen bir elektronun sudaki çözünmüş oksijenle tekrar oksitlenmesinden ibarettir. Aqua-mandix filtrede tek başına kullanılmaz, kum ile beraber kullanılır.

Genelde kumun üzerine kumun yatak yüksekliğinin %10-30 oranında aqua-mandix eklenir. Bu durumda maksimum 12-36 cm aqua-mandix kullanılır.

0,25 mg/lt 'ye kadar mangan konsantrasyonları için kum filtresinin üzerine kumun yatak yüksekliğinin %10'u, 0,50 mg/lt mangan konsantrasyonu için %20'si ve 0,85 mg/lt mangan konsantrasyonu olan ham sular için %30'u kadar Aqua-mandix kum

filtresinin üzerine eklenmelidir. 6,5-7,8 pH aralığında çalışabilir. 5 ppm klor konsantrasyonuna kadar dayanım göstermektedir [13].

2.3.2.4 İyon değiştirici reçineli sistemler

İyon değiştiriciler, değişebilir katyon ve anyonları taşıyan, çözünür olmayan katı maddelerdir. İyon değiştirici reçine sistemi küçük taneciklerden oluşan sentetik reçine ve tanktan oluşur. Taneciklerin bünyesindeki seçici iyonlar, su içerisindeki anyon ve katyonlarla yer değiştirerek suda istenilen arıtmayı sağlarlar. Tanecik bünyesinde değişim yapabilecek iyon kalmadığında reçine doyuma ulaşmış demektir. Bu durumda reçine uygun kimyasalla rejenere edilmektedir [6]. İyon değiştirici reçineli sistemler su yumuşatma, deiyonizasyon, mixed bed su saflaştırma, dekarbonizasyon ve metal geri kazanımı gibi amaçlar için kullanılabilir.

2.3.2.5 Zeolit filtre

Zeolit (klinoptilolit) minerali kristal yapıda hidrasyona uğramış alüminyum silikatlarıdır. Zeolitlerin kafes şeklindeki yapısı, iyon değişimi ve kimyasal reaksiyonlar için geniş iç ve dış yüzey alanı oluşturmaktadır. İçindeki gözenekler hacminin %50'sini kaplar. Doğal olarak negatif yüklüdür ve yüksek iyon değiştirme kapasitesine sahiptir. Birçok çeşit gazı, kokuyu ve nemi, petrokimyasal maddeleri, düşük düzeyde radyoaktif elementleri, ağır metalleri ve pek çok solüsyonu soğurma özelliğine sahiptir. Tüm bu özellikleri sayesinde zeolitler birçok endüstriyel alanda kullanılmaktadır [14].

2.3.2.6 Kartuş filtre

Kartuş filtreler genellikle tek kullanımlık, 0.1 mikron ila 100 mikron hassasiyetinde filtrasyon yapan filtrelerdir. Düşük kapasiteler ve evsel kullanımlarda ağırlıklı olarak tercih edilirler. Reverse osmoz membranlarından önce sırasıyla 5 µ ve 1 µ hassasiyetinde kartuş filter kullanımı yaygındır.

2.3.2.7 Mekanik filtre

Mekanik Filtreler, fiziksel kirliliği çok yüksek olmayan sularda genellikle 10 mikron ve üzeri filtrasyon hassasiyeti için kullanılır. Mekanik filtrelerin manuel olarak ve otomatik olarak ters yıkamaları yapılabilir.

2.3.2.8 Arsenik giderici filtre

Arsenik doğal olarak meydana gelir, kayalarda bulunur ve su kaynaklarına geçer. Arseniğin bilinen iki formu mevcuttur. Genel olarak, Arsenat (As_5^+) formunda yüzeysel sulara, arsenit (As_3^+) olarak yeraltı sularında görülmektedir. [arsenik alpaslan] Arsenik 5 en çok bilinen formudur ve içme sularından giderimi daha kolaydır. Arsenik 3'ün giderimi daha zordur ve insan sağlığı için daha tehlikelidir. Arseniğe uzun süre maruz kalmanın etkisi zarar verici etkisi olduğu kanıtlanmıştır.

Deride açılma, prostat problemlerine yol açan ciğer ve idrar rahatsızlıkları ile kansere yol açabilir, kardiyovasküler rahatsızlığı, şeker hastalığı ve üreme zorlukları gibi ciddi sağlık problemlerine neden olabilmektedir. Bu nedenle genel içme suyu yönetmeliklerinde izin verilen maksimum değer $10 \mu g/l$ 'dir. Arıtım yöntemleri olarak demir oksit adsorbsiyonu, ters osmoz, iyon değiştirme, aktif alüminyum oksit ve koagülasyon-flokülasyon prosesleri sayılabilmektedir.

2.3.2.9 Ultraviyole dezenfeksiyonu

UV radyasyonu su içerisinde hızlıca dağılır. Su içerisinde absorbe olur ve malzemelerden yansır. Çoğu dezenfektandan farklı olarak, UV radyasyonu kimyasal bir reaksiyonla mikroorganizmaları etkisiz hale getirmez. UV radyasyonu, UV ışığının organizma tarafından absorbe edilmesi ve bu absorbe edilen ışığın hücre foksasyonları için önemli olan moleküler bileşenleri değiştiren fotokimyasal bir reaksiyona sebep olması ile organizmaları etkisiz hale getirmektedir.

UV radyasyonu ile dezenfeksiyonun gerçekleştirilebilmesi için UV ışınlarının organizmaya ulaşması gerekmektedir. Bu nedenle su içerisindeki toru ve bulanıklık meydana getiren maddeler UV sistemi öncesinde mutlaka kum filtrasyonu veya hassas tortu filtrasyonu ile giderilmelidir.

UV ışınlarının etkinliği mikroorganizma türüne bağlı olarak değişiklik göstermektedir. UV ışınlarından öncelikli olarak bakteriler, protozoa patojenleri, virüsler ve bakteri sporları etkilenmektedir. UV'nin maksimum enerji yaydığı dalga boyu $253,7 \text{ nm}$ 'dir. Bu sebeple dezenfeksiyon çalışmalarında çoğunlukla bu dalga boyu kullanılmaktadır. UV dezenfeksiyonu ile % 99,9 oranında dezenfeksiyon verilimi elde edilebilmektedir. UV sistemleri UV lamba, kuart kılıf, reaktör ve kontrol panosundan oluşmaktadır.

2.3.2.10 Degazör

Degazör sistemleri, su içerisindeki karbondioksit CO₂ ve hidrojen sülfür H₂S gibi eriyik gazların giderilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Su içerisinde bulunan eriyik gazların giderimi için; su, degazör'ün en üst kısmındaki dağıtım difüzöründen üniteye giriş yapar. Su, degazör'ün üst kulesine doldurulmuş olan halkalarla temas ederek aşağı doğru süzülür. Aşağı doğru süzülür iken aşağıdan yukarıya degazör fanının sağladığı hava verilerek suyun hava ile teması sağlanır. Hava suyun içerisindeki çözünmüş gazları bünyesine alır ve uçurur. Böylece ters akış prensibi ile suyun içerisindeki gazlar giderilmiş olur ve arıtılan su degazör'ün alt kısmında depolanır.

2.3.2.11 Dolomit filtre

Dolomit, kalsiyum ve magnezyumlu karbonat birleşiminde bir mineraldir. Ters osmoz sistemlerinden sonra Ca ve Mg içeriği azalan ürün suyunun sertliğini yükseltmek amacıyla dolomit filtreler kullanılır. Dolomit filtre kullanımından sonra ortalama 0,5-1 dH seviyelerinde sertlik değerine ulaşma başarılabilmektedir. Dolomit filtre kullanımı sonrası suyun yalnızca sertlik değeri değil, pH değeri de yükselir. Suda alkali bir tat meydana gelir. Bu nedenle dolomit filtre sonrası pH düşürmek için suya CO₂ verilmesi uygun olabilmektedir.

2.4 Kimyasal Ön Arıtma Yöntemleri

2.4.1. Antiskalant

Antiskalant taş önleyici kimyasal veya kristal geciktirici kimyasal olarak ifade edilebilir. Antiskalantlar çözünürlük limitlerini aşarak konsantre hale gelen iyonların, kimyasal mineral tuzlarının kristalleşmesini geciktirir, böylece oluşacak kristaller ters osmoz membranının terk ettikten sonra oluşur. Suyu ne miktarda antiskalant verileceğini özel bir bilgisayar programı ile belirlenir. Bu kimyasal programı antiskalant türüne ve her m³ suya verilecek miktarı belirler.

Ayrıca, bazı durumlarda ham suyun pH derecesi asit ile düşürülerek antiskalant miktarı azaltılabilir. Buna da gene bilgisayar programı karar verir [6,9]. Antiskalant dozaj sistemi dozaj pompası ve antiskalant çözeltisi tankından oluşmaktadır. Ortalama dozaj miktarı 1-5 mg/l'tir.

2.4.2 Sodyum metabisülfid

Sodyum metabisülfid klor ve ozon gibi oksidasyon maddelerinin nötrale edilmesini sağlar. Ters osmoz sistemi membranları ve iyon değiştirici sistemler oksidasyon maddelerine karşı hassastır. Membran ve reçinelerin bozunmalarını engellemek amacıyla sodyum metabisülfid dozajı yapılmaktadır. [6] Sodyum metabisülfid dozaj sistemi dozaj pompası ve sodyum metabisülfid çözeltisi tankından oluşmaktadır. Ortalama dozaj miktarı 3 mg/l'tir.

2.4.3 Asit

Asit dozajı ile suyun pH derecesinin düşürölmesi amaçlanmaktadır. Ters osmoz sistemlerinin girişinde ön şartlandırma amaçlı kullanılarak, su içerisindeki iyonların membran yüzeyi üzerinde çökelti meydana getirmesini engeller. Ayrıca membranların temizlenmesi amacıyla CIP yıkamasında da kullanılmaktadır. İyon değiştirici reçinelerin rejenerasyonu gibi kullanım amaçları da bulunmaktadır.

2.4.4 Kostik

Kostik dozajı ile suyun pH derecesinin yükseltilmesi amaçlanmaktadır. Ters osmoz sistemlerinin girişinde ön şartlandırma amaçlı kullanılarak, suyun pH derecesi düşükse yükseltme amaçlı ve suyun içerisindeki demir, mangan ve kalsiyum karbonatların çözünürlüğünü azaltmak için kullanılabilir.

Ayrıca membranların temizlenmesi amacıyla CIP yıkamasında da kullanılmaktadır [10]. İyon değiştirici reçinelerin rejenerasyonu gibi kullanım amaçları da bulunmaktadır.

2.4.5. Biosid

Membranları klor bazlı oksidan maddelere karşı sınırlı dayanımı nedeniyle biyolojik büyüme ve çökelmeye karşı biosid adı verilen kimyasallar kullanılmaktadır. Bu kimyasallar bakteri, mantar ve alf büyümelerini engeller. DBNPA, sodyum metabisülfid, hidrojenperoksit gibi kimyasallar biyosidlere örnek verilebilir [10].

2.5 Membran Prosesler

1748 yılında Abbe Nolet tarafından osmos olayının keşfedilmesiyle ortaya çıkan membranlar, iki fazı birbirinden ayıran, seçici bariyerler olarak tanımlanırlar. Membran filtrasyonu, partikül maddelerin, kolloidlerin, büyük moleküllerin, iyonların ve çözünmüş maddelerin ayırımı amacıyla kullanılan bir teknolojidir. Membran filtrasyonunda besleme akımı, sürücü kuvvetlerin (basınç, sıcaklık ve konsatrasyon farklılığı) etkisiyle membrandan geçerken süzüntü, konsantre olmak üzere iki akıma ayrılır [2]. Membran prosesleri fiyat ve arıtma etkisi bakımından hızlı bir şekilde su ve atıksu endüstrisinde kendini kabul ettirmiştir. Günümüzde hızla gelişmekte olan polimer endüstrisi membran teknolojilerini çok daha rekabetçi hale getirmektedir. Günümüzden 20 yıl öncesine kadar membran prosesleri az bilinmekteydi. Bugün ise Amerikan Çevre Koruma Teşkilatı (EPA) tarafından en iyi arıtma teknolojilerinden biri olarak tanımlanmaktadır. Membran prosesinin içme sularında geniş ve çeşitli uygulama alanları mevcuttur. İçme suları için yüksek kalitede ürün vermektedir. Membran prosesleri atıksu arıtımı, içme sularının uygun kaliteye getirilmesinin yanı sıra hafif tuzlu suların ve deniz sularının tuzsuzlaştırılmasında da kullanılır. Bu yöntem ucuz su kaynaklarının bulunmadığı hallerde kullanılır. Çünkü yüksek maliyetlidir. Son zamanlarda membran prosesleri yumuşatma ve organiklerin gideriminde de kullanılmaktadır. Sonuç olarak membran proseslerinin önemi anlaşılmaya başlanmış ve her geçen gün yeni uygulama alanları bulmuştur [4].

Membran filtrasyonu Şekil 2.1’de, sürücü kuvvetlerine göre membran Çizelge 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2. 1: Membran filtrasyonu.

Çizelge 2.1 : Sürücü kuvvetlerine göre membranlar.

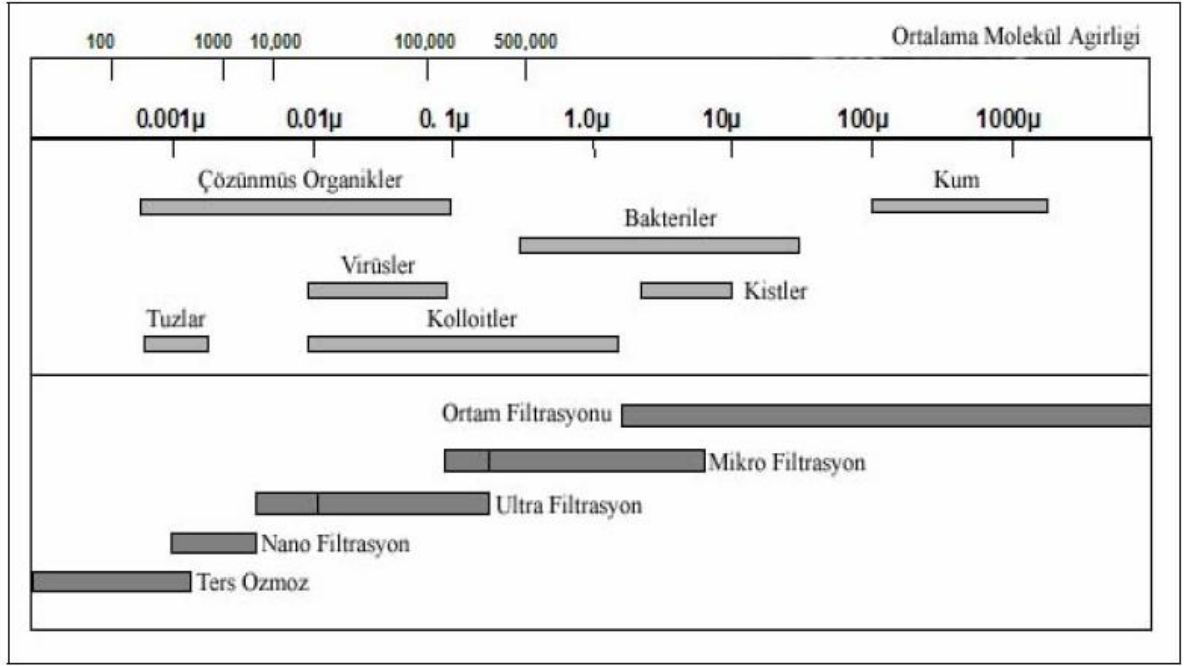
Membran prosesler	Faz I	Faz II	Sürücü Kuvvet
Mikrofiltrasyon (MF)	Sıvı	Sıvı	Basınç
Ultrafiltrasyon (UF)	Sıvı	Sıvı	Basınç
Nanofiltrasyon (NF)	Sıvı	Sıvı	Basınç
Ters Osmoz (RO)	Sıvı	Sıvı	Basınç
Gaz ayırma	Gaz	Gaz	Basınç
Dializ	Sıvı	Sıvı	Konsantrasyon Farklılığı
Osmoz	Sıvı	Sıvı	Konsantrasyon Farklılığı
Pervaporasyon	Sıvı	Gaz	Basınç
Elektrodiyaliz	Sıvı	Sıvı	Elektriksel Potansiyel Farklılığı
Termo-osmoz	Sıvı	Sıvı	Sıcaklık/Basınç
Membran distilasyonu	Sıvı	Sıvı	Sıcaklık/Basınç

Membran yapımında kullanılan malzemeler Çizelge 2.2’de yer almaktadır. [4]

Çizelge 2.2 : Membran yapımında kullanılan çeşitli maddeler.

Çeşitli Polimer membran maddeleri		
Silikon	Polipropilen	Polifuran
Polisülfon	Selüloz asetat	Hirdofilik poliolefinler
Polikarbonat	Selüloz nitrat	Polialkilsülfon
Polivinilidendiflorid	Polieterimid	Sülfolanmış polistiren
Poliakrilonitril	Akrilikler	Polimetilmetaakrilat
Naylon 6	Karbon	Polivinilklorid
Naylon 6,6	Sülfolanmış polisülfon	Polieteramid
Aromatik poliamid	Polistiren	Polieterüre
Alümina	Zirkonya	Paslanmaz çelik

Yapısı ve fonksiyonları farklı olan pek çok membran çeşidi vardır. Şekil 2.2’de gözenek çapı, membran ayırma işlemi ve süzülen maddelerin büyüklüğü arasındaki ilişkilerin karşılaştırılması görülmektedir [4].



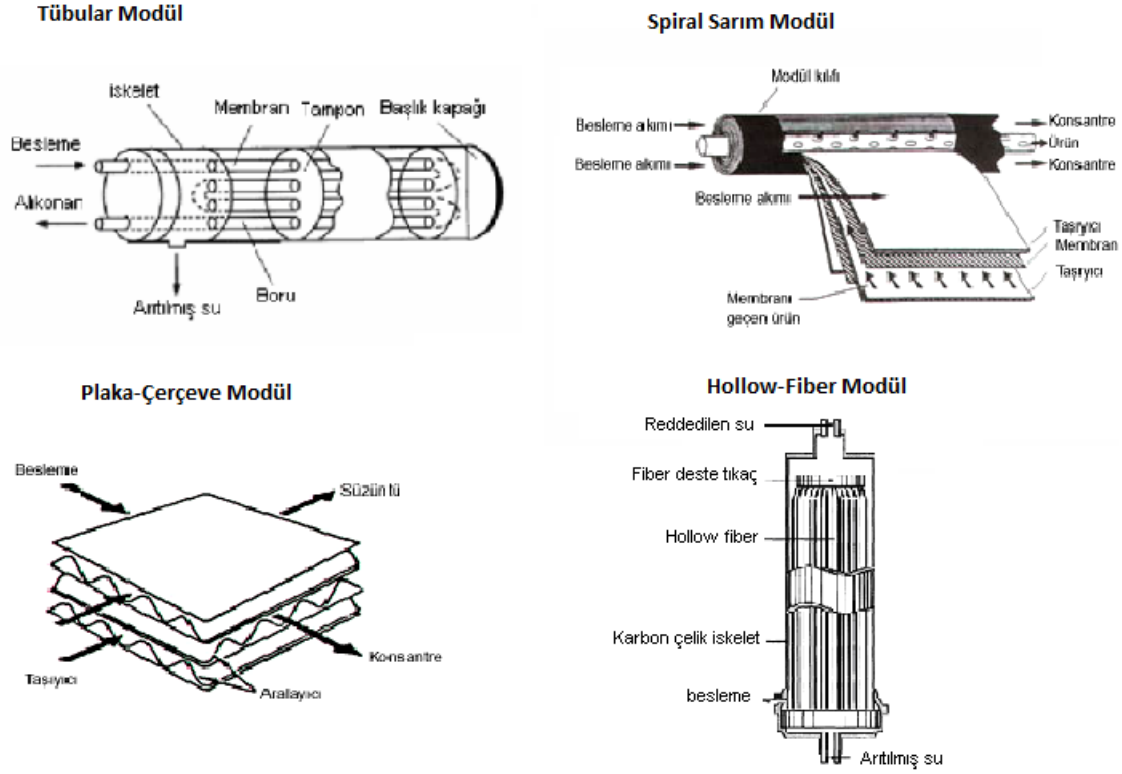
Şekil 2. 2: Süzülen madde, gözenek çapı ve membran prosesleri arasındaki ilişki.

Membran modül konfigürasyonları

Çapraz akışlı membranlar çeşitli konfigürasyonlar halinde imal edilmektedir:

- Tübular modül
- Hollow-Fiber Modül,
- Plaka-çerçeve Modül
- Spiral Sarım Modül

Verimlilik ve ekonomik açıdan en popüler çapraz akışlı konfigürasyonu spiral sarım modüllerdir [6]. Membran konfigürasyonlara ait şekiller Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2. 3: Membran konfigürasyonları.

Günümüzde kullanımı hızla artan ve en çok tercih edilen membran prosesler miktofiltrasyon, ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon ve ters osmozdur. Bu proseslerin sürücü kuvveti basınçtır. En çok tercih edilen membran proseslerin basınç, akı değişimi ve uygulama alanlarına ilişkin tablo Çizelge 2.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.3 : Membran prosesler akı, basınç ve uygulama alanları.

Membran prosesler	Akı Değişimi (lt/m ² .h)	Basınç (Bar)	Uygulama Alanları
Mikrofiltrasyon (MF)	>50	0,1-2	Partikül Giderimi
Ultrafiltrasyon (UF)	10-50	1-5	Virüs, mikroorganizma giderimi
Nanofiltrasyon (NF)	1,4-12	5-30	Sertlik Giderimi
Ters Osmoz (RO)	0,05-1,4	20-100	Tuz Giderimi

2.5.1 Mikrofiltrasyon

Mikrofiltrasyon ile giderilen partiküller yaklaşık 0,1-1 mikron aralığındadır. Transmembran basıncı 0.7 bardır (10 psi) [kitiş]. Mikrofiltrasyon membranlarında ayırma işlemi elek mekanizmasına benzer ve büyüklüğü gözenek çapından daha fazla olan maddeler membran tarafından tutularak sudan ayrılır. Bu proseste genel olarak askıda katı maddeler, büyük kolloidler atılırken makro moleküller ve çözünmüş maddeler membrandan geçer. Mikrofiltrasyon uygulamaları arasında bakterilerin, flok maddelerin veya askıda katı maddelerin uzaklaştırılması sayılabilmektedir. Giardia kistleri, Cryptosporidium oocysts ve benzer 3 µm ebatlı organizmaları 3 log giderebilmektedir [su arıtma tes tas esas mçakmak]. MF membranları gözenek çapları ile sınıflandırılır ve giderme verimi, mikroorganizma giderme kapasitesi (log-giderme verimi) ile belirlenir [huse]. Mikrofiltrasyon membranları tek başına kullanılabilmekte ya da NF ve RO öncesinde ön arıtma amaçlı olarak kullanılabilir.

2.5.2 Ultrafiltrasyon

Ultrafiltrasyon prosesinde 10-1000 Å aralığındaki partiküllerde makromoleküller ayırma gerçekleştirir. Bütün çözünmüş tuzlar ve küçük moleküller membrandan geçer. Giderilebilen maddeler arasında kolloidler, proteinler, bakteriler, pirojenler ve büyük organik moleküller vardır. Moleküler ağırlık engelleme sınırı (MWCO) 1000-100.000 arasındadır. Transmembran basıncı 1-7 bardır (15-100 psi) [4]. En az 1 log virüs giderebilmektedir [3].

Ultrafiltrasyon prosesleri ile iyon giderimi mümkün olmamaktadır. UF membran uygulama alanları arasında NF ve RO öncesi ön arıtma maksatlı kullanım, gıda ve süt endüstrisi, kimya, tekstil ve ilaç endüstrileri sayılabilir.

2.5.3 Nanofiltrasyon

Nanofiltrasyon prosesi ile çözünmüş organikler, renk, kalsiyum, magnezyum ve diğer iyonları sudan ayırabilmek mümkündür. MWCO değeri 200-500 Da arasındadır. Yaklaşık 1 nm (10 Å) büyüklüğündeki partikülleri uzaklaştırır. Bu yüzden “nanofiltrasyon” olarak adlandırılır. Ters osmoz prosesine göre sodyum klorür giderimi daha düşüktür.

Çözünmüş tuzların % 20-98'i giderilebilmektedir [4]. NF membranı genellikle tek değerli iyonları geçirirken çok değerli iyonları ise alıkoymaktadır [3]. NF membranları genellikle $MgSO_4$ giderim verimi ile sınıflandırılır.

2.5.4 Ters Osmoz

Ters osmoz membranları çözünmüş organikler, renk, sertlik ve diğer çözünmüş iyonlar veya çözünmüş katıları sudan ayırabilmektedir. RO membranları MWCO'su 200 Da'dan küçüktür [mçakmakçı]. Sodyum klorür gibi çözünmüş tuzların atılımı % 95-99 arasındadır. Kireçli suların içme suyu eldesi, deniz sularının tuzsuzlaştırılması, atıksu geri kazanımı, gıda ve meyve suyu işleme, biyomedikal sektörü, şehir şebeke suyundan evsel içme suyu elde etme ve endüstriyel proses suyunun saflaştırılması gibi uygulamalar için kullanılmaktadır. Bu uygulamaları yanısıra ters osmoz, yarı iletken sektörü, güç üretimi (kazan besı suyu hazırlanması) endüstrisi ve laboratuvar/medikal uygulamaları için ultra saf su üretiminde yaygın olarak kullanılır. Transmembran basıncı 14-69 bardır (200-1000 psi) [4].

Ters osmoz proseslerinde besleme suyu bir yüksek basınç pompası ile basınçlandırılır. Basınçlandırılan su membran yüzeyinden çapraz akış ile geçer. Membrandan geçen su ürün ve konsantre olmak üzere ikiye ayrılır. Ters osmoz ile giderilen maddeler Çizelge 2.4'te verilmiştir.

Çizelge 2.4 : Ters osmozla giderilen maddeler.

Anyonlar, Katyonlar,Organikler, Pesti sitler	Giderme (%)	Anyonlar,Katyonlar, Organikler, Pesti sitler	Giderme (%)
Alüminyum	97-98	Nikel	97-99
Amonyum	85-95	Nitrat	93-96
Arsenik	94-96	Fosfat	99+
Bakteriler	99+	Polifosfatlar	98-99
Bikarbonat	95-96	Potasyum	92
Bromür	93-96	Pirojen	99+
Kadmiyum	96-98	Radyoaktivite	95-98
Kalsiyum	96-98	Radyum	97
Klorür	94-95	Selenyum	97
Kromat	90-98	Silika	85-90
Krom	96-98	Silikat	95-97
Bakır	97-99	Gümüş	95-97
Siyanür	90-95	Sodyum	92-98
Demir 2 siyanür	98-99	Sülfat	99+
Florür	94-96	Süfit	96-98
Demir	98-99	Çinko	98-99
Kurşun	96-98	* Virus	99+
Magnezyum	96-98	* Insecticides	97
Mangan	96-98	* Deterjanlar	97
Cıva	96-98	* Herbicides	97
% TÇM	95-99	Bor	50-70
Tiyosülfat	96-98	Borat	30-50
Selenyum	90-95	* Bunlar tahminidir.	

2.5.5 Elektrodeiyonizasyon

EDI modülleri içerisinde spiral sarım membran ve iyon değiştirici reçine bulunan sızdırmaz yüksek dayanımlı FRP kılıftan oluşmaktadır. RO ürün suyunun iyon içeriğini düşürerek suyu saflaştırmak amacıyla konvansiyonel mixed bed reçine yerine kullanılabilir. [11]

EDI modülleri endüstriyel uygulamalarda performansı iyileştirmek, ürün suyu kalitesini sürekli olarak korumak ve 18 megohm-cm'ye kadar ultra saf su elde etmek amacıyla tercih edilmektedir. [11]

EDI yalnızca elektrik kullanır, hiçbir kimyasal kullanmadan kesintisiz olarak saf su üretir. Enerji sektörü, elektronik, kimya ve ecza sektörlerinde elektrik geçirmeyecek kadar saf suya yani ultra saf suya ihtiyaç duyulan işletmeler vardır.

Rejenerasyon için asit ve kostik kullanmayan, atık su oluşturmayan, işletmesi kolay ve ekonomik, az yer işgal eden EDI tekniği günümüzde tercih edilir olmuştur.

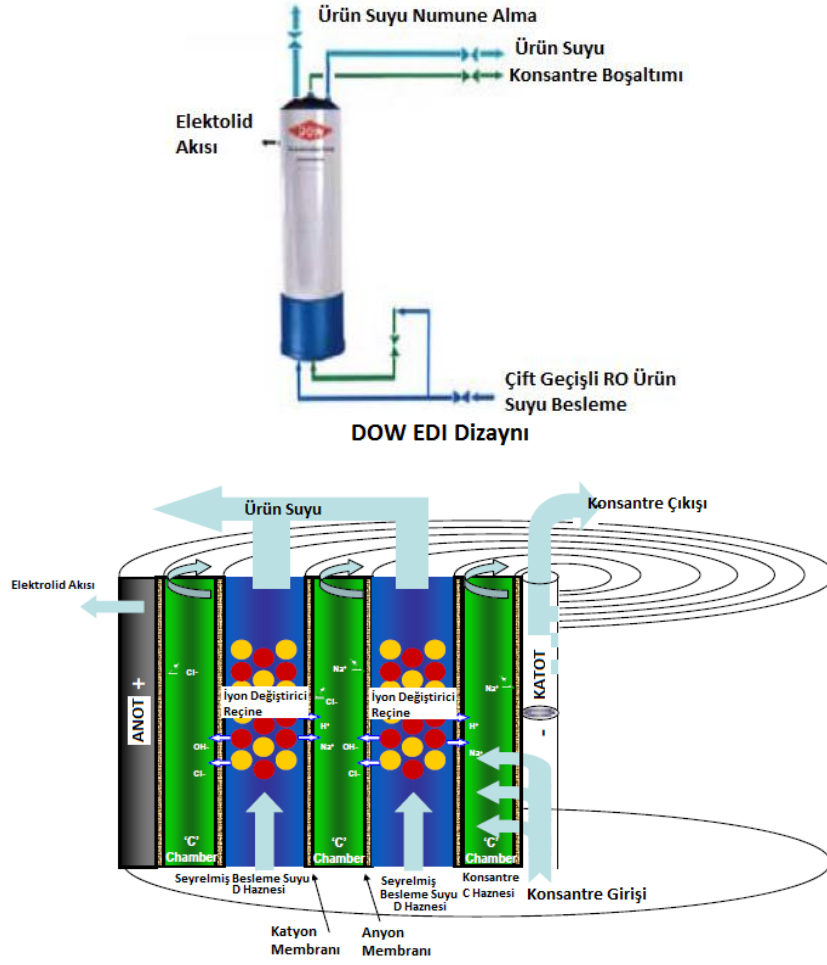
EDI sürekli olarak güçlü bir doğru elektrik akımı altında bulunur (300 V– 400 V). Bu doğru akım bir taraftan su içindeki (+) ve (-) yük taşıyan iyonların karşıt elektroda doğru hareket etmesini sağlar, diğer taraftan, bir miktar su molekülünü (H^+) ve (OH^-) olarak iyonize eder. EDI içinde küçük bir miktar da mixed bed içinde bulunan katyonik ve anyonik iyon değiştirici reçineler yer alır. Saflaştırılacak su içinde bulunan (+) ve (-) yük taşıyan iyonlar önce reçineler tarafından tutulur. Reçineler suda bulunan (H^+) ve (OH^-) iyonları taraftan sürekli rejenere edilirken, reçineleri terk eden (+) ve (-) yüklü iyonlar karşıt elektroda doğru hareket eder ve reçine yatağını sınırlayan membranların diğer tarafında bulunan iyon yüklü su tarafına geçer. Böylece su, istenmeyen iyonlardan arınır ve saflaşır.

Klasik miksbedlerde reçinelerin rejenerasyonu için gereken H^+ ve OH^- iyonları kostik ($Na^+ OH^-$) ve hidroklorik asit ($H^+ Cl^-$)’den elde edilirler. Bu nedenle mixed bed reçineler asit ve kostik ile rejenere edilir. EDI tekniği hiçbir kimyasal kullanmaz. EDI modülü başına 160 V DC güç gerekmektedir.

EDI cihazının besisi suyu kalitesinin özellikleri için sınır vardır. Aşağıdaki çizelgede belirtilen sınırlar içindeki su ile EDI beslendiğinde, elde edilecek suyun kalitesi 0,05 – 0,07 microS/cm iletkenlikte yani 16 – 18 Megaohm dirençte olur ve EDI bakımı en aza iner [burkut]. EDI besisi suyu özellikleri Çizelge 2.5’te, EDI çalışma prensibine ait resimler Şekil 2.4’te ve EDI Sistemine ait resimler Şekil 2.5’te verilmiştir [11].

Çizelge 2.5: EDI besisi suyu özellikleri.

Parametre	Sınır Değer
TDS	50 μ S/cm
Sertlik	≤ 0.5 ppm ($CaCO_3$)
Çözülmüş Silika	≤ 0.5 ppm
TOC	≤ 0.5 ppm
pH (Çalışma aralığı)	5-9
Serbest Klor	≤ 0.05 ppm
Fe, Mn	≤ 0.01 ppm
Bulanıklık	≤ 0.1 ppm
Oksitleyici	Saptanamaz



Şekil 2. 4: EDI çalışma prensibi.



Şekil 2. 5: EDI sistemi.

3. TASARIM YÖNTEMLERİ VE MALİYET ÇALIŞMALARI

3.1 Projeksiyon Programının Tanıtımı

Membran üretimi yapan firmalar ürettikleri membranların çeşitli koşullardaki davranışlarını inceleyen çalışmalar yapmaktadır. Bu çalışmalarda elde edilen veriler ile modeller çıkararak, bu modellerden oluşan membran dizayn programları hazırlamaktadırlar. Bu dizayn programları ile membran projeksiyonları oluşturularak istenilen sistem verileri ortaya konmaktadır.

Bu çalışmada, Hydranautics marka membranlar ve bu membranların dizayn programı olan IMS Design program kullanılmıştır. Nanofiltrasyon ve Ters Osmoz membran projeksiyonları bu program kullanılarak yapılmıştır. Ultrafiltrasyon membran projeksiyonları için Inge System Design programı kullanılmıştır. EDI modülleri için DOW firmasının tasarımları kullanılmıştır.

3.2 Projeksiyon Programının Kullanımı

Membran projeksiyon programında ilk önce ham su özellikleri girilmektedir. pH, bulanıklık, sıcaklık, ve ham su kaynağı tipini gibi parametreler belirledikten sonra, suyun içerisinde bulunan anyon ve katyon değerlerinin girişi yapılmaktadır (bkz. Şekil 3.1). Otomatik dengeleme seçeneği ile katyon ve anyon dengesini ayarlanabilmektedir. TDS değerini iyon konsantrasyonlarının toplamı vermektedir.

Inge Design programında da bulanıklık, sıcaklık, pH, ham su kaynağı, TSS gibi parametreler girildikten sonra dizayn başlatılmaktadır (bkz. Şekil 3.2).

Hydranautics RO Projection Program - [Analysis]

File Analysis RO Design UF Treatment Calculation Help

Project T-1000-2000 Code T1000- Feed Well Water Date

pH 7,50 Turb 1,0 E cond 3913 uS/cm CO2 2,900 ppm
Temp 20,0 C SDI 3,0 15min H2S 0,0 ppm Fe 0,000 ppm

Ca 165,0 ppm 8,23 meq CO3 0,2 ppm 0,00 meq
Mg 80,0 ppm 6,58 meq HCO3 60,0 ppm 0,98 meq
Na 395,0 ppm 17,17 meq SO4 120,0 ppm 2,50 meq
K 80,0 ppm 2,05 meq Cl 1090,2 ppm 30,75 meq
NH4 0,0 ppm 0,00 meq F 1,0 ppm 0,05 meq
Ba 0,030 ppm 0,00 meq NO3 0,0 ppm 0,00 meq
Sr 11,000 ppm 0,25 meq B 0,25 ppm 0,00 meq
SiO2 18,0 ppm 0,00 meq

Total positive 34,29 meq Autobalance Total negative 34,29 meq

Calculated TDS 2020 ppm Ionic strength 0,043 Print
CaSO4 saturation 3,1 % BaSO4 saturation 58,3 %
Silica saturation 15,2 % SrSO4 saturation 13,3 % Save
Saturation Index -0,2 Langelier Osmotic pressure 19,6 psi

Şekil 3. 1: IMS Design programı ham su analiz parametreleri giriş ekranı.

Inge System Design

Project Options Help

Project data Design parameters Design CEB/Chemicals/Components Energy Consumption C

Basic parameters:
Design: Filtrate
Capacity: 56,0 m³/h
Type of module: dizzer XL 0.9 MB 60
Type of rack: Conventional

Water parameters:
Water source: well water
Turbidity: 15,0 NTU
TSS: 15,0 ppm
DOC: 2,0 ppm
COD: 10,0 ppm
KMnO4 consumption: 0,0
pH-value: 7,0
Temperature: 10,0 °C
Conductivity: 3,913 µS/cm
Alkalinity: 5,0 mmol/l

Add. parameters:
not considered for UF design, information only

Start design calculation

Şekil 3. 2: Inge Design programı ham su analiz parametreleri giriş ekranı.

3.3 Tasarımın Yapılması

Ham su değerleri programa girildikten sonra sistemin şekillendirilmesi için tasarım ekranına geçilir (bkz. şekil 3.3). Bu ksımda membran ömrü, membran ve membran kılıfı seçimi, kademe sayısı ile pH ayarı için kullanmak istenilen kimyasal gibi parametrelerin seçimi yapılır. Bu çalışmada yapılan tüm tasarımlarda akı azalması yıllık % 7 ve tuz geçişi yıllık % 10 olarak belirlenmiştir. rn suyu debisi, geri kazanım oranı programa girilir. Besleme debisi, konsantre debisi ve akı aynı ekrandan görülebilmektedir. Membran tipi ve kılıf sayısı belirlendikten sonra program çalıştırılır.

500-1000 ppm, 2000-5000 ppm aralığındaki kuyu sularında 2 kademeli, 5000-10000 ppm kuyu suları ve 19500 ile 38000 ppm TDS değerindeki deniz suyunda ise tek kademeli sistemler tasarlanmıştır. Yapılan tasarımlarda akı değerleri 22- 26 l/m²/sa arasında alınmıştır.

Inge Design programı ham su değerleri girildikten sonra programın çalıştırılmasıyla elde edilen tasarım ekranı şekil 3.4'te verilmiştir.

Hydronics

RO Projection Program - [RO Design]

File

Analysis

RO Design

UF

Treatment

Calculation

Help

Project

T-1000-2000

Calculated by

Saliha

Date

04.14.15

pH

7.50

Membrane age

3.0

years

Chem type

none

Temp

20.0

C

Chem dosing rate

0.0

ppm

Chem concentration, %

100

Flux decline % per year

7.0

Feed water type

Well Water

Fouling Factor

0.80

Permeate blending

☐

Permeate throttling

☐

SP increase % per year

10.0

Concentrate recirc.

☐

Booster pump

☐

Product recovery, %

75.0

Center Port

☐

Permeate flow

m3/hr

42.00

Average flux rate

l/m2-hr

26.9

Feed flow

m3/hr

56.0

Concentrate flow

m3/hr

14.0

System Specs

Element type

ESPA1

ESPA1

Elements/vessel

6

6

Vessels

4

3

Stages

2

Pass 1

Recalc Array

Stage 1

Stage 2

Element type

Elements/vessel

Vessels

Passes

1

Run

Print

Flow diag.

☐ AutoDisplay

☐ Summary Calc

Şekil 3. 3: IMS Design programı tasarım ekranı.

inge System Design

Project Options Help

Project data		Design parameters		Design		CEB/Chemicals/Components		Energy Consumption		CIP		Advanced design	
Date	03.05.2019			Pre-treatment		Prefilter < 300µm		Design feed flow		62,5 m³/h			
Project name	56 mch 3913 us/cm			Module		dizzer XL 0.9 MB 60 W		Average feed flow		59,3 m³/h			
Project number				UF system		Conventional		Average filtrate flow		56,0 m³/h			
Project designer				System configuration		n		Recovery rate		94,5 %			
Company				Modules per train		13		Gross flux		80,1 l/m²/h			
Customer				Trains design (n)		1		Net filtration flux		71,8 l/m²/h			
Watersource	well water			Trains in total (n-x)		1		Avg. BW waste water flow		2,8 m³/h			
Turbidity	15 NTU			Total No of modules		13		Avg. CEB waste water flow		0,5 m³/h			
TSS	15 ppm			Total membrane area		780 m²		Avg. total waste water flow		3,3 m³/h			
DOC	2 ppm			Remarks									
COD	10 ppm												
KMnO4 consumption	- ppm												

The schematic diagram illustrates the ultrafiltration process. It starts with a 'Feed' inlet leading to a 'Prefilter < 300 µm'. The filtered water then enters a bank of four vertical ultrafiltration modules. From the bottom of these modules, the 'Filtrate' flows into a large storage tank. A 'Backwash' line returns water from the tank to the top of the modules. Below the modules, there are three separate outlets labeled 'Waste', 'CEB', and 'Permeate'. Flow rates are indicated throughout the system.

Parameter	Value
Design feed flow rate:	62,5 m³/h
Average feed flow rate:	59,3 m³/h
Recovery:	94,5 %
Filtration time:	50 min
Backwash time:	45 s
Backwash flow:	179,4 m³/h
CEB injection flow:	93,6 m³/h
Average filtrate flow rate:	56,0 m³/h
CEB interval [h]:	24 24 0

BASF
The Chemical Company

inge

Şekil 3. 4: Inge Design programı tasarım ekranı.

3.4 Tasarım Sonuçlarının Yorumlanması

Dizayn programı her kademe için besleme debisi, giriş basıncı ve akı gibi parametreleri belirlemektedir. İyon konsantrasyonları da göstermektedir. Ham suda antiskalant dozlamasına gerek olup olmaması bu ekranda görülebilir. Aynı ekranda tasarımın uygun olmaması halinde uyarılar görülebilmektedir.

Yapılan tasarımlarda enerji tüketimi değerleri program ile hesaplanabilmektedir. Tasarımın son aşamasında elde ettiğimiz tüm veriler rapor olarak alınabilmektedir.

Hydranautics RO Projection Program - [RO Design]

File Analysis RO Design UF Treatment Calculation Help

Project: T-1000-2000 Calculated by: Saliha Date: 03.05.15

pH: 7.50 Membrane age: 3.0 years Chem type: none

Temp: 20.0 C Chem dosing rate: 0.0 ppm Chem concentration, %: 100

Flux decline % per year: 7.0 Feed water type: Well Water

Fouling Factor: 0.80 Permeate blending: ☐ Permeate throttling: ☐

SP increase % per year: 10.0 Concentrate recirc.: ☐ Booster pump: ☐

Product recovery, %: 75.0 Center Port: ☐

Permeate flow: m3/hr 42.00

Average flux rate: l/m2-hr 26.9

Feed flow: m3/hr 56.0

Concentrate flow: m3/hr 14.0

Calculation Results

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

Arrav	Vessels	Feed	Conc.	Feed	Conc.	Flux	Beta
1-1	4	11.8	9.6	14.0	6.5	33.4	1.14
1-2	3	9.6	8.1	8.7	4.7	18.2	1.09
1-3	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00
1-4	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00

Permeate concentration (ppm)

Ca	2.68	K	7.50	Sr	0.18	Cl	53.45	NO3	0.00	CO2	2.92
Mg	1.30	NH4	0.00	CO3	0.00	SO4	2.09	B	0.24	pH	6.8
Na	30.24	Ba	0.00	HCO3	11.78	F	0.13	SiO2	0.75		

Total TDS: 110.3 ppm

Concentrate parameters

CaSO4 sat, %	18	SrSO4 sat, %	74	Ionic strength	0.17	pH	8.0
BaSO4 sat, %	284	SiO2 sat, %	54	Osmotic pressure	5.2	bar	

Saturation Index: Langelier 1.3 Stiff & Davis 0.94 Total TDS 7751.4 ppm

Note: Anti Scalant required

Passes: 1

Next

Print

Flow diag.

☐ AutoDisplay

☐ Summary Calc

Şekil 3. 5: IMS Design programı sonuç ekranı.

Inge Design programı çalıştırıldıktan sonra elde edilen modül sayısı, modül konfigürasyonu, kimyasal kullanımları ve periyotları ile besleme, ters yıkama ve dozaj pompaları gibi verilerin incelenmesi sonuç ekranından yapılmaktadır. Avantajlı dizayn bölümünden modül sayısı, rack sayısı vb parametreler değiştirilerek dizayna müdahale edilebilmektedir (bkz. Şekil 3.6).

EDI modülleri dizaynı için DOW firmasının Türkiye temsilciliğinden modül projeksiyonu istenmiştir (bkz. Şekil 3.7).

CEB setup			Coagulation setup		Design components	
CEB chemicals Caustic: NaOH 32 % 1,34 g/cm³ Acid: HCl 32 % 1,16 g/cm³ Oxidant: NaOCl 12 % 1,23 g/cm³			Coagulation chemical Coagulant: none Concentration Me3+: 0,0 % Density coagulant: 1,00 g/cm³		Feed pump Number of feed pumps in operation: 1 Design TMP filtration (max TMP): 1,5 bar System pressure drop: 0,1 bar (—definable in register "Energy consumption") Feed pump design pressure: 1,6 bar Design flow feed pump: 62,5 m³/h	
CEB parameter CEB 1.1 A Alkaline: 12,0 ppm CEB 1.2/2 Acid: 2,3 ppm CEB 3 Disinfection: 0 ppm free chlorine CEB 1.1 B Alkaline+Oxidant: CEB1.1B inactive 0 ppm free chlorine			Coagulation parameter Design dosing rate Me3+: 0,0 ppm Avg. dosing rate Me3+: 0,0 ppm Opt. pH-range: 7 Contact time: 30-60 s		Backwash pump Number of BW pumps in operation: 1 Design TMP BW (max TMP): 2,5 bar System pressure drop: 0,3 bar (—definable in register "Energy consumption") BW pump design pressure: 2,8 bar Design flow BW pumps: 179,4 m³/h	
Dosing rate chlorine CEB 1.1 B : 0,0 l/h Dosing rate CEB 1-3 : 155,4 l/h, 103,2 l/h, 0,0 l/h Frequency : 24 h, 24 h, 0 h Daily CEB rate : 1,00, 1,00, 0,00 Injection time : 90 s, 90 s, 0 s Injection flux : 120 l/m²/h Soaking time : 15 min, 15 min, 0 min Rinsing flux : 230 l/m²/h Rinsing time : 60 s, 60 s, 0 s			Chemical consumption Chemical consumption coagulant Total consumption per day: 0,0 l, 0,0 kg Chemical consumption CEB Total consumption per day: NaOH 32 % 3,9 l 5,2 kg HCl 32 % 2,6 l 3,0 kg NaOCl 12,0 % 0,0 l 0,0 kg		Dosing pumps total flow rate Caustic pumps (≥ pH 10,0 / 12,3): 269,2 l/h Acid pumps (≤ pH 2,0): 160,1 l/h Oxidant pumps (≥ 50 ppm): 0,0 l/h Coagulant pumps: 0,0 l/h Backwash tank BW tank size multiple train system: 6 m³ Based on the water demand for BW + CEB injection BW tank size single train system: 10 m³ Based on the water demand for BW+CEB injection+rinsing	

Şekil 3. 6: Inge Design programı sonuç ekranı.

```

*****
*           Dow Water Solutions Design System for DOW EDI           *
*           Version 2.1 (English Version)                           *
*           File Updated at 2010.03.17, Database Updated at 2007.02.05 *
*****
Project Name..... Project Name
Plant Location..... Location
Prepared by..... Designer

Basic System Design
-----
Product Flow..... 100.0 m3/hr
Product Flow per Module..... 2.0 m3/hr
System Recovery..... 90.0 %
Number of EDI Modules..... 50
EDI Module Type..... EDI 310
Length of the EDI Module..... 0.9 m
Diameter of the EDI Module..... 0.3 m
Feed Flow Rate..... 111.1 m3/hr
Concentrate Bleed Flow Rate..... 8.6 m3/hr
Electrode Flush Flow Rate..... 2.5 m3/hr
Recommended Electrode Flush per Module..... 0.05 m3/hr
Design Product Resistivity..... 15.0 megohm-cm
Minimum Operating Temperature..... 10.0 deg C
Maximum Operating Temperature..... 38.0 deg C
Design Operating Temperature..... 20.0 deg C
Minimum Product Outlet Pressure..... 0.6 bar

Estimated Product Water and C-Loop Water Specification @ a temperature of 20.0 deg C
-----
Operating Current per Module*..... 2.4 A
Operating System Current..... 60.0 A
Operating System Voltage..... 66.8 V
Product Resistivity..... >15.0 megohm-cm
Dilute Chamber Pressure Drop..... 1.6 bar
Feed Inlet Pressure..... 2.2 bar
Concentrate Inlet Pressure..... 1.2 bar
Theoretical Electrode Hydrogen Gas Generation..... 835.8 ml/minute
Theoretical Electrode Oxygen Gas Generation..... 625.8 ml/minute
Theoretical Electrode Chlorine Gas Generation..... 16.0 ppm

*NOTE: Actual current may need to be adjusted slightly up or down to meet resistivity
requirements. Power consumption and annual operating cost calculations are based on the
calculated operating current and in actual practice may also vary slightly.

Design Warnings
-----
NO Warning.

*****
* DISCLAIMER: NO WARRANTY, EXPRESSED OR IMPLIED, AND NO WARRANTY OF MERCHANTABILITY OR *
* FITNESS, IS GIVEN. Neither The Dow Chemical Company or its subsidiaries assume *
* liability for results obtained or damages incurred from the application of this *
* information. The Dow Chemical Company and its subsidiaries assume no liability, *
* if, as a result of customer's use of the DOW EDI design software, the customer *
* should be sued for alleged infringement of any patent not owned or controlled by *
* The Dow Chemical Company or its subsidiaries. *
*****

```

Şekil 3. 7: EDI programı sonuç ekranı.

3.5 Maliyet Analizi İçeriği

Bu çalışmada, birim ürün suyu elde etmek için arıtma sistemi kurulum ve işletme maliyetleri dikkate alınmıştır.

Tesisin ekipman teminininden ve kurulumundan devreye alınmaya hazır hale getirilene kadar yapılan yatırımlara ekipman maliyetini, sistemin çalıştırılıp suyun üretilmesi sırasında oluşan giderler işletme maliyetini oluşturur. Ekipman ve işletme maliyetlerinin m³ su bazında belirlenip toplanması toplam maliyeti vermektedir.

3.6 Kurulum Maliyetinin Kapsamı

Membran prosesli arıtma sistemlerinin kurulum maliyetini oluşturan ana öğeler şunlardır:

- Projelerin hazırlanması
- Kullanılan Ekipmanlar

-Elektrik İşleri

-Mekanik İşler

Projelerin hazırlanması

Türkiye’de arıtma sistemlerinin projeleri kurulumu yapan özel şirketler tarafından genelde bedelsiz olarak hazırlandığı için proje bedeli dikkate alınmamıştır.

Kullanılan ekipmanlar

-Membranlar: Hydranautics marka membranlar kullanılmıştır. 500-1000 ppm TDS değeri RO tasarımları için ESPA 1 ve NF tasarımları için ESNA1-LF-LDS, 2000-5000 ppm TDS değeri için CPA3 düşük basınç ters osmoz membranları kullanılmıştır.

Çizelge 3.1 : Tasarımlarda kullanılan ters osmoz membranlarının özellikleri.

Membran Modeli	ESPA 1	CPA 3	SWC 5 Max	SWC 6
Ürün Debisi, m ³ /gün	45,4	41,6	37,5	25
Tuz Giderim Verimi, %	99,3	99,7	99,8	99,6
Konfigürasyon	Spiral Sarmal	Spiral Sarmal	Spiral Sarmal	Spiral Sarmal
Materyal	Kompozit Polyamid	Kompozit Polyamid	Kompozit Polyamid	Kompozit Polyamid
Membran Alanı, m ²	37,1	37,1	40,8	40,8
Maksimum basınç dayanımı, bar	41,4	41,4	82,7	82,7
Maksimum Klor Konsantrasyonu, ppm	< 0,1	<0,1	< 0,1	< 0,1
Maksimum Operasyon Sıcaklığı, °C	45	45	45	45
Hamsu pH Aralığı	3,0 – 10,0	3,0 – 10,0	3,0 – 10,0	3,0 – 10,0
Maksimum Ham su Bulanıklık, NTU	1	1	1	1
Maksimum Ham su SDI	5	5	5	5
Maksimum Besleme Debisi, m ³ /sa	17	17	17	17
Konsantre suyun ürün suyuna oranı	5:1	5:1	5:1	5:1

5000 – 10000 ppm TDS değeri RO tasarımlarında SWC 6 enerji tasarruflu deniz suyu membranları kullanılmıştır. 19500 ve 38000 ppm değerinde iki farklı deniz suyu için yapılan tasarımlarda kullanılan membranlar ise SWC5 Max model deniz

suyu RO membranıdır. Tasarımlarda kullanılan ters osmoz membranlarının özellikleri Çizelge 3.1’ de, nanofiltrasyon membranı özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 : Nanofiltrasyon membranı özellikleri.

Membran Modeli	ESNA1- LF-LDS
Ürün Debisi, m ³ /g	31,0
CaCl ₂ Giderim Verimi	% 89
Konfigürasyon	Spiral Sarmal
Materyal	Kompozit Polyamid
Membran Alanı, m ²	37,1
Maksimum basınç dayanımı, bar	41,4
Maksimum Klor Konsantrasyonu, ppm	< 0,1
Maksimum Operasyon Sıcaklığı, °C	45
Hamsu pH Aralığı	3,0 – 10,0
Maksimum Hamsu Bulanıklık, NTU	1
Maksimum Ham su SDI	4,0
Maksimum Besleme Debisi, m ³ /sa	17
Konsantre suyun ürün suyuna oranı	5 : 1

Çizelge 3.3 : Ultrafiltrasyon membranı özellikleri.

Membran Modeli	Inge dizzer XL 0.9 MB 60 W
Malzeme	Polietersülfon
Membran tipi	Kapiler multibor
Dış Kap ve Kapaklar	PVC-U Beyaz/PVC-U Gri
Aktif Membran Yüzeti	60 m ²
Modül çapı	250 mm
Uzunluk	1680 mm
Ön Arıtma	<300 mikron
İşletme Basıncı	1,6 bar
Ters Yıkama Basıncı	3 bar
Akış, Filtrasyon	60-180 lt/m ² h
Akış, Ters Yıkama	230-300 lt/m ² h
Kapilet	
Cins	SevenBore
Fiber Başına Kapiler	7
Dış Çap	4 mm
İç Çap	0,9 mm
Por Büyüklüğü	0,02 µm
MWCO	100-150 kD

Ultrafiltrasyon tasarımları için için Inge dizzer XL 0.9 MB 60 W membran modülleri kullanılmıştır. Tasarımlarda kullanılan UF membran modülünün özellikleri Çizelge 3.3’te verilmiştir.

-Membran Kılıfları:

TDS değeri 5000 ppm'den küçük olan kuyu sularının arıtımında 8" 300 psi'lık membran kılıf fiyatı, TDS değeri 5000-10000 ppm olan kuyu sularının arıtımında 8" 450 psi'lık membran kılıfı, 19500 ppm ve 38000 ppm deniz suyu arıtımı için 8" 1200 psi'lık membran kılıfı kullanılmıştır.

-Membran Kılıf Şaseleri:

Epoksi boyalı karbon çelik şaseler kullanılmıştır.

-Kartuş Filtreler:

5 mikron hassasiyetinde kartuş filtreler ve 316 kalite paslanmaz çelik malzemeden imal kartuş filter gövdeleri kullanılmıştır.

-Sistem besleme Pompaları:

GRUNDFOS ve EBARA pompalarının fiyatları kullanılmıştır.

-Yüksek Basınç Pompaları: UF, NF ve RO sistemlerinde GRUNDFOS ve EBARA, SWRO sistemlerinde ise GRUNDFOS marka pompalar kullanılmıştır.

-Kimyasal Dozaj Pompaları:

Ecolab markalı kimyasal dozaj pompalarının fiyatları kullanılmıştır.

-Kimyasal Dozaj Tankları:

Farklı kapasitelerde polietilen tank fiyatları kullanılmıştır.

-Kimyasal Yıkama Ünitesi:

Bu ünite içerisinde kullanılacak pompalar için Grundfos ve Ebara marka pompalar tercih edilmiştir.

-Manometreler:

Pakkens marka manometre kullanılmıştır.

-Ürün, Atıksu ve Besleme Debimetreleri:

GF (George Fisher) debimetre fiyatları kullanılmıştır.

-Ham Su ve Ürün Suyu İletkenlikölçer:

GF (George Fisher) iletkenlikölçer fiyatları kullanılmıştır.

-Degazör:

Polipropilen degazör yıkama kulesi, rashing halkaları, polipropilen sıvı tankı ve blower kullanılmıştır. ASPO markasının çeşitli kapasitelerdeki anahtar teslim degazör fiyatları baz alınmıştır.

-Ön Arıtma Ekipmanları

Membran proseslerin öncesinde membranların tıkanmasını önlemek ve performansını arttırmak amacıyla ön arıtma ekipmanları kullanılmaktadır. Bu ekipmanlar içerisinde tortu giderimi için mekanik filtre, kum filtrasyon sistemleri, klorun membran yüzeyinde deformasyonunu ve organik madde giderimini sağlamak için aktif karbon filtrasyon sistemleri yer almaktadır. Çalışma kapsamında kum ve aktif karbon filtrasyon sistemi yerine alternatif olarak bir membran proses olan ultrafiltrasyon sistemi kullanılmıştır.

Mekanik filtre için 130 mikron hassasiyetinde filtrasyon yapan ARKAL ve AYTOK marka ters yıkamalı otomatik filtreler kullanılmıştır.

Kum filtrasyon sistemleri için epoksi boyalı karbon çelik yüksek tuzluluğa dayanıklı filtre tankı, kademeli kum ve çakıl, elektrik aktüatörlü kelebek vanalar, yüzey borulama ve PLC ekipmanı kullanılmıştır.

Aktif karbon filtrasyon sistemleri için epoksi boyalı karbon çelik yüksek tuzluluğa dayanıklı filtre tankı, aktif karbon medya ve taban kumu, elektrik aktüatörlü kelebek vanalar, yüzey borulama ve PLC ekipmanı kullanılmıştır.

NF proseslerine alternatif olarak kullanılan yumuşatma sistemleri için için epoksi boyalı karbon çelik yüksek tuzluluğa dayanıklı reçine tankı, reçine medya ve taban kumu, elektrik aktüatörlü kelebek vanalar, yüzey borulama, tuz tankı ve PLC ekipmanı kullanılmıştır.

Ön arıtma alternatifi olarak kullanılan Ultrafiltrasyon sistemleri için, UF modülleri, besleme pompası, ters yıkama ve CEB pompaları, kimyasal dozaj pompaları ve tankları, borulama, şase, PLC ekipmanı ve ölçüm ekipmanları kullanılmıştır.

-Mekanik Kapsam

Borulama ve fittings malzemelerinin (TE, dirsek, vana vb.) ekipman maliyetinin % 8-10'luk kısmı kadar olduğu değerlendirilmiştir.

-Elektrik Kapsamı

Elektrik panoları, kablolama ve PLC ekipmanlarının, ekipman maliyetinin % 5-8'lik kısmı kadar olduğu değerlendirilmiştir.

-İşletme Maliyeti Kapsamı

İşletme maliyeti kapsamında kimyasal tüketimleri, elektrik tüketimleri, uzun süreli ve sürekli sarf malzeme değişimleri (kum, aktif karbon, reçine, tablet tuz, membran, UF modülü, kartuş filtre) baz alınmıştır. İşletme maliyeti için baz alınan birim fiyatlar Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.4 : İşletme maliyeti için baz alınan birim fiyatlar.

Sarf Malzeme	Birim Fiyat
Antiskalant	6 €/kg
SMBS	0,6 €/kg
Asit (HCl)	0,5 €/kg
Kostik	0,7 €/kg
Klor	0,5 €/kg
Koagülant madde (FeCl ₃)	0,16 €/kg
Tablet Tuz	0,07 €/kg
Kum	0,1 €/kg
Aktif Karbon	1,65 €/kg
Reçine	1,1 €/kg
Membran Espa-1	431 €/adet
Membran CPA3	435 €/ adet
Membran SWC 6	560 €/adet
Membran SWC 5 Max	565 €/adet
Membran Esna1-LF-LDS	535 €/adet
UF Modülü	1450 €/adet
Kartuş Filtre	8-10 €/adet

Elektrik enerjisi tüketimi için birim fiyat 0,07 €/kW baz alınmıştır.

Kimyasal tüketimleri için antiskalant, SMBS, asit, kostik, klor, koagülant madde baz alınmıştır.

Yumuşatma sistemleri için sürekli sarf malzeme tüketimi kapsamında tablet tuz dikkate alınmıştır.

Uzun süreli sarf malzeme değişimi kapsamında membran için 3 yıl ve UF modülü için 6 yıllık periyotta değişim baz alınmıştır.

Kartuş filtreler için 6 aylık periyotta değişim baz alınmıştır.

3.7 İçme suyu eldesine göre yapılan tasarımlarda baz alınan faktörler

İçme suyu eldesi kapsamında yapılan çalışmada 1000, 2500, 5000 ve 10000 m³/gün üretim suyu miktarlarına göre sistem tasarımları yapılmıştır. Tasarımlar sonucunda ekipman, işletme ve toplam maliyetler m³ su başına maliyetler hesaplanmıştır.

500-1000 ppm, 2000-5000 ppm, 5000-10000 ppm aralıklarında 3 farklı kuyu suyu ile 19500 ppm ve 38000 ppm TDS değerlerindeki deniz suları değerleri için dizaynlar yapılmıştır. Bu kapsamda değerlendirilen kuyu ve deniz suları kimyasal analiz değerleri Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5: Kuyu ve Deniz Suları Kimyasal Analiz Değerleri.

Parametre (mg/l)	500-1000 ppm	2000-5000 ppm	5000-10000 ppm	19500 ppm	38000 ppm
Ca	84	165	865	226	1302
Mg	6	80	321	646	415
Na	58	395	2220	6083,5	12284,8
K	3,3	80	120	220	388
NH4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ba	0,07	0,03	0,03	0,010	0,010
Sr	0,7	12	16	4,0	6,3
CO3	0,3	0,0	3,6	7,5	11,3
HCO3	165	60	760	157	146
SO4	35	120	450	1490	2790
Cl	134,5	1090	5182,7	10661	20650
F	0,1	1,0	1,0	1,0	1,0
NO3	4,3	0,2	60	1,0	1,0
B	0,05	0,25	18	2,00	5,0
SiO2	8,73	18	5,0	1,0	5,0

Her tasarımda ön arıtmanın standart filtrasyon sistemleri (mekanik filtre + kum filtre + aktif karbon filtre) olması ve ultrafiltrasyon sistemleri olması durumuna göre 2 alternatif çalışılmıştır .

Sertlik giderimi kapsamında NF ve yumuşatma sistemlerinin kullanılmasının maliyetlere etkisi değerlendirilmiştir.

500-1000 ppm aralığındaki TDS değerlerine sahip kuyu suyu RO tasarımları için ESPA 1 ve NF tasarımları için ESNA1-LF-LDS, 2000-5000 ppm TDS değeri için CPA3 ters osmoz membranları kullanılmıştır. 5000 – 10000 ppm TDS değeri RO tasarımlarında SWC 6 enerji tasarruflu deniz suyu membranları kullanılmıştır.

19500 ve 38000 ppm değerinde iki farklı deniz suyu için yapılan tasarımlarda kullanılan membranlar ise SWC5 Max model deniz suyu RO membranıdır.

Kuyu suları için yapılan tasarımlarda 5000-10000 ppm TDS aralığına kadar 27 lt/m²h akı değeri baz alınırken, bu aralık için 22 lt/m²h akı değeri baz alınmıştır. Deniz suları için yapılan tasarımlarda 15,7 lt/m²h akı değeri baz alınmıştır.

500-1000 ppm ve 2000-5000 ppm aralığındaki kuyu suları için geri dönüşüm oranı % 75, 5000-10000 ppm aralığı için % 60, 19500 ppm ve 38000 ppm deniz suyu tasarımları için de % 40 geri dönüşüm oranı baz alınmıştır.

Membran değişim periyodu 3 yıl ve kartuş değişim periyodu 6 ay olarak Kabul edilmiştir.

Antiskalant ve SMBS dozajı 3 mg/lt olacak şekilde kimyasal tüketimleri belirlenmiştir.

Ultrafiltrasyon tasarımları için Inge dizzer XL 0.9 MB 60 W membran modülleri kullanılmıştır. Bulanıklık değerinin maksimum 15 NTU olması hali dşünölerek tasarımlar gerçekleştirilmiştir.

Deniz suları için yapılan UF tasarımlarında giriş suyunda koagölant madde dozajı (FeCl₃) yapılmıştır.

Standart filtrasyon sistemleri için kum filtrasyon ve aktif karbon filtrasyon sistemlerinde ortalama 10-15 m/h filtrasyon hızı alınması kabul edilmiştir. Kum filtresi medyası için ortalama 6 yıl, aktif karbon medya için ortalama 2 yıl değişim periyodu dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Yumuşatma sistemleri reçine medya değişim periyodu ortalama 6 yıl olarak kabul edilmiştir. 30 Fr sertlik değeri için her bir yumuşatma sisteminin günde ortalama 4 kez rejenerasyona gireceği kabul edilmiştir. 60 Fr sertlik değeri için her bir yumuşatma sisteminin ortalama 6 kez rejenerasyona gireceği hesaplanarak işletme maliyeti çalışmaları yapılmıştır. Her bir rejenerasyon aşamasında her gün tablet tuz kullanılacağı durumuna gore sarf malzeme hesaplamaları yapılmıştır.

Tüm tasarımlar için besleme, ters yıkama, yüksek basınç ve ara iletim pompaları için çeşitli kapasitelerde Grundfos ve Ebara marka 316 ve dubleks 316 kalite pompalardan kullanılmıştır.

Deniz suyu tasarımlarında da ön arıtmanın standart filtrasyon sistemleri (mekanik filtre + kum filtre + aktif karbon filtre) olması ve ultrafiltrasyon sistemleri olması durumuna göre 2 alternatif çalışılmıştır. Tüm tasarımlarda geri dönüşüm oranı % 40 olarak kabul edilmiştir. Akı değeri 15,7 olarak baz alınmıştır. 1200 psi membrane kılıfı ve SWC 5 Max model Hydranautics membran kullanılmıştır. Deniz suyu yüksek basınç pompaları ve booster pompalar için Grundfos marka pompa modelleri ve fiyatlarına göre hesaplamalar yapılmıştır. Enerji geri kazanımı için ERI marka pistonlu hidrolik yük değiştirici ekipmanlar kullanılmıştır. Besleme ve ara iletim pompaları içi çeşitli kapasitelerde 316 ve 316 dubleks Grundfos ve Ebara pompalar kullanılmıştır.

Deniz suları için de antiskalant ve SMBS dozajı 3 mg/lt olacak şekilde kimyasal tüketimleri belirlenmiştir.

3.8 Proses suyu eldesine göre yapılan tasarımlarda baz alınan faktörler

Enerji sektörü, elektronik, kimya ve ilaç sektörlerinde elektrik geçirmeyecek kadar saf suya yani ultra saf suya ihtiyaç duyulan işletmeler bulunmaktadır. Son 15 yıla kadar reverse osmoz sistemleri sonrasında yüksek saflıkta su elde etmek amacıyla katyonik iyon değiştirici reçine kolonu ve anyonik iyon değiştirici reçine kolonları ya da karışık yatak olarak tabir edilen hem rejenere edilip hem de kullan-at şeklinde işletilen mixed bed kolonları kullanılmaktaydı. Bu tip deiyonizasyon sistemlerinin işletme zorluğu, sistemi efektif olarak çalıştıracak personel sıkıntısı, sistemin kimyasal yıkamaların otomasyona bağlanarak yapılmasının zorluğu ve işletme maliyetlerinin yüksekliği gibi nedenlerle bu çalışmada yüksek saflıkta su eldesini sağlamak için reverse osmoz sistemleri sonrasında yenilikçi teknolojisi ile kullanım kolaylığı sunan Elektrodeiyonizasyon sistemleri ele alınmıştır.

EDI sistemleri endüstriyel uygulamalarda performansı iyileştirmek, ürün suyu kalitesini sürekli olarak korumak ve 18 megohm-cm'ye (0,05 -0,07 μ s/cm) kadar ultra saf su elde etmek amacıyla tercih edilmektedir.

Yalnızca elektrik kullanan EDI sistemleri, hiçbir kimyasal kullanmadan kesintisiz olarak saf su üretir. EDI sistemlerinde rejenerasyon için deiyonizasyon sistemlerindeki gibi asit, kostik veya herhangi bir kimyasal kullanılmaz. , EDI sistemleri işletmesi kolay ve ekonomiktir. Az yer işgal eder. EDI sistemlerinin

drenaj suları RO sistemleri girişine verilebilmektedir. EDI sistemlerinde yalnızca elektrik tüketimi söz konusu olmaktadır.

Proses suyu eldesi kapsamında yapılan çalışmada 1000, 2500, 5000 ve 10000 m³/gün üretim suyu miktarlarına göre sistem tasarımları yapılmıştır. Tasarımlar sonucunda ekipman, işletme ve toplam maliyetler m³ su başına maliyetler hesaplanmıştır.

500-1000 ppm, 2000-5000 ppm, 5000-1000 ppm aralıklarında 3 farklı kuyu suyu ile 19500 ppm ve 38000 ppm TDS değerlerindeki deniz suları değerleri için dizaynlar yapılmıştır. Her tasarımda ön arıtmanın standart filtrasyon sistemleri (mekanik filtre + kum filtre + aktif karbon filtre) olması ve ultrafiltrasyon sistemleri olması durumuna göre 2 alternatif çalışılmıştır.

500-1000 ppm aralığındaki TDS değerlerine sahip kuyu suyunda ve 2000-5000 ppm aralığındaki TDS değerlerine sahip kuyu sularında RO tasarımları için CPA3 ters osmoz membranları kullanılmıştır.

Bu iki aralıktaki TDS değerlerindeki RO tasarımlarından sonra elde edilen ürün suyu TDS değerlerinin (sırasıyla 22 ppm ve 33 ppm) EDI modülleri giriş suyu özelliklerine yakın olması nedeniyle sadece tek kademe RO sistemi ile hesaplama yapılmıştır.

RO sisteminden sonra suyun pH değerini arttırmak amacıyla degazör sistemleri maliyetlere dahil edilmiştir. Degazör sistemlerinden sonra yüksek saflıkta su eldesi için EDI modülleri tasarımları ile maliyet hesaplamaları yapılmıştır.

5000 – 10000 ppm TDS değeri RO tasarımlarında SWC 6 enerji tasarruflu deniz suyu membranları kullanılmıştır. 19500 ve 38000 ppm değerinde iki farklı deniz suyu için yapılan tasarımlarda kullanılan membranlar ise SWC5 Max model deniz suyu RO membranıdır.

5000 - 10000 ppm aralığındaki kuyu suyu, 19500 ppm ve 38000 ppm değerlerindeki deniz suları için yapılan RO tasarımlarından sonra elde edilen ürün suyu TDS değerlerinin (sırasıyla 84 ppm, 76 ppm ve 151 ppm) EDI modülleri giriş suyu özelliklerine uygun olmaması nedeniyle iki kademe RO sistemi ile hesaplama yapılmıştır.

RO1 ve RO2 sistemlerinden sonra suyun pH değerini arttırmak amacıyla degazör sistemleri maliyetlere dahil edilmiştir. Degazör sistemlerinden sonra yüksek saflıkta su eldesi için EDI modülleri tasarımları ile maliyet hesaplamaları yapılmıştır.

Kuyu suları için yapılan tasarımlarda 5000-10000 ppm TDS aralığına kadar 27 lt/m²h akı değeri baz alınırken, bu aralık için 22 lt/m²h akı değeri baz alınmıştır. Deniz suları için yapılan tasarımlarda 15,7 lt/m²h akı değeri baz alınmıştır.

500-1000 ppm ve 2000-5000 ppm aralığındaki kuyu suları için geri dönüşüm oranı % 75, 5000-10000 ppm aralığı için % 60, 19500 ppm ve 38000 ppm deniz suyu tasarımları için de % 40 geri dönüşüm oranı baz alınmıştır. Membran değişim periyodu 3 yıl ve kartuş değişim periyodu 6 ay olarak Kabul edilmiştir.

Antiskalant ve SMBS dozajı 3 mg/lt olacak şekilde kimyasal tüketimleri belirlenmiştir. Ultrafiltrasyon tasarımları için Inge dizzer XL 0.9 MB 60 W membran modülleri kullanılmıştır. Bulanıklık değerinin maksimum 15 NTU olması hali düşünülerek tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Deniz suları için yapılan UF tasarımlarında giriş suyunda koagülant madde dozajı (FeCl₃) yapılmıştır.

Standart filtrasyon sistemleri için kum filtrasyon ve aktif karbon filtrasyon sistemlerinde ortalama 10-15 m/h filtrasyon hızı alınması kabul edilmiştir. Kum filtresi medyası için ortalama 6 yıl, aktif karbon medya için ortalama 2 yıl değişim periyodu dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Tüm tasarımlar için besleme, ters yıkama, yüksek basınç ve ara iletim pompaları için çeşitli kapasitelerde Grundfos ve Ebara marka 316 ve dubleks 316 kalite pompalardan kullanılmıştır.

Deniz suyu tasarımlarında da ön arıtmanın standart filtrasyon sistemleri (mekanik filtre + kum filtre + aktif karbon filtre) olması ve ultrafiltrasyon sistemleri olması durumuna göre 2 alternatif çalışılmıştır. Tüm tasarımlarda geri dönüşüm oranı % 40 olarak kabul edilmiştir. Akı değeri 15,7 olarak baz alınmıştır. 1200 psi membran kılıfı ve SWC 5 Max model Hydranautics membran kullanılmıştır.

Deniz suyu yüksek basınç pompaları ve booster pompalar için Grundfos marka pompa modelleri ve fiyatlarına göre hesaplamalar yapılmıştır.

Enerji geri kazanımı için ERI marka pistonlu hidrolik yük değiştirici ekipmanlar kullanılmıştır. Besleme ve ara iletim pompaları için çeşitli kapasitelerde 316 ve 316 dubleks Grundfos ve Ebara pompalar kullanılmıştır.

Deniz suları için de antiskalant ve SMBS dozajı 3 mg/lt olacak şekilde kimyasal tüketimleri belirlenmiştir.

4. MALİYET ANALİZİ SONUÇLARI

4.1 Maliyet Senaryoları

Maliyet analizleri değerlendirilmesi kapsamında ham sudan içme suyu elde edilmesi ve proses suyu elde edilmesi amacına yönelik iki ana alt başlık için maliyet senaryoları yapılmıştır. Bu kapsamda içme suyu eldesi ve proses suyu eldesi için 500-1000 ppm, 2000-5000 ppm, 5000-10000 ppm TDS aralıkları ile 19500 ppm ve 38000 ppm TDS değerleri için çalışmalar yapılmıştır.

İçme suyu eldesi kapsamında 500-1000 ppm TDS aralığında ön arıtma alternatifleri içerisinde yumuşatma sistemi kullanılmasının maliyet çalışmalarına etkisi incelenmiştir.

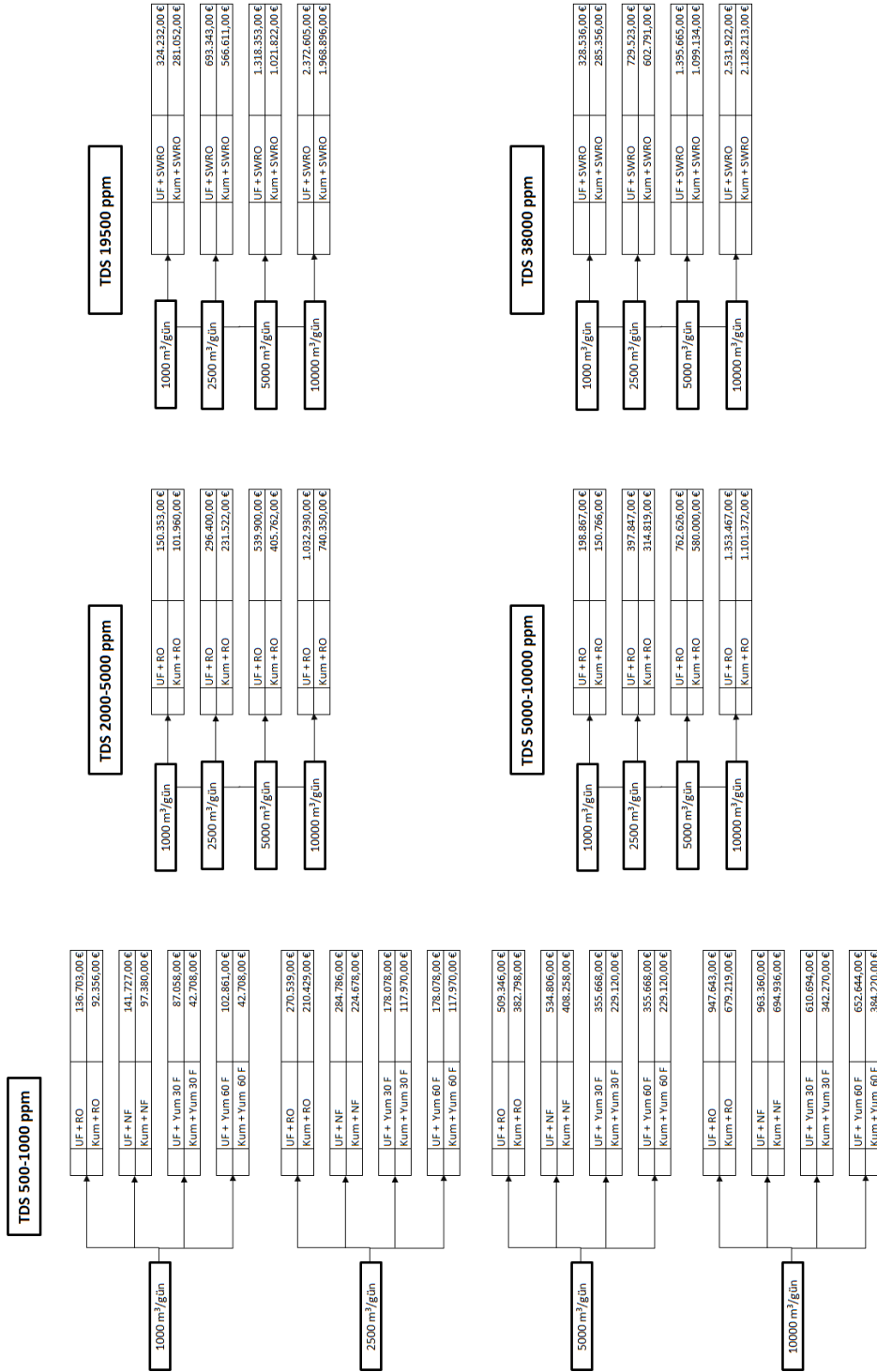
TDS değerlerinin yanısıra debi değerleri 1000 m³/gün, 2500 m³/gün, 5000 m³/gün ve 10000 m³/gün olarak değişken olarak seçilmiştir.

Her bir tasarımda ön arıtma için standart filtrasyon sistemleri ve ultrafiltrasyon sistemleri alternatifleri değerlendirilmiştir. Proses suyu eldesi kapsamında 500-1000 ppm ve 2000-5000 ppm kuyu suyu TDS değerleri için yapılan RO tasarımlarından sonra elde edilen ürün suyu TDS değerleri (31 ppm) EDI modülleri giriş suyu özelliklerine yakın olması nedeniyle sadece tek kademe RO sistemi ile hesaplama yapılmıştır.

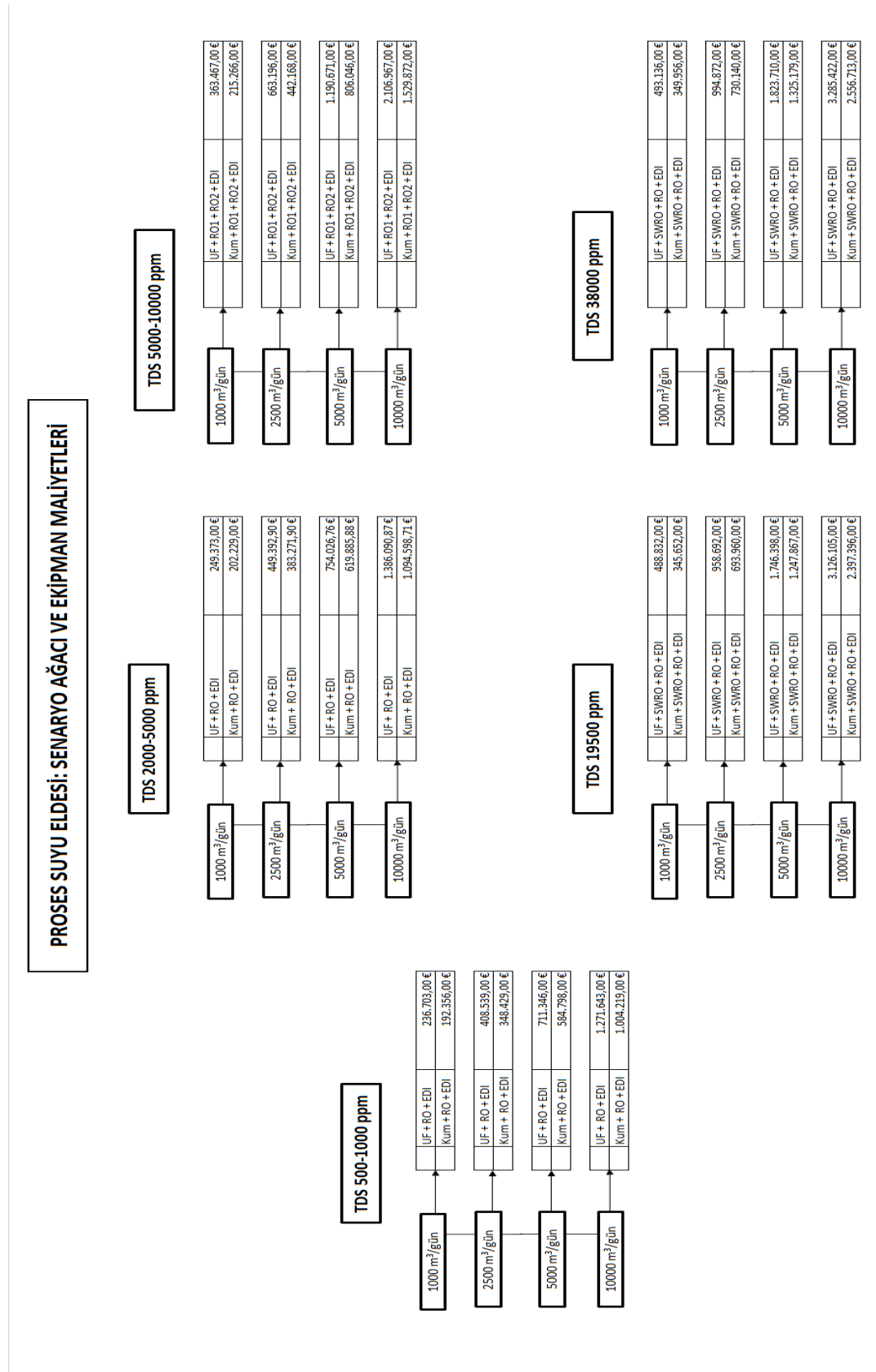
5000 - 10000 ppm aralığındaki kuyu suyu, 19500 ppm ve 38000 ppm değerlerindeki deniz suları için yapılan RO tasarımlarından sonra elde edilen ürün suyu TDS değerlerinin (sırasıyla 84 ppm, 78 ppm ve 151 ppm) EDI modülleri giriş suyu özelliklerine uygun olmaması nedeniyle iki kademe RO sistemi ile hesaplama yapılmıştır. RO sisteminden sonra suyun pH değerini arttırmak amacıyla degazör sistemleri maliyetlere dahil edilmiştir. Degazör sistemlerinden sonra yüksek saflıkta su eldesi için EDI modülleri tasarımları ile maliyet hesaplamaları yapılmıştır.

Seçilen sistemlerin senaryo ağacı şeklindeki ekipman maliyetleri içme suyu eldesi için Şekil 4.1’de ve proses suyu eldesi için Şekil 4.2’de verilmiştir.

İÇME SUYU ELDESİ: SENARYO AĞACI VE EKİPMAN MALİYETLERİ



Şekil 4. 1 : İçme suyu eldesi için ekipman maliyetleri senaryo ağacı



Şekil 4.2 : Proses suyu eldesi için ekipman maliyetleri senaryo ağacı

4.2 Maliyet Performans Kriterleri

Bu tez kapsamında maliyet performansını etkileyen kriterler ekipman maliyeti, işletme maliyeti ve toplam maliyettir. Maliyet performans kriterleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Maliyet performans kriterleri

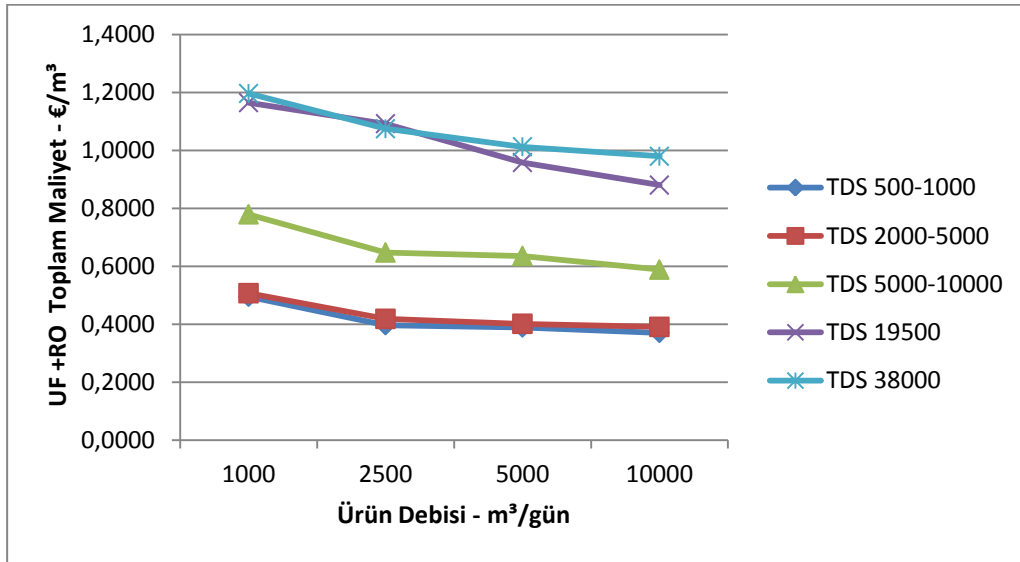
İlk Yatırım Maliyeti: Ekipman Maliyeti

İşletme Maliyeti: Elektrik Tüketimi + Sarf Malzeme Tüketimi

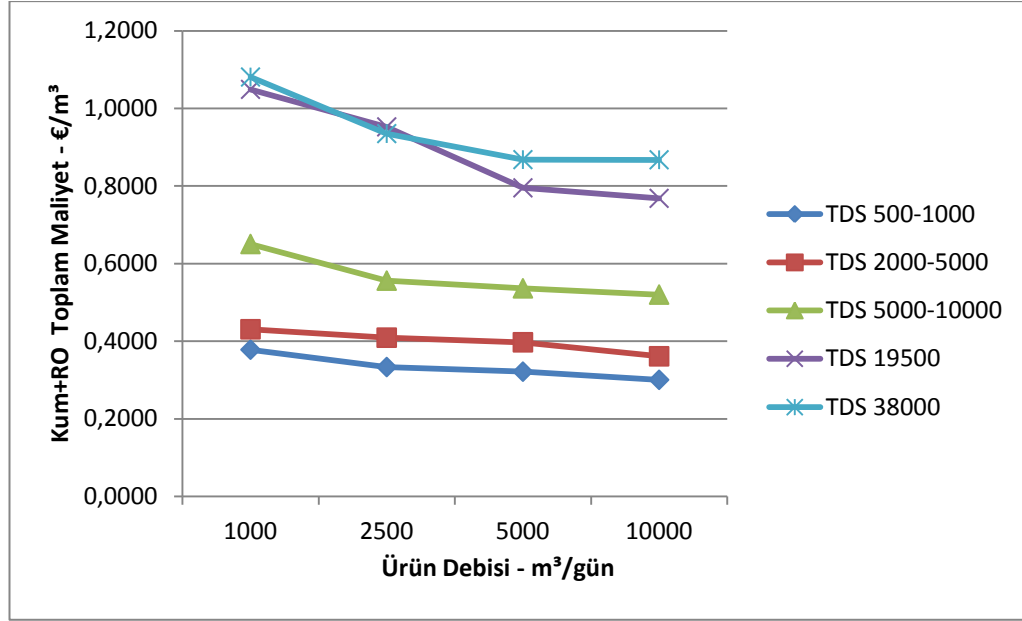
Toplam Maliyet: Ekipman Maliyeti + İşletme Maliyeti

4.3 İçme Suyu Eldesi Kapsamında Maliyet Değerlendirmesi

Çalışma kapsamında belirlenen içme suyu eldesi maliyet analizleri bu bölümde değerlendirilmiştir. 5 farklı TDS aralığındaki suların RO sistemi ile arıtılmasında ön arıtmanın ultrafiltrasyon sistemi ile yapılması durumunun TDS ve kapasiteye göre değişimleri sırası ile Şekil 4.1’de Toplam Maliyet , Şekil 4.2’de Ekipman Maliyeti ve Şekil 4.3’de İşletme Maliyeti olarak verilmiştir.



Şekil 4. 3 : Beş farklı TDS aralığındaki suların RO sistemi ile arıtılmasında ön arıtma ultrafiltrasyon sistemi ile yapılması durumunda sistemin toplam maliyetinin kapasite ve tuzluluk ile ilişkisi.



Şekil 4. 4 : Beş farklı TDS aralığındaki suların RO sistemi ile arıtılmasında ön arıtmanın standart filtrasyon sistemleri ile yapılması durumunda sistemin toplam maliyetinin kapasite ve tuzluluk ile ilişkisi.

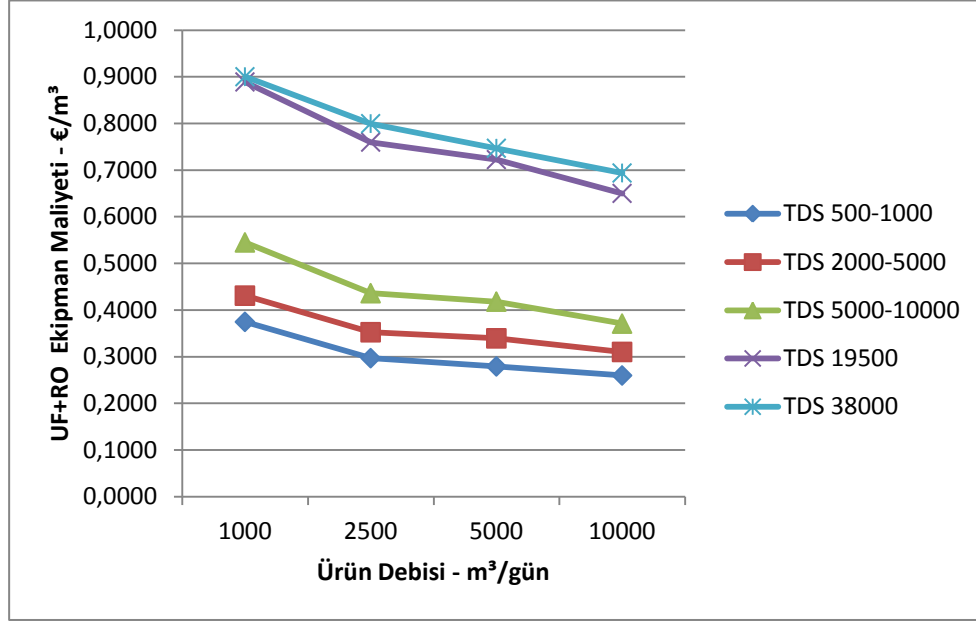
Şekil 4.1’de tüm TDS aralıklarında ön arıtmanın UF ile yapılması durumunda toplam maliyetin debi ile değişimi gösterilmiştir. Şekil 4.2’de ise bu durumun ön arıtmanın standart filtrasyon sistemleri ile olması durumuna göre toplam maliyetler verilmiştir. Standart filtrasyon sistemleri kısaca KF olarak anılacaktır.

Tüm TDS değerleri için toplam maliyetin kapasitenin artmasıyla birlikte düştüğü görülmüştür. Her kapasite için toplam maliyet tuzluluk arttıkça artış göstermektedir.

500-1000 ppm TDS aralığında ön arıtmanın alternatifleri karşılaştırılmasında 1000 m³/gün kapasiteli sistemin toplam maliyeti ile 10000 m³/gün kapasiteli sistem toplam maliyeti arasında % 25 oranında bir düşüş görülmüştür.

TDS 5000-10000 ppm aralığı için 10000 m³/gün debide ön arıtmanın UF olması durumunda toplam maliyet 0,58 €/m³ iken, KF sistemleri olması durumunda 0,52 €/m³’tür. Ön arıtma için KF sistemlerinin kullanılması ekipman maliyeti bazında daha avatajlı olsa da, tüm hesaplamalara besleme ve ara iletim pompaları da dahil edildiğinden enerji maliyeti nedeniyle toplam maliyet değerleri arasında % 13 oranında bir farklılık görülmektedir.

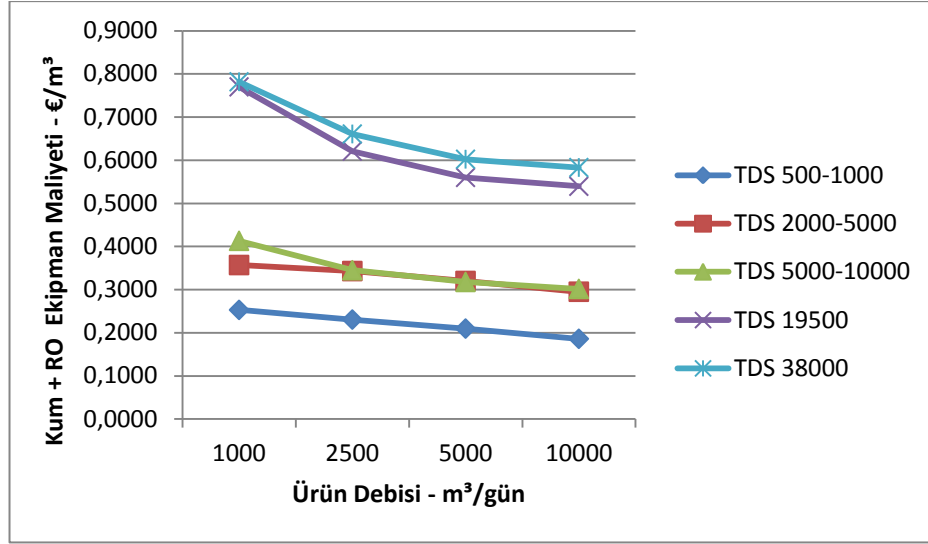
1000 m³/gün'lük kapasite için tuzluluğu 19500 ppm olan deniz suyu suyunun RO sistemleri arıtılmasının ile toplam maliyeti ön arıtmanın UF ile olması durumunda ortalama 1,19 €/m³ iken, ön arıtmanın KF sistemleri ile durumunda 1,08 €/m³'tür. 10000 m³/gün kapasite debi artışı ile birlikte bu değerler sırasıyla 0,97 €/m³ ve 0,86 €/m³ seviyelerine inmektedir.



Şekil 4. 5 : Beş farklı TDS aralığındaki suların RO sistemi ile arıtılmasında ön arıtma ultrafiltrasyon sistemi ile yapılması durumunda sistemin ekipman maliyetinin kapasite ve tuzluluk ile ilişkisi.

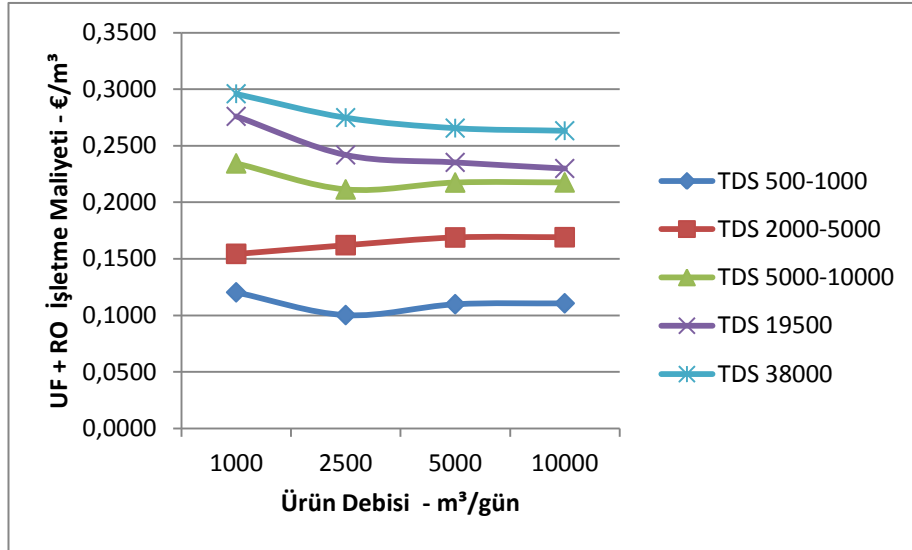
Şekil 4.3 ve 4.4'te, belirlenen TDS aralıklarındaki kuyu ve deniz sularının RO ile arıtılmasının tuzluluk ve kapasite ile değişimlerinin ekipman maliyeti açısından incelenmesi yapılmıştır. Ön arıtma alternatifleri olarak UF ve KF sistemlerinin ekipman maliyetine katkısı değerlendirilmiştir. 5000 m³/gün kapasite için 2000-5000 ppm TDS aralığında UF ile ön arıttaki ekipman maliyetinin KF sistemleri ile ön arıtma göre % 25 daha pahalı olduğu görülmüştür.

TDS değeri arttıkça tüm sistemlerde ekipman maliyeti artış göstermiştir. En yüksek ekipman maliyeti UF'nin ön arıtma olarak kullanıldığı 38000 ppm deniz suyu 1000 m³/gün kapasite için 0,9 €/m³'tür. 10000 m³/gün kapasite için aynı koşullarda ekipman maliyeti 0,69 €/m³ olarak hesaplanmıştır.



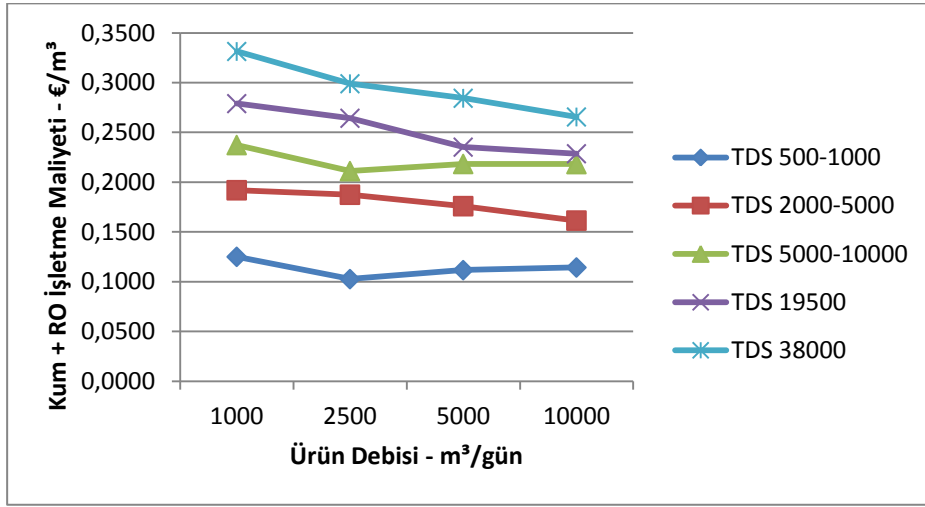
Şekil 4. 6 : Beş farklı TDS aralığındaki suların RO sistemi ile arıtılmasında ön arıtmanın standart filtrasyon sistemleri ile yapılması durumunda sistemin ekipman maliyetinin kapasite ve tuzluluk ile ilişkisi.

En düşük ekipman maliyeti 10000 m³/gün kapasite için ön arıtmanın standart filtrasyon sistemleri ile yapılması durumunda 0,18 €/m³ olarak belirlenmiştir.



Şekil 4. 7 : Beş farklı TDS aralığındaki suların RO sistemi ile arıtılmasında ön arıtma ultrafiltrasyon sistemi ile yapılması durumunda sistemin işletme maliyetinin kapasite ve tuzluluk ile ilişkisi.

UF'nin ön arıtma olması durumunda 2000-5000 ppm TDS aralığı için yapılan hesaplamalarda, diğer TDS değerlerinden farklı olarak işletme maliyetinde debinin artması ile işletme maliyetinde artış olduğu görülmektedir.

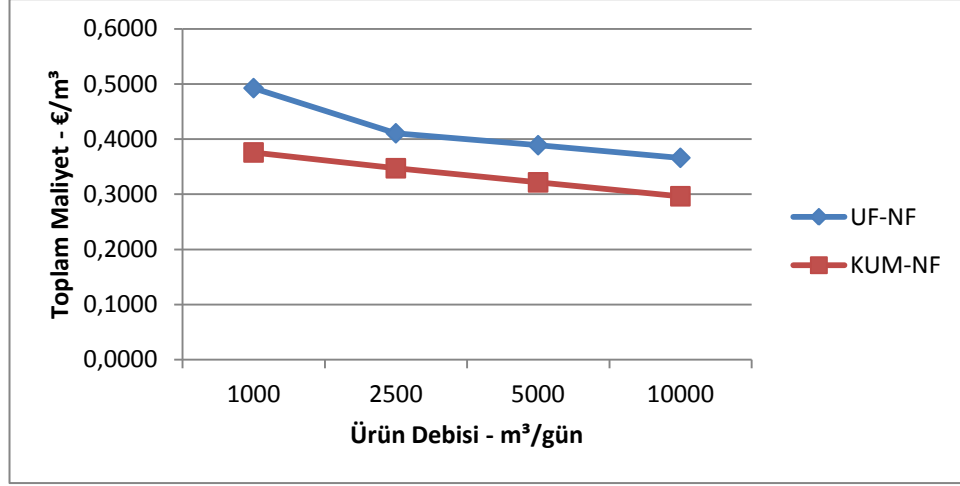


Şekil 4. 8 : Beş farklı TDS aralığındaki suların RO sistemi ile arıtılmasında ön arıtmanın KF sistemleri ile yapılması durumunda sistemin işletme maliyetinin kapasite ve tuzluluk ile ilişkisi.

Ön arıtmanın standart filtrasyon sistemleri ile olması durumu için yapılan hesaplamalarda tüm TDS değerleri için debinin artışı ile işletme maliyetlerinde düşüş olduğu gözlemlenmiştir.

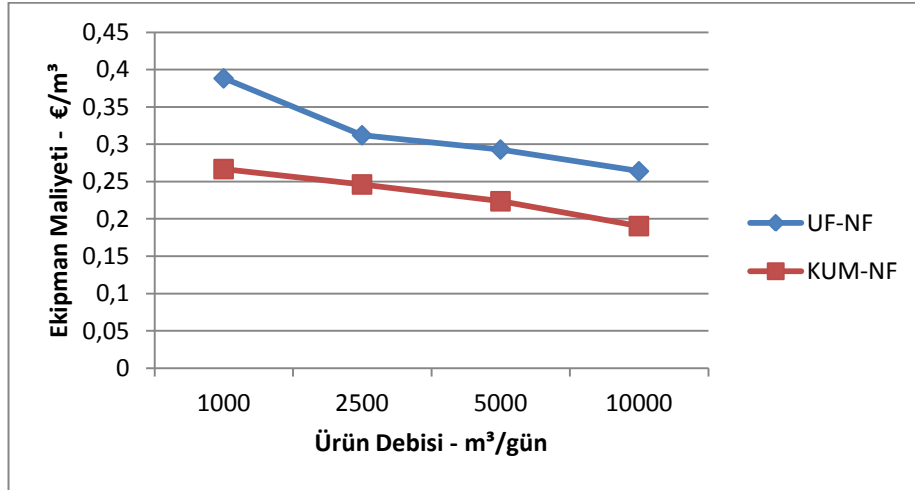
En düşük işletme maliyetlerinin 500-1000 ppm kuyu suyu TDS aralığında olduğu görülürken, en yüksek işletme maliyetinin 38000 ppm deniz suyu TDS değerinde ön arıtmanın KF sistemleri ile olması halinde görülmüştür.

500-1000 ppm TDS aralığında kuyu suyundan içme suyu eldesi için NF sistemi kullanılması durumunun toplam maliyetleri Şekil 4.7’de, ekipman maliyetleri Şekil 4.8’de ve işletme maliyetleri Şekil 4.9’da verilmiştir.



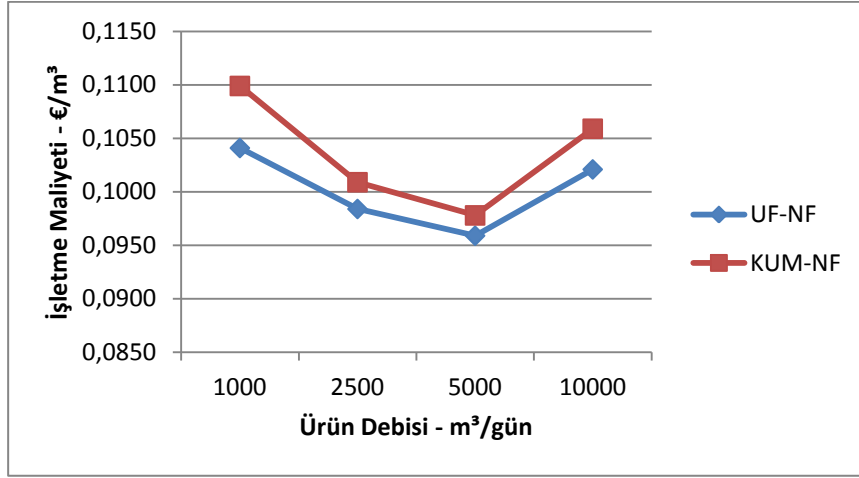
Şekil 4. 9 : 500-1000 ppm TDS aralığındaki kuyu suyundan NF sistemi ile içme suyu elde edilmesinin ön arıtmanın UF ve standart filtrasyon sistemleri ile yapılması durumunda toplam maliyetin kapasite ile ilişkisi.

500-1000 ppm TDS aralığındaki kuyu sularının NF sistemleri ile arıtılmasında ön arıtmanın KF sistemleri ile yapılması tüm kapasiteler için UF sistemleri ile yapılmasından yaklaşık % 15-20 oranında daha düşük toplam maliyet oluşturmuştur.



Şekil 4. 10 : 500-1000 ppm TDS aralığındaki kuyu suyundan NF sistemi ile içme suyu elde edilmesinin ön arıtmanın UF ve standart filtrasyon sistemleri ile yapılması durumunda ekipman maliyetin kapasite ile ilişkisi.

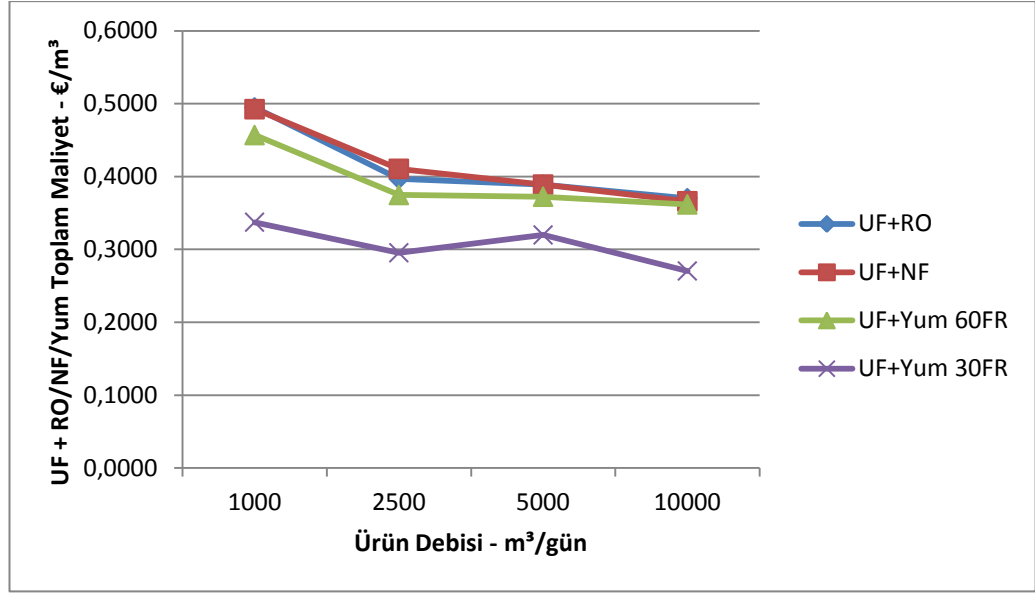
NF sistemlerinde 1000 m³/gün kapasitede ekipman maliyetinin ön arıtmanın UF sistemleri ile yapılması KF sistemlerine ile yapılması durumuna göre % 23 daha pahalıdır. Aynı durum 10000 m³/gün kapasite için % 19'dur.



Şekil 4. 11 : 500-1000 ppm TDS aralığındaki kuyu suyundan NF sistemi ile içme suyu elde edilmesinin ön arıtmanın UF ve standart filtrasyon sistemleri ile yapılması durumunda ekipman maliyetin kapasite ile ilişkisi.

NF sistemlerinde işletme maliyeti her iki alternatif için en düşük değerini 5000 m³/gün debide göstermiştir. Sırasıyla 1000, 2500 ve 5000 m³/gün debiler için giderek azaldığı görülen işletme maliyetleri 10000 m³/gün debide UF için 0,095 €/m³ ve KF için 0,097 €/m³ olarak görülmektedir. Ön arıtmanın KF sistemleri ile olması durumunda, kullanılan ters yıkama pompaları enerji tüketiminin fazla olması nedeniyle tüm debiler için işletme maliyetleri UF sistemlerine göre daha yüksek çıkmıştır.

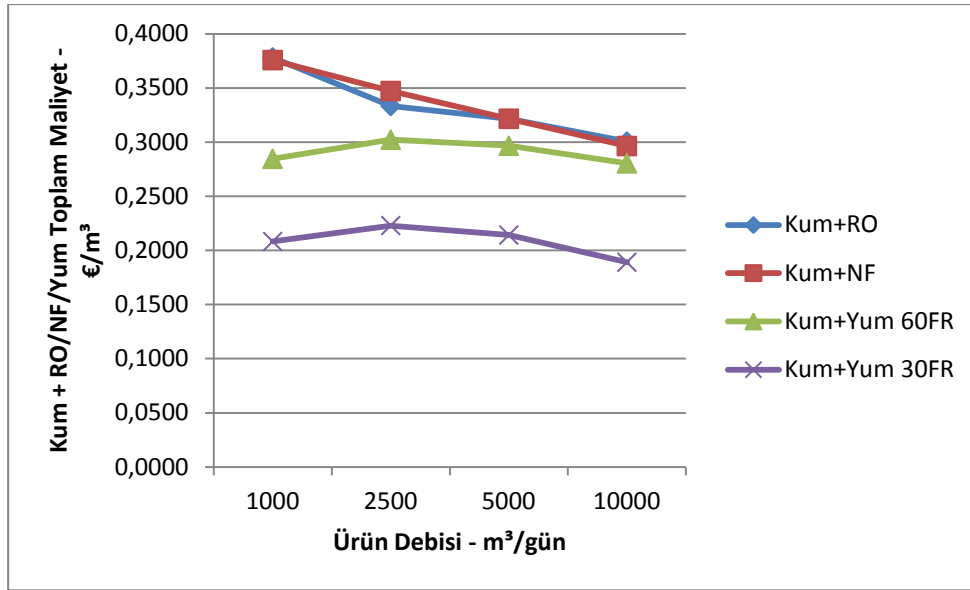
Şekil 4.10 ve 4.11’de RO, NF ve yumuşatma sistemlerinin ön arıtmanın UF ve KF sistemleri ile yapılması durumuna göre toplam maliyetlerinin kapasite ile ilişkisi, Şekil 4.12 ve 4.13’te ekipman maliyeti, Şekil 4.14 ve 4.15’te işletme maliyetleri incelenmiştir.



Şekil 4. 12 : 500-1000 ppm TDS aralığındaki kuyu suyundan RO sistemi, NF sistemi ve yumuşatma sistemi ile içme suyu elde edilmesinin ön arıtmanın UF sistemleri ile yapılması durumunda toplam maliyetin kapasite ile ilişkisi.

UF ile ön arıtım tüm sistem alternatifleri için genel olarak toplam makliyette düşüş gözlemlenmiştir. KF sistemleri ile ön arıtma yapılması durumunda yumuşatma sistemlerinin her iki alternatifinde de (30 Fr ve 60 Fr toplam sertlik değeri) dalgalanma görülmektedir. Bunun nedeni debinin artması ile birlikte kullanılan KF ve yumuşatma sistemlerinin sayısının artmasıdır. Diğer bir nedeni ise toplam maliyet çatısı altında işletme maliyetlerinin de yer almasıdır.

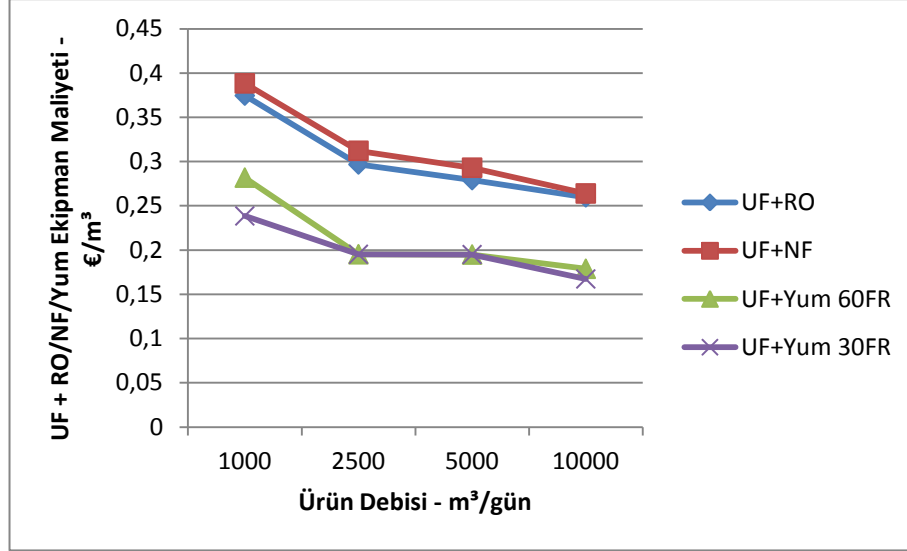
Yumuşatma sistemleri reçine medyasının rejenerasyonunda tuz çözeltisi kullanılmaktadır. Sürekli sarf malzeme sınıfına giren tuz işletme maliyetlerini yükseltmektedir.



Şekil 4. 13 : 500-1000 ppm TDS aralığındaki kuyu suyundan RO sistemi, NF sistemi ve yumuşatma sistemi ile içme suyu elde edilmesinin ön arıtmanın KF sistemleri ile yapılması durumunda toplam maliyetin kapasite ile ilişkisi.

En düşük birim su toplam maliyeti 30 Fr toplam sertlik değeri için ön arıtmanın KF sistemleri ile olması durumunda 0,18 €/m³ iken, en yüksek birim su toplam maliyeti 0,49 €/m³ ile ön arıtmada UF kullanılan RO sistemi alternatifi olmuştur. Çıkış suyu kalitesi açısından değerlendirildiğinde RO ile son arıtma yapılması halinde 0-1 Fr çıkış suyu toplam sertlik değeri ve <50 ppm TDS değeri elde edilirken, NF sisteminde 3-5 Fr toplam sertlik değeri ve 180 ppm TDS değeri elde edilmektedir. Yumuşatma sistemi çıkış suyu kalitesinde TDS değerinde değişim görülmezken sertlik değeri 0-5 Fr aralığına rahatlıkla indirilebilmektedir.

NF ve RO sistemleri tek başına karşılaştırıldığında yakın toplam maliyet değerleri elde edildiği görülmüştür. Bunun nedeni NF membranlarının yüksek maliyete sahip olmasıdır.



Şekil 4. 14 : 500-1000 ppm TDS aralığındaki kuyu suyundan RO sistemi, NF sistemi ve yumuşatma sistemi ile içme suyu elde edilmesinin ön arıtmanın UF sistemleri ile yapılması durumunda ekipman maliyetinin kapasite ile ilişkisi.

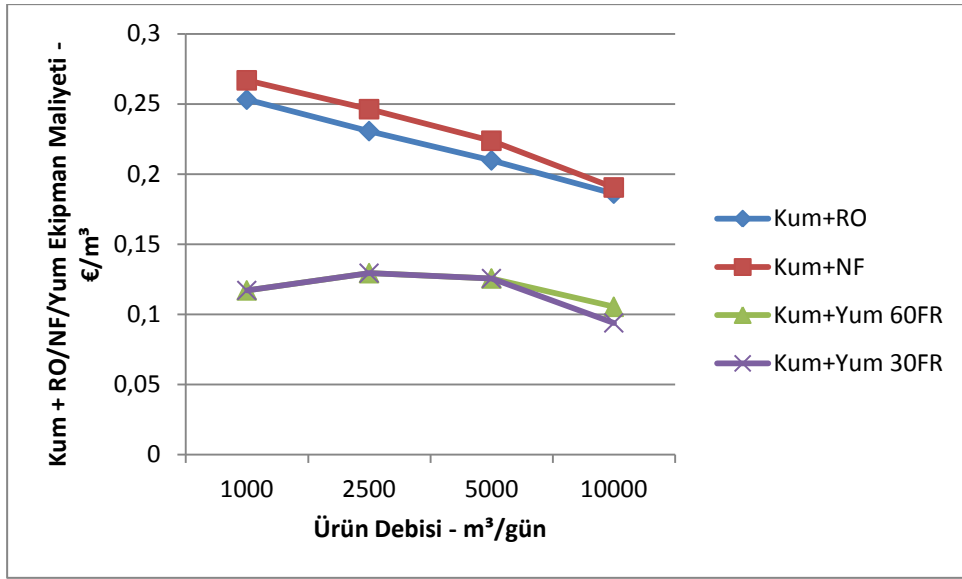
Şekil 4.12 ve 4.13'te RO, NF ve yumuşatma sistemlerinin ön arıtmanın UF ve KF sistemleri ile yapılması durumuna göre ekipman maliyetlerinin kapasite ile ilişkisi incelenmiştir.

En yüksek ekipman maliyeti 1000 m³/gün kapasite için UF'nin ön arıtma olması durumunda NF sistemi ile yapılması halinde 0,38 €/m³ olarak hesaplanmıştır.

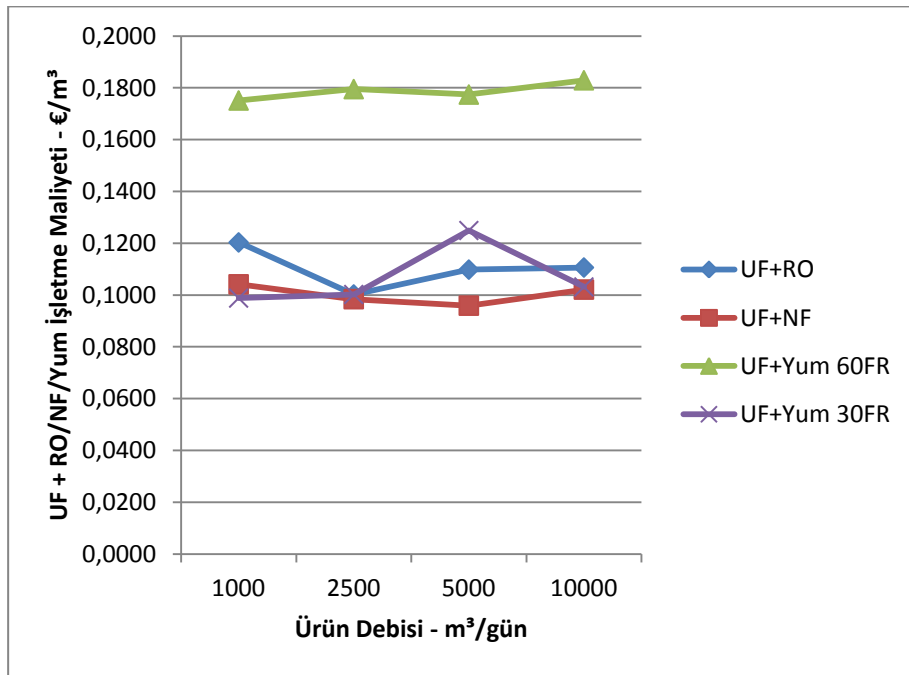
En düşük ekipman maliyeti 0,093 €/m³ olarak KF sistemlerinin ön arıtma olması durumunda 30 Fr toplam sertlik değerinde yumuşatma sistemi ile yapılması için hesaplanmıştır.

NF sistemleri ile içme suyu eldesi her iki ön arıtma alternatifinde tüm kapasiteler için en yüksek ekipman maliyeti değerlerini vermektedir.

Ön arıtmanın KF sistemleri ile olması durumunda 30 Fr ve 60 Fr sertlik değerlerinde yumuşatma sistemleri ile içme suyu eldesi ekipman maliyetlerinin yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Bunun nedeni farklı rejenerasyon miktarlarında aynı sayıda yumuşatma sistemi kullanılmasıdır.



Şekil 4. 15 : 500-1000 ppm TDS aralığındaki kuyu suyundan RO sistemi, NF sistemi ve yumuşatma sistemi ile içme suyu elde edilmesinin ön arıtmanın KF sistemleri ile yapılması durumunda ekipman maliyetinin kapasite ile ilişkisi

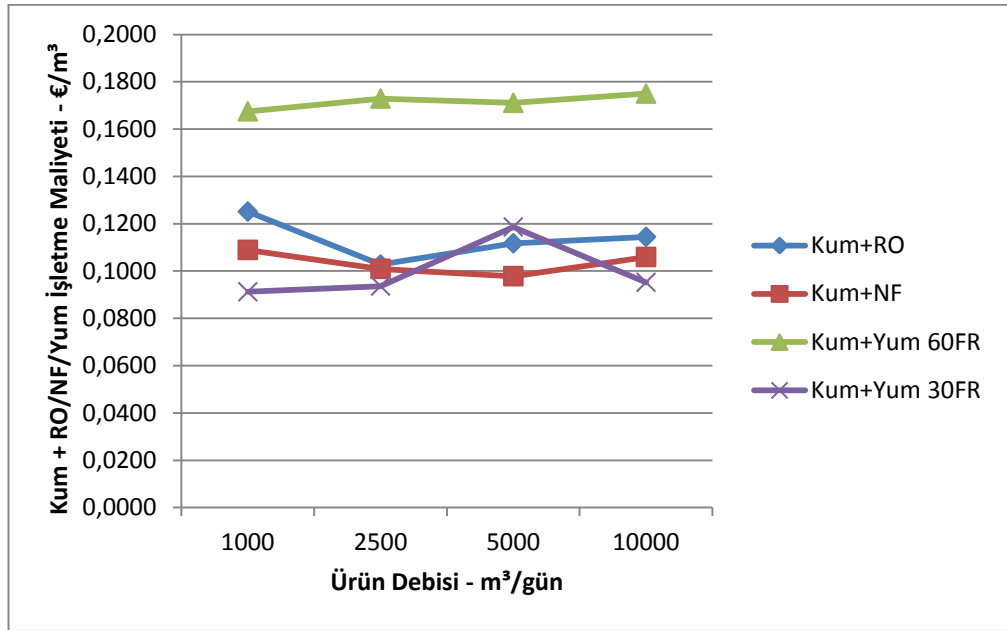


Şekil 4. 16 : 500-1000 ppm TDS aralığındaki kuyu suyundan RO sistemi, NF sistemi ve yumuşatma sistemi ile içme suyu elde edilmesinin ön arıtmanın UF sistemleri ile yapılması durumunda işletme maliyetinin kapasite ile ilişkisi.

Şekil 4.14 ve 4.15’te RO, NF ve yumuşatma sistemlerinin ön arıtmanın UF ve KF sistemleri ile yapılması durumuna göre işletme maliyetlerinin kapasite ile ilişkisi incelenmiştir.

İşletme maliyetinde enerji tüketimi NF sisteminde düşük RO sistemlerinde daha yüksektir. Bununla birlikte membran değişim maliyeti açısından değerlendirildiğinde NF sistemi işletme maliyeti RO sistemine göre daha yüksektir.

RO ve NF sistemlerinde en yüksek işletme maliyeti KF sistemlerinin ön arıtma olarak kullanıldığı RO alternatifi ile 0,12 €/m³ olarak görülmektedir. En düşük işletme maliyeti ise UF’nin ön arıtma olarak kullanıldığı NF sistemi ile 0,095 €/m³ olarak görülmektedir.



Şekil 4. 17 : 500-1000 ppm TDS aralığındaki kuyu suyundan RO sistemi, NF sistemi ve yumuşatma sistemi ile içme suyu elde edilmesinin ön arıtmanın KF sistemleri ile yapılması durumunda işletme maliyetinin kapasite ile ilişkisi.

Yumuşatma sistemleri ile içme suyu eldesinde her iki ön arıtma alternatifi için en yüksek işletme maliyetlerinin elde edildiği görülmüştür. Yumuşatma sistemlerinde kullanılan sürekli sarf malzeme olan tuzun işletme maliyetine etkisi, rejenerasyon sayısına göre değişiklik göstermektedir.

Yumuşatma sistemi tasarımları yapılırken 30 Fr toplam sertlik için ortalama 3-4 rejenerasyon/gün baz alınırken, 60 Fr toplam sertlik değeri için ortalama 4-6 rejenerasyon/gün hesaplanmıştır.

En yüksek işletme maliyeti 10000 m³/gün kapasite için UF ön arıtma 60 Fr sertlik gideriminde yumuşatma sistemi kullanılması halinde 0,18 €/m³ olarak belirlenmiştir.

En düşük işletme maliyeti 0,091 €/m³ ile KF sistemleri ön arıtması ile 30 Fr sertlik gideriminde yumuşatma sistemi kullanılması olarak belirlenmiştir.

4.4 Proses Suyu Eldesi Kapsamında Maliyet Değerlendirmesi

Çalışma kapsamında belirlenen proses suyu eldesi maliyet analizleri bu bölümde değerlendirilmiştir. 5 farklı TDS aralığındaki suların RO ve SWRO sistemi ile arıtılmasında ön arıtmanın ultrafiltrasyon sistemi ve standart filtrasyon sistemleri ile yapılması durumunun TDS ve kapasiteye göre değişimleri incelenmiştir.

500-1000 ppm aralığındaki TDS değerine sahip kuyu suyu ve 2000-5000 ppm aralığındaki TDS değerlerine sahip kuyu sularındaki RO tasarımlarından sonra elde edilen ürün suyu TDS değerinin (31 ppm) EDI modülleri giriş suyu özelliklerine yakın olması nedeniyle sadece tek kademe RO sistemi ile hesaplama yapılmıştır.

RO sisteminden sonra suyun pH değerini arttırmak amacıyla degazör sistemleri maliyetlere dahil edilmiştir. Degazör sistemlerinden sonra yüksek saflıkta su eldesi için EDI modülleri tasarımları ile maliyet hesaplamaları yapılmıştır.

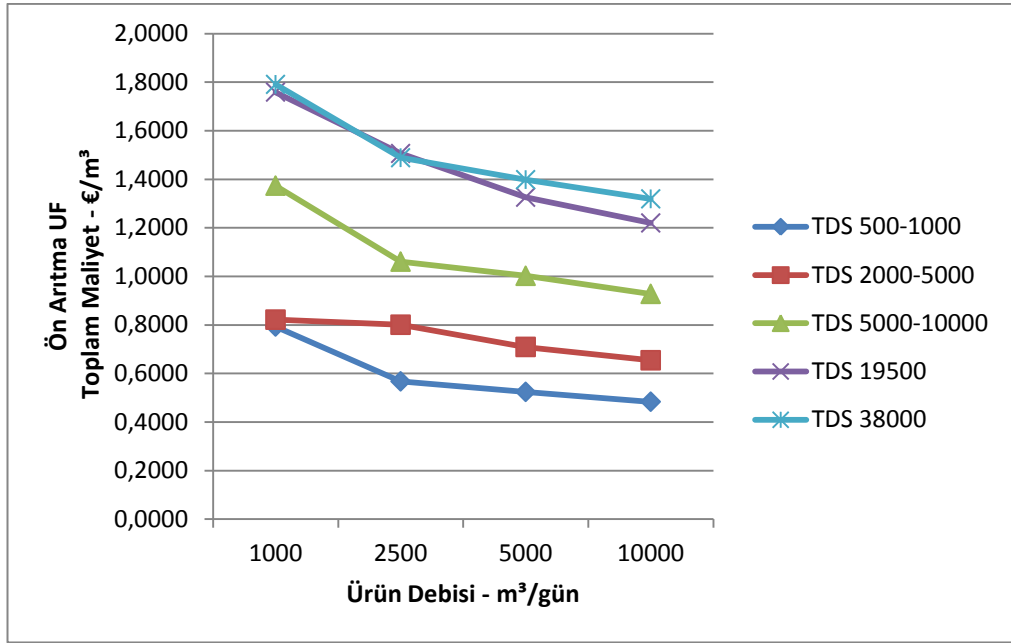
5000 - 10000 ppm aralığındaki kuyu suyu, 19500 ppm ve 38000 ppm değerlerindeki deniz suları için yapılan RO tasarımlarından sonra elde edilen ürün suyu TDS değerlerinin (sırasıyla 84 ppm, 78 ppm ve 151 ppm) EDI modülleri giriş suyu özelliklerine uygun olmaması nedeniyle ilk kademe RO sisteminden sonra ikinci kademe RO sistemi ile hesaplama yapılmıştır.

Suyun pH değerini arttırmak amacıyla degazör sistemleri maliyetlere dahil edilmiştir. Degazör sistemlerinden sonra yüksek saflıkta su eldesi için EDI modülleri tasarımları ile maliyet hesaplamaları yapılmıştır.

Sırası ile Şekil 4.16'da ön arıtmanın UF olması durumuna göre toplam maliyet, Şekil 4.17'de ön arıtmanın KF olması durumuna göre toplam maliyet değerlerinin kapasite ve tuzluluk ile ilişkileri verilmiştir.

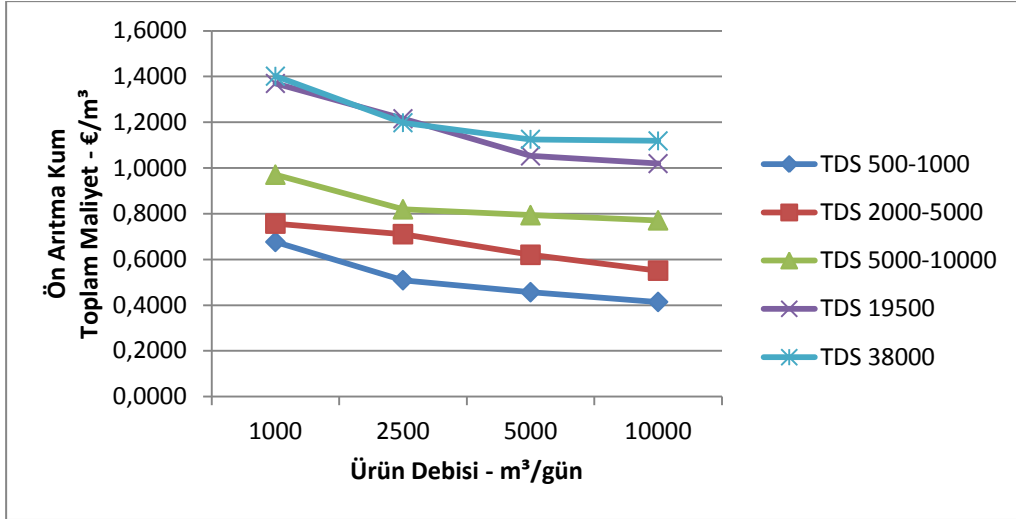
En yüksek proses suyu eldesi toplam maliyet değeri 38000 ppm TDS değerinde 1000 m³/gün kapasite için UF sisteminin ön arıtma olması durumunda 1,79 €/m³ olarak elde edilirken, en düşük toplam maliyeti 0,41 €/m³ ile 10000 m³/gün kapasitede KF sistemlerinin ön arıtma olarak kullanılması durumunda elde edilmiştir.

UF sistemi ile ön arıtma 38000 ppm TDS değerinde 1000 m³/gün birim proses suyu eldesi toplam maliyeti, 10000 m³/gün kapasiteye göre % 25 daha pahalıdır. Debi artışı ile birlikte birim su toplam maliyetinde düşüş olduğu görülmektedir.



Şekil 4. 18 : Beş farklı TDS aralığındaki suların RO sistemleri ile arıtılarak proses suyu elde edilmesinde ön arıtmanın UF sistemi ile yapılması durumunda sistemin toplam maliyetinin kapasite ve tuzluluk ile ilişkisi.

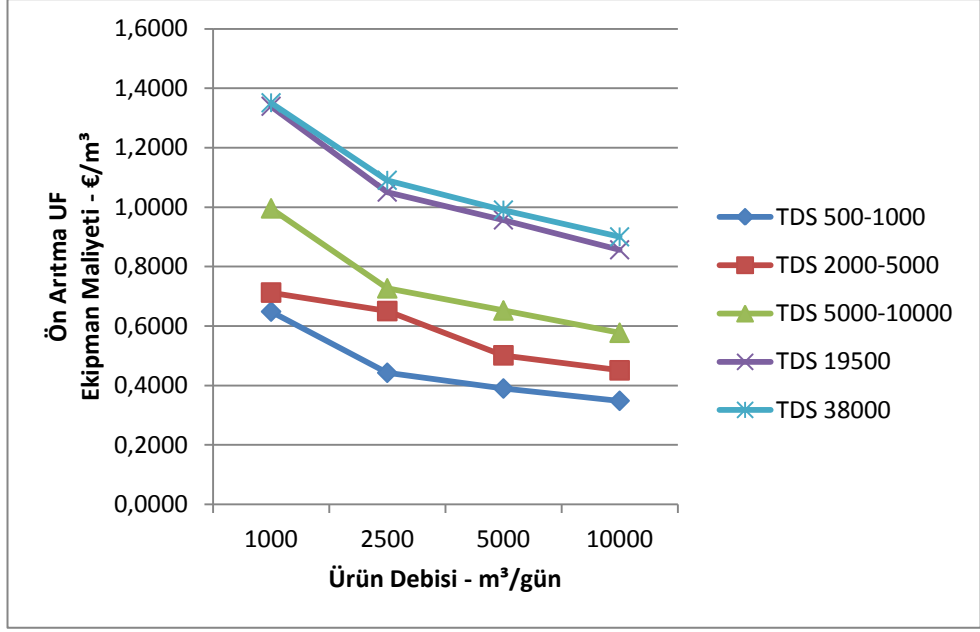
KF sistemleri ile 10000 m³/gün kapasitede 38000 ppm TDS değerinde proses suyu eldesi, UF sistemlerinin ön arıtma olarak kullanılması durumuna göre % 15 daha ucuzdur. Tüm TDS değerlerinde kapasite artışı ile birlikte m³ proses suyu eldesi toplam maliyetlerinde düşüş olduğu görülmektedir.



Şekil 4. 19 : Beş farklı TDS aralığındaki suların RO sistemleri ile arıtılarak proses suyu elde edilmesinde ön arıtmanın KF sistemi ile yapılması durumunda sistemin toplam maliyetinin kapasite ve tuzluluk ile ilişkisi.

Şekil 4.18’de ön arıtmanın UF olması durumuna göre ekipman maliyeti, Şekil 4.19’de ön arıtmanın KF olması durumuna göre ekipman maliyeti değerlerinin kapasite ve tuzluluk ile ilişkileri verilmiştir.

Prose suyu ekipman maliyeti grafikleri incelendiğinde en yüksek değerin 38000 ppm TDS değerinde 1000 m³/gün debide UF’nin ön arıtma olarak kullanıldığı alternatif için 1,35 €/m³ olarak belirlenmiştir. En düşük ekipman maliyeti KF sistemleri ile ön arıtmada 0,27 €/m³ olarak hesaplanmıştır.

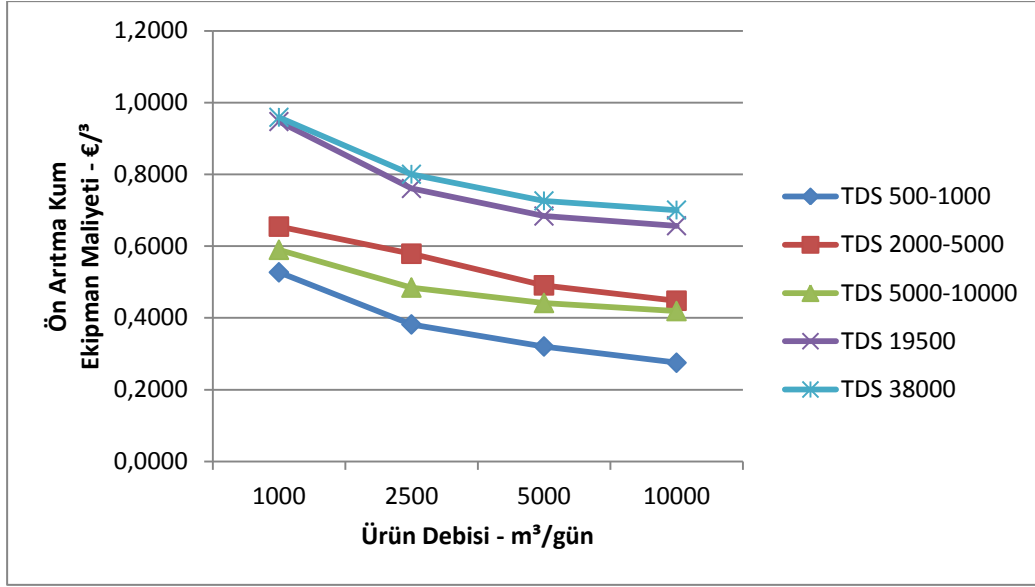


Şekil 4. 20 : B: Beş farklı TDS aralığındaki suların RO sistemleri ile arıtılarak proses suyu elde edilmesinde ön arıtmanın UF sistemi ile yapılması durumunda sistemin ekipman maliyetinin kapasite ve tuzluluk ile ilişkisi.

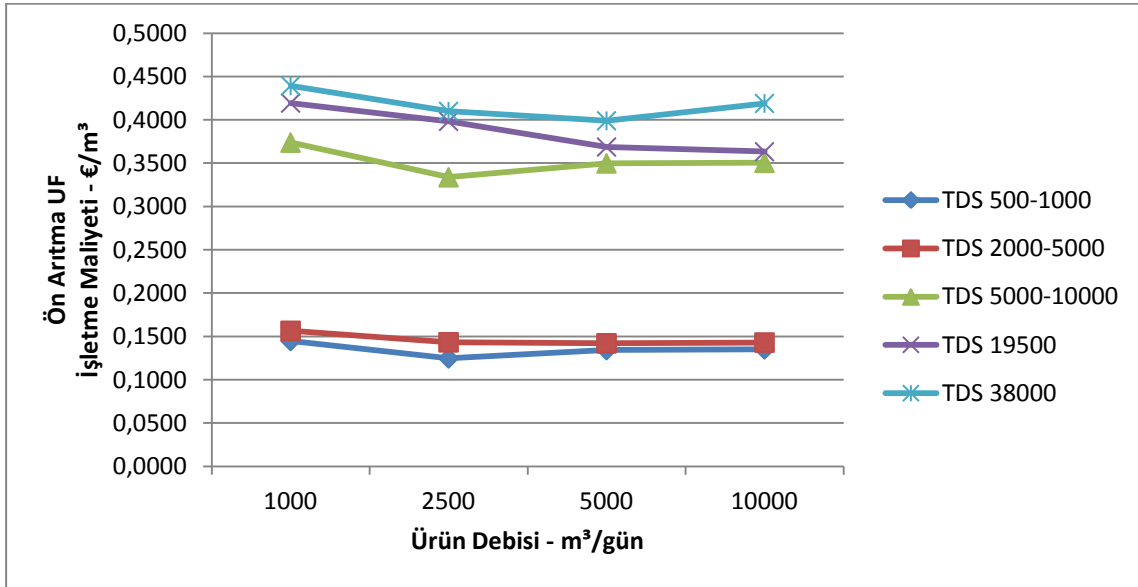
1000 m³/gün kapasitede TDS 500-1000 ppm değerinde proses suyu eldesi ekipman maliyeti, 19500 ppm TDS değerinde proses suyu eldesinden % 45 daha ucuzdur. Düşük tuzluluk değerinde ekipman maliyetinin neredeyse yarı yarıya düştüğü görülmektedir.

5000-10000 ppm TDS değeri için UF ön arıtımında 2500 m³/gün kapasite için proses suyu ekipman maliyeti, 1000 m³/gün'lük kapasiteden % 27 daha pahalı iken, KF ön arıtımında % 17 oranında daha pahalı olmaktadır.

Proses suyu eldesi için tüm kapasitelerde en yüksek ekipman maliyetlerinin deniz suyu TDS değerleri için olduğu görülmektedir.



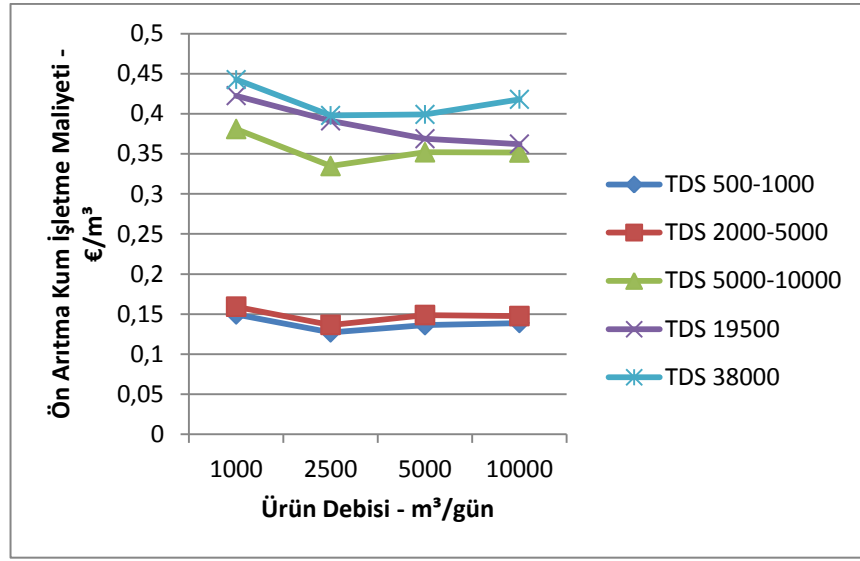
Şekil 4. 21 : Beş farklı TDS aralığındaki suların RO sistemleri ile arıtılarak proses suyu elde edilmesinde ön arıtmanın KF sistemi ile yapılması durumunda sistemin ekipman maliyetinin kapasite ve tuzluluk ile ilişkisi.



Şekil 4. 22 : Beş farklı TDS aralığındaki suların RO sistemleri ile arıtılarak proses suyu elde edilmesinde ön arıtmanın UF sistemi ile yapılması durumunda sistemin işletme maliyetinin kapasite ve tuzluluk ile ilişkisi.

Şekil 4.20’de ön arıtmanın UF olması durumuna göre işletme maliyeti, Şekil 4.21’de ön arıtmanın KF olması durumuna göre işletme maliyeti değerlerinin kapasite ve tuzluluk ile ilişkileri verilmiştir.

Proses suyu eldesi için yapılan işletme maliyeti grafiklerine baktığımızda tüm TDS değerleri için kapasite arttıkça maliyetler düşmektedir. Ancak aynı kapasitede farklı tuzluluk değerleri için işletme maliyetleri incelendiğinde tuzluluk arttıkça yükselen enerji maliyetleri nedeniyle işletme maliyetlerinin de yükseldiği görülmektedir.



Şekil 4. 23 : Beş farklı TDS aralığındaki suların RO sistemleri ile arıtılarak proses suyu elde edilmesinde ön arıtmanın KF sistemi ile yapılması durumunda sistemin işletme maliyetinin kapasite ve tuzluluk ile ilişkisi.

19500 pm ve 38000 ppm TDS değerlerinde 1000 m³/gün kapasite proses suyu eldesindeki işletme maliyeti farkı % 5’dir.

En düşük işletme maliyeti 2500 m³/gün kapasitede UF ön arıtma kullanılarak 500-1000 ppm TDS değerleri için yapılan proses suyu eldesi işletme maliyetidir. En yüksek işletme maliyeti 0,44 €/m³ ile 1000 m³/gün kapasite için TDS 38000 ppm değerinde KF sistemleri ön arıtma alternatifidir.

1000 m³/gün kapasite için yapılan deniz suyu RO tasarımlarında kullanılan yüksek basınç pompası, booster pompa ve ERI enerji geri kazanım sistemlerinin birer adet seçilmesi yeterli olmuştur.

2500 m³/gün 19500 ppm deniz suyu için yapılan tasarımda 1'er adet yüksek basınç pompası ve booster pompa kullanılırken, 3 adet ERI ekipmanı kullanılmıştır.

Aynı debi için 38000 ppm deniz suyu için tasarımda 2 adet yüksek basınç pompası, 1 adet booster pompa ve 3 adet ERI ekipmanı kullanılmıştır.

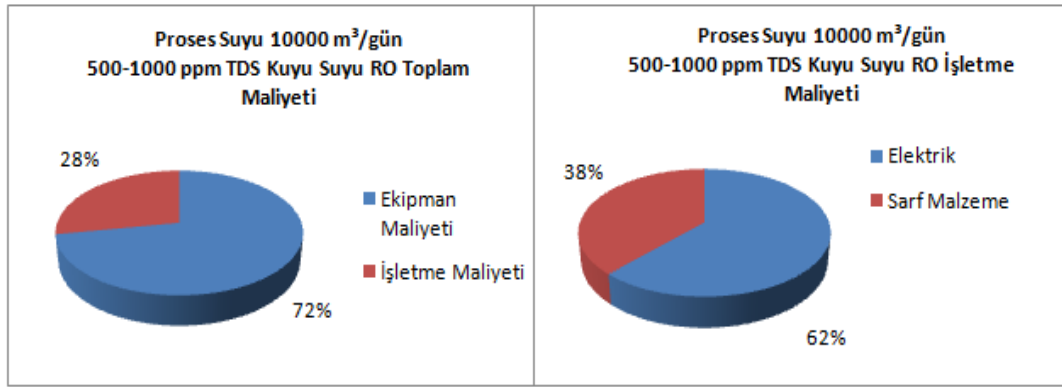
5000 ve 10000 m³/gün kapasite için yapılan membran projeksiyon tasarımlarındaki basınçlara uygun debide tek başına besleme yapabilecek pompa fiyatlarına ulaşamadığı için 1000 ve 2500 m³/gün'lük tasarımlarda kullanılan yüksek basınç pompası, booster pompa ve ERI ekipmanları sayıları arttırılmıştır.

4.5 Proses Suyu ve İçme Suyu Ters Osmoz Sistemlerinin Oransal Maliyet Kapsamında Değerlendirmesi

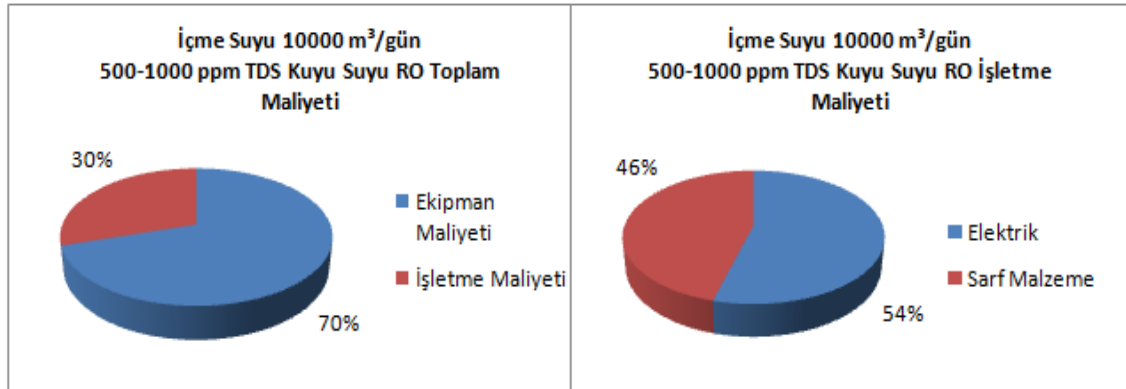
Proses suyu ve içme suyu eldesi kapsamında UF sistemi ön arıtmasında maliyet analizleri yapılan kuyu suyu ve ters osmoz sistemlerinin toplam maliyetini kendi içinde oluşturan ve işletme maliyeti kendi içinde oluşturan bileşenlerin oransal dağılımları bu bölümde incelenmiştir.

Tez kapsamında değerlendirilen en yüksek debi olan 10000 m³/gün kapasiteli sistemler için farklı TDS değerlerinde proses suyu eldesi ve içme suyu eldesi toplam ve işletme maliyetleri oransal dağılımları değerlendirilmiştir.

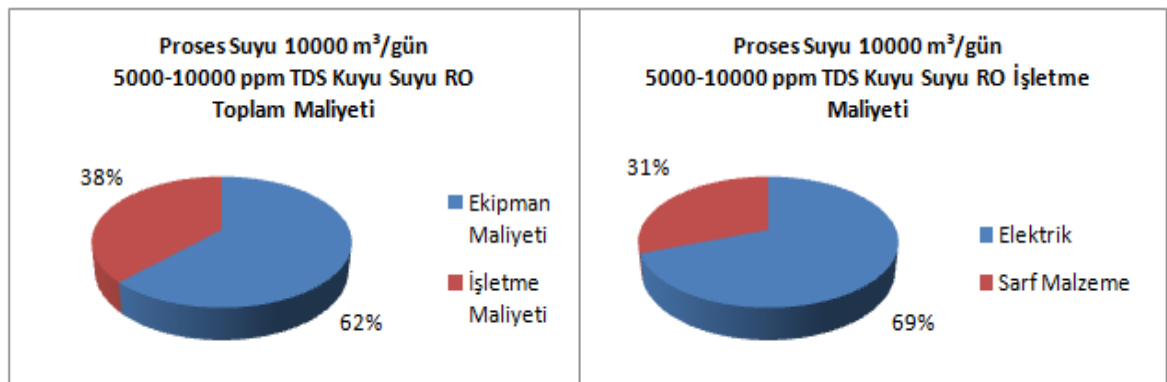
500-1000 ppm TDS değerinde kuyu suyundan UF sistemi ön arıtımında RO sistemleri ile proses suyu eldesi toplam maliyet ve işletme maliyeti oransal dağılımı Şekil 4.22'de, içme suyu eldesi toplam maliyet ve işletme maliyeti oransal dağılımı Şekil 4.23'de verilmiştir. 5000-10000 ppm TDS değerinde kuyu suyundan UF sistemi ön arıtımında RO sistemleri ile proses suyu eldesi toplam maliyet ve işletme maliyeti oransal dağılımı Şekil 4.24'te, içme suyu eldesi toplam maliyet ve işletme maliyeti oransal dağılımı Şekil 4.25'te verilmiştir. 38000 ppm TDS değerinde deniz suyundan UF sistemi ön arıtımında RO sistemleri ile proses suyu eldesi toplam maliyet ve işletme maliyeti oransal dağılımı Şekil 4.26'da, içme suyu eldesi toplam maliyet ve işletme maliyeti oransal dağılımı Şekil 4.27'de verilmiştir. Oransal maliyet dağılımları grafikleri incelendiğinde, tüm tuzluluk değerlerinde elektrik enerjisinin sarf malzemeye nispeten daha yüksek yüzde oranına sahip olduğu görülmektedir. Toplam maliyeti oluşturan ekipman ve işletme maliyetlerinde ise ekipman maliyeti yüzde oranı işletme maliyetinin 2 katı kadardır.



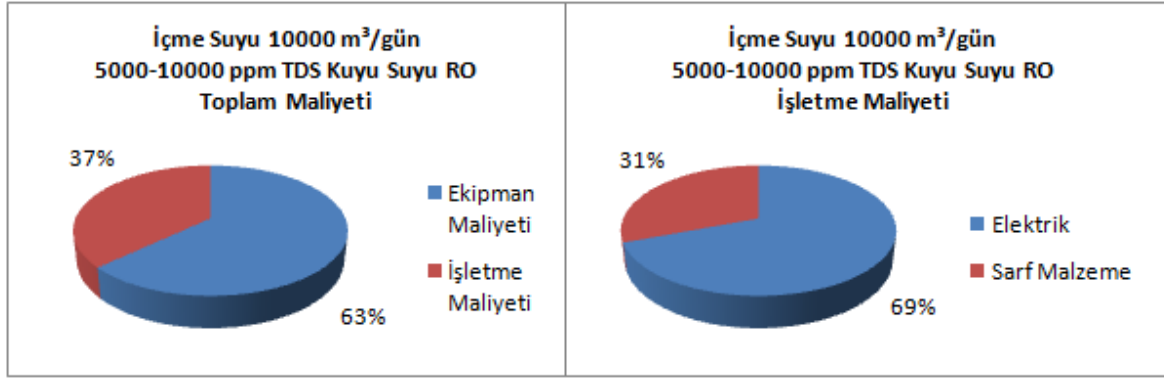
Şekil 4. 24 : Proses suyu eldesi kapsamında 500-1000 ppm TDS değerinde kuyu suyunun UF sistemi ön arıtımında 10000 m³/gün kapasiteli ters osmoz sistemlerinin toplam maliyet ve işletme maliyeti oransal dağılımı.



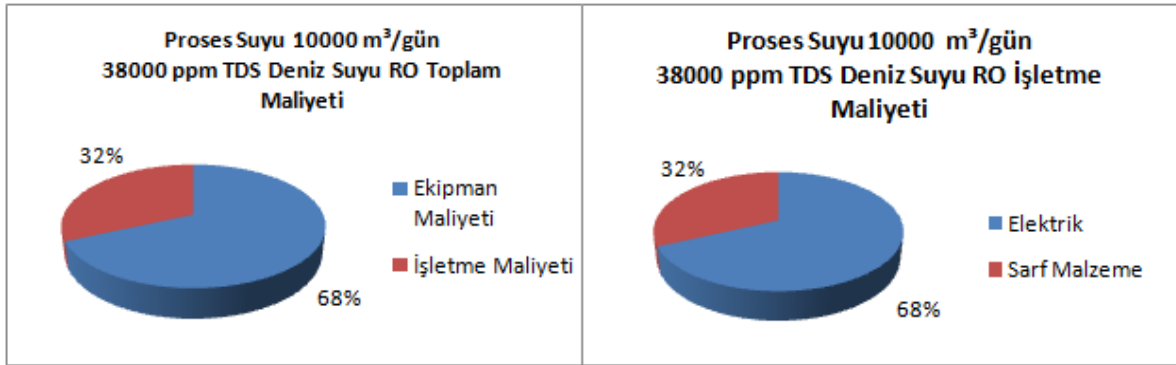
Şekil 4. 25 : İçme suyu eldesi kapsamında 500-1000 ppm TDS değerinde kuyu suyunun UF sistemi ön arıtımında 10000 m³/gün kapasiteli ters osmoz sistemlerinin toplam maliyet ve işletme maliyeti oransal dağılımı.



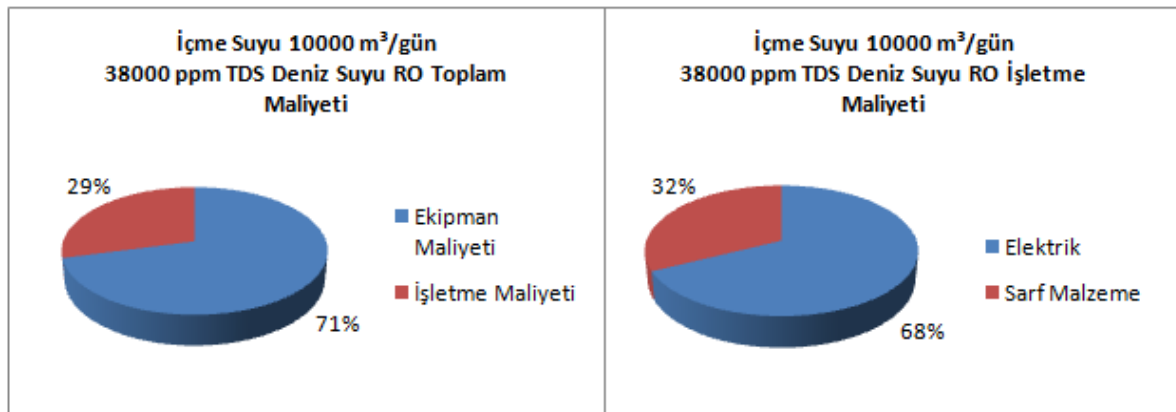
Şekil 4. 26 : Proses suyu eldesi kapsamında 5000-10000 ppm TDS değerinde kuyu suyunun UF sistemi ön arıtımında 10000 m³/gün kapasiteli ters osmoz sistemlerinin toplam maliyet ve işletme maliyeti oransal dağılımı.



Şekil 4. 27 : İçme suyu eldesi kapsamında 5000-10000 ppm TDS değerinde kuyu suyunun UF sistemi ön arıtımında 10000 m³/gün kapasiteli ters osmoz sistemlerinin toplam maliyet ve işletme maliyeti oransal dağılımı.



Şekil 4. 28 : Proses suyu eldesi kapsamında 38000 ppm TDS değerinde deniz suyunun UF sistemi ön arıtımında 10000 m³/gün kapasiteli ters osmoz sistemlerinin toplam maliyet ve işletme maliyeti oransal dağılımı.



Şekil 4. 29 : İçme suyu eldesi kapsamında 38000 ppm TDS değerinde deniz suyunun UF sistemi ön arıtımında 10000 m³/gün kapasiteli ters osmoz sistemlerinin toplam maliyet ve işletme maliyeti oransal dağılımı.

5. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında 3 farklı TDS aralığında kuyu suyu ve 2 farklı TDS değerinde deniz suyundan membran prosesler ile proses ve içme suyu elde edilmesinin maliyet analiz analizleri yapılmıştır. Her tasarım için ön arıtmada ultrafiltrasyon ve standart filtrasyon sistemlerinin kullanılması durumları incelenmiştir.

İçme suyu eldesi kapsamında RO sistemleri ile kuyu ve deniz sularından içme suyu elde edilmesinin ve NF sistemleri ile kuyu suyundan içme suyu elde edilmesinin toplam, ekipman ve işletme maliyetleri incelenmiştir. NF sistemlerine alternatif olarak yumuşatma sistemlerinin kullanıldığı sistem tasarımları için maliyet analizleri yapılmıştır.

Deniz suyunun arıtılarak içme suyu temin edilmesinde ön arıtmanın UF ve KF sistemleri olması durumunun maliyete etkisi incelenmiştir.

Proses suyu eldesi kapsamında son arıtma olarak içme suyu tasarımlarından farklı olarak sadece RO ve SWRO sistemleri kullanılması ile bu sistemler sonrasında saf su eldesi sağlamak amacıyla EDI sistemleri kullanılmıştır. Birinci kademe RO ile SWRO sistemlerinden sonra saf su elde etmek amacıyla kullanılan EDI sistemlerinin giriş suyu kalitesinin sağlanamadığı durumlarda, 2. kademe RO sistemi kullanılmıştır. 2. kademe RO girişlerinde pH değerini yükseltmek amacıyla degazör sistemleri kullanılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda toplam, ekipman ve işletme maliyetleri değerlendirilmiştir. Maliyet analizlerinden yola çıkılarak ulaşılan sonuçlar aşağıda yer almaktadır:

5.1. Proses Suyu Kapsamında Elde Edilen Sonuçlar

-Proses suyu eldesi kapsamında kuyu suyu RO sistemlerinde en düşük maliyetlerin 500-1000 ppm TDS aralığında KF sistemlerinin kullanıldığı alternatifler olduğu görülmektedir.

-Proses suyu eldesi kapsamında 500-1000 ppm ile 2000-5000 ppm TDS değerlerinde RO sistemleri kullanılması ile EDI sistemleri giriş suyu kalitesinin (31 ppm TDS) temin edildiği görüşmüştür.

- Proses suyu eldesi kapsamında 5000-10000 ppm TDS değerinde kuyu suyu, 19500 ppm ve 38000 ppm değerlerinde deniz sularının RO sistemi ile arıtılması ile EDI sistemleri giriş suyu kalitesinin yakalanamadığı görülmüştür (sırasıyla 84 ppm, 78 ppm ve 151 ppm).

Bu nedenle istenilen ürün suyu değerine ulaşmak için 2. kademe RO sistemi kullanılması ve ardından EDI sistemi kullanılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

- 10000 m³/gün kapasite için en düşük tuzluluk değerinde proses suyu eldesi toplam maliyetinin, içme suyu eldesi toplam maliyetinden ortalama % 35 daha pahalı olduğu görülmektedir.

5.2. İçme Suyu Kapsamında Elde Edilen Sonuçlar

-İçme suyu eldesi kapsamında NF ve yumuşatma sistemleri karşılaştırılmasında en düşük işletme maliyeti KF sistemlerinin ön arıtma olarak kullanıldığı 1000 m³/gün kapasite için elde edilmiştir.

-RO ve NF sistemleri ile içme suyu eldesi kapsamında NF sistemleri birim su ekipman maliyetinin RO sistemlerine göre % 5 daha pahalı olduğu tespit edilmiştir. RO ve NF sistemlerinin işletme maliyetleri açısından karşılaştırılmasında ise RO'nun NF sistemlerine göre % 8 daha pahalı kaldığı hesaplanmıştır. NF sistemleri için kullanılan yüksek basınç pompalarının basınçlarının düşük olması işletme maliyetlerine yansımaktadır.

-İçme suyu eldesi kapsamında çıkış suyu kalitesi açısından en düşük TDS değerlerinin RO sistemleri 30-110 ppm seviyelerine indirildiği, NF sistemleri ile TDS değerinin 180 ppm'e ve toplam sertlik değerinin 3 Fr seviyelerine indirilebildiği, yumuşatma sistemlerinde sertlik 1-5 Fr değerine getirilebilse de TDS değerinin aynı kaldığı görülmektedir.

-38000 ppm TDS değerine sahip deniz suyundan içme suyu eldesi işletme maliyetinin, 19500 ppm deniz suyundan içme suyu eldesi işletme maliyetine göre ortalama % 16 daha ucuz olduğu tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **Akgül , D.** (2006). Türkiye’de ters osmoz ve nanofiltrasyon sistemleri ile içme ve kullanma suyu üretiminin maliyet nnalizi, (yüksek lisans tezi), İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Sf 4-23.
- [2] **Arı, P. H.** (2009). Türkiye’de içme suyu amaçlı büyük kapasiteli membran sistemlerinin maliyet analizi, (yüksek lisans tezi), İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Sf 25-65.
- [3] **Çakmakçı, M., Özkaya, B., Yetilmezsoy, K., Demir, S.,** (2013). Su Arıtma Tesislerinin Tasarım ve İşletme Esasları T.C. Orman Ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul
- [4] **Kitiş, M., Yiğit, N. Ö., Köseoğlu ve H., Bekaroğlu, Ş. Ş.** (2009). Su ve Atıksu Arıtımında İleri Arıtma Teknolojileri-Arıtılmış Atıksuların Geri Kullanımı, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Görevlisi Eğitimi Ders Notları, Isparta, Türkiye
- [5] **Kucera, J. A.,** (2010). Reverse Osmosis Industrial Applications and Processes, Massachusetts, USA
- [6] **Osmonics,** 1997. Pure Water Handbook, Minnetonka.
- [7] **Torunoğlu, P. O., Orhon, D.,** 2010. Türkiye’de kurulabilecek tuz gideren membran teknolojisi sistemleri için bilimsel esaslı tasarıma dayalı maliyet analizlerinin yapılması, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [8] **Vesilind, P. A., Morgan, S. M., Heine, L. G.,** (2012). Çevre Mühendisliğine Giriş, Introduction To Environmental Engineering 3. Basımdan Çeviri, İstanbul
- [9] **Url-1** <<http://www.burkut.com.tr>>, alındığı tarih: 04.04.2015
- [10] **Url-2** <http://www.membranes.com/index.php?pagename=tech_papers>, alındığı tarih: 19.04.2015
- [11] **Url-3** <<http://www.dowwaterandprocess.com/en/products/electrodeionization>>, alındığı tarih: 23.04.2015
- [12] **Url-4** < <http://www.aqua-technik.com/en/applications-detail/aqua-mandix>>, alındığı tarih 01.05.2015
- [13] **Url-4** < <http://www.rotamadencilik.com.tr/zeolit.html>>, alındığı tarih 01.05.2015

EKLER

EK A: Tasarım Çizelgeleri

EK A**Çizelge A.1.1 : Ultrafiltrasyon Tasarımından Elde Edilen Veriler**

1.000t-2.000p ULTRAFİLTRASYON SİSTEMİ		
Ekipman	Açıklama	Miktar
UF Sistemi Besleme Pompaları	Grundfos - 62,5 m ³ /h - 1,6 bar	1
Şase	Fokuswater	1
Ön Filtre 300 µ	Arkal/Aytok - 62,5 m ³ /h	1
Ters Yıkama & CEB Pompası	Grundfos - 2 x 94 m ³ /h - 3 bar	2
Asit Dozaj Pompası	Ecolab 160 lt/h	1
Kontrolör	GF Signet	1
Kimyasal Tankı	200 lt	1
Kostik Dozaj Pompası	Ecolab 269 lt/h	1
Kontrolör	GF Signet	1
Kimyasal Tankı	200 lt	1
Klor Dozaj Pompası	Ecolab	1
Kontrolör	GF Signet	1
Kimyasal Tankı	200 lt	1
Koagülant Dozaj Pompası	Ecolab	1
Kontrolör	GF Signet	1
Kimyasal Tankı	200 lt	1
pH Kontrol Cihazı	GF	1
Flowmetre	GF	2
Rotametre	GF (2 ters yıkama 1 ürün)	3
UF Modülü	Inge, 60 m ²	13
Basınç transmitteri	Keller/Jumo	4
Basınç Şalteri	Keller/Jumo	4
Elekt. Akt. Vana DN 150	Proval	6
Elekt. Akt. Vana DN 200	Proval	6
PLC Kontrol Panosu		1
Borulama	pvc-316	1
Malzeme	Boru, Dirsek,TE vb.	1
İşçilik		1

Çizelge A.1.2 : RO Sistemi Tasarımından Elde Edilen Veriler

RO SİSTEMİ		
Ekipman	Açıklama	Miktar
RO Sistemi Besleme Pompaları	Grundfos - 56 m ³ /h - 3 bar	1
Şase	Fokuswater	1
Asit Dozaj Pompası	Ecolab 7,2 lt/h 10 bar	1
Kontrolör	GF Signet	1
Kimyasal Tankı	200 lt	1
Antiskalant Dozaj Pompası	Ecolab 4,3 lt/h 10 bar	1
Kontrolör	GF Signet	1
Kimyasal Tankı	200 lt	1
SMBS Dozaj Pompası ORP Kont.	Ecolab 4,3 lt/h 10 bar	1
Kontrolör	GF Signet	1
Kimyasal Tankı	200 lt	1
Kartuş Filtre		1
Yüksek Basınç Pompası	Grundfos - 56 m ³ /h - 11,8 bar	1
Membran Kılıfı 8"-6 -300 psi	Codeline 8"-6-300 psi	7
Membran Espa1	Hydranautics Espa 1	42
İletkenlikölçer	GF (1 ham 1 ürün)	2
Flowmetre	GF (1 ürün 1 atıksu)	2
Rotametre	GF (1 ham 1 ürün 1 atıksu)	3
Basınç transmitteri	GF/Keller/Jumo (YBP emme-basma)	2
Basınç Şalteri	GF/Keller/Jumo (YBP emme-basma)	2
CIP Pompa	Grundfos - 56 m ³ /h - 3 bar	1
CIP Kimyasal Tankı	2000 lt	1
PLC Kontrol Panosu		1
Düşük ve Yüksek Basınç Borulama	304 - 316	1
Vanalama	Proval vs	1
Malzeme	Boru, Dirsek,TE vb.	1
İşçilik		1

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad : Saliha Ünal
Doğum Yeri ve Tarihi : İstanbul 25.10.1981
E-Posta : saliha_unal@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2005, Trakya Üniversitesi, Çevre Mühendisliği