

itüdergisi/e
su kirlenmesi kontrolü
Cilt:20, Sayı:1, 97-110
Mayıs 2010

Türkiye’de kurulabilecek tuz gideren membran teknolojisi sistemleri için bilimsel esaslı tasarıma dayalı maliyet analizlerinin yapılması

Pelin Ongan TORUNOĞLU*, **Derin ORHON**

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Bu çalışmada Türkiye’de membran teknolojilerinin uygulanabilirliğini inceleyecek nüfusu 500 - 2000000 arası 20 farklı büyüklükte yerleşim bölgesinin içme ve kullanma suyu ihtiyacını karşılayacak sistemlerin tasarım esasları belirlenerek deniz ve nehir sularının kullanılması durumuna göre yatırım ve işletme maliyetleri hesaplanmıştır. Nehir suyu membran teknolojisi sistemlerinin yatırım ve işletme maliyetlerinin deniz suyu arıtan sistemlere göre %50-55 daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Nüfusu 500 olan bir yerleşim bölgesi için kurulacak deniz suyu membran teknolojisi sisteminin toplam yatırım maliyeti 2.24 €/m³ iken, nüfusu 15000 olan için 0.60 €/m³ değerine düşmektedir. Diğer yönden nüfusu 500 olan bir yerleşim bölgesi için kurulacak nehir suyu membran teknolojisi sisteminin toplam yatırım maliyeti 1.26 €/m³ iken, nüfusu 15000 olan için 0.26 €/m³ değerine düşmektedir. Türkiye’de içme ve kullanma suyu üretiminde kurulacak membran teknolojisi sistemleri için yatırım stratejilerinin belirlenmesi durumunda nüfusu 15000’den büyük; tesis çıkış kapasite değeri olarak 2000 m³/gün’den yüksek tesislerin kurulması önerilmiştir. Yapılan hesaplamalarda membran teknolojisi sistemlerinin ön arıtılma ünitelerinde ultrafiltrasyon sistemleri kurulduğunda yatırım maliyetlerinin % 10-20 daha yüksek olduğu görülmüştür. Akdeniz suyuna uygun membran teknolojisi sistemlerinde işletme maliyetlerinin yaklaşık %65-69’unu elektrik oluşturmaktadır. bu sistemlerin 20 yıl işletilmeleri boyunca; elektrik tarifesinde %20 artışta %6-9; %40 artışta %11-17; %60 artışta %16-23 bir m³ üretilen su için toplam yatırım maliyetlerinde yükselme olacağı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Ters osmoz, ultrafiltrasyon, deniz suyu, nehir suyu, yatırım ve işletme maliyetleri.*

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Pelin Ongan TORUNOĞLU. p.turunoglu@torsan.net; Tel: (216) 459 16 29.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Programı’nda tamamlanmış olan "Türkiye’de kurulabilecek tuz gideren membran teknolojisi sistemleri için bilimsel esaslı tasarıma dayalı maliyet analizlerinin yapılması " adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 23.10.2009 tarihinde dergiye ulaştı, 14.04.2010 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.10.2010 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Cost analyses based on scientific design for salinity water membrane technology systems can be installed in Turkey

Extended abstract

In today's world, membrane technology systems are used in a wide range of dissolved solid concentration and particle size for sea, river, well, lake waters and are even especially produced for different types of industrial wastewaters. One of the most important properties of the membrane technology is that the technology is open to continuous improvement. As a proof; the permeate water of a membrane filter today has increased three times of the permeate produced in 1980 while the production cost of the membrane is reduced to one tenth in the same period of time. This means that it is today possible to produce 30 times of the permeate produced in 1980 with the same investment cost of reverse osmosis system.

In this study, the design criteria is presented for the membrane technology systems producing drinking and potable water of 20 different sized accommodation areas with populations from 500 to 2 000 000. As the designs of these processes vary too much according to the Total Dissolved Solids and particle sizes, different first investment and operation costs are calculated whether sea or river waters are used. The main parameters like equipment, construction, project, electricity and their affects on the investment costs are investigated separately for each plant.

As a result of this study, both investment and operation costs are put into graphics for produced m³ water per each accommodation area with population from 500 to 2 000 000 and it is proven that the values are in accordance with the values published in the similar literature studies.

Another result of this study is that the membrane technology systems producing drinking and potable water from sea waters are much higher than the membrane technology systems producing drinking and potable water from river, well, lake waters as the sea water has higher salinity. For this reason, it is suggested in this study to give priority to the membrane technology plant investments producing drinking or potable water from wells, rivers or lakes rather than sea water if both are available in the

same area, as the plants operated with well, river and lake water have 60% lower investment+operation costs compared to the plants operated with sea water.

The first investment and operation costs per m³ of produced water of the membrane technology systems using seawater and well waters decreases as the plant capacity increases. As a result of this study it is suggested for the central or local administrations that may be at the stage of planning their strategy regarding the membrane technology systems to make their investment plans if the population of their accommodation area is over 15 000 or the capacity equivalent is higher than 2 000 m³/day.

Also in the case of ultrafiltration units would be preferred instead of conventional pretreatment units in membrane technology systems, then investment costs can be higher as 10-20%.

In addition, it is determined that energy costs are affecting about 65-69% of the total operation cost. If electricity tariff is increased 20% then total investment cost increases by 6-9%; if electricity prices increases 40%, the operational cost increases by 11-17%; if electricity prices increases 60%, the operational cost increases by 16-23% in membrane technology systems producing drinking and potable water from sea water.

The total investment and operation costs per m³ of produced water of the membrane technology systems using seawater and well waters decreases as the plant capacity increases; while the total investment and operational cost of a sea water membrane system of an accommodation area with a population of 500 is 2.24 €/m³, the total investment and operational cost of a sea water membrane system of an accommodation area with a population of 15 000 is 0.60 €/m³.

While the total investment and operational cost of a river water membrane system of an accommodation area with a population of 500 is 1.26 €/m³, the total investment and operational cost of a sea water membrane system of an accommodation area with a population of 15 ,000 is 0.26 €/m³.

Keywords: Reverse osmosis, ultrafiltration, sea water, brackish water, investment and operation costs.

Giriş

İlk yarı geçirgen membran 1748'de aynı zamanda osmoz olayını da laboratuvar şartlarında ispat eden Fransız Abble Nollet tarafından yapılmıştır. Yaklaşık olarak bir yüzyıl sonra 1867'de Alman kimyacı Traube daha ileri seviyede membran dizayn etmiştir. 1950'lerin sonuna doğru University of Florida'dan Reid ve Breton ilk olarak selüloz asetatdan ters osmoz membranı üretmişlerdir. Reid ve Breton'un ürettiği selüloz asetat ters osmoz membranının düşük akı dezavantajı Loeb ve Sourirajan tarafından geliştirilen yüksek akı ve yüksek tuz ret oranı özelliğine sahip yeni bir membran üretimi ile aşılabılmış ve böylece ticari üretiminin önünü açılmıştır (Loeb ve Sourirajan, 1963). Loeb ve Sourirajan tarafından geliştirilen ters osmoz membranı 10 misli daha fazla akı üretebilmiş ve %95 oranında tuz ret kapasitesine sahip olmuştur. Diğer yönden 1930'larla beraber ultrafiltrasyon membranları da farklı filtrasyon aralıklarına göre üretilmeye başlanmıştır. Alman Sartorius firması tarafından mikrofiltrasyon membranlarının üretimi 1950'de gerçekleştirilmiştir. 1960'ların başında ilk defa spiral sarımlı membran Brey ve Westmoreland tarafından geliştirilmiştir. İlk ince film kompozit membran ise 1972'de Caddote tarafından üretilmiştir. 1970'lerin sonundan günümüze kadar ise sürekli geliştirilebilir özelliği ile membran teknolojileri yaygın olarak kullanılmaktadır.

Membran teknolojilerinin en önemli özelliklerinden biri sürekli geliştirilebilir olmasıdır. Aynı kapsamda membran üreticilerinin verdiği bilgilere göre 1980 yılından günümüze bir membrandan elde edilen süzüntü suyu miktarı üç misli artmıştır. Aynı zaman diliminde, bir membranın üretim maliyeti ise %90 düşmüştür. Bu verilerle beraber, 1980 yılında kurulan bir ters osmoz tesisinin yatırım maliyeti ile bugün 30 kat daha fazla süzüntü suyu elde edilebilen tesis kurmak mümkün olabilmektedir (Filtration ve Separation, 2005).

Günümüzde membran teknolojisi sistemleri çözülmüş madde konsantrasyonu ile içerdiği partikül boyutu geniş bir aralıkta değişen deniz, nehir, kuyu ve göl sularından endüstri tipine göre karakterizasyonu değişen atıksuların arıtılma-

sına kadar çok farklı alanlarda kullanılmaktadır. Membran teknolojilerinin tarihine çok kısa bir göz atılırsa arıtılmış su kapasitesini 10 kat arttıran ilk ticari membran üretiminin 1962'de, yüksek miktarda tuz giderimini sağlayan kompozit membran üretiminin 1972'de, ilk deniz suyu ters osmoz tesisinin kuruluşunun ise 1975'de olduğu görülmektedir (Tung, 2007). Bugün ise membran üreticilerinin verdiği bilgiye göre dünyada günde toplam yaklaşık 1.3×10^{13} m³ su söz konusu teknolojiler ile arıtılmaktadır. Diğer bir deyişle son 30 yılda membran teknolojisi sistemlerinin kullanımının büyük bir hızla arttığı görülmüştür. Dolayısıyla odak noktası membran olan ve bu noktadan hareketle teknolojisi ve dolayısıyla verimliliğinde çok büyük gelişme gösteren ters osmoz, nanofiltrasyon ve ultrafiltrasyon olarak uygulanan membran teknolojisi sistemleri hakkında Türkiye şartları açısından araştırma ve değerlendirme yapmanın büyük önemi bulunmaktadır.

Aynı kapsamda Türkiye'de membran teknolojileri uygulanacak içme suyu arıtma tesisleri konusunda ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin tespiti güncel yapılacak bu ve benzeri çalışmalarla mümkün olabilecek ve devlet tarafından yatırım stratejileri belirlenirken değerlendirmelerde öncü rolü oynayacaktır. Bu amaçla membran teknolojisi sistemlerinin Türkiye'de içme ve kullanma suyu temininde kullanılmasında zaten kısıtlı olan finansman kaynaklarının devlet tarafından optimize edilerek kullanılması sağlanabilecektir.

Bu çalışmada Türkiye'de değişik nüfus büyüklüğüne sahip yerleşim birimlerine hizmet edecek, farklı Toplam Çözülmüş Madde (TÇM) ve partikül boyutuna sahip su kaynaklarından içme ve kullanma suyu eldesi için kurulabilecek membran teknolojisi sistemlerinin tasarım esasları, yatırım ve işletme maliyetlerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Materyal ve yöntem

Türkiye'de nüfusu 500 ile 2000000 arasında değişen 20 farklı büyüklükte yerleşim bölgesinin içme ve kullanma suyu ihtiyacını karşılayacak ve gelecekte yapılması muhtemel membran

teknolojisi sistemlerinin optimum maliyete dayalı tasarım esasları ortaya konulmuştur. Söz konusu proseslerin suyun içerdiği TÇM ve partikül boyutuna göre tasarımda büyük değişiklik göstermesi nedeniyle deniz ve nehir sularının kullanılması durumuna göre alternatifli ilk yatırım maliyetleri hesaplanmıştır. Tüm tesislerde ekipman, inşaat, proje, elektrik gibi tüm ana bileşenler belirlenerek bunların yatırım maliyetlerine etkisi farklı kapasiteli sistemler için irdelenmiştir.

Günümüzde farklı su kaynaklarının belediyelerce yap-işlet yöntemi ile ihaleleştirilip tüketicilere içme ve kullanma suyu olarak ulaştırılmasının kabul edilebilir bir tercih olmaya başlaması nedeniyle bu çalışmada tasarlanan tüm tesislerin 20 yıl çalıştırılmaları durumunda işletme maliyetleri hesaplanarak finansman hesaplamaları ile bugünkü zaman değerleri de tespit edilmiştir.

Tesislerin 20 yıllık işletme maliyetlerini önemli oranda etkileyen elektrik tüketimi ve bedeli konusunda son 10 yıllık TEDAŞ birim kwattsaat enerji satışlarının artış değerleri ışığında gelecek için farklı tarife değerleri oluşturulmuştur. Böylelikle artan enerji fiyatlarının membran tekno-

lojisi sistemlerinde birim m³ üretilen su için toplam maliyet üzerine etkileri ortaya çıkarılmıştır.

Çalışmanın sonucunda nüfusu 500 ile 2000000 arasında değişen 20 farklı büyüklükte yerleşim birimi için membran teknolojisi sistemlerinin bir m³ üretilen suya karşılık gelen yatırım ve işletme maliyetleri grafikler haline getirilerek değerlendirilmiş ve mevcut literatür değerleriyle karşılaştırılmıştır.

Literatür bilgileri çerçevesinde farklı çözümlü madde konsantrasyonlarına (TÇM) sahip suların arıtılmasında kullanılan membran teknolojilerinin tasarımına esas alınan nüfus ve tesis kapasiteleri Tablo 1’de, ham su karakterizasyonları Tablo 2’de verilmiştir.

Deniz ve nehir suyundan içme ve kullanma suyu üreten membran teknolojisi sistemlerinin inşaat, ekipman, elektro-mekanik ekipman, projelendirme ve mühendislik gibi kalemlerden kaynaklanan yatırım maliyetleri ile 20 yıl süre ile işletilmesinde esas alınan kimyasal, elektrik, personel, vb. işletme maliyetlerinin hesaplanmasında esas alınan faktörler aşağıda verilmiştir:

Tablo 1. Tasarıma esas alınan nüfus ve kapasite değerleri (Erdoğan, 2004)

Tasarıma esas alınan nüfus (kişi)	Birim su kullanımı (litre/kişi-gün)	Tasarıma esas alınan tesis kapasiteleri (m ³ /saat)	Tasarıma esas alınan tesis kapasiteleri (m ³ /gün)
500	90	2	48
1000	100	4	96
2500	100	10	240
5000	110	25	600
7500	110	35	840
10000	120	50	1200
15000	120	75	1800
25000	120	125	3000
35000	130	190	4560
50000	130	275	6600
100000	130	545	13080
150000	160	1000	24000
200000	160	1335	32040
250000	160	1670	40080
400000	175	2920	70080
500000	175	3645	87480
750000	175	5470	131280
1000000	200	8335	200040
1500000	200	12500	300000
2000000	200	16670	400080

Tablo 2. Tasarıma esas alınan ham su analizleri (İller Bankası, 2007)

Parametre	Birim	Akdeniz deniz suyu ham su analizleri	Marmara deniz suyu ham su analizleri	Karadeniz deniz suyu ham su analizleri	Kızılırmak nehir suyu ham su analizleri
İletkenlik	$\mu\text{S/cm}$	64340	47985	31185	2200
pH	-	8.2	7.96	7.8	7.5
Sıcaklık	$^{\circ}\text{C}$	15	15	15	15
Toplam çözünmüş madde	mg/L	37875	28225	18345	1295
KOİ	mg/L	<50	<50	<50	<25
Amonyum (NH_4^+)	mg/L	0	0	0	0
Potasyum (K^+)	mg/L	600	365	240	5
Sodyum (Na^+)	mg/L	11515	8500	5 525	205
Magnezyum (Mg^{+2})	mg/L	1430	1155	750	45
Kalsiyum (Ca^{+2})	mg/L	440	260	170	145
Baryum (Ba^{+2})	mg/L	0	35	22	0
Stronsiyum (Sr^{+2})	mg/L	0	0	3.865	0
Demir (Fe^{+2})	mg/L	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Mangan (Mn^{+2})	mg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Karbonat (CO_3^{-2})	mg CaCO_3/L	20	15	3.865	0.4
Bikarbonat (HCO_3^-)	mg CaCO_3/L	135	215	140	165
Nitrat (NO_3^-)	mg/L	0	10	6	2.5
Klorür (Cl^-)	mg/L	21520	15640	10170	300
Sülfat (SO_4^{-2})	mg/L	2205	2030	500	425
Florür (F^{-1})		0	0.825	1.32	0
Bulanıklık	NTU	<15	<15	<15	<15
Askıda katı madde	mg/L	<50	<50	<50	<50

- 1) Deniz suyunun kuyulardan ve doğrudan, nehir suyunun ise sadece kuyulardan teminine tasarım yapılmıştır.
- 2) Ham suyun sıcaklığı 15°C kabul edilmiştir.
- 3) Hamsuyun doğrudan temininde iletim hatları tesislerin çıkış kapasitesi ile orantılı olarak 50-500 m arasında seçilmiştir.
- 4) Deniz suyu ters osmoz sisteminin dizaynında akı değeri 13-15 L/m.saate, nehir suyunda ise 15-17 L/m.saate kabul edilmiştir. Yalnızca düşük kapasiteli deniz suyu ters osmoz sistemlerinde 15-17 L/m.saate değer aralığına çıkılmıştır.
- 5) Ham suyun alınması için kuyuların açıldığı durumda derinlik 20-25 m seçilmiştir.
- 6) Her tesiste betonarme ham su deposu 20 dakika bekletme süresine göre boyutlandırılmıştır.
- 7) Doğrudan su alma yönteminin kullanıldığı tesislerde gezici ızgaralar 100 mikron filtras-yon aralıklı boyutlandırılmıştır.
- 8) Ön arıtma ünitesi olarak konvansiyonel basınçlı filtras-yon sistemi tercih edildiği durumda filtras-yon yatay hızı maksimum 12-15 m/saat seçilmiştir.
- 9) Ön arıtma ünitesi olarak konvansiyonel basınçlı filtras-yon sistemi tercih edildiği durumda filtrelerin yıkanması için 25 m/saat yatay hızı ile pompalar seçilmiş ve çapı 1600 mm'den büyük filtreler için 40 $\text{Nm}^3/\text{saate-m}^2$ kapasitede hava üfleyiciler kullanılmıştır.
- 10) Deniz suyu tesislerinde dual medya filtreler korozyona karşı koruma amacıyla içi ebonit kaplı karbon çelikten imal olarak fiyatlandırılmıştır.
- 11) Ön arıtma ünitesi olarak ultrafiltras-yon sistemi tercih edildiğinde askıda katı madde konsantrasyonunun 0-50 mg/L aralığında olduğu kabul edilmiştir.
- 12) Deniz suyu ters osmoz sistemleri tek kademeli, nehir suyu ise çift kademeli ve iki sistemde de her kademe 6 elementli vessellerden oluşturulmuştur.
- 13) Tesislerde remineralizasyon sistemlerinde filtras-yon yatay hızı 20-25 m/saat seçilmiştir.

- 14) Remineralizasyon sac tankları için Gıda Tüzüğü'ne uygun epoksi kaplı karbon çelik olarak fiyatlandırılmıştır.
- 15) Tesislerin tümünde ters osmoz ünitelerinde her bir modül için membran yıkama sistemi kullanılmış ve 11 m³/saat-3 bar yıkama basıncı esas alınmıştır.
- 16) Deniz suyu ters osmoz sistemlerinin kuyu, besleme ve yüksek basınç pompaları ile yüksek basınç hatları dubleks, nehir suyu sistemlerinin pompaları ise AISI 316 kalite malzemeden seçilmiştir.
- 17) Membran üniteleri yıkama pompaları ise AISI 316 kalite seçilmiştir.
- 18) Her tesiste betonarme temiz su deposu 8 dakika bekletme süresine göre boyutlandırılmıştır.
- 19) Tesisler tam otomatik yönetimli tasarlanarak Scada'lı ve PLC'li otomasyon sistemleri dahil olarak tasarlanmıştır.
- 20) Tesislerin tümünde ofis, kimyasal depoları ve otomasyon odalarını içeren betonarme arıtma binaları fiyatlandırılmıştır.
- 21) Tesislerde konsantre deşarj hatları HDPE malzemeden tasarlanmıştır.
- 22) Ön arıtma ünitesi olarak konvansiyonel basınçlı filtrasyon sistemi tercih edildiği durumda dezenfeksiyonu sağlamak üzere piyasada ticari olarak satılan %14'lük sodyum hipoklorit çözeltisinden girişte 3 ve çıkışta 0.5 mg/L dozaj yapıldığına göre hesaplamalar yapılmıştır.
- 23) Ön arıtma ünitesi olarak konvansiyonel basınçlı filtrasyon sistemi tercih edildiği durumda dual medya filtrelerin su ile yıkanmasında 10 dakika/gün, hava ile yıkanmasında 5 dakika/gün esas alınarak yıkama pompaları ve hava üfleyicilerin elektrik tüketimi hesaplanmıştır.
- 24) Ön arıtma ünitesi olarak ultrafiltrasyon sistemi tercih edildiğinde piyasada ticari olarak satılan %100'lük poli alüminyum klorür çözeltisinden birim m³ saat süzölmüş su için 0.2 litre harcandığı gözönünde bulundurulmuştur.
- 25) Ön arıtma ünitesi olarak ultrafiltrasyon sistemi tercih edildiğinde piyasada ticari olarak satılan %32'lik sodyum hidroksit ile ve %33'lük hidroklorik asit çözeltilerinden tesis çıkış kapasitelerine göre 0.155-753 L günlük tüketim miktarlarına göre fiyatlandırılmalar yapılmıştır.
- 26) Ön arıtma ünitesi olarak ultrafiltrasyon sistemi tercih edildiğinde piyasada ticari olarak satılan %100'lük sodyum metabisülfid ve antiscalant çözeltilerinden 5'er mg/L dozaj yapıldığına göre hesaplamalar yapılmıştır.
- 27) Dezenfeksiyonu sağlamak üzere piyasada ticari olarak satılan %14'lük sodyumhipoklorit çözeltisinden çıkışta 0.5 mg/L dozaj yapıldığına göre hesaplama yapılmıştır.
- 28) Ön arıtma ünitesi olarak ultrafiltrasyon sistemi tercih edildiğinde 40 dakikada bir kere 40 sn yıkama yapıldığı esasına göre yıkama pompası elektrik tüketimi hesaplanmıştır.
- 29) Ters osmoz membranlarının her gün 1 kere 1.5 dakikada 48 membran yıkanmasına göre yıkama pompalarının elektrik tüketimi hesaplanmıştır.
- 30) Tüm tesislerde hamsu besleme, yüksek basınç, booster ve dozaj pompalarının 24 saat çalıştığı esas alınmıştır.
- 31) Arıtma tesisi binalarının havalandırmalarında m²'de 0.0036 kW saat'lik elektrik tüketimi hesaplanmıştır.
- 32) Ters osmoz sistemlerinde her üç ayda bir 5 mikronluk kartuş filtrelerin değiştirildiği işletme maliyeti hesabına esas alınmıştır.
- 33) Ters osmoz ve ultrafiltrasyon membranlarının her 5 yıl sonunda tüm sistemlerde değiştirildiği işletme maliyeti hesabında esas alınmıştır.
- 34) Faiz hesaplamalarında Alman Merkez Bankası'nın önümüzdeki 30 yıl için öngörülerini gösteren Euribor oranlarına Türkiye için ülke risk priminin eklenmesi ile önümüzdeki 30 yıl için faiz oranları tespit edilmiştir. Türkiye için gelecek 1-20 yıl arası öngörülen faiz oranları Tablo 3'te verilmiştir.
- 35) Tesislerin yatırım bedellerinin 5 yıl geri ödemeli olarak kredilendirildiği durumda dönemsel faiz Euro için %1.38, KKDF %5, BSMV %5 ve mevduat faizi %3.5 alınmıştır.

Çalışma sonuçları

Tesislerin tasarımı ve maliyetlerin hesaplanması materyal ve yöntemde verilen esas alınmış kabüller çerçevesinde yapılmıştır. Buna göre farklı nüfus değerlerine hizmet edecek Akdeniz

suyuna göre tasarlanmış membran teknolojisi sistemlerinin yatırım bedelleri Şekil 1’de verilmiştir.

Tablo 3. Türkiye için öngörülen gelecek 1-30 yıl faiz oranları

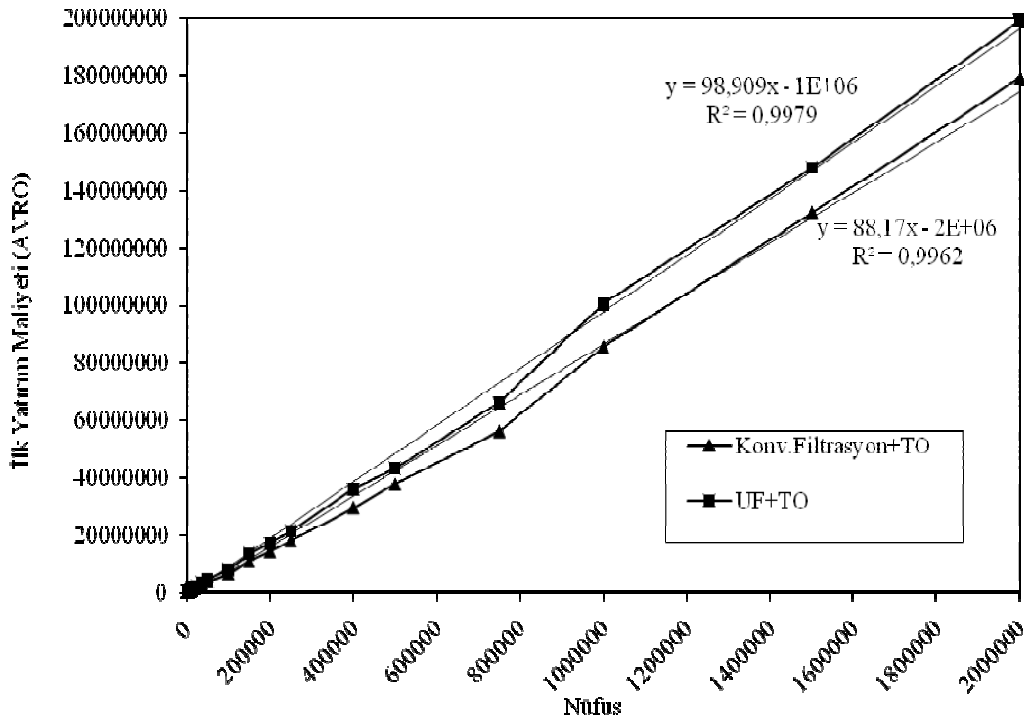
Yıllar	Faiz oranları (*10 ⁻²)
1	5.5
2	5.48
3	5.65
4	5.75
5	5.85
6	5.98
7	6.1
8	6.25
9	6.35
10	6.5
20	7
30	7

Akdeniz suyuna göre tasarlanmış membran teknolojisi sistemlerinde tesis kapasitesi büyüdükçe yatırım maliyeti doğrusal olarak artmaktadır. Diğer yönden membran teknolojisi sistemlerinin ön arıtma ünitelerinde ultrafiltrasyon sistemleri

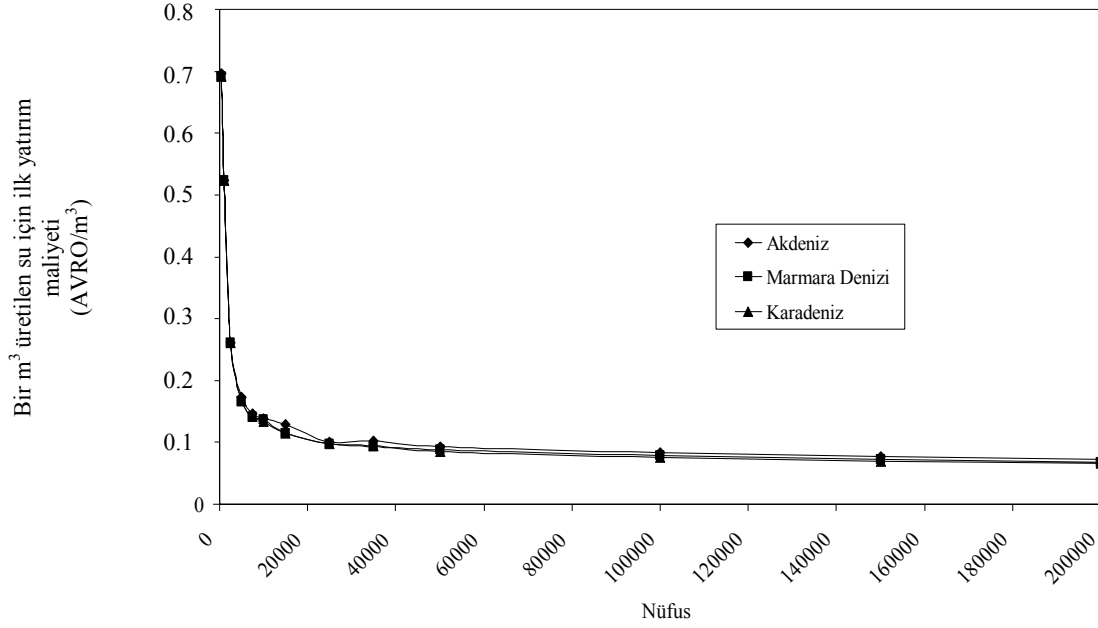
tercih edildiği durumda yatırım maliyetlerinin %10-20 daha yüksek olduğu görülmüştür.

Akdeniz suyuna göre tasarlanmış membran teknolojisi sistemlerinin kıyı şeridinde bulunan yerleşim bölgeleri için kurulması konusunda yatırım stratejileri belirlenirken kullanılabilir en yararlı husus, bir m³ üretilen içme ve kullanma suyu için ilk yatırım maliyetlerinin değerlendirilmesidir. Bu çerçevede Türkiye’nin üç yanının farklı tuzluluğa sahip denizlerle çevrili olduğu göz önünde bulundurularak nüfusu 500-200 000 arasında değişen yerleşim bölgeleri için doğrudan su alma yöntemiyle ön arıtma ünitesinde ultrafiltrasyon kullanılarak Akdeniz, Marmara Denizi ve Karadeniz suyuna uygun tasarlanmış membran teknolojisi sistemlerinin ilk yatırım maliyetleri Şekil 2’de verilmiştir.

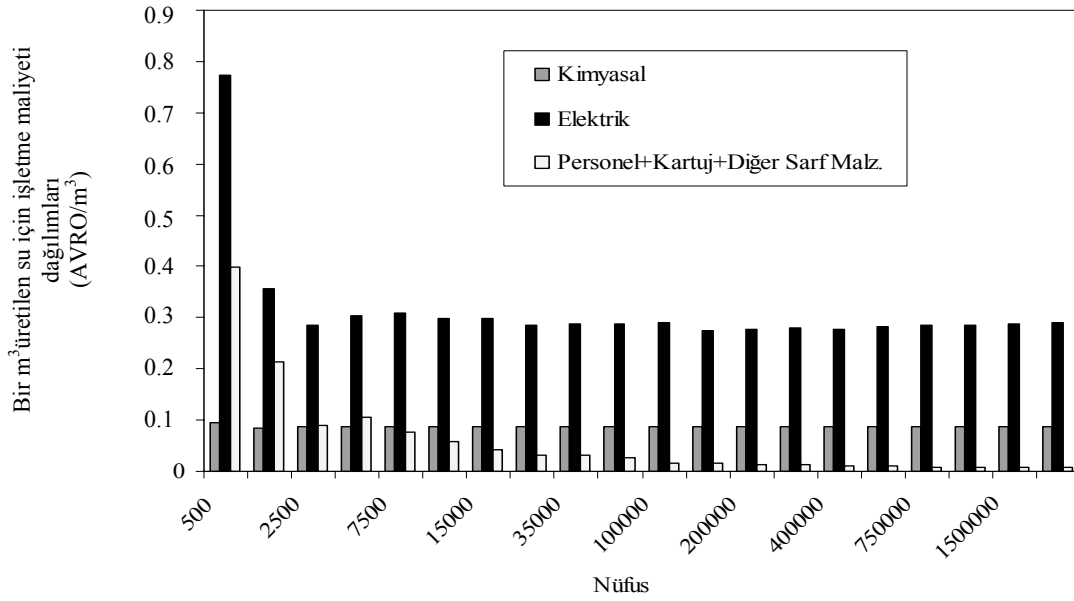
Aynı kapsamda nüfusu 500-2000000 arasında değişen yerleşim bölgeleri için Akdeniz suyuna uygun tasarlanmış membran teknolojisi sistemlerinin doğrudan su alma yöntemiyle ön arıtma ünitesinde konvansiyonel filtrasyon kullanılarak hesaplanmış işletme maliyeti bileşenleri Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 1. Nüfusu 500-2 000 000 arasında değişen yerlere hizmet eden Akdeniz suyu membran teknolojisi sistemleri ilk yatırım maliyeti



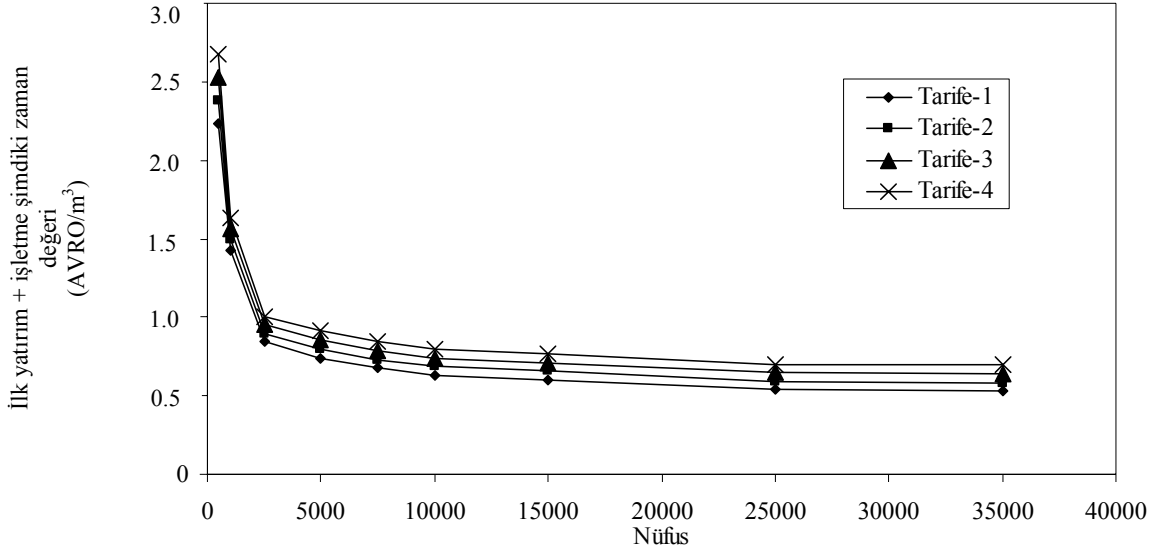
Şekil 2. Nüfusu 500-2000000 arasında değişen yerleşim birimlerine hizmet eden Akdeniz, Marmara Denizi ve Karadeniz suyu membran teknolojisi sistemlerinin 1 m³ üretilen su için ilk yatırım maliyetleri



Şekil 3. Nüfusu 500-2000000 olan yerleşim birimleri için tasarlanan Akdeniz suyu membran teknolojisi sistemlerinin işletme maliyeti dağılımları

Önümüzdeki dönemde elektrik tarife değerlerindeki artışa bağlı olarak nüfusu 500-35000 arasında değişen yerleşim bölgeleri için doğrudan su alma yöntemiyle ön arıtma ünitesinde konvansiyonel

filtrasyon üniteleri kullanılarak Akdeniz suyuna uygun tasarlanmış membran teknolojisi sistemlerinin 20 yıl işletme süresiyle 1 m³ üretilen su için toplam yatırım maliyetleri Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Akdeniz suyu membran teknolojisi sistemlerinin farklı elektrik tarifelerine göre 1 m^3 üretilen su için toplam yatırım maliyetleri (Tarife-1 : 0.0967 €/kW (geçerli tarife); Tarife-2 : 0.1160 €/kW (% 20 artış), Tarife-3: 0.1354 €/kW (% 40 artış); Tarife : 0.1547 €/kW (% 60 artış))

Yapılan hesaplamalarda tesislerin yatırım bedellerinin 5 yıl geri ödemeli olarak kredilendirildiği durumda ekonomik kriz öncesi banka kredi ve mevduat faiz oranları kullanılarak, kar amacı olmaksızın ve mevduat faizinin karşılanması olmak üzere 2 alternatifli tarife bedellerinin değişimi Şekil 5'te verilmiştir.

Farklı nüfus değerlerine hizmet edecek ve Kızılırmak suyunun ham su özelliğine uygun ve ultrafiltrasyon ön arıtma ünitesiyle tasarlanmış, membran teknolojisi sistemlerinin ilk yatırım maliyetleri Akdeniz suyu sistemlerinin maliyetleri ile beraber Şekil 6'da verilmiştir.

Kızılırmak suyuna göre tasarlanmış membran teknolojisi sistemlerinin 1 m^3 üretilen içme ve kullanma suyu için ilk yatırım maliyetlerinin farklı nüfus değerlerine hizmet eden tesisler için değişimi Şekil 7'de verilmiştir.

Aynı çerçevede nüfusu 500-35000 arasında değişen yerleşim birimlerine hizmet edecek deniz (Akdeniz) ve nehir suyuna göre tasarlanmış, 20 yıl işletme süresine göre ultrafiltrasyon ön arıtma üniteleriyle hesaplanmış membran teknolojisi sistemlerinin 1 m^3 üretilen su için toplam yatırım maliyetleri beraber Şekil 8'de verilmiştir.

Nehir suyu membran teknolojisi tesislerinin yatırım bedellerinin 5 yıl geri ödemeli olarak kredilendirildiği durumda ekonomik kriz öncesi banka kredi ve mevduat faiz oranları kullanılarak, kar amacı olmaksızın ve mevduat faizinin karşılanması olmak üzere 2 alternatifli tarife bedellerinin değişimi Şekil 9'da verilmiştir.

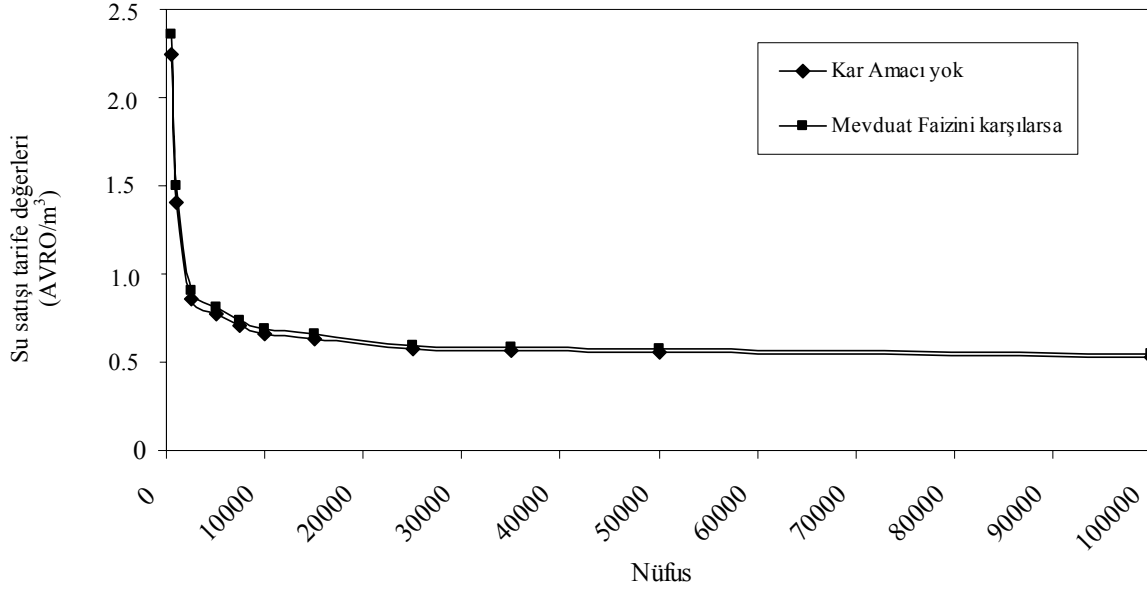
Genel değerlendirme

Bu çalışmada oluşturulan genel değerlendirme aşağıda verilmiştir:

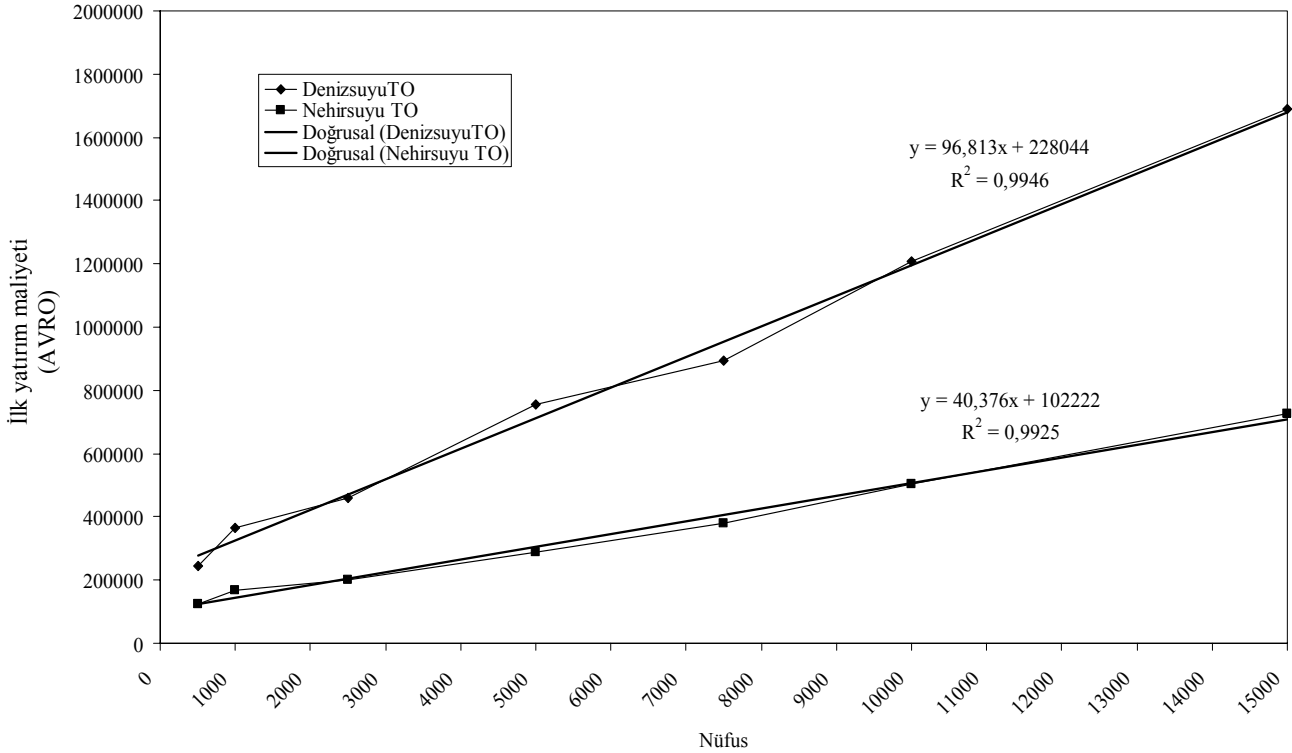
- 1) Nehir suyu membran teknolojisi sistemlerinin yatırım ve işletme maliyetlerinin deniz suyu arıtma sistemlerine göre %50-55 daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu kapsamda Türkiye'de membran teknolojisi sistemlerinin içme ve kullanma suyu üretme maksatlı kurulmasında aynı bölgede farklı su kaynaklarının bulunması durumunda 1 m^3 suyun üretiminde yatırım+işletme maliyetinde %60'a varan avantaj sağlaması nedeniyle deniz suyuna nazaran tuzluluk değeri daha düşük olan kuyu, nehir veya göl sularının kullanılması önerilmektedir.
- 2) Akdeniz deniz suyuna göre tasarlanmış membran teknolojisi sistemlerinde tesis kapasitesi büyüdükçe yatırım maliyetinin doğal olarak arttığı ve fonksiyonel ifadeleri-

nin 1'e çok yakın olduğu görülmüştür. Dolayısıyla Türkiye'de deniz suyu membran teknolojisi sistemlerinin içme ve kullanma suyu üretme maksatlı bütçe planlama çalışmaları

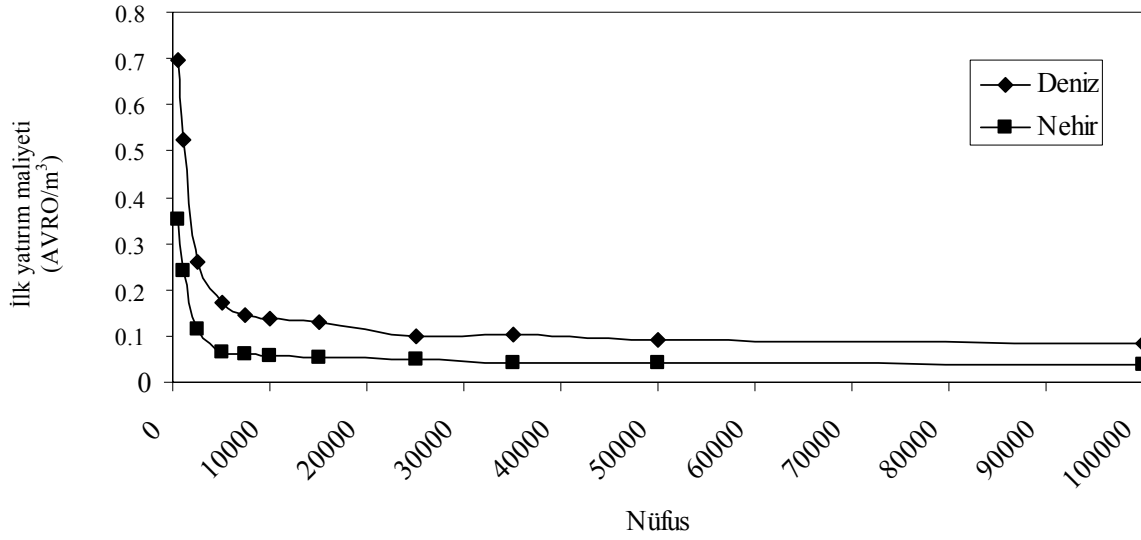
rında nüfusu 500-2000000 arasında değişen yerleşim birimleri için tercih edilen herhangi bir nüfus/kapasite değeri için söz konusu fonksiyonel ifadeler kullanılabilir.



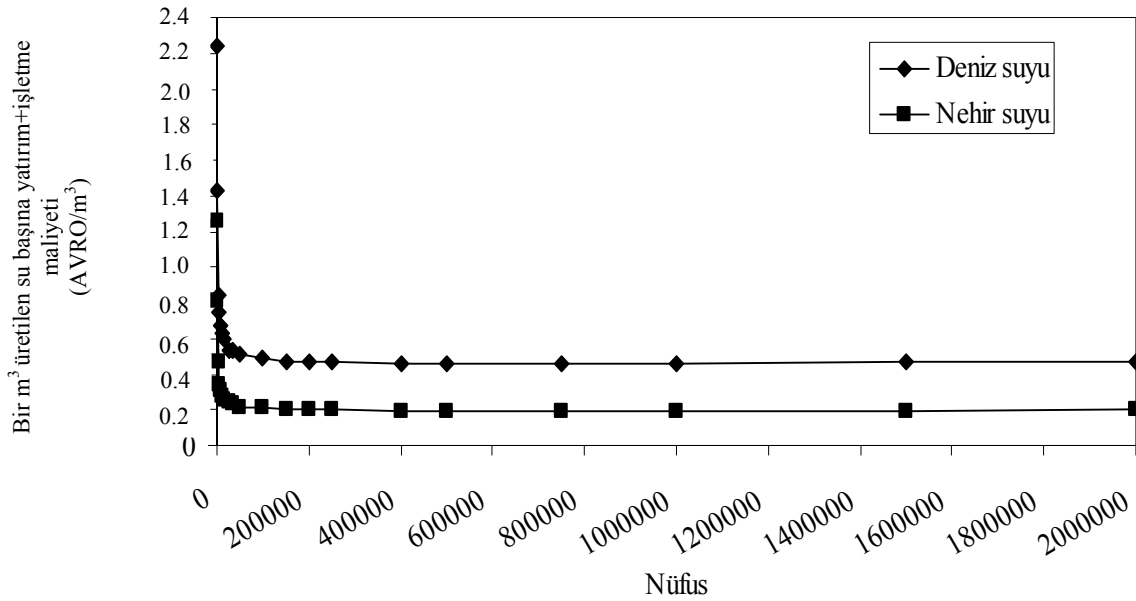
Şekil 5. Akdeniz suyu membran teknolojisi sistemlerinde üretilen ve satılan 1 m³ üretilen su için tarife bedellerinin değişimi



Şekil 6. Nüfusu 500-15000 arasında değişen yerleşim birimleri için hesaplanan Kızılırmak suyu ve Akdeniz suyu membran teknolojisi sistemlerinin ilk yatırım maliyetleri



Şekil 7. Kızılırmak suyu ve Akdeniz suyu membran teknolojisi sistemlerinin bir (1) m³ üretilen su için ilk yatırım maliyetleri

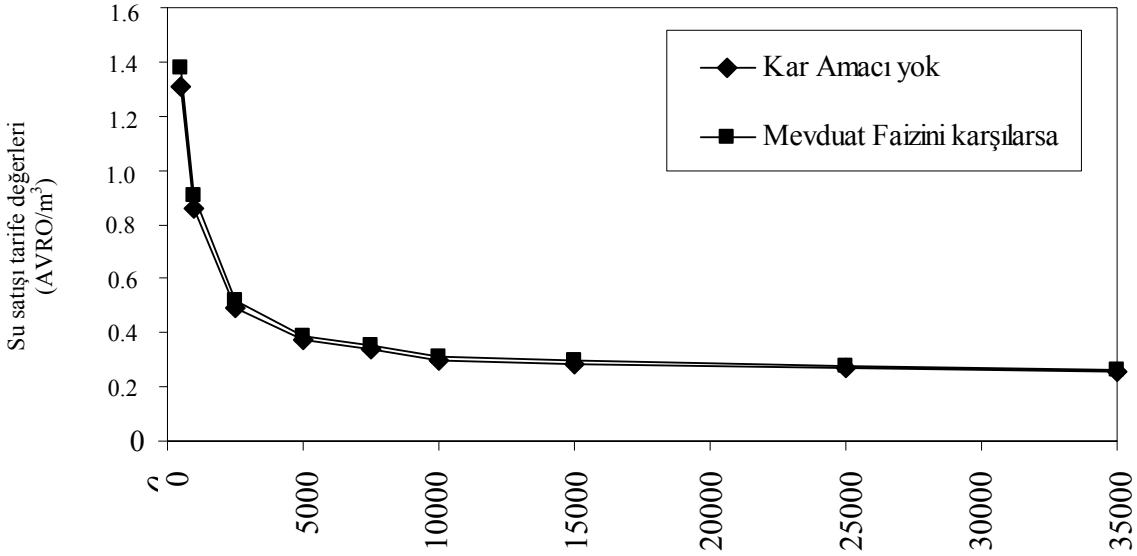


Şekil 8. Nüfusu 500-35000 arasında değişen yerlere hizmet eden nehir suyu ve Akdeniz suyu membran teknolojisi sistemlerinin 1 m³ üretilen su için toplam yatırım maliyetleri

3) Son yıllarda membran teknolojisi sistemlerinin ön arıtılma üniteleri olarak konvansiyonel basınçlı filtrasyon ünitelerin yerine ultrafiltrasyon sistemlerinin kullanıldığı uygulama sayısında büyük artış olmuştur. Diğer yönden yapılan çalışmada membran teknolojisi sistemlerinin ön arıtılma ünitelerinde ultrafiltrasyon sistemleri tercih edildiği durumda yatırım maliyetlerinin %10-20 daha yüksek olduğu görülmüştür. Ayrıca ön arıtmada

ultrafiltrasyon sistemlerinin tercih edilmesi durumunda ters osmoz membranlarının bozulmasının asgari ölçüde kalması nedeniyle yatırım bütçelerinin kısıtlı olmadığı projelerde söz konusu teknolojinin kullanılması önerilmektedir.

4) Akdeniz suyuna uygun tasarlanmış membran teknolojisi sistemlerinde işletme maliyetlerinin yaklaşık %65-69'unu elektrik oluşturmaktadır. Diğer bir deyişle yüksek tuzluluğa



Şekil 9. Nehir suyu membran teknolojisi sistemlerinde üretilen ve satılan 1 m³ üretilen su için tarife bedellerinin değişimi

sahip deniz sularının membran teknolojileri ile artırılmasında enerji maliyeti en önemli rolü oynamaktadır. Deniz suyuna uygun tasarlanmış membran teknolojisi sistemlerinin 20 yıl işletilmeleri boyunca; elektrik tarifesinde %20 artışta %6-9; % 40 artışta %11-17; %60 artışta %16-23 1 m³ üretilen su için toplam yatırım maliyetlerinde yükselme olduğu tespit edilmiştir.

- 5) İçme ve kullanma suyu üretme maksatlı kurulacak deniz ve kuyu suyu membran teknolojisi sistemlerinin 1 m³ üretilen su için yatırım ve işletme maliyetleri tesis kapasitesi arttıkça düşmektedir. Nüfusu 500 olan bir yerleşim bölgesi için kurulacak deniz suyu membran teknolojisi sisteminin toplam yatırım ve işletme maliyeti 2.24 €/m³ iken, nüfusu 15000 olan yerleşim bölgesi için 0.60 €/m³ değerine düşmektedir. Diğer yönden nüfusu 500 olan bir yerleşim bölgesi için kurulacak nehir suyu membran teknolojisi sisteminin toplam yatırım ve işletme maliyeti 1.26 €/m³ iken, nüfusu 15000 olan yerleşim bölgesi için 0.26 €/m³ değerine düşmektedir. Bu kapsamda Türkiye’de içme ve kullanma suyu üretiminde kurulacak membran teknolojisi sistemleri hakkında merkezi ve yerel idareler tarafından yatırım stratejilerinin belirlenmesi durumunda nüfusu 15000’den bü-

yük; tesis çıkış kapasite eşdeğeri olarak yaklaşık 2000 m³/gün’den yüksek tesislerin kurulması yönünde planlamaların yapılması önerilmektedir.

- 6) Deniz ve nehir suyu membran teknolojisi sistemlerinde 1 m³ üretilen içme ve kullanma suyu için toplam yatırım+işletme maliyetinin yaklaşık yarısını ilk yatırımın oluşturduğu tespit edilmiştir. Bu kapsamda nüfusu 500’den 35000’e büyüyen yerleşim birimlerine hizmet edecek deniz suyu membran teknolojisi sistemlerinde 1 m³ üretilen içme ve kullanma suyu için toplam yatırım maliyeti 2.24 €/m³’den 0.53 €/m³’e düşerken aynı sistemlerin ilk yatırım maliyeti 0.70-0.09 €/m³ aralığında olmakta; nehir suyu membran teknolojisi sistemlerinde ise aynı nüfus değerleri için toplam yatırım maliyeti 1.26 €/m³’den 0.24 €/m³’e düşerken aynı sistemlerin ilk yatırım maliyeti 0.32-0.04 €/m³ değerlerini almaktadır.
- 7) Akdeniz, Marmara Denizi ve Karadeniz suyuna uygun tasarlanmış membran teknolojisi sistemlerinin 1 m³ üretilen içme ve kullanma suyu için ilk yatırım maliyetlerinin birbirine hemen hemen eşit olduğu görülmektedir. Bunun nedeni tuzluluk değeri her üç deniz için farklı olmasına karşın geri kazanım değerinin aynı olması (%43), dolayısıyla gerek

sistem besleme gerekse de yüksek basınç pompalarının aynı kapasitede kullanılmasıdır. Dolayısıyla fark sadece deniz suyunun tuzluluk değeri düşüktüğü, yüksek basınç pompalarının basma yüksekliklerinin azalması şeklindedir, dolayısıyla bu işletim ile pompaların kademe sayısı değişmekte ancak pompa maliyeti etkilenmemektedir.

- 8) Orta ve büyük ölçekli yerleşim yerleri için projelendirilmiş ve Akdeniz suyuna uygun tasarlanmış membran teknolojisi sistemlerinde işletme maliyetlerinin yaklaşık %65-69'unu elektrik, %20-23'sini kimyasal ve %5-8'ini ise personel, kartuj ve diğer işletme giderleri oluşturmaktadır.
- 9) Yapılan çalışmada Akdeniz suyu membran teknolojisi sistemleri tesisin ilk yatırımı için banka kredisi çekildiğinde abonelere uygulanacak tarife bedelleri nüfusu 500-1000 arasında yerleşim bölgelerinde 1.4 €'dan yüksek iken nüfusu 15000'den büyük yerleşim bölgelerinde 0.55-0.60 € değerlerinde sabitlendiği görülmüştür. Nehir suyu membran teknolojisi sistemleri için banka kredisi çekildiğinde ise abonelere uygulanacak tarife bedelleri nüfusu 500-1000 arasında yerleşim bölgelerinde 0.85 €'dan yüksek iken nüfusu 15000'den büyük yerleşim bölgelerinde 0.25-0.28 € değerlerinde tespit edilmiştir.
- 10) Literatürde yer alan nehir suyu membran teknolojisi sistemlerinin bir (1) m³ üretilen içme ve kullanma suyu için yatırım bedeli dahil işletme maliyetleri incelendiğinde çıkış kapasitesi 20-1200 m³/gün olan tesisler için 1.06-0.62 € (Al-Wazzan vd., 2002); 40000-46000 m³/gün olan tesisler için 0.43-0.21 € (Avlonitis, 2002 ve Chaudry, 2003); bu çalışma kapsamında ise 48-1,200 m³/gün olan tesisler için 1.51-0.33 €; 4560-70080 m³/gün olan tesisler için 0.28-0.22 € aralığında değiştiği görülmüştür. Literatürde deniz suyu membran teknolojisi sistemlerinin bir (1) m³ üretilen içme ve kullanma suyu için yatırım bedeli dahil işletme maliyetleri incelendiğinde ise çıkış kapasitesi 1000 m³/gün'den küçük olan tesisler için 3.14-1.00 € (Avlonitis, 2002); 1000-4800 m³/gün olan tesisler için 1.67-0.56 € (Avlonitis, 2002, Zejli vd., 2004e); 15000-60000 m³/gün olan tesisler için 1.30-0.35 € (Avlonitis, 2002;

Chaudhry, 2003); 100000-320000 m³/gün olan tesisler için 0.52-0.36 €; bu çalışma kapsamında ise 48-840 m³/gün olan tesisler için 2.6-0.80 €; 1000-4800 m³/gün olan tesisler için 0.75-0.64 €; 13080-70080 m³/gün olan tesisler için 0.58-0.55 €; 87480-400080 m³/gün olan tesisler için yaklaşık 0.56 € olduğu görülmüştür. Bu çalışma kapsamında bulunan toplam yatırım maliyetleri literatür değerleriyle karşılaştırıldığında küçük kapasiteli tesisler hariç söz konusu hesaplanmış bedellerin daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni; bu çalışmada tesislerin tasarımında kullanılan membranların, vassellerin, pompaların elektromekanik ekipmanların son dönem teknolojiyi temsil etmesi dolayısıyla daha verimli ve daha ekonomik niteliğe sahip olmasıdır.

Sonuçlar

Bu çalışmadan çıkarılan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- 1) Türkiye'de membran teknolojisi sistemlerinin içme ve kullanma suyu üretme maksatlı kurulmasında aynı bölgede farklı su kaynaklarının bulunması durumunda 1 m³ yatırım+işletme maliyetinde %60'a varan avantaj sağlaması nedeniyle tuzluluk değeri en düşük olan kuyu, nehir veya göl sularının kullanılması önerilmiştir.
- 2) Bu kapsamda Türkiye'de içme ve kullanma suyu üretiminde kurulacak membran teknolojisi sistemleri hakkında merkezi ve yerel idareler tarafından yatırım stratejilerinin belirlenmesi durumunda nüfusu 15000'den büyük; tesis çıkış kapasite eşdeğeri olarak yaklaşık 2000 m³/gün'den yüksek tesislerin kurulması yönünde planlamaların yapılması önerilmiştir.
- 3) Membran teknolojisi sistemlerinin ön arıtma ünitelerinde konvansiyonel filtrasyon üniteleri yerine ultrafiltrasyon sistemleri tercih edildiği durumda ilk yatırım maliyetlerinin %10-20 daha yüksek olduğu görülmüştür.
- 4) Ayrıca söz konusu sistemlerin işletilmesinde enerji maliyetinin yaklaşık %65-69 ile en önemli rolü oynadığı tespit edilmiştir. Deniz suyuna uygun tasarlanmış membran teknolo-

jisi sistemlerinin 20 yıl işletme süresiyle 1 m³ üretilen su için toplam yatırım maliyetlerinde, elektrik tarifesinde %20 artışta %6-9; %40 artışta %11-17; %60 artışta %16-23 yükselme olacağı bulunmuştur.

- 5) Nüfusu 500 olan bir yerleşim bölgesi için kurulacak İçme ve kullanma suyu üretme maksatlı deniz suyu membran teknolojisi sisteminin toplam yatırım ve işletme maliyeti 2.24 €/m³ iken, nüfusu 15000 olan yerleşim bölgesi için 0.60 €/m³ değerine düşmektedir. Diğer yönden nüfusu 500 olan bir yerleşim bölgesi için kurulacak nehirsuyu membran teknolojisi sisteminin toplam yatırım ve işletme maliyeti 1.26 €/m³ iken, nüfusu 15000 olan yerleşim bölgesi için 0.26 €/m³ değerine indiği tespit edilmiştir.
- 6) Akdeniz suyu membran teknolojisi sistemleri tesisin ilk yatırımı için banka kredisi çekildiğinde abonelere uygulanacak tarife bedelleri nüfusu 500-1000 arasında yerleşim bölgelerinde 1.4 €'dan yüksek iken nüfusu 15000'den büyük yerleşim bölgelerinde 0.55-0.60 € değerlerinde sabitlendiği görülmüştür.

Nehirsuyu membran teknolojisi sistemleri için banka kredisi çekildiğinde ise abonelere uygulanacak tarife bedelleri nüfusu 500-1000 arasında yerleşim bölgelerinde 0.85 €'dan yüksek iken

nüfusu 15000'den büyük yerleşim bölgelerinde 0.25-0.28 € değerlerinde tespit edilmiştir.

Kaynaklar

- Al-Wazzan, Y., Safar, M., Ebrahim, S., Burney, N. ve Mesri, A., (2002). Desalting of subsurface water using spiral-wound reverse osmosis(RO) system: Technical and economic assessment, *Desalination*, **143**, 21-28.
- Avlonitis, C.A., (2002). Operational water cost and productivity improvements for small-size RO desalination plants, *Desalination*, **142**, 295-304.
- Chaudhry, S., (2003). Unit cost of desalination, CA Desalination Task Force Sausalito, CA, July 30.
- Erdogan, A., (2004). Türkiye'de evsel atıksu oluşum miktarları ve karakterizasyonu, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Filtration and Separation, (2005). Elsevier LTD.
- İller Bankası, (2007). Avşa Balıkesir İçme Kullanma Suyu Temini Amaçlı Deniz Suyundan Ters Ozmoz Yöntemi İle Arıtma Tesisi Projelendirilmesi, Yapımı Ve İşletilmesi Teknik Şartnamesi.
- Loeb, S. ve Sourirajan R., (1963). Seawater demineralisation by means of an osmotic membrane, *Advances in Chemistry Series*, **38**, 117.
- Zeqli, D., Benchrifar., Bennouna, A. ve Zazi, K., (2004). Economic analysis of wind-powered desalination in the south of Morocco, *Desalination*, **165**, 219-230.

Tung, K., (2007). Introduction to water treatment membrane processes, www.setsg3.ev.ncu.edu.tw.