

Mak. Müh. Halil
EREN
Öğr.Gör.Barbaros
BATUR

Özet:

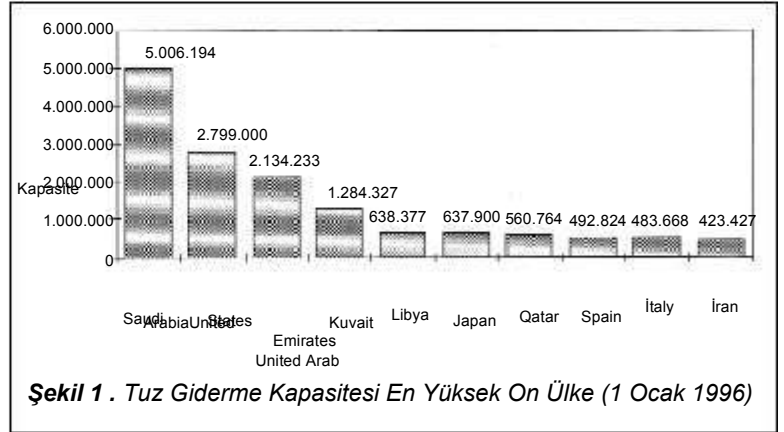
Gelişen dünya ve hızla artan nüfusa paralel olarak doğaldır ki tatlı suya duyulan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Bunun bir sonucu olarak mevcut kaynakların yetmemesi günümüzde gündeme gelmeye başlamıştır. Bu noktada özellikle Basra Körfezindeki Arap Ülkelerinin yıllardan beri kullandığı deniz suyunun desalinasyonu nun ciddi bir alternatif oluştu racağı kesindir. Hatta İstanbul' da bu alternatif ciddi olarak düşünölmeye başlanmıştır.

Özellikle İstanbul gibi nüfusu hızla artan ve su kaynakları çok bol olmayan büyük şehir lerimizde tatlı su sorunu baş göstermiştir. Böyle bir durum da İstanbul civarında mevcut, çalışan bir elektrik santralının desalinasyon ünitesi bulunması yada bu ünitenin eklenip hem elektrik, hem de su üreten çift maksatlı bir tesis haline getirilmesi kaçınılmaz bir seçenek olacaktır.

Tuzdan Arındırma (Desalination) Sistemleri ve Bir Güç Santralının Tuzdan Arındırma Tesisinin İncelenmesi

Giriş

Günümüzün sanayileşmiş ülkeleri yetersiz su rezervlerine rağmen içme suyu ihtiyaçlarını rahat karşılamaktadırlar. Buna karşın dünya nüfusunun hemen hemen %25'i ciddi boyutlarda içme suyu sıkıntısı çekmektedir. Aynı zamanda bu bölgelerde kullanılan içme suları hijyenik şartlardan yoksundur. Dünya üzerindeki su potansiyelinin yalnızca %0,5'i içilebilecek nitelikte olup, %97'si deniz suyu, %2.5'i ise tuz içermesinden dolayı tuzlu yer altı suyu olarak sınıflandırılmaktadır. Söz konusu tuzlu sular içilebilecek nitelikte suya dönüştürülürse su temini açısından sınırsız bir potansiyel elde edileceği açıktır. 1996 yılı itibarıyla dünya üzerindeki tuz giderme tesislerinin toplam kapasitesi günlük 17,5 milyon m³'tür. Şekil 1' de dünyada en yüksek kapasiteyle deniz suyundan tuz gidererek tatlı su elde eden on ülke görölmektedir. Türkiye ise yaklaşık 3600 m³/gün kapasite ile bu ülkelerin çok gerisinde kalmaktadır bu durum Şekil 1'de görölebilir [1]. Karadeniz, Marmara, Ege ve Akdeniz'e göre daha az tuzlu bir deniz

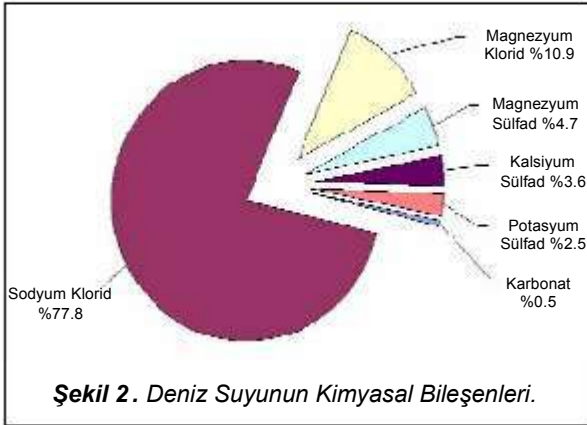


dir. İstanbul ve Çanakkale boğazları aracılığıyla Karadeniz ile Ege Denizi arasında su alışverişi sağlayan Marmara Denizi'nin yüzey suları Ege ve Akdeniz'e göre daha az Karadeniz'e göre ise daha tuzludur. 15-20 m derinlikte yüzey katmanında %2,2 olan tuzluluk oranı, 30 m'de %3,7'ye, 150m'de ise %3,85'e ulaşmaktadır. Bazı denizlerin

Çizelge 1 . Dünya Üzerindeki Çeşitli Denizlerin Tuzluluk Oranları.

Denizler	Tuz Konsantrasyonu (%)
Standart Deniz Suyu	35
Baltık Denizi	7
Pasifik Okyanusu	34
Atlantik Okyanusu	36
Kızıldeniz	43
Karadeniz	18
Marmara Denizi	22
Ege Denizi	38
Akdeniz	43

Deniz suyunun bileşenleri Şekil 2' de açık olarak ifade edilmektedir



Desalinasyon'a Genel Bir Bakış

Desalinasyon, tuz gidermek anlamına gelir. Suda mevcut tuzu, mineralleri ve diğer safsızlıkları giderek; içme, sulama, kullanma amaçlı su elde edilmesini hedefleyen proseslere genel olarak desalinasyon prosesleri adı verilir. Desalinasyon genellikle su üretiminin yüksek maliyetli bir yolu olarak görülmüştür. Bu güne kadar desalinasyon sadece;

- Başka pratik bir alternatif olmadığında,
- Diğer kaynakların maliyetleri daha yüksek olduğunda,

arak maliyet düşünülmediğinde uygulanan bir proses olmuştur [2].

Körfez Arap ülkelerinden bu konuda lider iki ülkeyi örnek verirsek;

Suudi Arabistan 27 desalinasyon istasyonu ile 775 milyon m³ su üretmektedir (gerekli içme suyunun %70'i). Ayrıca desalinasyon tesislerinin ürettiği elektrik miktarı 22,3 milyon megawatt (toplam elektrik üretiminin %21'i) şeklindedir.

Kuveyt'te ise tüm elektrik santralleri kojenerasyon tesisleridir. Yani hepsi hem elektrik, hem de su üretmek üzere kurulmuş çift amaçlı tesislerdir. Tüm bu tesislerde su Çok Kademeli Ani Damıtma (MSF) sistemi kullanılarak üretilmektedir. 1999 yılında Kuveyt'te toplam 319 milyon m³ su üretilmiştir [3].

Tuzlu Sudan Tatlı Su Üretim Yöntemleri

- İyon Değişimi
- Elektrodializ
- Buhar Kompresyonlu Damıtma
- Güneş Buharlaştırması
- Çok Etkili Damıtma (MED)
- Buhar Sıkıştırma Prosesi (VC)
- Ters Ozmoz
- Çok Kademeli Ani Damıtma (MSF); yöntemleridir.

Tek ve Çift Amaçlı Tesisler

Bugüne kadar özel yerler ve amaçlar dışında ekonomik olmayan desalinasyon prosesi gittikçe daha ekonomik olmaya başlamıştır. Bunun için tek ve çift amaçlı tesisleri incelenecektir.

Tek amaçlı tesisler sadece desalinasyon için kurulmuş, çift amaçlı tesisler başka amaçlar için kurulmuş ek amaç olarak desalinasyon prosesi yapan tesislerdir. Tek amaçlı tesis ya çok özel durumlarda ve ya suyun uzaktan getirilmesinin gerektiği durumlarda fizibil olabilmektedir. Böyle yerlerde diğer kaynakları işletmek veya suyu getirmek çok daha pahalıya mal

Makale

olacağından tek amaçlı arıtmadan elde edilecek suyun fiyatı kabul edilebilir bir mertebede olabilmektedir.

Bununla birlikte son yıllarda gelişen ters ozmoz (RO) teknolojisi tek amaçlı tesislerin seçilmesini bu derecede zor olmaktan çıkarmıştır. Ters ozmoz termal enerjiye

ti Stage Flash Distillation) tesisinden oluşan düzenleme tüm buhar türbinden 2 l05 Pa (2 bar)'da atılıp ve salamurayı ısıtmada kullanılmasıdır. Bu düzene karşı basınç çevrimi adı verilir ve ana avantajı düşük ürün oranına (P/W - Güç/Su oranına) sahiptir (Şekil 3). Yani belli bir su miktarı için en düşük elektriği üretir. Daha çok yüksek miktarda su ihtiyacı olan

zor olmaktan çıkarılmıştır. Ters özmoz termal enerjiye gereksinim duymadığından, bu sistemi kullanan bir tesisi sadece su üretecek şekilde işletmenin yarattığı bir dezavantaj görülmemektedir. Dünyada bu teknolojiyi kullanan tesisler işlemeye başlamıştır. Buna, RO sistemi ile 51 000 m³/d kapasitede su üreten Lamaca Desalinasyon tesisini [4] örnek olarak verebiliriz.

Çift amaçlı santrallarda, enerjinin daha verimli kullanılabilmesinin sebebi, desalinasyon sistemlerinin termal santrallarda kullanılmayan termal enerjinin de kullanılabilmesidir.

Üretim oranına (elektrik gücü - arıtılmış su oranı) bağlı olarak çeşitli buhar türbini döngüleri kurulabilir. Bir birleşik tesis ana olarak ısı kaynağı, güç üretim sistemi ve desalinasyon sisteminden oluşur. Bu örneklerden biri, nükleer ya da fosil yakıtlı bir kazan ısı kaynağı olarak, bir konvansiyonel buhar türbini ve güç üretimi için jeneratör ve su üretimi için MSF (Mül

ünlü üretilir. Daha çok, yüksek miktarlarda su ihtiyacı olan bölgeler için bir tercih nedeni olabilir.

Şekilde; K, kazan; Y.B, yüksek basınç türbini; A.B, alçak basınç türbini; G, generator; B.H, salamura ısıtıcısıdır.

Bu düzende operasyonel esneklik zordur. Desalinasyon ünitesi kapatılamaz, çünkü düzen çıkış buharını burada kondense etmek üzere kurulmuştur.

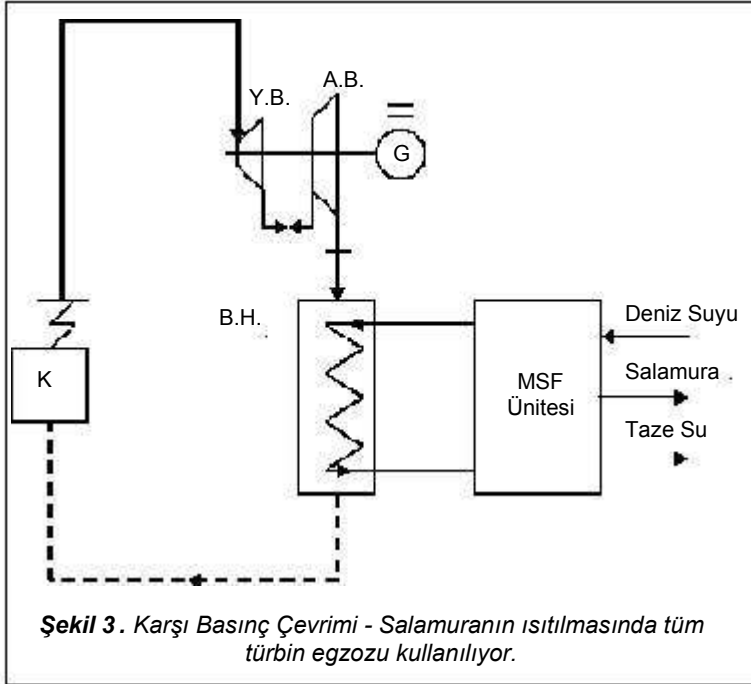
Deniz suyunun dönüşümü

Yeni tatlı su kaynaklarının geliştirilmesinin maliyeti ve uzaklığı arttıkça, deniz suyu dönüşümünün maliyetinin uzak tatlı su sağlama projelerinin maliyetinden düşük hale geçmesi beklenebilir.

Günümüzdeki deniz suyu dönüşüm tesisleri, öncekilerden daha az ısı enerjisi kullanıcılarıdır, fakat büyük tesisler yine de çok enerjiyi kullanmaktadır. Modern tesislerde nispeten düşük derecede enerji des-

tilasyon için uygundur. Deniz suyu desalinasyon ekipmanlarının elektrik gücü üreten nükleer ya da buharla çalışan sistemlerle birleştirilmesi ilgi çekici olabilir. Bu çift amaçlı tesislerin bazı durumlarda tatlı su üretimi maliyetini düşürmektedir.

Bütün tuzlu su prosesleri gibi özellikle deniz suyu gibi çok tuzlu suların arıtıldığı prosesler, nispeten yüksek oranda enerji kullandığından kullanımı sınırlı olmaktadır. Enerji üretimi teknolojisi geçen 50 yılda önemli ölçüde ilerlemiştir, ilerlemelerin önümüzdeki yıllarda da devam edeceğini bilinmektedir. Bu durumda, tatlı su üretimi için enerji harcaması gelecek yıllarda eko-

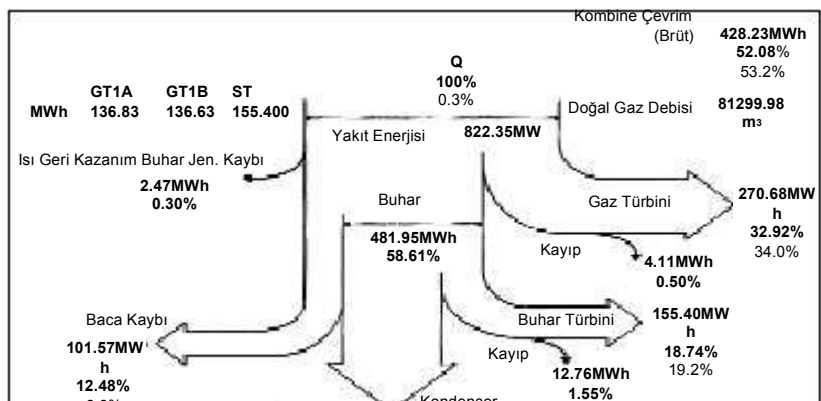


Şekil 3. Karşı Basınç Çevrimi - Salamuranın Isıtılmasında tüm türbin egzozu kullanılıyor.

nomik açıdan daha kullanışlı hale gelecektir.

Sistemin Termodinamik Özellikleri

Marmara Güç Santralında ticari operasyonlar 05/06/1999 tarihinde başlamış bulunmaktadır. Marmara Güç Santrali bir Kombi- ne Çevrim Gaz Türbin Santrali olarak inşa edilmiş olup takriben



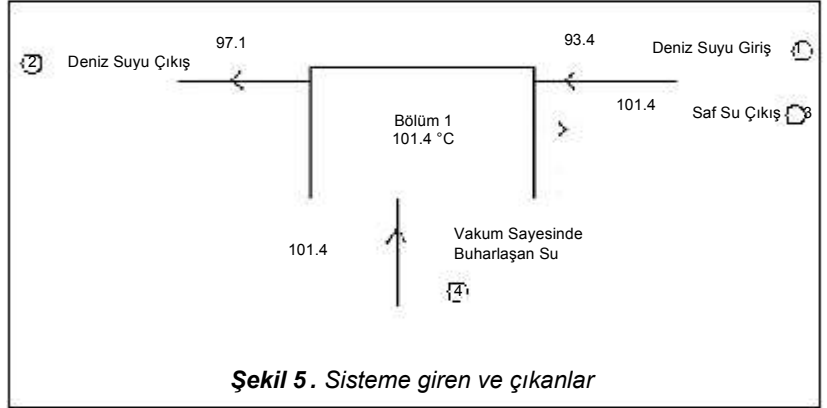
478 MW güç verme kabiliyetine sahiptir. Santral baz yük operasyonu için %52 verimle çalışmak üzere dizayn edilmiştir. Güç santrali bir buhar türbini ve ona buhar sağlayan 2 adet Atık Isı Kazanı ve 2 adet Gaz türbininden oluşmaktadır. Sistemin Sankey Diyagramı Şekil 4'de görülmektedir.

0.0% 0.3%
315.06MW
h
38.31%
37.4%

Şekil 4 . Marmara Güç Santrali bir Kombine Çevrim Gaz Türbin Santralinin Sankey Diyagramı

Üretilen Saf Su

Tesise giren deniz suyunun debisi bellidir. Ayrıca her bölmedeki sıcaklıklarda bellidir. Buna göre her haznede enerji ve kütle dengesi kurarak giren deniz suyuna göre çıkan saf suyu bulabiliriz. Şekil 5'deki sisteme göre enerji dengesini kurarız. Bu denge için her bölmedeki buharlaşmış saf suyun yoğunluğu kısmı ele alırız.



Şekil 5 . Sisteme giren ve çıkanlar

Enerji dengemiz girenler=çıkanlar olacağından ve kayıp olmadığını kabul edilirse;

$$m_1 h_1 + m_2 h_2 = m_3 h_3 + m_4 h_4 \quad (1)$$

şeklindeki denge kurulabilir. Buna göre bilinen parametreler yazılırsa;

$$m_1 = m_2 = 198482 \text{ kg/h}$$

$$m_3 = x \text{ kg/h}$$

$$m_4 = 198482 - x_1 \text{ kg/h değeri bulunur.}$$

Yaklaşık bir hesap için tuzlu suyu saf su olarak kabul

edilecektir. m_4 kütlesi hariç, diğer kütleler su olduğu için, h değerleri suyun entalpi değerleri, m_4 kütlesi ise su buharı olduğundan, h değeri su buharı tablosundan alınmıştır.

Buhar tablosundan $h_4 = 2678,156 \text{ kJ/kg}$ ya da $h_4 = 640,7 \text{ kcal/kg}$ bulunur. Buradan;

$$(198482)(93.4) + (198482 - x_1)(640,7) = (198482)(97,1) + 101,4x$$

$x_1 = 1325 \text{ kg/h}$ (1. haznede oluşan saf su.) olarak hesaplanır

Her bölüme aynı enerji dengesini uygularsak ve çıkan sonuçları toplarsak işletmemizde saatte çıkan toplam saf suyu bulabiliriz. 20 bölüm için Çizerge 2 bulunur.

Makale

Çizelge 2. Her Bölümde Çıkan Saf Su.

Bölümler	Çıkan temiz su debisi(kg/h)	Bölümler	Çıkan temiz su debisi(kg/h)
x ₁	1325	x ₁₁	1230
x ₂	1313	x ₁₂	1180
x ₃	1260	x ₁₃	1168
x ₄	1283	x ₁₄	1157
x ₅	1269	x ₁₅	1141
x ₆	1292	x ₁₆	1133
x ₇	1243	x ₁₇	1122
x ₈	1230	x ₁₈	1115
x ₉	1217	x ₁₉	1100
x ₁₀	1167	x ₂₀	1068

Buna göre sistemimizde 198482kg/h'lik deniz suyu

Doğalgaz Kullanımı

Bu enerji için önce harcanan yakıt bulunur daha sonra bu yakıtı göre maliyetimizi hesaplanır.

$$B_{\text{yakıt}} = \frac{Q_{\text{yakıt}}}{H_u \cdot h_k} \quad (3)$$

formülü harcadığımız saatteki yakıtı bulunur.

$$Q_{\text{yakıt}} = 6\,615\,405 \text{ kJ/h}$$

Doğalgazın alt ısı değeri olarak $H_u = 34485 \text{ kJ/m}^3$, kazanın ısı verimini $h_k = 0,9$ alındığında, harcanan yakıt miktarı olarak,

$$B_{\text{yakıt}} = (6\,615\,405) / (34485)(0,9)$$

Buna göre sistemimizde 150402kg/h'lık deniz suyu na karşı $x_t = 24031 \text{ kg/h}$ 'lık saf su üretilmektedir. Suyun birim fiyatı ise $1 \text{ m}^3 = 1,6 \text{ YTL}$ 'dir. $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ kg}$ olarak kabul edilir ise;

Üretilen suyun ekonomik değeri =
 $24,031 \text{ m}^3 \times 1,6 \text{ YTL/m}^3 = 38,45 \text{ YTL}$ 'dir.

Ürettiğimiz suya göre harcadığımız enerji maliyeti

Deniz suyu 20. kademededen 25°C olarak girdiği sisteme 1. kademededen $97,1^\circ\text{C}$ olarak çıkar. Daha sonra brine heaterda (ön ısıtıcı) enerji verilerek ısıtılır. Brine heater'a $t_g = 97,1^\circ\text{C}$ ve $t_ç = 105^\circ\text{C}$ 'dir. Asıl enerji kaybı buradadır ve buna göre enerji maliyetimizi hesaplanır..

$$Q = m (h_ç - h_g) \quad (2)$$

formülü ile harcanan enerjiyi bulunur. Değerler yerine konur ise;

$$Q = (198482 \text{ kg/h}) (440,17 - 406,84) \text{ kJ/kg.}$$

Harcanan enerji

$$Q = 6\ 615\ 405 \text{ kJ/h olarak bulunur .}$$

Bu enerjiyi elde etmek için doğalgaz ya da elektrik kullanıldığı düşünürse, buna harcanan enerjinin maliyetini bulunabilir.

$B_{\text{yakıt}} = 213,15 \text{ m}^3/\text{h}$ değeri bulunur.

İgdaş tarafından satılan doğalgazın birim fiyatına göre $0,524 \text{ YTL/m}^3$ 'dir. Buradan harcanan gazın maliyeti, $24,031 \text{ m}^3$ su için, $115,52 \text{ YTL/h}$ olarak hesaplanır.

Elektrik Kullanımı

Yine $24,031 \text{ m}^3$ su üretmek için harcanan enerji miktarı kW/h birimine çevrildiğinde;

$(6\ 615\ 405 \text{ kJ/h} / 3600) Q_{\text{yakıt}} = 1837,61 \text{ kW/h}$ olarak bulunur. 1 kW elektrik fiyatı ise $0,158 \text{ YTL}$ alırsa, maliyet $290,43 \text{ YTL/h}$ olur..

Bulunan Maliyetlerin Yorumlanması

Ürettiğimiz suyun belediyeden alım ücreti $1,6 \text{ YTL/m}^3$ dir. Ama diğer pompa masrafları göz önünde bulundurmadığında sadece brine heater'da harcadığımız asıl enerjiyi göz önüne alınarak bölgedeki harcanan enerji; doğalgaz kullanıldığında $4,8 \text{ YTL/m}^3$, elektrik kullanıldığında $12,1 \text{ YTL/m}^3$ dir. Buradan da görüldüğü gibi desalination yani tatlı su üretim yöntemi oldukça pahalı bir yöntemdir.

Suyu şebekeden almak yerine, elektrikte desalination prosesinde üretimde maliyet $7,55$ katına, doğal gazda desalination prosesinde ise 3 katına çıkmaktadır. Bunlar fiyat açısından göz ardı edilemeyecek oranlardır.

Referanslar:

1. World's Water Org., 1996
2. Wade, N. M., "Distillation Plant Development and Cost UpTADe", Desalination, 136: 3-12, 2001
3. Darwish, M. A., "On Electric Power and Desalted Water Production in Kuwait", Desalination, 138: 183-190, 2001
4. Faigon, M. "Process Control of Larnaca 51.00 3rd Deniz Suyu RO Tesisi", Desalination, 138 1-4, 2001
5. Bakish, R., "Desalination Challenge and Opportunity", Noyes Data Corporation, London, 1973.
6. Veziroğlu, T.N., "Alternative Energy Sources IV Volume 2 Solar Heating Cooling Desalination", Ann Arbor Science, Michigan, 1982.

