

47015



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÜNEŞ ENERJİSİ YARDIMIYLA KİRLİ SULARIN
DAMITILMASI**

Mak.Müh. Yücel ERDALLI

**F.B.E. Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programında
hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Z. Dürriye BİLGE

**YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
KURUMUNCA KARAR KILAVUZU**

İSTANBUL, 1995

İÇİNDEKİLER	
SEMBOL LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ	x
KISALTMALAR LİSTESİ	xi
TEŞEKKÜR	xii
ÖZET	xiii
SUMMARY	xiv
1.0. GİRİŞ	1
1.1. KİRLENME KAYNAKLARI	4
1.2. SU KİRLENMESİNİN ÇEVREYE ETKİLERİ	4
1.3. ATIK SU KİRLETİCİLERİNİN SINIFLANDIRILMASI	5
1.4. ATIK SULARIN KARAKTERİSTİKLERİ	9
1.4.1. Evsel atık suların karakteristikleri	9
1.4.2. Endüstri atık sularının karakteristikleri	9
1.5. ATIK SULARIN SINIFLANDIRILMASINDA KULLANILAN PARAMETRELER	11
1.6. ATIK SULARIN MİKROBİYOLOJİSİ	15
2.0. ATIKSULARININ ARITILMASI	17
2.1. ATIK SU ARITMA YÖNTEMLERİ	17
2.1.1. Arıtma derecesine göre atık su arıtma yöntemleri	17
2.1.2. Genel atık su arıtma yöntemleri	17
2.1.2.1. Fiziksel Atık Su Arıtma Yöntemleri	18
2.1.2.2. Biyolojik atık su arıtma yöntemleri	20
2.1.2.3. Kimyasal atık su arıtma yöntemleri	21
2.2. ÇAMUR TASFİYE VE UZAKLAŞTIRMA İŞLEMLERİ	24
2.2.1. Çamur tasfiye prosesleri	24

2.3. ENDÜSTRİ ATIK SULARININ ARITILMASI	26
2.3.1. Yağ endüstrisi atık sularının arıtılması	26
2.3.2. Rafineriler ve petrokimya endüstrileri atık sularının arıtılması	27
2.3.3. Tekstil endüstrisi atık sularının arıtılması	27
2.3.4. Deterjan endüstrileri atık sularının arıtılması	28
2.3.5. Metal işleme endüstrileri atık sularının arıtılması	28
2.3.6. Gıda endüstrileri atık sularının arıtılması	31
2.3.7. Kağıt ve kağıt hamuru endüstrileri atık sularının arıtılması	32
2.3.8. Mayalama endüstrisi atık sularının arıtılması	33
2.3.9. Antibiyotik endüstrisi atık sularının arıtılması	33
2.3.10. Deri endüstrisi atık sularının arıtılması	34
2.3.11. Seramik endüstrisi atık sularının arıtılması	34
2.3.12. Tarım koruma endüstrisi atık sularının arıtılması	34
2.3.13. Kumaş boyaları ve ara ürünleri endüstrisi atık sularının arıtılması	35
3.0. GÜNEŞ ENERJİLİ DAMITICILAR	36
3.1. TUZ GİDERME YÖNTEMLERİ	39
3.1.1. Çok basamaklı ani destilasyon	39
3.1.2. Çok etkili tuz giderme yöntemi	40
3.1.3 Buhar tazyikli tuz giderme yöntemi	42
3.1.4. Ters osmosis ile tuz giderme yöntemi	43
3.1.5. Elektrodializ ile tuz giderme yöntemi	44
3.2. GÜNEŞ ENERJİLİ DAMITICI MODELLERİ	44
3.2.1 Basit havuz tip güneş enerjili damıtıcı	44
3.2.2. Eğimli tepsi modeli	45
3.2.3. Fitilli damıtıcı modeli	46
3.3. GÜNEŞ ENERJİLİ DAMITICILAR ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR	48
3.4. GÜNEŞ ENERJİLİ DAMITICININ TASARIM PARAMETRELERİ	56
3.5. GÜNEŞ ENERJİLİ DAMITICININ VERİMİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER	57
3.6. GÜNEŞ ENERJİLİ DAMITICILARIN TEORİK İNCELEMESİ	59
3.6.1. Isıl hesaplar	59
3.6.2. Damıtıcıdaki ısı dengeleri	60
3.6.3. Teorik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması	65

4.0. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	66
4.1. DENEY SİSTEMİ	66
4.2. DENEY YÖNTEMİ	67
4.2.1. Kirli suların damıtılması	67
4.2.2. Basit havuz tipi damıtıcıdan çıkan su miktarını arttırmak için yapılan çalışmalar	68
4.2.2.1. Damıtıcının doğal dolaşım ile çalıştırılması	68
4.2.2.2. Absorber yüzeyi olarak çakıl taşının kullanılması	69
4.2.2.3. Damıtıcıdaki su seviyesinin çıkan su miktarına etkisi	69
4.3. DENEY SONUÇLARI	69
4.3.1. Kirli suların damıtılması	69
4.3.1.1. Evsel atık suların damıtılması	69
4.3.1.2. Deniz suyunun damıtılması	70
4.3.1.3. Koli aşılı suyun damıtılması	71
4.3.1.4. Fabrika atık sularının damıtılması	71
4.3.2. Basit havuz tipi damıtıcıdan çıkan su miktarını arttırmak için yapılan çalışmalar	77
4.3.2.1. Damıtıcının doğal dolaşım ile çalıştırılması	77
4.3.2.2. Absorber yüzeyi olarak çakıl taşının kullanılması	78
4.3.2.3. Damıtıcıdaki su seviyesinin çıkan su miktarına etkisi	79
5.0. SONUÇLAR	83
KAYNAKLAR	84
EKLER	88
ÖZGEÇMİŞ	

SEMBOL LİSTESİ

Gr:	Grashof sayısı
H:	Yatay yüzeye gelen güneş radyasyonu (kJ/m^2 gün)
K:	Sabit
L:	Gizli ısı (kJ/kg)
Re:	Reynolds sayısı
C_{gs} :	Birim havuz alanındaki camın ısı kapasitesi (kJ/kg K)
C_{wb} :	Birim havuz alanındaki suyun ısı kapasitesi (kJ/kg K)
C_p :	Sabit basınçtaki özgül ısı (kJ/kg K)
F_s :	Şekil faktörü
M_A :	Suyun molekül ağırlığı (kg/kmol)
M_B :	Kuru havanın molekül ağırlığı (kg/kmol)
M_f :	Su yüzeyinden uzaktaki nemli havanın molekül ağırlığı (kg/kmol)
M_w :	Su yüzeyindeki nemli havanın molekül ağırlığı (kg/kmol)
P_T :	Atmosfer basıncı (Pa)
P_w :	Su yüzeyi sıcaklığındaki suyun buhar basıncı (Pa)
P_{wg} :	Cam yüzeyi sıcaklığındaki suyun buhar basıncı (Pa)
T_a :	Dış hava sıcaklığı (K)
T_f :	Damıtıcı içi ortam sıcaklığı (K)
T_g :	Cam sıcaklığı (K)
T_w :	Su sıcaklığı (K)
g :	Yerçekim ivmesi (m/s^2)
k :	Isı iletim katsayısı (W/m K)
n :	Sabit
t :	Zaman (s)
v :	Rüzgar hızı (m/s)
x :	Camdan suya uzaklık (m) (3.7)
x :	Damıtıcı genişliği (m) (3.18)

h_b :	Havuzdan yere ve çevreye ısı transfer katsayısı (W/m^2K)
h_c :	Sudan cama taşınım ile ısı transfer katsayısı (W/m^2K)
h_{fg} :	Buharlaştırma gizli ısı (kJ/kg)
m_w :	Su miktarı
q_b :	Damıtıcıdan yere ve çevreye ısı transferi (W/m^2)
q_c :	Su yüzeyinden cama taşınım ile ısı transferi (W/m^2)
q_e :	Su yüzeyinden cama buharlaşma/yoğuşma ile ısı transferi (W/m^2)
q_{ga} :	Camdan havaya ısı transferi (W/m^2)
q_r :	Sudan cama ısı transferi (W/m^2)
w_d :	Damıtıcı içindeki ürün akışı (kg/s)
h_c :	Camdan dış havaya taşınım ile ısı transfer katsayısı (W/m^2K)
α_g :	Camın yutuculuğu
α_w :	Suyun yutuculuğu
β :	Akışkanın genleşme katsayısı
ϵ :	Camın yayma katsayısı
μ :	Akışkanın viskozitesi (kg/ms)
ρ :	Akışkanın yoğunluğu (kg/m^3)
σ :	Stefan Boltzman sabiti
τ :	Camın geçirgenlik katsayısı

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1. Kaliforniya Üniversitesi'nde kurulu güneş enerjili damıtıcılar	37
Şekil 3.2. Bazı ülkelerde kurulmuş güneş enerjili damıtıcıların kesitleri	37
Şekil 3.3. Çok basamaklı ani destilasyon	40
Şekil 3.4. Çok basamaklı ani destilasyon ve çok etkili destilasyon arasındaki mukayese	41
Şekil 3.5. Çok etkili tuz giderme	41
Şekil 3.6. Buhar tazyikli tuz giderme	42
Şekil 3.7. Ters osmosis ile tuz giderme	43
Şekil 3.8. Elektrodializ ile tuz giderme	44
Şekil 3.9. Basit havuz tip güneş enerjili damıtıcı	45
Şekil 3.10. Eğimli tepsi tip damıtıcı	46
Şekil 3.11. Fitilli damıtıcı	47
Şekil 3.12. Yüzen fitilli tip damıtıcı	47
Şekil 3.13. Güneş kollektörü ile ısıtılan damıtıcı	48
Şekil 3.14. Güneş kollektörlü havuz tipi damıtıcı	49
Şekil 3.15. Kollektör destekli çift katlı damıtıcı	50
Şekil 3.16. Atık ısı ile ısıtılan damıtıcı	50
Şekil 3.17. Çok katlı damıtıcı	51
Şekil 3.18. Egzos fanlı ve yoğunlaştırıcı havuz tipi damıtıcı	52
Şekil 3.19. Vakum pompalı, yoğunlaştırıcı damıtıcı	53
Şekil 3.20. Sistemin şematik görünüşü	54
Şekil 3.21. Kollektörlerin bağlama metodları	55
Şekil 3.22. Ani buhar yönteminin akış diyagramı	55
Şekil 3.23. Güneş enerjili damıtıcıdaki ısı ve enerji akışları	59
Şekil 3.24. Damıtıcıdaki ısı akışlarının Sankey diyagramında gösterilişi	60
Şekil 3.25. Deneysel ve teorik sonuçların karşılaştırılması	65
Şekil 4.1. TÜBİTAK-MAM'nde imal edilmiş iki adet havuz tipi damıtıcı	66
Şekil 4.2. Doğal dolaşimli damıtıcı	68
Şekil 4.3. Dil deresine ait analiz sonuçlarının karşılaştırılması	72

Şekil 4.4. Doğu kanalına ait analiz sonuçlarının karşılaştırılması	73
Şekil 4.5. İğsaş'a ait analiz sonuçlarının karşılaştırılması	73
Şekil 4.6. Koruma Tarım'a ait analiz sonuçlarının karşılaştırılması	74
Şekil 4.7. Petkim'e ait analiz sonuçlarının karşılaştırılması	74
Şekil 4.8. Petrol Ofisi'ne ait analiz sonuçlarının karşılaştırılması	75
Şekil 4.9. Seka'ya ait analiz sonuçlarının karşılaştırılması	75
Şekil 4.10. Shell'e ait analiz sonuçlarının karşılaştırılması	76
Şekil 4.11. Sümerbank'a ait analiz sonuçlarının karşılaştırılması	76
Şekil 4.12. Tüpraş'a ait analiz sonuçlarının karşılaştırılması	77
Şekil 4.13. Normal ve doğal dolaşimli damıtıcıdan elde edilen su miktarlarının karşılaştırılması	78
Şekil 4.14. Normal ve çakıtaşlı damıtıcıdan elde edilen su miktarlarının karşılaştırılması	79
Şekil 4.15. 1-2 cm'lik su seviyesine göre elde edilen su miktarlarının karşılaştırılması	80
Şekil 4.16. 1-3 cm'lik su seviyesine göre elde edilen su miktarlarının karşılaştırılması	81
Şekil 4.17. 1-4 cm'lik su seviyesine göre elde edilen su miktarlarının karşılaştırılması	82

TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1. BOİ, KMnO_4 değeri, N ve asılı katı madde miktarlarına göre suların kalitesi	2
Tablo 1.2. İçilebilir suların fiziksel ve kimyasal özellikleri	3
Tablo 1.3. Atık sularda bulunan başlıca maddeler ve çevreye etkileri	10
Tablo 1.4. Arıtma tesisleri için önem taşıyan kalite parametreleri	12
Tablo 1.5. Atık sularda temel kalite parametreleri ve kaynakları	13
Tablo 1.6. Atık suların temel parametrelerini giden arıtma işlem ve süreçleri	14
Tablo 2.1. Atık su arıtımında kimyasal arıtma prosesleri	22
Tablo 2.2. Deterjan endüstrisi atıklarının arıtılmasında kullanılan yöntemler	28
Tablo 2.3. Meyve ve sebze işlenmesinde üretilen başlıca kirleticiler ve kaynakları	31
Tablo 2.4. Atıklar arasında bulunan bazı spesifik kirletici kaynakları	32
Tablo 3.1. Dünyada kurulu güneş enerjili damıtıcılar	38
Tablo 3.2. Güneş enerjili damıtıcıların yapımında kullanılan malzemeler	56
Tablo 4.1. Evsel atık analiz sonuçları	70
Tablo 4.2. Deniz suyunun analiz sonuçları	70
Tablo 4.3. Damıtılmamış numunelerin analiz sonuçları	71
Tablo 4.4. Damıtılmış numunelerin analiz sonuçları	72
Tablo E.1. Deneysel ve teorik sonuçların karşılaştırıldığı deneyin sonuçları	89
Tablo E.2. <i>E.Coli</i> aşılı deneyin sonuçları	90
Tablo E.3. Doğal dolaşimli ve normal damıtıcıların karşılaştırıldığı deneyin sonuçları	91
Tablo E.4. Çakıtaşlı ve normal damıtıcıların karşılaştırıldığı deneyin sonuçları	92
Tablo E.5. Su seviyelerinin karşılaştırıldığı deneyin sonuçları (1-2 cm)	93
Tablo E.6. Su seviyelerinin karşılaştırıldığı deneyin sonuçları (1-3 cm)	94
Tablo E.7. Su seviyelerinin karşılaştırıldığı deneyin sonuçları (1-4 cm)	95

KISALTMALAR LİSTESİ

BOİ: Biyolojik oksijen ihtiyacı

KOİ: Kimyasal oksijen ihtiyacı



TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında bilgi ve tecrübeleri ile beni yönlendirerek, çalışmam sırasında bana her türlü desteği ve yakınlığı gösteren tez danışmanım Doç. Dr. Z. Dürriye Bilge'ye ve Güneş enerjisi yardımıyla kirli suların damıtılması konulu çalışmamı öneren ve tezin bütün aşamalarını adım adım izleyen, yönlendiren ve sonuca ulaştırılmasını sağlayan Doç. Dr. Hasan Heperkan'a; tezim ile ilgili deneyleri yapmam için her türlü imkanı sağlayan TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi Enerji Sistemleri Bölüm Başkanı Doç. Dr. İ. Engin Türe'ye, Deneysel çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen bölüm arkadaşlarım Azmi Yazar, Mete Söhmen, Çiğdem Tırıs, Halil Sekmen, Ömer Hızlı, analizlerin yapılmasında yardımcı olan Hüseyin Tüfekçi, Vildan Tüfekçi, Dr. Hanife Kalafatoğlu, Dr. Mehlika Borcaklı ve Ender Gözüm'e teşekkür ederim.

İSTANBUL 1995

Yücel Erdallı



ÖZET

Su kullanımı, yaşam sürecinin vazgeçilmez bir bölümüdür. Çevredeki su kaynaklarının hacim ve konum itibarıyla kısıtlı olması kullanmadan doğan zararlı değişikliklerin, yani kirlenmenin tekrar çevreye ve kullananlara dönüşünü zorunlu kılmaktadır. Dolayısıyla kullanıcı, daha önce kullandığı su ya da onun dolaylı etkileri ile bu çevrimin ileriki safhalarında karşı karşıya gelmektedir.

Su kirlenmesi sorunu son yıllarda bir çok yerde önemli boyutlara ulaşmıştır. Çeşitli endüstrilerden çıkan atıkların ve hızlı nüfus artışı ile birlikte artan evsel atıkların, arıtılmadan su kaynaklarına verilmesi, ayrıca tarımda uygulanan gübre ve ilaçlarla kirlenmiş suların da su kaynaklarına karışması, bazı durumlarda bu kaynakların önlem alınamayacak ölçüde kirlenmesine yol açmaktadır. Bunun sonucunda da insan sağlığının tehdit edildiği, ekolojik dengenin bozulduğu ve suların ekonomik değerinin yitirildiği bilinen bir gerçektir. Bu şekilde kirlenen kaynakların kullanılabilmesi için alınması gereken önlemler ise çoğu zaman güç ve pahalı olmaktadır. Bu nedenle doğal kaynakların kirlenmeye karşı korunması ayrı bir önem taşımaktadır.

Yaşadığımız dünyada enerji darlığı ve çevre kirlenmesi insanlığın karşı karşıya bulunduğu önemli sorunların en belli başlıcalarıdır. Günümüzde kullanılan enerji ihtiyacının büyük bir bölümü fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Fakat bunun bilindiği gibi iki büyük dezavantajı vardır. Birinci olarak; fosil yakıtlar günden güne azalmaktadır. Çünkü bu kaynakların ömürleri sınırlıdır. İkinci olarak da, çevreyi kirletmekte ve ekolojik yapıyı bozmaktadır. Bu sorunların çözümü yeni enerji kaynaklarının bulunması geliştirilmesi ve yeni teknolojilerin üretilmesine bağlıdır.

Yenilenebilir enerji kaynakları, gerek bilinen enerji kaynaklarının bir ölçüde yerini tutabilmesi, gerekse üretim ve kullanma sırasında çevreyi daha az kirletmesi veya hiç kirletmemesi gibi iki önemli sebeple, hemen hemen her ülkenin önem verdiği konular haline gelmiştir.

Yenilenebilir enerji kaynakları içinde önemli bir yer tutan güneş enerjisinden yararlanma yöntemleri yıllardır bilinmesine rağmen, 1973 yılındaki petrol krizinden sonra önem kazanmıştır. Güneş enerjisinin, sınırsız bir potansiyele sahip olması, tükenmez niteliği, çevre kirliliğine yol açmaması, iletim ve dağıtım sorunu bulunmaması gibi avantajları vardır. Bilindiği gibi güneş enerjisi ısıtma, soğutma, kurutma, deniz suyunun damıtılması, yüzme havuzu ısıtılması gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Güneş enerjisi ile tatlı su elde etmek, diğer destilasyon proseslerine göre ekonomik olarak avantajlı olduğu için fosil yakıtlara bir alternatif olarak kullanılabilir. Enerji maliyeti yoktur. İşletme ve bakım masrafları düşüktür. Ancak fosil yakıtlara göre elde edilen miktar çok daha azdır. Yeterli miktarlarda güneş radyasyonunun olduğu ve temiz suyun olmadığı uzak yerleşim merkezlerindeki küçük toplulukların yaşamlarını sürdürmeleri için, suyun temininde güneş enerjisi ile damıtma uygundur.

Bu çalışmada havuz tipi güneş enerjili damıtıcı kullanılarak evsel atık su ve çeşitli endüstri kuruluşlarından alınan atık su numuneleri damıtılmış ve analizleri yapılmıştır. Aynı damıtıcıda deniz suyundan tatlı su eldesinde damıtılmış su çıkışı artırmak için çalışmalar da yapılmıştır.

SUMMARY

Utilization of water can be regarded as a vitality of life process. Because of limited supply and distribution of water resources in the environment, undesirable changes, namely contamination, inevitably effect users and the environment. Therefore, the user has to deal either with the water itself, which he has already used, or its indirect impact on the later phases of the cycle.

Water pollution problem has reached threatening levels in recent years. As industrial and domestic wastes, which increase with high rate of population growth, are disposed into the water resources without treatment, as well as water contaminated with fertilizers and chemicals used in agriculture, flow into these resources, a situation is created in which no preventive measures exist in most cases. As a result, human health is endangered, ecological balance is impaired and economical values of water are lost. Necessary measures for the reuse of the sources polluted in this way are generally costly and present difficulties. Therefore, various efforts and precautions are essential for the preservation of natural resources against contamination.

Scarcity of energy together with environmental pollution should be considered as the two comprehensive problems which the mankind seriously faces. A great percentage of today's energy demand, is supplied by fossil fuels. But, as it is already known, two principal drawbacks are associated with this approach. First of all, an indispensable decrease is observed in the fuel reserves since these are not unlimited. Secondly, fossil fuels bear the responsibility for environmental pollution and imbalance in the ecological structure. The solution to the problem lies in efforts creating new energy resources and developing new technologies.

Almost in every country, renewable energy resources are considered among the most important topics both from the facts that they can replace known energy sources to some extent and they create far less or no pollution problems to the environment during their production and utilization.

Although the methods relating to the use of solar energy, which is the primary renewable energy source, are known for years, it gained potential attraction only after the oil crisis experienced in the year of 1973. In addition to its never-ending nature and vast potential, solar energy is advantageous from the standpoints that it causes no pollution and it is applicable without any need for a transfer and a medium distribution network. As already known, it is utilized in numerous applications such as cooling, heating, drying, heating of swimming pools and desalination. Since solar energy is proven to be more economical than other distillation processes in production of fresh water, it can be used as an alternative source to fossil fuels. Cost of energy is zero. Operational and maintenance costs are low. But, the water output, is much less compared to fossil fuel systems. In remote settlement areas where small communities live, utilization of solar energy is suitable for supplying fresh water by distillation if solar radiation is available at sufficient intensity.

Domestic waste water and other waste water samples obtained from a number of industrial facilities have been distilled in a basin type solar energy still and analyses have been made. In the same still, experiments have been performed to increase distilled water output in processing salt water.

1.0. GİRİŞ

Hızlı nüfus artışı ve gelişen endüstrileşme sonucunda, ortaya çıkan atık sular, doğayı kirlenme tehlikesiyle karşı karşıya bırakmıştır. Bunun için doğadaki ekolojik dengeyi olumsuz etkileyebilecek bu durumu önlemek için atık suları uzaklaştırmadan önce temizleme zorunluluğu doğmuştur. Endüstriyel ve evsel atık suların hiçbir arıtma işlemine tabi tutulmadan su kaynaklarına verilmesi bu su kaynaklarının giderek kirlenmesine sebep olmaktadır. Kirlenme ile sulardaki oksijen miktarı azalırken, hidrojen sülfür, fosfor, tuzluluk ve çamur miktarları artmaktadır. Bu durumdaki akarsu, göl ve denizler zamanla ölü bir sıvı haline dönüşecektir.

Su kirlenmesi oldukça karışık ve değişik işlemler sonucu meydana gelmekte ve etkileride o derece değişik olmaktadır. Suyun kirlenmesi organik ve inorganik maddelerin suya karışması ile olur. Kirlenmeyi ekolojik bünyenin bozulması olarak ifade edebiliriz. Ancak en uygun tanım, suyun kullanma amacına göre tanımlanmasıdır. Buna göre su kirliliği, suyun doğal yapısının bozulması ve kullanım amacının dışına çıkılması olarak tanımlanır. Buna göre içme suyu için kirli olan bir su, sulama suyu için kirli sayılmayabilir. Önemli olan suyu kirllettikten sonra temizlemek değil, suyu kirlletmemek veya en az bir oranda kirlletmek olduğu unutulmamalıdır.

Avrupa Ekonomik Topluluğu Konseyi'nin kabul ettiği su kirlenmesi tanımı şu şekildedir: "İnsan sağlığını tehlikeye koyacak, canlı kaynaklara ve ekolojik su sistemine zarar verecek, reaksiyonu tehlikeye sokacak veya suların diğer meşru kullanımını güçleştirecek nitelikte sonuçlar yaratan ve doğrudan doğruya veya dolaylı bir şekilde insanlar tarafından su ortamına her türlü madde ve enerji atımıdır (Baykut ve diğerleri, 1987). Avrupa Ekonomik Konseyi, su kaynaklarının gittikçe artan kirlenmelerle tehdit edildiğini görerek ve akarsuların da çeşitli kullanmalara kaynak oluşturduğunu gözönüne alarak Devletlerin ve Uluslararası Kuruluşların işbirliği halinde acilen faaliyete geçmeleri ve akarsuların korunması yanında kara menşeli deniz kirlenmesinin de önlenmesi amacıyla sözleşme maddelerini tesbit etmiştir. Bu sözleşmede akarsuların çeşitli kullanımları, halkın içme suyunun karşılanması, evcil ve yaban hayvanlarının su ihtiyacının karşılanması, doğal flora ve faunanın korunması, değerlendirilmesi ve suların kendi kendini temizleme yeteneklerinin muhafazası; balık avcılığının yapılabilmesi, zirai sulamada ve sanayi suyu temininde kullanılabilmesi, şeklinde belirlenmiş olup, bu kullanımların gerçekleşmesi akarsuların döküldüğü denizlerin su kalitesinin muhafazası için de çok önemlidir.

Tablo 1.1'de suların kalitesi üzerine biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOI_5), KMnO_4 değeri, N ve asılı katı madde (AKM) miktarlarına göre sınıflandırması (Baykut ve diğerleri, 1987), Tablo 1.2'de de içilebilir suların fiziksel ve kimyasal özellikleri görülmektedir (TSE, 1984).

Tablo 1.1. BOI_5 , KMnO_4 değeri, N ve asılı katı madde miktarlarına göre suların kalitesi

Su kalitesi	BOI_5 (mg/l)	KMnO_4 isteği (mg/l)	$\text{NH}_3\text{-N}$ (mg/l)	AKM (mg/l)
Çok saf	1	2.0	0.04	4
Saf	2	2.5	0.24	15
Oldukça saf	3	3.0	0.67	15
Şüpheli	5	5.0	2.50	21
Kirli	10	7.0	6.70	35 ve fazlası

Tablo 1.2. İçilebilir suların fiziksel ve kimyasal özellikleri

MADDENİN ADI	TAVSİYE EDİLEN MİKTAR1 (mg/l)	MÜSAADE EDİLEBİLECEK MAX.MİKTAR (mg/l)
Zehirli maddeler	-	
Kurşun (Pb)	-	0.05
Krom IV (Cr^{VI})	-	0.05
Arsenik (As)	-	0.05
Selenyum (Se)	-	0.01
Siyanür (CN)	-	0.01
Kadmiyum (Cd)	-	0.00005
Gümüş (Ag)	-	0.05
Sağlığa zararlı maddeler		
Florür (F^-)	0.8-1.7	1.4-2.4
Nitrat (NO_3^-)		45
Sağlığa ve/veya içilebilme özelliğine etki eden maddeler		
Renk	5 birim	50 birim
Bulanıklılık	5 birim	25 birim
Buharlaşma kalıntısı	500	15000
Klorür (Cl)	200	600
Serbest klor (Cl_2)	0.1	0.5
Sülfat SO_4^{2-}	200	400
Demir (Fe)	0.3	1.0
Mangan (Mn)	0.1	0.5
Bakır (Cu)	1.0	1.5
Çinko (Zn)	5	15
Kalsiyum (Ca)	75	200
Magnezyum (Mg)	50	150
Magnezyum (Mg)+Sodyum sülfat (Na_2SO_4)	100	500
Alkil benzen sülfanat (ABS)	0.5	1.0
Fenolik maddeler (fenol cinsinden)		0.002
pH	7.0-8.5	6.5-0.2
Sertlik (CaCO_3 cinsinden)	500	
Kirlenmeyi gösteren maddeler		
Karbon-Kloroform ekstraktı	0.2	0.5
Nitrit (NO_2^-)	-	-
Amonyak (NH_3)	-	-
Rakdoaktivlik		
Alfa aktivitesi	2.7pCi/l (0.1 Bq/l)	
Beta aktivitesi	27 pCi/l (1Bq/l) 270 pCi/l (10 Bq/l)	

1.1. KİRLENME KAYNAKLARI

Kirletici kaynakları, kentsel, endüstriyel, tarımsal ve doğal olmak üzere dört grupta toplanabilir (DSİ, 1978)

1. Kentsel kirletici kaynakları: Bu kaynaktan gelen kirleticiler, alıcı su ortamına, atık su toplama şebekesi yoluyla ulaşan kirleticilerdir. Bu kirleticiler alıcı ortama karışmadan önce arıtma sistemlerinden geçirilebilirler.
2. Endüstriyel kirletici kaynakları: Nitelik ve nicelik yönlerinden değişiklikler göstermelerine karşılık, endüstriyel atıkların kontrol edilebilme olanakları daha fazladır. Bazı endüstriyel atıklar doğrudan, o endüstriye ait atık arıtma sistemlerinde temizlenir. Bazı durumlarda ise endüstriyel atıklar kentin atık su toplama şebekesine verilebilir.
3. Tarımsal kirletici kaynakları: Günümüzde kullanılan kimyasal gübreler, zararlı ot ve böcek ilaçları önemli kirlenme kaynakları olmaktadır. Hayvan gübreleride uzun süre toprakta bırakıldığında bunların içindeki maddelerin çoğu yağışlarla topraktan su kaynaklarına karışmaktadır.
4. Doğal kirletici kaynakları: Yağmur suları, akarsulara, çürüyen bitki ve hayvanlardan büyük miktarlarda organik madde, toprak erozyonu ve kıyı aşınmalarından da inorganik madde taşırlar. Yeraltından sızan sular ise, su kaynaklarına ulaşmaya kadar geçtiği topraklardan çözündürdüğü çeşitli kimyasal bileşikler su kaynaklarına taşır. Bataklık sızıntılarından gelen sular da, çok miktarda renkli madde, organik ve inorganik bileşikler içerir. Bu suların genellikle pH'ı ve çözünmüş oksijen miktarı düşüktür.

1.2. SU KİRLENMESİNİN ÇEVREYE ETKİLERİ

Su kirlenmesinin çevreye etkileri, insan sağlığına olan etkileri ve ekonomik etkileri olarak iki grupta toplanabilir. Ancak bu etkilerin birbirinden ayrı düşünülmesi olanaksızdır. İnsan sağlığının etkilenmesi, sonuçta ekonomik kayıplara neden olabileceği gibi, ekonomik kayıplar da beslenme ve giderek sağlık üzerinde etkili olabilir.

Su kirliliği, insan sağlığını, içme veya çeşitli amaçlarla kullanma sonucu etkiler. İnsan sağlığı, kirli suları, örneğin zehirli maddeler veya hastalık taşıyan mikroorganizmalarla kirlenmiş suları, kullanma sonucu zarar görebilir. Bunun yanı sıra, biyolojik birikime yol açan kalıcı kirleticilerin etkileri uzun süre kullanma sonucu görülür. Bazen birden fazla maddenin birarada bulunması, bu maddelerin

sağlık üzerindeki etkilerinin artışına yol açar. Örnek olarak kadmiyum ve siyanürün su ortamında bir arada bulunduklarında zehirli etkileri artar. Su kirlenmesinin ekonomik yönden yarattığı sorunları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz (DSİ, 1978).

- Atıkların temizlenmesi, arıtma tesislerinde daha fazla işlem gerektirmesi nedeniyle giderleri artırmaktadır.
- Kirli sular sulama suyu olarak kullanıldığında, sulanan alanların kirlenmesine ve sonucunda verim düşmesine yol açmaktadır.
- Su ortamındaki doğal dengeyi bozan kirleticiler, bu ortamdaki yaşamı etkilerler. Bunun sonucunda elde edilen su ürünlerinde azalmalar olmaktadır.
- Su kaynağında estetik yönden bozulmalar oluşu, o su kaynağından turizm, su sporları ve dinlenme amacıyla yararlanılabilmesini kısıtlamaktadır.
- Diğer kirleticilerle birlikte, su kaynağına gelen nitrat, fosfat gibi besleyiciler, o ortamda alglerin aşırı çoğalmasına ve giderek bataklaşmaya, bunun sonucunda su kaynaklarının kaybına yol açmaktadır.

1.3. ATIK SU KİRLETİCİLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Konutlardan, endüstriden ve zirai faaliyetlerden doğan her türlü atıklar, su kaynaklarının normal hayatını etkiler. Çamur ve maden atıkları, suyun bulanıklığını artırarak, ışık geçirgenliğini güçleştirir ve fotosentezi engeller. Tabana çöken katı maddeler, tabanda yaşayan organizmaları boğar ve balıkların üreme yollarını kapatırlar. Asidler, alkaliler ve zehirli maddeler su hayatına olumsuz etkilerde bulunurlar. Deşarj noktasında pH değerinin ani olarak değişmesi, bu değişikliklere karşı hassas olan bitki ve hayvanların ölümüne sebep olur. Örneğin amonyak, alkali sularda, asid sulardan daha zehirlidir. Civa gibi ağır metaller, tabiatta ayrışmadan kalan ve sulardaki besin zincirlerinde konsantrasyonları gittikçe artan stabil bileşikler oluşturduklarından, çok zararlı kirleticilerdir. Tuzların bir kısmı zehirli olmamakla beraber, içme, endüstride kullanma ve sulama maksatları için istenmez. Genel olarak kirleticiler konumlarına göre 3 ana grupta toplanır (Azad, 1976).

1. Yüzen kirleticiler: Bunlar petrol, yağ gibi sudan daha hafif malzemelerden oluşur. Yüzen kirleticilerin varlığında suyun görünüşü göze hoş gelmez. Bitki gelişimi gecikir. Petrol doğal havalanmayı engelleyerek sudaki hayatı tehlikeye sokar. Büyük miktarlarda olduğu zaman yangın tehlikesi oluşturabilir.

2. Asılı kirleticiler: Bu tip kirleticiler organik veya inorganik olabilirler. Asılı kirleticiler olduğu zaman suyun görünümü göze hoş gelmez ve sudaki yaşamı azaltırlar. Eğer bunlar organik ise çözünmüş oksijeni kullanarak parçalanırlar.
3. Çözünmüş kirleticiler: Bunlar asitler, alkaliler, ağır metaller, böcek öldürücü zehirler gibi değişik organik malzemelerdir. Suyu kullanılmaz hale getirirler ve canlı yaşamı yok ederler. Fenol gibi çok düşük miktardaki bazı çözünmüş kirleticiler tat ve kokuda görünür değişikliğe neden olurlar.

Kirleticiler, kirlenme içeriklerine göre de aşağıdaki şekilde sınıflandırılır.

Kimyasal kirleticiler: Sularda organik ve inorganik maddelerin bulunmasıyla meydana gelen kirliliktir. Asitler, alkaliler, arsenik, siyanür, florürler, demir, mangan ve diğer kimyasal bileşiklerin belli konsantrasyonları kirleticidir.

- a) Organik kirleticiler: Organik kirleticiler, su ortamındaki kirleticilerin büyük bir kısmını oluştururlar. Bazı endüstriyel atıklar ve kentsel atıkların çoğu bozunabilir, kararsız organik maddelerdir. Organik bileşiklerdeki azot, atık su arıtma tesislerinden suda erimiş inorganik azot halinde çıkar. Normal biyolojik arıtma ünitelerinde, azot ve fosforun ancak %30-50'si giderilebilmektedir.
- b) İnorganik kirleticiler: İnorganik kirleticiler su kaynaklarına çözünmüş, kolloidal ve askıdaki katı madde halinde karışırlar. Endüstriyel, kentsel, tarımsal ve doğal kaynaklardan gelen bu kirleticiler kalıcı niteliktedir ve organik kirleticiler gibi biyokimyasal olarak bozunmazlar. Askıdaki katı maddeler ve kolloid halinde bulunan inorganik maddelerin çoğu, atık temizleme sistemlerinde tutulabilirler. Bazı inorganik maddeler, örneğin klorürler, kalıcı, birikici ve temizlenmeye direnç gösteren maddelerdir. İnorganik fosfor ve azot tuzları, alglerin, su yosunlarının ve diğer su bitkilerinin aşırı üremesine sebep olurlar. Fosfatların çoğu, ziraat alanlarının yağış sularıyla yıkanmasından ve sentetik deterjanlardan sulara karışır. Evlerden gelen kullanılmış suların fosfor içeriğinin yaklaşık %60'ı deterjan kaynaklıdır. Endüstri sularında da çok fazla fosfor bulunabilir. İnorganik maddelerin çoğu da su kaynaklarında çökerek birikintilere neden olurlar.

Fiziksel kirleticiler: Bu kirlilik suyun rengi, bulanıklılığı, sıcaklığı v.b. özelliklerine etki eden bir kirlilik tipidir.

- a) Renk: Renk tek başına zararlı değildir. Renk çoğunlukla organik boyalardan ileri gelir. Fakat demir ve karbon bileşikleri gibi mineral kaynaklı renkli maddeler de vardır. Yalnız renk, kirlenmeyi gösteren bir faktör değildir. Atıklardan rengin giderilmesi veya azaltılmasında aktif karbon çok tesirlidir.
- b) Bulanıklılık: Birçok endüstri atık sularının ve evsel atık suların en önemli fiziksel özelliği esas olarak kolloidal maddelerin veya çok ince dağılmış, çökmesi güç olan süspansiyon maddelerinin varlığından ileri gelen bulanıklıktır. Kolloidal maddeler süspansiyon maddelerinden tane büyüklükleri ile ayrılırlar. Evsel ve endüstriyel atıkların derecesi bulanıklıkla ifade edilir. Bundan dolayı suların bulanıklık derecesi çoğunlukla kirlenme derecesi olarak ölçülür (Dumlu, 1979).
- c) Sıcaklık: Su sıcaklığının yükselmesi, ekseriya kirli suların istenmeyen özelliklerini daha belirgin hale getirir ve artırır. Enerji santrallerinin soğutma suları, ısınmış olarak tekrar yüzeysel sulara verilince, sıcaklığın yükselmesi, suyun çözünmüş oksijen konsantrasyonunun tükenme hızını artırır. Mavi-yeşil alglerin üremesini hızlandırıp sularda tad ve kokuya sebep olabilir (Muslu, 1985). Organik maddelerle kirlenen suyun sıcaklığı arttığı zaman oksijenin yüksek sıcaklıkta az çözünmesinden dolayı, yalnız çözünmüş oksijen kaybolmaz aynı zamanda yüksek sıcaklıkta daha hızlı biyokimyasal reaksiyon neticesi çözünmüş oksijenin kullanılma hızı arar. Oksijenin azalması, balıkların ve suda yaşayan diğer bitki ve hayvanların hayatını etkiler. Eğer çözünmüş oksijen miktarı sıfıra düşerse organik maddeler çürür ve kötü bir koku verir.
- d) Süspansiyon maddeleri: Birçok endüstri ve evsel atıklarda bulunan süspansiyon halindeki çözünmeyen maddeler genel bir kirlenme çeşididir. Süspansiyon maddeleri ışık geçirgenliğini düşürür. Süspansiyon maddelerin içinde bir çok organik madde vardır. Bilhassa sıcak havalarda çürümeden dolayı gaz çıkışı olur. Kötü kokulu katı maddeler yüzeye çıkarlar. Süspansiyon maddeleri suyun çamurlaşmasına sebep olur. Eğer kumlu karakterde ise pompalar üzerinde aşındırıcı bir tesir yapar.
- e) Köpük: Köpük sıvı bir ortamda gaz kabarcıklarının dağılmasından veya süspansiyonundan ibarettir. Evlerde kullanılan deterjanlar %15-30 arasında yüzey aktif madde ihtiva eder, diğer kısımlar katkı maddeleri ile doldurulmuştur. Bunlar sodyum trifosfat, diğer fosfatlar, sodyum sülfat, sodyum karbonat, sodyum perborat, sodyum silikat, sodyum karboksimetil, selüloz gibi deterjanın aktifliğini artıran maddelerdir.

Fizyolojik kirleticiler: Suyun tadını ve kokusunu etkileyen bir kirlilik tipidir. Tat ve koku veren maddeler, içme suyu için istenmez. Bunlar endüstri atıklarından meydana gelebileceği gibi, sulara karışan azotun sebep olduğu aşırı alg üremesinin bir mahsülü de olabilir.

- a) Tat: Birçok kimyasal maddeyi ihtiva eden endüstriyel atıklar suya nahoş ve karakteristik bir tat verirler. Sentetik lastik fabrika atıkları, tat veren hidrokarbonları ve aldehitleri bulundurur. Patlayıcı madde fabrika atık suları acı bir tat veren benzen toluen nitro bileşiklerini bulundurur. Petrol rafineri atıkları naftenik asidin varlığından dolayı kötü bir tat verir. Kömür atıklarındaki fenoller, azotlu organik bileşikler ve hidrokarbonlar yalnız balık ve balık yiyeceğine zehir tesiri göstermez, aynı zamanda balığın tadına ters etki yapar ve etin tadını bozar.
- b) Koku: Amonyak, fenoller, serbest klor, sülfür ve siyanürler kokuya sebep olur. Kirli sulardaki nahoş kokular azot, kükürt, fosfor gibi maddelerin inorganik ve organik bileşiklerinden ve endüstriyel atıklarla evsel atıklarda bulunan proteinlerin ve diğer organik maddelerin çürümesinden ileri gelir. Arzu edilmeyen çok kötü kokulara hidrojen sülfür, merkaptan gibi kükürt bileşikleri sebep olur.

Biyolojik kirleticiler: Biyolojik kirleticiler, mevcut oksijen kaynaklarından daha fazla oksijen isteği olan sistemlerde olur. Biyolojik kirleticilerin en önemlileri patojenik bakteriler, bazı mantarlar, virüsler, patojenik protozoalar ve insanda hastalık yapan diğer mikroorganizmalardır. Bazı endüstrilerin atık sularında da, kullanılan hammaddeye bağlı olarak mikroorganizmalar bulunabilir. Evsel ve endüstriyel atıklar, tatlı su otlarının aşırı büyümesiyle meydana gelen kahverengi renkli sulara, balıkların ölmesine, yaz aylarında kötü kokuya ve sivrisineklerin üremesine sebep olmaktadır.

Radyoaktif kirleticiler: İnsan sağlığı açısından büyük tehlike yarattıklarından, radyoaktif kirleticiler su kaynaklarında kesin olarak kontrol edilmelidirler. Çok küçük miktarları bile zararlıdır. Asla içme için kullanılmamalıdır. Günümüz teknolojisinde radyoaktif izleyicilerin kullanımındaki artış (enerji üretiminde nükleer santrallerin kullanılması ve yapılan nükleer denemeler) genelde yeryüzündeki, özellikle su kaynaklarındaki radyoaktif kirlenmeyi arttırmaktadır.

1.4. ATIK SULARIN KARAKTERİSTİKLERİ

1.4.1. Evsel atık suların karakteristikleri

Evlerden gelen atık sular, özellikle banyodan gelen sular (sabun ve deterjan atıkları), mutfaktan gelen sular (yiyecek maddeleri, deterjanlar) ve tuvaletten gelen sulardan (idrar, dışkı) ibarettir. Evsel atık sular üniform karakterdedir. Evsel atık suların içerisinde organik ve inorganik maddeler asılı, kolloidal ve çözünmüş katılar olarak bulunur. Bunların oranları su kaynağındaki orijinal miktarlarına ve suyun kullanımına bağlıdır. Evsel atık sularda aynı zamanda bakteriler, virüsler, protozoalar bulunur. Evsel atık suların karakteristikleri yalnızca şehirden şehire değil mevsimden mevsime hatta saatten saate değişir. Atıklar en çok organik madde içerir. Bunlar karbon, azot ve fosfor kökenlidir. Yüksek miktarda mikroorganizma da vardır. Evsel atık içindeki su miktarı %99'dan fazla olabilir. Toplam kuru madde %1 veya daha azdır. Çöktürülmüş evsel atık suda 250-400 ppm organik karbon 80-120 ppm toplam azot vardır (Dumlu, 1979).

1.4.2. Endüstri atık sularının karakteristikleri

Endüstriyel atık sularda, endüstriden endüstriye değişebildiği gibi aynı endüstride kullanılan hammaddelere, yapılan prosese ve bazı diğer faktörlere bağlı olarak değişir. Dolayısıyla genelleştirmek çok zordur. Atık sularda bulunan başlıca maddeler ve çevreye etkileri Tablo 1.3'de verilmiştir (Tünay, 1980).

Tablo 1.3. Atık sularda bulunan başlıca maddeler ve çevreye etkileri

BİLEŞEN	ETKİ	KRİTİK KONSANTRASYON (mg/l)
Amonyak	Klor ihtiyacını artırır oksijen harcar, fosforla birlikte ötrofikasyona yol açar	Etkiye göre değişken
Ca ve Mg	Sertlik ve toplam çözünmüş maddeyi artırır	---
Cl	Tuzluluk, tarımsal ve endüstriyel kullanıma zararlı etki	250
Hg	İnsan ve su hayatı için zehirli etki	0.00005
NO ₃	Alg ve su hayatını geliştirebilir. Bebeklerde kan hastalığına yol açar.	0.3 10
PO ₄	Alg ve su hayatını geliştirir. Pıhtılaştırma ve kireç-soda yumuşatmasına zararlı	0.015 0.2
SO ₄	Müşhil etkisi	600-10000
Organik maddeler		
DDT	Balık ve diğer su hayatına zehir etkisi	0.001
Fenoller	Tad, koku, kanser yapıcı	0.0005-0.001
Deterjanlar	Köpürme ve pıhtılaştırmaya zararlı etki	5.0-3.0

1.5. ATIK SULARIN SINIFLANDIRILMASINDA KULLANILAN PARAMETRELER

- a) Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ): Suyun içinde bulunan organik maddelerin ayrışmaları için bakterilerce kullanılan oksijen miktarıdır. İçerisinde bakteri bulunan kanalizasyon veya endüstri atık sularına oksijen verildiği takdirde, bakteriler aracılığı ile, dengesiz maddeler aerobik parçalanmaya uğrar. Bu ayrışma sırasında bir miktar oksijen sarfolur ve dengesiz maddeler çürüyüp dengeli hale dönüşür. İşte organik maddelerin dengesiz halden dengeli hale gelmeleri için kullanılan oksijen miktarına biyokimyasal oksijen ihtiyacı denir. Atık su içinde ne kadar çok organik madde mevcutsa, bunları parçalayıp çürütebilmek için o kadar fazla oksijen gerekir. Bu sebeple, BOİ miktarı, atık su kirlilik derecesinin iyi bir ölçüsüdür. Oksijenin kullanış hızı, sıcaklığa bağlıdır. Maddeler çürürken başlangıçta çürüme hızı fazla, sona doğru yavaştır. Aynı şekilde BOİ testlerinde de oksijen isteğinin büyük kısmının ilk 6-7 günde alındığı görülür. Ondan sonraki 13-14 gün zarfında oksijen sarfiyatı oldukça yavaştır (Aksoğan, 1976). BOİ testi için numune genellikle 20°C sıcaklıkta 5 gün bekletilir. Bu 5 gün zarfında kullanılan oksijen miktarına 5 günlük BOİ denir ve BOİ₅ şeklinde gösterilir. Evsel atıkların BOİ değeri 150-250 mg/l civarındadır.
- b) Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ): Atık sularda bulunan kirleticilerin, bilhassa organik maddelerin kimyasal dengeleri için gereken oksijen miktarıdır. Bakteriler tarafından dengede olmayan bazı maddeler kimyasal yöntemlerle dengelenebildiği için KOİ daima BOİ'nden yüksektir.
- c) Azot ve fosfor türleri atık sularda belli limitlerin üstünde oldukları takdirde ötrofikasyon gibi sorunlar yaratırlar.
- d) Katı madde miktarı
- e) Ağır metaller
- f) pH: Suyun asit veya bazik özellikte olduğu, pH ile belirlenir. Suyun pH değeri gün içinde değişiklik gösterir. pH değeri gece en düşük, öğleye doğru en yüksek düzeydedir. Yüksek ve düşük pH değerlerinin, balıklar ve balık yumurtaları üzerinde olumsuz etkileri vardır. Bu nedenle iyi bir suyun pH'sının 6.5-8.5 arasında olması istenir.

Tablo 1.4'da arıtma tesisleri için önem taşıyan kalite parametreleri, Tablo 1.5'de atık sularda temel kalite parametreleri ve kaynakları, Tablo 1.6'da ise atık suların temel parametrelerini gideren arıtma işlem ve süreçleri verilmiştir (Orhon, 1980).

Tablo 1.4. Arıtma tesisleri için önem taşıyan kalite parametreleri

PARAMETRE	ETKİ ŞEKLİ
Askı Maddeleri	Arıtılmamış atık suların alıcı ortama verilmesi halinde tabanda çamur birikimi ve anaerobik ayrışma
Ayrışabilen Organik Maddeler	Başlıca protein, karbonhidrat ve yağlardan oluşan ve BOİ ya da KOİ parametreleri ile ölçülen maddeler, organik kirlenmenin temel unsuru, arıtılmamış atık sularda, boşaldıkları alıcı ortamın oksijen dengesinin bozulması ve septik koşulların oluşması
Patojenler	Atık sulardaki mikroorganizmalar yolu ile bulaşıcı hastalıkların yayılması
Besin Maddeleri	Genel anlamda azot ve fosfor türleri, çevre sularında istenmeyen aşırı çoğalma ve yaşam dengesinin bir iki tür lehine bozulması
Kalıcı Organik Maddeler	Deterjanlar fenoller, pestisitler v.b. alışlagelmiş arıtım yöntemleri ile giderilme zorlukları ve çevre sularında kalıcı zehirli etki
Ağır Metaller	Çevrede zehirli etki, atık suların yeniden kullanılması için giderilmeleri zorunlu
Çözünmüş Maddeler	Kalsiyum sodyum ve sülfat gibi iyonlar, kullanım ile katkı, atık suyun yeniden kullanılması için giderilmesi zorunlu

Tablo 1.5. Atık sularda temel kalite parametreleri ve kaynakları

PARAMETRE	KAYNAK
<u>Fiziksel Parametreler</u>	
Renk	Evsel ve endüstriyel atıklar, organik maddenin doğal ayrışması
Koku	Endüstriyel atıklar, ayrışan atıklar
Katı maddeler	Evsel kullanma suyu, evsel ve endüstriyel atıklar, erozyon, sızma ve süzülme
Sıcaklık	Evsel ve endüstriyel atıklar
<u>Kimyasal Parametreler</u>	
<u>Organik Bileşenler</u>	
Karbonhidratlar	Evsel, ticari ve endüstriyel atıklar
Yağ ve gres	Evsel, ticari ve endüstriyel atıklar
Pestisitler	Tarımsal atıklar
Fenoller	Endüstriyel atıklar
Proteinler	Evsel ve ticari atıklar
Deterjanlar	Evsel ve endüstriyel atıklar
Diğerleri	Organik maddelerin doğal ayrışması
<u>İnorganik Bileşenler</u>	
Alkalinite	Evsel atıklar, evsel kullanma suyu, yeraltı suları
Klorürler	Evsel atık sular, evsel kullanma suyu, yeraltı suları, yumuşatma cihazları
Ağır metaller	Endüstriyel atıklar
Azot	Evsel ve tarımsal atıklar
pH	Endüstriyel atıklar
Fosfor	Evsel ve endüstriyel atıklar, yüzeysel akış
Sülfür	Evsel kullanma suyu, evsel ve endüstriyel atıklar
Zehirli Maddeler	Endüstriyel atıklar
<u>Gazlar</u>	
H ₂ S	Evsel atıkların ayrışması
CH ₄	Evsel atıkların ayrışması
O ₂	Evsel kullanma suyu, yüzeysel süzülme
<u>Biyolojik Parametreler</u>	
Protista (Bakteri v.b. tek hücreliler)	Evsel atıklar, arıtma tesisleri
Virüsler (Hayvan ve Bitkiler)	Evsel atıklar

Tablo 1.6. Atık suların temel parametrelerini gideren arıtma işlem ve süreçleri

PARAMETRE	ARITMA İŞLEM VE SÜREÇLERİ
Askı maddesi	Izgara ve elekler Çökeltme Süzme Yüzdürme Kimyasal madde-Polimer katkısı Pıhtılaşma/Çökeltme Arazide arıtma sistemleri
Ayrışabilir organikler	Aktif çamur türleri Biyofiltreler Döner biyolojik reaktörler Lagun türleri Aralıklı kum filtreleri Arazide arıtma sistemleri Fiziksel-kimyasal sistemler
Patojenler	Klorlama Ozonlama Arazide arıtma sistemleri
Azot	Askıda biyolojik sistemlerde Nitrifikasyon-denitrifikasyon düzeni Tabakalı biyolojik sistemlerde nitrifikasyon-denitrifikasyon düzeni Amonyak ayrılması İyon değişimi Klorlama Arazide arıtma sistemleri
Fosfor	Metal-tuz katkısı Kireç pıhtılaşması/çökeltme Biyolojik-kimyasal giderme Arazide arıtma sistemleri
Kalıcı organikler	Karbon adsorpsiyonu Ozonlama Arazide arıtma sistemleri
Ağır metaller	Kimyasal çökeltme İyon değişimi Arazide arıtma sistemleri
Çözünmüş inorganik katkılar	İyon değişimi Ters osmoz Elektrodiyaliz

1.6. ATIK SULARIN MİKROBİYOLOJİSİ

Atık sularda ve bu suların temizlenmesine ait çeşitli safhalarda yaşayan organizmalar; bitkiler ve hayvanlara ilaveten canlılar aleminin bir kısmı oluşturur.

Bakteriler: Bakteriler atık sularda bulunan organizmaların en önemli grubudur. Bunlar, hücrelerinde belirli bir çekirdeği olmayan; yüksek bitkilere yeşil rengi veren klorofilden mahrum bulunan ve bölünmek suretiyle çoğalan tek hücreli organizmalardır. Çok hızlı olarak çoğalabilen bu bakterilerin boyutlarının son derece küçük, yüzey alanlarının ise oldukça büyük olması, kendilerine yaşadıkları ortamı süratle değiştirebilme imkanını verir. Bakterilerin şekilleri küresel, düz çubuk veya spiral olabilir. Tek başlarına veya gruplar halinde yaşayabilirler.

Bakterilerin, yüksek ve düşük sıcaklıklara karşı gösterdikleri mukavemetler arasında büyük farklılıklar vardır. Vejetatif formlarına göre sporlar ısıya daha fazla dayanıklıdır. Çoğu bakterilerin vejetatif şekilleri, rutubete maruz kaldıkları zaman 55-58°C arasında 10 dakika tutulursa ölürler. Kuru sıcaklık, buhara nazaran daha az etkilidir. Kuru bir atmosferde sterilizasyonu sağlamak için 140-180°C'lik sıcaklıkta tutulmalıdır. Bakteriler yüksek sıcaklıklara göre, düşük sıcaklıklara çok daha az hassastır. Düşük sıcaklıklarda hareketsiz kalırlar. Bazı bakterilerin -190 ile -250°C'ye kadar maruz bırakıldıkları halde ölmedikleri görülmüştür. Diğer taraftan, suda bulunan bakteriler donduklarında, buz oluşurken ölüm hızları artmaktadır. Çünkü bu halde besin maddeleri hücrelerin içerisine nüfuz edememektedir (Muslu, 1976).

Ototrofik bakteriler: Bu tür bakteriler; kendileri için gerekli olan enerjiyi, basit inorganik bileşiklerin oksitlenmesinden ve hücrelerini oluşturmak için gerekli karbonu da ya karbondioksitten veya karbonatlardan sağlayan bakterilerdir. Bu tür bakteriler; nitrifikasyon bakterileri (amonyak ve nitritler gibi inorganik azot bileşiklerinden enerji alan bakteriler), kükürt bakterileri (hidrojen sülfür, kükürt ve tiyo sülfat gibi basit inorganik kükürt bileşiklerinin oksitlenmesinden enerjilerini sağlayan bakteriler), demir bakterileri (iki değerli demir bileşikleri gibi, demirin indirgenmiş inorganik şekillerinin oksitlenmesinden enerji alan bakteriler) ve metan, karbon monoksit ve hidrojeninden enerji sağlayan bakteriler olmak üzere kendi aralarında sınıflandırılırlar.

Heterotrofik bakteriler: Bu grupta çok sayıda ve çeşitli bakteriler bulunurlar. Ancak, bu organizmaların ortak özelliği, enerji sağlamak için organik maddelere ihtiyacı olmasıdır.

Coli-Aerogenes grubu bakteriler: İnsanların ve hayvanların bağırsaklarında çok sayıda bakteri bulunur. Bunlar arasında en belli başlı tip Coli-Aerogenes grubudur. Bu grubun iki temsilcisi *Escherichia coli* ve *Aerobakter aerogenes* tir. Bu organizmalar dışkıda çok sayıda bulunurlar. Evsel atık sularda bu gruptan mililitrede 100.000 ile 1.000.000 arasında organizma bulunur. Coli-Aerogenes grubu bakterilerin akarsulara ve içme suyuna karışmasının mutlak surette zararlı olmasından dolayı arzu edilen bir şey değildir.

Protozoa: Bunlar tek hücreli organizmalardır. Bazıları çıplak gözle görülebildiği halde, bazıları son derece küçüktür. Protozoalar, kirli sularda ve kirli suların arıtılması işlemlerinde bakterilerden sonra, en bol ve önemli organizmayı teşkil ederler. Bazı protozoalar, kirli suları stabil hale getirmede bakterilere yardımcı olurlar, bazıları da bir kısım organik maddeyi parçalayarak kirli suları arıtabilirler. Bakterilerle beslenen protozoalar sayesinde kirli suların içine dağılmış bakterilerin bir kısmının ortadan kaldırılması ile, suyun temizlenmesine yardım edebilir. Bunun dışında, protozoaların bakterilerle beslenmesi, bakteri sayısının yükselmesini önler. Bazı tek hücreliler anaerobik, bazıları ise aerobik şartlarda yaşarlar. Her iki çevre şartına uyabilen tipleri de vardır. Bazı tip protozoalar çamur çürütme tanklarında, bazılarıda aktifleştirme havuzları ile damlatma filtrelerinde bol olarak bulunur.

Mantarlar: Mantarlar klorofilsiz funguslardır. Bunlar, kirli suyun içinde tek hücrelilerden daha az sayıda bulunurlar. Fazla sayıda tipleri yoktur. Oluşturdukları iplikli yapılar, mecraların ve çöktürme havuzlarının duvarlarına yapışmış, gri renkte pamuğa benzer topluluklar halinde çıplak gözle görülebilir.

Algler: Algler, fotosentetik pigmentler ihtiva eden funguslardır. Çeşitli algler; yeşil, sarı, turuncu, mavi, kırmızı veya kahverengi gibi değişik renkte pigmentler ihtiva ederler. Algler damlatmalı filtrelerin yüzeylerinde gelişir ve özellikle yaz aylarında yeşil bir tabaka oluştururlar.

2.0. ATIKSULARININ ARITILMASI

2.1. ATIK SU ARITMA YÖNTEMLERİ

2.1.1. Arıtma derecesine göre atık su arıtma yöntemleri

- a) Birinci dereceli arıtma
- b) İkinci dereceli arıtma
- c) Üçüncü dereceli arıtma olmak üzere üçe ayrılır.

Birinci dereceli arıtma: Atık suyun içinde bulunan askıdaki çökebilir veya yüzebilen maddelerin uzaklaştırılmasını sağlar. Burada elde edilen verim genellikle % 50-70 oranını aşmaz. Çökebilir maddelerin bir bölümünün organik yapıya sahip olması nedeni aynı zamanda % 30-50 düzeyinde BOİ giderimi gerçekleşmesine yol açar.

İkinci dereceli arıtma (Biyolojik arıtma): İkinci dereceli arıtmanın amacı, suyun içinde bulunan çözünmüş BOİ ile, birinci dereceli arıtmada uzaklaşamayan katı maddelerin uzaklaştırılmasıdır. Bu proses sırasında bir takım mikroorganizmaların faaliyetleri neticesinde atık suyun içindeki organik kirleticiler karbondioksit, su ve yeni mikroorganizmalara dönüştürülerek etkisiz ve zararsız hale getirilir.

Üçüncü dereceli arıtma (İleri arıtma): İkinci dereceli arıtma, atıkların BOİ'nı, katı madde ve patojenik mikroorganizmaları önemli miktarda azaltılmasına rağmen, ağır metal, azot ve fosfor konsantrasyonlarını az etkilemektedir. Üçüncü dereceli arıtma, atık suyun içinde bulunan bu tür kirleticileri uzaklaştırmayı amaçlar.

2.1.2. Genel atık su arıtma yöntemleri

Endüstri atık sularının arıtılmasında genel olarak üç yöntem uygulanır.

1. Fiziksel atık su arıtma yöntemleri
2. Biyolojik atık su arıtma yöntemleri
3. Kimyasal atık su arıtma yöntemleri

2.1.2.1. Fiziksel atık su arıtma yöntemleri

Fiziksel olaylardan yararlanmak ya da onları uygulamak yoluyla sıvı atıkların içinde bulunan yabancı maddelerin giderilmesi işlemlerinin tümü fiziksel arıtma adı altında tanımlanır. Endüstriler, alt ürün olarak başlıca üç tip atık madde çıkarırlar (Aksoğan, 1976).

- a) Kıl ve yün gibi şeyler, tahta, moloz gibi iri parçalar. Bu atıklar arıtma cihazlarında arızalara sebep olurlar. Bunun için bu tür atıkların arıtma sistemine gitmeden önce tutulması gerekir.
- b) Katı hareketsiz maddeler, kum parçaları, inorganik yabancı maddeler: Bu maddeler boruları tıkar, parçaları aşındırır ve çeşitli yerlerde birikerek sisteme zarar verir.
- c) Organik maddeler ve zararlı kimyasal maddeler: Arıtma sistemlerinin kurulmasının esas sebebi bu cins maddelerdir. Arıtma tesisleri bu maddelerin meydana getirdiği koku ve kir gibi problemlerle, kimyasal aktivitelerini zararsız hale getirmek için kurulurlar. Arıtma teknolojisinde en çok kullanılan fiziksel işlemler; ızgaralar, öğütme, kum tutma, çökeltme, yüzdürme ve süzme sayılabilir. Süzme haricindekiler genellikle ön arıtmanın temel ünitelerini oluştururlar. Süzme ise çoğu kez bir ileri arıtma işlemi olarak kullanılır.

- a) **Izgaralar:** Izgaralar ön arıtma düzeninin ana ünitesini oluşturur. Moloz, paçavra, yaprak, tahta, elyaf, v.b. gibi büyük boyutlu katı parçalar ızgaralar yardımı ile tutulur. Böylece ızgaraları takip eden birimlerde atık suyun arıtma işlemi kolaylaşmış olduğu gibi pompa ve küçük boruların tıkanması önlenir ve sonraki arıtma ünitelerinin verimliliğinin korunması sağlanır. Izgaralar; döner, titreşimli ve sabit çubuk tipinde olabilir. Izgara üzerinde biriken maddeler elle, tırmıkla veya mekanik olarak temizlenir. Izgaralarda tutulamayan bir kısım ince ve küçük maddeleri tel süzgeçlerle tutmak mümkündür. Izgaralarda tutulan malzemeler; katı atıklara karıştırılarak, arazide gömülerek, yakılarak, parçalanıp tekrar atık su akımına verilerek uzaklaştırılabilir.
- b) **Öğütme:** Arıtma tesislerinde genellikle ızgarayı takip eden birim, bir öğütücüdür. Izgaralardan geçen katı parçacıkların öğütülerek uzaklaştırılması sağlanır. Öğütücülerde tutulan malzemeler, parçaladıktan sonra tekrar arıtma sistemindeki sıvı atık akımına karışırlar.
- c) **Kum tutma:** Kum tutucular ise, atık suyun içinde bulunan kum v.s. gibi inorganik maddelerin çöktürülmesini sağlar. Giderilen katı maddenin çok büyük bir bölümü kumdur. Kum tutma işleminin amaçları:
 - Tulumba ve benzeri mekanik aksamın kum darbeleri ile aşınma ve hasarının önlenmesi
 - Kumun organik taneciklerden ayrılarak, ayrı uzaklaştırılmasının temini

- Boru ve kanallarda kum birikimlerinin oluşmamasının sağlanması
- Çökeltme tanklarındaki muhtemel kum depolanması nedeni ile bu ünitelerin sık sık temizlenmesinin önlenmesi olarak sıralanabilir. Kum tutma havuzları arıtma düzenlerinde genellikle çökeltme ünitelerinden önce yerleştirilir.

d) Çökeltme: Çökeltme, sıvı atıklarda bulunan sudan ağır yabancı maddelerin yerçekimi kuvvetlerinden yararlanmak suretiyle tutulması ve giderilmesi işlemidir. Çökeltme tankları genellikle dairesel kesitli ve konik tabanlıdır. Atık su, tank merkezinden verilip, tank çevresinden toplanmaktadır. Böylece sıvının yatay hızı, merkezden uzaklaştıkça azalmakta ve bunun neticesinde organik parçacıklar daha kolay çökmektedir. Çamur olarak tanımlanan çökelen parçacıklar, kendi ağırlıkları ile veya mekanik aksamların yardımıyla çökeltme tankının dibinde toplanır ve oradan uzaklaştırılır. Çökeltme tankları, atık su arıtma düzeni içinde en yaygın bir biçimde kullanılan ünitelerdir. İlk arıtmada, hiç bir katkının olmadığı basit çökeltme, ya da pıhtılaşma ile birlikte kimyasal çökeltme fonksiyonunu yerine getirir. İkinci arıtmada biyolojik yumakların sıvı akımdan ayrılmasını sağlar. İleri arıtmada ise kimyasal fosfor giderici düzenin bir bölümü olarak kullanılır. Ön arıtmada kullanılan ilk çökeltme tanklarından;

- Ön arıtmadan başka biyolojik arıtma kullanılmaması halinde, çevre sularında ayrışabilir çamur birikimlerinin önlenmesi
- Biyolojik arıtmadan önce yer aldığı hallerde bu arıtma sistemlerinin organik yükünün azalması
- Yağ ve gres ile diğer yüzücü maddelerin kısmen giderilmesi fonksiyonları beklenir.

Çökeltmenin mümkün olduğunca efektif olarak sağlanabilmesi çökeltme bölgesinde türbülans, kısa devre, yoğunluk akımları v.b. olayların önlenmesine bağlıdır. Tanktaki akış hızı tanelerin çökmesine imkan verecek kadar, ağırdır.

e) Yüzdürme: Yüzdürme sudan genellikle daha hafif katı ya da sıvı taneciklerin su fazından ayrılması amacıyla kullanılan bir işlemdir. Ayrılma, su fazına gaz kabarcıkları verilmesi ile sağlanır. Tanecik gaz kabarcığına yapışır ve oluşan tanecik-gaz kabarcığı birleşimi, kaldırma kuvveti etkisi ile yüzeye toplanır. Bu yolla sudan daha ağır taneciklerinde giderilmesi mümkün olur. Yüzeyde biriken maddeler bir köpük sıyrıcı sistem ile toplanarak uzaklaştırılır. Yüzdürmede genellikle bazı kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Bu işlemin ana amacı, hava kabarcıklarını kolaylıkla yakalayabilen bir yüzey ya da çap oluşturmaktır. Genellikle alüminyum ve demir tuzları ya da aktif silis, tanelerin pıhtılaşması yolu ile gaz kabarcıklarının yakalanmasını kolaylaştıran kimyasal maddeler olarak bilinmektedir.

2.1.2.2. Biyolojik atık su arıtma yöntemleri

Organik maddeler, gerek enerji gereksinmesi gerekse hücre yapımı amaçları ile çoğunluğunu bakterilerin oluşturduğu mikroorganizmalar tarafından parçalanır ve kullanılır. Atık suların içinde bulunan ayrışabilir organiklerin giderilmesi için doğadaki bu modelden esinlenip tasarlanan arıtma düzenlerine biyolojik arıtma adı verilir.

Arıtma sistemleri içinde mikroorganizmaların çoğalma süreçleri için gerekli enerji kaynağı olarak oksijen sağlanması halinde gerçekleştirilen ayrışmaya aerobik ayrışma ve bu tür arıtmaya aerobik arıtma denir. Ortamda oksijen bulunmuyorsa, mikroorganizmaların faaliyeti için gerekli enerji, kimyasal bileşenlerin indirgenmesi ile temin edilir. Bu tür bir organik madde çevrimine anaerobik ayrışma ve bu esasa göre tasarlanan arıtmaya da anaerobik arıtma adı verilir. Sistem genellikle; biyolojik arıtma birimi ve son çöktürme tankından oluşur (Orhon, 1980).

Biyolojik arıtma birimi: Biyolojik arıtma biriminde kullanılan en yaygın iki yöntem; damlatmalı filtre ve aktif çamur yöntemidir.

- **Damlatmalı filtre:** Bu birim, içinde 6-10 cm büyüklüğünde kırma taş veya bazen plastik, sert kömür v.s. gibi dolgu maddeleri bulunan yuvarlak bir tanktan oluşur. Bu tankın üzerinde ön arıtmaya tabi tutulmuş atık su aralıklı olarak verilir. Bu şekilde filtreye verilen atık su, filtre dolgu malzemesinin üstünden süzülerek akmakta, bu arada, filtre yatağının boşluklarının tamamı sıvı ile dolmadığından aerobik şartlar devam etmektedir. Bu işlem sonucunda, suyun içinde bulunan ve organik maddeleri parçalayan bakteriler, taşların üstünde ince bir film tabakası meydana getirmektedir. Bu şekilde oluşan bakteriyel tabaka, daha sonra, yakınından geçmekte olan organik kirleticileri adsorblayıp metabolizmaları ve üremeleri için kullanıp karbondioksit ve suya dönüşmektedir. Ancak, zamanla, bakteriyel film kalınlaşmakta, oksijen ve organik maddeler filmin alt kesimlerine ulaşmamaktadır. Böylece filmin alt tabakalarında oluşan gazların yardımıyla da bakteriyel film taştan ayrılıp, tanktan çıkış suyu ile birlikte dışarı akmaktadır. Bu şekilde temizlenmiş taşın üstünde kısa bir zaman içinde yeniden bir film oluşarak temizleme prosesinin devamlılığı sağlanmaktadır. Damlatmalı filtreden çıkan atık su son çöktürme tankına verilir, çöktürme tankında çamurun bir kısmı bazen damlatmalı filtreye, dolgu malzemesinin üstünde oluşacak biyolojik tabakanın oluşmasında bir nevi maya vazifesi görmek üzere, geri

gönderilir. Damlatmalı filtreler, akış hızlarına göre yavaş (her m^2 filtre alanına günde 2000-4000 m^3 atık uygulanmakta) ve hızlı (her m^2 filtre alanına günde 10000-30000 m^3 atık uygulanmakta) olmak üzere ikiye ayrılır.

- **Aktif çamur yöntemi:** Aktif çamur süreci atık suların arıtılmasında kullanılan en yaygın arıtma yöntemlerinden biridir. Bu yöntem, atık suların bünyesindeki organik maddelerin aerobik bir ortamda biyokimyasal yollarla ayrışması esasına dayanır. Biyokimyasal ayrışma, sürece adını veren aktif çamuru oluşturan mikroorganizmalar topluluğu tarafından gerçekleştirilir. Ayrışma sürecinde organik atıkların bir kısmı mikroorganizmaların enerji gereksinmesini karşılamak amacı ile oksitlenirken diğer bir bölümü de, ortamdaki inorganik unsurlarla birlikte yeni hücrelerin oluşumunda kullanılır.

Bu proste, aktif çamur tankına giren atık su havalandırılmakta ve bu şartlar altında organik kirleticiler aerobik bakteriler tarafından parçalanmaktadır. Atık su havalandırma tankında aktif çamurla karışarak 2-24 saat arasında değişmek üzere seçilen bir süre kalır (Orhon, 1980). Bu prosesin sonunda oluşan yeni bakteriler, aktif çamur tankını takip eden çöktürme tankında çöktürülmekte ve bunun bir kısmı tekrar aktif çamur tankına geri gönderilmektedir.

Son çöktürme tankı: Son çöktürme tankının amacı, biyolojik arıtma sırasında oluşan mikroorganizmaları arıtmaya tabi tutulmuş atık sudan ayırmaktır. Son çöktürme tankının ana prensipleri ilk çöktürme tankından farklı değildir. Ancak son çöktürme tankına verilen katı madde yükü daha fazla olduğundan bu tankta hidrolik bekletme süresi daha uzundur. İkinci dereceli arıtma neticesinde, atık suyun içinde bulunan BOİ %85 civarında, askıdaki katı maddeler ise %80 civarında bir azalma gösterir (Curi, 1980).

2.1.2.3. Kimyasal atık su arıtma yöntemleri

Atık suların arıtımında, değişimler kimyasal reaksiyonlar yoluyla gerçekleştiriliyorsa, bu değişimleri içeren proseslere kimyasal arıtma adı verilir. Kimyasal arıtma genellikle, fiziksel ve biyolojik arıtma ile birlikte kullanılır. Kimyasal arıtmada en önemli nokta, proste ilave kimyasal maddeler kullanılmasıdır. Bu bir anlamda fiziksel arıtma işlemlerine göre bir dezavantaj teşkil eder. Çoğu halde atık sudaki bir bileşenin giderilmesi için kimyasal madde ilavesi yapılır. Sonuçta çözünmüş

madde içeriği artar. Bu arıtılmış su tekrar kullanılacaksa sakıncalı olur. Kimyasal arıtma işlemlerinin bakım ve işletilmeleri pahalıdır ve dikkat ister. Başlıca kimyasal arıtma prosesleri ile kullanım alanları Tablo 2.1’de verilmiştir (Tünay, 1980).

Tablo 2.1. Atık su arıtımında kimyasal arıtma prosesleri

PROSES	UYGULAMA
Kimyasal çöktürme	Fosfor giderilmesi ve ilk çökeltmede yardımcı olarak
Gaz transferi	Gaz katkısı veya giderilmesi için
Adsorpsiyon	Organik madde giderilmesi (biyolojik arıtma ile giderilemeyen organikler) ve klor giderilmesi
Dezenfeksiyon	Hastalık yapan organizmaların giderilmesi
Klor dezenfeksiyonu	Hastalık yapan organizmaların giderilmesi
Klor giderilmesi	Bağlı klor giderilmesinde

Kimyasal çöktürme: Kimyasal çöktürme işleminde atık suda bulunan çözünmüş ve askıda maddelerin fiziksel durumları kimyasal madde katkısıyla değiştirilir ve bu işlemi izleyen çökeltme ile uzaklaştırılmaları kolaylaştırılmış olur. Kimyasal çöktürmede kullanılan başlıca maddeler; Alum ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$), Demirsülfat ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), Kireç ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), Demirklorür (FeCl_3), Demirsülfat ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$) tır.

Gaz transferi: Gaz transferi gazın bir fazdan diğerine, genellikle gaz fazdan sıvı faza, transferi işlemidir. Gaz transferi atık su arıtım proseslerinde çok önemli bir yer tutar. Bunlar arasında aerobik proseslerde havalandırma, klorlama, klorlamayı izleyen son havalandırma, amonyak uçurulması, kimyasal oksidasyon, koku giderilmesi gibi işlemler sayılabilir. Gaz transferi çeşitli düzenlerden yararlanılarak sağlanır. Bu amaçla difüzörler, sprey dağıtma, fırçalı havalandırıcılar, jet havalandırma ve türbinler kullanılmaktadır.

Adsorbsiyon: Adsorbsiyon genel anlamda çözelti içindeki çözünmüş maddelerin uygun bir yüzeyde toplanmasıdır. Adsorblayıcı olarak en çok kullanılan malzeme aktif karbondur. Aktif karbon, biyolojik arıtma gibi, sudaki organik maddelerin giderilmesinde kullanılır. Özellikle, biyolojik arıtmaya uygun olmayan endüstriyel atıkların arıtılmasında kullanım alanı geniştir. Aktif karbon odun veya kömürden, havasız ısıtma ile elde edilir. Daha sonra yüksek sıcaklıkta kuvvetli bir oksitleyici ile aktive edilir. Bu işlemde karbon poröz bir yapı ve çok geniş bir yüzey alanına sahip olur. Daha sonra çeşitli adsorblama kapasitesinde boyutlarına göre ayrılır. Daha çok toz ve granül (0.1 mm'den büyük çaplı) olarak kullanılır. Adsorbsiyon olayı çözeltideki moleküllerin katı yüzeye fiziksel ve kimyasal yollarla bağlanması olayıdır. Eğer bağlar çok kuvvetli ise olay tersinir olmayan (kimyasal), zayıf ise tersinir (fiziksel) adsorbsiyon söz konusudur. Adsorbe edilen miktar çözeltideki karbon konsantrasyonu ve sıcaklığına bağlıdır.

Dezenfeksiyon: Dezenfeksiyon hastalık yapıcı mikroorganizmaların giderilmesi işlemidir. Atık su arıtımında önemli olan hastalık yapıcı üç mikroorganizma bakteriler, virüsler ve amiblerdir. Dezenfeksiyon aşağıdaki yollarla gerçekleştirilir.

- Kimyasal yollar: Dezenfektan olarak çeşitli kimyasal maddeler kullanılır. Bunlar; klor ve klor bileşikleri, brom, iyot, ozon, fenol, alkoller, ağır metaller, boyalar, sabun ve deterjanlar, hidrojenperoksit, çeşitli asit ve bazlardır.
- Fiziksel yollar: Fiziksel dezenfektanlar ısı ve ışıktır. Bunlar arasında kaynatma ve ultraviyole ışınları önemlidir.
- Mekanik yollar: Süzme, çöktürme v.b. gibi mekanik işlemler mikroorganizmaları çeşitli oranlarda giderirler. Örneğin, kum tutucularla % 10-20, çöktürme ile % 25-75, kimyasal çöktürme ile % 40-80 arıtma elde edilir.
- Radyasyon: Elektromanyetik, akustik ve partikül radyasyonları su ve atık su dezenfeksiyonunda kullanılmaktadır.

Dezenfeksiyonun etkisi; hücre duvarının tahribi, hücre geçirgenliğinin değiştirilmesi, protoplazmanın kolloidal niteliğinin değiştirilmesi ve enzim aktivitesinin inhibisyonu şeklinde olur. Dezenfeksiyon olayına etki eden faktörler; temas süresi, kimyasal madde cins ve konsantrasyonunun etkisi, fiziksel işlemin cins ve şiddeti, sıcaklığın etkisi, organizma sayısı, organizma cinsi, atık suyun cinsidir.

Klorla dezenfeksiyon: Gerek etkisi, gerek kullanım kolaylığı açısından en yaygın kullanılan dezenfektan klor ve klor bileşikleridir. Bu amaçla kullanılanlar arasında klorgaz, kalsiyum hiperklorit, sodyum hipoklorür ve klordioksit bulunmaktadır.

Klor giderilmesi: Klor giderilmesi işlemi pratikte klorlamadan sonra bağlı klor cinslerinin uzaklaştırılmasında kullanılır. Klor giderilmesinde kükürtdioksit ve aktif karbon kullanılmaktadır.

2.2. ÇAMUR TASFİYE VE UZAKLAŞTIRMA İŞLEMLERİ

Su ve atık sularda mevcut çözünmüş ve askıdaki maddelerin uzaklaştırılmasında kullanılan arıtma proseslerin bir çoğunda nihai ürün olarak geriye çamur niteliğinde bir sıvı-katı karışımı kalır. Bu karışıma çamur denir. Başlıca çamur kaynakları arasında atık suda çökebilir katı maddeler, biyolojik proseslerden gelen biyolojik kütle fazlası ve kimyasal arıtmadan gelen çöktürmeler sayılabilir. Çamur tasfiyesinin amacı, esas itibarıyla, uzaklaştırılması gereken hacmi azaltmak ve çamurdaki kirleticileri nispeten etkisiz ve zararsız hale getirmektir. Çamurun tasfiye edilmesi ve uzaklaştırılması aşağıdaki nedenlerden dolayı zorunlu olmasının yanısıra oldukça güçtür (Velioğlu, 1980).

- Arıtılmış atık suyun estetik açıdan (koku ve görünüm) en rahatsız edici kesimini çamur meydana getirir.
- İçinde bulundurduğu organik maddelerden dolayı çamurun biyolojik çözülmesi söz konusudur.
- Çamurda mevcut katı madde yüzdesi oldukça düşük olduğundan tasfiye edilmesi ve/veya uzaklaştırılması gereken çamur hacmi oldukça yüksektir.

2.2.1. Çamur tasfiye prosesleri

Çamurlar özellikleri itibarıyla doğrudan kara veya deniz gibi ortamlara verilerek uzaklaştırılması genellikle mümkün olmadığından, çamurların hacimlerini azaltmak ve etkisiz hale getirilmesini sağlamak için tasfiyeye tabi tutulmaları gerekmektedir. Kullanılan en yaygın çamur tasfiye yöntemleri şunlardır.

- a) Yoğunlaştırma (Kalınlaştırma): Çamurdaki katı madde yoğunlaştırılmasının hedefi çamur hacminin azaltılmasıdır. Bu işlemlerin başlıcalarını çöktürme ve yüzdürme kalınlaştırması teşkil eder. Çöktürme kalınlaştırmasının esası, çamurdaki katı maddelerin çöktürülmesidir. Yüzdürme kalınlaştırmasında ise temel prensip hava kabarcıklarının, katı parçalara tutunarak, çamurdaki

katı maddelerin yüzeye çıkmasını sağlamaktır. Yoğunlaştırılan çamur, çöktürme kalınlaştırmasında alttan, yüzdürme kalınlaştırmasında ise üstten dışarı alınır.

- b) Stabilizasyon prosesleri: Çamurların renk, çözülme ve patojenik mikroorganizmalar açısından etkisiz ve zararsız hale getirmeyi amaçlar. Çamurların yüksek miktarlarda organik madde bulundurmalarından dolayı kullanılan stabilizasyon prosesleri çoğunlukla biyolojik çözülme esaslarını (aerobik ve anaerobik) içerir. Çamurların biyolojik yoldan çözülmesi olayı çürüme olarak tanımlanmaktadır. Çamurların stabilizasyonunda anaerobik çürüme, aerobik çürümeye nazaran daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu durumun iki ana nedeni vardır.

- Anaerobik çürümede biyolojik kütle üretim hızı aerobik çürümeye nazaran çok daha düşüktür. Dolayısıyla, belli miktarda organik maddenin anaerobik olarak çürütülmesinde katı madde miktarı aerobik çürümeye nazaran daha az olur. Ayrıca, hücre üretim hızı az olduğundan anaerobik çürümede besleyici madde ihtiyacı aerobik çürümeye nazaran oldukça azdır. Bu durum bilhassa besleyici madde açığı önemli bir problem olan endüstriyel atıklar için çok önemlidir.

- Anaerobik çürümenin nihai ürünü olarak yanıcı bir gaz (metan) elde edilir. Isı değeri oldukça yüksek olan bu gazdan enerjide yararlanılabilir.

- c) Şartlandırma (Uyarılma): Şartlandırma, çamurların su içeriğini azaltma işlemlerini kolaylaştırmak amacıyla yapılır. Kimyasal şartlandırmada, inorganik veya organik pıhtılaştırıcılar kullanılarak küçük dağınık parçacıkların büyük parçacıklar haline dönüşmesi sağlanır. Isıl şartlandırmada ise ana gaye çamurun basınç altında ısıtılması yolu ile hücrelerin parçalanmasını sağlamaktır.

- d) Su içeriğinin azaltılması: Çamurun sıvı halden çıkıp nemli bir katı madde görünümüne gelinceye kadar su içeriğinin azaltılması işlemleri, çamur tasfiye tesislerinin vazgeçilmez bir ünitesidir. Nihai uzaklaştırmadan evvel çamurların su içeriği azaltılır. Bu işlem için kurutma yatakları, vakum filtrasyon, santrifüjleme gibi yöntemler uygulanır.

- e) Isıl işlemler: Isıl işlemlerin amacı, çamuru kurutmak veya çamurdaki organik maddelerin oksitlenmesini sağlamaktır. Isıl işlemlerin başlıcaları arasında ısı ile kurutma, yakma ve ıslak ortamda oksitlenme sayılabilir.

- f) Nihai uzaklaştırma: Çamur tasfiye tesislerinden geriye kalan artık maddeler kara, hava veya su ortamlarına verilerek uzaklaştırılır. Nihai çamur uzaklaştırma işlemlerinin çevreyi kirletmemesine, çamurdaki tekrar kullanılabilir maddelerin ayrılmasına ve ekonomik olmasına özen gösterilmelidir. Çamur tasfiyesinden geriye kalan artık maddelerin havaya verilmesi sadece geçici bir çözüm olduğundan esas itibarıyla kara veya su ortamına verilirler.

2.3. ENDÜSTRİ ATIK SULARININ ARITILMASI

Endüstri kuruluşları, uyguladıkları işlemler sonucu kirli sularını çevreye atmaktadırlar. Kirleticiler, suyun içinde çözünmüş halde olabilecekleri gibi, katı madde olarak askıda da bulunabilirler. Bu kirleticilerin uzaklaştırılması için, kirleticilerin şekline göre fiziksel, biyolojik ve kimyasal yöntemler kullanılabilir. Fiziksel yöntemlerle genellikle suyun içinde askıda bulunan maddelerin uzaklaştırılması sağlanır. Biyolojik yöntemler, organik kirleticilerin bakterilerin yardımı ile ayrışmasını sağlar. Ortamda oksijen bulunduğu takdirde çözümleme aerobik bakterilerce, oksijen bulunmadığı hallerde ise anaerobik bakterilerle yapılır. Kimyasal yöntemler ile, diğer yöntemlerle uzaklaştırılamayan kirleticiler uzaklaştırılır.

2.3.1. Yağ endüstrisi atık sularının arıtılması

Yağ endüstrisi atık suları genellikle emülsiyon halde yağ bulunduran, yüksek BOİ ve KOİ'na sahip, bulanık karakterdedir. Margarin üretiminde katalizör olarak kullanılan nikelin bir kısmında atık sulara karışmaktadır. Hayvansal yağ üretiminde, atık sulardaki organik maddelerin önemli bir kısmını proteinler oluşturmaktadır. Yağ endüstrisi atık sularında bulunan kirleticilerin etkileri aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

Yağlar: Yüzeyde toplanan yağlar, suyun havalanması ve fotosentez olaylarını engeller ayrıca estetik sorunlar yaratır.

BOİ/KOİ: Çok yüksek değerdeki BOİ/KOİ hızlı bir oksijen sarfına neden olur.

Askı maddesi: Özellikle deşarj civarında dıpsel birikimlere yol açar

Azot/Fosfor: Ötrofikasyona yol açar

Bulanık/Renk: Estetik sorunlar yaratır

Ağır metal (Ni): Zehirli etki gösterir

Bu şekilde ağır bir kirlenme yüküne yol açacak endüstri atıkları, direkt alıcı sulara veya geleneksel arıtma uygulanan bir kanalizasyon sistemine verilebilecek şekilde arıtılması gerekmektedir. Yağ endüstrisi atıklarının arıtılmasında yer verilen başlıca arıtma düzenleri

- 1) **Çökeltme:** Çökeltme işlemi, atıkların bir tankta bekletilerek yağlı maddelerin yüzeyde toplanması ve daha sonra bir sıyrıcı ile alınmasıdır.

- 2) Hava ile yüzdürme: Yağlı atık suyun, tabana yerleştirilen difüzörlerle havalandırılarak, uzun bir kanaldan yavaş bir akımla geçirilmesi sağlanır. Bu işlem sonucu emülsyon halindeki yağlar yüzeyde toplanır ve sıyrılarak uzaklaştırılır.
- 3) Pıhtılaştırma (koagülasyon): Pıhtılaştırma genellikle $Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$ ve kireç gibi maddeler ilavesiyle gerçekleştirilir. Bunun yanında yağlı atık, flofoil gibi gözenekli malzemeden geçirilerek de pıhtılaştırma sağlanabilir (Tünay, 1980).

2.3.2. Rafineriler ve petrokimya endüstrileri atık sularının arıtılması

Petrol endüstrilerinde atık su karakteristiği, asidite ve alkalinite, renk ve bulanıklılık, pH, organik maddeler ($BOİ$, $KOİ$), toplam oksijen gereksinimi, ani oksijen gereksinimi, katı maddeler, yüzey aktif maddeler, tat ve koku, sıcaklık, toksisite, yağ, fenol, inorganik iyonlar, ağır metaller şeklinde sıralanan kirletici parametrelerle belirlenir. Bu parametrelerin nicelik ve nitelikleri, kullanılan teknolojiye ve proseslere göre çok değişmektedir. Petrol endüstrilerinde kullanılan arıtma düzenleri mekanizmalarına göre üç grupta incelenebilir (Gönenç, 1980).

- 1) Fiziksel yöntemler: Bu yöntemlerin başlıcaları ağırlıkla ayırma, hava ile yüzdürme, filtrasyon, santrifüj, vakum filtrasyonu, buharlaştırma, karbon absorpsiyonu şeklinde sıralanabilir.
- 2) Kimyasal yöntemler: Bunların en çok kullanılanları; pıhtılaştırma-çöktürme, kimyasal oksidasyon, iyon değişimi ve nötralizasyon yöntemleridir.
- 3) Biyolojik yöntemler: Petrol endüstrilerinde aktif çamur, damlatmalı filtre, havalandırılmalı havuzlar, stabilizasyon havuzları gibi biyolojik arıtma düzenleri kullanılmaktadır.

2.3.3. Tekstil endüstrisi atık sularının arıtılması

Tekstil endüstrinin çeşitli üretim kademelerinde yıkama, haşılama, pişirme, mersevizasyon, renk giderme, boyama, apreleme, karbonize etme, ağartma v.b. gibi ünitelerden birkaçı veya hepsi yer alabilir. Tekstil endüstrisinde, işlenen hammadde ve ürünlerin özellikleri ile bunların bileşimlerindeki ayrıcalıklardan kaynaklanan, çok değişik nicelik ve nitelikte atık sular görülmektedir. Bu atık sular genellikle aşırı alkali karakterde ve koyu renkli olup, yüksek konsantrasyonlarda katı ve organik madde içerirler. Tekstil endüstrisi atık sularının uzaklaştırılmasında ya bir ön arıtmadan sonra kent kanalizasyon şebekesine verme ya da endüstri içinde bağımsız bir arıtmadan geçirilerek alıcı sulara boşaltma yöntemleri kullanılmaktadır (Gönenç, 1980).

2.3.4. Deterjan endüstrileri atık sularının arıtılması

Deterjan endüstrisi atık sularında çevre açısından önem taşıyan çeşitli bileşikler bulunur. Deterjan aktif maddesi, BOİ ve KOİ yanında köpük oluşmasına ve yüksek konsantrasyonlarda zehirliliğe yol açar. Katkı maddeleri, özellikle fosfatlar ötrofikasyon sorunu yaratır. Deterjan endüstrisi atıklarının arıtılmasında kullanılan başlıca yöntemler ve verimleri Tablo 2.2'de verilmiştir (Tünay, 1980).

Tablo 2.2. Deterjan endüstrisi atıklarının arıtılmasında kullanılan yöntemler

YÖNTEM	ARITTIĞI PARAMETRE	ARITMA VERİMİ %
Filtrasyon	Askı maddesi	70-80
Pıhtılaştırma-Yumaklaştırma	Askı maddesi	50-80
Biyolojik arıtma	BOİ/KOİ metilen mavisine aktif maddeler	60-95
Karbon adsorpsiyonu	BOİ/KOİ metilen mavisine aktif maddeler	90
İyon değişimi	Çözünmüş maddeler	99
Ters osmos	Çözünmüş maddeler	99

2.3.5. Metal işleme endüstrileri atık sularının arıtılması

Metal endüstrisinin atık suları, ihtiva ettiği çok değişik kimyasal maddelerden dolayı oldukça karmaşık bir karakter gösterir. Bu tip endüstrideki temel prosesleri şöyle sıralayabiliriz.

- 1) Mekanik yüzey temizleme
- 2) Yağ ve gres giderme (Alkali temizleme)
- 3) Asit temizleme
- 4) Yüzey kaplama

Yüzey temizleme işlemleri sırasında kullanılan belirli konsantrasyonlardaki asit ve baz banyolarının belirli bir müddet sonra deşarjı gerekmektedir. Ayrıca her kademedен sonra uygulanan yıkama işlemlerinde çok değişik kimyasal maddelerin yıkama suyuna karışması söz konusudur. Genellikle metal işleme endüstrilerinde göz önüne alınması gereken kirliliği bir kaç grupta toplayabiliriz.

- a) Siyanürler (CN^-)
- b) Altı değerli krom (Cr^{+6})
- c) Asit ve bazlar
- d) Yağlı atıklar
- e) Ağır metaller
- f) Fosfatlar

Siyanürler: Metal kaplama endüstrilerinde yağ giderme ve kaplama banyolarında CN^- kullanılır. Yıkama işlemleri sırasında veya bu banyoların direkt deşarjları sonucu toksik etkisi çok büyük olan CN^- iyonlarının alıcı suya karışması söz konusudur. Atık sulardaki CN^- aşağıdaki yöntemlerle giderilir.

- a) CN^- iyonlarının Cl_2 gazı ile parçalanması
- b) CN^- iyonlarının hipokloritle parçalanması
- c) CN^- iyonlarının elektrolit dekompozisyonu
- d) CN^- iyonlarının ferrosiyanür kompleksi halinde çöktürülmesi

Altı değerli krom (Cr^{+6}): Yıkama sularından veya kaplama banyolarının deşarj edilmesi ile atık sulara karışacak Cr^{+6} iyonları önce SO_2 ve sülfitle (SO_3), Cr^{+3} iyonlarına indirgenir. Cr^{+3} iyonları OH^- iyonları ile çözünürlüğü çok az olan $\text{Cr}(\text{OH})_3$ halinde çöktürülür.

Asit ve bazlar: Demir türü malzemelerin kaplanması asit banyoları fazla miktarda FeSO_4 bulundurur. Bulundurduğu FeSO_4 'tan dolayı banyo sularının kireç ile birlikte iyi bir çöktürme vasıtası olarak kullanılmaları mümkündür. Bazik karakterli banyo deşarj sularının alkali ortamda yürütülen siyanür parçalanma prosesinde kullanılması mümkündür. Küçük işyerlerinde asit ve baz banyolarından gelen suların birbirleri ile nötrale edilip deşarj edilmeleri de mümkündür.

Yağlı atıklar: Bu tip atıklar önce serbest haldeki yağı ve katı parçacıkları uzaklaştırmak için önce bir çöktürme tankında serbest yağ yüzdürmesi yapılır. Katı partiküller ise sedimentasyonla birbirinden ayrılırlar.

Ağır metaller:

Atık sulardan Fe^{+2} ve Fe^{+3} iyonlarının uzaklaştırılması: Demir kaplama işlemlerinde metal yüzeyindeki oksit tabakasının temizlenmesi gerekir. Metal parçalarının oksit tabakasından temizlenmesi sırasında Fe_2O_3 asit banyosunda kullanılan asit ile reaksiyona girerek çözünen tuz halinde çözeltiye geçer. Asit banyosunun deşarj edilmesi sırasında banyo çözeltisinde mevcut Fe^{+2} ve Fe^{+3} iyonları da atık suya karışır. Banyo çözeltisi asidik karakterde olduğu için önce nötralle edilmesi gerekir. Nötralizasyon daha ekonomik olması nedeniyle $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile yapılır. pH 8-9 aralığında Fe^{+2} ve Fe^{+3} iyonları çözünmeyen hidroksitler halinde çöktürülür. Bu yöntemle atık sudaki Fe iyonları konsantrasyonu 4 ppm'e kadar düşürülebilir. Nötralizasyonun baz banyosundan gelen atık ile yapılması da mümkündür.

Atık sulardan Cu^{+2} uzaklaştırılması: Bakır kaplama prosesinde, bakır kaplama banyosu ve asit yıkama deşarjları oldukça fazla konsantrasyonlarda Cu^{+2} iyonu ihtiva ederler. Cu^{+2} iyonlarının atık sulardan arıtılmasında asidik çözelti önce nötralle edilir ve alkali pH derecesinde Cu^{+2} iyonları çözünemeyen hidroksit halinde çöktürülür. 9.0-10.3 pH aralığında çöktürme ile atık sudaki Cu^{+2} iyonları konsantrasyonu teorik olarak 0.01 ppm'e kadar indirilebilir. Cu^{+2} iyonlarının giderilmesinde uygulanan yöntemlerden biri de iyon değiştiricileridir. Proses pahalı olmasına karşılık Cu^{+2} iyonlarının geri kazanılmasını mümkün kıldığı için bilhassa küçük işletmeler için ekonomiktir. Cu^{+2} iyonlarının atık sulardan direkt elektrolitik yöntemle geri kazanılması da mümkündür. Bu yöntem daha çok konsantre atıklar için geçerlidir.

Fosfatların giderilmesi: Fosfat kaplama prosesinden gelen atık sular oldukça fazla konsantrasyonlarda $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ ve $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2$ ve bir miktar serbest fosforik asit ihtiva eder. Fosfat banyosundan çıkan metal parçalar önce bu banyoya alınır. İlk banyo pH'ı yaklaşık 8.0 civarındadır. Metal yüzeyinde tutulmuş $(\text{PO}_4)^{-3}$ iyonları çözeltiye geçer. Bu çözelti sürekli olarak önce $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile çöktürülerek metallerin fosfat halinde çökmeleri sağlanır. İlk banyodan çıkan metal parçalar ikinci bir banyoda yıkama suyu ile yıkanır. Yıkama suyundaki $(\text{PO}_4)^{-3}$ değeri oldukça düşük olacağından bu suyun zaman zaman deşarjı sakıncalı değildir.

2.3.6. Gıda endüstrileri atık sularının arıtılması

Gıda endüstrileri, meyve ve sebze işlenmesi, et ve tavuk, bira, süt ve süt ürünleri prosesleriyle, balık işlenmesi ve meşrubat üretimi gibi çok çeşitli prosesleri içermektedir. Gıda endüstrisinde büyük miktarlarda su kullanılır ve bunun sonucunda, özellikle hayvansal ve bitkisel orjinli organik atıkları fazla olan, oldukça fazla miktarda atık su üretilir.

Atıkların hacim ve karakteristikleri, ham maddeler, ham maddelerin durumu, üretim hızı, kullanılan proses v.b. gibi faktörlere bağlı olarak büyük değişimler gösterir. Atık su bileşenleri arasında en önemlileri BOİ, KOİ, askı maddeleri, çökebilir maddeler ve pH'dır. Bazı hallerde sıcaklık, toplam katılar, çözünmüş maddeler, klorür, azot ve fosforda arıtma ve uzaklaştırma açısından önem kazanan parametreler olarak öne çıkar. Tablo 2.3'de kirletici parametrelerle kaynakları gösterilmiştir (Benedict, 1980).

Tablo 2.3. Meyve ve sebze işlenmesinde üretilen başlıca kirleticiler ve kaynakları

KİRLETİCİ	KAYNAK
Katılar, BOİ, KOİ	Ham madde ayırım, yıkama, haşlama, soyma, hazırlama işlemleri
Çözünmüş maddeler	Soyma işlemi
pH	Kostik soyma, yıkama ve temizleme işlemleri
Azot, fosfor	Üretimdeki çeşitli madde ayırma ve ekstraksiyon işlemleri

Meyve ve sebze işleme endüstrisinde kullanılan arıtma yöntemlerinin çoğu evsel atık su arıtma sistemleri ile aynıdır. Genel olarak bu atık sulara uygulanabilen başlıca arıtma işlemleri pH ayarlaması, ızgaradan geçirme ve yüzdürme yöntemleri ile ön arıtma, kimyasal arıtma, biyolojik arıtma ve araziye verme olarak sıralanabilir.

2.3.7. Kağıt ve kağıt hamuru endüstrileri atık sularının arıtılması

Ağaç kullanılarak kağıt ve kağıt hamuru üretimi dört temel işlemden oluşmaktadır.

1. Ağaç hazırlanması (Kabukların ayrılması, bazen ufalama)
2. Kimyasal veya mekanik işlemlerle selüloz lifleri elde edilmek üzere ağaçtan kağıt hamuru hazırlanması
3. Kağıt hamurunun ağırtılması (renk gidermek için)
4. Çeşitli tip ve cinslerde kağıt ve karton üretimi

Kağıt ve karton üretimindeki bu dört temel işlem çok çeşitli sıvı, katı ve atmosferik atıkların oluşmasına yol açar. Tablo 2.4'de atıklar arasında bulunan bazı spesifik kirletici kaynakları verilmiştir. Sıvı atıkların doğrudan alıcı sulara verilmesi, oksijen azalması, su kokuları, yüzücü maddeler gibi çeşitli istenmeyen etkiler oluşturur (Benedict, 1980).

Tablo 2.4. Atıklar arasında bulunan bazı spesifik kirletici kaynakları

KİRLETİCİ	KAYNAK
Askı maddesi	Elyaf kabukları, pigmentler, mürekkep partikülleri, vb.
BOİ	Hemiselüloz, şekerler, linyin, vb.
Renk	Linyin, boyalar
Çözünmüş inorganikler	Sodyum hidroksit, sodyum sülfat, magnezyum, kalsiyum, vb.
Koliform	Toprak kaynaklı ve fekal
Termal	Sıcak deşarjlar

Kağıt ve kağıt hamuru endüstrisinde uygulanan başlıca arıtma yöntemleri aşağıdaki gibidir.

Ön arıtma: Ağaç hazırlanmasından gelen ham proses suları, kağıt hamuru üretimi ile kağıt yapım işletmelerinin atıkları genellikle tahta parçaları, kabuklar, ıslak kağıt parçaları gibi önemli miktarda ve uygulanacak işlemlere zarar verebilecek parçaları bulundurur. Bunu önlemek için sistem içinde çeşitli ızgaralara yer verilir. Yağmur suyu ve ağaç hazırlama atıkları için kum giderilmesi uygulanır.

Asit ve alkali atıklar için pH ayarlanması yapılır. Ön arıtmada kullanılan en önemli birim çökeltmedir.

İkinci arıtma: Toprak tabanlı oksidasyon havuzlarında atık su bekletme süreleri 5-15 gün arasındadır. Bu havuzlardan sonra benzer tipte ve çamur geri dönüşü olmayan, askıda madde kontrolü için, 2. kademe havuzlar kurulmaktadır. Bu sistemlerde BOİ giderilmesinde % 80-90'a kadar varılmaktadır. Bu sistemlerde iki önemli nokta, köpük kontrol gereksinmesi ile BOİ giderilmesi için sisteme ilave besin maddelerinin verilmesidir. İkinci arıtmadan çıkan sular daha ileri bir arıtma için, arazide arıtma, pıhtılaştırma, filtrasyon gibi çeşitli işlemlere tabi tutulur.

Çamur giderilmesi: Uygulanan çeşitli arıtma işlemlerinden, özellikle aktif çamur ve kimyasal çöktürmeden çıkan çamurlar, yoğunlaştırma, vakum filtrasyonu, santrifüj v.b. gibi işlemlerle hacmi azaltılıp, suyu giderilerek uzaklaştırılır. Uzaklaştırmada son işlem olarak yakma, kurutma, araziye serme gibi yöntemler uygulanmaktadır.

2.3.8. Mayalama endüstrisi atık sularının arıtılması

Maya fabrikalarının atık sularının arıtımı, bu atık suların oldukça seyreltik ve yüksek debili oluşlarından dolayı oldukça güçtür. Bu atık sular gübre olarak kullanılabilen özellikle olduğundan, tarla sulamada kullanılabilir. Atık sular bu amaçla kullanılacaksa, önce organik asitler kireç yataklarında yansızlaştırılmalıdır (Nötralizasyon) (Çiler, 1980).

2.3.9. Antibiyotik endüstrisi atık sularının arıtılması

İlaç fabrikaları atık sularının arıtılması genellikle toksik özellikteki metallerin çöktürülmesini ve diğer toksik maddelerin arıtılmasını içerir. Antibiyotik üretimi sırasında kullanılan organik çözücülerin geri kazanılması sırasında bir miktar arıtım söz konusudur. Penisilin üretiminde ekstraksiyondan gelen asitli çözelti önce NaOH yansızlaştırılarak, destilasyonla çözücü geri kazanılır. Antibiyotik atık sularının çöktürme ile arıtımı oldukça güçtür. Bunun sebebi atık suda BOİ'na neden olan bileşiklerin çözünmüş olmasındandır. Biyolojik arıtım oldukça iyi sonuçlar vermektedir (Çiler, 1980).

2.3.10. Deri endüstrisi atık sularının arıtılması

Deri fabrikalarından çıkan atık suların arıtımı genellikle dört aşamada yapılır (Çiler, 1980).

- a) Elekleme, süzme
- b) Depolama
- c) Yansızlaştırma, çöktürme, biyolojik arıtım sistemler v.b.
- d) Dezenfeksiyon

İlk aşamada, kaba asılı katılar ızgara ve eleklerle uzaklaştırılır. İkinci aşamada atık sular depolanır ve arıtım işlemlerine gönderilir. Üçüncü aşamada değişik arıtım sistemleri uygulanarak atık suyun kirlilik parametreleri yerel standartların istediği düzeylere düşürülür.

2.3.11. Seramik endüstrisi atık sularının arıtılması

Seramik endüstrilerinde proseste en büyük kirliliğe neden olan atık, fırınların ısıtılması için gerekli kok gazlarının eldesi sırasında ortaya çıkan karbonizasyon atıklarıdır. Karbonizasyon sonucu çıkan atık suyun bileşimi, proseste kullanılan kömür miktarına göre değişir. Karbonizasyon prosesinden gelen atıktan, katı parçacıklar ve katran ayrıldıktan sonra, toksik etkili kimyasal maddelerin belirli konsantrasyonların altına indirilmesiyle, bu atık suyun evsel atık sularla birlikte arıtılması mümkün olabilmektedir. Bu tip atıklarda uygulanan yöntem ya organik maddelerin tamamen uzaklaştırılması ya da değerli maddelerin geri kazanılmasıdır. Atık sulardan fenolün geri kazanılması, ardarda birkaç prosesi gerektirir. Proses sonucu geri kazanılan fenol, başka amaçlar için kullanılır (Timur, 1980).

2.3.12. Tarım koruma endüstrisi atık sularının arıtılması

Tarım koruma endüstrileri, doğal üretim faaliyetleri ve ulusal ekonomiye yoğun katkısına karşılık, oldukça önemli kirlileme etkileride taşımaktadırlar. Bu endüstriler, doğayı özellikle zehirlilik açısından etkilemektedirler. Tarım koruma endüstrisi ürünlerinden, su kirliliği açısından en yoğun önem taşıyan pestisitler, çevresel kirlileme özelliğine sahiptir.

Tarım koruma endüstrisi atıkları, biyolojik olarak güç bozunmaları nedeniyle, biyolojik arıtma sistemlerinde, etkin bir şekilde arıtılamamakta, fiziksel ve kimyasal yöntemlerinde başarı

sağlanamaması nedeniyle, geniş bir seyrelme alanı bulabilecekleri, büyük denizlere deşarjları en optimum önlem olarak öngörülmektedir. Bununla beraber, elektrodializ, aktif karbon ve ters osmoz gibi geliştirilmiş arıtım yöntemleriyle, etkin bir kirletici giderilmesi sağlanmaktaysa da çok yüksek uygulama maliyeti nedeniyle bu sistemler yaygın bir kullanım alanı bulamamaktadır (Dumlu, 1980).

2.3.13. Kumaş boyaları ve ara ürünleri endüstrisi atık sularının arıtılması

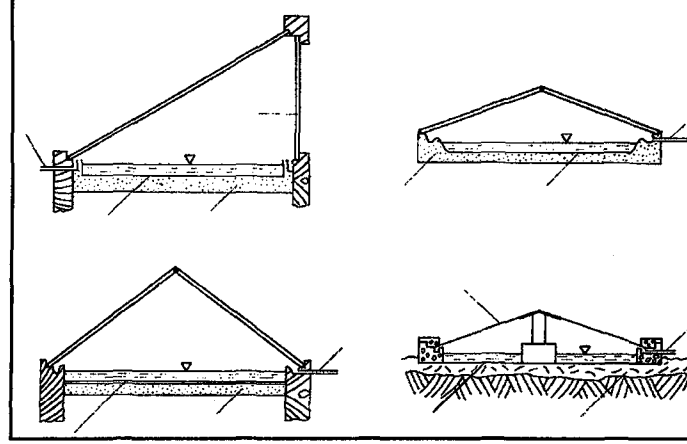
Bu endüstri atıkları çok değişik ve bazen de çok karışık kompozisyonlarda bulunduğundan, hiçbir arıtma yöntemi standart yöntem olarak alınamaz. Akışkanın kirlenmesi ayırma ile veya en azından fabrika prosesinin orjinalindeki safsızlıkların miktarını düşürmekle yapılmalıdır. Bu da aşağıdaki işlemleri uygulamayı gerektirir.

- 1) Üretim prosesinde operasyon durumları ile cihazların rasyonilizasyonundaki değişiklikler,
- 2) Geri kazanma ve atık maddelerin kullanımı, çıkan atıkların miktarının uygun bir değere indirilerek bırakılması
- 3) Eğer ilk iki yöntem iyi bir sonuç vermezse, çıkanların ayrıca bir arıtma işlemine tabi tutulması

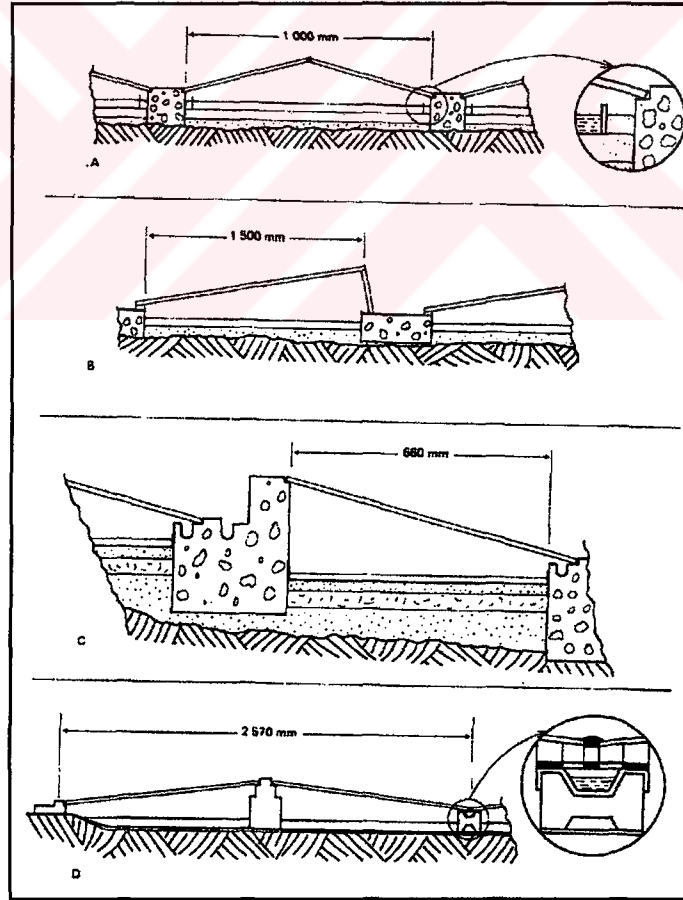
İlk yöntem, kirleticilerin toplam olarak giderilmesini amaçlamaktadır ve ekonomik açıdan oldukça avantajlı bir görüştür. Fakat diğer iki yöntemle göre oldukça karışıktır. (İlhan, 1980).

3.0. GÜNEŞ ENERJİLİ DAMITICILAR

Güneş enerjili damıtıcılar, ilk olarak 1872 yılında Kuzey Şili'de Las Salinas maden kampının su ihtiyacını karşılamak amacıyla kurulmuştur. Carlos Wilson adında bir İsveçli mühendis tarafından dizayn edilen 4700 m^2 alana sahip bu havuz tipi güneş enerjili damıtıcının kapasitesi günde ortalama 23 m^3 tür. Güneş enerjili damıtmaya ilgi İkinci Dünya Savaşı sırasında cankurtaran sallarında kullanılan plastik damıtıcıların geliştirilmesiyle başladı. Bu damıtıcılar, alt tabanında bir keçeli yastıkla şişirilebilir geçirgen plastik kab ve plastik kaba bağlı bir damıtılmış su toplayıcı şişeden ibarettir. Kullanma sırasında, kab şişirilmekte, keçeli yastık deniz suyu ile doldurularak salın bordasına batmayacak şekilde kurulmaktadır. Çalışma sırasında güneş enerjisi, geçirgen plastiğin içinden geçerek, keçeli yastık tarafından absorbe edilmekte ve su buharı oluşmaktadır. Bu ise daha sonra plastik içinde yoğunlaşarak sistemin tabanındaki şişe içinde toplanmaktadır. İkinci dünya savaşını takip eden on senelik zaman içinde dünyanın bir çok bölgelerindeki kuraklık, su ihtiyacına olan önemi artırdı. 1951 yılında Kaliforniya Üniversitesi Deniz Suyu Araştırma Laboratuvar'ında tuz giderme yöntemlerinin araştırması başladı. Güneş enerjili damıtıcıların verimini artırmak ve yapım maliyetlerini azaltmak için çeşitli şekillerde güneş enerjili damıtıcı yapıldı ve test edildi. 1961 yılından sonra Kaliforniya Üniversitesinde güneş enerjili damıtma çalışmaları, küçük yerleşim merkezlerinin içme suyunu temin etmek için geliştirilmiştir. Şekil 3.1'de Kaliforniya Üniversitesinde kurulan güneş enerjili damıtıcıların, Şekil 3.2'de ise bazı ülkelerde kurulmuş büyük güneş enerjili damıtma sistemlerinin kesitleri görülmektedir. Daha sonra Avusturya, İspanya, Tunus, Yunanistan başta olmak üzere birçok yerde çok sayıda güneş enerjili damıtıcılar kurulmuştur. Bugün hala kullanılan en büyük güneş enerjili damıtıcılardan birisi Yunanistan Patmos adasındadır. 1967 yılında yapılan bu damıtıcının 8600 m^2 'lik alanı cam kapakla örtülmüş olup, ortalama günlük çıkış 30 m^3 'tür. Tablo 3.1'de dünyada kurulu bazı güneş enerjili damıtıcıların kurulduğu ülkeler ve alanları görülmektedir (Tleimat et al, 1978).



Şekil 3.1 Kaliforniya Üniversitesi'nde kurulu güneş enerjili damıtıcılar



Şekil 3.2. Bazı ülkelerde kurulmuş güneş enerjili damıtıcıların kesitleri

TABLO 3.1. Dünyada kurulu güneş enerjili damıtıcılar

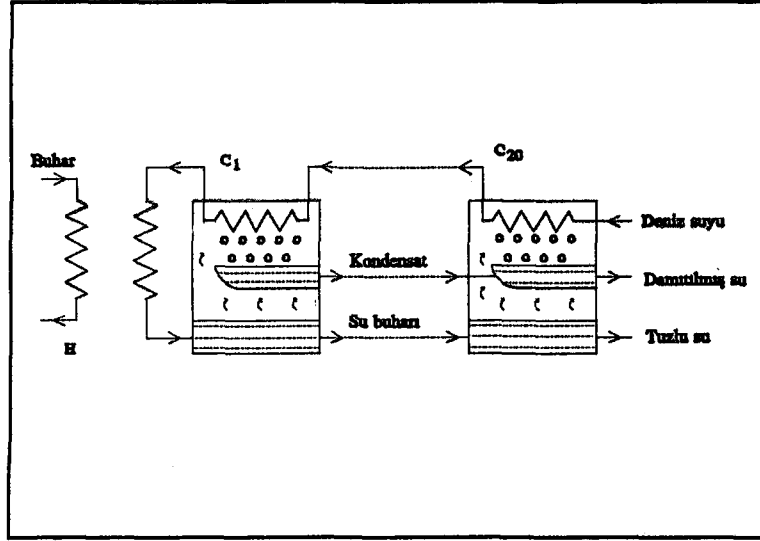
ÜLKE	BÖLGE	YAPIM YILI	HAVUZ ALANI (m ²)	ÜRETİM MİKTARI (m ³ /gün)
AVUSTRALYA	Muresk II	1966	372	0.895
	Coober Pedy	1969	465	1.1
	Caiguna	1966	372	0.834
	Hamelin Pool	1966	557	1.30
	Griffith	1967	413	0.977
	Townsville	1969	232	0.56
ŞİLİ	Quillagua	1968	107	0.38
	Quillagua	1969	103	0.36
	Pisagua	1971	124	0.44
YUNANİSTAN	Salamis	1965	388	1.18
	Patmos	1967	8640	28.08
	Kimolos	1968	2508	8.14
	Nisiros	1969	2043	6.51
HİNDİSTAN	Bhavnagar	1965	377	0.89
MEKSİKA	Natividad adaları	1969	95	0.41
	Puerta Chale	1974	300	1.0
	Punta Eugenia	1974	470	1.5
	Sonora-Punta Chueca	1974	470	1.5
İSPANYA	Las Marinas	1966	869	2.77
TUNUS	Chakmou	1967	439	0.57
	Mahdia	1968	1300	4.48
TÜRKMENİSTAN	Bakharden	1969	599	1.75
KARAYİB ADALARI	Petit St. Vincent	1967	1709	5.29
	La Gonave Haiti	1969	223	0.81
CAPE VERDE ADALARI	Santa Maria do Sol	1965	743	2.28

3.1. TUZ GİDERME YÖNTEMLERİ

Acı suyun veya deniz suyunun tuzunun giderilmesi, destilasyon, ters osmosis ve elektrodializ gibi yöntemlerle yapılır. Bu zamana kadar deniz suyunun tuzunun giderilmesi için yaygın olarak kullanılan ve en gelişmiş yöntem destilasyon işlemidir. Ters osmosis veya elektrodializ, özellikle düşük tuz içerikli suların tuzunun giderilmesi için kullanılan yöntem olup büyük kapasitedeki tesisler için ekonomiktir. Güneş enerjili damıtıcılar ise yüksek miktarda çözünmüş tuz içeren sular için daha ekonomiktir (Dunn, 1986).

3.1.1. Çok basamaklı ani destilasyon

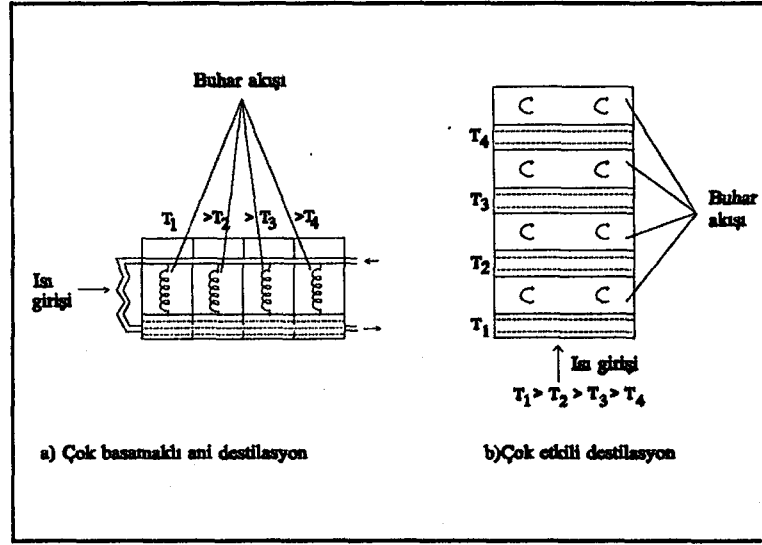
Bu sistemde, su buharından gelen ısı her basamakta tekrar kazanılır. Şekil 3.3'de çok basamaklı ani destilasyon tesisinin ana hatları görülmektedir. Deniz suyuna, her basamakta yoğuşturucuların içinden geçerken ön ısıtma uygulanır. Ön ısıtma yapılmış deniz suyu daha sonra son sıcaklığa ısı değiştiricisi (H) ile ısıtılır. Isı değiştiricisine buhar, güneş kolektöründen sağlanır. Sıcak deniz suyu, ilk basamakta bir kısmının ani olarak buharlaştığı açık bir kanaldan geçer. Bu buhar C_1 yoğuşturucusunun yüzeyinde yoğuşur. Yoğuşan su damlacıkları C_1 'in altındaki kapta toplanır. Bu işlem daha düşük sıcaklıklardaki kademelerle tekrarlanır. Genellikle yirmi kademe kullanılır. Çoğu ticari destilasyon tesisleri bu tiptedir ve günde 10^5 m^3 gibi yüksek bir çıkışa sahip olabilirler (Dunn, 1986).



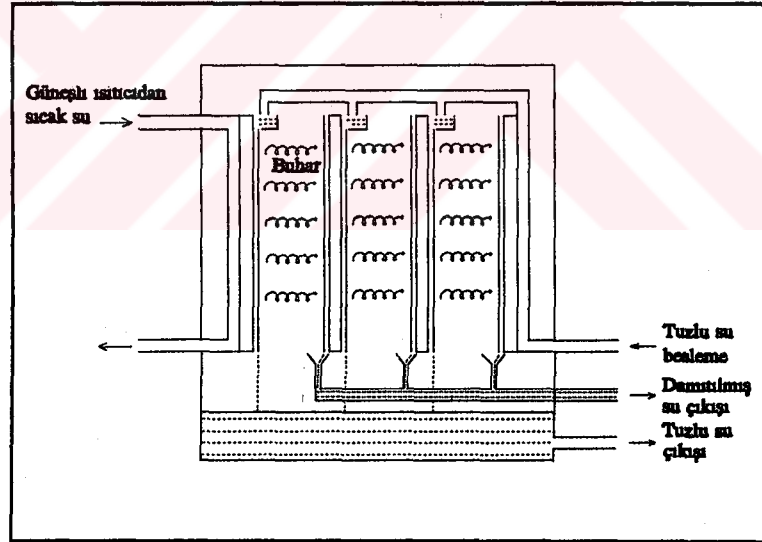
Şekil 3.3. Çok basamaklı ani destilasyon

3.1.2. Çok etkili tuz giderme yöntemi

Çok etkili tuz giderme sistemi prensipte çok basamaklı ani destilasyona benzerdir ve bazı ticari tesislerde kullanılır. Bu da çok basamaklı bir prosestir ve iki sistem arasındaki büyük farklılıklar Şekil 3.4 a ve b'de görülmektedir. Çok etkili sistemdeki basamaklardaki ısı akışı seri, çok basamaklı ani sistemlerde paraleldir. Her iki sistemin de performansı benzerdir fakat çok basamaklı ani sistemin büyük tesisler için avantajı vardır. Şekil 3.5'de de çok etkili tuz giderme tesisi görülmektedir (Dunn, 1986).



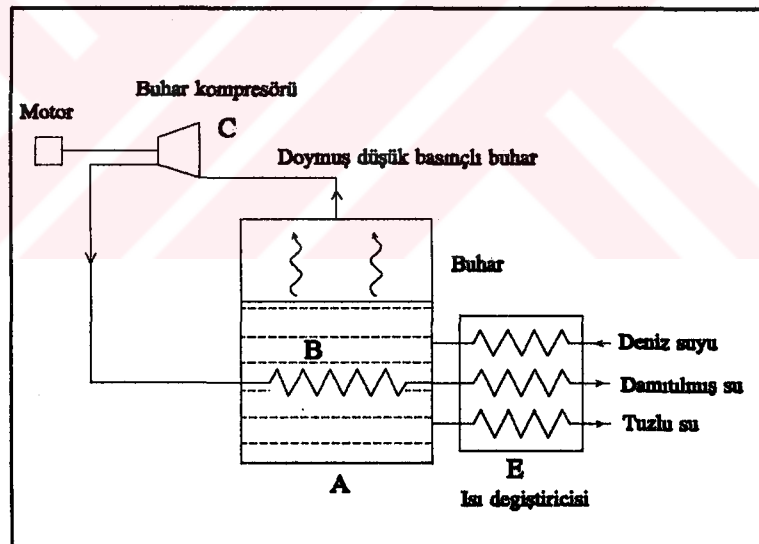
Şekil 3.4: Çok basamaklı ani destilasyon ve çok etkili destilasyon arasındaki mukayese



Şekil 3.5: Çok etkili tuz giderme

3.1.3 Buhar tazyikli tuz giderme yöntemi

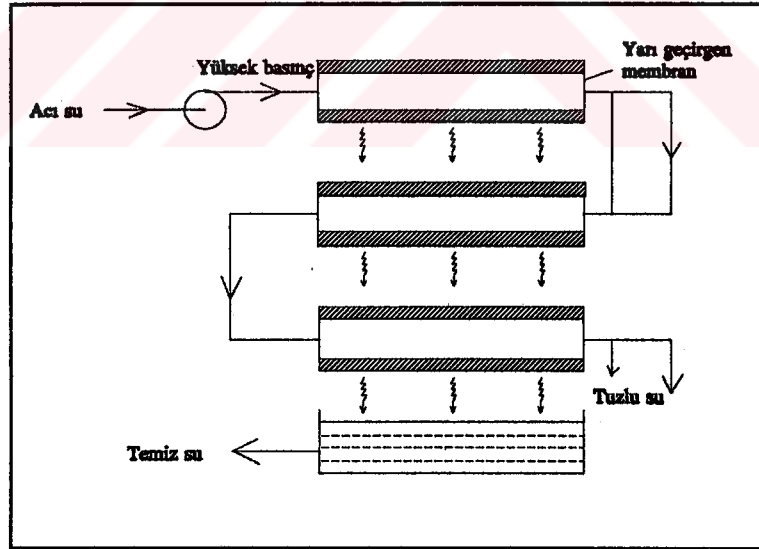
Şekil 3.6'te buhar tazyikli sistem olarak bilinen bir yöntem görülmektedir. Ön ısıtmalı tuzlu su, A kabına pompayla gönderilir. Burada buharlaşır ve oluşan doymuş buhar C kompresöründe sıkıştırılır. Sıkıştırmanın etkisi basıncı ve buharın sıcaklığını yükseltmektir. Böylece buhar az da olsa fazladan ısıtılır. Bu yüzden A kabının içindeki sudan daha yüksek sıcaklığa gelir. Fazla ısıtılmış buhar (B) ısı değiştiricisinden geçer ve damıtılmış su vermek için yoğunlaşır. Verilen ısı, A kabındaki tuzlu su tarafından absorbe edilir. Böylece A kabındaki suyun tuz oranı artar. Eşit miktardaki sıcak tuzlu su, Şekil 3.6'de gösterildiği gibi A kabından çıkarılır. Isı değiştiricisinde yoğunlaşan buhar ile, A'daki suyu buharlaştırmak için gerekli ısı sağlanır. Aynı zamanda sıcak damıtılmış su ve sıcak tuzlu su çıkışları, ikinci ısı değiştiricisi (E) içinden gelen tuzlu suyu ısıtmak için kullanılabilir. Prensipde proses başladıktan sonra ısı ilave etmeye ihtiyaç yoktur, tek enerji gereksinimi, kompresörü çalıştırmak için gereken mekanik enerjidir (Dunn, 1986).



Şekil 3.6: Buhar tazyikli tuz giderme

3.1.4. Ters osmosis ile tuz giderme yöntemi

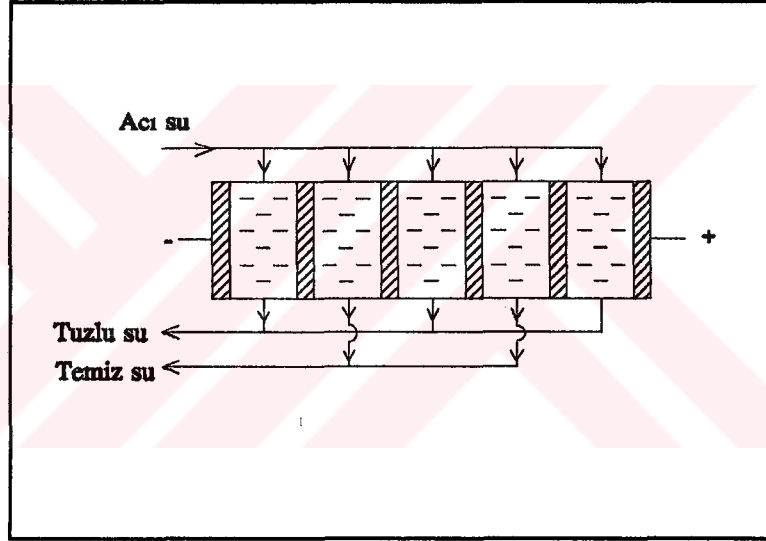
Suda tuz çözüldüğü zaman, oluşan iyonlar bir kaptaki gaz atomları gibi davranarak, su içinde rastgele hareket ederler. Eğer iki kap poröz bir duvar ile bağlanırsa, kaplardan biri, derişik tuz çözeltisi ile diğeri seyreltik çözelti ile doluysa, o zaman derişikten zayıf çözelti yönünde tuz iyonları yayılır ve su molekülleri de zıt yönde hareket ederler. Bir müddet sonra iki kaptaki tuz konsantrasyonu aynı olur. Eğer sadece su moleküllerinin geçmesine izin veren seçici bir membran kullanılırsa, o zaman sadece su molekülleri, iki kaptaki konsantrasyon aynı değere gelinceye kadar, düşük konsantrasyonlu taraftan yüksek konsantrasyonlu tarafa doğru hareket ederler. Bu prosese osmosis denir. Suyun bu akışını sağlayan basınç farkına osmotik basınç denir ve %3.5 NaCl'li su için 300 K sıcaklığında 30 atm'lik bir değeri vardır. Eğer ters basınç osmotik basınçtan daha büyükse o zaman akış ters olur. Su, tuz çözeltisinden dışarıya atılır. Ters osmosis olarak adlandırılan bu yöntem tuz giderme için kullanılır (Şekil 3.7). Yarı geçirgen membranlar denilen seçici membranlar, bu amaç için geliştirilmiştir. Ters osmosis tuz giderme tesisinde gereken basınç farkının tipik değerleri 40 ile 100 atm. arasındadır (Dunn, 1986).



Şekil 3.7: Ters osmosis ile tuz giderme

3.1.5. Elektrodializ ile tuz giderme yöntemi

Buraya kadar tuzdan suyun çekilmesiyle ilgili tuz giderme yöntemlerinden bahsedildi. Sadece yüzde birkaç mertebesinde tuz olduğu için sudan tuzun çekilmesi daha akla yatkın görülebilir. Çözelti içindeki tuz, pozitif ve negatif yüklü iyonlar şeklindedir ve bir elektrik alanıyla hareket ettirilebilir. Bu elektrodializin prensibidir (Şekil 3.8). Bir elektrik alanı iyonların duvarlara hareket etmesini sağlar. Tatlı su iki filtre arasında toplanır. Bu duvarlar belli iyonlara karşı seçici olarak geçirgen membranlardan yapılmıştır. Elektrodializ ve ters osmosisin her ikisi de büyük ölçüdeki tesislerde kullanılır ve tipik verimleri %10 civarındadır.



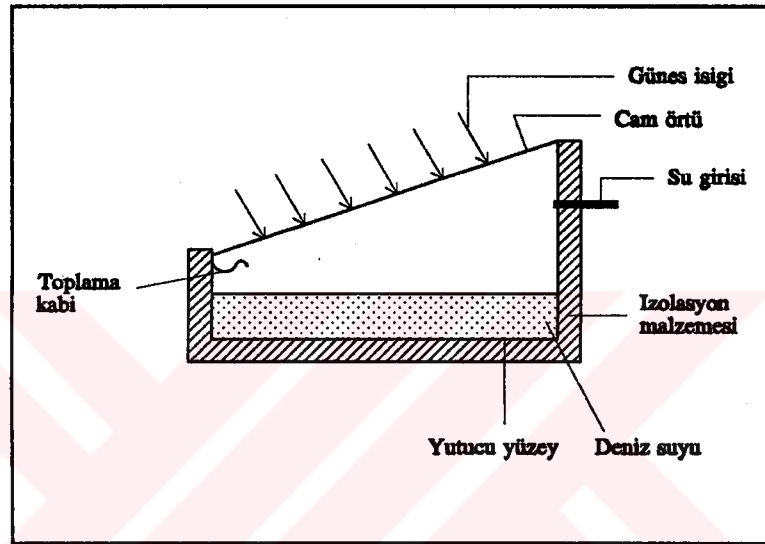
Şekil 3.8. Elektrodializ ile tuz giderme

3.2. GÜNEŞ ENERJİLİ DAMITICI MODELLERİ

3.2.1 Basit havuz tip güneş enerjili damıtıcı

Bu tip damıtıcıda, içinde tuzlu suyun bulunduğu ve güneş ışığını absorblaması için tabanı siyaha boyanmış bir havuz, üste ise hava sızdırmaz geçirgen cam kapak mevcuttur (Şekil 3.9). Cam kapak, toplama kanalına doğru eğimlidir. Cam kapaktan geçen güneş ışınları, su ve siyah tabaka tarafından absorbe edilir. Absorblanmış enerji, havuzdaki tuzlu suyu ısıtır, bu ise bir kısım tuzlu suyun

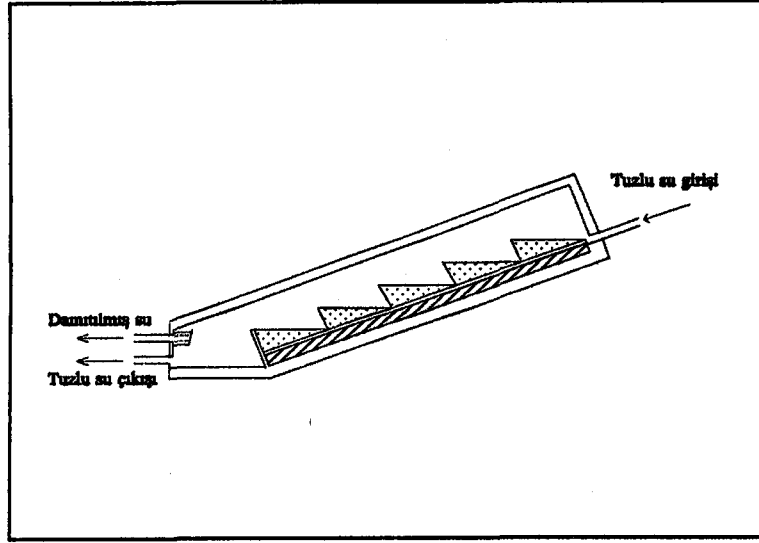
buharlaşmasına neden olur. Su yüzeyine yakın yerlerde nem artar, dolayısıyla kapalı sistemde konveksiyon akımları oluşur. Daha ılık nemli hava, daha soğuk cama doğru yükselir, burada su buharının bir kısmı cam yüzeyinde yoğuşur, aşağıya doğru kayarak, toplama kabına damlar ve temiz su olarak alınır. Havuzda tuzların çökmesini önlemek amacıyla, tuzlu su devamlı olarak ilave edilir (Tleimat, 1978).



Şekil 3.9. Basit havuz tip güneş enerjili damıtıcı

3.2.2. Eğimli tepsi modeli

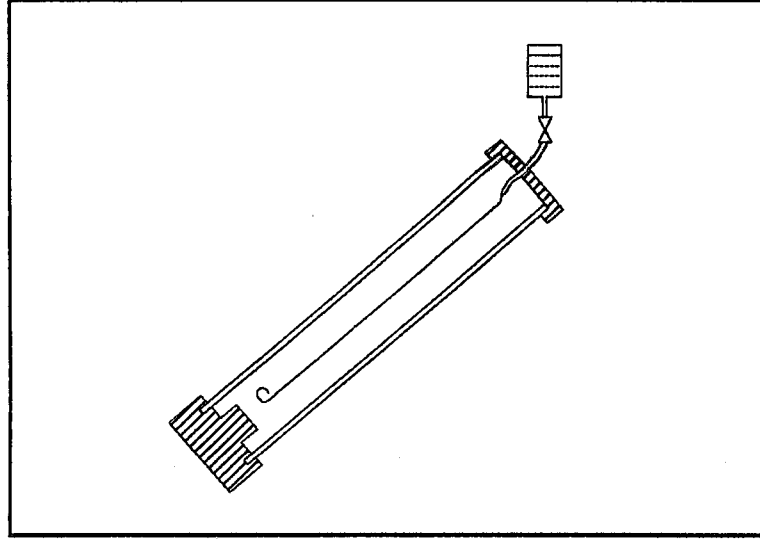
Şekil 3.10'da ise eğimli tepsi şeklindeki damıtıcı görülmektedir. Bu sistem, her biri değişik yüksekliklerde olan paralel ve dar basamaklardan oluşmuştur. Su yüzeyi cam yüzeyine daha yakın durumdadır. Bu nedenle verimi yüksektir, ancak yapım maliyeti performanstaki artışı karşılayamaz (Tleimat, 1978).



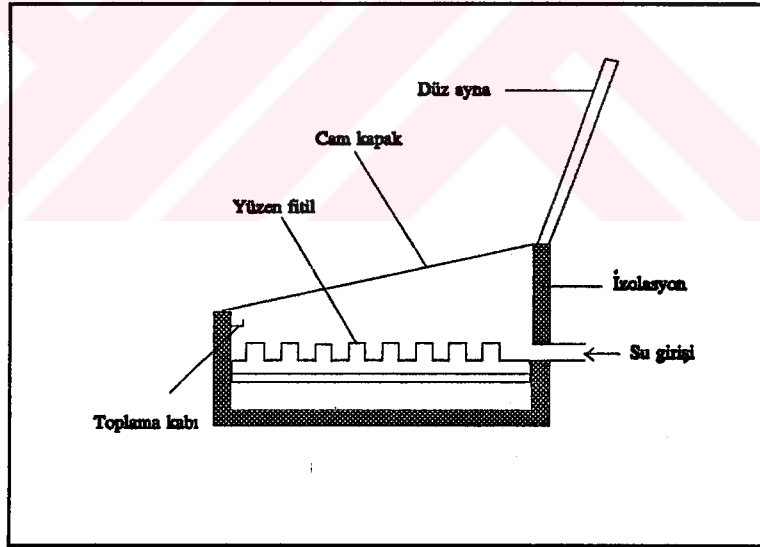
Şekil 3.10. Eğimli tepsi tip damıtıcı

3.2.3. Fitilli damıtıcı modeli

Fitil tipli damıtıcı cam kapaklı olup, eğimli yüzey üzerinde bez bir fitil içerir. Tuzlu su, eğimli yüzeyin üst kenarı boyunca dağıtılır ve absorbent malzemenin içinden aşağıya doğru akarak ıslak zemin elde edilir (Şekil 3.11). Bu zemin üzerinde buharlaşan su cam kapak üzerinde yoğunlaşır. Bu sistemin üretiminin yüksek olmasına karşılık fitil ömrü kısadır. Fitili temiz tutmak ve suyla beslemek zordur. Yapım maliyetinin yüksek oluşu nedeniyle büyük ölçeklerde uygulanmamaktadır (Tleimat, 1978). Fitilli tip damıtıcıların havuz tipine göre özellikle performans yönünden avantajları vardır (Talbert et al, 1970). Tanaka et al (1982) tarafından yapılan çalışmada havuz tipine göre damıtılmış su çıkışında %20-50 arasında artış sağlamışlardır. Tiwari et al (1984) iki katlı damıtıcılarda fitil kullanmışlardır. Frick ve Sommerfeld (1973) fitilli tip damıtıcıda, damıtıcıyı güneş radyasyonunu maksimum alacak şekilde yönlendirerek siyaha boyanmış jüt bezi ile çalışmışlardır. Karaghoulı ve Minasion (1994) yüzen fitilli tip damıtıcı geliştirmişlerdir (Şekil 3.12). Fitil üzerindeki tuzun birikmesini önlemek için jüt bezine şekil verilmiştir. Bu şekil sayesinde tuzun üst kısımlara gelmesi önlenmiştir. Siyah boyalı jüt fitili 2 cm'lik polistrenin içinde yüzdürülmektedir. Buradaki su seviyesi yarım santimden fazla değildir. Kapiler hareketle su fitile çekilmektedir.



Şekil 3.11. Fitilli damıtıcı

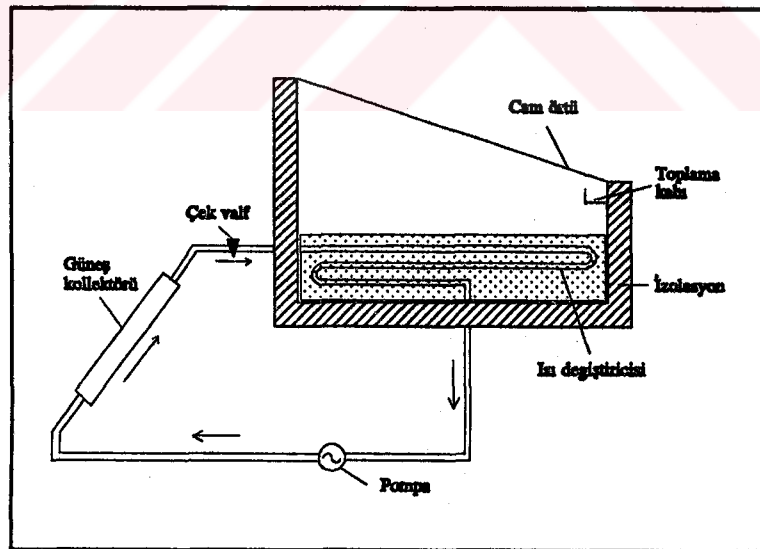


Şekil 3.12. Yüzen fitilli tip damıtıcı

3.3. GÜNEŞ ENERJİLİ DAMITICILAR ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR

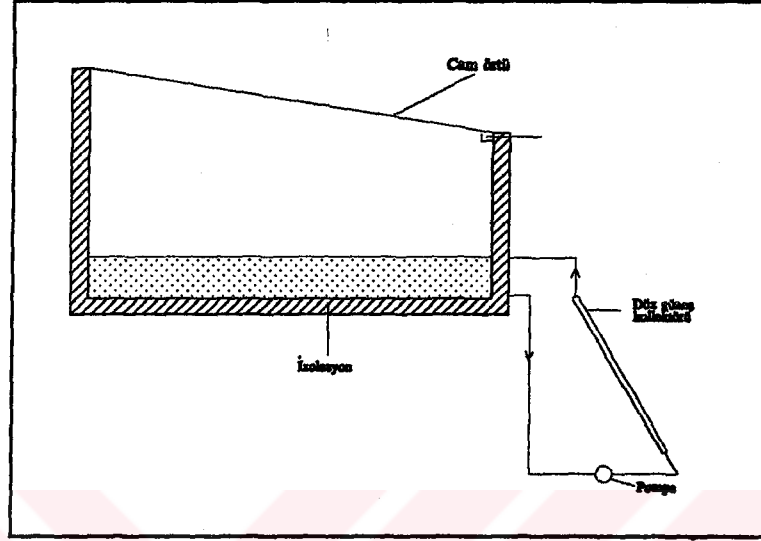
Bugüne kadar güneş enerjili damıtıcıların, damıtılmış su miktarlarını artırmak için bir çok çalışma yapılmıştır. Damıtılmış su miktarının artırılması, ya su sıcaklığını artırmak ya da cam sıcaklığını düşürmekle sağlanır. Burada su sıcaklığını artırmak daha kolaydır. Güneş enerjili damıtıcılarda su sıcaklığını artırmak için iki yöntem vardır. Birincisi güneş enerjili damıtıcıların yan ve alt yüzeylerini yeterli şekilde izolasyonunu yapmak, ikincisi ayrı bir ısı toplama noktasından ek ısıyı sağlamaktır. Ek ısıyı sağlamak için bir yöntem, düzlem kolektörü, bir ısı değiştirici ile güneş enerjili damıtıcıya bağlamaktır. Böyle bir birleşik sistem Soliman (1976) tarafından yapılmıştır. Benzer sistemler üzerine Rai ve Tiwari (1983), Dutt et al (1988), Yadav et al (1988) tarafından çalışmalar yapılmıştır. Ancak sisteme ilave edilen güneş kolektörlerinin m^2 si için sistemin maliyeti artmaktadır. Fakat damıtılmış su çıkışı aynı oranda artmamaktadır.

Şekil 3.13'de bir güneş kolektörü ile ısıtılan su, ısı değiştiriciden geçirilerek, havuzun içindeki suyu ısıtmaktadır. Güneşin olmadığı veya güneş ısınımının zayıf olduğu saatlerde güneş kolektörü bir vana vasıtasıyla damıtıcıdan ayrılabilir (Sodha et al, 1990).



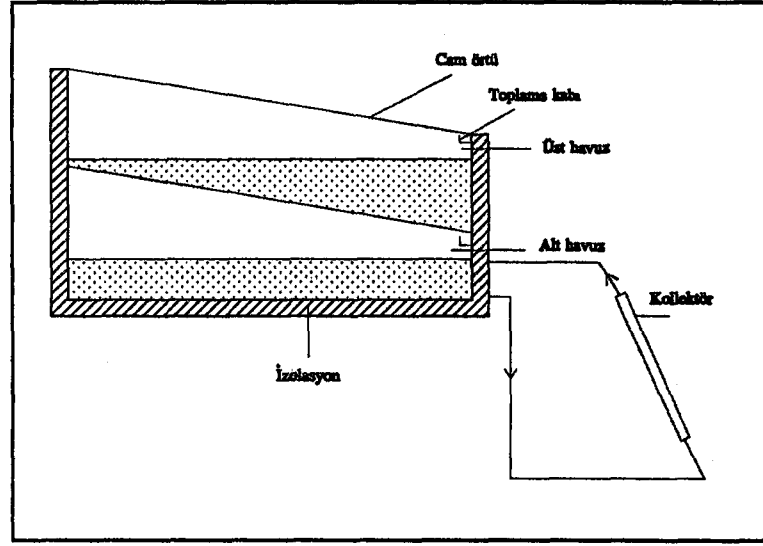
Şekil 3.13. Güneş kolektörü ile ısıtılan damıtıcı

Rai ve Tiwari (1983) tarafından yapılan çalışmada damıtıcı ve kolektör içindeki su bir pompa ile dolaştırılmaktadır. Kolektörden gelen ısı, damıtıcının buharlaşma hızını artırmaktadır (Şekil 3.14).



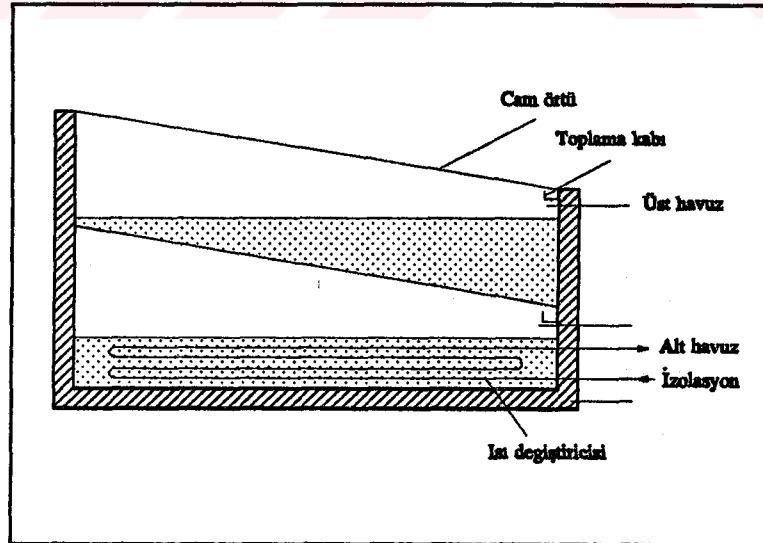
Şekil 3.14. Güneş kolektörlü havuz tipi damıtıcı

Çift katlı damıtıcı, daha fazla damıtılmış su elde etmek için buharın gizli ısısından faydalanmak amacıyla geliştirilmiş ve bu sisteme güneş kolektörleri bağlanmıştır (Yadav and Jha, 1989). Sistemde suyun dolaşımı pompayla veya doğal dolaşım ile yapılmaktadır. Pompa için elektrik enerjisi gerekirken, doğal dolaşım için ek bir enerjiye gerek yoktur. Bu nedenle çift havuzlu kolektöre bağlı güneş damıtıcısının performans analizinde doğal dolaşımlı sistemlerin uygun olduğu görülmüştür (Şekil 3.15).



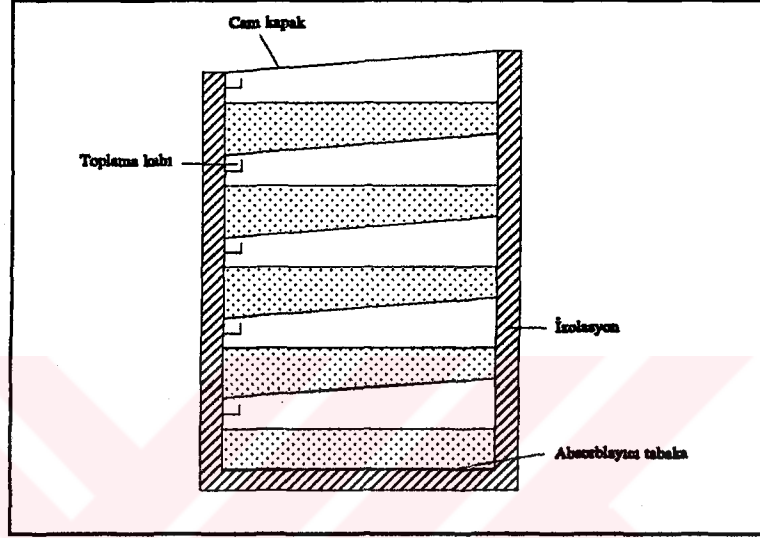
Şekil 3.15. Kollektör destekli çift katlı damıtıcı

Kumar ve Singh (1989) tarafından yapılan çalışmada eşanjör içinde su veya diğer sıcak akışkanlar geçirilerek havuz suyunun daha yüksek sıcaklığa ulaşması sağlanmıştır. Bu şekilde damıtılmış su miktarında artış görülmüştür. Bu çalışmada atık sıcak su eşanjörden geçtiği için havuzdaki suya zarar vermemektedir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Atık ısı ile ısıtılan damıtıcı

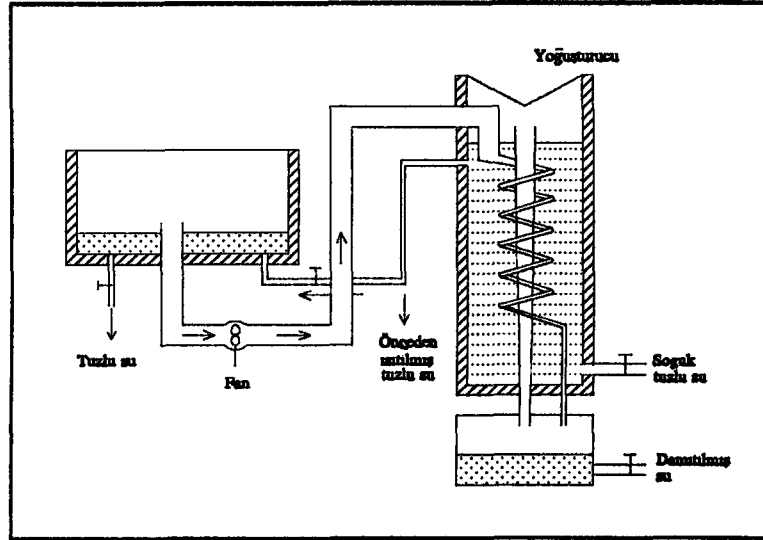
Şekil 3.17’de çok katlı bir güneş enerjili damıtıcı görülmektedir. Bu sistemde güneş ışınları, cam kapak, su kütlesi ve yutucu plaka tarafından absorblanmaktadır. Absorblanan enerjinin bir kısmı suyu ısıtmak için kullanılır. Bir kısımda cam kapak ve damıtıcının alt ve kenarlarından çevreye yayılır (Al-Mahdi, 1992).



Şekil 3.17. Çok katlı damıtıcı

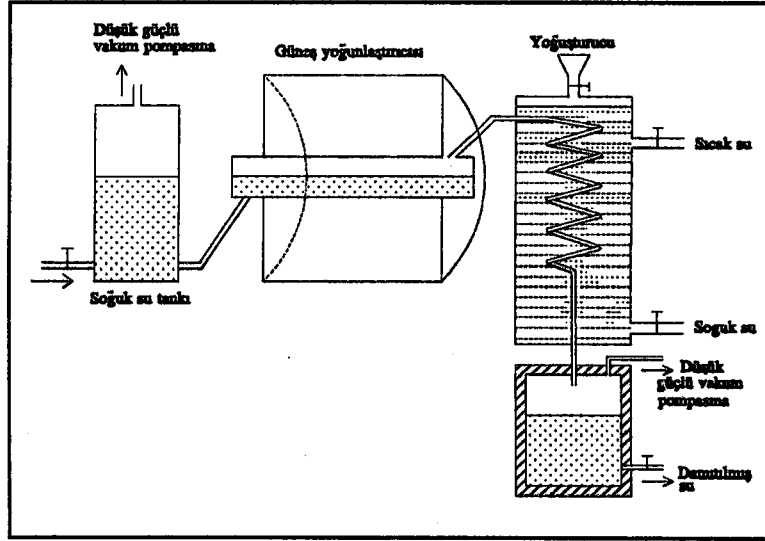
Nijegorodov et al (1994) iki değişik tip güneş enerjili damıtıcı üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Şekil 3.18’de havuz üzerindeki cam kapak yatay olarak yerleştirilmiştir. Güneş radyasyonunun havuzdaki su tarafından absorpsiyonu ile su buharı oluşturulmakta ve düşük güçlü fan vasıtasıyla buhar pompalanarak su ile soğutulmuş yoğuşturucu içindeki spiral borulara gelmektedir. Tankta toplanan damıtılmış su yoğuşturucu halkasının diğer ucuna bağlıdır. Yoğuşturucu tankındaki soğutucu su ısınca, yoğuşturucu tankının içindeki su da buharlaşır. Bu buhar, yoğuşturucu tankının eğimli kapağı üzerinde yoğunlaşır ve damıtılmış su, toplama tankının içine merkezdeki bir kanal vasıtası ile akar. Bu ise ortam sıcaklığının üzerinde olan tanktaki su sıcaklığına bağlı olarak ilave damıtılmış su sağlar. Yoğuşmamış çok az su kaybolur. Bu sistemin avantajları:

- Su buharının yoğuşma gizli ısısı tekrar kazanılır ve kayıp minimuma indirilir.
- Cam kapak ısıtılmaz, cam kapak ve damıtıcıda daha büyük sıcaklık farkı elde edilir.
- Cam kapak ve havuzdaki su arasındaki hava su buharı ile uzun süre doymuş olarak kalmaz.



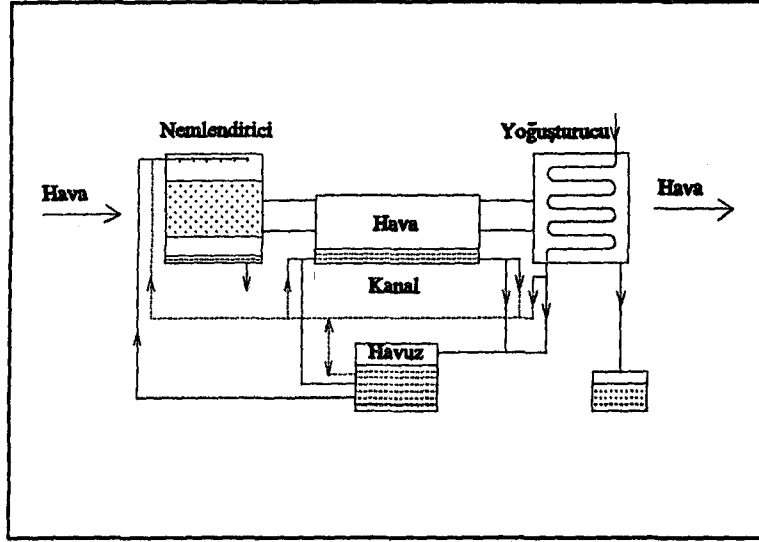
Şekil 3.18. Egzos fanlı ve yoğunlaştırıcı havuz tipi damucu

Şekil 3.19'daki silindirik toplayıcının eksenine boyunca bir tüp vardır. Absorblayıcı yüzey bu tüpün içindedir. Tüp içerisinde damıtılacak su geçer ve kaynarak buharlaşır. Buhar, su ile soğutulan yoğuşturucudan spiral boru içinde geçerken yoğunlaşmakta ve damıtılmış su tankında toplanmaktadır. Damıtılmış su tankı düşük güçlü bir vakum pompasına bağlıdır. Böylece tüp içerisinde vakum olur. Bu ise tüp içindeki suyun kaynama sıcaklığını düşürmekte ve daha fazla miktarda damıtılmış su çıkmaktadır. Yoğuşturucuda ısınan sıcak su tekrar kullanılmak üzere tanka geri gönderilir. Böylece su ön ısıtıcıdan geçmiş olur.



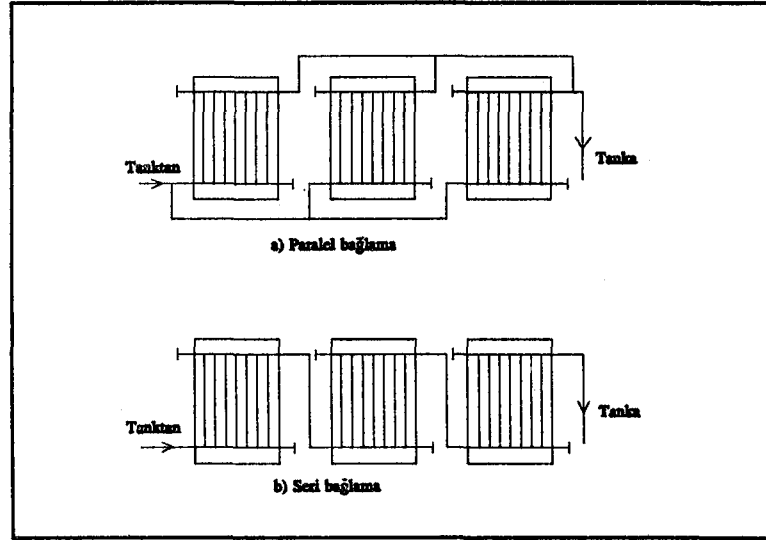
Şekil 3.19. Vakum pompalı, yoğunlaştırıcılı damıtıcı

Assuad ve Lavan (1988) tarafından Mısır'da yapılan çalışmada, bilinen güneş enerjili damıtıcıların aksine yoğuşma gizli ısısından ve atılan deniz suyunun ısısından faydalanılır (Şekil 3.20). Bu sistem; nemlendirici, güneş enerjili damıtıcı, yoğusturucu ve havuzdan oluşur. Nemlendiricide, havuzdan gelen ılık su fışkiyelerle akıtılırken geçen hava nemlendirilir. Güneş enerjili damıtıcı yaklaşık 200 metre uzunluğunda cam kaplı bir kanaldır. Havuzdan gelen deniz suyu kanal içinde akar. Nemlendiriciden gelen ılık nemli hava üstte akarak, konveksiyonla suyu buharlaştırır. Nemli hava kanalı terkederken yoğusturucuda soğutulur. Yoğuşan taze su toplanır. Yoğusturucuyu terkeden hava tekrar çevrilebilir veya atılabilir. Eğer nemli havanın entalpisi, ortamdaki havanın entalpisinden daha yüksekse tekrar çevrilebilir.

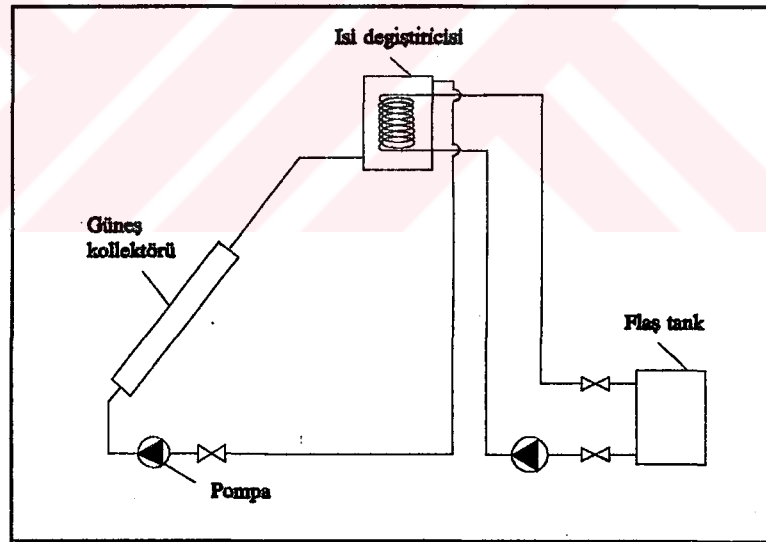


Şekil 3.20. Sistemin şematik görünüşü

Hammad M.A. (1993) tarafından Ürdün'de yapılan çalışmada ani buhar yöntemi kullanılmıştır. Eğer sıvının basıncı aniden azalırsa bir kısmı buhar fazına aniden geçer. Ani olarak meydana gelen buhar yoğunlaştırulabilir ve depolama için pompalanır. Böyle bir yöntem ile elde edilen temiz suyun oranı düşüktür. Bu yöntemde kollektörler seri ve paralel bağlanabilir (Şekil 3.21). Sıcak su, tuzlu suyun ısıttığı depolama tankına gönderilir. Tuzlu su tank içine daldırılmış bakır spiral bir borudan geçer. Isınmış deniz suyu daha sonra, bir kısmının ani olarak buhar fazına geçtiği "flash tank"ına gönderilir (Şekil 3.22).



Şekil 3.21. Kollektörlerin bağlanma şekilleri



Şekil 3.22. Ani buhar yönteminin akış diyagramı

3.4. GÜNEŞ ENERJİLİ DAMITICININ TASARIM PARAMETRELERİ

- a) Mümkün olduğu kadar yöresel malzemeler ve basit teknoloji kullanılmalıdır. Tablo 3.2’de kullanılan damıtıcı malzemeleri görülmektedir. Her parça için, malzemeler dayanıklılık açısından tercih edilen sıraya göre dizilmiştir (Eibling, 1971).

Tablo 3.2. Güneş enerjili damıtıcıların yapımında kullanılan malzemeler

Kullanım Yeri	Kullanılacak Malzeme
Havuz kaplaması	Asfalt, siyah polietilen, butil kauçuk veya epoksi deniz boyası
Kapak	Pencere camı, PVF film
Destek yapısı	Beton, alüminyum, galvanizli metal
Damıtılmış suyun geçtiği kanal	Paslanmaz sac, butil kauçuk, siyah polietilen
Sızdırmazlık malzemeleri	Silikon kauçuğu, asfalt macun bileşiği, butil kauçuk
Boru ve valfler	PVC (polyvinylchloride), ABS (acrylonitrile-bütadiene-styrene)
Su depolama tankı	Beton

- b) Toplama kanalı olarak korozyona dayanıklı, tek parça kanallar kullanılmalıdır. İnce paslanmaz çelik kanallar bu iş için uygundur. Bakır, alüminyum, beton, değişik kaplamalar ve birleştirilmiş parçalı plastik boruların kullanımı uygun değildir. Kanallar dökülmeyi ve taşmayı önleyecek şekilde derin olmalı, eşit olmayan çökelmeler veya engeller oluşmamalı ve tuzlu suyun gölgelenmesini minimize edecek kadar dar olmalıdır. Kanal içinde meydana gelen sızmalar yoğunlaşan su miktarını azaltır.
- c) Sıvanmış tuğla ve beton bloklar hava şartları ve tuzlu suyun etkisine karşı dayanıklı olmalı ve sızdırmazlık sağlanmalıdır.
- d) Damıtıcının sızdırmazlığı çok önemlidir. Güneş enerjili damıtıcılar tasarlanırken sızdırmazlık minimum seviyede olmalıdır. Hemen hemen her damıtıcıda buhar sızmasına bağlı olarak damıtılmış su miktarında azalma olmaktadır. Bu yüzden tasarımlarda sızdırmazlık problemi çözülmelidir. Silikon kauçuk kullanmak iyi sonuç vermektedir.
- e) Damıtıcı, uzun eksenli Doğu-Batı veya Kuzey-Güney yönünde yerleştirilmelidir.

- f) Cam kapağın eğiminin 10° - 20° arasında olması uygundur.
- g) Damıtıcılar, düzgün şekilde desteklenmiş ve iyi bir şekilde sızdırmazlığı sağlanmış ise cam en iyi örtü elemanıdır. Cam kapak olarak 3 mm'lik camın kullanılması uygundur. İki tabaka cam kullanılması uygun görülmemektedir. Damıtıcıların geçici olarak kullanıldığı yerlerde veya camın taşınmasının güç olduğu durumlarda, plastik örtü kullanılabilir. PVC, PVF, PTFE, polyester gibi plastik malzemeler denenmiştir. Plastik malzemelerin ömrü kısa olup, güneş ışınımını belli dalga boylarında absorblamaktadır. İnce kapaklar ise rüzgara dayanmamaktadır.
- h) Havuzun izolasyonu, verim üzerine önemli bir etkindir. Güneş enerjili damıtıcıların havuzlarının alt ve kenarlarının, tuzlu su sıcaklığını yükseltmek ve ısı kayıplarını azaltmak için izolasyonları yapılmalıdır. İzolasyon malzemesi olarak strafor kullanılabilir.
- i) Damıtıcıdaki su tabakasının derinliği konusunda yapılan araştırmalarda sığ tabakanın veriminin daha iyi olduğu görülmüştür. 1-5 cm'lik derinlik uygun olmaktadır. Tuzlu su derinliği düşüken damıtıcının günlük üretimi daha yüksektir. Tuzlu su derinliği az olan damıtıcılarda, topraktan olan ısı kaybı (izolesiz tasarımlarda) toplam ısı kapasitesini düşürür. Büyük havuzlarda minimum tuzlu su derinliği yaklaşık 5-6 cm. dir. Bundan aşağı yapılırsa kuru noktalar ortaya çıkar. Sığ bir tuzlu su tabakası, derin tabakadan daha yüksek sıcaklığa ulaşır.
- j) Damıtıcı, sağnak yağmur sularını da toplamalıdır.
- k) Güneş enerjili damıtıcıda yosun ve bakteri üremesi, ciddi bir problem olmaktadır. Bu büyümeleri önlemek için basit kum filtrasyonundan bakır tuzları ve hipokloritler gibi kimyasal maddeler kullanılmaya kadar değişen çeşitli işlemler denenmiştir.

3.5. GÜNEŞ ENERJİLİ DAMITICININ VERİMİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Güneş enerjisi bedava olmasına rağmen, basit damıtıcıların verimi düşüktür. Ancak kullanılan malzemeler pahalı değildir. Güneş enerjili damıtıcı tesislerinde üretilen suyun maliyeti; enerjinin, sermayenin ve işçiliğin toplamıdır. Basit havuz tipi damıtıcılarla üretilen suyun maliyeti, damıtıcının başlangıçtaki yapım maliyetine bağlıdır. Güneş enerjili damıtıcı, yüzey alanının her metrekaresi için güneş ışınım şiddetine bağlı olarak günde 2-4 litre temiz su üretebilir. Güneş enerjili damıtıcı teknolojisi genel olarak inşaat ve bakım açısından basittir. Havuz tipi güneş enerjili damıtıcının verimsiz olmasının nedeni, suyu buharlaştırmak için gereken enerjinin yüksek olmasıdır. Güneş enerjili damıtıcıların verimini artırmak için bir yöntem de, gelen suyun damıtıcının içine girmeden önce cam kapağın üzerine akıtılmasıyla yoğuşma sıcaklığının düşürülmesidir. Güneş enerjili

damıtıcılarda herşeyden önce verim değil, suyun litre bazında fiyatı önemlidir. Güneş enerjili damıtıcıların verimini etkileyen değişkenler şunlardır (Eibling et al, 1971):

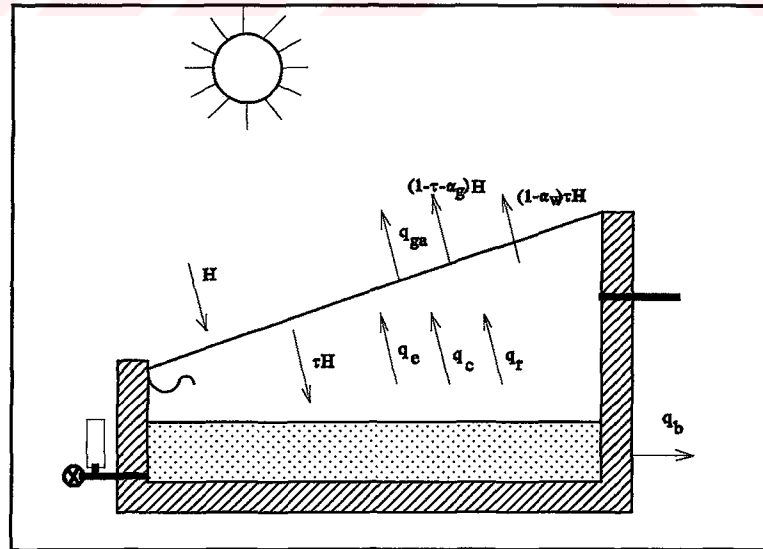
- a) Damıtıcının başlangıçtaki su sıcaklığı: Bir damıtıcıda damıtılmış su miktarını artırmak için, tuzlu su sıcaklığı yükseltilmeli ve ısı kayıpları minimum tutulmalıdır.
- b) Çevre sıcaklığı: Damıtılmış su miktarı, çevre sıcaklığının yükselmesi ile orantılı olarak artar.
- c) Güneş radyasyonunun şiddeti: Atmosferik etkiler incelendiğinde damıtıcının üretebilirliği güneş radyasyonunun şiddetine bağlıdır. Diğer atmosferik değişimlerin önemi azdır. Yılın çeşitli ayları için güneş radyasyonunun ortalamasının yüksek olduğu bölgelerde, güneş enerjili damıtıcılar genellikle faydalıdır. Güneş radyasyonunun yönü ve yoğunluğu gün boyunca değişmektedir.
- d) Rüzgar hızı: Güneş enerjili damıtıcıda, artan rüzgar hızı ile cam örtü üzerindeki ısı çok hızlı uzaklaştırılır. Bu düşük cam sıcaklığı ile damıtıcı içindeki yoğunlaşma hızı geçici olarak artar. Ancak cam kapak sıcaklığı azalırken, tuzlu sudan kapağa ısı transfer hızı, konveksiyon ve radyasyon ile artar. Yeni ısı dengesi, damıtıcının her yerindeki düşük sıcaklığa ulaşmaya kadar tuzlu su sıcaklığı düşer. Eğer damıtıcının, buhar sızıntısını önlemek için sızdırmazlığı sağlanmışsa, artan rüzgar hızının damıtılmış su miktarı üzerine etkisi küçüktür. Damıtıcının cam kapağındaki zayıf sızdırmazlık, artan rüzgar hızı, aralığın yeri ve boyutu ve değişen aerodinamik etkiler ile üretim miktarını düşürür. Şiddetli rüzgarlar, cam tabakasını kırar veya plastik örtüleri yırtabilir.
- e) Damıtıcının tasarımı: Değişik güneş enerjili damıtıcı tasarımlarıyla damıtılmış su miktarı artırılabilir. Örneğin eğimli fitil, eğimli tepsiler gibi. Bazen, üretebilirlikteki artış, havuz tipi güneş enerjili damıtıcıların iki katına çıkmaktadır.
- f) Doldurma ve boşaltma sistemi: Güneş enerjili damıtıcıdaki tuzlu suyu yenilemek için iki yöntem kullanılır. Birinci yöntemde yıkama ve doldurma yeni gün başlamadan önce tuzlu suyun en soğuk olduğu zaman yapılır. İkinci yöntem ise daimi besleme işlemidir. Otomatik yapma daha zor olsa bile, birinci yöntem daha az ısı kaybeder ve eğer iyi yapılırsa yosun ve pullanmayı önler.
- g) Bakım: Damıtıcı tabanında deniz yosununun büyümesi ve tuz çökmesi damıtıcının verimini azaltır. Bunun için periyodik olarak temiz suyla damıtıcının yıkanması gerekir. Bu da maliyeti artırır. Tuz çökmesi siyah yüzeyin yansımalarını artırdığından, mutlaka kaçınılmalıdır. Plastik örtüler elektrostatik özelliklerinden dolayı tozları çekerler ve periyodik olarak yıkanmaları gerekir.
- h) Güneş enerjili damıtıcının tabanına mangal kömürü koyularak damıtılmış su çıkışı artırılabilir (Akinsete ve Duru, 1979). Bunun faydaları şunlardır;
 - Mangal kömürü kapileri hareket gösterir. Bu nedenle sıvı içine kısmen daldırılrsa bile ıslak yüzey elde edilir.

- Mangal kömürü oldukça siyah olduğundan gelen radyasyonun absorpsiyonunu artırır.
- Mangal kömürünün pürüzlü yüzeyi gelen radyasyonu yansıtmaktan ziyade saçarak yansıma kayıplarını azaltır. Mangal kömürü ile siyah boyalı damıtıcının kıyaslaması yapılanca, mangal kömürü parçalarının ilavesi ile üretim hızının arttığı görülmüştür.

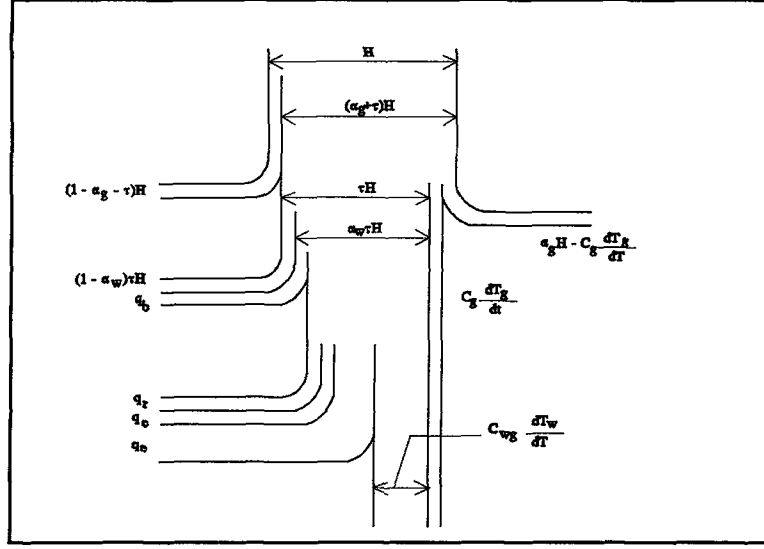
3.6. GÜNEŞ ENERJİLİ DAMITICILARIN TEORİK İNCELEMESİ

3.6.1. Isıl hesaplar

Güneş enerjili damıtıcı içinde üretilen damıtılmış suyun miktarı, esas olarak mevcut güneş radyasyon miktarına göre değişir. Fakat başka faktörlerde vardır. Şekil 3.23'de güneş enerjili damıtıcıdaki ısı ve enerji akışları görülmektedir. Gelen güneş ışığının camda, suda ve havuz tabanında absorblandığı ve bir kısmında cam ve su yüzeyinden geri yansıdığı görülmektedir. Havuzda absorblanan enerjinin buhar ve böylece damıtılmış su üretmesi, havuz suyunun sıcaklığındaki değişikliğe ve su havuzundaki ısı kayıplarına bağlıdır. Sonuç olarak yoğuşan buhar miktarı ve buna bağlı olarak üretilen damıtılmış su miktarı içeriden cam örtüye ısı ve kütle transferine ve dışarıdan cam örtüye ısı geçiş miktarına bağlıdır. Çeşitli ısı akışlarının arasındaki ilgi Şekil 3.24'de Sankey diyagramı ile gösterilmiştir (Howe ve Tleiment, 1977)



Şekil 3.23. Güneş enerjili damıtıcıdaki ısı ve enerji akışları



Şekil 3.24. Damıtıcıdaki ısı akışlarının Sankey diyagramında gösterilişi

3.6.2. Damıtıcıdaki ısı dengeleri

1. Havuz suyu üzerinde ısı dengesi

$$\alpha_w \tau H = q_b + C_{wb} \frac{dT_w}{dt} + q_e + q_r + q_c \quad (3.1)$$

2. Cam örtü üzerindeki ısı dengesi

$$q_e + q_c + q_r + \alpha_g H = q_{ga} + C_{gs} \frac{dT_g}{dt} \quad (3.2)$$

3. Havuzdaki ve örtü sisteminin toplam ısı dengesi

$$\alpha_g H + \alpha_w \tau H = q_{ga} + q_b + C_{wb} \frac{dT_w}{dt} + C_{gs} \frac{dT_g}{dt} \quad (3.3)$$

Bu denklemlerdeki yansıyan kısa dalga radyasyonu $(1 - \alpha_g - \tau)H$ ve $(1 - \alpha_w)\tau H$ görülmektedir.

4. Su yüzeyinden örtüye radyasyonla ısı akışı (q_r) :

$$q_r = F_s \sigma (T_w^4 - T_g^4) \quad (3.4)$$

Bu ifadede F_s biçim veya şekil faktörüdür. Damıtıcının geometrisine bağlıdır. Geometri iki paralel düzlemle yaklaştırılabilir. Bu radyasyon, uzun dalga boyunda difüz radyasyondur. Cam örtü ve su yüzeyi arasındaki speküler yansıma ihmal edilebilir. Sonuç olarak şekil faktörü su yüzeyinin yayıcılığına yakındır. Su yüzeyinin yayıcılığı damıtıcı içindeki şartlarda genellikle 0.9 alınır. Böylece cam örtü ile su yüzeyi arasında radyasyonla ısı transferi

$$q_r = 0.9 \sigma (T_w^4 - T_g^4) \quad (3.5)$$

alınır.

5. Su yüzeyinden cam örtüye serbest taşınım ile ısı akışı (q_c) : Bu miktar aşağıdaki eşitlikle

$$q_c = h_c (T_w - T_g) \quad (3.6)$$

verilir. h_c değeri genellikle amprik formülle bulunur ve Nusselt-Grashof tipi boyutsuz eşitliklerle düzeltilir. Bu duruma uyan bir bağıntı aşağıdadır.

$$h_c x / k = K [(x^3 \rho^2 g \beta \Delta T / \mu^2) \cdot (\mu C_p / k)]^n \quad (3.7)$$

Burada x cam ile su arasındaki mesafedir. k ve n Grashof sayısının $Gr = x^3 \rho^2 g \beta \Delta T / \mu^2$ büyüklüğüne bağlıdır ve k ve n 'in değerleri aşağıdaki gibidir.

$$Gr < 10^3 ; \quad K = 1, \quad n = 0$$

$$10^4 < Gr < 3.2 \times 10^5 ; \quad K = 0.21, \quad n = \frac{1}{4}$$

$$3.2 \times 10^5 < Gr < 10^7 ; \quad K = 0.075, \quad n = \frac{1}{3}$$

Cam ve su mesafesi 75 mm ve daha fazla olan havuz tipi damıtıcılarda bulunan nem, sıcaklık şartları ve geometrisi için Gr yukarıdaki üç aralığın en azından bir tanesine uyacak ve

$$h_c x/k = 0.075 [(x^3 \rho^2 g \beta_{\Delta} T / \mu^2) \cdot (\mu C_p / k)]^{1/3} \quad (3.8)$$

olacaktır.

$(x^3)^{1/3} = x$ olduğu için bu büyüklük dikkate alınmaz. Bu h_c 'nin bir çok damıtıcı için ekipmanın boyutuna bağlı olmadığını gösterir. (8) eşitliğindeki kaldırma faktörü $\beta_{\Delta} T$ taşıyıcı sıvının sabit bileşim şartları için hesaplanmıştır. Fakat damıtıcıdaki havada nem vardır ve böylece akış yolunda bileşimi değişir. Damıtıcıda oluşan buhar kuru hava bileşeninden daha hafiftir ve kaldırma kuvveti artar. Böylece hava ve buharın beraber dolaşma hızı artar. Bu etki, eşitlikte $\beta_{\Delta} T$ 'nin artımı ile gösterilebilir. Dunkle (1961) tarafından kullanılan formülasyon Boelter'in (1965) verdiği $\beta_{\Delta} T$ değişimine dayanır ve

$$\beta_{\Delta} T' = (M_f T_w / M_w T_f) - 1 \quad (3.9)$$

şeklindedir. Burada M nemli havanın moleküler ağırlığı, T sıcaklık, f indisi su yüzeyinden uzak olduğunu, w indisi noktanın su yüzeyinde olduğunu göstermektedir. Hem su buharı ve hem kuru hava için ideal gaz kanununu kullanarak ve toplam basıncın su buharı ve kuru havanın kısmi basınçlarının toplamı olduğu gözönüne alarak yukarıdaki formül aşağıdaki biçimde yazılabilir.

$$\beta_{\Delta T'} = \left[\frac{T_w - T_g}{T_g} + \frac{P_w - P_{wg}}{[M_B / (M_B - M_A)] P_T - P_w} \cdot \frac{T_w}{T_g} \right] \quad (3.10)$$

Burada kuru havanın moleküler ağırlığı $M_B=28.97$ kg/kmol ve su buharının moleküler ağırlığı $M_A=18.02$ kg/kmol dır. h_c bu durumda

$$h_c = \text{sabit} \left[T_w - T_g + \frac{P_w - P_{wg}}{[M_B / (M_B - M_A)] P_T - P_w} T_w \right]^{1/3} \quad (3.11)$$

şeklinde yazılır. Burada sabit bütün sıvı özelliklerini içerir. Bir ortalama sıcaklıkta hesaplanır ve kullanılan birimlere bağlıdır. h_c 'nin bu değerini (6) denkleminde uygularsak damıtıcıdaki taşınım ile ısı akışı

$$q_c = 8.84 \times 10^{-4} \left[(T_w - T_g) + \frac{P_w - P_{wg}}{2.65 P_T - P_w} T_w \right]^{1/3} (T_w - T_g) \quad (3.12)$$

şeklindedir.

6. Buharlaşma ve yoğunlaşma ile ısı akışı (q_e): Denklem (12)'de yoğunlaşma olmadan taşınım ile ısı transferi belirtilmektedir. Bu yüzden yoğunlaşmayı da içine alacak bir ısı transferi hesabı yapmak gerekmektedir. Havuzdaki su yüzeyinden cam örtüdeki yoğunlaşma filmine su transfer miktarı, Boelter'de (1965) belirtildiği gibi ısı ve kütle transferi arasındaki analoginin terimlerinden bulabiliriz. Bu analogiye göre kütle debisi ısı transferi katsayısına ve transfer olan maddenin kısmi basınçları arasındaki farkla orantılıdır. Cebirsel formülasyonu

$$w_d = 18.41 h_c (P_w - P_{wg}) \quad (3.13)$$

şeklindedir. Buna karşılık gelen yoğuşmayla ısı transfer hızı

$$q_e = w_d L \quad (3.14)$$

$$q_e = 6.8742 \times 10^{-9} [q_c / (T_w - T_g)] (P_w - P_{wg}) L \quad (3.15)$$

7. Havuzdan çevreye olan ısı kaybı (q_b) : Yaklaşık olarak aşağıdaki denklemle, deneysel verilere uygun bağıntı verilir.

$$q_b = h_b (T_w - T_a) \quad (3.16)$$

8. Cam örtüden çevreye olan ısı akışı (q_{ga}) : Bu ısı kaybının hızı hem gelen radyasyona hem de hava sirkülasyonu ile taşınımına bağlıdır. Camdan gökyüzüne olan ışıma, efektif gökyüzü sıcaklığına bağlıdır. Bu ise genellikle ortam sıcaklığından 11°C daha az alınır. Bu ısı akışının konvektif kısmı ise rüzgar hızının bir fonksiyonu olarak hesaplanır.

$$q_{ga} = \epsilon \sigma [T_g^4 - (T_a - 11)^4] + h'_c (T_g - T_a) \quad (3.17)$$

$$h'_c x / k = 0.028 \text{ Re}^{0.8} \quad (3.18)$$

Bu denklemlerde h'_c konvektif ısı transfer katsayısı olup cam kapaktan havaya olan ısı transfer katsayısıdır. x damıtıcının genişliğidir. k kapak üzerindeki hava filminin ısı iletkenliğidir. Re , Reynolds sayısı olup boyutsuzdur.

$$\text{Re} = \frac{v x \rho}{\mu}$$

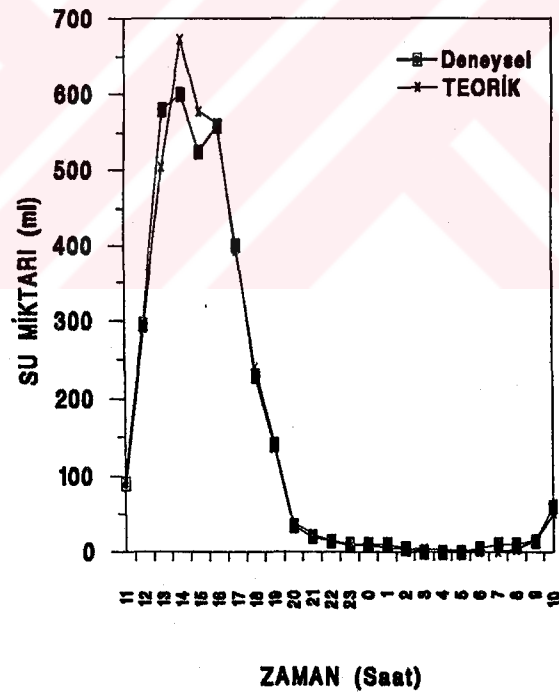
Ayrıca birim zamanda birim alandan elde edilebilecek su miktarı

$$m_w = \frac{q_e}{h_{fg}} \quad (3.19)$$

formülüyle bulunur.

3.6.3. Teorik ve deneysel sonuçların karşılaştırılması

Şekil 3.25’de 14.8.1995 tarihinde yapılan deneyde elde edilen su miktarının deneysel ve teorik karşılaştırılması görülmektedir. Deney sonuçları E.1’de verilmiştir.



Şekil 3.25. Deneysel ve teorik sonuçların karşılaştırılması

4.0. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. DENEY SİSTEMİ

TÜBİTAK-MAM Enerji Sistemleri Bölümünde iki adet basit havuz tipi damıtıcı tasarlanarak imal edilmiştir (Şekil 4.1). Damıtıcı malzemesi olarak 1.2 mm'lik sac kullanılmıştır. Damıtıcının havuz tabanı 1.28 m boyunda ve 0.75 m enindedir. Damıtıcıların, tabanı ve yan yüzeylerinin içi, deniz suyuna dayanıklı siyah mat boya ile boyanmış, dış kısımları ise 8 cm kalınlığında cam yünü ile izole edilerek konveksiyon yolu ile ısı kaybının en aza indirilmesi sağlanmıştır. Tüm sistemin boru bağlantılarının izolasyonu yapılarak, borulardan olan ısı kaybı minimuma indirilmiştir. Onbeş derecelik açı yapan cam örtü 1.34 m boyunda ve 0.75 m eninde olup alanı 1 m² dir. Tahliye çıkışına, damıtıcı içerisindeki suyun seviyesini ölçmek için derecelendirilmiş bir cam boru takılmıştır. Deney süresince sıcaklık ölçümleri için kromel alüminel termo çiftler kullanılmış ve bilgisayara kaydedilmiştir. Ayrıca güneş ışınımı ölçümü için Epley marka piranometre kullanılmıştır.



Şekil 4.1. TÜBİTAK-MAM'nde imal edilmiş iki adet havuz tip damıtıcı

4.2. DENEY YÖNTEMİ

Deneyisel çalışmalar iki grupta yapılmıştır. Birinci grupta kirli suların damıtılması, ikinci grupta ise deniz suyunun damıtılmasında çıkan su miktarı incelenmiştir.

4.2.1. Kirli suların damıtılması

Kirli suların damıtılmasında dört farklı tip kirli su üzerinde deneyler yapılmıştır. Bunlar;

- a) Evsel atık su: Bu çalışmada ön arıtmadan geçirilen ve içinde çok küçük katı partiküller bulunan evsel atık su damıtılmıştır. Deneyin başlangıcında damıtıcı içinde bulunan evsel atık suyun ve deneyin sonunda ise damıtılmış suyun mikrobiyolojik analizleri yapılmıştır.
- b) Deniz suyu: TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi'ne ait plajdan alınan deniz suyu damıtılmıştır. Damıtmadan önceki deniz suyunun ve damıtılmış suyun mikrobiyolojik analizi yapılmıştır.
- c) *E.Coli* aşılı su: 5 litre suya 3×10^4 adet/ml *E.Coli* aşılansmış ve damıtıcı içerisine koyulmuştur. İki adet damıtıcı içinden alınan suyun ve üç adet damıtılmış suyun mikrobiyolojik analizi yapılmıştır. Damıtıcı içinden su örneği deneyin başlangıcında ve sonunda, damıtılmış su ise deneyin başlangıcında, ortasında ve sonunda alınmıştır.
- d) Fabrika atık suları: 8 adet fabrika arıtım tesisi çıkışından ve 2 adet fabrika atıklarının atıldığı İzmit bölgesinde bulunan Doğu kanalı ve Dil deresinden alınan örnekler damıtılmış ve besin maddelerinin (silikat, nitrat, fosfat ve toplam azot) analizleri yapılmıştır.

Mikrobiyolojik analizler için su örnekleri, 100 ml'lik steril koyu renkli şişelere alınmıştır. Koliform bakterilerin sayımı en muhtemel sayı (EMS) yöntemi ile yapılmıştır. Evsel atıkların analizinde, besi yeri olarak Lauryl Sulphate Tryptose Broth (LST), Levine's Eosin Methylene Blue Agar (L-EMB) ve EC Broth, deniz suyunun ve *E.Coli* aşılı suyu analizinde ise besi yeri olarak Lauryl Sulphate Tryptose Broth (LST), Brilliant Green Lactose (BGL) ve EC Broth kullanılmıştır.

Besin elementlerinin (Silikat, Nitrat ve Fosfat) ölçümü Technicon AII Model oto analizör kullanılarak kolorimetrik yöntemlerle ölçülmüştür. Toplam azot asidik ortamda yakılarak Technicon AII Model oto analizörde ölçülmüştür.

4.2.2. Basit havuz tipi damıtıcıdan çıkan su miktarını arttırmak için yapılan çalışmalar

4.2.2.1. Damıtıcının doğal dolaşım ile çalıştırılması

Damıtıcılardan bir tanesine 250 litrelik iyi izole edilmiş bir depo ve 0.8 cm iç çaplı 10 adet 1.24 m uzunluğunda siyaha boyanmış bakır borudan oluşan ısı değiştirici bağlanmıştır. Bu ısı değiştirici içindeki su, iki adet düz güneş kolektörü ile ısıtılmaktadır. Isı değiştiriciler, kolektörden gelen sıcak su ile damıtıcı içindeki tuzlu suyun ısıtılmasını sağlamaktadır. Şekil 4.2'de görüldüğü gibi damıtıcı, depo ve kolektörden daha üst konuma yerleştirilmiştir. Bu yerleşimin amacı, kolektörde ısınan suyun depoya, depoda toplanan sıcak suyun da ısı değiştiricisine doğal dolaşım ile taşınmasını sağlamaktır. Deney süresince sistem üzerinden 10 noktadan ölçüm yapılmıştır. Bunlar, damıtıcı içinde deniz suyu sıcaklığı, cam örtü ile deniz suyu arasındaki damıtıcı içi ortam sıcaklığı, cam iç yüzey sıcaklığı, ısı değiştirici giriş suyu ve çıkış suyu sıcaklığı, çevre sıcaklığı ve cam örtü üstüne düşen güneş ışıdır. Diğer damıtıcıda ise damıtıcı içinde deniz suyu sıcaklığı, cam örtü ile deniz suyu arasındaki damıtıcı içi ortam sıcaklığı, cam iç yüzey sıcaklığı ölçülmüştür.



Şekil 4.2. Doğal dolaşımli damıtıcı

4.2.2.2. Absorber yüzeyi olarak çakıl taşının kullanılması

İki damıtıcıdan bir tanesinin tabanına siyaha boyanmış çakıl taşları yerleştirilmiş, diğer damıtıcının içi boş bırakılmış ve her iki damıtıcının içine 13 litre su koyulmuştur. Deney süresince damıtıcılarda 8 noktadan ölçüm yapılmıştır. Bunlar, damıtıcı içindeki deniz suyu sıcaklığı, cam örtü ile deniz suyu arasındaki damıtıcı içi ortam sıcaklığı, cam iç yüzey sıcaklığı, çevre sıcaklığı ve cam örtü üstüne düşen güneş ışınımıdır.

4.2.2.3. Damıtıcıdaki su seviyesinin çıkan su miktarına etkisi

Damıtıcıların bir tanesine 1 cm yüksekliğinde, diğer damıtıcıya ise sırasıyla 2, 3 ve 4 cm yüksekliğinde su doldurulmuştur. Deney süresince her iki damıtıcıda da 8 noktadan ölçüm yapılmıştır. Bunlar, damıtıcı içindeki deniz suyu sıcaklığı, cam örtü ile deniz suyu arasındaki damıtıcı içi ortam sıcaklığı, cam iç yüzey sıcaklığı, çevre sıcaklığı ve cam örtü üstüne düşen güneş ışınımıdır.

4.3. DENEY SONUÇLARI

4.3.1. Kirli suların damıtılması

4.3.1.1. Evsel atık suların damıtılması

Deney başlangıcında, damıtıcı içinde bulunan suyun analizi yapılmış ve içinde 460 adet/100 ml fekal kaynaklı koliform bakteri ve 306 adet/100 ml aerob bakteri bulunmuştur. Deney sonunda ise damıtılmış sudan alınan örnek üzerinde yapılan analizde ise koliform ve bakteri bulunamamıştır. Deney sonuçları Tablo 4.1'de görülmektedir.

Tablo 4.1. Evsel atık analiz sonuçları

	Aerob bakteri/100 ml	Koliform bakteri/100 ml	Toplam sertlik (FS°)	pH
Damıtılmış evsel atık	0	0	1.6	7.8
Damıtılmamış evsel atık	306	460 (fokal kaynaklı)	ölçülmedi	ölçülmedi

Gıda maddeleri tüzüğü'nün 425. maddesinin ilgili hükümlerine ve T.S. 266'ya göre içme ve kullanma suyundeki sınır değerleri; aerob bakteri 1 ml'de 500'den fazla olmayacak, koliform bakteri 100 ml'de 0 olacak, toplam sertlik (Fransız sertlik derecesi) 50, pH 6.5-9.2 arasında olacaktır.

4.3.1.2. Deniz suyunun damıtılması

19.7.1995 tarihinde TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi'ne ait plajdan alınan deniz suyunun analizi yapılmış ve 100 ml'de 1100'ün üzerinde koliform bakteri ve 500'ün üzerinde aerob bakteri bulunmuştur. Damıtma sonunda ise yapılan analiz sonucunda aerob bakteri miktarı 500'ün üzerinde koliform bakteri ise çıkmamıştır. Deniz suyunun tuz miktarını belirlemek için yapılan analizde, deniz suyu 26360 mg/l tuz bulunmuştur. Damıtılmış suda ise tuz çıkmamıştır.

Deney sonuçları Tablo 4.2'de görülmektedir.

Tablo 4.2. Deniz suyunun analiz sonuçları

	Aerob bakteri/100 ml	Koliform bakteri/100 ml	Toplam sertlik (FS°)	pH
Damıtılmış deniz suyu	500'ün üzeri	0	---	---
Damıtılmamış deniz suyu	500'ün üzeri	1100'ün üzeri	---	---

4.3.1.3. Koli aşıllı suyun damıtılması

Deneyin başlangıcında damıtıcı içinden alınan numunenin analizinde 3×10^8 adet/l *E.Coli* olduğu görülmüştür. Damıtılmış sulardan ve deneyin sonunda damıtıcı içinden alınan suların analizinde *E.coli*'ye rastlanmamıştır. Deney sonuçları Tablo E.2'de verilmiştir.

4.3.1.4. Fabrika atık sularının damıtılması

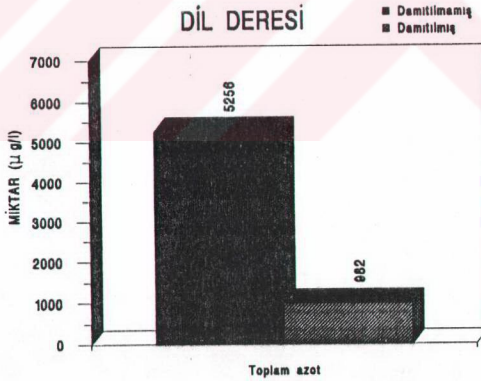
Tablo 4.3'de sekiz adet fabrikanın arıtma çıkışı ve iki adet dereden alınan numunelerin damıtılmadan önceki analiz sonuçları, Tablo 4.4'de ise damıtılmış numunelerin analiz sonuçları görülmektedir. Şekil 4.3-4.12'de ise damıtılmış ve damıtılmamış numunelerin analiz sonuçlarının karşılaştırılması görülmektedir.

Tablo 4.3. Damıtılmamış numunelerin analiz sonuçları

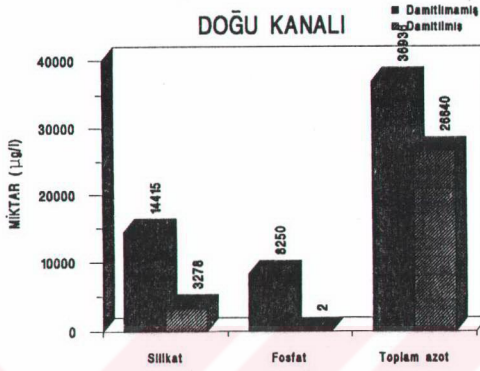
	Silikat (µg/l)	Nitrat (µg/l)	Fosfat (µg/l)	Toplam azot (µg/l)
Hereke Sümerbank	4066	213	12	4690
Tüpraş	4388	3825	766	3380
Petkim	4429	726	386	3074
İgşaş üre	1151	1124	375	31062
Doğu kanalı	14415	305	8250	36936
Petrol Ofisi	2895	196	9	856
Koruma Tarım	8769	2776	14	7428
Shell	4413	258	11	1536
Seka	3228	831	663	1212
Dil deresi	6579	2347	13	5256

Tablo 4.4. Damıtılmış numunelerin analiz sonuçları

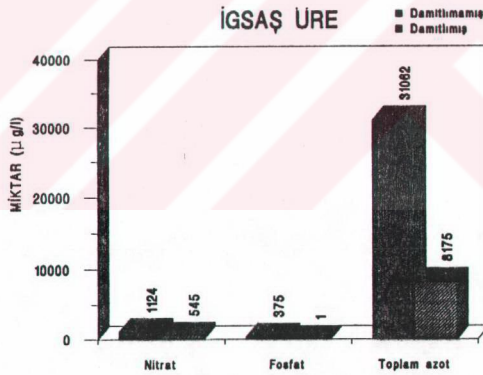
	Silikat ($\mu\text{g/l}$)	Nitrat ($\mu\text{g/l}$)	Fosfat ($\mu\text{g/l}$)	Toplam azot ($\mu\text{g/l}$)
Hereke Sümerbank	2228	43	3.3	2886
Tüpraş	409	72	1.1	910
Petkim	1975	101	1.1	2387
İgşaş üre	3772	545	1.1	8175
Doğu kanalı	3278	718	2.2	26640
Petrol Ofisi	1359	239	2.2	1554
Koruma Tarım	891	265	0.6	1299
Shell	1176	251	1.1	511
Seka	---	246	1.1	333
Dil deresi	---	---	---	982



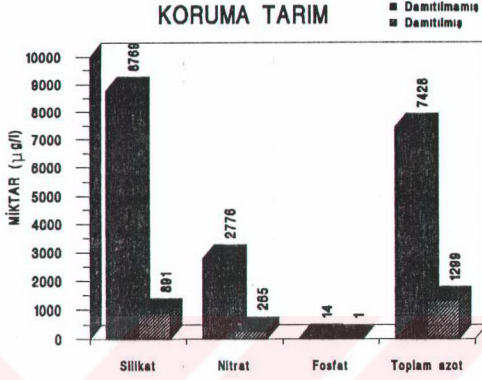
Şekil 4.3. Dil deresine ait analiz sonuçlarının karşılaştırılması



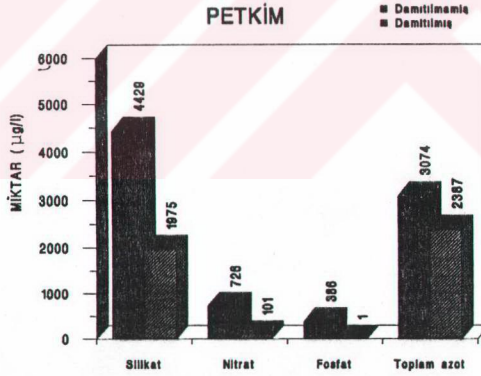
Şekil 4.4. Doğu kanalına ait analiz sonuçlarının karşılaştırılması



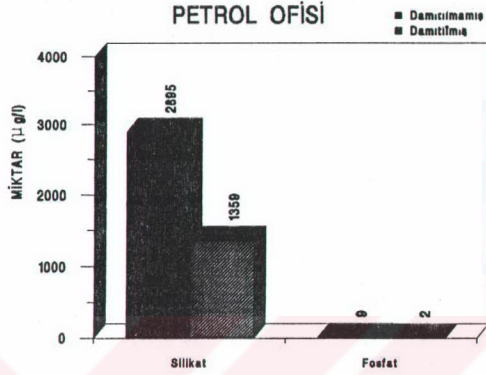
Şekil 4.5. İğsaş'a ait analiz sonuçlarının karşılaştırılması



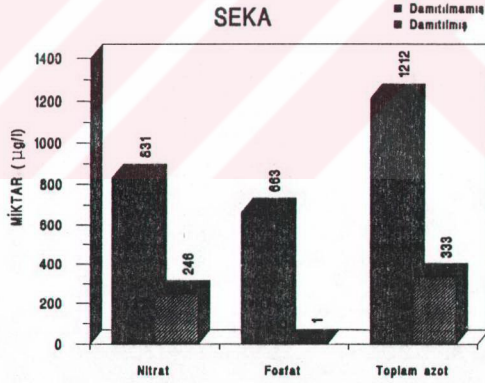
Şekil 4.6. Koruma Tarım'a ait analiz sonuçlarının karşılaştırılması



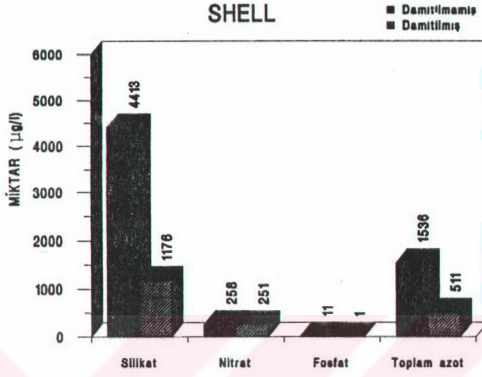
Şekil 4.7. Petkim'e ait analiz sonuçlarının karşılaştırılması



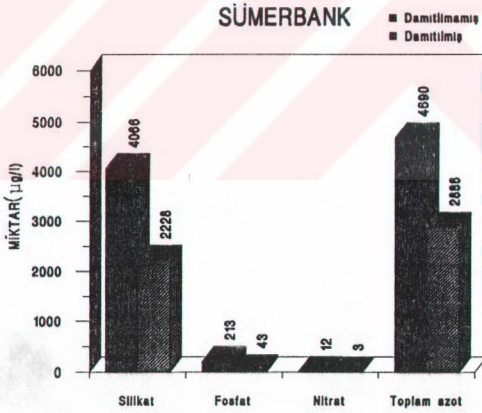
Şekil 4.8. Petrol Ofisi'ne ait analiz sonuçlarının karşılaştırılması



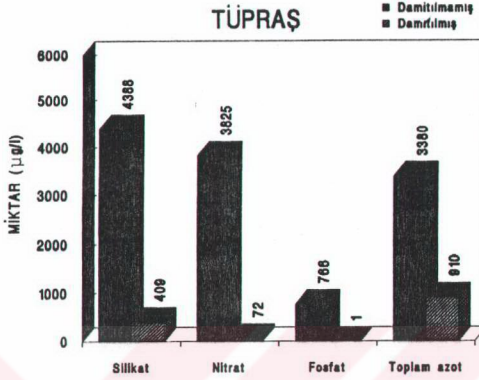
Şekil 4.9. Seka'ya ait analiz sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 4.10. Shell'e ait analiz sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 4.11. Sümerbank'a ait analiz sonuçlarının karşılaştırılması

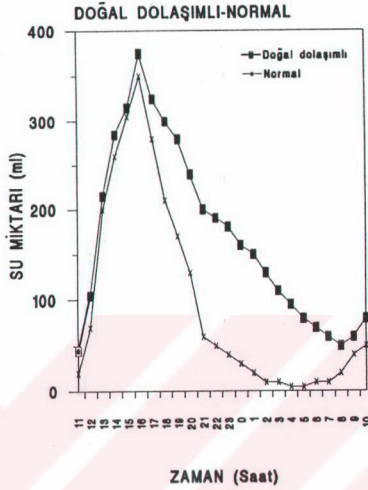


Şekil 4.12. Tüpraş'a ait analiz sonuçlarının karşılaştırılması

4.3.2. Basit havuz tipi damıtıcıdan çıkan su miktarını arttırmak için yapılan çalışmalar

4.3.2.1. Damıtıcının doğal dolaşım ile çalıştırılması

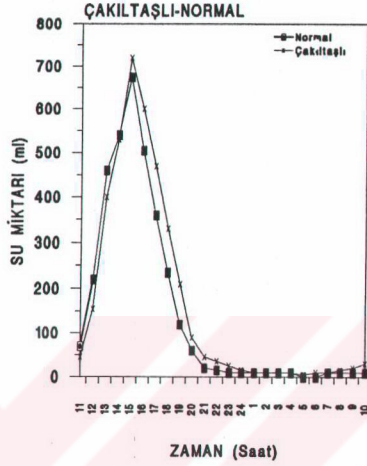
15.9.1995 günü yapılan deneyde, normal ve doğal dolaşimli damıtıcılara ait zamana bağlı olarak elde edilen tatlı su miktarlarının günlük değişimleri Şekil 4.13'de görülmektedir. Normal damıtıcıda 24 saat içinde elde edilen su miktarı 2355 mililitre, doğal dolaşimli damıtıcıda ise bu miktar 4100 mililitredir. Su miktarındaki artış doğal dolaşimli sistemde 1.74 kat fazladır. Güneşin batış ve doğuş saatleri olan 18.00 ile 06.00 arasında çıkan su miktarı normal damıtıcıda 540 mililitre, doğal dolaşimli damıtıcıda ise 1885 mililitredir. Güneşin etkili olmadığı bu zaman aralığında ise su miktarındaki artış doğal dolaşimli damıtıcıda 3.49 kat daha fazladır. Deney sonuçları Tablo E.3'de verilmiştir.



Şekil 4.13. Normal ve doğal dolaşimli damıtıcıdan elde edilen su miktarlarının karşılaştırılması

4.3.2.2. Absorber yüzeyi olarak çakıl taşının kullanılması

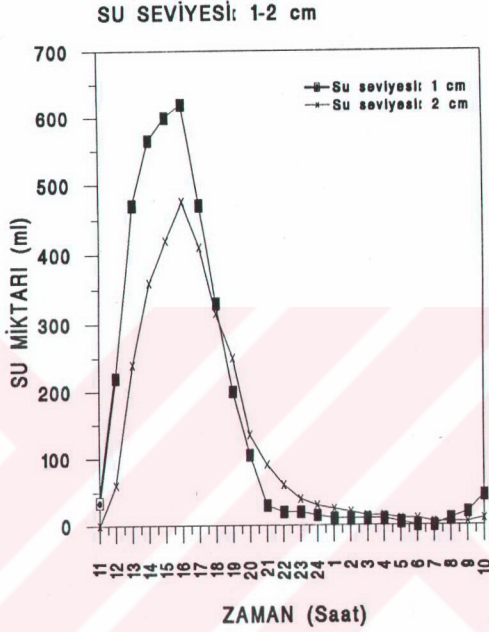
25.8.1995 günü yapılan deneyde, normal ve çakıllaştırılmış damıtıcılara ait zamana bağlı olarak elde edilen tatlı su miktarlarının günlük değişimleri Şekil 4.14'de görülmektedir. Normal damıtıcıda 24 saat içinde elde edilen su miktarı 3380 mililitre, çakıllaştırılmış damıtıcıda ise bu miktar 3800 mililitredir. Su miktarındaki artış çakıllaştırılmış sistemde 1.12 kat fazladır. Güneşin batış ve doğuş saatleri olan 18.00 ile 06.00 arasında çıkan su miktarı normal damıtıcıda 510 mililitre, çakıllaştırılmış damıtıcıda ise 805 mililitredir. Güneşin etkili olmadığı bu zaman aralığında ise su miktarındaki artış çakıllaştırılmış damıtıcıda 1.57 kat daha fazladır. Deney sonuçları Tablo E.4'de verilmiştir.



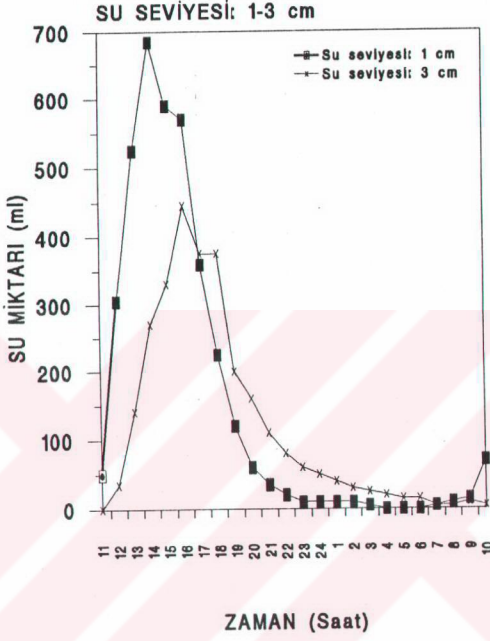
Şekil 4.14. Normal ve çakıltaşlı damıtıcıdan elde edilen su miktarlarının karşılaştırılması

4.3.2.3. Damıtıcıdaki su seviyesinin çıkan su miktarına etkisi

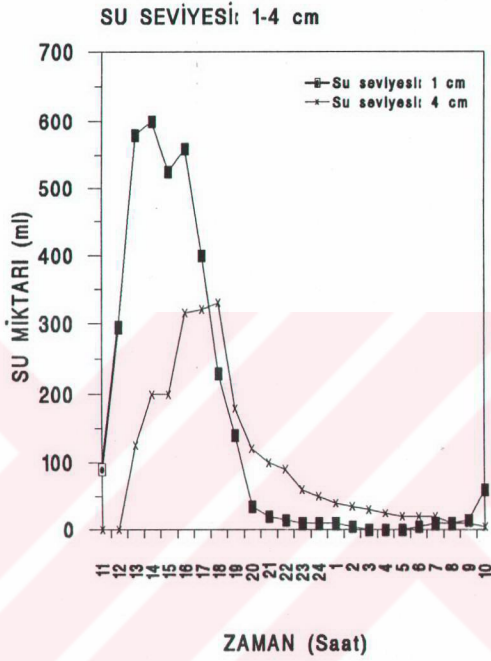
8.8.1995 tarihinde yapılan deneyde damıtıcıların bir tanesinin içinde 1 cm diğerinde 2 cm, 9.8.1995 tarihinde yapılan deneyde damıtıcıların bir tanesinin içinde 1 cm diğerinde 3 cm, 14.8.1995 tarihinde yapılan deneyde damıtıcıların bir tanesinin içinde 1 cm diğerinde 4 cm su bulunmaktadır. Şekil 4.15-17'den de görüldüğü gibi 1 cm su seviyesi olan damıtıcıdan daha çok damıtılmış su elde edilmiştir. Deney sonuçları Tablo E.5-E.7'de verilmiştir.



Şekil 4.15. 1-2 cm'lik su seviyesine göre elde edilen su miktarlarının karşılaştırılması



Şekil 4.16. 1-3 cm'lik su seviyesine göre elde edilen su miktarlarının karşılaştırılması



Şekil 4.17. 1-4 cm'lik su seviyesine göre elde edilen su miktarlarının karşılaştırılması

5.0. SONUÇLAR

Kirli suların damıtılması ile ilgili yapılan deneyler sonucunda damıtılmış suda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Evsel atık sularda fekal kaynaklı koliform ve aerob bakteriye rastlanmamıştır.
2. Evsel ve endüstri atık sularda koku kalmamıştır.
3. Evsel ve endüstriyel atık sularda renk berraktır.
4. Endüstriyel atık sularda yapılan silikat, nitrat, fosfat ve toplam azot miktarlarında azalma olmuştur.
5. *E.Coli* aşılı suda, damıtılmış su analizlerinde *E.coli*'ye rastlanmamıştır.
6. Deniz suyunun mikrobiyolojik analizinde 1100 adet/litre nin üzerindeki koliform bakteri miktarı damıtma sonunda sifıra düşmüştür.
7. Deniz suyunun damıtılması sonunda, damıtılmış suda tuz çıkmamıştır.

Deniz suyunun damıtılmasında çıkan su miktarını artırmak için yapılan çalışmalarda

1. Doğal dolaşimli ve depolu sistemde elde edilen damıtılmış su miktarı 1.74 kat artmıştır.
2. Damıtıcının tabanına çakıl taşı yerleştirilerek yapılan deneyde, çakıltaşı damıtıcıda elde edilen su miktarı 1.12 kat artmıştır.
3. Damıtıcı içerisindeki su seviyesine göre yapılan deneylerde (1, 2 ve 3cm için) çıkan damıtılmış su miktarının, düşük seviyelerde daha çok olduğu görülmüştür. Çünkü su seviyesi düştükçe, su sıcaklığı artmaktadır. Bu da damıtılmış su miktarını artırmaktadır.

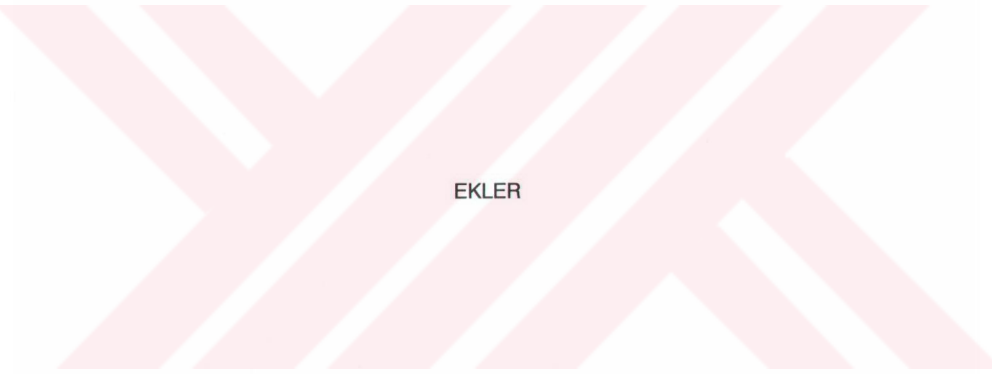
KAYNAKLAR

- 1- Aksoğan S., Gölhan M., (1976), Suların arıtılması, Cilt 3, İstanbul
- 2- Al-Karaghoulı A.A., Minasian A.N., (1995), A floating-wick type solar still, Renewable Energy, 6: 77-79
- 3- Al Mahdi N., (1992), Performance prediction of a multi-basin solar still, Energy 17: 87-93
- 4- Akinsete V.A. ve Duru C.U., (1979), A cheap method of improving the performance of roof type solar stills, Solar Energy, 23: 271-272
- 5- Arceivala S.J., (1981), Wastewater treatment and disposal, Pollution engineering and technology: 15, Marcel Dekker Inc., New York
- 6- Assoud Y. ve Lavan Z., (1988), Solar desalination with latent heat recovery, Journal of Solar Energy Engineering, 110: 14-16
- 7- Azad H.S., (1976), Industrial wastewater management handbook, Mc Graw-Hill Book Company, New York
- 8- Baykut F., Aydın A., ve Baykut S., (1987), Çevre sorunları ve koruma, İ.Ü. Yayın No: 3443, Müh. Fak. No: 73, İstanbul
- 9- Benedict A.H., (1980), Gıda endüstrileri, III. Atık su tanımlama ve arıtma kursu, Su kirliliğinde temel kavramlar, Editör: Curi K., Velioğlu S.G., Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul
- 10- Benedict A.H., (1980), Kağıt ve kağıt hamuru endüstrileri, III. Atık su tanımlama ve arıtma kursu, Su kirliliğinde temel kavramlar, Editör: Curi K., Velioğlu S.G., Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul
- 11- Boelter L.M.K., Cherry V.H., Johnson H.A. and Martinelli R.C., (1965), Heat transfer notes, Mc Graw Hill, New York
- 12- Curi K., (1980), Atık su tasfiye tesislerine genel bakış, III. Atık su tanımlama ve arıtma kursu, arıtma sistemlerinin tasarımı, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul
- 13- Çiler M., (1980), Deri sanayinde kullanılan arıtım sistemleri, III. Atık su tanımlama ve arıtma kursu, Su kirliliğinde temel kavramlar, Editör: Curi K., Velioğlu S.G., Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul
- 14- Çiler M., (1980), Mayalama endüstrisi, III. Atık su tanımlama ve arıtma kursu, Su kirliliğinde temel kavramlar, Editör: Curi K., Velioğlu S.G., Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul
- 15- Delyannis A ve Delyannis E., (1983), Recent solar distillation developments, Desalination, 45: 361- 369

- 16- Devlet Su İşletmeleri Genel Müdürlüğü (DSİ), (1978), Su kirlenmesi ve denetimi, Ankara
- 17- Dumlu G., (1980), Tarım koruma endüstrisi atıklarının arıtılması, III. Atık su tanımlama ve arıtma kursu, Su kirliliğinde temel kavramlar, Editör: Curi K., Veliöğlu S.G., Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul
- 18- Dumlu G., (1979), Kirli sular ve analiz metodları, DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara
- 19- Dunkle R.V., Solar water distillation. The roof-type still and a multiple-effect diffusion still, Int.Der. Heat Transfer, ASME, 895-902
- 20- Dunn P.D., (1986), Renewable Energies, Permagon Press
- 21- Dutt D.K., Rai S.N. and Tiwari G.N., (1988), Thermal modelling of a high temperature distillation, Energy Conversion Management, 28: 151-159
- 22- Eibling J.A., Talbert S.G., Löf G.O.G., (1971), Solar stills for community use-digest of technology, Solar Energy, 13: 263-276
- 23- Frick G., Sommerfeld J.V., (1973), Solar still of an inclined evaporating cloth, Solar Energy, 14: 427-431
- 24- Gönenç E., (1980), Rafineriler ve petrokimya endüstrileri, III. Atık su tanımlama ve arıtma kursu, Su kirliliğinde temel kavramlar, Editör: Curi K., Veliöğlu S.G., Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul
- 25- Gönenç E., (1980), Tekstil endüstrisi, III. Atık su tanımlama ve arıtma kursu, Su kirliliğinde temel kavramlar, Editör: Curi K., Veliöğlu S.G., Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul
- 26- Hammad M.A., (1993), Flash vapor solar powered desalination unit optimization study, Renewable Energy, 3: 591-597
- 27- Howe E., Tleiment B.W., (1977), Fundamentals of Water Desalination, (Solar Energy Engineering, edited by A.A.M.Sayigh), Academic Press, New York
- 28- İlhan R., Kumaş boyaları ve ara ürünleri endüstrisi, (1980), III. Atık su tanımlama ve arıtma kursu, Su kirliliğinde temel kavramlar, Editör: Curi K., Veliöğlu S.G., Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul
- 29- Kumar A., Singh M., (1989), Transient performance of a double-basin solar still integrated with a heat exchanger, Energy 14: 643-652
- 30- Muslu Y., (1967), Pis su tasfiyesinin prensipleri, İTÜ kütüphanesi Sayı: 692, İstanbul
- 31- Muslu Y., (1985), Su temini ve çevre sağlığı, İTÜ kütüphanesi Sayı: 1314, İstanbul
- 32- Nijegorodov N., Jain P.K., Carlsson S., (1994), Thermal-electrical, high efficiency solar stills, Renewable Energy, 4: 123-127

- 33- Orhon D., Arıtma sistemlerinin tanımlanmasında temel kavramlar, (1980), III. Atık su tanımlama ve arıtma kursu, Su kirliliğinde temel kavramlar, Editör: Curi K., Velioğlu S.G., Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul
- 34- Orhon D., Biyolojik arıtma, (1980), III. Atık su tanımlama ve arıtma kursu, Su kirliliğinde temel kavramlar, Editör: Curi K., Velioğlu S.G., Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul
- 35- Orhon D., Fiziksel arıtma, (1980), III. Atık su tanımlama ve arıtma kursu, Su kirliliğinde temel kavramlar, Editör: Curi K., Velioğlu S.G., Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul
- 36- Orhon D., (1980), Yöntem seçiminde genel esaslar, III. Atık su tanımlama ve arıtma kursu, Su kirliliğinde temel kavramlar, Editör: Curi K., Velioğlu S.G., Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul
- 37- Rai S.N., Tiwari G.N., (1983), Single basin solar still coupled with flat plate solar collector, Energy Conversion Management, 23: 145-149
- 38- Soliman H.S., (1976), Solar still coupled with a solar water heater, Mosul University, Mosul, Iraq
- 39- Sodha M.S., Adikari R.S. and Kumar A., (1990), Techno-economic model of a solar still with a solar flat-plate collector, Int. J. of Energy Research 14: 533-552
- 40- Talbert S.G., Eibling J.A. and Löf G.O.G., (1970), Manual on solar distillation of saline water, office of saline water, US Department of the Interior, Research and Development Report No. 546
- 41- Tanaka K., Yamashita A. and Watanabe K., (1982), Experimental and analytical study of the tilted wick type solar still, Solar World Forum, V.2, Pergamon Press, Oxford, 1982
- 42- Timur A., Seramik endüstrisi, (1980), III. Atık su tanımlama ve arıtma kursu, Su kirliliğinde temel kavramlar, Editör: Curi K., Velioğlu S.G., Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul
- 43- Tivari G., Sharma S., and Sodha M., (1984), Performance of a double condensing multiple wick solar still, Energy Conversion Management, 24: 155-159
- 44- Tleimat B.W., (1978), Development and Transfer of Technology Series No.5, United Nations, New York
- 45- TSE, (1984), İçme suları, TSE 266, Ankara
- 46- Tünay O., Deterjan endüstrileri, (1980), III. Atık su tanımlama ve arıtma kursu, Su kirliliğinde temel kavramlar, Editör: Curi K., Velioğlu S.G., Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul
- 47- Tünay O., İleri arıtma, (1980), III. Atık su tanımlama ve arıtma kursu, Su kirliliğinde temel kavramlar, Editör: Curi K., Velioğlu S.G., Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul

- 48- Tünay O., Kimyasal arıtma, (1980), III. Atık su tanımlama ve arıtma kursu, Su kirliliğinde temel kavramlar, Editör: Curi K., Velioğlu S.G., Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul
- 49- Tünay O., Yağ endüstrileri, (1980), III. Atık su tanımlama ve arıtma kursu, Su kirliliğinde temel kavramlar, Editör: Curi K., Velioğlu S.G., Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul
- 50- Velioğlu S.G., (1980), Çamur tasfiye ve uzaklaştırma işlemleri, III. Atık su tanımlama ve arıtma kursu, Su kirliliğinde temel kavramlar, Editör: Curi K., Velioğlu S.G., Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul
- 51- Yadav Y.P., Kumar A., and Tiwari G.N., (1988), Single basin solar still coupled to flat plate collector, Reg.J.Energy Heat Mass Transfer, 18: 191-203
- 52- Yadav Y.P., Jha L.K., (1989), A double-basin solar still coupled to a collector and operating in the thermosiphon mode, Energy 14: 653-659

A decorative horizontal band consisting of multiple parallel diagonal stripes in a light pink color against a white background.

EKLER

Tablo E.1. Deneyssel ve teorik sonuçların karşılaştırıldığı deneyin sonuçları

SAAT	İŞİNİM ($\text{kJ/m}^2\text{h}$)	Çevre sic. ($^{\circ}\text{C}$)	Cam iç yüzey sic. ($^{\circ}\text{C}$)	Su sic. ($^{\circ}\text{C}$)	Su miktarı (ml) (Deneyssel)	Su miktarı (ml) (Teorik)
10.00		22.5	30.7	30.7	0	0
11.00	2711	23.5	40.3	45.1	90	93
12.00	3193	25.6	52.8	59.6	295	291
13.00	3402	26.6	59.4	67.3	580	504
14.00	3377	26.6	60.5	69.7	600	673
15.00	3222	27.6	63.1	70.8	525	578
16.00	2754	26.8	58.5	66.5	560	563
17.00	2131	26.4	51.2	59.9	400	393
18.00	1440	24.6	42.0	50.2	230	220
19.00	60	22.7	30.5	39.4	140	144
20.00	19	21.2	24.3	28.9	35	38
21.00	0	20.5	24.2	27.5	20	24
22.00	0	20.2	23.9	26.2	15	14
23.00	0	19.6	23.7	25.4	10	9
00.00	0	19.1	22.8	24.6	10	9
01.00	0	18.7	22.6	23.9	10	6
02.00	0	18.5	22.8	23.8	5	4
03.00	0	18.1	22.7	23.6	0	4
04.00	0	18.9	22.3	22.9	0	2
05.00	0	18.8	22.6	23.0	0	1
06.00	42	18.3	22.9	23.2	5	0
07.00	439	20.8	24.0	24.0	10	0
08.00	1109	23.4	27.2	27.9	10	3
09.00	1140	24.4	27.5	29.6	15	16
10.00	1804	24.8	42.7	45.6	60	51

Tablo E.2. *E.Coli* aşılı deneyin sonuçları

Saat	Işınım (W/m ²)	Çevre sıcaklığı (°C)	Cam iç yüzey sıcaklığı (°C)	Damıtıcı içi ortam sıcaklığı (°C)	Damıtıcı içi su sıcaklığı (°C)
09.30	525	25	31	32	31
10.00	721	26	49	51	43
10.30	862	27	56	59	51
11.00	835	27	57	60	58
11.30	918	28	68	69	65
12.00	971	30	73	74	70
12.30	959	30	74	76	73
13.00	967	30	72	77	75
13.30	977	29	70	78	75
14.00	955	29	64	77	72
14.30	918	29	65	75	72
15.00	846	28	70	73	70
15.30	765	28	68	71	67
16.00	691	28	64	68	65
16.30	625	27	64	66	62

Tablo E.3. Doğal dolaşimli ve normal damuticıların karşılaştırıldığı deneyin sonuçları

SAAT	İSİNİM (Damıt.) ($\text{kg}/\text{m}^2\text{h}$)	İSİNİM (Koll.) ($\text{kg}/\text{m}^2\text{h}$)	Çevre sic. (°C)	Eşanjör giriş sic. (°C)	Eşanjör çıkış sic. (°C)	KOLL Giriş sic. (°C)	KOLL Çıkış sic. (°C)	Cam sıcaklığı (°C) (Doğal)	Cam sıcaklığı (°C) (Normal)	Damıtıcı içi ortam sic. (°C) (Doğal)	Damıtıcı içi ortam sic. (°C) (Normal)	Damıtıcı içi su sic. (°C) (Doğal)	Damıtıcı içi su sic. (°C) (Normal)	Su miktarı (ml) (Doğal)	Su miktarı (ml) (Boş)
10.00	2952	3312	31.2	39.7	32.9	32.4	40.1	53.5	50.1	47.1	56.1	43.7	38.2	0	0
11.00	3182	3445	31.0	39.0	34.1	32.5	39.9	56.2	54.6	50.1	58.8	45.9	41.3	45	20
12.00	3175	3341	32.4	49.1	44.5	41.6	47.8	59.5	56.3	61.8	61.4	53.0	51.4	105	70
13.00	2909	2938	31.7	55.0	50.6	47.1	53.3	58.9	55.0	63.8	63.4	59.1	57.9	215	200
14.00	2265	2228	31.1	57.5	52.8	50.3	54.4	61.5	55.7	67.9	65.8	61.6	61.1	285	260
15.00	1696	1454	30.3	58.7	57.9	52.4	56.1	60.7	50.9	69.2	65.1	62.5	61.6	315	305
16.00	932	716	29.2	59.4	57.6	52.9	55.4	58.7	48.9	68.8	62.5	61.9	59.7	375	350
17.00	230	151	28.2	58.9	55.2	47.7	49.3	53.5	43.1	63.0	55.5	59.0	55.3	325	280
18.00	7	7	26.9	58.1	53.3	40.3	40.9	49.8	39.5	55.3	47.2	57.3	51.0	300	210
19.00	0	0	25.6	60.6	53.0	37.1	44.3	44.3	34.8	49.9	41.5	55.9	46.8	280	170
20.00	0	0	24.8	59.6	51.0	31.9	41.4	44.3	32.0	49.2	37.5	54.8	42.4	240	130
21.00	0	0	24.4	56.1	49.1	29.5	38.6	43.5	30.0	48.3	34.6	53.4	38.8	200	60
22.00	0	0	24.2	53.4	47.3	28.7	37.5	42.4	28.7	47.2	32.5	51.7	36.5	190	50
23.00	0	0	23.8	52.1	46.3	28.4	37.3	39.9	28.0	44.2	31.2	49.3	34.8	180	40
00.00	0	0	23.3	50.5	45.0	28.4	36.7	38.7	27.1	42.9	30.1	47.6	33.6	160	30
01.00	0	0	22.7	49.1	43.6	28.2	36.2	37.5	26.7	41.7	29.3	46.5	32.3	150	20
02.00	0	0	22.6	48.7	43.2	28.1	35.7	36.5	26.0	41.0	28.4	45.4	31.3	130	10
03.00	0	0	22.2	48.1	42.2	27.9	35.1	35.6	26.2	39.3	27.9	44.7	30.1	110	10
04.00	0	0	22.1	46.9	41.3	28.2	34.8	34.6	25.4	38.6	27.1	43.3	29.3	95	5
05.00	0	0	21.6	45.7	40.9	27.9	34.6	33.7	24.7	37.4	26.5	42.2	28.8	80	5
06.00	0	0	21.3	44.6	39.6	27.6	34.1	33.0	24.4	36.5	26.0	41.2	28.1	70	10
07.00	14	11	21.2	43.9	38.8	27.3	33.4	32.5	25.1	35.4	26.1	40.1	27.7	60	10
08.00	130	108	22.6	39.5	35.0	27.9	31.2	37.0	31.4	38.5	30.8	39.6	27.9	50	20
09.00	997	1170	27.4	38.3	34.6	35.1	35.5	43.0	39.3	42.2	44.3	41.1	31.1	60	40
10.00	1926	2344	28.9	42.9	38.4	35.0	42.0	49.3	44.4	46.5	52.3	44.5	37.9	80	50

Tablo E.4. Çakıllaş ve normal damutcların karşılaştırdığı deneyin sonuçları

SAAT	İŞİNİM ($\text{kg/m}^2\text{h}$)	Çare Sıc. ($^{\circ}\text{C}$)	Cam iç yüzey sıc. ($^{\circ}\text{C}$) (Normal)	Cam iç yüzey sıc. ($^{\circ}\text{C}$) (Çakıllaş)	Damıtıcı içi ortam sıcak. (Normal)	Damıtıcı içi ortam sıcak. (Çakıllaş)	Su Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$) (Normal)	Su Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$) (Çakıllaş)	Su Miktarı (ml) (Normal)	Su Miktarı (ml) (Çakıllaş)
10.00		26.5	47.1	45.2	45.5	39.4	34.9	29.7	0	0
11.00	2743	28.2	68.9	59.0	57.9	57.6	51.4	42.0	70	45
12.00	3132	29.4	61.3	64.5	69.3	67.7	62.7	55.9	220	155
13.00	3370	28.8	70.3	71.1	75.3	74.4	70.3	66.7	460	400
14.00	3442	30.1	71.9	73.9	76.0	73.5	80.5	81.6	540	530
15.00	3222	29.4	75.1	68.8	73.5	74.6	77.4	80.5	675	720
16.00	2650	28.3	68.4	61.8	66.2	69.4	69.5	73.6	505	600
17.00	4604	27.2	60.0	53.9	60.7	65.4	56.9	62.4	360	470
18.00	1202	26.5	47.4	43.4	46.4	52.9	47.4	54.0	235	330
19.00	241	25.4	34.1	34.1	35.5	39.9	39.2	44.8	120	210
20.00	36	24.2	29.5	30.7	30.4	34.7	33.7	39.4	60	90
21.00	0	23.6	25.3	26.9	25.9	30.1	28.8	34.1	20	45
22.00	0	22.4	22.7	23.7	23.2	26.3	25.3	29.2	15	35
23.00	0	21.6	20.8	21.8	21.4	23.6	23.0	25.9	10	25
00.00	0	23.6	20.5	21.3	22.3	24.3	20.9	22.7	10	15
01.00	0	21.2	20.5	20.9	21.1	22.2	22.3	23.6	10	10
02.00	0	20.9	19.9	20.3	20.3	21.2	21.5	22.3	10	10
03.00	0	20.7	19.6	19.9	19.8	20.7	21.0	21.9	10	10
04.00	0	20.5	19.1	19.5	19.4	20.1	20.5	20.8	10	10
05.00	0	20.8	19.3	19.5	19.6	20.1	20.7	20.8	0	5
06.00	0	20.9	19.7	19.9	19.8	20.3	20.8	20.7	0	10
07.00	54	21.5	21.2	21.4	21.2	21.4	21.6	20.7	10	10
08.00	263	22.0	25.5	25.2	24.9	24.4	23.2	21.9	10	15
09.00	1274	27.2	41.8	38.3	39.6	39.7	30.7	26.3	10	20
10.00	1498	28.9	48.4	45.8	53.8	49.9	41.7	34.1	10	30

Tablo E.5. Su seviyelerinin karşılaştırıldığı deneyin sonuçları (1-2 cm)

SAAT	İŞİNİM ($\text{kJ/m}^2\text{h}$)	Çevre sıc. (°C)	Cam iç yüzey sıc.(1cm) (°C)	Cam iç yüzey sıc.(2cm) (°C)	Su sıc. (°C) (1 cm)	Su sıc. (°C) (2 cm)	Su miktarı (ml) (1 cm)	Su miktarı (ml) (2 cm)
10.00	1890	27.5	31.5	29.7	31.6	29.7	0	0
11.00	2541	28.5	45.5	41.0	47.3	41.5	35	0
12.00	3068	28.7	54.8	49.5	60.3	52.0	220	60
13.00	3370	29.7	68.9	63.2	73.8	67.4	470	240
14.00	3448	29.7	69.7	65.9	75.7	70.9	565	360
15.00	3377	29.3	63.6	62.6	70.9	68.9	600	420
16.00	3011	28.3	54.2	56.4	64.5	64.8	620	475
17.00	2476	27.5	44.0	48.6	55.6	58.2	470	410
18.00	1758	26.2	36.3	41.3	48.4	51.7	330	315
19.00	1003	25.1	31.5	31.3	38.9	42.8	200	250
20.00	88	23.4	29.7	31.0	35.3	40.0	105	135
21.00	28	22.3	28.1	30.5	32.5	37.0	30	90
22.00	0	21.2	27.3	30.1	30.8	34.9	20	60
23.00	0	21.0	26.6	29.0	29.2	32.8	20	40
00.00	0	20.6	26.0	28.0	28.2	31.1	15	30
01.00	0	20.2	25.4	26.9	27.4	29.7	10	25
02.00	0	19.8	24.8	26.0	26.6	28.4	10	20
03.00	0	19.4	24.6	25.7	26.5	27.9	10	15
04.00	0	18.8	24.7	25.7	26.5	27.8	10	15
05.00	0	18.6	24.3	25.1	25.9	27.0	5	10
06.00	0	18.4	24.8	25.6	26.0	26.6	0	10
07.00	23	21.5	26.0	25.8	26.4	26.2	0	5
08.00	389	26.3	28.0	28.0	29.4	28.4	10	5
09.00	1143	27.2	37.0	34.0	38.8	34.7	20	5
10.00	1912	28.8	40.8	37.0	43.6	38.2	45	10

Tablo E.6. Su seviyelerinin karşılaştırıldığı deneyin sonuçları (1-3 cm)

SAAT	İŞİNİM (kj/m ² h)	Çevre sıc. (°C)	Cam iç yüzey sıc.(1cm) (°C)	Cam iç yüzey sıc.(3cm) (°C)	Su sıc. (°C) (1 cm)	Su sıc. (°C) (3 cm)	Su miktarı (ml) (1 cm)	Su miktarı (ml) (3 cm)
10.00		28.3	30.7	30.9	30.8	31.8	0	0
11.00	3049	28.4	52.9	37.0	54.9	37.4	50	0
12.00	3388	29.3	69.0	53.6	73.2	55.0	305	35
13.00	3460	30.1	73.8	63.2	78.9	66.2	525	140
14.00	3240	29.7	72.6	63.3	79.0	67.9	685	270
15.00	2743	28.8	65.1	63.2	72.5	68.6	590	330
16.00	2120	27.1	50.4	57.8	61.7	65.5	570	445
17.00	997	26.4	43.2	47.7	53.6	57.5	360	375
18.00	135	25.7	33.3	39.5	40.7	49.9	225	375
19.00	69	25.5	33.1	40.1	40.4	50.3	120	200
20.00	25	24.3	30.0	36.5	35.9	46.5	60	160
21.00	0	23.3	27.7	33.0	32.1	42.4	35	110
22.00	0	22.6	26.0	31.4	29.4	39.4	20	80
23.00	0	22.1	25.2	29.1	27.6	36.2	10	60
00.00	0	21.4	24.9	28.0	27.2	28.2	10	50
01.00	0	21.4	24.7	27.3	26.4	33.0	10	40
02.00	0	20.6	24.1	26.5	26.1	31.9	10	30
03.00	0	20.6	23.5	25.6	25.1	30.1	5	25
04.00	0	20.4	23.4	25.2	24.6	28.8	0	20
05.00	0	20.1	23.1	24.5	24.7	28.2	0	15
06.00	32	20.3	22.7	24.1	24.2	27.4	0	15
07.00	381	22.5	25.0	26.0	25.0	26.5	5	5
08.00	1062	26.4	28.9	28.0	28.9	28.0	10	5
09.00	1043	30.7	41.5	31.0	42.2	31.5	15	10
10.00	2088	28.5	52.7	40.6	55.3	41.2	70	5

Tablo E.7. Su seviyelerinin karşılaştırıldığı deneyin sonuçları (1-4 cm)

SAAT	İŞİNİM ($\text{kJ/m}^2\text{h}$)	Çevre sıc. (°C)	Cam iç yüzey sıc.(1cm) (°C)	Cam iç yüzey sıc.(4cm) (°C)	Su sıc. (°C) (1 cm)	Su sıc. (°C) (4 cm)	Su miktarı (ml) (1 cm)	Su miktarı (ml) (4 cm)
10.00		22.5	30.7	39.9	30.7	39.9	0	0
11.00	2711	23.5	40.3	45.0	45.1	45.2	90	0
12.00	3193	25.6	52.8	51.0	59.6	50.9	295	0
13.00	3402	26.6	59.4	52.6	67.3	56.4	580	125
14.00	3377	26.6	60.5	57.2	69.7	61.5	600	200
15.00	3222	27.6	63.1	58.4	70.8	62.9	525	200
16.00	2754	26.8	58.5	60.7	66.5	66.7	560	315
17.00	2131	26.4	51.2	58.4	59.9	66.4	400	320
18.00	1440	24.6	42.0	49.7	50.2	57.7	230	330
19.00	60	22.7	30.5	45.6	39.4	52.0	140	180
20.00	19	21.2	24.3	35.8	28.9	42.1	35	120
21.00	0	20.5	24.2	34.4	27.5	40.2	20	100
22.00	0	20.2	23.9	32.5	26.2	38.0	15	90
23.00	0	19.6	23.7	31.3	25.4	36.0	10	60
00.00	0	19.1	22.8	29.8	24.6	34.3	10	50
01.00	0	18.7	22.6	28.7	23.9	32.8	10	40
02.00	0	18.5	22.8	27.9	23.8	31.8	5	35
03.00	0	18.1	22.7	27.2	23.6	30.6	0	30
04.00	0	18.9	22.3	26.3	22.9	29.1	0	25
05.00	0	18.8	22.6	25.7	23.0	28.4	0	20
06.00	42	18.3	22.9	25.2	23.2	27.5	5	20
07.00	439	20.8	24.0	25.9	24.0	26.7	10	20
08.00	1109	23.4	27.2	27.0	27.9	27.9	10	10
09.00	1140	24.4	27.5	27.5	29.6	28.2	15	10
10.00	1804	24.8	42.7	35.7	45.6	36.7	60	5

ÖZGEÇMİŞ

ADI : Yücel
SOYADI : Erdalli
DOĞUM YERİ : Nevşehir
DOĞUM TARİHİ : 19.11.1956
MEDENİ DURUMU : Evli, 1 Çocuklu

EĞİTİMİ :

1962-1966 : Namık Kemal İlkokulu (Tekirdağ)
1967-1975 : Namık Kemal Lisesi (Tekirdağ)
1976-1982 : İstanbul Devlet Mühendislik ve Mimarlık Akademisi, Makina Fakültesi

YABANCI DİL : İngilizce