DESİSİF-EVAPORATİF SOĞUTMA SİSTEMLERİ

Tuncay YILMAZ
Orhan BÜYÜKALACA

ÖZET

Desisif-evaporatif soğutma sistemleri dünyada hızla kullanım alanı bulmaktadır. Bu sistemlerde hem katı hem de sıvı nem alıcı maddeler kullanılır. Nem alıcı cihaz olarak katı maddeli döner nem alıcılar ve sıvı maddeli dolgulu kuleler yaygın olarak kullanılmaktadır. Genelde hem taze hava hem de kullanılmış hava nemlendirmeli ve ısı geri kazanımlı olan sistemler tercih edilmektedir. Bu sistemler bilhassa nem ve sıcaklık kontrolünün ayrı ayrı yapılabilmesi, hem de genel sağlık ve çevre kirliliği bakımından konvensiyel soğutucu sistemlerine göre daha uygundur. Ekonomik açıdan konvensiyonel sistemlerden daha kötü olmamalarına karşın, kombine sistemler konvensiyonel sistemlere karşı açık bir şekilde üstündürler.

GİRİŞ

Son yıllarda soğutma ve iklimlendirme teknolojilerinde hızlı gelişmeler yaşanmakta ve bu süreç halen de devam etmektedir. Bu gelişmelerin en önemlilerinden biri de Amerika ve Avrupa'da alternatif soğutma sistemleri arasında desisif-evaporatif soğutma sistemlerinin hızlı bir şekilde yaygınlaşmasıdır.

Buharlaşmalı soğutma eski çağlardan beri bilinen ve uygulanan bir yöntemdir. Ancak iklimlendirilecek ortama gönderilen dış havanın nemlendirilmesi sonucu elde edilen soğutma sadece dış hava neminin çok düşük olduğu bölgelerde etkili olabilmektedir [1,2,3]. Dış hava neminin yüksek olduğu bölgelerde de evaporatif soğutmanın uygulanabilmesi için önce dış hava içindeki nemin azaltılması gerekmektedir [4]. Bu iş için çeşitli sıvı veya katı nem alıcılar kullanılmaktadır. Havanın önce neminin alınıp, sonra da su ile havanın nemlendirilerek soğutulması işlemlerine Desisif-Evaporatif Soğutma (DES) denilmektedir. Yabancı literatürde bu sistem DEC sistemi (Desiccative and Evaporative Cooling) olarak adlandırılmaktadır.

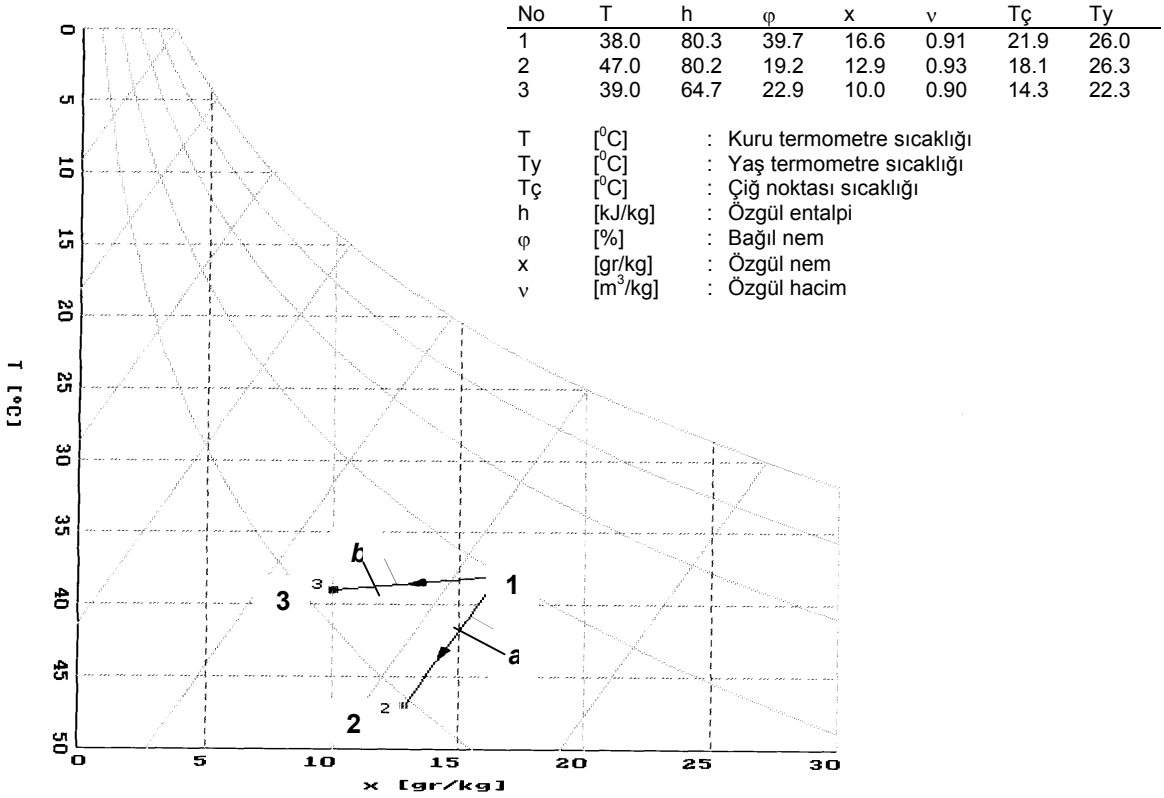
ABSORPSİYONLU NEM ALMANIN ESASI

Adsorpsiyon ve absorpsiyon ile nem almanın esasında maddenin higroskopik olma özelliği yatar. Nemli hava içindeki su buharının kısmi basıncı nem alınan madde içindekinden daha fazla olunca, havadan bu maddeye nem geçişi olur ve böylece havanın nemi azalır. Maddenin ısıtılmasıyla da nem alıcı maddeyi rejenere etmek yani nemini alarak eski durumuna getirmek mümkündür.

Desisif-evaporatif soğutma için gerekli olan ilk şey muhakkak ki dış hava neminin alınmasıdır. DES sistemlerinde dış havanın nemi ya sıvı ya da katı nem alıcı maddeler kullanılarak azaltılmaktadır. Bu maddeler sorbant olarak isimlendirilmektedir. Katı sorbantlar genellikle bir taşıyıcı madde üzerine getirilmektedir. Bu katı nem alıcıların dışında sıvı nem alıcılar da bulunmaktadır.

Nem alma işlemi Şekil 1'de psikrometrik diyagramda gösterilmiştir. Katı madde ile nem alma sabit entalpide olmaktadır (a eğrisi). Sıvı maddeli nem alıcılarda yoğuşma ısısı kısmen sıvı madde

tarafından sistem dışına çıkarıldığından, işlem sabit entalpi ile sabit kuru termometre sıcaklığı durum değişimleri arasında oluşur (b eğrisi).



No	T	h	φ	x	ν	Tç	Ty
1	38.0	80.3	39.7	16.6	0.91	21.9	26.0
2	47.0	80.2	19.2	12.9	0.93	18.1	26.3
3	39.0	64.7	22.9	10.0	0.90	14.3	22.3

T	[^{0}C]	:	Kuru termometre sıcaklığı
Ty	[^{0}C]	:	Yaş termometre sıcaklığı
Tç	[^{0}C]	:	Çiğ noktası sıcaklığı
h	[kJ/kg]	:	Özgül entalpi
φ	[%]	:	Bağıl nem
x	[gr/kg]	:	Özgül nem
ν	[m^3/kg]	:	Özgül hacim

Şekil 1. Nem alma işlemi, a: Katı madde ile, b: Sıvı madde ile

Katı Nem Alıcılar

Katı nem alıcılar, genellikle taşıyıcı bir madde ile bu madde üzerine getirilen nem alıcı maddeden oluşur. Katı taşıyıcı madde genellikle

- -Alüminyum folye
- -Plastik folye
- -Selüloz kağıdı

gibi maddelerden oluşur. Bu maddeler üzerine getirilen higroskobik (nem alıcı) katı maddeler ise aşağıda verilmiştir:

- -Suda çözülen higroskobik tuzlar (LiBr, $CaCl_2$, $MgCl_2$ gibi)
- -Silika-jel
- -Moleküler elekler
- -Higroskobik metal oksitler (Al_2O_3 gibi)
- -Higroskobik plastik folyalar

Tablo 1, 2 ve 3'te çeşitli maddelerin nem alma özellikleri verilmiştir [5].

Tablo 1. Çeşitli nem alıcıların nem alma kapasiteleri

Madde	Kapasite [gH_2O/m^2]
Silika-Jel	11
Moleküler Elek	20
LiCl-Kağıdı	50

Tablo 2. Nem alıcı ve taşıyıcı maddeler ile bunların kullanım alanları

Taşıyıcı Madde	Nem alıcı Madde	Kullanımı	Düşünceler
Alüminyum Folye	Al_2O_3	•Gizli-duyulur ısı eşanjörü	•Mahal nem alma •Kurutucu olarak kullanılamaz
	Plastik Folyalar (Selüloz asetat)	•Gizli-duyulur ısı eşanjörü	•Mahal nem alma •Kurutucu olarak kullanılamaz
Selüloz Kağıdı	LiCl	•Gizli-duyulur ısı eşanjörü •Kurutucu	•Referans yaz sıcaklığı 80 ^{o}C'ye kadar
	Moleküler Elek	•Gizli-duyulur ısı eşanjörü •Kurutucu	•Uygulama çok az
	Silika-Jel	•Gizli-duyulur ısı eşanjörü •Kurutucu	•Uygulama çok az
Higroskobik Plastik Folyeler(Selüloz Asetat ve Selüloz Sülfat)		•Gizli-duyulur ısı eşanjörü	•Mahal nem alma. •Kurutucu olarak kullanılır.
Cam Elyaf Kağıdı	LiCl	•Gizli-duyulur ısı eşanjörü •Kurutucu	•En çok kullanılan sistem
	Moleküler Elek	•Gizli-duyulur ısı eşanjörü •Kurutucu	•Çok düşük çiğ nokta sıcaklıkları için
	Silika-Jel	•Gizli-duyulur ısı eşanjörü •Kurutucu	•Yüksek nemli havalar için uygun
Seramik Kağıdı	LiCl	•Gizli-duyulur ısı eşanjörü •Kurutucu	•Cam elyafı gibi
	Moleküler Elek	•Gizli-duyulur ısı eşanjörü •Kurutucu	•Cam elyafı gibi
	Silika-Jel	•Gizli-duyulur ısı eşanjörü •Kurutucu	•Cam elyafı gibi

Tablo 1'de 50 g miktarındaki nem alıcı madde 1 m^2 yüzey alana kaplanmıştır. Tablo 2'de çeşitli nem alıcı madde ve taşıyıcı maddeler ile bunların kullanıldığı alanlar gösterilmiştir. Tablo 1 ve 2'den LiCl'lü nem alıcı maddelerin en etkin olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 3. Nem alıcı maddelerin diğer özellikleri

Özellik	Nem Alıcılar		
	LiCl	Moleküler Elek	Silika-Jel
Rejenerasyon enerjisi	Az	Yüksek	Orta
Absorpsiyon hızı	Yüksek	Düşük	Orta
Özgül ısı	Düşük	Yüksek	Orta
Nem alma kapasitesi	Yüksek	Düşük	Orta

Tablo 3'te verilen değerlerden de en uygun olan nem alıcı maddenin LiCl olduğu açıkça görülmektedir. Ancak yüksek sıcaklık ve nemlerde Silika-jel değerleri LiCl değerlerine yaklaşmaktadır. Üretilen cihazlarda kullanılan malzemelere göre nem alma matrikslerinin özellikleri Tablo 4'te gösterilmiştir [5].

Tablo 4. Nem alma matrikslerinin özellikleri

Taşıyıcı madde	Kağıt	Cam elyafı	Seramik elyaf
Nem alıcı madde	LiCl	Silika-Jel	Silika-Jel
Matriks ortalama yoğunluğu [kg/m^3]	120	210	240
Matriks kanalı Taban/Yükseklik [mm/mm]	2/4	2/3	2/5
Rejenerasyon sıcaklığı [^{o}C]	60	60-140	140

LiCl nem alıcılarının en büyük dezavantajı, yüksek nem oranlarında (%90-100) kullanılmaları durumunda, uzun süreli kapasitelerinde bir azalmanın ortaya çıkmasıdır. Ancak Silikajelli sistemleri su ile her zaman temizlemek mümkündür ve bu sistemleri çok yüksek nemlerde çalıştırmanın da bir sakıncası bulunmamaktadır. Ancak LiCl+Selüloz kağıt çiftinin en büyük avantajı da kanserojen elyaf maddeleri ihtiva etmemesi özelliğidir.

Sorpsiyonla nem alma sorpsiyon izotermleriyle açıklanır. Sorpsiyon izotermleri, sabit bir sıcaklıkta nem alıcı madde içinde sorplanan su ile etrafındaki havanın rölatif nemi arasındaki bağıntıyı veren eğridir. Bu eğrilere örnekler Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu şekilden düşük rölatif nemlerde zeolitlerin, yüksek rölatif nemlerde de LiCl'lü kağıdın daha yüksek nem alma özelliği olduğu görülmektedir.

Şekil 2'den de görüldüğü gibi, silikajel ve LiCl yüksek nemler için uygunken, zeolitler düşük nemler için uygundur. Ancak zeolitlerin rejenerasyon sıcaklığının 150 ^{o}C üstünde olması gereklidir. Nem alıcı maddeler için, katı nem alıcılarda yüzeyi arttırmak için taşıyıcı maddeler kullanılır. Bu maddeler de ya dolgulu kuleli ya da döner rotorlu sistemlerde kullanılmaktadır.

Sıvı Nem Alıcılar

Sıvılı sistemler de hava neminin alınmasında kullanılmaya başlanılmıştır. Ancak bu sıvıların zehirli olmamaları ve çevreyle uyumlu olma zorunluluğu vardır. Eskiden beri en çok kullanılan sıvılar suda çözünen tuzlardır. Bunlardan $CaCl_2$ ve LiCl uygundurlar. $CaCl_2$ daha ucuz, LiCl ise daha etkindir. Bu sebeple bunların karışımları da kullanılmaktadır.

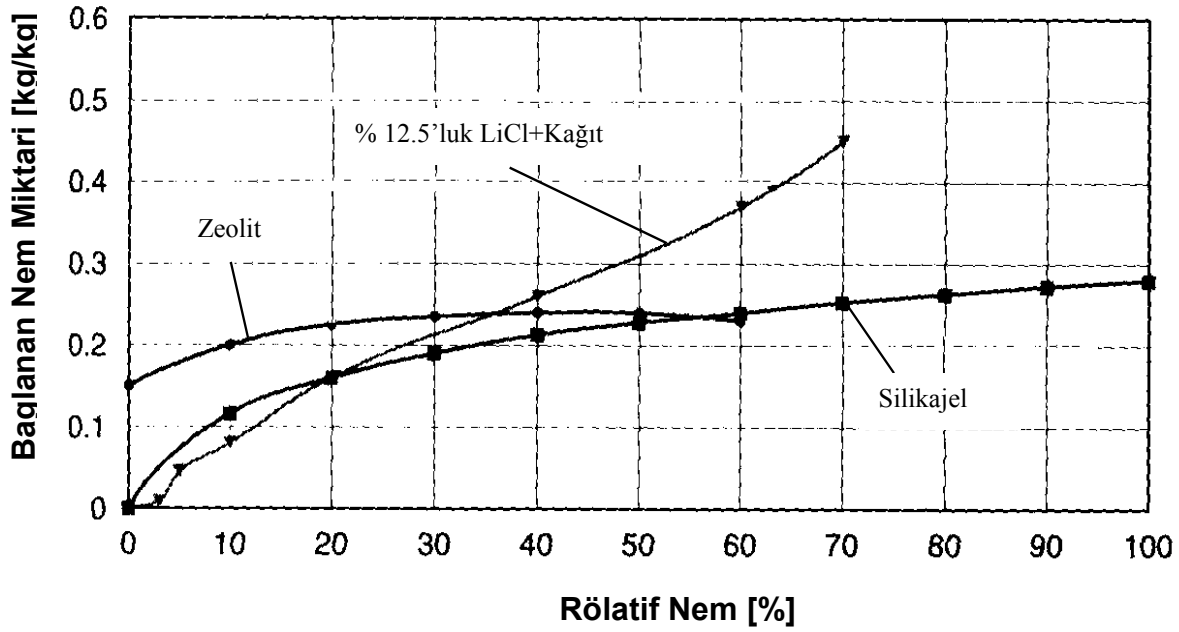
Sıvı nem alıcılarda madde içindeki su buharının buhar basıncı önemlidir. Buhar basıncının çözelti yoğunluğu ve sıcaklık ile değişimi LiCl ve $CaCl_2$ için Şekil 3'de verilmiştir. Buradan çözelti sıcaklığının önemi açık bir biçimde görülmektedir. Yüksek sıcaklıklarda nem alma kapasitesi önemli ölçüde azalmaktadır.

DES SİSTEMLERİ

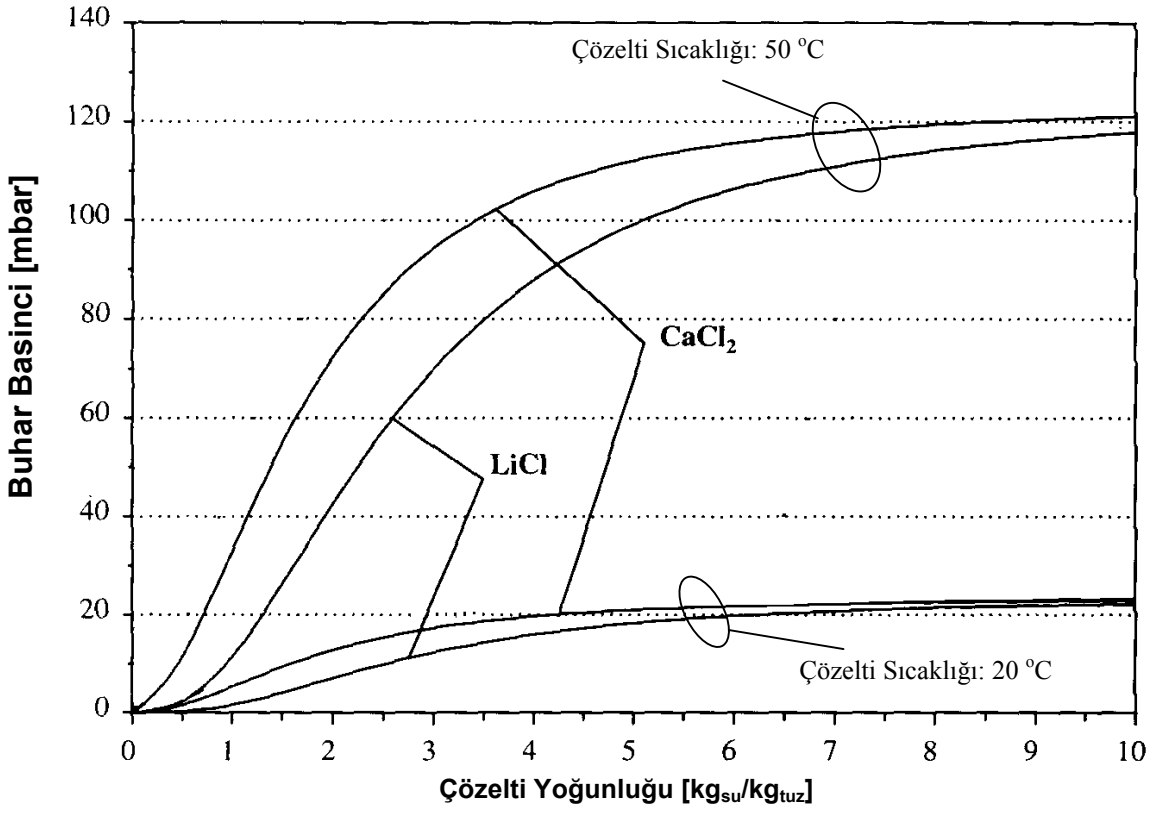
Katı Maddeli Nem Alıcı DES Sistemleri

Katı maddeli nem alıcılı DES sistemi Şekil 4'de gösterilmiştir. Bu sistemin psikrometrik diyagramda gösterimi Şekil 5'de verilmiştir. Atmosferden alınan dış havanın (1 noktası) mutlak nemi, katı maddeli nem alıcılardan (genelde döner nem alıcı) geçirilerek yaklaşık sabit entalpide azaltılmakta ve bu arada sıcaklığı yükselmektedir. 2 noktasına gelen bu hava bir ısı eşanjöründen (genelde döner rejeneratör) geçirilerek (3) noktasına kadar soğutulur. Bu hava bir nemlendiriciden geçirilerek T_4 sıcaklığına getirilir ve iklimlendirilecek mahale (5 noktası) verilir. Verilen taze hava, odadan kullanılmış hava olarak, oda şartlarında (5 noktası) alınır. Filtre ve vantilatörden geçirildikten sonra nemlendiriciye verilerek T_6 sıcaklığına düşürülür. Bu sıcaklıktaki hava eşanjörden geçerken temiz dış havanın ısısını alarak T_7 sıcaklığına gelir. Burada fazla hava dış ortama atıldıktan sonra kalan hava ısıtılarak T_8 sıcaklığına yükseltilir. Bu sıcak hava nem alma rejeneratörüne gönderilir. Burada taze havadan nem alarak nemlenen hava dışarı atılır (9 noktası).

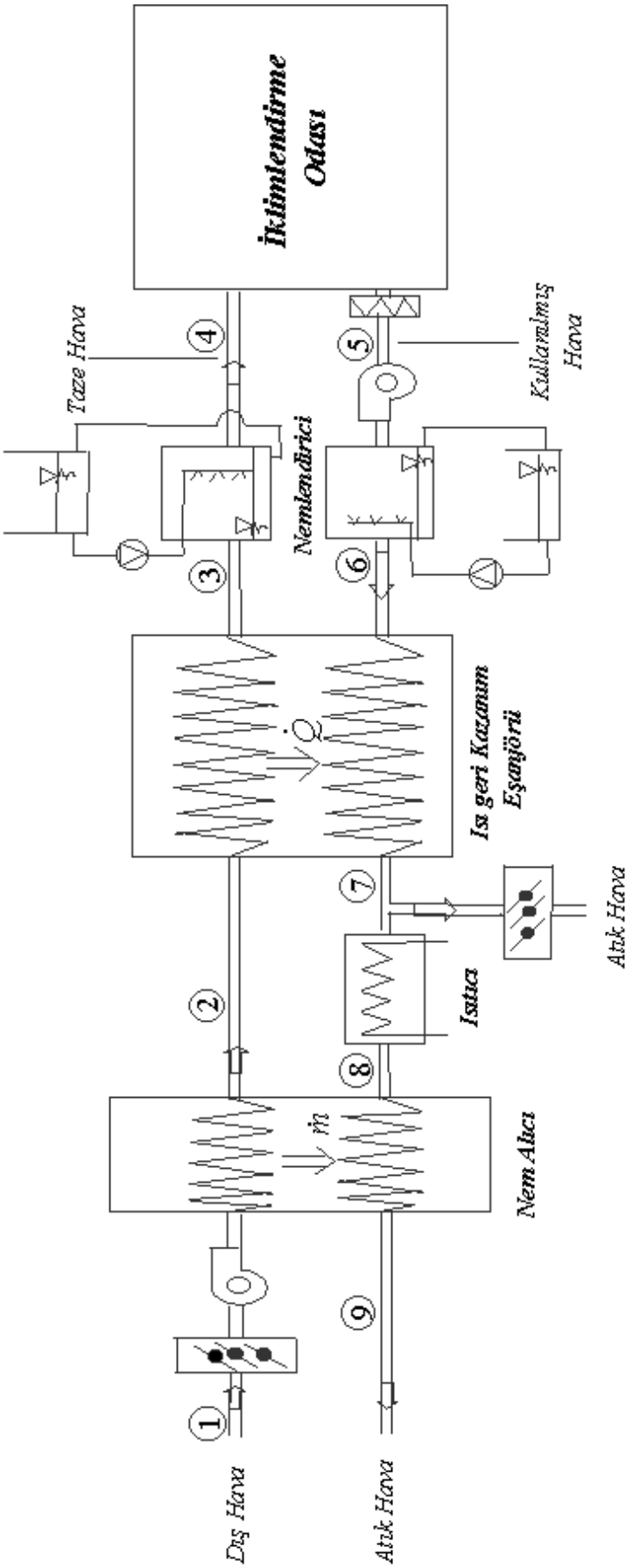
Açıklanan katı nem alıcı DES sisteminin daha bir çok uygulama şekli vardır. Bunlara aşağıda değinilecektir.



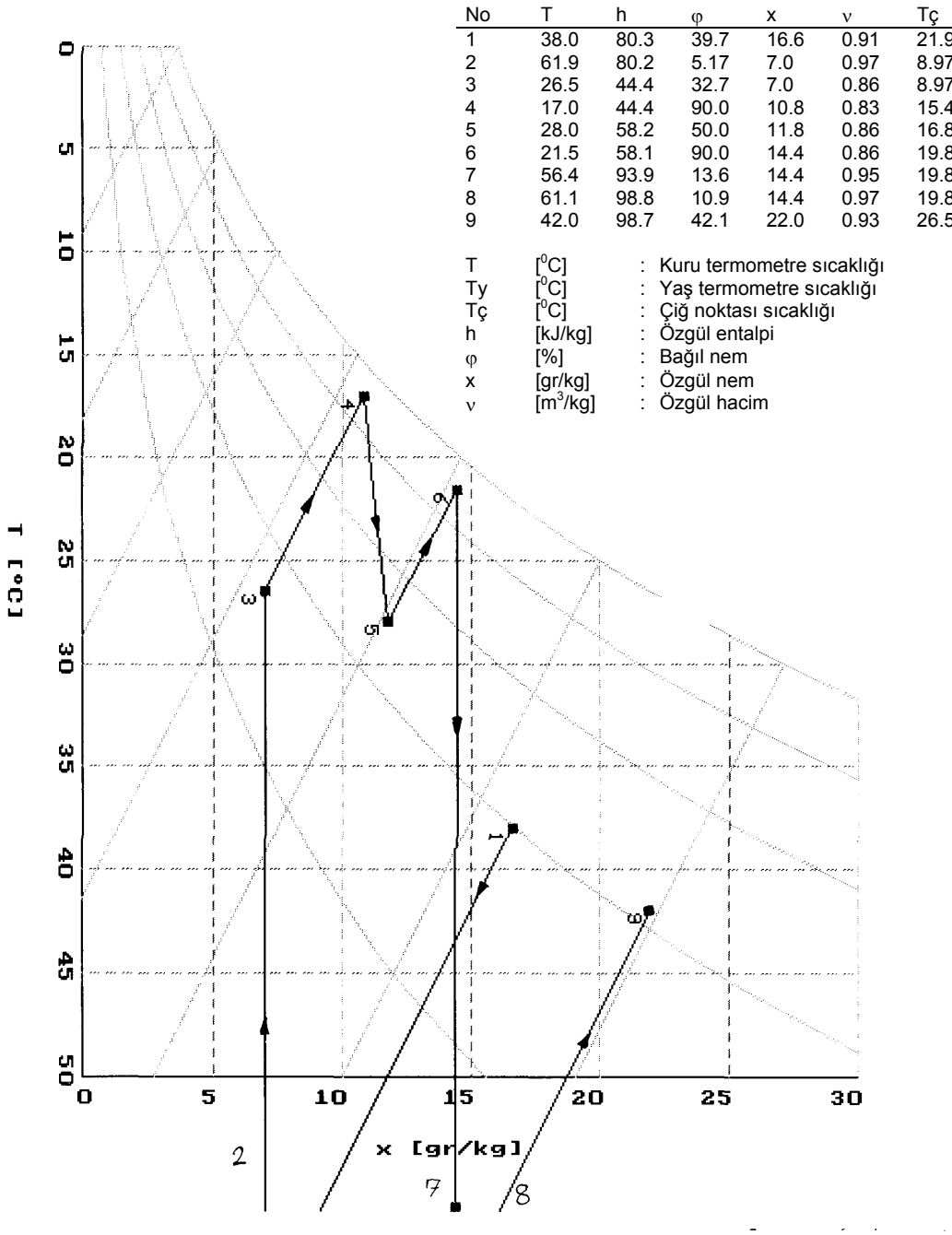
Şekil 2. Çeşitli katı maddelerin sorpsiyon izotermleri



Şekil 3. Sıvı nem alıcıların sorpsiyon izotermleri



Şekil 4. Katı nem alıcılı DES sistemi



Şekil 5. Katı nem alıcı DES sisteminin psikrometrik diyagramda gösterimi

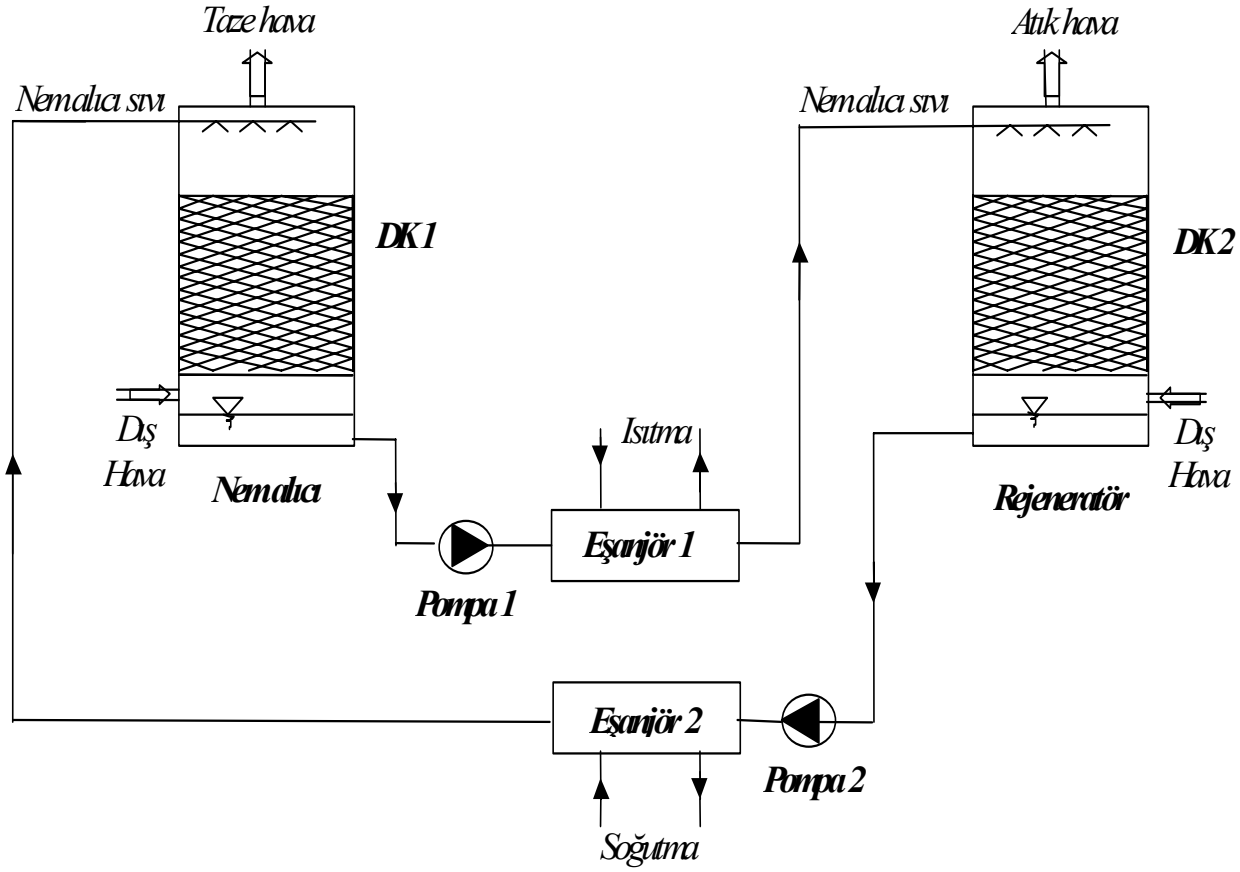
Sıvı Maddeli Nem Alıcılı DES Sistemleri

Şekil 6'da sıvı maddeli nem almanın prensibi açıklanmıştır. Dış hava dolgulu kuleye (DK1) verilmekte ve sıvı nem alıcı ile temas ederek nemi azalmakta ve dolgulu kuleden dışarı alınmaktadır. Su ile yüklenmiş nem alıcı pompa 1 ile basılarak eşanjör 1'de ısıtılmaktadır. Isıtılmış sıvı ikinci dolgulu kuleye (DK2) gelmekte ve dış hava ile temas ederek nemini havaya vermektedir. Bu sıvı pompa 2 tarafından basılmakta ve eşanjör 2'de soğutulduktan sonra tekrar kullanılmak üzere DK1'e gönderilmektedir.

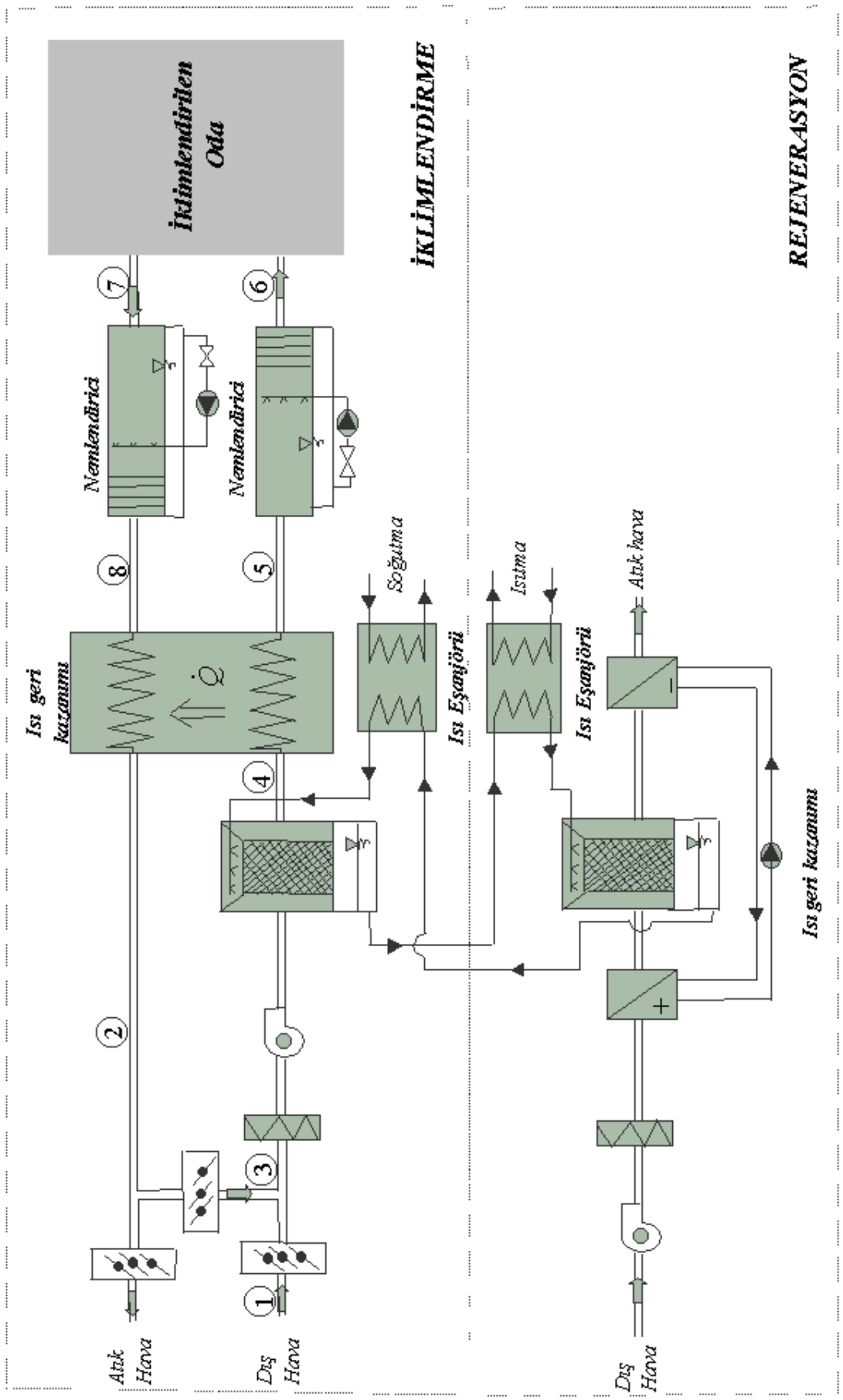
Şekil 7'de sıvı nem alıcı DES sistemine bir örnek verilmiştir. Bu sistemin psikrometrik diyagramda gösterimi de Şekil 8'de açıklanmıştır. Dış hava (1) by-pass havası (2) ile birleştirilerek, (3) filtre edildikten sonra vantilatör vasıtasıyla nem alıcıya verilmektedir. Hava nem alıcıdan nemi alınarak ve sıcaklığı artarak çıkar (4). Buradan döner rejeneratöre gelerek sıcaklığı düşürülür (5). Üfleme sıcaklığına gelmesi için nemlendirme yapılır (6) ve bu hava iklimlendirilecek ortama verilir (7). Odadan alınan hava tekrar nemlendirilerek sıcaklığı düşürülür (8) ve döner rejeneratörden geçerken sıcaklığı artar (2). Bu havanın da bir kısmı by-pass havası olarak kullanılır ve kalan kısmı da atmosfere atılır.

Sıvı nem alıcılı DES sistemi çok çeşitli rejenerasyon alternatifleri için Lowenstein [6] tarafından araştırılmış ve bu sistemlerin çeşitli sıcaklıklarda 0.57 ile 1.85 arasında COP değerlerine sahip olduğu gösterilmiştir. Lowenstein ve Gabruk [7] da bu sistemlerdeki absorpsiyon ünitesi konstruksiyon ve debilerinin sistem performansına etkilerini incelemişlerdir.

Pratikte Şekil 7'de gösterilen sistem çeşitli biçimlerde gerçekleştirilmektedir. En çok kullanılan nem alıcıların başında ise LiCl çözeltisi gelmektedir. Sıvı nem alıcı sistemler daha çok endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır. Bunlardan önemlileri film yapımı, ilaç üretimi ve lastik üretimidir. LiCl çözeltisi bakterilerin de üremesine izin vermediğinden hastanelerde de kullanılması uygun görülmektedir.



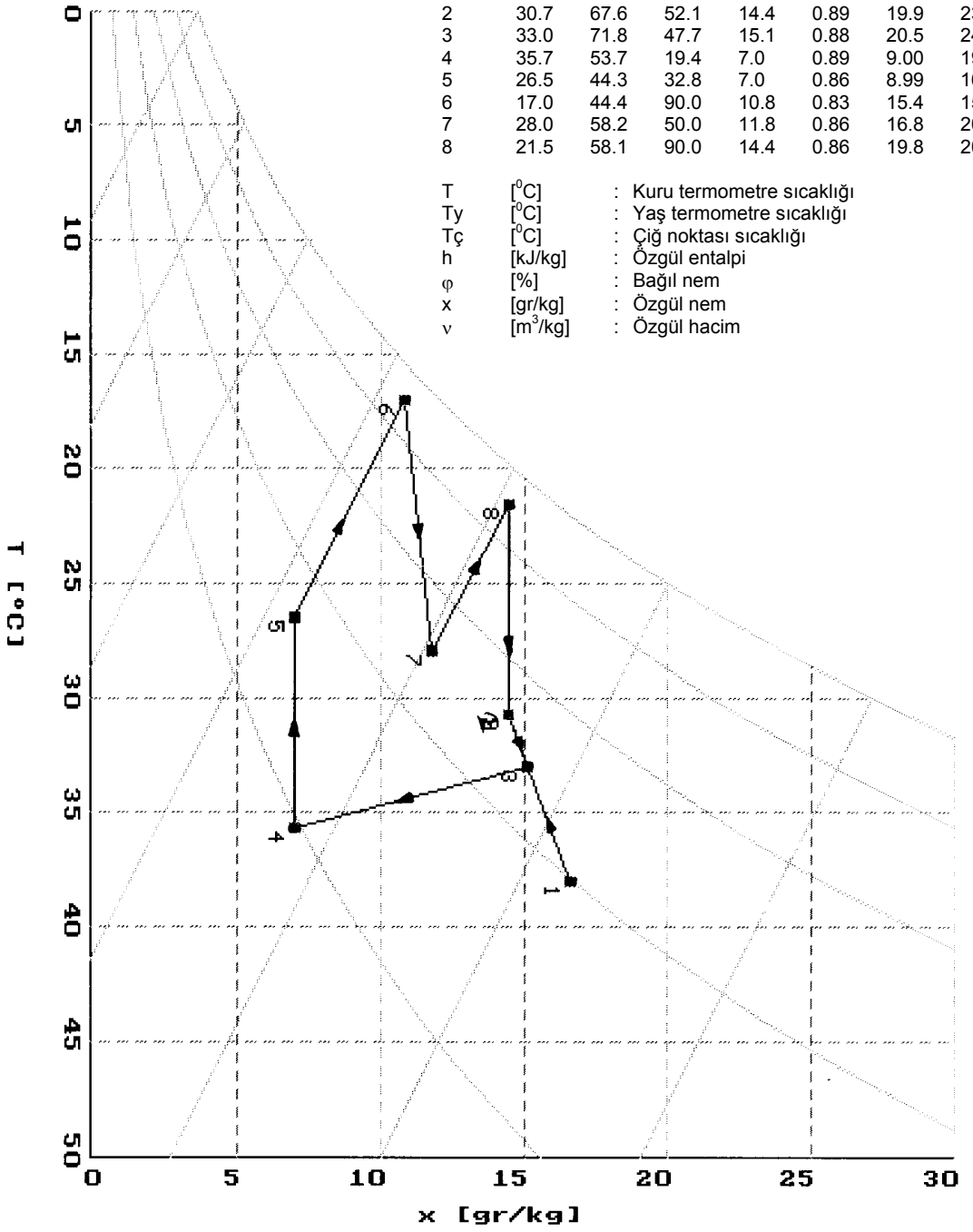
Şekil 6. Sıvı nem alıcılı sistemin çalışma prensibi



Şekil 7. Sıvı nemlendirmeli DES sistemi

No	T	h	φ	x	ν	Tç	Ty
1	38.0	80.3	39.7	16.6	0.91	21.9	26.0
2	30.7	67.6	52.1	14.4	0.89	19.9	23.0
3	33.0	71.8	47.7	15.1	0.88	20.5	24.1
4	35.7	53.7	19.4	7.0	0.89	9.00	19.1
5	26.5	44.3	32.8	7.0	0.86	8.99	16.0
6	17.0	44.4	90.0	10.8	0.83	15.4	15.9
7	28.0	58.2	50.0	11.8	0.86	16.8	20.4
8	21.5	58.1	90.0	14.4	0.86	19.8	20.3

T	[^{0}C]	:	Kuru termometre sıcaklığı
Ty	[^{0}C]	:	Yaş termometre sıcaklığı
Tç	[^{0}C]	:	Çiğ noktası sıcaklığı
h	[kJ/kg]	:	Özgül entalpi
φ	[%]	:	Bağıl nem
x	[gr/kg]	:	Özgül nem
ν	[m^3/kg]	:	Özgül hacim

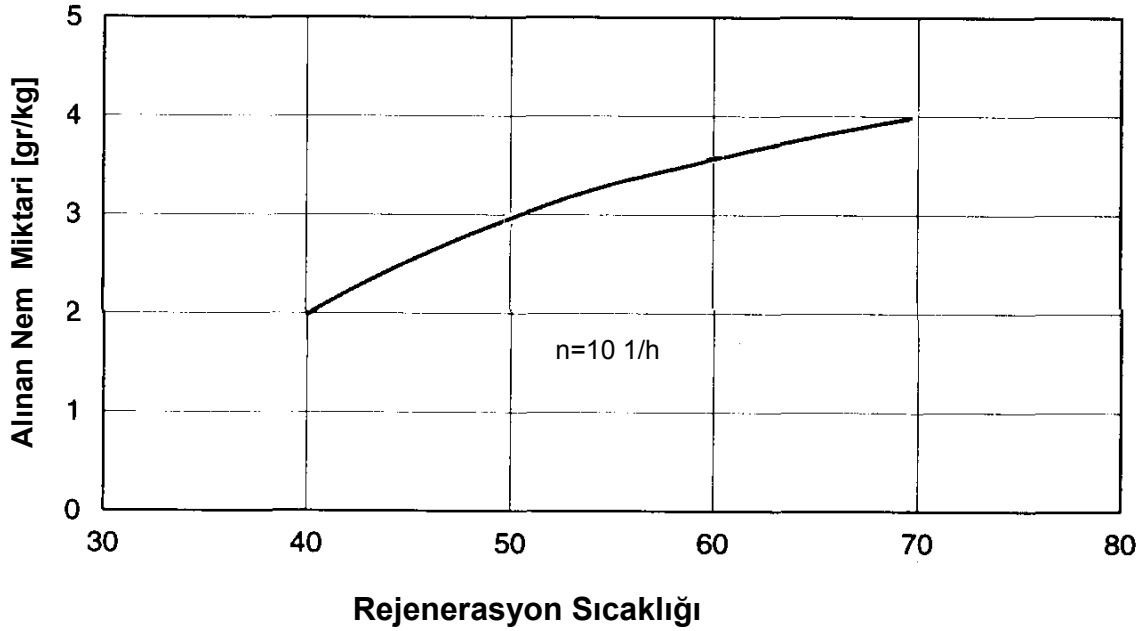


Şekil 8. Sıvı madde nem alıcı DES sisteminin pisikrometrik diyagramda gösterimi

HESAPLAMA YÖNTEMLERİ

Nem Alıcılar ve Eşanjörlerin Hesaplanması

Nem alıcı cihazların hesaplanmasında sayısal yöntemler kullanılmaktadır. Bunun nedeni de bu proseste hem ısı hem de kütle transferinin aynı zamanda meydana gelmesidir. Ayrıca döner rejeneratör şeklindeki cihazların dönme hızı ve rejeneratör içindeki matriks şeklinin de nem alma işlemine etkileri vardır. Ancak kullanılan sayısal yöntemler karmaşıktır. LiCl'lü nem alıcı ile taşıyıcı madde olarak selüloz kağıdının kullanılması sonucu döner rotorlu bir nem alma sisteminde nem alma kapasiteleri Şekil 9'da gösterilmiştir.



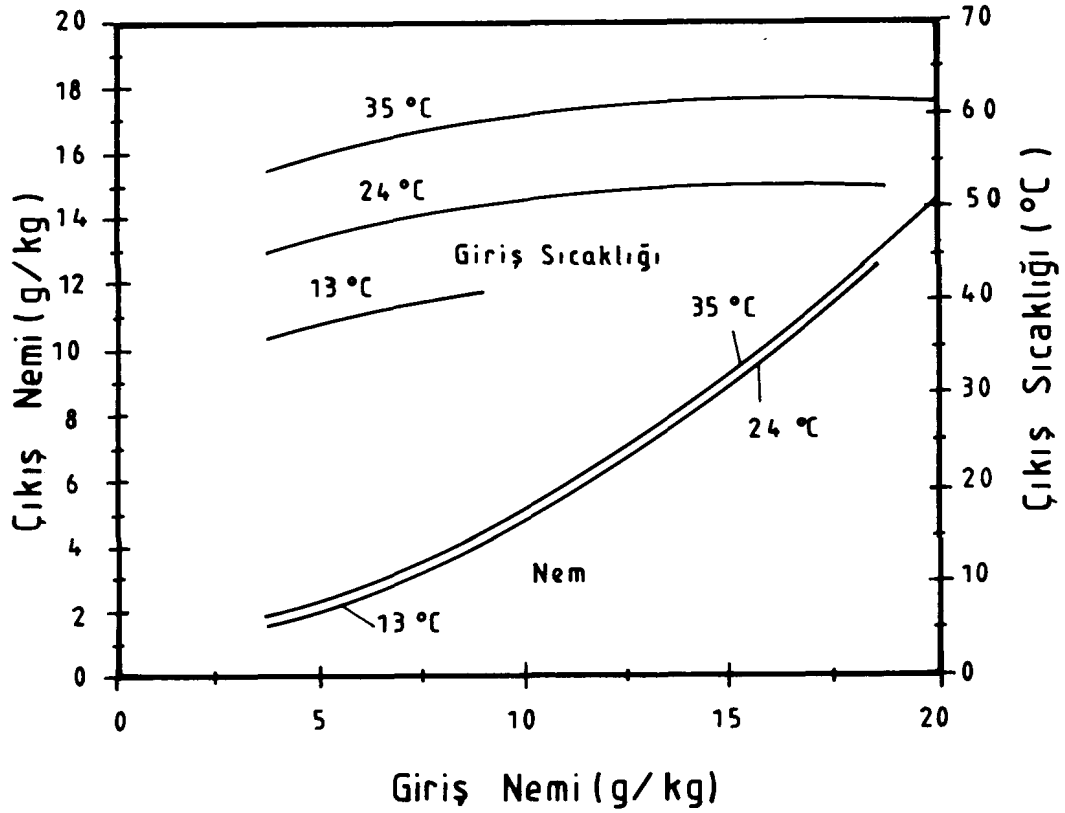
Şekil 9. Rejenerasyon sıcaklığının döner nem alma cihazlarının nem alma kapasitesine rejenerasyon sıcaklığının etkisi

Burada dönme hızı saatte 10 devir olarak verilmiştir. Normal ısı transferi için kullanılan döner rejeneratörlerde dönme hızı bilindiği gibi çok daha yüksektir. Bu şekildeki değerler, rejenerasyon havası olarak neminin alınması istenen dış hava kullanıldığı durumda geçerlidir. Hava hızı da normal bir değer olan 2 m/s dir. Bu sistem için hesaplama yöntemi Franzke [8] tarafından verilmiştir.

Şekil 10'da bir döner rejeneratörle nem alıcı madde olarak silikajel kullanıldığında çıkış nem ve sıcaklıklarının giriş nem ve sıcaklığı ile değişimi verilmiştir [9]. Bu değerler rejeneratörde hava hızının 3 m/s, rejenerasyon havası sıcaklığının 160 ^{o}C ve proses havası/rejenerasyon havası oranının 4.7 olduğu durum için geçerlidir. Çıkış ve giriş nemleri arasındaki bağıntının doğrusal olmadığı görülmektedir.

Döner rejeneratörlerin sayısal ve deneysel analizi Simonson ve Besant [10] tarafından yapılmış ve doğrusal izoterm eğrilerine sahip olan silikajellerin daha avantajlı olduğu gösterilmiştir.

Döner rejeneratörlerin ampirik metotlarla optimizasyonu ve alınan nem miktarının rejeneratör dönme hızı ile değişimini Czachorski ve arkadaşları [11] tarafından araştırılmıştır. Zheng ve arkadaşları [12] döner rejeneratörlerde nem almada çeşitli parametrelerin ve bu arada dönme hızının rejeneratör etkinliğine etkisini sayısal olarak hesaplamışlardır.



Şekil 10. Silikajelli bir nem alıcıda çıkış havası nem ve sıcaklığının giriş havası nemi ile değişimi

Döner nem alıcıların bir başka modellenmesi ve buradan elde edilen sayısal sonuçların deneysel olarak elde edilen değerlerle karşılaştırılması Simonson ve Besant [13,14] tarafından yapılmıştır. Sheer ve Thom [15] DES sistemlerini deneysel olarak incelemişler ve sistem COP'sine etki eden faktörleri belirlemişlerdir.

Döner rejeneratörlerde nem alıcı madde özelliklerinin zamanla değişimi ve bunun soğutmaya etkileri Pesoran ve Penney [16] tarafından araştırılmıştır.

Döner rejeneratörlerin hesaplanması hakkında çok ayrıntılı bir yöntem Yılmaz ve Yılmaz [17] tarafından açıklanmıştır. DES sistemlerinde kullanılan bu rejeneratörlerin bu yönteme göre boyutlandırılması mümkündür. Çapraz akışlı veya diğer tip reküperatörlerin hesaplanması Kays ve London [18] tarafından verilen verim eğrileri ile yapılabilir.

Tüm Sistemin Hesaplanması

Tüm sistemin hesaplanması çok karmaşık olup, sistem türüne göre modellenmesi gereklidir. Aşağıda bunlara örnekler verilmektedir.

Taze ve atık hava nemlendirmeli döner nem alıcı DES sistemin teorik analizi Charoensupaya ve Worek [19] tarafından gerçekleştirilmiştir.

Rejenerasyonun bir soğutma sisteminin kondenserinden kazanılan ısı ile yapıldığı DES sistemi, Brandemuehl ve Khattar [20] tarfından pratik koşullarda deneysel olarak incelenmiş ve bu sistemin konvansiyonal sistemlere göre %25 daha ekonomik olduğu sonucuna varılmıştır.
DES sistemlerinde, sistemde bulunan elemanların fonksiyonları ve bunların üfleme havası sıcaklığına etkileri ayrıntılı bir biçimde Biel [21] tarafından açıklanmıştır.

Tavandan soğutma uygulamalarında temiz havanın DES ile sağlanması Busweiler [22] tarafından deneysel olarak incelenmiştir.

Gazla rejenerasyonu yapılan DES sistemlerinde rejenerasyon sıcakılığının ve hava debisinin etkileri Buick ve arkadaşları [23] tarafından araştırılmıştır.

Doğal gaz ile rejenere edilen DES sistemleri hakkında pratik bilgiler Worek ve arkadaşları [24] ve Marciniak ve arkadaşları [25] tarafından verilmiştir.

Vakum tüplü güneş kolektörlerinden elde edilen ısı ile rejenerasyonun yapıldığı bir DES sistemi Löf ve arkadaşları [26] tarafından araştırılmıştır.

DES SİSTEMLERİNİN EKONOMİKLİK ANALİZİ

Bu sistemlerin ekonomik analizi hakkında çok detaylı bilgiler bulunmamaktadır. Ancak aşağıda bazı örnekler verilmiştir.

Dolaylı buharlaştırmalı desisif soğutma sisteminin bazı durumlarda doğrudan buharlaştırmalı desisif soğutma sistemine göre daha uygun olduğu Belding ve Delmas [27] tarafından gösterilmiştir.

DES sistemleri ve bunların başarıyla uygulanabileceği yerler hakkında bilgiler Harriman [28] tarafından verilmiştir.

Desisif soğutma sistemlerinin ekonomik analizi, ilk yatırım ve işletme giderleri incelenerek Busweiler ve Göbel [29] tarafından gerçekleştirilmiş ve bu sistemlerin hem ekonomik hem de çevre kirliliği bakımından konvensiyel sistemlere üstün olduğu belirtilmiştir. İlk yatırım masraflarının konvensiyonel sistemlerden en azından yüksek olmadığı ve bazen çok küçük olabildiği belirlenmiştir. İşletme masraflarında yaz, bahar ve kış kullanımı beraber düşünüldüğünde önemli miktarlarda tasarruf sağlanmaktadır.

McGahey [30] desisif sistemlerin kullanma kriterleri hakkında ayrıntılı bilgi vermektedir. Dhar ve arkadaşları [31] tarafından DES sistemlerinin Hindistan şartlarında fizibilite çalışmaları yapılmıştır. Döner nem alma cihazlarının matematik modellenmesi Aly ve Fathalah [32] tarafından yapılmış ve çeşitli alternatifler için sayısal sonuçlar verilmiştir.

İki kademeli olarak gerçekleştirilen DES sistemleri hakkında bilgi ve uygulama örnekleri Meckler [33] tarafından açıklanmıştır.

Ekonomiklik yönü dışında sağlık açısından da DES sistemlerinin konvensiyel sistemlerden daha uygun olduğu ifade edilmektedir [34,35].

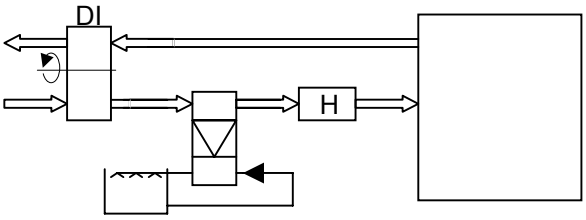
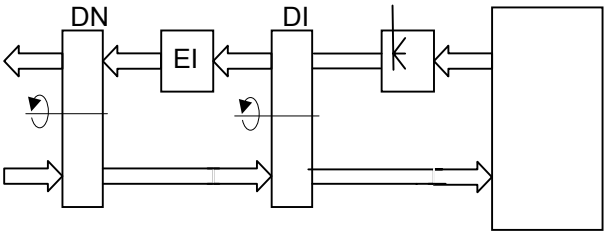
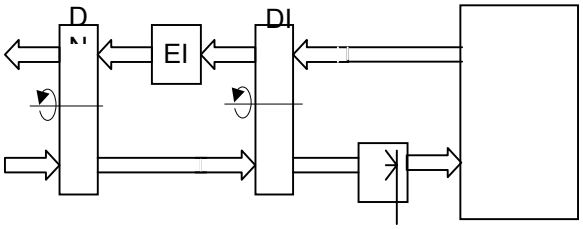
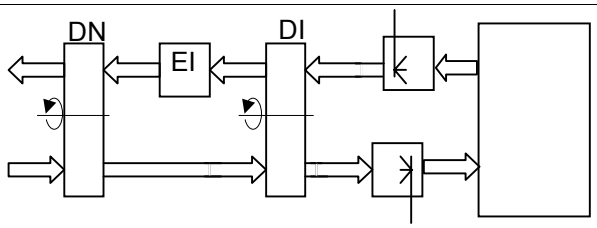
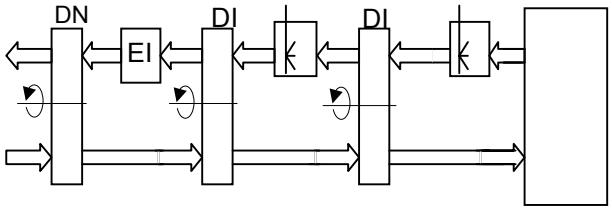
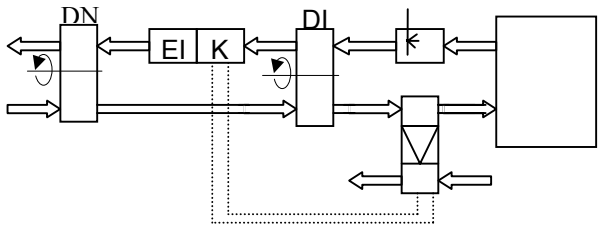
DES sistemleri yüksek dış hava miktarının ve düşük nemin arzulandığı süper marketlerde çok başarılı olarak uygulanmaktadır [36,37].

Şekil 4'te verilen bir DES sisteminden çok farklı sistemler de bulunmaktadır. Bu durumlar Heinrich ve Franzke [5] tarafından incelenmiş olup, sonuçlar Tablo 5'te gösterilmiştir. Buradaki büyüklükler aşağıdaki gibi tarif edilmiştir:

$$P = \frac{P_o}{P_{o,k}} \tag{1}$$

$$E = \frac{E_o}{E_{o,k}} \tag{2}$$

Tablo 5. Çeşitli *DES* sistemlerinin *konvensiyonel soğutma* sistemleri ile karşılaştırılması ...

1.	***Konvensiyonel İklimlendirme Sistem***		P : % 100 E : % 100 t_{reg} :-
2.	***DES sistemi***, Kullanılmış Hava Nemlendiricili		P : % 98 E : - t_{reg} :48 ^{0}C
3.	***DES sistemi***, Hava Nemlendirmeli		P : % 220 E : - t_{reg} :80 ^{0}C
4.	***DES sistemi***, Taze ve Kullanılmış Hava Nemlendirmeli		P : % 150 E : - t_{reg} :67 ^{0}C
5.	***DES sistemi***, Çift kullanılmalı Hava nemlendirmeli		P : % 105 E : - t_{reg} :51 ^{0}C
6.	***DES sistemi***, Kullanılmış hava nemlendirilmeli, Konvensiyonel Soğutma destekli		P : % 0.58 E : 0.26 t_{reg} :41 ^{0}C

P	: Rölatif primer enerji ihtiyacı	DN	: Döner ısı eşanjörü
E	: Rölatif elektrik enerjisi ihtiyacı	*DS*	: Döner nem alıcı
t_{reg}	: Rejenersayon sıcaklığı	*H*	: Isıtıcı
K	: Kondenser	*EI*	: Ek ısıtıcı

P_o ilgili sistemin toplam primer enerji için kullanılan yakıt miktarını , $P_{o,k}$ ise konvensiyonel soğutma sisteminin toplam primer enerji için kullanılan yakıt miktarını göstermektedir. E ilgili sistemin, $E_{o,k}$ ise konvensiyonel soğutma sisteminin elektrik enerjisi harcamasını belirtmektedir. Tablo'daki değerler 32/24 ^oC dış ve mahal sıcaklığı ile 12/10 gr/kg dış ve iç hava mutlak nemleri ile $\Delta T = 6\ ^oC$ lik mahal-üfleme havası sıcaklık farkı için belirlenmiştir. Burada, taze hava nemlendirmeli sistemlerin (sistem 3 ve 4) primer enerji harcamasının yüksek olduğu görülmektedir. 2 ve 5 nolu sistemler primer enerji harcaması bakımından, kovensiyonel sistemlerle aynı olmakla birlikte, bu sistemler elektrik enerjisi harcamasına ihtiyaç duymamaktadır. Primer enerji harcaması bakımından en avantajlı olanı DES ve konvensiyel soğutma sisteminin kombinasyonu olan 5 nolu sistemdir. Burada primer enerji harcaması % 58'e kadar düşmektedir.

SONUÇ

DES sistemleri son yıllarda gelişmiş ülkelerde yaygın olarak uygulandığı gibi, ülkemizde de yaygın olarak kullanılacağı anlaşılmaktadır. Bu sistemler sıcaklığın ve nemin ayrı ayrı kontrolü bakımından konfor kliması için çok uygun olup, ekonomik açıdan da bazı kombine sistemlerde konvensiyonel sistemlerden üstündür. DES sistemleri çevre kirliliği bakımından da tercih edilen soğutma sistemidir.

KAYNAKLAR

[1] YILMAZ, T., BÜYÜKALACA, O., TOPCUOĞLU, M.A. ve BULUT, H., Enerji ekonomisini sağlayan taze ve atık hava buharlaştırmalı iklimlendirme sistemi, sh. 325-334, 5. Ulusal Soğutma ve İklimlendirme Tekniği Kongresi, Bildiriler Kitabı, 1998.

[2] YILMAZ, T., BULUT, H., Çift buharlaştırmalı soğutma sisteminde konfor şartlarının incelenmesi, sh. 593-608, III. Uluslararası Yapıda Tesisat Bilimi ve Teknolojisi Sempozyumu, 1998.

[3] YILMAZ, T., BULUT, H., ÖZGÖREN, M. ve BÜYÜKALACA, O., An alternative cooling system for hot, arid regions, pp. 422-432, Proceeding of Int. Conference on Energy Research and Development, Kuwait, Vol. I, 9-11 November, 1998.

[4] YILMAZ, A., BÜYÜKALACA, O., YILMAZ, T., Nem almalı (desisif) soğutma sistemleri, sh. 145-150, Uluslararası Enerji Teknoloji ve Tesisat Dergisi, Ağustos 1998.

[5] HEINIRICH, G. ve FRANZKE, U., Sorptionsgestützte Klimatisierung, C.F. Müller Verlag Heidelberg, 1997.

[6] LOWENSTEIN, A.I., The effect of regenerator performance on a liquid-desiccant air conditioner , pp. 704-711, Ashrae Transactions, 98, 1992.

[7] LOWENSTEIN, A.I. and GABRUK, R.S., The effects of absorber design of the performance of a liquid desiccant air conditioners, pp. 712-720, Ashrae Transactions, 98,1992.

[8] FRANZKE, U., Ein Beitrag zur Wärme-und Stoffübertragung in Sorptionsrejeneratoren, Doktora Tezi, T.U.Chemmitz, 1990.

[9] BELDING, W.A and DELMAS, M.P.F., Impact of desiccant wheel parameters on dehumidification performance, pp.617-624, Ashrae Transactions, 1996.

[10] SIMONSON, C.J and BESANT, R.W., Heat and Moisture transfer in energy wheels during sorption, condensation, and frosting conditions, pp. 699-708, J.Heat Transfer, 120, 1998.

[11] CZACHORSKI, M., WURM, J., WOREK, W.M., Dynamic testing of desiccant matrices and computerized avaluation of performance maps, pp. 833-840, Ashrae Transactions, 1993.

[12] ZHENG, W., WOREK, W.M. and NOVOSEL, D., Control and optimization of rotational speeds for rotary dehumidifiers, pp. 825-833, Ashrae Transactions, 1993.

[13] SIMONSON, C.J. and BESANT, R.W., Heat and moisture transfer in desiccant coated rotary energy exchangers, pp. 325-350, Part I, Numerical model, HVAC&R Research, 314,1997.

[14] SIMONSON, C.J. and BESANT, R.W., Heat and moisture transfer in desiccant coated rotary energy exchangers, pp. 351-368, Part II, Validation and sensitivity studies, Numerical Model, HVAC&R Research, 314,1997

[15] SHEER, T.J. and THOM, M.G., Performance evaluation of a desiccant-evaporative cooling system, IIR Commision B2 with B1, E1, and E2, Oslo, Norway, 1998/4.

[16] PESORAN, A.A. and PENNEY, T.R. Impact of desiccant degradation of desiccant cooling system performance, pp. 595-601, Ashrae Transactions, 1991.

[17] YILMAZ, A. ve YILMAZ, T., Döner- rejeneratörlerin optimium boyutlandırılması, IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 1999.
[18] KAYS, W.M. and LONDON, A.L., Compact Heat Exchangers, McGraw Hill, New York, 1984.
[19] CHAROENSUPAYA, D. and WOREK, W.M., Parametric study of an open-cycle adiabatic, solid, desiccant cooling system, pp. 739-747, Energy 13/9.
[20] BRANDEMUEHL, M.J., ve KHATTAR, M.K., Demonstration and testing of an all-electric desiccant dehumidifying systems at a New Jersey Supermarket, pp. 848-859, ASHRAE Transactions, 1997.
[21] BIEL, S., Sorptive Luftentafeuchtungs-und Verdurstungskühlung, 332-336, Ki Luft-und Kältetechnik, 7, 1998.
[22] BUSWEİLER, U., Air Conditioning with a combination of radiant cooling, displacement ventilation, and desiccant cooling, pp. 503-510, Ashrae Transactions, 1993.
[23] VAN DEN BUİCK, E., MITCHEL, J.W and KLEİN, S.A., The use of dehumidifiers in desiccant cooling and dehumidification systems, pp. 684-692, 108, 1986.
[24] WOREK, W.M., ZHANG, W. and BELDİNG, W.A., Simulation of advanced gas-fired desiccant cooling systems, pp. 609-614, Ashrae Transactions, 1991.
[25] MARCINIAK, T.J, R.N.KOOPMAN, R.N. and KOSAR, D.R., Gas-fired desiccant dehumidification system in a quick-service restaurant, pp. 657-666, Ashrae Transactions, 1991.
[26] LÖF, G.O.G, CLER, G. and BRİSBARE, T., Performance of a solar desiccant cooling system, pp. 165-171, 7.Solar Energy Engineering, 110, 1988.
[27] BELDING, W.B. ve P.F.DELMAS, P.F., Novel desiccant cooling system using indirect evaporative cooler, pp. 841-847, Ashrae Transactions, 1997.
[28] HARRIMAN, L.G., The basics of desiccant systems, pp. 77-85, Heating/Piping/Air Conditioning, July, 1994.
[29] BUSWEILER, U. and GÖBEL, U., Desiccant Cooling-ein wirtschaftlicher Vergeich, pp. 491-493, Ki Luft-und Kältetechnik,10, 1995.
[30] MCGAHEY, K., New commercial applications for desiccant-based cooling, pp. 41-45, Ashrae Journal, July 1998.
[31] P.L.DHAR, P.L., KAASHİK, S.C. ve JAIN, S., Thermodynamic analysis of desiccant-argumental evaporative cooling cycles for indian conditions, pp. 735- Ashrae Transactions, 1995
[32] ALY, S.E. and FATHALAH, K.A., Want heat driven radially cooled rotary dehumidifier, pp. 887-907, Energy Convers. Mgınt.35,1994.
[33] MECKLER, G. Two stage desiccant dehumidification in commercial building HVAC systems, 1116-1223, Ashrae Transactions, 1989.
[34] PHLIPS, J.A ve WAGNER, M.B., Antiseptik effects of desiccant based HVAC systems, Lehigh University, Bioprocessing Institute, 1994
[35] KOYAK, B and HEIMANN, P.R., The sanitising effects of desiccant-based cooling, pp.60-64, Ashrae Journal, April 1997.
[36] SPEARS, J.W. and JUDGE, J., Gas-fired desiccant system for retail super center, pp. 65-69, Ashrae Journal, October 1997.
[37] CALTON, D., Distributed air conditioning in supermarkets, pp. 40-44, Ashrae Journal, May 1992.

ÖZGEÇMİŞ

Tuncay YILMAZ

1945 yılında Tarsus'ta doğdu. 1968'de Berlin Teknik Üniversitesi Makina Fakültesini bitirdi. 1972 yılında aynı üniversitede doktorasını tamamladı. 1973 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümünde göreve başladı. 1977 yılında Makina Mühendisliği Bölümünde Isı ve Kütle Transferi Bilim Dalında doçent oldu. 1983'te Çukurova Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalına profesör olarak atandı. Almanya dışında İngiltere'de Cambridge ve Liverpool Üniversitelerinde, ABD'de Massachusetts Institute of Technology'de misafir öğretim üyesi olarak bulundu. 1982-1983 yıllarında K.T.Ü Makina Mühendisliği Bölüm Başkanlığı görevini yaptı. 1986-1989 yılları arasında Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dekanlık görevini yürüttü. Halen Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölüm Başkanlığı ve Çukurova Üniversitesi Soğutma ve İklimlendirme Tekniği Uygulama ve Araştırma Merkezi Müdürlüğü görevlerini sürdürmektedir.

Orhan BÜYÜKALACA

1964'te Kaş-Antalya'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Antalya'da tamamladı. 1984 yılında Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümünden mezun oldu ve aynı bölümde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı. 1987 yılında Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisansını tamamladı.1993 yılında Manchester Üniversitesinde Doktorasını tamamladı ve aynı yıl Çukurova Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümüne Yrd. Doç. Olarak atandı. 1998 yılında Makina Mühendisliğinde, Isı Tekniği Bilim Dalında Doçent oldu. Halen aynı bölümde öğretim üyesidir.