

BİR SOĞU DEPOSUNUN EKONOMİK ANALİZİ

Tahsin BAŞARAN
Aytunç EREK

ÖZET

Gün içi farklı elektrik fiyatlandırması dolayısıyla, enerji depolu sistemlerin kullanımı verimli olmaktadır. Böylece, düşük fiyatlı periyotta depolanan enerji, elektrik fiyatının yüksek olduğu periyotta kullanılarak tasarruf yapma imkanı sağlamaktadır. Ayrıca, kısa bir periyotta gerekli olan yüksek enerji ihtiyacının karşılanması için tasarlanan görece büyük klasik soğutma sistemi yerine; aynı yükü karşılayacak daha düşük soğutma kapasiteli bir enerji depolu soğutma sisteminin kullanılması, soğutma grubu için ilk yatırım maliyetini azaltacaktır. Bu çalışmada, soğutma grubuna entegre buz depolu bir sistem üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmadan hareketle, harcanan elektrik miktarına karşılık, depolanan enerji miktarı hesaplanmıştır. Soğu deposunun getirdiği ilave maliyet hesaplanarak, böylesi bir sistemin ne kadar zamanda kendisini amorti edebileceği, sistemin soğu depolu veya deposuz olma durumlarındaki soğutma kapasitesi de göz önüne alınarak, belirlenmiştir.

1. GİRİŞ

Enerjinin verimli kullanımı, enerji kaynaklarındaki azalmaya paralel, önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu bağlamda enerjinin depolanarak; gerektiğinde kullanılabilmesi, verimi artırıcı bir etkiye sahip olacaktır. Elektrik talebinde gün içindeki dalgalanmalar dolayısıyla enerji depolu sistemler; fazla yüklerin karşılanmasıyla, görece küçük kapasiteli soğutma grubu seçimi ve düşük tarifeden elektrik kullanımı olanağını yaratmaktadır. Mekan iklimlendirmesinde veya süt endüstrisinde olduğu gibi; gün içinde 2-3 saatlik bir soğutma ihtiyacının karşılanmasında, tepe yüklerle göre seçilen görece büyük soğutma grupları; ilk yatırım maliyetini artırmaktadır. Buna karşılık, görece küçük kapasiteli soğutma grubuna enerji deposu entegrasyonu ile ilk yatırım maliyetini düşürmek ve sistemin gece çalıştırılması ile de düşük fiyatlı elektrikten faydalanmak mümkün olacaktır. Ayrıca, geceleri görece düşük ortam sıcaklığı dolayısıyla, kondenser verimi de artmaktadır. Bu sistemlerin yaygınlaşması, ana şebekedeki dönemsel aşırı yüklenmenin ve uzun erimli enerji kullanımındaki olası darboğazların da önüne geçecektir.

Bu çalışma, enerji depolama yöntemlerinden biri olan, yaygın bir kullanım alanına sahip, faz değişimli soğu depolama üzerinedir. Soğu depolamadaki zamana bağlı faz değişim problemine ilişkin gerçekleştirilen birçok çalışmada; sınır koşullarının sabit olmamasından dolayı, farklı çözüm metotları uygulanmaktadır [1]. Ayrıca doğal taşınım etkisinin göz önüne alınması ile de problem daha karmaşık hale gelmekte ve sayısal yaklaşımla çözümlenmektedir [2-4]. Katılma veya erimedeki ısı transferi problemlerine ait ayrıntılı özetler, Viskanta [5] ve Fukusako ve Yamada [6] tarafından sunulmuştur. Bir gizli ısı depolama biriminin modellenmesinde; boru-kovan tipi ısı değiştirgecinin, kovan kısmında faz değişim malzemesi; boru içinde ise ısı transfer akışkanı olmak üzere tasarlanan sistem üzerine İsmail ve Alves [7], Lacroix [8] ve Zhang ve Faghri [9] tarafından çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Soğu depolama üzerine yapılan son çalışmaları içeren bir makale Saito [10] tarafından yayınlanmıştır.

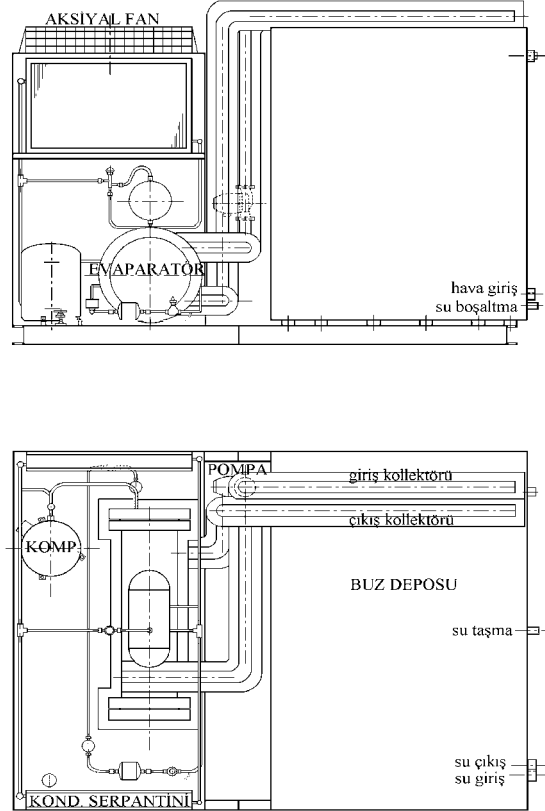
Faz değişimli bir soğu deposu modellemesi, sayısal olarak Neto ve Krarti tarafından gerçekleştirilmiştir [11]. Soğu depolamada, malzeme, ısı transferi ve uygulama başlıkları altında ayrıntılı bir çalışma ise

Zalba vd. [12] tarafından yapılmıştır. Çalışmalarında, birçok ticari uygulamaya ilişkin referanslar da verilmiştir. Bazı uygulama örneklerine [13-16] referanslarından ulaşılabılır.

Bu çalışmada, görece düşük yatırım ve işletme maliyetine sahip buzla soğutma üzerine ekonomik bir analiz gerçekleştirilmiştir. Soğutma grubunun buharlaştırıcısında ısıyı çeken ısı transfer akışkanı etilen glikol-su karışımı, su ile dolu buz deposuna yerleştirilmiş polietilen boru demetlerinin içinden geçerek, boru dışında buz oluşumunu sağlamaktadır. Burada, öncelikle sistem tanıtılıp, çalışması irdelendikten sonra, böylesi soğutma depolu sistemlerin işletim stratejilerinden olan “tam depolama” ve “kısmi depolama” üzerine mevcut sistem üzerinden örneklemeler yapılmıştır. Zamana bağlı depolanan buz ve dolayısıyla gizli enerji ile harcanan elektrik miktarı deneysel olarak belirlenmiştir. Soğutma deposunun maliyeti çıkarılarak, amortisman süresi de yaklaşık olarak hesaplanmıştır.

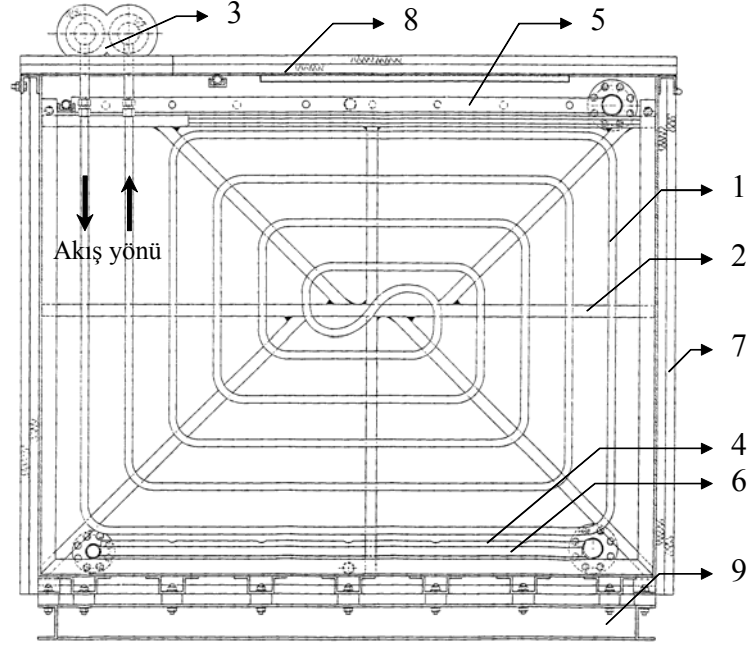
2. SOĞUTMA GRUBU ve ENTEGRE BUZ DEPOSU

Sistem, bir soğutma grubuna entegre “buz deposu”ndan oluşmaktadır (Şekil 1). Soğutma grubundaki soğutucu akışkan freon-22 iken; buz deposundaki polietilen borularda dolaşan ısı transfer akışkanı, su ile %45 oranında karıştırılan etilen glikoldür. Etilen glikol-su karışımı, “giriş kolektörü” vasıtasıyla, buz deposu içindeki borulara dağıtılmakta ve “çıkış kolektörü”nden de toplanarak, soğutma grubunun evaporatörüne gönderilmektedir. Depodaki buz harici hacmi kaplayan donma sıcaklığına yakın sıcaklıktaki su ise, kolektör vasıtasıyla, “su giriş” ve “su çıkış”ından, amaca yönelik kullanım için devri daim yapılmaktadır. Ayrıca, homojen buz oluşumunu sağlamak ve gerektiğinde ergime sürecini hızlandırmak amacıyla, “hava giriş”inden basınçlandırılmış hava verilmektedir. “Su boşaltma” ve “su taşma” boruları ise olası fazla suyun atımı ve deponun gerektiğinde tamamen boşaltılabilmesi için tasarlanmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Soğutma grubu ve entegre buz deposu.

Su-etilen glikol karışımı, bir pompa yardımıyla, su ile dolu tanka yerleştirilmiş, iç çapı 13 mm, dış çapı 17 mm olan polietilen borular (1) içerisinden geçerek, boru dışında buz oluşumunu sağlamaktadır (Şekil 2). 13'er metre uzunluğunda olan 8 adet polietilen boru (1), buz deposu içerisine rahatça girip çıkabilecek konstrüksiyonlar üzerine sabitlenmiştir (2). Deponun tasarlanmasında, boru eksenleri arasındaki mesafe, 20 saatlik çalışma sonunda oluşacak buz kalınlığı göz önüne alınarak belirlenmiştir. Böylece iki boru üzerindeki buzların birleşmesiyle, soğu geri kazanım sürecinde, dönüş suyunun geçiş bölgesi engellenmemiş olunur. Ayrıca giriş ve çıkış boruları yan yana tasarlanarak, boru boyunca oluşan buz kalınlığındaki değişimden dolayı, depolama sürecinin sonlarına doğru bazı bölgelerdeki olası buz birleşmeleri ve dönüş suyunun geçeceği bölgenin kapanması önlenmiştir.

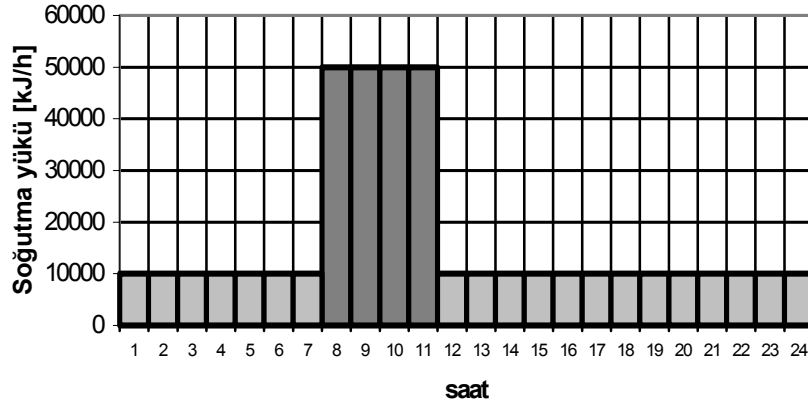


Şekil 2. Buz deposu yandan kesiti.

Su-etilen glikol karışımı kollektörler vasıtasıyla polietilen borulara dağıtılıp toplanmaktadır (3). Buz deposunun alt kısmına su toplama boruları yerleştirilmiştir (4). Amaca yönelik kullanılan su; daha sonra deponun üzerinden tanka dönmektedir (5). Ayrıca, deponun altına yerleştirilen borulardan hava basılmaktadır (6). Buz deposu, ikişer cm kalınlığındaki iki kat cam yünü ile izole edilmiştir (7). Bir kapak vasıtası ile, gerektiğinde, buz deposunun içine ulaşma imkanı vardır (8). Buz deposu, soğutma grubu ile birlikte taşıyıcı, NPU profiller üzerine monte edilmiştir (9).

3. SOĞU DEPOLAMA

Sistem süt endüstrisinde, yaklaşık 200,000 kJ'lük bir soğutma yükünü karşılamak üzere tasarlanmıştır ve işletim stratejisi "tam depolama"dır. Buna göre, yaklaşık 10,000 kJ/h'lik depolama sağlayan sistem, 20 saat boyunca, saat 12:00'dan ertesi gün 08:00'a kadar çalışarak yaklaşık 625 kg buz üretmekte ve depolanan bu soğu, amaca yönelik, soğutma grubunun devre dışı kaldığı 4 saat boyunca 08:00'dan 12:00'a kadar 50,000 kJ/h'lik soğutma ihtiyacını karşılayacak şekilde kullanılmaktadır (Şekil 3). Böylece, yaklaşık olarak 5 kat büyük bir soğutma grubu seçmek yerine, 10,000 kJ/h'lik soğutma sağlayan bir sistem, ilk yatırım maliyetini düşürdüğü gibi, elektrik fiyatlarının düşük olduğu saatlerde çalıştırılarak işletme masraflarını da azaltmaktadır. Şekil 3'de açık renkteki barlar depolamayı; koyu renktekiler ise depolanan soğüğün kullanıldığı periyodu göstermektedir. Bu, soğutma grubunun çalışmayıp, buz deposundan soğüğün çekildiği periyottur.



Şekil 3. Sistemin süt endüstrisi için tasarım-çalışma stratejisi: "tam depolama".

Tasarım kriterinden farklı olarak, bu çalışmadaki ekonomik analiz, soğu deposu kapasitesinin tamamının kullanılmamasıyla birlikte, Şekil 4'de görüldüğü üzere, "kısmi depolama" stratejisiyle, mekan soğutmasına yönelik olarak, gün içerisinde soğutma yükünün sabit kaldığı kabulü ile gerçekleştirilmiştir. Buna göre, elektrik fiyatlarının görece düşük olduğu; saat 22:00'dan ertesi gün 14:00'a kadar, 16 saat boyunca depolanan 160,000 kJ'lük soğu; gün içi 08:00'dan 16:00'a kadar 8 saat boyunca gerekli olan soğutma ihtiyacını, yarı kapasitedeki bir soğutma grubu ile karşılamaktadır. Şekil 4'de, açık renkteki barlar, depolama sürecini; koyu renktekiler ise mahallin soğutma yükünün depodan karşılandığı periyodu göstermektedir. Taralı barlar boyunca ise, soğutma grubu devrededir ve mekanın soğutma ihtiyacının bir kısmını karşılamaktadır.



Şekil 4. Mekan soğutması için "kısmi depolama"lı strateji.

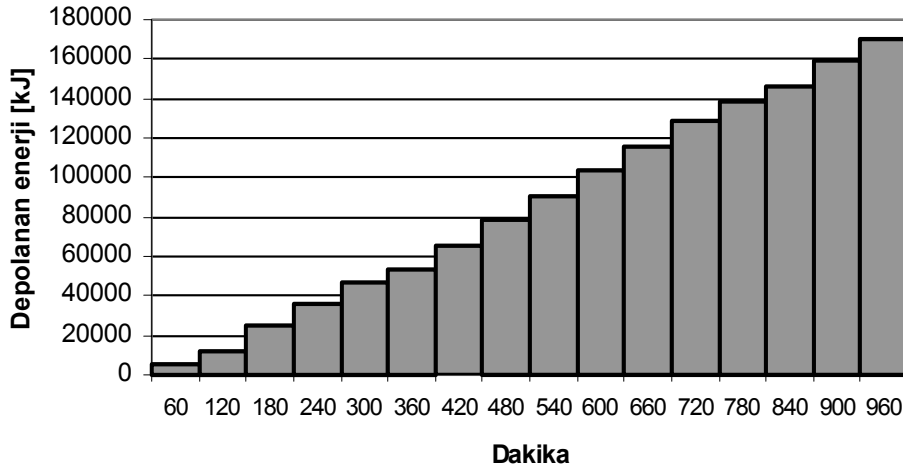
Sistem, Tablo 1'de verilen fiyatlandırma göz önüne alınarak, tarifenin düşük olduğu saatlerde, toplam 16 saat çalıştırılmış, en yüksek tarifenin söz konusu olduğu 17:00-22:00 saatleri arasındaki 5 saatte ve soğutma grubunun çalışmadığı 8 saatlik süreyi tamamlamak üzere, 3 saatte; 14:00-17:00 arasında olmak üzere devre dışı bırakılmıştır. Mekan soğutmasının yapıldığı 08:00-16:00 arasındaki 8 saatin ilk 7 saatinde soğutma grubu devrede olup; mekanın soğutma yükünün yarısını karşılar (diğer yarısı soğu deposundan); son saatte mekanın soğutma yükünün tamamı soğu deposundan karşılanmaktadır.

Tablo 1. Sanayi için (tek terimli tarife), saat bazlı fiyatlandırma (Temmuz 2003 itibarıyla).

17:00-22:00 arası	22:00-06:00 arası	06:00-17:00 arası
213,400 TL/kWh	61,300 TL/kWh	119,800 TL/kWh

4. DENEYSEL SONUÇLAR

Bu çalışma, ikinci bölümde açıklanan sistem üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışma ile de desteklenmiştir. Buna göre, soğutma grubu devreye alınarak buz deposundaki su sıcaklığının 0°C'a yaklaşması sağlanmış ve deneysel ölçümler sonrasında gerçekleştirilmiştir. Belirli zaman aralıklarında, borular üzerinde oluşan buzların kalınlıkları kumpas ile ölçülerek; depolanan buz miktarı belirlenmiştir. Böylece, buz kütlesi ile gizli ısının çarpımı, Şekil 5'de gösterilen, depolanan gizli ısıyı vermiştir. 16 saat boyunca harcanan elektrik enerjisi ise 41.5 kWh olarak belirlenmiştir [17]. Bu tüketimin önemli bir kısmı 2.25 kW'lık kompresör için harcanırken; fan motoru 0.25 kW, sirkülasyon pompası ise 75 W güç çekmektedir. Soğutma grubunun kondenzasyon sıcaklığı 52°C, evaporasyon sıcaklığı ise -17°C'dir. Etilen glikol-su karışımı, buz deposundaki boru demetine başlangıçta -8.5°C'da girerken, deney sonunda bu değer -10.7°C'a düşmüştür. Buna karşılık, çıkış sıcaklığı -6°C civarında bir miktar oynamıştır [18]. Sıcaklık ölçümleri T tipi ısı çiftleri ile yapılmıştır. Etilen glikol-su karışımının hacimsel debisi ise yaklaşık 22 l/dak olarak rotametre (Blue-White F-42100LM) ile ölçülmüştür.



Şekil 5. Deneysel çalışmada zamana bağlı depolanan enerji.

5. SOĞU DEPOSUNUN MALİYETİ

Soğu deposunun maliyeti, Temmuz 2003 tarihi itibarı ile, Tablo 2'de çıkarılmıştır. Ayrıntılı fiyatlandırma Ek A'da sunulmuştur. Fiyatlar, KDV dahil satış rakamlarını vermektedir.

Tablo 2. Buz deposu maliyeti (Temmuz 2003 itibarıyla).

Malzeme	Özellik	Tutar [TL]
Saç	5, 2, 0.8 mm kalınlıklarında	187,541,547
Boru	1 1/2", 1", 3/4", 1/2" çaplarında	48,593,265
Polietilen boru vd.	1/2", klips, rekor, lama, cam çitası	176,192,775
Demir elemanlar	Kepenک oluğu, NPU	52,982,257
Cıvata/somun, flanş	M10, M8, 2", 1 1/4"	55,535,000
İzolasyon	Cam yünü, 4 mm	10,631,250
Sirkülasyon pompası	6 m ³ /h, 2.5 mSS	350,000,000
Etilen glikol	40 l	120,000,000
Galvanizleme	Tankın tamamı	225,000,000
İşçilik		500,000,000
Toplam maliyet		1,726,476,093

Buna göre, yaklaşık 20 saat boyunca çalışıp 200,000 kJ'lük soğucu buz şeklinde depolayacak soğucu deposunun maliyeti 1,726,476,093 TL olarak hesaplanmıştır. Bu değer, Temmuz 2003 için, 1,570,000 TL'lik Euro kuru üzerinden, yaklaşık 1,100 Euro'ya karşılık gelmektedir. Bu rakamı, seri üretimle çok daha aşağılara çekmek mümkün olacaktır.

6. EKONOMİK ANALİZ

Soğucu deposunun kullanımı, üçüncü bölümde açıklandığı gibi, görece düşük kapasiteli soğutma grubu seçimi ile ilk yatırım maliyetini önemli ölçüde düşürerek, uygulama alanına göre, buz deposunun getirdiği ek maliyet ile kıyaslanamayacak bir avantaj yaratmaktadır. Buna karşılık burada, sadece gün içi farklı elektrik fiyatlandırmasının getirdiği avantaj göz önünde bulundurularak ekonomik bir analiz yapılmıştır. Buna göre, Şekil 4'de verilen 160,000 kJ'lük toplam soğutma yükünü karşılamak üzere, 10,000 kJ/h'lik soğutma kapasitesine sahip bir soğutma grubu ve entegre buz deposundan oluşan sistemin, 16 saat boyunca harcadığı 41.5 kWh'lik elektrik enerjisi baz alınmıştır. Bu elektrik enerjisinin yarısı 61,300 TL/kWh, diğer yarısı da 119,800 TL/kWh'lik tarifeden tüketilmiştir. Buna göre 16 saatten oluşan günlük kullanım için ödenen fatura, 3,757,825 TL olacaktır. Buna karşılık, aynı performans katsayısına sahip bir diğer soğutma grubuyla 160,000 kJ'lük soğutma yükünün getireceği günlük maliyet, 8 saatte, aynı elektrik tüketimini gerçekleştireceği kabul edilerek, görece yüksek fiyatlandırmanın olduğu 119,800 TL/kWh'lik tarifeden dolayı; 4,971,700 TL olacaktır (Tablo 3). Burada, soğucu depolu soğutma grubunun performans katsayısı için, sistemin tamamı göz önüne alınmıştır. Buna karşılık diğer soğutma grubu, tek başına, karşılaştırma için kullanılmıştır. Yapılan karşılaştırmalarda performans katsayısının gün boyunca sabit olduğu kabul edilmiştir. Bir soğutma grubunun performans katsayısı dış ortam sıcaklığına bağlıdır ve bu durum özellikle enerjinin gece depolandığı soğucu depolu sistemlere ilave bir avantaj daha sağlamaktadır.

Tablo 3. Soğucu depolu ve deposuz sistemlerin karşılaştırması.

Sistem	Elektrik tüketimi	Tarife [TL/kWh]	Tutar [TL]
Soğucu deposuz	8 saatte 41.5 kWh	119,800	4,971,700
Soğucu depolu	8 saatte 20.75 kWh 8 saatte 20.75 kWh	61,300 119,800	3,757,825
Günlük fark			1,213,875

Böylece soğucu depolu sistemin günlük yarattığı avantaj 1,213,875 TL olarak hesaplanmıştır (Tablo 3). Sistemin, tüm yıl boyunca her gün çalıştığı kabul edilirse, böyle bir sistem yaklaşık 443,000,000 TL'lik bir avantaj sağlayacaktır. Buna göre yaklaşık 4 yıl sonra, sadece elektrik fiyatlarındaki farklılıktan dolayı, buz deposu kendisini amorti edecektir. Bu süre zarfında 75 W'lık sirkülasyon pompasının getirdiği ilave işletme gideri, ihmal edilebilecek kadar küçük bir maliyet getirecektir.

SONUÇ

Bu çalışmada, 3 tonluk bir soğutma grubuna entegre buz deposunun maliyeti çıkarılıp, "kısmi depolama"lı bir uygulama için amortisman süresi belirlenmiştir. Gün içi farklı elektrik tarifelerinden dolayı sistem, yaklaşık olarak 4 yıl içerisinde, maliyetini karşılayarak kara geçmektedir. Özellikle, Tablo 1'de verildiği gibi, elektrik fiyatlarının en yüksek olduğu 17:00-22:00 arasında bir talep oluşması durumunda, soğutma grubunun devre dışı bırakılıp, buz deposundaki soğucunun kullanımı ile sistem daha da etkin hale gelecektir. Ayrıca, gece depolamanın söz konusu olduğu durumlarda, deposuz gündüz çalışan soğutma gruplarına göre, görece düşük ortam sıcaklığı dolayısıyla ile kondenser verimi artarak, sistemin performans katsayısı da yükselmektedir.

Vurgulanması gereken bir diğer nokta ise, buz depolu entegre bir sistemin, görece düşük kapasiteli bir soğutma grubu seçimiyle ilk yatırım maliyetine getirdiği önemli katkıdır. Şekil 4'de görüldüğü üzere, mekanın 20,000 kJ/h'lik soğutma yükü; 10,000 kJ/h'lik soğutma sağlayan bir buz depolu sistemle sağlanabilmektedir. Ayrıca burada, mekan soğutma yükünün sabit kaldığı kabulü yapılmıştır. Gerçekte ortalama 20,000 kJ/h'lik soğutma yükü gün içinde azalır artabilir ve tepe yüklerin karşılanması için daha da büyük bir soğutma grubuna ihtiyaç duyulabilir. Buna karşılık, soğu depolu sistem, böylesi dalgalanmalara karşılık verebilecek esnekliktedir.

Yazın mekan soğutmasında, öğleden sonraları oluşan tepe yüklerin karşılanması, elektrik sisteminde aşırı yüklenmelere yol açmakta, bu da yer yer trafoların atması ve mevcut sistemin yetersiz kalması sonuçlarını doğurmaktadır. Bu tepe yüklerin karşılanması için kullanılacak soğu depolu sistemler, aşırı yüklenme dolayısıyla oluşan elektrik kesintilerinin de önüne geçecektir.

EK A. AYRINTILI DEPO MALİYETİ

Tablo A.1 Buz deposunu oluşturan elemanlar ve ayrıntılı fiyatlandırması (Temmuz 2003 itibarıyla).

Malzeme	Boyut	Birim	Birim fiyatı	Fire	Tutar [TL]	
Saç	5 mm kalınlık, 6.99 m ² alan	275.1 kg	565,000 TL/kg	%15	178,717,961	
	2 mm kalınlık, 0.168 m ² alan	2.6 kg	565,000 TL/kg	%15	1,718,147	
	0.8 mm kalınlık, 1.692 m ² alan	10.7 kg	580,000 TL/kg	%15	7,105,439	
Boru	1 1/2" çap, 3.26 m uzunluk		3,400,000 TL/m	%5	11,638,200	
	1" çap, 8.922 m uzunluk		2,350,000 TL/m	%5	22,015,035	
	3/4" çap, 0.17 m uzunluk		1,660,000 TL/m	%5	296,310	
	1/2" çap, 11.622 m uzunluk		1,200,000 TL/m	%5	14,643,720	
Polietilen boru	1/2" çap, 104 m uzunluk		600,000 TL/m	%5	65,520,000	
Klips	1/2"	320 adet	30,000 TL/adet	%5	10,080,000	
Rekor	1/2"	16 adet	2,000,000 TL/ad	%5	34,000,000	
Lama	45.2 m		500,000 TL/m	%5	23,730,000	
Cam çitası	53.2 m, 9.75E-5 m ² kesit alanı	40.82 kg	1,000,000 TL/kg	%5	42,862,775	
Kepenk oluğu	29.2 m, 0.00018 m ² kesit alan	41.36 kg	800,000 TL/kg	%5	34,746,365	
	NPU demir	80*45*6, 4.28 m uzunluk	34.36 kg	500,000 TL/kg	%5	18,037,568
		40*20*5, 0.12 m uzunluk	0.38 kg	500,000 TL/kg	%5	198,324
Cıvata/somun	M10	19 adet	500,000 TL/adet	%5	9,975,000	
	M8	24 adet	300,000 TL/adet	%5	7,560,000	
Flanş	2"	4 adet	7,000,000 TL/ad	-	28,000,000	
	1 1/4"	2 adet	5,000,000 TL/ad	-	10,000,000	
İzolasyon	4 mm cam yünü	9 m ²	1,125,000 TL/m ²	%5	10,631,250	
Pompa	6 m ³ /h, 2.5 mSS	1 adet		-	350,000,000	
Etilen glikol		40 l	3,000,000 TL/l	-	120,000,000	
Galvanizleme		500 kg	450,000 TL/kg	-	225,000,000	
İşçilik				-	500,000,000	
Toplam					1,726,476,093	

KAYNAKLAR

- [1] FUKUSAKO, S. ve YAMADA, M., Fundamental aspects of analytical and numerical methods on freezing and melting heat transfer problems, Annual Review of Numerical Fluid Mechanics and Heat Transfer, 1, 1986.
- [2] VOLLER, V.R. ve CROSS, M., Estimating the solidification and melting times of cylindrically symmetric region, Int. J. of Heat and Mass Transfer, 24, 1457-1461, 1981.

- [3] SPARROW, E.M. ve OHKUHO, Y., Numerical analysis of two-dimensional transient freezing including solid-phase and tube-wall conduction and liquid-phase natural convection, *Int. J. of Heat and Mass Transfer*, 9, 59-77, 1986.
- [4] CAO, Y. ve FAGHRI, A., A numerical analysis of phase-change problem including natural convection, *ASME J. Heat Transfer*, 112, 3, 812-816, 1990.
- [5] VISKANTA, R., "Phase change heat transfer", *Solar Heat Storage: Latent heat Materials*, G.A. Lane (Ed.), CRC Pres, 153-222, 1983.
- [6] FUKUSAKO, S. ve YAMADA, M., Recent advances in research on freezing and melting heat-transfer phenomena, *Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics, and Thermodynamics*, 1157-1170, 1991.
- [7] ISMAIL, K.A.R. ve ALVES C.L.F., Analysis of the shell and tube PCM storage system, *Proceedings of the 8th International Heat Transfer Conference*, 1781-1786, 1986.
- [8] LACROIX, M., Numerical simulation of melting and resolidification of a phase change material around two cylindrical heat exchangers, *Numerical Heat Transfer (A)*, 24, 143-160, 1993.
- [9] ZHANG, Y. ve FAGHRI, A., Analytical solution of thermal energy storage system with conjugate laminar forced convection, *Int. J. of Heat and Mass Transfer*, 39, 59-77, 1996.
- [10] SAITO, A., Recent advances in research on cold thermal energy storage, *Int. J. of Refrigeration*, 25, 177-189, 2002.
- [11] NETO, J.H.M. ve KRARTI, M., Deterministic model for an internal melt ice-on-coil thermal storage tank, *ASHRAE Transactions*, 103, 1997.
- [12] ZALBA, B., MARIN, J.M., CABEZA, L.F. ve MEHLING, H., Review on thermal energy storage with phase change: materials, heat transfer analysis and applications, *Applied Thermal Engineering*, 23, 251-283, 2003.
- [13] www.calmac.com
- [14] www.dunham-bush.com
- [15] www.baltaircoil.com
- [16] www.epsltd.co.uk
- [17] BAŞARAN, T. ve EREK A., Bir soğu deposunun performansı, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 1, 2, 97-105, 1999.
- [18] ÖNGÜ, Ş., "Bir soğu deposunun performansının belirlenmesi", *DEÜ Makina Müh. Böl. Bitirme tezi*, 1998.

ÖZGEÇMİŞLER

Tahsin BAŞARAN

1967 Selçuk doğumludur. Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nü 1991 senesinde bitirmiştir. Aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü, Termodinamik ABD'dan 1995 yılında yüksek lisans derecesini ve adı geçen enstitünün Enerji ABD'dan doktora derecesini, 2002 yılında almıştır. 2000-2001 döneminde, Yeni Zelanda hükümetinin verdiği bursla, 1 yıl süreyle, Auckland Üniversitesi Jeotermal Enstitüsü'nde, Jeotermal Diploma Kursuna katılmıştır. Halen DEÜ Makina Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır. Isı iletiminde sayısal çözümleme, termosifon döngüsündeki akışın incelenmesi, soğu depolama ve jeotermal enerjinin doğrudan ve dolaylı kullanımına ilişkin uygulamalar; bu bağlamda derin kuyu ısı değiştirgeçleri üzerine çalışmaktadır.

Aytunç EREK

1966 yılı İzmir doğumludur. 1989 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. Aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü, Termodinamik ABD 'dan 1993 yılında yüksek lisans ve 1999 yılında doktora derecelerini almıştır. 1999 yılından beri Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde Yrd. Doç. Dr. olarak görev almaktadır. Sayısal akışkanlar mekaniği, faz değişimli ısı transferi uygulamaları, katı modelleme ve ısıl analiz konularında çalışmaktadır.