

BUZ DEPOLAMA TEKNOLOJİLERİ Ve İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNDE UYGULAMA POTANSİYELİ Ve ENERJİ VERİMLİLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ali GÜNGÖR

ÖZET

Bu araştırmada soğu depolama amaçlı kullanılan faz değişimli buz depolamalı teknolojiler üzerinde durulacaktır. Ayrıca soğuk su depolama, statik buz depolama ve dinamik buz depolama sistemler, diğer faz değişimli sistemler ve özellikleri verilecektir. Bu tür sistemlerin iklimlendirme sistemlerinde kullanımı durumunda yatırım, işletme ve bakım giderlerine olan etkileri tartışılacaktır. İklimlendirme sistemlerinde kullanımları ile ilgili sistemler ve modellemeler ve buz depolamalı sistemlerin boyutlandırma tasarımları üzerinde durulacaktır. Başarılı uygulanan sistemlerden örnekler verilecek ve çalışma performansları irdelenecektir. Bu tür sistemlerin enerji verimliliği açısından değerlendirilmesi gerçekleştirilecektir.

Anahtar sözcükler: buz depolamalı iklimlendirme, buz depolama, iklimlendirmede enerji verimliliği

ABSTRACT

In this study, the phase change of ice used for cooling storage technologies will be discussed. Also cold water storage, static ice storage, dynamic ice storage and other phase change materials systems advantage and properties will be given. Such systems used in air conditioning systems in case of investment, operation and maintenance costs effects are discussed. Air conditioning with storage systems modeling and dimensioning of ice storage systems are given. Some of the successful applied systems will be implemented and performance of them will be discussed. Such systems will be evaluated for energy efficiency.

Keywords: Ice storage air conditioning with ice storage, ice storage, energy efficiency in HVAC

1. GİRİŞ

Fosil yakıtların giderek daha az bulunur olması ve daha pahalı olmaları, enerji korunumu stratejilerinin uygulanabilirliğini artırmıştır. Enerji korunumu üzerinde çok çalışılmasına ve başarılı uygulamalar yapılmış olmakla birlikte, pik yük enerji korunumu üzerinde çok fazla araştırma ve uygulamalar son yirmi yıllarda gerçekleştirilmeye başlamıştır. Pik yük elektrik üretimleri için önemli zorunluluklar ortaya çıkarabilmektedir. Bu süreçlerde yedeklemeye ayrılmış üretim tesisleri de bu pik yükün karşılanması amaçlı ülke bazında üretime geçirilmektedir. Bu üretimlerde verimsiz ya da en son düşünülen fosil yakıt kullanımları ile çalışan daha az verimli üretimlerle de bu pik yük karşılanmasına gidilebilmektedir.

Binaların iklimlendirmesi özellikle yaz aylarında gündüz saatlerinde elektrik tüketimini pik konumuna getiren en önemli tüketimlerdenidir. Gerçekte de iklimlendirme sistemleri gün içinde her zaman tam kapasitede çalışmaz. Isı yükünün en çok olduğu saatlerde, örneğin dış sıcaklığın en çok olduğu, öğleden sonra 2-4 saatleri arasında bu tam kapasitede çalışma gerçekleşir. Değişik ısı

kaynakları tarafından üretilen bu ısı yükünün atılması için, dolaylı olarak pik yüklerde elektrik enerjisi gereksinimi doğar. Bu tüketimin büyük çoğunluğu dolaylı olarak su soğutma gruplarında kullanılır. Elektrik üretimi kontrol altında tutulmak istense de, üretim sonrası kullanılmak durumundadır. Elektrik üretimi (MW) talebe bağlı olup, genelde öğleden sonraları ve akşam saatlerinde pik yüklerde olup, gece periyodunda da daha düşük mertebelindedir. Pik yüklerin olduğu saatlerde üretimin artırılması, tüketimin az olduğu saatlerde de üretimin düşürülmesi, yani tesislerin genelde düşük üretim kapasitelerinde elektrik üretimlerini gerçekleştirmesi beklenir. Verimin iyileştirilmesi, tüketicilerin gece saatlerinde elektrik kullanımlarının özendirilmesi amaçlı, elektrik tarifelerinde farklılıklar da söz konusu olabilmektedir. Buna göre gece saatlerinde kullanımlardaki elektrik tarifeleri, pik yükün olduğu gündüz saatlerindeki göre daha düşük fiyatlardadır. Ülkemizde de Akıllı Sayaç - Elektrik Tarifeleri uygulamaları konut, sanayi ve diğer kullanıcılar için uygulanmaktadır.

2011 yılı Elektrik tarifelerine göre, bir tüketicinin hangi tarifede daha az fatura ödeyebileceğini öğrenebilmesi için TEDAŞ'ın oluşturduğu iki tarifeyi tüketim analizlerine göre değerlendirmesi gerekmektedir.

Var olan tarifeler: Tek Terim Tarifesi (Normal Tarife) ve Akıllı Sayaç Tarifesidir.

Tek Terim Tarifesi: Sabit birim fiyat uygulanır.

Akıllı Sayaç Tarifesi: Gün üç parçaya bölünür ve bu zaman aralıklarında ayrı birim fiyatlar uygulanır.

Akıllı Sayaç Tarifesindeki zaman aralıkları da aşağıdaki gibidir.

Üç Zaman Aralığı:

Gündüz - (06:00 - 17:00)

Puant - (17:00 - 22:00)

Gece - (22:00 - 06:00)

Özellikle pik yükler veya gün içi soğu gereksiniminin çoğunun doğru bir projelendirme ile gece zaman aralığı tarifelerinde soğu depolama sistemleri ile (soğutulmuş su, buz veya ötektik tuzlarla depolama) depolanması, öncelikle elektrik tüketimi maliyetlerini oldukça düşürebilecektir.

Kazanımlar proje bazlı soğu depolama sistemi özelliklerine göre farklı değerlerde gerçekleşecektir. Ülkemizde uygulanan elektrik tarifeleri http://www.tedas.gov.tr/17,Tarifeler_Index.html (1 Ağustos 2011) internet adresinden alınarak proje kazanımlarında son tarifelerle belirlemeler gerçekleştirilebilir.

Isıl enerji depolama (soğu depolama) sistemi uygulaması, iklimlendirme sistemlerinde elektrik enerjisinin ucuz olduğu gece saatlerinde bu depolamanın gerçekleştirilmesi biçiminde uygulanarak, gündüz saatlerindeki pik ısı yüklerinin karşılanması bu depolanan enerjinin kullanımıyla sağlanır.

Bir soğuk depolama sistemli iklimlendirme sisteminin, konvansiyonel uygulanan iklimlendirme sistemlerine göre avantajları aşağıda sıralanmıştır:

- Konvansiyonel bir iklimlendirme sistemine göre soğutma sisteminin kapasitesi oldukça düşürülmüştür ve pik bina yüklerindeki gereksinimleri karşılayacak kapasitelere sahip olması gerekmez.
- Su soğutma grubu, soğuk depolama periyodu boyunca tam kapasitede bir çalışma sürecindedir. Bu nedenle de soğutma tesisi beklenen en iyi verimlilikte çalışmaktadır. Bu durum konvansiyonel sistemlerde ise çoğunlukla kısmi yükte düşük verimliliklerde çalışma nedeniyle günlük ve hatta mevsimsel çalışma verimlilikleri daha düşük değerlerdedir. Bu çalışma biçimiyle enerji verimliliği açısından sistemin oldukça iyileştirilebildiği açıktır.
- Soğuk depolama sistemleri soğutma elektrik yükünü gece saatlerine kaydırmaktadır ve gece saatlerinde çevre sıcaklıkları gün içindeki değerlerin oldukça altında değerlerdedir. Bunun sonucunda hem sabit yükte ve hem de düşük çevre sıcaklıklarında çalışma su soğutma grubu (chiller) verimliliklerinde, gündüz çalışanlara göre, iyileşmelere neden olmaktadır.
- Daha büyük sıcaklık farklılıklarının iklimlendirme ünitesinde bulunması sirküle edilen hava debisinin azaltılmasına ve bunun sonucunda daha küçük iklimlendirme ünitesi, daha küçük

borulama, hava dağıtımı ve kanallı dağıtım sistemi, daha küçük elektriksel ekipman ve kablolama kanal işçilik maliyeti ve boyutlarında da küçülmeler gibi avantajlar sağlayacaktır.

- Bir binada soğuk depolama sistemi uygulandığında su soğutma grubu (chiller) kapasitesi önemli ölçüde uygulamaya göre azalır. Bunun sonucunda soğutkan şarj miktarında önemli düşmeler gerçekleşir, özellikle sistemlerde kullanılan soğutkanlar atmosfere zararlı emisyonlara sahipse, sonuçta uygulamanın ozon tabakasının olumsuz etkilenmesinin azalmasına ve sera etkilerinin azalmasına (global ısınmanın azalmasına) olumlu etkileri sağlanabilecektir.

1.1. Soğu Depolama Teknolojileri

Soğu depolama teknolojileri uygulamalarının gerçekleştirildiği sistemler, depolama ortamı, bir tank, su soğutma grubu (chiller) ve bağlantı borulama sistemleri, pompalar ve kontrol sistemlerinden oluşur. Soğu depolama sistemini depolama ortamı ve kullanılan depolama teknolojisi karakterize eder.

Depolama ortamı olarak soğutulmuş su, buz veya ötektik tuzlar kullanılabilir. Her bir depolama ortamı için çalışma karakteristikleri ve depolanan enerjinin fiziksel gereksinimleri farklıdır. Depolama ortamı, depolama tankının ne büyüklükte olması gerektiğini ve iklimlendirme (HVAC) sisteminin ne tür bileşenlerden oluşması gerektiğini ve boyutlarını belirlemede ana etkidir.

Depolama teknolojileri arasında soğutulmuş su tankları, buz sistemleri ve faz değişimli malzemeli olanlar mevcuttur. Bunların arasında buz sistemleri daha yoğun depolama kapasitesi sunmakla birlikte daha kompleks şarj ve deşarj cihazlarına sahiptir.

Soğu depolama sistemleri duyulur soğu depolaması sağlayabilen özellikte (tipik olarak tabakalaşmış soğutulmuş su tankı veya düşük sıcaklıkta depolanmış akışkan) olabildiği gibi gizli ısı depolama özellikte de (tipik olarak buz depolamalı sistemler) olabilir. Soğu depolama sistemi teknolojisi seçimini etkileyen faktörler: ekonomik değerlendirme, gerek duyulan hacimin bulunması, mevcut su soğutma grubu özellikleri, istenen sistem çalışma sıcaklıkları, sistem tasarımcısı veya sahibinin deneyimleri ve tercihleridir[7].

1.1.1. Soğutulmuş Sulu Sistemler

Soğutulmuş sulu sistemler, çok büyük projelerde (45000 m² üzerindeki uygulamalar) yeterli uygulama alanı mevcutsa en yaygınlıkta gerçekleştirilmektedir. Çelik, plastik veya beton tanklar yer üstü veya yer altı olarak uygulanabilmektedir. Özellikle bu depolanan su, yangın söndürme amaçlı bu sistemde kullanılabilir.

Yeni bir soğutma gereksinimi gelişimi olacaksa, mevcut sisteme yeni su soğutma grubu (chiller) eklemektense soğutulmuş su deposunun eklenmesiyle ilave soğutma yükünün sağlanması önemli bir seçenektir.

Bu sistemlerde suyun duyulur ısı kapasitesinden yararlanılır, yaklaşık olarak 1 kg suda 1°C soğutulduğunda depolanan soğu enerjisi 4,18 kJ değerindedir.

Duyulur ısı depolama etkinliği malzemenin özgül ısısına bağlıdır. Eğer hacimsel büyüklük önemliyse depolama malzemesinin yoğunluğu önem kazanır. Tank hacmi soğu deposundan sağlanan su sıcaklığı ve yükten dönüş su sıcaklığına bağlıdır ve ayrıca depolama tankında soğuk su ve ılık su arasındaki ayrışma derecesine bağlıdır. Soğu deposu olmayan iklimlendirme sistemlerinde 5-7°C'lık sıcaklık farkı ile çalışılır. Soğutulmuş sulu sistemler ise kabul edilebilir bir soğu depolama tankı büyüklüğü için, genellikle en azından 9°C'lık bir farka gereksinim duyar. Sıcaklık farkının artması tank hacmini küçültecektir.

11°C'lık bir sıcaklık farkı birçok bina soğutma uygulaması için pratik maksimum değerdir. Nadir olarak bazı sistemlerde 16-17°C'a aşılacak uygulamalar da gerçekleştirilir.

Soğutulmuş su için, pratik en az depolama hacmi 11°C sıcaklık farkı için, 0,303 m³/tonh mertebesindedir. Sonuçta söylenebilir ki statik veya buz oluşumlu sistemler giderek daha popüler olma yapısındadır.

1.1.2. Buz Depolamalı Sistemler

İki temel tip buz depolamalı sistemler (statik sistemler) ve buz üretim sistemleri (dinamik sistemler) olarak uygulanır. Buz depolama, daha karmaşık bir sistem olup, küçük ticari binalar ve depolama hacminin kısıtlı olduğu uygulamalarda tercih edilir. Buz depolamalı sistemleri daha fazla soğutma

gerektirirken, daha düşük sıcaklıklarda soğutulmuş su üretebilir ve bunun sonucunda daha küçük soğutulmuş su pompalarına gereksinim duyar ve dinamik sistemlere göre daha az maliyetlidir.

Buz depolamalı sistemlerin soğutulmuş su depolamalı sistemlere göre avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Belirli bir depolama hacmi için buz depolamalı sistemler, daha büyük soğu depolama kapasitesine sahiptir.
- Yenileme ve yeni uygulamalarda daha az hacme gereksinim duyarlar.
- Daha düşük yüzey alanlarına sahip olması nedeniyle daha az ısı kazançlarına sahiptir.
- Daha az tasarım kısıtına sahiptir. Örneğin sıcaklık tabakalaşmasına gereksinim duyulmaz.
- Paket sistemler olarak daha kolay ticari üretimler bulunabilir, imalatçının garantisi altında sistemler kurulabilir.
- Proje safhasında paket sistemlerin özellik ve maliyetlerinin bilinmesi nedeniyle, duyarlı ekonomik değerlendirmeler gerçekleştirilebilir.
- Bakım ve su şartlandırma yönünden daha az maliyetlidir (Paket tip tasarım ve daha az su sirkülasyonu nedeniyle)
- Daha düşük depolama sıcaklığı nedeniyle pompalama giderlerinde ve hava dağıtım giderlerinde düşme (Buna paralel borularda, kanallarda ve pompalarda küçülme v.b.).
- Depolama tanklarında modülerlik nedeniyle, fabrikalarda imal edilen standart boyutların olması.

1.1.3. Ötektik Tuzlarla Depolamalı Sistemler

Ötektik tuzlar, faz değiştiren malzemeler olup, inorganik tuzlar, su ve diğer bazı maddelerin karışımıyla oluşturulan istenen sıcaklıkta katılaştıran (donan) bir özelliğe sahiptir. Malzemeler özel olarak imal edilen özel geometriye sahip plastik kaplardır ve depolama tankının içerisine düzenli olarak yerleştirilmektedir. Soğu depolamasında en yaygın kullanılan ötektik karışımın donma sıcaklığı 8,330C sıcaklığında donmaktadır ve bu da standart su soğutma grupları (chillerler) ile kolaylıkla çalışmalarını sağlamak için yeterli bir donma sıcaklığıdır. Bu soğu depolama sistemleri çalışma stratejilerinin tamamının uygulanmasını güçleştirir. Örneğin ötektik tuzlar, nem alma gereksiniminin düşük olduğu tam yükün karşılandığı "tam depolama" uygulamaları için uygun sistemlerde kullanılır.

Bu üç soğu depolama sisteminin temel özelliklerinin karşılaştırılması Tablo 1.'de verilmiştir.

Tablo 1. Soğu depolama sistemlerinin temel özelliklerinin karşılaştırılması [4].

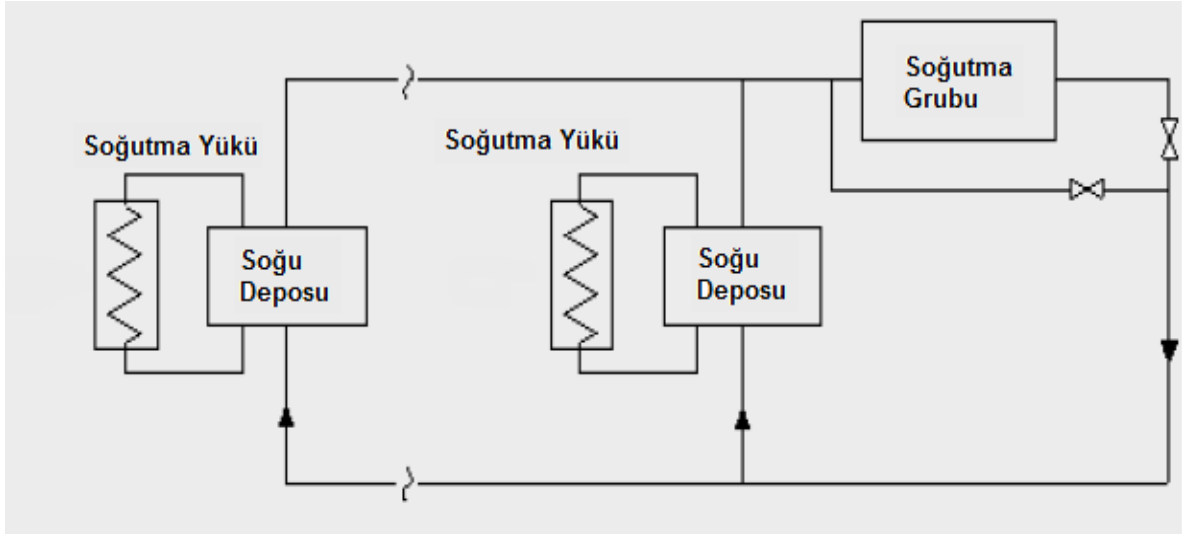
	Soğutulmuş su	Buz depolama	Ötektik tuz
Özgül ısı (kJ/kg K)	4,1868	2,04	-
Ergime gizli ısı (kJ/kg)	-	333	80-250
Paket sistem olarak bulunabilirlik	Orta	Yüksek	Yüksek
Isıtma uygulanabilirliği	Düşük	Yüksek	Orta
Soğutma grubu (Chiller) tipi	Standart su	Düşük sıcaklıklı ikincil akışkanlı	Standart su
Soğutma grubu maliyeti (US\$/kW)	57-85	57-142	57-85
Soğu depolama tank hacmi (m ³ /kWh)	0,089-0,169	0,019-0,023	0,048
Şarj sıcaklığı (°C)	4-6	-6-(-3)	4-6
Soğutma gurubu soğutma etkinliği katsayısı (COP _R)	5,0-5,9	2,9-4,1	5,0-5,9
Deşarj sıcaklığı	Şarj sıcaklığının 1-4°C üzerinde	1-3°C	9-10°C
Deşarj akışkanı	Su	İkincil akışkan (salamura)	Su

Tank özelliği	Açık sistem	Kapalı sistem	Açık sistem
Avantajları	Mevcut soğutma grubunu kullanabilmesi, yangın söndürme amaçlı mevcut suyun kullanılabilmesi	Modüler tankların küçük veya büyük sistemler için kullanılabilmesi	Mevcut soğutma grubunu kullanabilmesi
Bakım	Yüksek	Orta	Orta
Garanti kullanılabilirliği	Düşük	Yüksek	Orta

1.1.4 Buz-Glikol İkili Karışım Pompalanabilir Buzlu (ice slurry: akışkan buzlu) Sistemler

Bu tür sistemlerde generatörde buz-glikol ikili karışımı üretilir ve üretilen bu karışım depolama tankında depolanır. Bu pompalanabilir buz parçacıkları sulu tank içerisindedir. Bu tanktan soğutma yükünün sağlanacağı bölgeye akışkan pompalanır ve burada soğutma gerçekleştirilirken ikili karışımın içindeki buz parçacıkları ergir. Bu karışım daha sonra tanka veya generatöre gönderilerek, generatörde yeniden pompalanabilir buz (akışkan buz) üretimi gerçekleştirilir. Depolama sistemleri değişik yerleşimlerde olabilir. Bunlardan yaygın kullanılan ikisi, ayrı depolama sistemi ve merkezi depolama sistemidir.

a-) Ayrı depolama sistemi: Ayrı depolama sisteminde üretilen buzlu-glikol (akışkan buz) ayrı depolara pompalanır. Bu tanklar ayrı binalara veya bina gruplarına soğu sağlarlar. Buzlu glikol tanka basıldığında yoğunluk farkı ile ayrışmaktadır. Bina soğutma sistemi gereksinim durumunda buzsuz suyu soğu yükünü karşılamak üzere kullanılmaktadır. Bu sistem Şekil 1.'de gösterilmiştir.

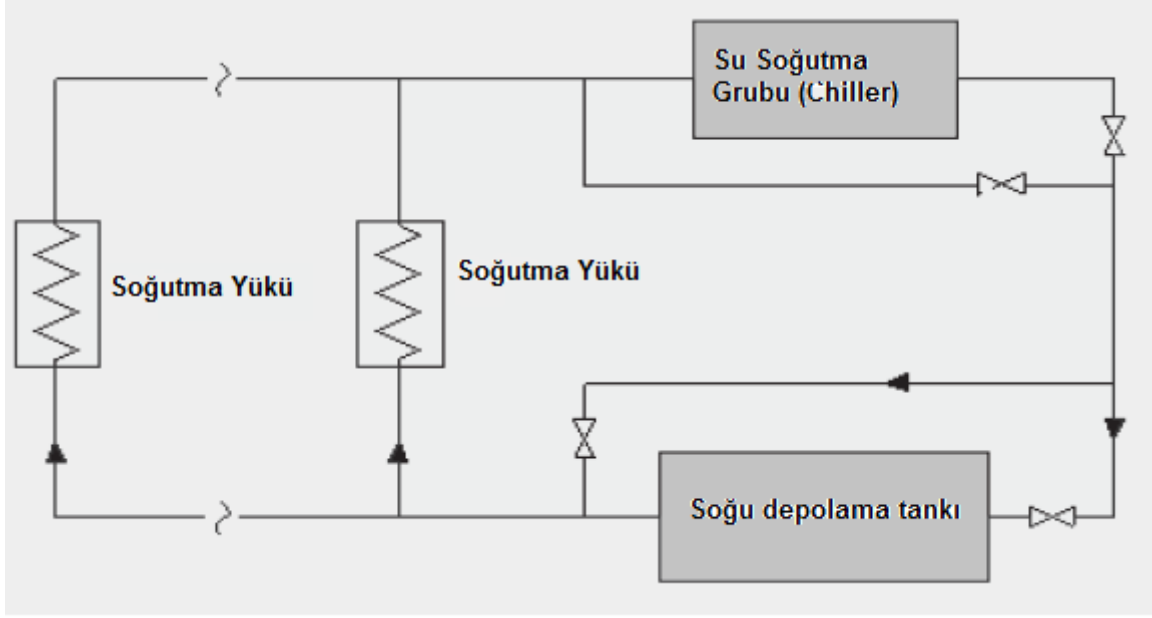


Şekil 1: Ayrı depolu glikollü buz (akışkan buzlu) depolamalı sistem [5].

a-) Merkezi depolama sistemi:

Merkezi depolama sisteminde, sistem merkezi bir depolama tankına sahiptir. Bu tank ana soğutma tesisinin yakınındadır. Sistem şeması Şekil 2.'de gösterilmiştir. Ayrı sistemde olduğu gibi merkezi depolu sistem soğutma tesisi ve gerçek soğutma gereksinimi arasındaki farkı tamamlama amaçlı kullanılır. Ayrı sistem boru hatlarına göre daha büyük çaplı borulara sahip olmak durumundadır. Merkezi depolama sistemi iki çalışma stratejisi ile çalıştırılabilmektedir. Akışkan buz depolanabilir fakat dolaştırılmaz ve yalnızca soğuk dönüş suyu soğutma yükünü tekrar dağıtım ile sağlar. Bu stratejide su 0oC mertebelerinde dolaştırılır. Diğer bir çalışma stratejisi ise akışkan buz depolanır ve pik saatlerde dağıtım esnasında akışkanlaştırılmaktadır. Her iki stratejide de, depolama hacmi, soğutulmuş sulu depolama sistemlerine göre azalmaktadır. Akışkan buz sistemlerinin depolama tankı maliyetleri, konvansiyonel soğutma sistemlerinin tasarlanan depolarına göre % 60 daha az büyüklüktedir.

En çok tasarım yükünü karşılamak için soğutma sistemi sürekli çalışmalıdır. Düşük soğutma periyotlarında, üretilen akışkan buz depolama tankına gönderilir ve bu düşük yükün karşılanması için akışkan buz veya soğuk su düşük soğutma yükünü karşılamada kullanılır. Böylece, ortalama sistem yükünün altındaki soğutma yüklerinde, depolama tankı içinde depolanan soğutma kapasitesi artar. Soğutma yükü akışkan buz kapasitesine ulaşırsa, depoya aktarılan akışkan buzun, tüm kapasitesi depodan sağlandığı için, depodaki soğutma kapasitesi sabit kalır. Soğutma yükünün ortalama yükün üzerinde olduğu periyotlarda ise, ek yük soğu deposundan sağlandığı için, bu mevcut kapasitede azalma gerçekleşecektir.



Şekil 2: Merkezi glikollü buz (akışkan buzlu) depolamalı sistem [5].

Bu soğu depolama sistemlerinden buz depolamalı sistemleri kapsamlı olarak inceleyelim.

2. BUZ DEPOLAMALI SİSTEMLER ÖZELLİK VE UYGULAMA ALANLARI

Buz depolamalı sistemler gece periyodunda buz üreten depolayan ve sonraki gün içinde bir binanın soğutulmasında bu depolanan enerjiyi kullanan sistemlerdir.

Buz depolama teknolojisi için, özel buz yapma cihazları kullanılabileceği gibi, düşük sıcaklıklarda çalışabilen standart su soğutma grupları seçilmektedir. Buz depolamalı sistemlerde kullanılan su soğutma grupları santrifüj, vidalı (screw) veya scroll tipte olabilmektedir.

Sistemde kullanılan ısı transfer akışkanı, soğutkanın kendisi olabileceği gibi, ikincil bir akışkan (salamura) glikollü su veya diğer antifiriz çözeltileri olabilmektedir. Gerekli buz depolama sisteminin hacmi her ton saatlik soğutma yüküne karşılık 0,068-0,093 m³ mertebelerindedir.

Buz depolama sisteminden gün içinde kısmen ya da elektrik fiyatlarının yüksek olduğu gündüz saatlerinde tamamen mekanik soğutma yerine kullanımı, önemli miktarda işletme maliyetlerinden tasarruf edilmesini sağlayacaktır.

Konvansiyonel bir su soğutma grubuna sahip iklimlendirme sisteminin kapasitesi belirlenirken binanın en çok soğutma yükü dikkate alınmaktadır. Bununla tam zıt olarak buz depolamalı bir sistemde projelendirmeye ve yüklere bağlı olmak üzere konvansiyonel sistem su soğutma grubunun % 40-60 oranlarında olan daha küçük bir soğutma grubunun kullanımının yeterli olabilmektedir. Soğutma grubu gece periyodunda sürekli çalışıp gece boyunca buz üretecektir ve sonraki gün içinde iklimlendirme gereksinimi paralelinde projelendirme miktarı kadar soğu gereksinimini buzun ergimesiyle sağlayacaktır.

En yaygın kullanılan buz depolama teknolojileri:

- a-) Buz yapan sistemler (buz üretim makineleri ve püskürtmeli buz oluşturanlar dahil),
- b-) Serpantin üzerinde buz oluşumu ve açık bir su taraflı sistem (periyodik su şartlandırma gereksinimi vardır),
- c-) Serpantin üzerinde buz oluşumu ve kapalı devrede (basınçlı) salamura kullanımı,
- d-) Diğer sistem tipleri (kapsüller içinde buz, buz topları, ötektik tuzlu depolamalar) de geliştirilmiş ve ticarileştirilmiştir.

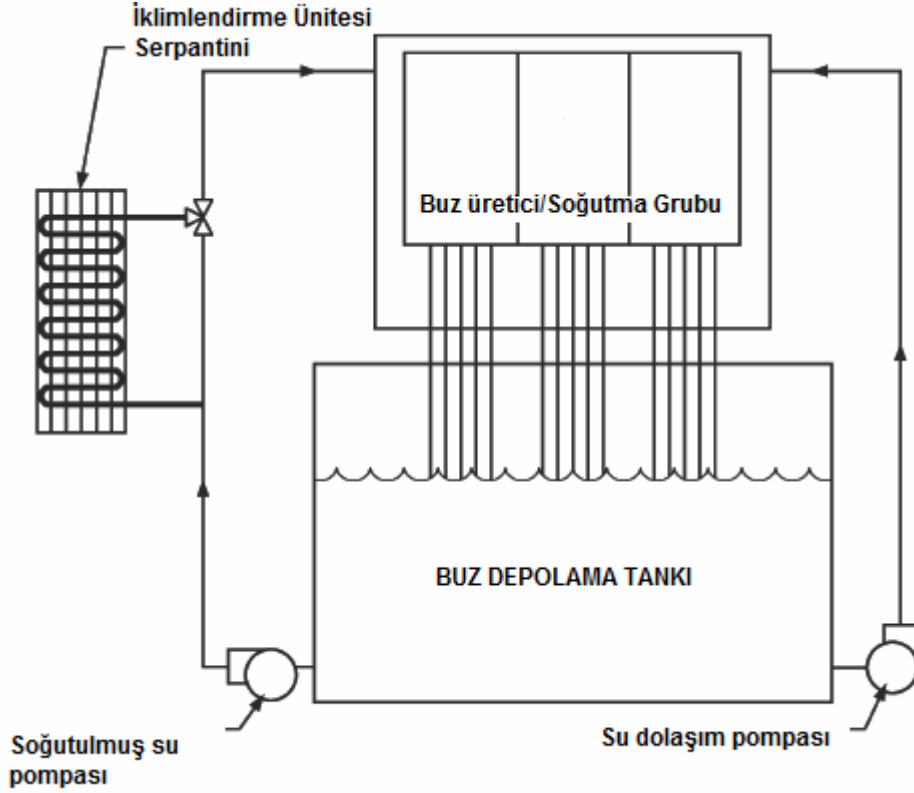
Büyük kapasiteli statik tip (serpantin üzerinde buz) ve dinamik tip (buz üreticili,) buz depolamalı sistemler kompakt bir yapı ve yüksek performanslı olarak geliştirilmiştir. Bu sistemler toplam enerji yönetimi stratejileri kapsamında ve bina otomasyon sistemleri kullanımıyla kontrol edilerek entegre edilerek kullanılabilirlerdir.

2.1. Buz Yapan Sistemler

Bu sistemler tipik olarak dinamik buz üreticileri veya püskürtmeli buz üretim sistemleridir. Buz üretimi için depolama tankından 0°C sıcaklıkta çekilen su buz üreticiye bir dolaşım pompası aracılığı ile gönderilir ve buz üretim makinasının kapasitesine göre su debileri 0,5-0,75 litre/s mertebelerindedir. Bu makinede soğutulmuş levha yüzeyler üzerinden akan su, 3,2 mm ile 9,5 mm kalınlığında buz tabakası olarak donar. Bu yüzeyler (-9,5)-(-6,67)°C sıcaklıklarında çalışan bir soğutma sistemi ile soğuk tutulmaktadır. Belirli bir buz kalınlığına ulaşıldığında veya zaman ayarlı olarak bu buz periyodik olarak kısmen su dolu depolama tankına boşaltılır.

Soğutma gereksinimi olduğunda, buz parçacıklı su, tank içinden alınarak transfer pompaları ile soğutulma yapılacak bina ısı değiştiricisine gönderilir. Dönüş suyu da buz üretici arasından geçirilerek veya direkt olarak buz depolama tankına basılır. Bu tür bir sistem şeması Şekil 3.'de gösterilmiştir. Buz üretim makinası paket tip ticari bir ünite olup, sistemi oluşturmadaki kolaylık yanında, kontrol sisteminde de kolaylık sağlamakta ve fabrika test verimliliğinde buz üretim kullanılabilirliği özelliklerine de sahiptir.

Buz üretici bir sınırlama olmaksızın gerçekleştirilen bir uygulamada, buz yongalı-su depolama tankının üzerinde yerleştirilmiştir ve tank ve süzülme tavası atmosfere açık kısımlara sahip olup bu nedenle su şartlandırma gereklidir.



Şekil 3. Buz üretim makinalı (dinamik tip) , soğu depolamalı iklimlendirme sistemi [1].

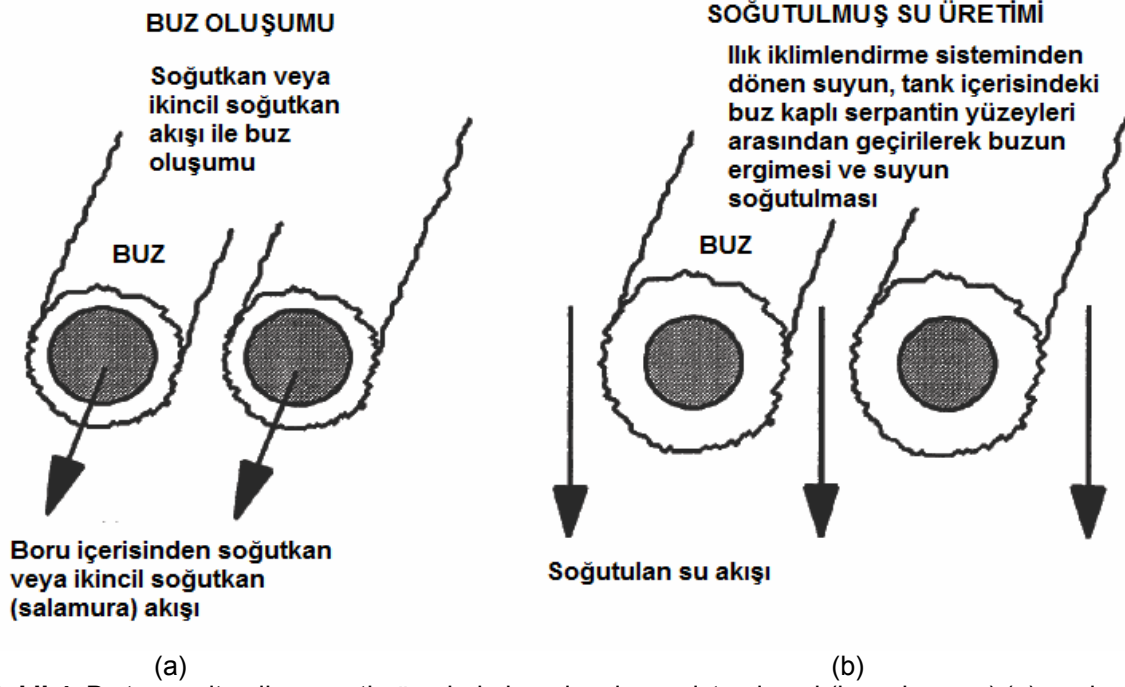
Soğutma sisteminin emme sıcaklığının artırılması durumunda buz üretici verimli olmayan bir yöntemle bir su soğutma grubu (chiller) olarak ta çalıştırılabilir. Bu nedenle konvansiyonel bir su soğutma grubu ile tandem (arka arkaya) çalıştırılmak tercih edilir.

Tank boyutları ve depolanan ve üretilen buz miktarının artması durumunda buz üretme makinası ve buz depolama tankı sistemi maliyetleri çok artabilmektedir. Bu nedenle buz üretimli soğu depolama sistemleri yenileme ve iyileştirme uygulamaları projelendirilmesinde veya büyük uygulamalarda genellikle kullanılmaktadır.

Diğer buz üretme sistemi "püskürtmeli buz oluşturma makinaları" için benzer çalışma prensibi mevcut olup farklı olarak su/glikol çözeltisi buz oluşumu için kullanılmaktadır.

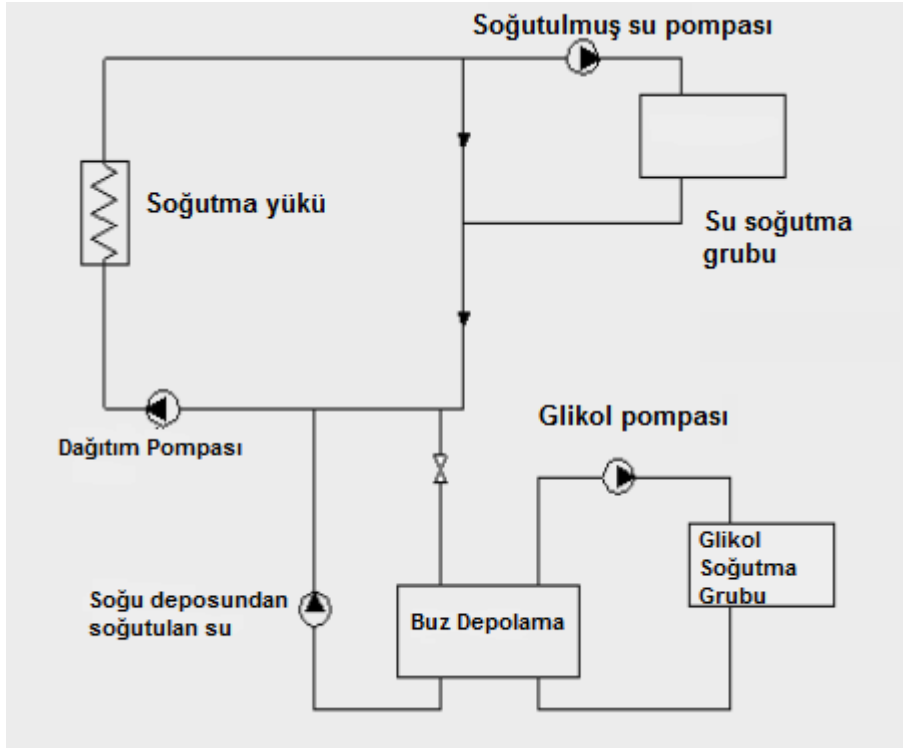
2.2. Dıştan Ergitmeli Serpantin Üzerinde Buz Sistemleri

Bu tür sistemlerde buz oluşumu soğu depolama tankı içine yerleştirilen serpantinler üzerinde gerçekleşir. Buz oluşumu bu esnada boruların içerisinden dolaştırılan soğutkan veya ikincil soğutkan (salamura) yardımıyla gerçekleştirilir. Bu periyotta serpantin boru yüzeyleri üzerinde kalın bir buz tabakası oluşturulur, Şekil 4.(a). Bu depolanan soğunun geri çekimi ise ılık dönüş suyunun bu buz kaplı serpantin yüzeyleri arasından geçirilmesi ile sağlanır, bu süreçte buz tabakası soğu çekimi esnasında eriyerek incelmeye başlayacaktır. Gün boyunca veya projelendirme süresince bu soğu çekimi devam edecek ve soğutulan su iklimlendirmeye yükü karşılamak üzere gönderilecektir Şekil 4.(b).



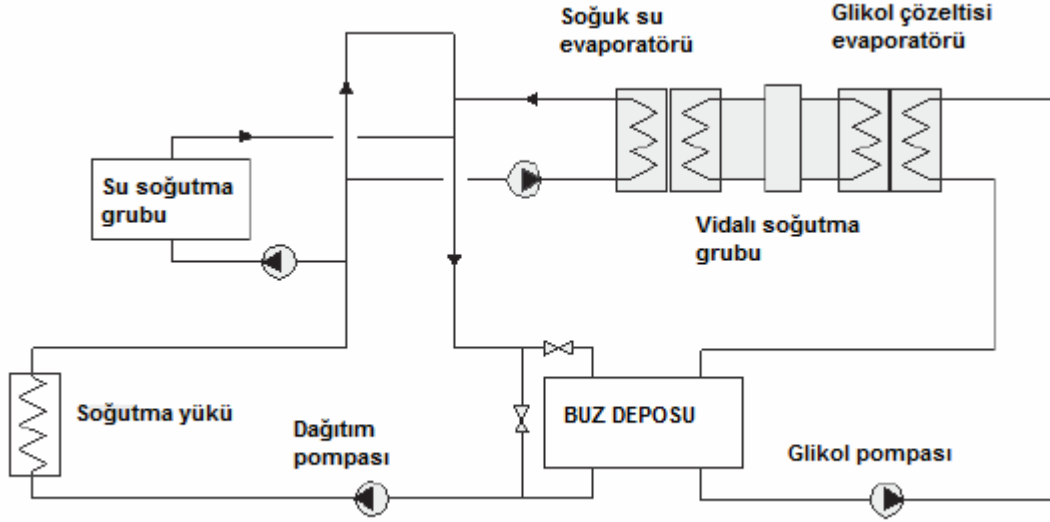
Şekil 4. Dıştan ertimeli serpantin üzerinde buz depolama sistemi, şarj (buz oluşumu) (a) vedeşarj (soğuk su üretimi) (b) çalışma periyotları [1].

Bu tür çalışan başarılı uygulamalardan biri Winsdor, Kanada'da uygulanmıştır. Sistem bir glikollü soğutma grubuna sahiptir ve buz depolama sistemi için buz üretimini sağlamaktadır. Dıştan ertimeli serpantin üzerinde buz sistemi iki ayrı buz deposunda yerleştirilmiştir. Ayrıca sistemde üç su soğutma grubu (chiller) mevcuttur. Soğu depolama yüksek elektrik fiyatlarının olduğu saatlerde su soğutma gruplarının çalışmasını azaltmak amaçlı kullanılmaktadır. Pik yük koşullarında, soğu deposunda depolanan kapasite yetersizse, standart su soğutma gruplarından da ayrıca çalıştırılanlar olmaktadır. Bu sistemin prensip şeması Şekil 5.'te gösterilmektedir.



Şekil 5. Dıştan ertimeli serpantin üzerinde buz depolama sistemi uygulaması, Winsdor, Kanada [5].

Diğer bir uygulamada Houston, ABD'de gerçekleştirilmiştir. Bu sistemde dört vidalı soğutma grubu mevcuttur ve 4°C'da su soğutma grubu ve -4°C'da glikol çözeltisi soğutmada kullanılmaktadır. Glikol soğutma grubunda üretilen akışkan dıştan ergitmeli serpantin üzerinde buz depolama sisteminde buz oluşumunda kullanılmaktadır. Ayrıca dört santrifüj su soğutma grubu yalnızca 4°C'da soğutulmuş su üretmektedir. Buz depolama tankı beş serpantinli olup, kapasitesi 264 MWh ve deşarj sıcaklığı 0°C'tır. Tesisin soğutma grupları ve soğu deposuyla pik kapasitesi 88 MW'tır, bu sistemin çalışma prensibi Şekil 6.'da gösterilmiştir.

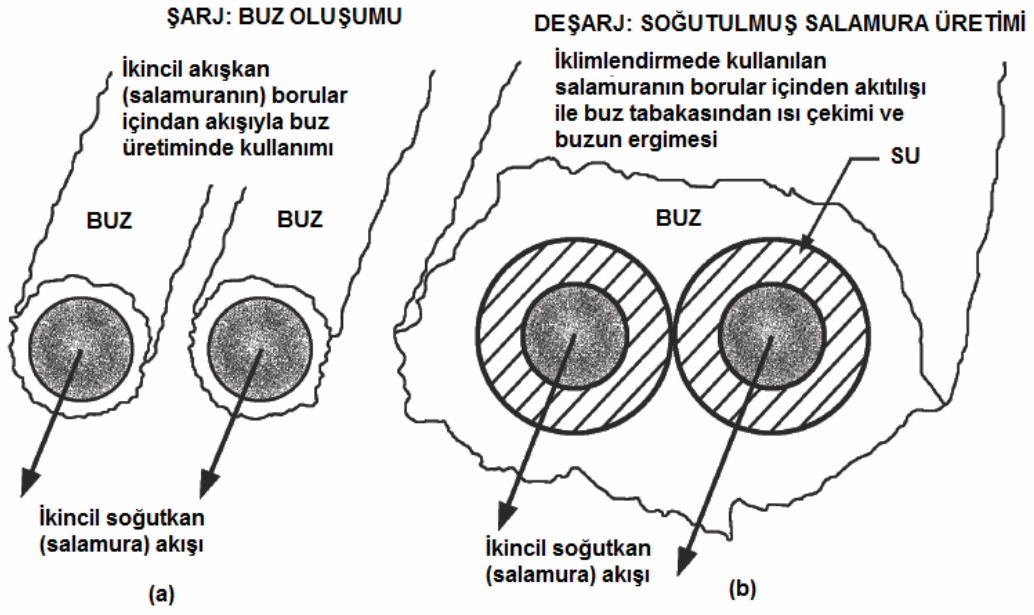


Şekil 6. Dıştan ergitmeli serpantin üzerinde buz depolama sistemi uygulaması, Houston, ABD [5].

2.2. İçten Ergitmeli Serpantin Üzerinde Buz Sistemleri

Bu tür sistemlerde buz oluşumu soğu depolama tankı içine yerleştirilen serpantinler üzerinde gerçekleşir. Buz oluşumu bu esnada boruların içerisinden dolaştırılan ikincil soğutkan (salamura) yardımıyla gerçekleştirilir. Bu periyotta serpantin boru yüzeyleri üzerinde kalın bir buz tabakası oluşturulur, Şekil 7.(a). Bu depolanan soğunun geri çekimi ise iklimlendirme sisteminden dönen ılık dönüş salamurasının bu serpantin boruları içinden geçirilmesi ile sağlanır, bu süreçte buz tabakası

soğu çekimi esnasında eriyerek incelmeye başlayacaktır. Gün boyunca veya projelendirme süresince bu soğu çekimi devam edecek ve soğutulan salamura iklimlendirmeye yükü karşılamak üzere gönderilecektir Şekil 7.(b).

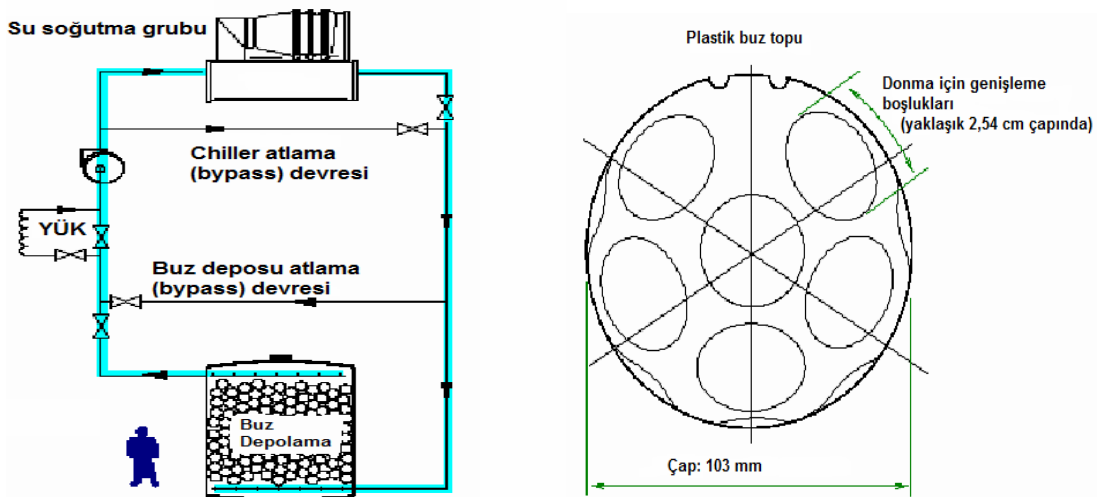


Şekil 7. İçten ergitmeli serpantin üzerinde buz depolama sistemi, şarj (buz oluşumu) (a) ve deşarj (soğuk salamura üretimi) (b) çalışma periyotları [1].

2.3. Diğer Buz Depolama Sistemleri (kapsüllü buz, buz topları v.b.)

Bu tür sistemlerde su plastik kaplar veya toplar içine konular ve etrafından geçen salamura yardımıyla şarj işlemi esnasında bu su dondurulur. Deşarj işlemi esnasında ise etrafından geçirilen ılık salamura soğutulur iklimlendirmede kullanılır ve bu esnada bu kaplar içindeki buz eriyerek su formuna dönüşmeye başlar. Kapsüller içindeki buz sistemleri birçok ticari uygulamada mevcut soğutulmuş sulu sistemin kapasitesini büyütmek amaçlı kullanılır (Şekil 8.).

Soğu depolama sistemlerinin maliyet, depolama hacmi, depo maliyeti, soğu depolama sıcaklığı, soğu geri kazanım sıcaklığı, soğutucu soğutma etkinliği katsayısı mertebeleri ve karşılaştırılmaları Tablo 2.'de verilmiştir.



Şekil 8. Buz topları ile oluşturulan bir buz depolama sistemi ve ticari bir buz topunun boyutları[2].

Tablo 2. Soğu depolama sistemlerinin karşılaştırılması [3].

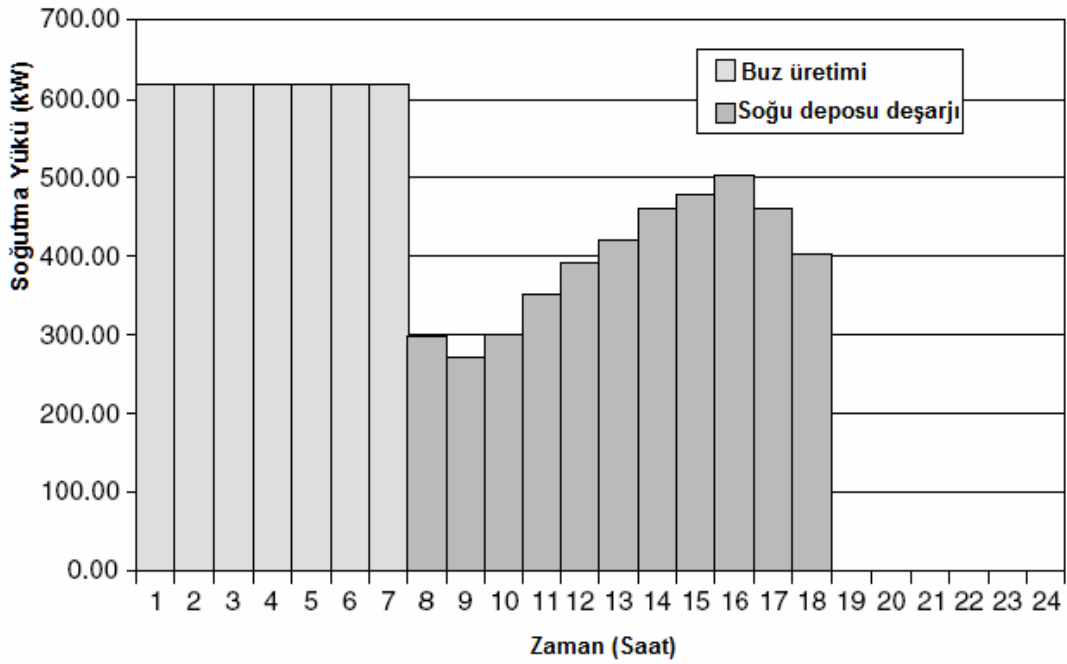
	Soğutulmuş sulu sistem	Buz yongaları, parça buzlu sistem	Serpantinler üzerinde buz (dıştan ergitmeli)	Serpantinler üzerinde buz (içten ergitmeli)	Buz topları veya kapsülleri ile depolama sistemi	Ötektik tuz kullanan sistemler
Soğutucu tipi	Standart soğutma grubu (chiller)	Buz yonga veya parça buz üretim makinaları	Düşük sıcaklıkta çalıştırılabilen soğutma grubu (chiller)	Düşük sıcaklıklı ikincil akışkanlı (salamuralı) soğutucu (chiller)	Düşük sıcaklıklı ikincil akışkanlı (salamuralı) soğutucu (chiller)	Standart soğutma grubu (chiller)
Soğutucu maliyeti (US\$/kW)	57-85	313-427	57-142	57-142	57-142	57-85
Depo hacmi (m³/kWh)	0,09-0,17	0,02-0,03	0,019-0,023	0,019-0,023	0,019-0,023	0,048
Depo maliyeti (US\$/kWh)	5-28	5,7-8,5	14-20	14-20	14-20	25-43
Soğu depolama sıcaklığı (°C)	4-6	-9(-4)	-9(-4)	-6(-3)	-6(-3)	4-6
Soğu geri kazanım sıcaklığı (°C)	Depolama sıcaklığının 0,5-2°C'daha fazlası	1-2	1-2	1-3	1-3	9-10
Soğutma etkinliği katsayısı (COP)	2,1-2,5	3,3-4,6	3,0-4,9	3,0-4,9	3,0-4,9	2,1-2,5

3. BUZ DEPOLAMA SİSTEMLERİNDE KONTROL STRATEJİLERİ

Buz depolama sistemleri çok değişik çalışma biçimlerinde olabilir, uygulanan ana kontrol stratejileri: Tam depolama stratejisi, kısmi depolama stratejisi, istek-kısıtlı depolama yöntemleridir.

3.1 Tam Depolama Yöntemi

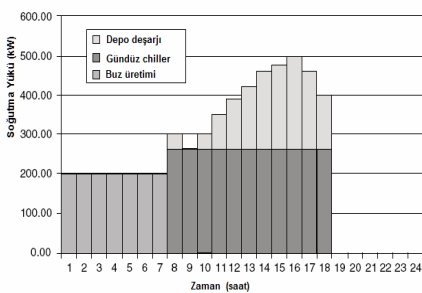
Bu yöntemde tüm gündüz içi soğutma yükü gereksinimi, gece periyoduna kaydırılır, soğutma grubu gece boyunca bu tarifieden buz ürettiği için elektrik maliyetleri oldukça düşer. Şekil 9.'da örnek bir tam depolama yükü periyotları ve gün içinde proses veya bina soğutmasının karşılanması gösterilmektedir. Tüm kontrol stratejileri arasında enerji maliyetleri açısından en uygun olan yöntem olmakla birlikte, soğutma grupları açısından en yüksek kapasiteli olanların kullanılmasını gerektirir ve bu nedenle ilk yatırım maliyetleri en yüksek uygulamalardır. Bu yüksek maliyetler nedeniyle tam depolama nadiren kullanılmaktadır.



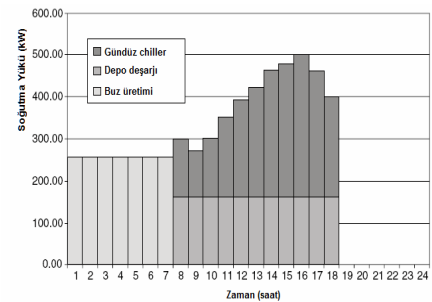
Şekil 9. Tam depolama stratejisi için tipik bir uygulama örneđi [6].

3.2 Kısmi Depolama Yöntemi

Bu yöntemde gündüz saatlerinde hem mevcut soğutma grupları ve hem de gece periyodunda gerçekleştirilen buz depolamadan yararlanılır. Bu sistemin avantajı, hem soğutma grubunun ve hem de buz deposunun, tam depolamaya göre daha küçük kapasitelere sahip olmasıdır ve bu nedenle de ilk yatırım maliyetinin daha uygun hale gelmesidir. Bu da kısmi depolamayı daha kullanılabilir hale getirmektedir. Kısmi depolama yöntemi, soğutma grubu öncelikli ve buz depolama öncelikli özellikte olabilmektedir. Öncelikli olan sistem gün içindeki soğü yükü karşılamada ana sistemdir. Diğer sistem eksik kalan soğutma yükünü karşılamada kullanılır. Şeki 10. (a)' da soğutma grubu öncelikli kısmi depolama yöntemi ve Şekil 10. (b)'de ise buz depolama öncelikli kısmi depolama sistemi gösterilmektedir. Böylelikle seçilecek soğutma grubu kapasitesinde de düşme sağlanabilmektedir.



(a)

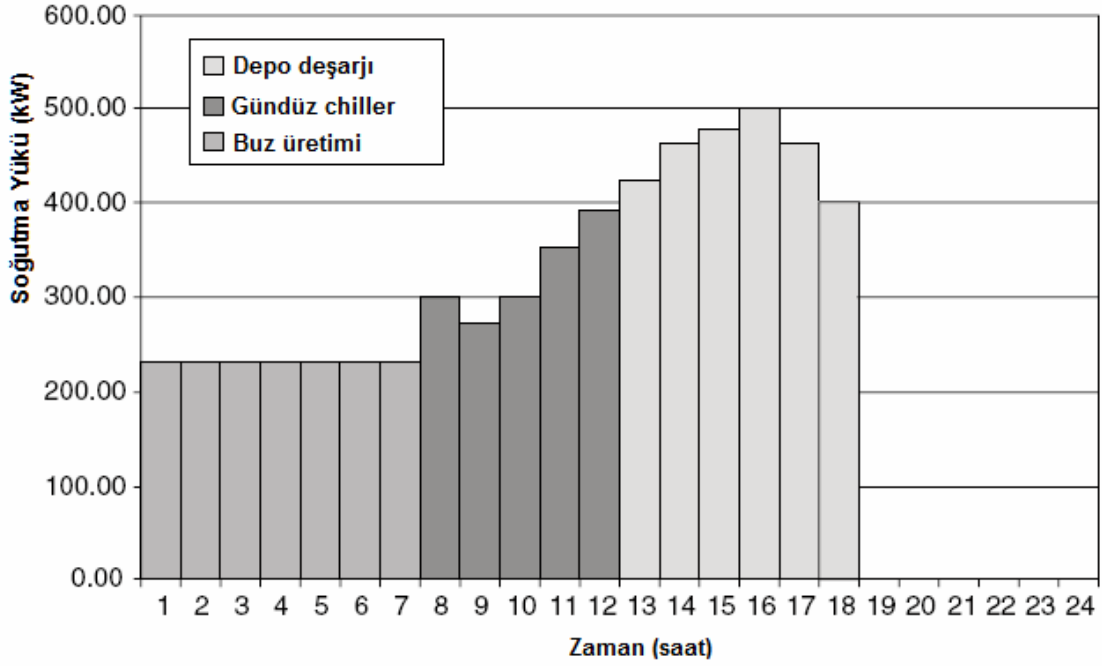


(b)

Şekil 10. Kısmi depolama yöntemi (a) Soğutma grubu öncelikli, (b) Buz depolama öncelikli soğutma yükü karşılama yöntemi [6].

3.3. Sınırlı Talepli Depolama Yöntemi

Bu depolama yönteminde depolanan buzdaki soğutma kapasitesi genelde pik elektrik yükünün olduğu saatlerde kullanılır. Şekil 11.'de bu tür bir yük dağılımı uygulaması gösterilmiştir. Bu uygulama tesisin toplam maksimum talebini azaltır, binanın ortalama yük faktörünü iyileştirir ve elektrik maliyetleri açısından iyi bir çalışma yakalanır.



Şekil 10. Sınırlı talepli depolama yöntemi [6].

4. BUZ DEPOLAMA SİSTEMLERİNİN BOYUTLANDIRILMASI

Buz depolama sistemlerinin boyutlarının belirlenmesi depolama yöntemi stratejilerine bağlıdır [6]. Soğutma deposu öncelikli kısmi depolama için: günlük soğutma yükü $Q_{günlük}$, (kWh), buz deposunda depolanan soğu ($Q_{buz-deposu}$) ve soğutma grubu (chiller) ($Q_{chiller}$) ile gün içinde sağlanan soğutma kapasitelerinin toplamına eşittir. Yani,

$$Q_{günlük} = Q_{buz-deposu} + Q_{chiller} \quad (1)$$

olmalıdır.

Soğutma grubu öncelikli stratejide, chiller tesisi gündüz periyodunda tam kapasitede çalışacaktır. Ancak bu durum her zaman sağlanamayabilmekte ve soğutma grubu bu öngörülen kapasitenin altında çalışabilmektedir. Bu durumda eşitlik (1) aşağıdaki gibi yeniden düzenlenmelidir.

$$Q_{buz-deposu} + Q_{chiller} = Q_{günlük} + Q_{ksgk} \quad (2)$$

Burada Q_{ksgk} , kullanılmayan soğutma grubu kapasitesidir.

Soğutma tesisinin buz üretme periyodundaki evaporatör sıcaklığı gündüz çalışmaya göre çok daha düşüktür. Bunun sonucunda soğutma grubu daha düşük etkinlikte ve kapasitede çalışacaktır. Bu nedenle buz üretimi esnasında ve gündüz saatlerindeki soğutma enerjileri gündüz chiller kapasitesi (P_r : kW) cinsinden:

$$Q_{chiller} = P_r \cdot H \quad (3)$$

ve

$$Q_{buz-deposu} = P_r \cdot k_r \cdot h \quad (4)$$

olacaktır. Burada, k_r : chillerin buz üretiminde azalma faktörü, H : Gündüz saatlerinde su soğutma grubu çalışma süresi (saat), h : Buz üretim periyodu süresi (saat). Bu değerlerle:

$$Q_{buz-deposu} + Q_{chiller} = P_r \cdot (H + k_r \cdot h) \quad (5)$$

olmalıdır. Eşitlik (2) ve (5)'ten, su soğutma grubu kapasitesi, P_r :

$$P_r = \frac{Q_{günlük} + Q_{ksk}}{H + k_r \cdot h} \quad (6)$$

değerindedir. (2) ve (3) eşitliklerinden:

$$Q_{buz-deposu} = Q_{günlük} + Q_{ksk} - H \cdot P_r \quad (7)$$

Buz depolama öncelikli kontrol stratejisi uygulanması durumundaki sistem boyutlandırma eşitlikleri aşağıdaki hali almaktadır:

$$Q_{buz-deposu} + H \cdot P_r = H \cdot P_m - Q_{kdk} \quad (8)$$

Burada, P_m : binanın pik soğutma yükü (kW), Q_{kdk} : Kullanılmayan buz depolama kapasitesi (kWh)'dir.

Bu durumda buz depolama kapasitesi:

$$Q_{buz-deposu} = H \cdot P_m - Q_{kdk} - H \cdot P_r \quad (9)$$

Eşitlik (4) ve (8)'den su soğutma grubu kapasitesi (P_r : kW) bu durumda:

$$P_r = \frac{H \cdot P_m - Q_{kdk}}{H + k_r \cdot h} \quad (10)$$

eşitliği ile hesaplanabilecektir.

5. BUZ DEPOLAMALI SİSTEMLERDE AKIŞ TASARIMLARI [1]

Buz depolama şarj ve soğu çekme deşarj işlemleri esnasında farklı akış tasarımları gerçekleştirilebilmektedir. Buz depolama aşamasında (gece tarifesinde) seri ve paralel akışlı sistemlerde soğutma grubu düşük sıcaklıklarda çalışmakta ve buz üretimi gerçekleştirilmektedir ve akış soğutma grubu ile buz depolama tankı arasında gerçekleşmektedir.

5.1. Seri Akış Yerleşimi

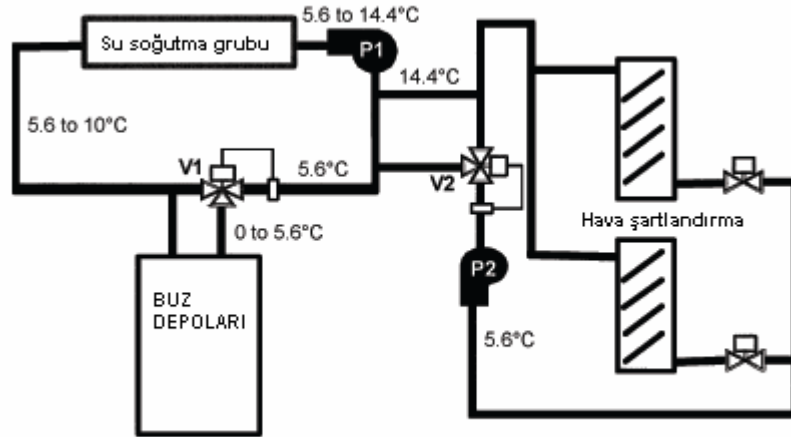
Su soğutma grubu ve buz depolu sistemler için en bilinen uygulama ve yerleştirme seri akış yerleşimidir. Bu yerleşimin bir çok avantajı mevcuttur. Örneğin seri bağlamada buz deposu ve soğutma grubu seri bağlı iken şarj işlemi esnasında akış yönünün değiştirilmesine gerek yoktur. Paralel akışlı yerleşimde bu akış yönünün değiştirilmesine gereksinim duyulur. Her bileşen katkısının alınabilmesi için basit kontrol sistemleriyle yalnızca soğutma grubu, yalnızca buz deposu veya belirli oranlarda buz deposu ve soğutma katkıları sağlanması çalışmaları soğutma yükünün sağlanması aşamalarında kolaylıkla gerçekleştirilebilir. Ayrıca imalatçılar şarj ve deşarj esnasında akış yönünün aynı kalmasını istemekte olup, bu sistemde kolayca sağlanabilmektedir. Kısmi yüklü sistemlerde soğutma grubu pik kapasitesi, pik yükün %40-70'i mertebelerindedir. Tüm sistem akışının küçük soğutma grubu ve buz deposundan geçirilmesi ve 6-7 K sıcaklık farkı ile

çalışmanın güçlüğünden, seri sistemler daha geniş bir dönüş ve gidiş su sıcaklıkları farkı ile çalışırlar. Tipik olarak bu sıcaklık farkı nadiren 8-9 K ve daha sıklıkla 11 K mertebelerindedir. Bu nedenle çekilen yükler paralelinde pompalanan akışkan debileri ve pompalama güçlerinde de azalma sağlanabilmektedir. Şekil 11 ve Şekil 12.'de pik yük için gidiş sıcaklığı 5,6°C ve dönüş sıcaklığı 14,4°C varsayılmıştır.

5.1.1 Seri Akış: Akıntıya Karşı Soğutma Grubu (chillerli)

Akıntıya karşı pozisyonda (Şekil 11. (a)) soğutma grubu (chiller), toplam depolama kapasitesinde negatif etkiye sahip olmasına rağmen, gündüz saatlerinde konvansiyonel sistemlere göre daha yüksek evaporatör sıcaklığında çalışır.

Eğer maksimum pik chiller kapasitesi, pik soğutma yükünün yarısı ise, chiller dönüş sıcaklığını tasarım Δt değerinin yarısına düşürür ve bu pik yükte 10°C'dır. Bununla beraber eğer chilleri terk eden su sıcaklığı 10°C değerine ayarlandığında, yükün pik yükten az olduğu zamanlarda chiller yüksüz olacak ve dönüş sıcaklığı azalacaktır. Bu ise soğutma yükünün soğu depolama tankına kaydırılmasına ve depolanan enerjinin erken tükenmesine ve gün içinde ilave soğutma yükünün sağlanamamasına neden olabilecektir. Alternatif olarak chiller çıkış sıcaklığının 5,6°C sıcaklığına ayarlanması durumunda, chiller tam kapasitede tüm soğutma yükünü karşılayacak, depolama üzerinden bir kullanım veya depolama olmayacaktır. Bazı durumlarda bu deşarj kontrol mantığını genişletebilir. Gerçekte chiller çıkış set noktasının bu aralıkta değiştirilmesi belirli oranlarda yükün chiller ve buz deposu arasında paylaşılmasını da sağlayacaktır doğaldır ki bu ayarlama günlük veya mevsimlik yük değişimlerine göre elektrik tarifelerinden en iyi yararlanacak biçimde ayarlanabilir. Yük dalgalanması ve buna bağlı olarak soğutma grubu (chiller) katkısı değişecektir, bu da üç yollu ayar vanası ile otomatik olarak yüke 5,6°C sıcaklıkta su gönderecek biçimde depolama sisteminden yeterince akış gerçekleştirilerek sağlanacaktır.

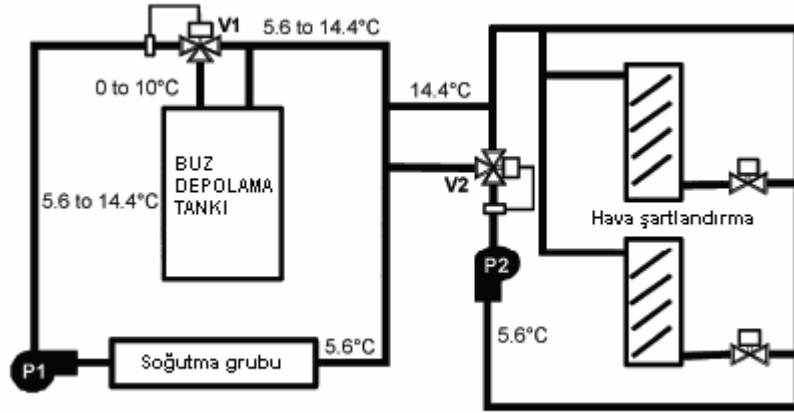


Şekil 11. Seri akış: akıntıya karşı soğutma grubu sistem [1].

5.1.2 Seri Akış: Akıntı Yönündeki Soğutma Grubu (chillerli)

Düzenlemenin ters hale getirilmesine rağmen, kontrol esnekliği aynen kalmaktadır, çünkü depolama ayar vanası depo ve soğutma grubunun ilgili katkılarını ayarlamakta kullanılmıştır, Şekil 12. Minimal durumda olan soğutma grubu etkinliği sonucu soğuk depo kapasitesi maksimumda tutulur. Pik yükte depo karışım valfi sıcaklığı 10°C'a set edilir ve chiller bu durumda tam yükte ve sonuçta sıcaklığı 5,6°C'a düşürür. Bu depo sıcaklığı set noktasını koruyabilmek için gün boyunca soğutma grubunun çalışması ve depolama kapasitesinin kullanımını minimize edecektir. Soğuk günlerde, depo karışım çıkış sıcaklığı azaltılabilir. Soğutma grubu kapasitesi ve elektrik talebi ayrıca azalabilir. Alternatif olarak, soğutma grubu talepli sistem kullanılabilir ve depo karışım vanası sıcaklık sensörü, soğutma grubunun akıntısı yönünde yerleştirilmelidir. Soğutma grubu limitinin aşılması durumundaki yük otomatik olarak depodan karşılanır ve istenen su sıcaklığı sağlanmış olunur. Akıntı yönünde ve akıntıya karşı soğutma grubu düzenlemelerinin her ikisinde de, basit

sıcaklık kontrolü veya soğutma grubu talep limiti kolayca soğutma yükünün depodan mı veya soğutma grubundan mı sağlanacağını yönlendirmede yeterlidir.



Şekil 12. Seri akış: akıntı yönündeki soğutma grubu sistem [1].

5.2. Paralel Akış

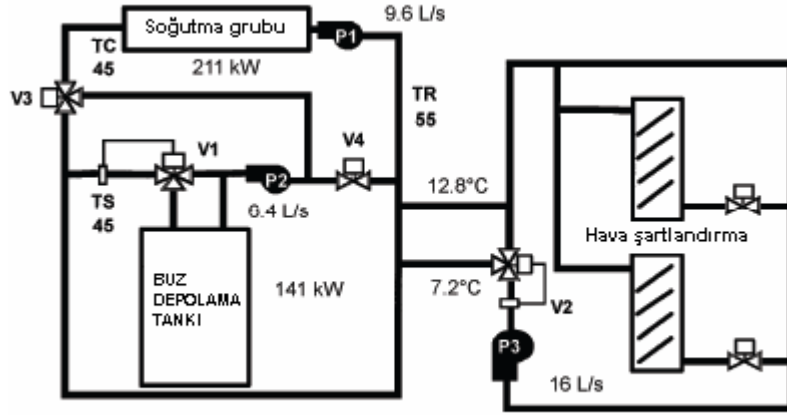
Paralel akış konfigürasyonunun tercih edildiği zamanlar vardır, örneğin yeniden değerlendirme uygulamalarında sabit Δt 'li dağılımda bu akış biçimi adreslenir. Paralel yükleme ve boşaltma içindeki chillerler soğutma ihtiyaçlarına yanıt verir. Depolama uygulamalarında, chiller deşarjda olduğunda depo sürekli deşarjda değildir. Paralel akış rejiminin birçok değişik varyasyonu vardır. Şekil 13.'te şematik gösterilen uygulamada, chiller çıkışındaki V3 üç yollu vanasının iki pozisyonu, akışı şarj ve deşarj modlarına yönlendirmesidir. Bu gösterilen örnekte chillerin günlük pik yükün % 60'ını sağladığı varsayılmaktadır.

Deşarj esnasında paralel olarak, chiller ve depoya aynı dönüş sıcaklığında akışkan girer. Soğu deposu ve chiller için sabit çıkış sıcaklığından başka bir kontrol yoktur, dönüş sıcaklığının değişimi paralelinde soğu deposu ve chillerin katkısı değişir. Hatta bir tasarım gününde, dönüş sıcaklığı gün boyunca azalmaktaysa bu durumda chiller deşarj (boşaltma) konumunda olacaktır. Eğer orijinal seçim tüm zamanlarda chillerin tam kapasitede çalışmasına sağlayacak biçimdeyse, sistemin aşırı boyutlandırıldığı söylenir.

Bu sorundan sakınmak için, chiller sıcaklığının, tam yükü korumak için, düşmesine izin verilir ve depolama karışım valfi sensörü yeniden konumlandırılır ve böylelikle chiller/soğu deposu birleşik akış sıcaklığı hissedilir. Değişken devirli pompa soğu deposu devresinde ayrıca kullanılabilir ve böylelikle tam yükteki chillerin konumunu koruyabilmesi için ve sabit bir chiller çıkış sıcaklığı için bu gereklidir. Soğu depolama sistemleri tipik olarak geniş çeşitlilikte kabul edilebilir akış debilerine sahiptir.

Sınırlı talepli depolamalı sistemde chiller kullanım maliyetlerinin optimize edilmesi istendiğinde diğer karışıklıklar artar. Sabit akışlı chiller devresinde, chiller deşarjda olduğu zaman, çıkış sıcaklığı genellikle yükselir bu da depo içindeki sıcaklıkdaki düşmenin ayarlanabilmesini (kompanse) gerektirebilir. Depolama sistemi düşük sıcaklıkta çalışması için seçilmiş olamaz. Değişken kapasiteli chiller akışı ile azaltılmış bir kapasite sistemde sağlanabilir. Her durumda, chiller ve soğu deposu arasındaki yük paylaşımının optimizasyonu, daha kullanımı zor hale gelir. En iyi yaklaşım, sistem yerleşimine bakılmaksızın, soğutma yükü değişikliklerinde önerilen kontrol mantığının sonucunda akışları ve sıcaklıkları hesaplamak ve sonuçlarıyla cihaz seçim esnasında yapılan varsayımlar ile uyumlu sonuçları garantiye almaktır.

Çok yönlü bir depolama tasarımı, sistem yük kaymasını sağlar ve böylelikle soğutma grubu ve soğuk depo arasındaki en iyi yararlanma oranına ulaşılır ve toplam elektrik faturası da bu kullanım ile en aza indirgenir. Bu çok yönlülüğü sağlamak için soğutma grubu ve soğuk depo arasında yüklerin doğru bir biçimde paylaşımının sağlanması gerekir.



Şekil 13. Soğutma grubu ve buz deposu için paralel akış [1].

SONUÇ

Özellikleri belirtilen soğu depolama sistemlerinden buz depolamalı sistemler elektrik enerjisinin ucuz sağlanması yanında, soğutma sistem tasarımlarında bileşenlerde önemli küçülmeler ve tasarruflar sağlamaktadır. Özetle enerji verimliliği açısından uygun projeler gerçekleştirilebilmektedir. Dünya genelinde her sistemle ilgili çok başarılı uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Tablo 3.'te bu farklı bazı büyük kapasiteli soğu depolama projelerinin kapasite özelliklerini ve yerlerini işaret etmektedir.

Tablo 3. Bazı büyük kapasiteli soğu depolama projelerinin kapasite özellikleri ve yerleri [5].

	Adı	Uygulama yeri, Şehir-Ülke	Buz depolama kapasitesi (kWh)
Buz depolamalı merkezi soğutma sistemi uygulamaları	Franklin and Van Buren	Chicago, ABD	440 000
	Colombus and Randolf	Chicago, ABD	341 440
	State and Adams	Chicago, ABD	232 300
	Comfortlink	Baltimore, ABD	165 960
	Public Service of Colorado	Denver, ABD	132 000
	Northwinds Boston	Boston, ABD	112 640
	Cosmo Square	Osaka, Japonya	103 136
	Alamodome	San Antonio, ABD	67 936
	Ravens Football Stadium	Baltimore, ABD	45 760
	Chaffuage Urbain Prodith	Lyon, Fransa	30 000
	Windsor Ontario	Windsor, Kanada	29 920
	Buz üretim makinalı sistemler	General Mills Technical Center	Minnesota, ABD
Rohm and Haas Research		Philadelphia, ABD	4502 kW (Çoklu binalar)
Miller Electric-Arc welding equipment manufacturing		Wisconsin, ABD	2286 kW (Çoklu binalar)

	National science museum	Tayvan,	1407 kW (Müze binası)
	Texaco Sargent Canyon	California, ABD	1477 kW (Gaz türbini giriş havasını soğutma)
Akışkan buzlu (ice slury) soğu depolamalı uygulamalar	Ritz Carleton Plaza	Osaka, Japonya	80750 kWh
	Techno-Mart 21	Seoul, Kore	14000 kW (Buz üretim kapasitesi)
	Commercial Center	Asia	1760 kW
	Middlesex University	London, İngiltere	370 kW
	Virginia Commonwealth University	Virginia, ABD	1337 kW

Bu uygulamalara bakıldığında, soğu depolama teknolojilerinin hacim gereksiniminin problem olmadığı büyük projelerde tercih edilebilecek enerji verimli projeler olarak uygulanabileceği saptanabilir.

Ülkemizde de sayıları çok az olan uygulamaların, tasarımcılar, uygulamacılar ve yatırım sahiplerince değerlendirilmesi durumunda, artması beklenebilir. Kazan-kazan anlamında kullanıcı ve ülkemiz açısından enerji verimli bu uygulamalar teknolojileri ve faydaları ile çok yakından izlenmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] ASHRAE Handbook—HVAC Systems and Equipment (SI), 2008.
- [2] <http://www.cryogel.com> web sayfası (Temmuz 2011).
- [3] Dorgan, C.E., Ellison, J.S.,ASHRAE “Design Guide for Cool Thermal Storage”, 1993.
- [4] Hasnain, S.M., Review on sustainable thermal energy storage technologies, Part II: Cool thermal storage, Energy Conversion and management,Vol.39, pp. 1139-1153, 1998.
- [5] Optimization of cool thermal storage and distribution, International Energy Agency,Annex VI. 2002 S 5.
- [6] Beggs, C.,Energy: Management, supply and conservation, Butterworth-Heinemann, 2002.
- [7] www.PDHcenter.com web sayfası (Temmuz 2011): PDH Course M145: HVAC:Cool Thermal Storage

ÖZGEÇMİŞ

Ali GÜNGÖR

1955 yılı Elazığ doğumludur. Ege Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden 1977 yılında mühendis, 1979 yılında yüksek mühendis, aynı üniversitenin Güneş Enerjisi Enstitüsü'nden 1985 yılında doktor mühendis derecelerini aldı. 1986 yılında Kanada'da Brace Research Institute'de altı ay araştırmalarda bulundu. 1989 yılında Isı ve Madde Transferi Bilim Dalı'nda doçent oldu. 1996 yılında Ege Üniversitesi'nde profesör oldu. 1978 yılından itibaren değişik üniversite içi kurumlarda, Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde, Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde ve Ege Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde çalıştı. Halen, Ege Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü'nde bölüm başkanıdır. Çalışma konuları; iklimlendirme, güneş enerjisi ısı uygulamaları, kurutma tekniği, ısı boruları, ısı pompaları, adsorpsiyonlu ve adsorpsiyonlu soğutma, termodinamik, ısı ve madde transferi uygulamalarıdır.