

93758

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

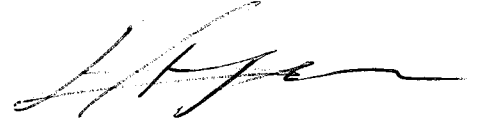
KLİMA SİSTEMLERİNDE ENERJİ TASARRUFU İÇİN
SOĞU DEPOLAMA SİSTEMLERİ

Mak. Müh. Tevfik ÇOBAN

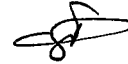
F.B.E. Makina Mühendisliği Anabilim Dalı Isı Proses Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Doğan ÖZGÜR



Doç. Dr. Dürrüye Bilge



Doç. Dr. Uğur Kesgin



İSTANBUL, 2000

KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ	1
2. SOĞU ENERJİSİ DEPOLAMANIN TEMELLERİ	2
2.1 Soğu Enerjisi Depolaması İçin Tipik Uygulama Alanları	5
2.1.1 HVAC uygulamaları	5
2.1.2 Endüstriyel soğutma uygulamaları	6
2.1.3 Kritik nitelikteki uygulamaları	6
2.2 Enerji Niçin Depolanır	6
2.3 Enerji Nasıl Depolanır	7
2.3.1 Duyulur ısı depolama	7
2.3.2 Gizli ısı depolama	7
3. İŞLETME YÖNTEMLERİNE GÖRE SOĞU DEPOLAMA SİSTEMLERİ	8
3.1 Tam Depolama	8
3.2 Kısmi Depolama	9
3.2.1 Yük seviyelemeli kısmi depolama	9
3.2.2 Talep belirlemeli kısmi depolama	10
3.3 Uygulamaya Göre Değişebilen Farklı Stratejiler	10
4. SOĞU DEPOLAMA SİSTEMLERİNE AİT TEMEL PRENSİPLER	13
4.1 Soğu Depolayıcılar	14
4.1.1 Su	14
4.1.2 Buz	14
4.1.3 Ötektik tuzlar	15
4.2 Soğu Depolama Tankları	15
4.2.1 Çelik tanklar	16
4.2.2 Beton tanklar	16
4.2.3 Plastik tanklar	17
5. DEPOLAMA MALZEMESİ ve YÖNTEMİNE GÖRE SOĞU DEPOLAMA SİSTEMLERİ	18
5.1 Soğuk Su ile Soğu Depolama	18
5.1.1 Katmanlaşma	18

5.1.2	Çoklu tank kullanımı	21
5.1.3	Membran veya diyafram kullanımı	23
5.1.4	Labirent ve saptırıcı kullanımı	23
5.1.5	Depolama tankları	24
5.2	Dökümlü Buz ile Soğu Depolama	26
5.2.1	Depolama tankları	27
5.3	Boru Sarmalı Dışında Buz ile Soğu depolama	27
5.4	Boru Sarmalı Üzerinde İçten Eritmeli Buz ile Soğu Depolama	30
5.5	Kapalı Hacimler İçinde Buz ile Soğu Depolama	32
5.6	Ötektik Tuzların Kullanımı Yoluyla Soğu Depolama	34
5.7	Soğu Depolama Sistemlerinin Kıyaslanması	36
6.	SOĞU DEPOLAMA SİSTEMLERİNİN TASARIM KRİTERLERİ ve YÖNTEMİ	38
6.1	Ön Tasarım Safhası	38
6.1.1	Bina sahibi ve ekibinin programlarını oluşturması	38
6.1.2	Praje ekibinin oluşturulması	39
6.1.3	Mal sahibi temsilcisi	40
6.1.4	Kontrollük	41
6.1.5	Tasarım mühendisi	41
6.1.6	Mimar	41
6.1.7	Soğu depolama uzmanı	41
6.1.8	Müteahhitler	42
6.1.9	Fizibilite etüdünün gerçekleştirilebilmesi	42
6.1.10	Fizibilite etüdü raporu	43
6.1.11	Detaylı bir "Tasarım amacı" ifadesinin geliştirilmesi	44
6.2	Bir Soğu Depolama Sisteminin Başarılı Olabilme Kriterleri	45
6.2.1	Yapı	45
6.2.2	Bina sahibi	46
6.2.3	Tasarım mühendisi	46
6.2.4	Müteahhit	46
6.2.5	İşletme personeli	47
6.3	İyi Bir Tasarım İçin Gerekenler	48
6.3.1	Doğru bir yük profilinin hesaplanması	48
6.3.2	Ekipmanları seçmek ve boyutlandırmak için saatlik bir işletme Programının kullanılması	49
6.4	Soğutucu ve Deponun Boyutlandırılması	50
6.4.1	Yapının yük profilinin çıkarılması	50
6.4.2	Soğutucu ve deponun ön boyutlandırmasının yapılması	51
6.4.2	1.Tam depolama	55
6.4.2.2	Yük seviyelemeli kısmi depolama	56
6.4.2.3	Talep belirlemeli kısmi depolama	56
6.5	İşletme Yönteminin Saptanması ve Uygun Depolama Sisteminin Seçilmesi	58
6.6	Soğutucu, Depo ve Ekipmanlarına İlişkin Son Boyutlandırmanın Gerçekleştirilmesi	59
7.	DÜNYADA MEVCUT BAZI UYGULAMA ÖRNEKLERİ	60
8.	CRİSTOPİA (STL SİSTEMİ)	62

8.1	Sisteme Giriş	62
8.2	Rekabete Dayalı Sistem	62
8.3	STL Tarifi	63
8.4	Depolama Stratejileri	66
8.4.1	Kısmi depolama	66
8.4.2	Düşük mevsim boşalma	66
8.4.3	Time of day	67
8.4.4	Toplam depolama	68
8.4.5	Back-up	69
8.5	Dizayn	69
8.5.1	Akış prensibi	70
8.5.2	Değişik işletme tarzlarının tanımı	71
8.5.3	Back-up sistemi	74
8.5.4	Plan serileri	75
8.6	STL Boyutlandırma	78
8.6.1	Histogram	78
8.6.2	Nodüllerin seçimi	79
8.6.3	Chiller kapasitesi	80
8.6.4	Depo hacmi	81
8.6.5	Isı değişim kapasitesi	82
8.7	STL'nin Yerleştirilmesi	84
9.	SOĞU DEPOLAMAYA İLİŞKİN ANALİZ	90
10.	CALMAC SOĞU DEPO UYGULAMALARI İLE İLGİLİ ÇEŞİTLİ RESİMLER	92
11.	SONUÇ ve ÖNERİLER	97
	KAYNAKLAR.....	98
	EKLER	99
Ek 1	Cristopia Enerji Sistemleri.....	99
Ek 2	Baltimore Soğu Depolama Seçim Tabloları.....	103
	ÖZGEÇMİŞ.....	104

KISALTIMA LİSTESİ

DSTL	:Depolanan ısının yoğunluğu
Dt1m1	: Depolama esnasındaki sıcaklık farkı (°C)
Dt1m2	: Boşalma esnasındaki sıcaklık farkı (°C)
FoM	: Figure of Merit (Yararlılık ölçüsü)
Fr	: Froude sayısı
Kvcr	:Kristalleşme esnasındaki ısı transfer katsayısı (kW/°C/m ³)
Kvfu	:Erime/kaynama esnasındaki ısı transfer katsayısı (kW/°C/m ³)
Kw	: Kilowatt
P	:istenilen yük (kW)
Pc	:Şarj yükü (kW)
Pdts	:Depo boşaltma sınırı (kW)
Pm	:Maksimum ani istek (kW)
Pmin	:Minimum ani istek (kW)
Pr	:Chiller kapasitesi
Pr1	:Minimum chiller kapasitesi
Pr2	:Minimum chiller kapasitesi
Pst	:Depo yükleme sınırı (kW)
Q1	:Nodüllerin gizli ısı (kWh/m ³ /°C)
Qj	:Günlük harcama (kWh)
Qs1	:Nodüllerin sıvı durumda hissedilebilir ısı (kWh/m ³ /°C)
Qss	:Nodüllerin katı durumda hissedilebilir ısı (kWh/m ³ /°C)
Qst	:Depolanan maksimum enerji (kwh) Qdst :Boşalan enerji (kwh)
T1	:Yükleme çıkış sıcaklığı (°C)
T2	:Yükleme giriş sıcaklığı (°C)
T3	:Boşaltma çıkış sıcaklığı (°C)
T4	:Boşaltma giriş sıcaklığı (°C)
Td	:Isı transfer sıvısının devre sıcaklığı (°C)
Tm	:Yüklemenin sonunda STL'nin ortalama sıcaklığı (°C)
Tpd	:Direk üretim esnasında işleme zamanı (h)
Tst	:Nodüllerin hal değişim sıcaklığı (°C)
tst	:Depolama esnasında chillerin işleme zamanı (h)
v	:Depolama hacmi (m ³)

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1	Tam depolama8
Şekil 3.2	Yük seviyelemeli kısmi depolama9
Şekil 3.3	Talep belirlemeli kısmi depolama10
Şekil 3.4	Ana soğutuculu bir soğu depolama sistemi11
Şekil 4.1	Tam depolama işletimli bir soğu depolama sistemi13
Şekil 5.1	Katmanlaşmalı bir soğu depolama sistemi19
Şekil 5.2	Tipik bir katmanlaşma sıcaklık profili20
Şekil 5.3	Bir Çoklu Tank Sistemi22
Şekil 5.4	Labirent ve saptırıcılı sistem23
Şekil 5.5	Seri tanklar yöntemi24
Şekil 5.6	Dökümlü buz ile soğu depolama26
Şekil 5.7	Boru dışında soğu depolama ve geri kazanım28
Şekil 5.8	Bir boru çevresinde katılaşma hızı29
Şekil 5.9	Boru dışında soğu depolama ve buzdu içten eriterek geri kazanım31
Şekil 5.10	Soğutucu bağlantı tipleri32
Şekil 5.11	Bir kapalı hacim içerisinde soğu depolama ve geri kazanım33
Şekil 5.12	Depo öncesi soğutucu bağlantılı soğu depolama sistem şeması35
Şekil 5.13	Depo sonrası soğutucu bağlantılı soğu depolama sistem şeması36
Şekil 8.1	STL nodül64
Şekil 8.2	STL tank65
Şekil 8.3	STL akış prensibi70
Şekil 8.4	STL depolama tarzı72
Şekil 8.5	STL dağıtım yükü ile depo depolama72
Şekil 8.6	STL dağıtım yükü ile depo boşaltma73
Şekil 8.7	STL yalnız boşaltma tarzı74
Şekil 8.8	STL back-up sistemi75
Şekil 8.9	STL depolama durumu76
Şekil 8.10	STL boşalma durumu76
Şekil 8.11	STL by-pass sistemi77
Şekil 8.12	STL sistemi77
Şekil 8.13	STL grafiksel şekil79
Şekil 8.14	STL tankı84
Şekil 8.15	STL küçük tank85
Şekil 8.16	STL yer altı veya gömülü tank85
Şekil 8.17	STL iskele kurma87
Şekil 8.18	STL doldurma şekilleri87
Şekil 8.19	STL doldurma şekilleri87
Şekil 8.20	STL doldurma şekilleri88
Şekil 8.21	STL doldurma şekilleri88
Şekil 8.22	STL doldurma şekilleri88
Şekil 8.23	STL doldurma şekilleri89
Şekil 8.24	STL doldurma şekilleri89
Şekil 8.25	STL doldurma şekilleri89

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 5.1 Soğu depolama sistemlerinin kıyaslanması	37
Çizelge 6.1 Bir yapı tasarım gününe ait yük dağılımı	52
Çizelge 6.2 Farklı depolama tipleri için nominal soğutucu ve depo kapasiteleri	57
Çizelge 6.3 Farklı depolama tipleri için ön boyutlandırma sonuçlarına bağlı ilk yatırım maliyetleri	58
Çizelge 7.1 Dünyada mevcut bazı uygulama örnekleri	60
Çizelge 8.1 1 m ³ tank hacmi için nodül performansı	64
Çizelge 8.2 STL ölçü örnekleri	65



ÖNSÖZ

Günümüzde soğutma artık yaşantımızın vazgeçilmez bir unsuru olmuştur. Yaşanan mekanların klimatizasyonunda veya endüstride imalat makinalarının ve ürünlerin soğutulmasında kütleli olarak kullanılması da sözkonusudur. Soğutmaya verilen önem gün geçtikçe önemini arttırmaktadır. Ekonomik açıdan oldukça yüksek maliyetlere çıkan soğutma sistemleri için artık daha düşük maliyet ve aynı zamanda konfor şartları düşünülmektedir. Soğutma cihazlarının özellikle soğutma gruplarının oldukça yüksek enerji çektiği düşünülürse, elektrik fiyatlarında gidilebilecek düşüşler sistemin ekonomik olarak rahatlaması demektir. Buradan yola çıkarak ülkemizde de elektrik fiyatlarında uygulanan yeni tarife (gece-gündüz) ile yeni bir sistemin önü açılmış olmaktadır.

Gece elektrik fiyatları daha düşük, gündüz ise daha yüksek olduğundan konvansiyonel bir sisteme soğu deposu ilavesi ile sistem daha ekonomik bir hale bürünebilecektir. Yerine göre soğu depolamanın ilk yatırım maliyeti yüksek dahi çıksa elektrik maliyeti açısından ele alındığında soğu depolamalı sistemin avantajları görülecektir.

Artık ülkemizde de yeni elektrik tarifesi uygulanmaktadır. TEDAŞ (Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş.) yeni bir sözleşme ile elektrik sayaçlarını değiştirmekte ve yeni tarifeyi uygulamaktadır. TEDAŞ'tan alınan elektrik tarifeleri ileride tez analizinde kullanılacaktır.

Artık soğu depolama uygulamalarını ülkemizde de yoğun bir şekilde göreceğimizi umut ediyorum.

Tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Doğan ÖZGÜR'e; tez çalışmalarında bana yardımcı olan nişanlım Mak. Müh. Yeşim YÖRÜSÜN'e; tez konusunda kaynaklarını ve bilgilerini esirgemeyen Sayın Oya Eren (Arde klima), Sayın Hakan Odabaşı (Arduman), Sayın İzzet Nasi (Transklima) ve Sayın Oya Bakır'a (Doğa yayıncılık) teşekkür ederim

OCAK 2000

ÖZET

Dünyanın ve ülkemizin gündeminde devamlı yer alan ve gün geçtikçe etkisini artırarak konuşulan konuların başında enerji kullanımında verimliliği artırma çalışmaları gelmektedir. Endüstriyel soğutma ve HVAC sistemlerinde bu sorunun teknik çözümü, soğu depolama sistemleri olarak adlandırılmaktadır.

Soğu depolama uygulamaları son yıllarda oldukça önem kazanmıştır. Soğutma ihtiyacının genelde gündüz öğlen saatlerinde olması dolayısı ile belirli saatlerde ihtiyaç duyulması ve soğutma sisteminin günün en yüksek soğutma yüküne (pik yük) göre seçilmesi gereği, soğu depolama ihtiyacını doğurmuştur.

Soğu depolama uygulamaları; hava soğutmalı veya su soğutmalı kondenserli soğutma gruplarının bulunduğu merkezi soğutma sistemine özel dizayn edilen buz depoları ilave edilmek suretiyle yapılmaktadır. Geceleri ucuz elektrik maliyetinden faydalanmak üzere bu zaman diliminde, soğutma grubu %25 oranında endüstriyel inhibitörlü etilen-glikol karışımli suyu belli seviyelere soğutarak bu depolara göndermekte ve depo içindeki mevcut suyu buz haline getirmektedir. İhtiyaca göre sistem soğutma suyu buz depoları içinden geçirilerek soğutulur ve binaya soğutma talebini karşılamak amacıyla gönderilir.

Dünyanın birçok ülkesinde oldukça yaygın uygulamaları olan bu sistemin Türkiye’de de yakında gündeme geleceği kanısındayım. Özellikle elektrik fiyatlandırmasındaki düzenlemelerin yapılmış olması da soğu depolama uygulamalarının yaygınlaşmasında büyük rol oynayacaktır. Hem ilk yatırım masrafları hem de kullanım, bakım ve onarım masrafları bakımından depolu soğutma sistemleri iklimlendirme kullanıcıları ve ülke ekonomisi bakımından fevkalade yararlı olduğu açıktır.

ABSTRACT

Increase in productivity is nowadays the most popular thing throughout the world in case of the energy use. In both industrial cooling and HVAC systems, the technical solution of this problem is called “Cold Storage Systems”.

Cold storage applications have gained great importance in the last few years. Since the need of cooling appears mostly in the noon during a day and since the cooling system’s load must have the highest cooling value (maximum load), the necessity of cold storage has become more important.

Cold storage applications are made by adding specially designed ice-banks to the central cooling system where air-cooled or water-cooled condensed cooling groups exist. In order to profit from cheaper electricity costs; the cooling group sends, after cooling to the determined levels, % 25 ethylene-glycol mixed water to these banks during nights and forms the ice from the water. In case of necessity, system’s cooling water is cooled in the ice-banks and then is sent to the building for the cooling demand.

As it is used in most of the countries throughout the world, I think that this system will also be employed in our country in near future. Especially after the arrangement of electricity prices, this cold storage applications will be more common. Added to this, storage cooling systems are also useful for both air-condition users and for our country economy from the point of view of all first investment, usage and restoration expenses.

1. GİRİŞ

Amerika’da, bir çok Avrupa ülkelerinde olduğu gibi ülkemizde de (özel bir sözleşme ve sayaç gerektiriyor.) elektrik ücretlerinin, kullanımın en yoğun olduğu gündüz saatlerinde pahalı, gece saatlerinde ise ucuz olması, özellikle soğutma-iklimlendirme gerektiren endüstriyel ve ticari binalarda enerji depolarının kullanılması fikrini ortaya çıkarmıştır. Konvansiyonel bir sisteme göre seçilen chiller maximum kapasitede seçilirken, artık ortalama bir kapasitede seçilecektir. Böylece soğutma sistemi bileşenleri küçülecek (kanal ve borular, pompalar, fanlar v.b.). sistemin birçok zaman atıl durumda kalması önlenmiş olacak.

Soğutma gruplarının oldukça yüksek akım çektikleri düşünülürse chiller’in gece kullanılıp gündüz atıl durumda kalması ve bu esnada da soğu deposunun devreye girmesi sağlanabilir. Böylece önemli bir enerji kazancı sağlanmış olur. Ancak iyi bir analiz yapılarak konvansiyonel bir sistemin mi? yoksa soğu depolamalı bir sistemin mi? iyi olacağı iyi bir analizle anlaşılabilir.

2. SOĞU ENERJİSİ DEPOLAMANIN TEMELLERİ

Dünyanın ve ülkemizin gündeminde devamlı yer alan ve gün geçtikçe etkisini artırarak konuşulan konuların başında enerji kullanımında verimliliği artırma çalışmaları gelmektedir. Endüstriyel soğutma ve HVAC sistemlerinde bu sorunun teknik çözümü, ısı enerjisinin depolanması olarak görülmektedir. Isı enerjisinin depolanması soğu depolama sistemleri olarak adlandırılmaktadır.

Soğu depolama uygulamaları; hava soğutmalı veya su soğutmalı kondenserli soğutma gruplarının bulunduğu merkezi soğutma sistemine özel dizayn edilen buz depoları ilave edilmek suretiyle yapılmaktadır. Soğutma grubu %25 oranında endüstriyel inhibitörlü etilen-glikol karışımı suyu belli seviyelere soğutularak bu depolara gönderilmekte ve depo içindeki mevcut suyu buz haline getirmektedir. İhtiyaca göre sistem soğutma suyu buz depoları içinden geçirilerek soğutulur ve binaya soğutma talebini karşılamak amacıyla gönderilir.

Endüstriyel veya ticari binalarda maksimum soğutma gereksinimi; binaların dolu olduğu dolayısı ile cihazların çalıştığı, aydınlatmaların kullanıldığı ve dış sıcaklığın maksimum olduğu gündüz periyodu boyunca oluşur. Konvansiyonel bir soğutma sistemi de bu maksimum yükü karşılayacak şekilde seçilir. Bu kritere göre seçilmiş bir cihaz yükün az olduğu diğer saatlerde kısmi olarak çalışır, hatta bazı saatlerde kısmi olarak çalışır, hatta bazı saatlerde hiç çalışmaz, atıl olarak kalır.

Bir çok Avrupa ülkesinde (artık ülkemizde) ve Amerika'da elektrik kullanım ücretleri günün saatlerine göre değişiklik göstermektedir. Elektriğin pahalı olduğu saatler, binalar için gerekli soğutma yüklerinin maksimum olduğu gündüz saatleridir. Ucuz olduğu saatler ise, konvansiyonel bir sistem için soğutma ekipmanlarının az kullanıldığı, hatta hiç kullanılmadığı diğer saatlerdir. Bu durum soğu enerjisinin, elektriğin ucuz olduğu saatlerde depolanarak, gündüz saatlerinde kullanılması fikrini ortaya çıkarmıştır. Bu şekilde çalışan bir sistem maksimum yüke göre değil, ortalama bir yüke göre seçileceğinden, sistem bileşenleri de küçük olacak ve ilk yatırım safhasında dahi maliyet azalması oluşabilecektir. (soğu deposunun getireceği ilave yatırım masrafı, bazen bu durumun gerçekleşmesini engelleyebilir. İyi bir analiz yapılması gerekir.)

Bir çok uygulamada, soğu depolamalı sistemler, deposuz konvansiyonel sistemlerden daha ucuza kurulabilir. Çünkü, soğu depolamalı bir sistemde daha küçük su soğutucular ve yardımcı ekipmanlar yeterlidir. Su soğutucular, soğutma kuleleri, pompalar, fanlar, ve

boru/kanal ebatlarındaki küçülmelerden sağlanan kazanç, gereksinim duyulan depolama tankının maliyetini fazlasıyla geçebilir. Bazı durumlarda depolama tankı, yangın söndürme sisteminin suyunu temin eden bir depo görevi de üslenerek, bunun için ayrı bir sistem kurulması maliyetini de ortadan kaldıracaktır.

Henüz çizim aşamasında olan binalarda, soğu deposu kullanımına karar verilmesi, daha geniş alanların yaratılmasına olanak sağlayabilir. Hatta bazı dağıtım sistemindeki fan ve kanalların boyutundaki küçülmelerin daha küçük ana dağıtım bölgelerini (plenum) yeterli kılacağı döşemeden döşemeye olan uzaklıkların azalabileceği, bunun inşa maliyetini düşürecek ve bazı yüksek binalarda, bina yüksekliğini değiştirmeden ilave kat kazanabileceği vurgulanmıştır.

Bir soğu deposunun esas amacı işletme giderlerini önemli ölçüde azaltmasıdır. Elektrik ücretlerinin, soğutma talebinin en fazla olduğu gündüz saatlerinde pahalı gece saatlerinde ise ucuz olduğu yerlerde soğunun gece depolanıp gündüz kullanılması bu tasarrufu sağlar.

Daha küçük soğutma ekipmanlarının kullanımı soğutma gücünü sağlayan transformatörlerin ve elektrik dağıtım sisteminin boyutlarının küçülmesi sonucunu doğurur. Bu, hem yeni kurulan bir sistem için, hem de tam kapasitesine yakın çalışan mevcut bir sistem için önemli ölçüde ekonomi demektir. Ayrıca geceleri dış hava kuru ve yaş termometre sıcaklıkları düşük olduğundan kondenzasyon sıcaklıkları düşmekte ve kompresör elektrik gücünde azalmaktadır.

Soğu depolama sistemleri, herhangi bir zamanda su soğutucu ve deponun birlikte optimum kullanımıyla soğutma yükünü karşılamada esneklik sağlar. Bu esneklik, soğutma sistemlerinin mevsim ne olursa olsun maksimum verimde çalışmasını olanaklı kılar.

Mevcut bir sistemin soğutma kapasitesi soğu deposu integrasyonu ile, konvansiyonel deposuz bir sistemin ilavesine göre çok daha ucuza artırılabilir. soğuk su depolama tankı, mevcut sistemin soğutma kapasitesini yeni soğutuculara ve dolayısıyla ek maliyete gerek duyulmadan artırılır. Böyle bir sistemde mevcut su soğutucuları, atıl kaldıkları saatlerde ek soğutma yükünü karşılayacak şekilde depo için çalışırlar.

Bir yapıda mevcut kanal ve boru sisteminin soğutma kapasitesini de, soğu depolama kullanarak artırmak mümkündür. Soğuk su ve havanın mevcut dağıtım sisteminde daha düşük sıcaklıkta dolaştırılması, daha büyük yüklerin kullanılabileceği anlamına gelir.

Bu getiriler bir çok binada soğu depolamayı çok cazip kılmaktadır. Her soğu depolama projesinde, bu açıklamaların tamamı kazanç hanesine yazılmasa bile, yapı sahibi ve mühendisler bilmelidirler ki, tecrübelerle sabit tavsiyelere uyulduğunda, bir soğu depolama sisteminin kazandıracağı çok şey vardır.

Bu çerçevede bir soğu depolama sistemi seçimini dikkate almak için bazı soruların olumlu yanıtlanması gerekir;

- Yapının maksimum soğutma yükü, ortalama yükten önemli ölçüde yüksek mi?
- Elektrik kullanım ücretlerinde, tepe yüklerin olduğu saatlerle diğer saatler arasında önemli ölçüde farklılık var mı?
- Mevcut bir soğutma sisteminin büyütülmesi mi düşünülüyor?
- Soğu depolama amacı ile kullanılacak elde mevcut bir tank var mı?
- Soğutma ekipmanlarının büyük bir kısmı ithalat yoluyla mı sağlanıyor?
- Düşük sıcaklıklı bir hava dağıtım sisteminin kullanılması düşünülüyor mu?

Özellikle ofis binalarının soğutma yükleri, 24 saatlik ortalama yükten iki-üç kat yüksek bir değerinde maksimum yapar. Süt teknolojisinde, belli bir miktar sütü soğutmak için sistem tam kapasite ile bir süre çalıştırılır, daha sonra ise bir süre tamamen kapatılır. Bir soğu depolama sistemi ise, düşük yük periyodu boyunca soğu üretir ve daha sonra tepe yükleri bununla karşılar. Maksimum yükün ortalama yüke oranı arttıkça, su soğutucu kapasitesinde yapılabilecek indirim de o ölçüde artar.

Bir soğu depolama sisteminde soğutucuların esas çalışma süresi, tepe yüklerin olduğu saatler dışında kalan zaman dilimini kapsadığından tüketim ücretlerinde önemli bir azalma meydana gelecektir. Tepe yüklerinin yer aldığı zaman diliminde tüketilen elektrik enerjisi ise konvansiyonel bir sisteme göre çok az olacaktır.

Bir yapıya eklemeler yapılması gündemde ise veya yapı sistemlerinin yeniden modellenmesi söz konusu ise, ilave soğu yükleri nedeni ile, mevcut soğutma sisteminin büyütülmesi gerekeceği aşikardır. Bu durumda, sisteme bir soğu deposu entegre edilerek, mevcut soğutucuların, yükün az olduğu zamanlarda bu depoya çalışması sağlanabilir. Özellikle büyük sistemlerde veya çok binalı, kampüs gibi yerleşimlerde, bir soğu deposu eklenme maliyeti, oluşan ek yükleri karşılamak için yeni su soğutucular edinme maliyetinden çok daha düşük olabilir.

Özellikle endüstriyel uygulamaları içeren bazı durumlarda, önceden başka amaçlarla yapılmış tanklar, soğu depolama tankı olarak kullanılabilir. Özellikle yangına karşı su depolama amacı ile üretilmiş tanklar küçük birkaç değişiklik ile soğu depolama işlevini de yerine getirecek şekilde çift amaçlı bir hale sokulabilir. Bu durumda; ilk yatırım esnasında, tank imalatından dolayı olacak maliyet artışıda ortadan kalkmış olur.

Su soğutma cihazları ithal ediliyorsa, fiyatlarında yüksek olacağı aşikardır. Bu durumda soğu deposu entegresi ile su soğutucu kapasitesinde oluşacak düşmenin ilk yatırım maliyetinde meydana getireceği azalma, çoğunlukla ek depo maliyetinden daha fazla olacaktır.

Özellikle buzun kullanıldığı soğu depolama sistemlerinde, su ve hava sıcaklıkları konvansiyonel sistemlere göre daha düşük olmaktadır. Bu da; pompaların ve dağıtım sistemindeki boru ve kanalların boyutlarında önemli küçülmeler yaratır. 6°C-9°C arasında çalışan soğuk hava dağıtım sistemlerinin kullanıcıya sağladığı büyük faydalar vardır; böylece hava dağıtım sisteminin maliyeti azalır, ısı konfor koşulları ve iç hava kalitesi sağlanmış olur. Soğutma yüklerinin, mevcut dağıtım sisteminin kapasitesini geçtiği yapılarda, artan yükler daha soğuk hava dağıtım ile karşılanabilir. Çoğunlukla buz enerji depolama maddesi olarak kullanan depolama sistemleri tercih edilir.

2.1 Soğu Enerjisi Depolaması İçin Tipik Uygulama Alanları

2.1.1 HVAC uygulamaları

- Ofis binaları
- Hastaneler
- Bankalar
- Konferans salonları
- Müzeler
- Kayıt stüdyoları
- Tiyatrolar
- Süper marketler
- Havaalanları
- Sinemalar
- Spor merkezleri

- Apartmanlar

2.1.2 Endüstriyel soğutma uygulamaları

- Süt endüstrisi
- Et ürünleri tesisi
- Soğuk depoculuk
- İlaç endüstrisi
- Şişeleme tesisleri
- Bira fabrikaları
- Yiyecek sanayii
- Buz pateni sahaları
- Kimyasal prosesler

2.1.3 Kritik nitelikteki uygulamaları

- Bilgisayar odaları
- Temiz odalar
- Ameliyathaneler
- Telefon santralleri

2.2 Enerji Niçin Depolanır?

- Klasik sistem dizaynı ile seçilen chiller kapasitesine göre %30'dan %70'e kadar daha düşük kapasiteli chiller kullanılır.
- Seçilen chiller maksimum yükte çalıştırılarak enerji ekonomisi sağlanır.
- Soğutucu gaz kullanımı %20'den %50'ye kadar azalır. Çevre etkisi için önemli bir faktördür.
- Chiller, su soğutma kulesi, hava soğutmalı kondenser kapasiteleri azaldığından gürültü seviyesi azalır.
- Makine dairelerinde yerden tasarruf sağlanır.
- CO₂ emisyonu azalır.
- Elektrik enerjisi fiyatının gün içerisinde farklı uygulandığı durumlarda; enerji düşük tarifede depolanıp, yüksek tarife uygulandığı periyotta bu depodan kullanılır.

- Tesiste %100 chiller kapasitesini karşılayacak elektrik enerjisi olmadığı durumlarda veya tesisin kapasite artırımında depolama sistemi ideal ve zorunlu çözümdür.
- Tesiste bakım masrafları azalır.
- Kritik tesislerde chiller arızası veya enerji kesilmesi durumunda devreye girerek, kesintisiz soğutma sağlar.

2.3 Enerji Nasıl Depolanır?

2.3.1 Duyulur ısı depolama

Duyulur ısı depolamada; ucuz, bol ve özgül ısının yüksek olması sebebi ile su ya da su ve glikol karışımı kullanılır.

- Depolama için düşük enerji yoğunluğundadır. 6 kWh/m³
- Sıcaklık farkı sınırlıdır. $\Delta t = 5 \text{ }^\circ\text{C}$
- Fazla hacim ve dolayısı ile fazla ağırlık kullanılır, yer sorunu ortaya çıkar.
- Fazla ısı kaybı söz konusudur.

2.3.2 Gizli ısı depolama

Gizli ısı bir maddenin hal değişimi esnasında aldığı veya verdiği enerjidir. Su ve kimyasal katkıları karışımı kullanılır.

- Depolamak için yüksek enerji yoğunluğundadır. 93 kWh/m³
- Sabit sıcaklıkta enerji depolama
- Limitsiz operasyon sıcaklık farkı kullanılabilir.

Endüstriyel soğutma ve HVAC sistemlerinde devre içinde büyük sıcaklık değişimleri oluşmaz. Bu nedenle duyulur enerji depolamak için büyük depolama hacimleri gerekir.

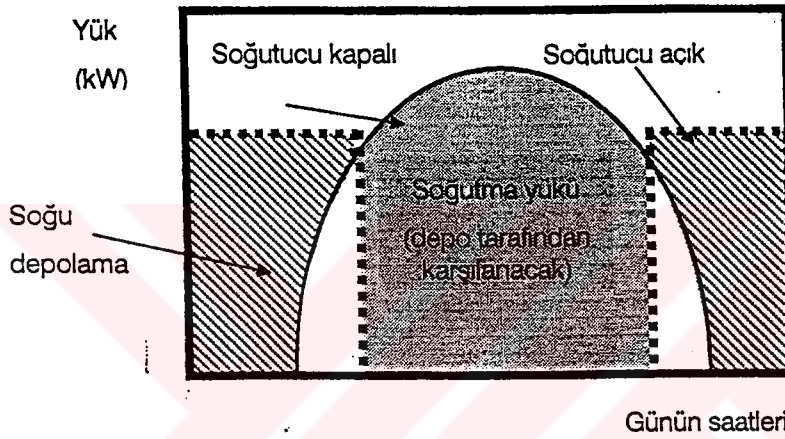
Depolamanın üstün özelliği elektrik enerjisinin düşük tarifede olduğu periyotta depolama yapılabilmesidir. Duyulur ısı depolama ile bu sağlanamaz. Böyle durumlarda da gizli ısı depolama ön plana çıkar.

3. İŞLETME YÖNTEMLERİNE GÖRE SOĞU DEPOLAMA SİSTEMLERİ

Enerji depolama sistemlerinin işletim stratejileri, tam depolama veya kısmı depolama olarak adlandırılır. Bunun yanısıra uygulamaya göre değişebilen farklı stratejiler mevcuttur.

3.1 Tam Depolama

Maksimum yükün oluştuğu anı da kapsayan bir zaman dilimi boyunca bütün yük soğu deposundan karşılanır. Bunun dışındaki zamanlarda ise soğutma grubu, ihtiyaca göre tamamen depoya veya kısmen depoya kısmen yüke çalışır.



Şekil 3.1 Tam depolama

Tam depolama sistemine göre su soğutucular, çalıştıkları dönemlerde tam kapasite ile çalışırlar. Gündüz mesai saatlerinde gerekli günlük veya haftalık toplam soğutma kapasitesinin geceleri, indirirmlı elektrik tarifesinin uygulandığı saatlerde tam olarak depolanmasıdır. Bu yöntemle işletim maliyeti büyük ölçüde düşecek olsa da, soğutma grubu (glycol chiller) ve buz depolama tankları (ice chiller) büyük kapasitelerde dizayn edilecektir. İdeal çalışan bir sistem için şekil 1'deki ters taraflı alanlar birbirine eşit olmalıdır. Tam depolama durumunda sistemin kontrolü da nispeten kolaydır.

Tam depolama sisteminde ilk yatırım maliyeti artacağından nadiren, fakat yerine göre (endüstriyel uygulamalar) de özellikle tercih edilen bir yöntemdir.

3.2 Kısmi Depolama

Kısmi depolamalı bir sistemde, maksimum yükün oluşturduğu dönemde soğutma yükünün bir kısmı depodan, bir kısmı ise soğutma grubundan karşılanır.

Soğutma grubunun çalışma periyodu, günün 24 saatine yayılarak, cihazın kapasitesi çok düşük seçilebilir.

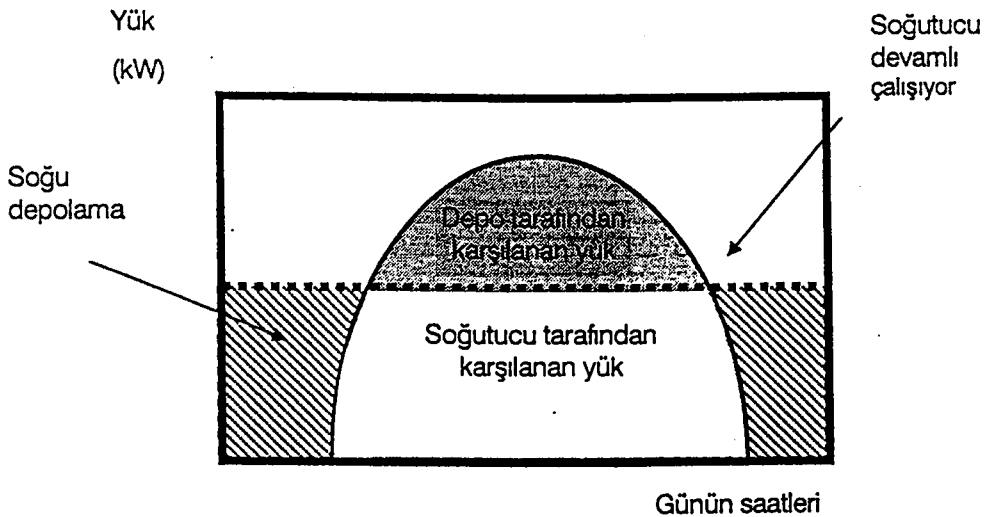
Bu sayede; kullanılacak soğutma grubunun %50 gibi bir oranda daha düşük model ve kapasiteye gidilmektedir. Kompresör elektrik güçleri düşecek, bunun sonucunda da demeraj akımlarında azalma görülecektir.

Düşük kapasiteli seçim, beraberinde düşük ilk yatırım maliyeti, minimum elektrik tesisatı, trafo, daha az soğutucu akışkan, daha düşük ses seviyeleri, yedekleme imkanı, daha az bakım ve servis avantajlarını getirecektir. Bu sebeplerden dolayı en çok tercih edilen bir yöntemdir.

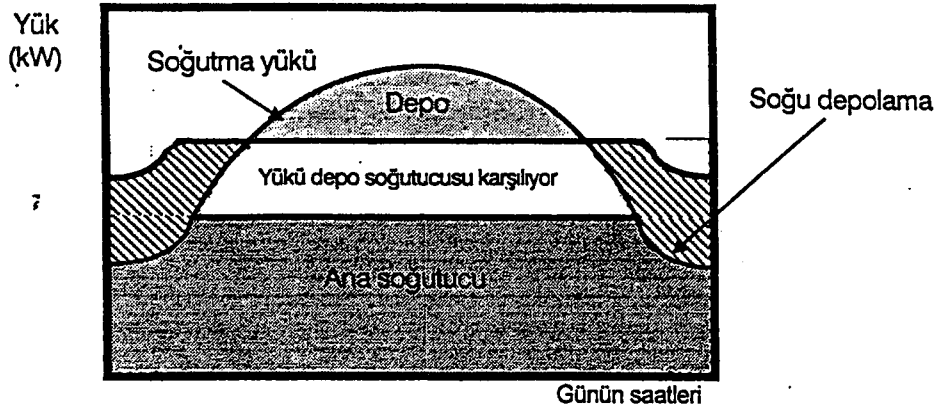
Kısmi depolama sistemini iki farklı sistem olarak ele alabiliriz;

3.2.1 Yük seviyemeli kısmi depolama

Yük seviyemeli kısmi depolama yöntemine göre, soğutma grubu – tasarım günü için bütün gün tam kapasite ile çalışır. Yük, soğutucu kapasitesinin altına düştüğünde, soğutucu depolama amacı ile kullanılır. Yük kapasiteyi geçtiğinde ise gerekli soğu fazlası depodan karşılanır.



Şekil 3.2 Yük seviyemeli kısmi depolama



Şekil 3.4 Ana soğutuculu bir soğu depolama sistemi

Ana soğutuculu bir soğu depolama sisteminde; ana soğutucu, devamlı ve belirli bir soğu yükünü karşılamak üzere tam kapasite ile çalışmaktadır. Daha küçük boyutlu bir soğutucu ise kimi zaman fazla yükü karşılamak, kimi zaman ise soğuyu depolamak amacıyla kullanılmaktadır.

Birden fazla su soğutucuyu belirli bir düzene göre çalıştırmak da çoğu kez işletimde avantaj sağlar. Bazı kısmi depolamalı sistemlerde; soğuyu depolamak için ayrı, yükü direkt olarak karşılamak için ayrı bir su soğutucu kullanılır. Bazı durumlarda da, geceyarısı yükleri ayrı bir su soğutucu tarafından karşılanırken, bir diğeri gündüz periyodu için soğu depolama amacıyla kullanılabilir.

Soğu depolama sistemleri çoğunlukla günlük periyotlara göre tasarlanır. Bir başka deyişle 24 saatlik bir dönem boyunca depolanan enerji aynı 24 saat içerisinde tüketilir ve bir sonraki gün aynı çevrim yeniden başlar. Ancak bazı uygulamalarda sistemi farklı periyotlarla çalıştırmak gerekebilir. Eğer tepe yükler, haftanın belirli veya birkaç gününde oluşuyorsa bu dağılımı dikkate alan haftalık periyotlu bir depolama-geri kazanım çevrimi uygun olabilir. Örneğin bir spor salonu veya eğlence merkezinde tepe yükler belirli gün ve saatlerde oluşur. Diğer günlerde ise fazla bir soğutma yüküne gereksinim kalmaz. Soğutma yükleri bu tür yerlerde hafta sonlarında yüksek olup diğer günlerde ise daha azdır.

Haftalık periyotlu sistemlerde sürenin çoğu depolama boyunca harcanacağından, bu tür bir periyot seçimi, çoğu kez, depolama maliyetinin direkt soğutma maliyetinden daha ekonomik olduğu durumlarda tercih edilir.

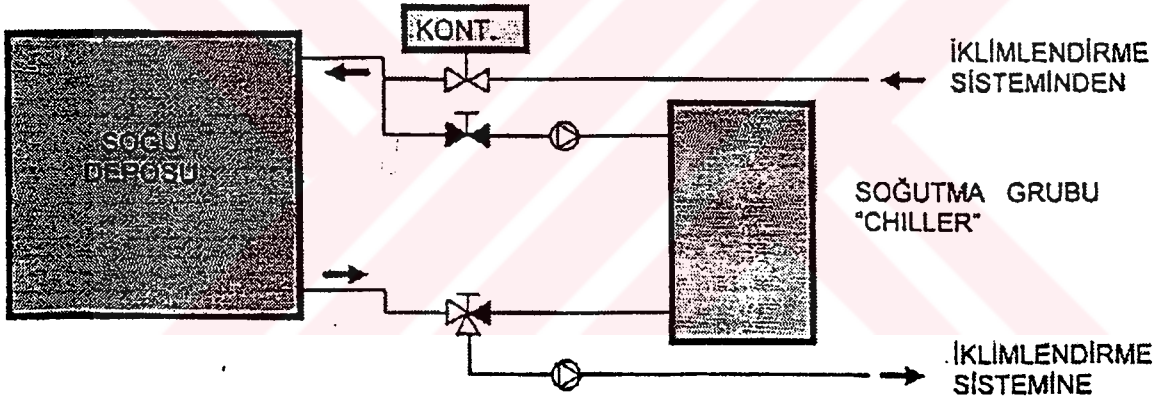
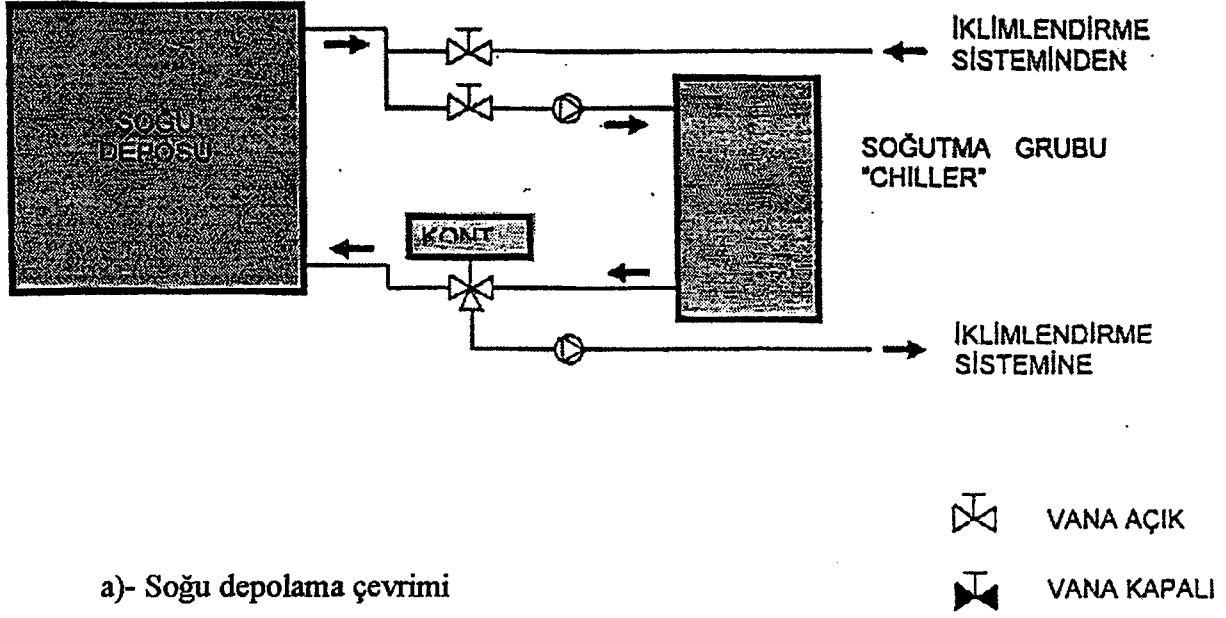
Yüklerin tasarım değerlerinin altına düştüğü dönemlerde, soğu depolama sistemlerinin işletimlerini optimize etmek amacıyla bazı stratejiler uygulanabilir. Örneğin bazı kısmi depolama sistemleri, yılın daha soğuk aylarında tam depolama stratejisine göre çalıştırılabilir. Veya bazı tam depolama sistemlerinde, depolama miktarı bir gün sonranın tahmin edilen yük değerine göre ayarlanabilir.

Depolanan enerjinin maliyetinin direkt soğutma maliyetinden yüksek olduğu bazı durumlarda; su soğutucuyu mümkün olduğunca yükü karşılamak için kullanan, depoyu ise yük soğutucunun kapasitesini aştığında devreye alan soğutucu öncelikli bir strateji izlenebilir. Bunun aksine, depolanan enerji maliyeti direkt soğutma maliyetinden düşük ise; yükü mümkün olduğunca depodan karşılayan, soğutucuyu ise kapasite aşıldığında devreye alan depo öncelikli bir strateji izlemek mümkündür.

Soğutucu öncelikli bir sistemin kontrolü genellikle basittir. Yük, soğutucunun kapasitesini geçtiğinde çıkış sıcaklığı yükselecektir. Depo öncesine konulan bir sıcaklık sensörü bu durum karşısında uygun vanaları açarak veya akışın bir kısmının depo üzerinden olmasını sağlayacak pompaları çalıştırarak, depodan soğunun geri kazanımını ve sistem çıkışında istenilen sıcaklık değerinin yakalanmasını temin edebilir.

Depo öncelikli bir sistemin kontrolü daha karmaşıktır. Burada amaç, depolanan soğu enerjisini maksimize etmek olduğundan, yüksek yükleri karşılamada soğutucuya destek olacak yeterli soğunun var olup olmadığını kontrol etmek gerekir.

4. SOĞU DEPOLAMA SİSTEMLERİNE AİT TEMEL PRENSİPLER



Şekil 4.1 Tam depolama işletimli bir soğu depolama sistemi

Soğu depolama çevriminde soğutma grubundan çıkan soğuk akışkanın bir kısmı soğu deposuna, bir kısmı ise yükü karşılamak üzere iklimlendirme sistemine gönderilmektedir. Bu değerlerin oranının saptanmasında, iklimlendirme sisteminden gelen akışkanın sıcaklığı bir kontrol parametresi olarak düşünülebilir. Soğu geri kazanım çevriminde ise yükün tamamı depodan karşılanmakta, soğutma grubu devre dışı kalmaktadır. İklimlendirme sisteminden akışkanın dönüş sıcaklığına göre, istenilen yükü karşılayacak şekilde akışkanın debisi kontrol edilebilir.

Prensip şeması aynı kalmak üzere, kontrol noktalarının yerleri ve tipleri değiştirilerek diğer işletim yöntemleri (yük seviyelemeli veya talep belirlemeli kısmi depolama ve uygulamalara göre değişen farklı stratejiler) için de benzer şemalar oluşturmak mümkündür.

4.1 Soğu Depolayıcılar

En bilinen soğu depolama ortamları; su, buz ve ötektik tuzlar olarak bilinen faz değişim malzemeleridir. Her bir ortamın, birim hacmi başına depoladıkları enerji miktarları sıcaklık (veya sıcaklık aralıkları) birbirlerinden farklıdır.

4.1.1 Su

Su içerisinde soğu enerjisi, duyulur ısı olarak depolanır. Bu da suyun özgül ısı ile (4,18 kJ/kg K) orantılıdır. Depolama hacmi depodan elde edilen su ile depoya geri dönüş suyu arasındaki sıcaklık farkına bağlıdır. Bir çok yapı soğutma uygulamasında, 11°C'lik bir fark, pratik maksimum fark olarak kabul edilmektedir.

Soğuk su depolarında depo hacmi; depolanan soğuk su ile ılık dönüş suyu arasındaki tabakalaşma derecesine de bağlı olduğundan, literatürde, minimum depolama hacmine ilişkin pratik değerler önerilmiştir. 11°C'lik sıcaklık farkı için bu değer 0,086 m³/kWh olarak verilmiştir. Sıcaklık farkı azaldıkça bu değerde de lineer bir artış öngörülmektedir. Benzer şekilde, sıcaklık farkının 11°C'den büyük olduğu kimi uygulamalarda da lineer bir azalma olacağı söylenebilir.

Soğuk su genelde 4-6°C arasında depolanır. Bu sıcaklık birçok konvansiyonel su soğutucunun çıkış değerlerine ve dağıtım sistemlerine uygundur.

4.1.2 Buz

Buz içerisinde soğu enerjisi, faz değişim gizli ısı olarak depolanır. Bu da su için 333,5 kJ/kg'lık bir enerji demektir. Depolama hacmi; buz depolama teknolojisine bağlı olarak 0,02 m³/kWh arasında değişir.

Buz yoluyla enerji depolaması, suyun katılaşma noktasında (0°C) meydana geleceğinden, soğutma ekipmanı soğuk akışkanı -3°C ile -9°C arasında bir sıcaklıkta sağlamalıdır. Bu,

iklimlendirme sistemlerindeki konvansiyonel cihazların normal çalışma koşullarından düşük bir değerdir. Bu nedenle, buz depolama teknolojisine bağlı olarak özel buz yapıcılar kullanılmalı veya düşük sıcaklıklı soğutucular seçilmelidir.

Buzun düşük depolama sıcaklığı, iklimlendirme için daha soğuk hava üretimine olanak sağlar. Depodan elde edilecek suyun 1°C ile 3°C arasında olacağı varsayılırsa 6°C civarında bir hava sıcaklığı elde etmek mümkündür. Bu da konvansiyonel bir sistemle elde edilecek havaya (13°C) göre oldukça düşüktür. Soğuk havalı dağıtım sistemi olarak adlandırılabilir. Böyle bir sistemde fanların ve kanalların boyutu küçülür. Fanların enerji tüketimi %40'a kadar azalabilir. Soğuk hava, ortamda nemin azalması sonucunu doğuracağından iç hava kalitesi artar.

4.1.3 Ötektik tuzlar

Ötektik tuzlar da gizli ısı yoluyla enerji depolayan faz değişim malzemeleridir. Belirli ve saptanmış sıcaklıklarda katılaşp eriyebilmeleri için değişik formülasyonlarda üretilir. Soğu depolama uygulamaları için kullanılan en genel formülasyon; inorganik tuzları, suyu ve yapısal karalılığı sağlayan bir ara maddeyi içeren karışımlar şeklindedir. Bu karışım 8 °C civarında faz değiştirebilir. Genellikle bu karışım, belirli bir geometriye sahip plastik kapların içine doldurulur ve bu kaplar belirli bir düzen içerisinde içinden suyun geçirileceği depolama tankına yerleştirilir. Bu tür bir depolama tankı için gerekli hacmin yaklaşık 0,048 m³/kwh olduğu belirtilmiştir.

Bu malzemelerin faz değişim sıcaklıkları, enerjiyi depolayabilmek için standart soğutma ekipmanlarının kullanımını olanaklı kılmaktadır, ancak depo çıkış sıcaklığı birçok soğutma sistemi için giriş sıcaklığının üstünde olabileceğinden, işletme stratejilerine belirli sınırlamalar gelebilir. Ancak 5 – 6 °C'lik bir depo çıkış sıcaklığı sağlanmakta ve konvansiyonel hava dağıtım sistemleriyle daha uyumlu bir işletim elde edilmektedir.

4.2 Soğu Depolama Tankları

Bir soğu depolama tankı; içerisinde bulunan su, su-buz karışımı veya diğer malzemenin ağırlığından kaynaklanan kuvvete dayanacak yapısal mukavemete sahip olmalıdır. Su geçirmez olmalıdır ve zamanla sızıntı yaratmamalıdır. Korozyona karşı dirençli olmalıdır. Yer üstüne yerleştirilen tanklar, hava koşullarına karşı dirençli olmalı, dış yalıtımları buhar

difüzyonuna engel olacak yapıya sahip olmalıdır. Güneş ışığı etkisi altında kalan tanklarda ışınum ile ısı kazancı önemli hale gelebilir. Bunu minimize etmek için açık renkli veya yansıtıcı bir dış yüzey tavsiye edilir. Toprak altına gömülen tanklar üstlerindeki toprak ağırlığını ve buna ilaveten buldukları yere bağlı olarak üstlerinde oluşabilecek ağırlıkları taşıyabilmelidir. Kısmi veya tam olarak toprağa gömülmüş tanklar boşaltıldıkları takdirde doğabilecek yer altı sularının hidrostatik basıncına da dayanıklı olmalıdır.

Depolama tanklarının şekilleri genellikle prizmatik veya silindiriktir. Çelik, beton, fiberglas veya plastikten yapılırlar.

4.2.1 Çelik tanklar

Çok farklı boyutlarda ve değişik geometrilere çelik tanklar üretilebilir. Uygulamada küçük tankların (9-90 m³) kaynaklı galvaniz çelik saçtan üretildiği, daha büyük (200 m³'e kadar) tanklarda ise silindirik geometrinin kullanıldığı bilinmektedir.

Zeminde yükselen büyük çelik tanklarda; genellikle iç ve dış korozyon koruması, dış yalıtım ve sundurma yer alır. Zeminde yer alan silindirik tanklar ise çoğunlukla beton bir kaide üzerine konulur.

Korozyona karşı içten korumada genellikle epoxy kaplama kullanılır. Toprak altına gömülü tanklarda ise çoğunlukla "cathodic" koruma tercih edilmektedir.

4.2.2 Beton tanklar

Beton tanklar önceden imal edilmiş olabileceği gibi yerinde de imal edilebilir. Ülkemizde ticari anlamda bu amaca yönelik bir imalat söz konusu olmadığından, betonun yerinde dökülmesi ile tankın imali tercih edilecek yöntem olarak gözükmektedir. Bu durumda da en önemli sorun, "sızıntı" olarak kendisini gösterecektir. Beton tankın iç yalıtımında bu konuya çok dikkat edilmelidir. Mümkünse tank birkaç bölmeden oluşmalı; bakım esnasında veya herhangi bir sızıntı söz konusu olduğunda tankın tamamını boşaltmaya gerek kalmamalıdır.

4.2.3 Plastik tanklar

Uygulamada kullanılacak bir diğer tank çeşidi plastik tanktır. Yurt dışında, modüler birimler şeklinde üretilmiş her türlü kapasiteye uygun tank bulunmaktadır. Bina dışına yerleştirilen plastik tanklarda güneş ışığına karşı ultraviyole koruma veya opak kaplama gereklidir.

Tanklar plastik yerine fiberglastan da imal edilebilir. Aranılan ortak özellik ise, diğer tanklarda olduğu gibi; mukavemet, korozyon direnci ve iklim koşullarına dayanıklılıktır.



5. DEPOLAMA MALZEMESİ ve YÖNTEMİNE GÖRE SOĞU DEPOLAMA SİSTEMLERİ

5.1 Soğuk Su ile Soğu Depolama

Soğuk su depolama sistemleri, soğuyu depolamak için suyun duyulur ısı kapasitesini kullanır. Su, bir soğutucu tarafından soğutulur ve daha sonraki ihtiyaçları karşılamak üzere bir tankta depolanır. Depolanan enerji miktarı, depodaki soğuk su ile yükten gelen ılık suyun sıcaklıkları arasındaki farka bağlıdır.

Soğuk su depolama sistemlerinde depo yükleme suyu sıcaklığı 4°C ile 7°C arasında olmaktadır, bu da konvansiyonel su soğutucuların kullanımını olanaklı kılmaktadır.

Soğuk sulu sistemlerde sıcaklık farkının 6°C olması durumunda m³ başına yaklaşık 5,9 kwh'lik bir enerjinin, 11°C olması durumunda ise 11,3 kwh'lik bir enerjinin depolandığı belirtilmektedir. Belirli bir sürede bir enerjinin depolanması için gerekli hacim bazında kıyaslandığında bu rakamlar; buzlu depolama sistemlerine göre 3 ila 7 kat, ötektik tuzlarla depolama sistemlerine göre ise 2 ila 3 kat fazla hacim gereksinimine işaret etmektedir. Ancak soğuk su depoları görece olarak uzun olduğundan yer işgali konusunda diğer sistemlerle başabaş sonuçlar verebilir.

Soğuk su ile depolamanın 7000 kwh'ten (yaklaşık 760 m³) daha fazla enerjinin depolanması gerektiği durumlarda ekonomik olduğu A.B.D. kaynakları tarafından rapor edilmektedir. Ancak işçiliğin ülkemizde çok daha ucuz olduğu gözönüne alınır ise, bundan daha düşük kapasitelerdeki depoların da ekonomik olabileceği söylenebilir.

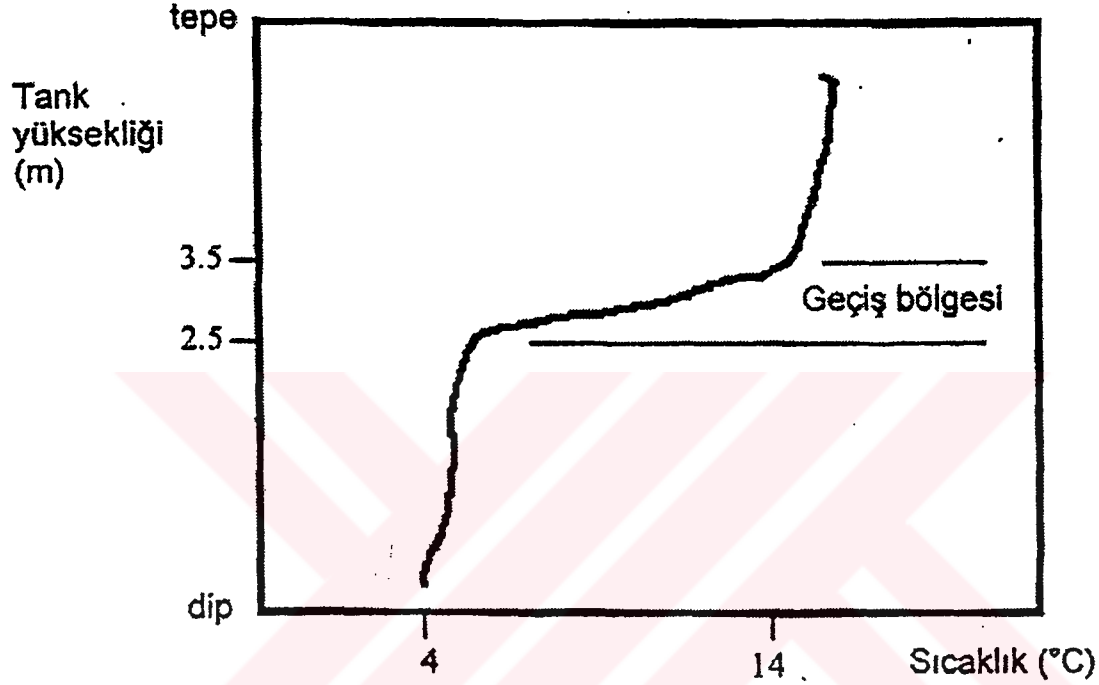
Soğuksu depolama sistemlerinde temel prensip, soğuk depo yükleme suyu ile ılık dönüş suyunu ısı olarak birbirinden ayırmaya dayanır. Bu işlemler temel olarak katmanlaşma, çoklu tank kullanımı, diyafram kullanımı, labirent ve saptırıcı kullanımıdır.

5.1.1 Katmanlaşma

Suyun yoğunluğu soğudukça artar, ancak bu soğuma miktarı belirli bir değere (4°C) yaklaştığında bu artış azalır ve donma noktasına kadar da bu azalma eğilimi sürer. Bunun sonucunda tankı dolduran su; yoğunluğuna bağlı olarak farklı katmanlarda farklı sıcaklıklara

konusu olacağından geçiş bölgesi giderek alçalır, soğuk su miktarı azalır. Eğer tank olduğu gibi bırakılırsa muhtemelen içinde, birkaç gün içerisinde kullanılabilir soğuk su kalmayacaktır.

Difüzör tasarımına bağlı olmak üzere, iyi bir tasarım için geçiş bölgesi kalınlığı 30 cm ile 100 cm arasında değişir. Depo içi sıcaklık dağılımının profili katmanlaşma için büyük önem taşır.



Şekil 5.2 Tipik bir katmanlaşma sıcaklık profili

Difüzör tasarımı

Katmanlaşmalı bir depoda suyu tank içerisine yavaşça ve yerçekimi akıntısında bırakacak difüzörlere ihtiyaç vardır, ancak bu şekilde bir geçiş bölgesinin oluşumu ve devamı sağlanabilir. Soğu depolama esnasında; yerçekimsel akım, dip seviyede tanka giren yoğun suyun tank zemini boyunca hareketi şeklinde oluşur. Benzer şekilde bir yavaş akım, soğu geri kazanım periyodunda bu kez üst difüzör tarafından yaratılır.

Tabana yerleştirilen difüzörün ağzı tabana bakmalı ve taban ile olan mesafesi üst difüzörün su yüzeyi ile olan mesafesine eşit olmalıdır. Üst difüzörün ağzı da yukarıya dönük olmalıdır.

Froude sayısı (Fr) atalet kuvvetlerinin kaldırma kuvvetlerine oranı olarak tanımlanabilir. Yoo ve arkadaşları Froude sayısının 1'e eşit veya daha az olması halinde kaldırma kuvvetlerinin etkisinin daha fazla olduğunu ve istenilen şekilde bir yerçekimsel akımın yaratılabileceğini göstermişlerdir. Bu tür bir akım, 1'den büyük Froude sayılarında da sağlanabilmekte, ancak $Fr > 2$ olduğunda karışım etkisi kendini göstermektedir. Bu değerden sonra Fr'deki küçük değişimler karışım miktarında önemli artmalara ve türbülanslara neden olmaktadır. Sonuç olarak istenilen türde bir akım için en azından $Fr = 1$ olması gereklidir.

Froude sayısı;

$$Fr = \frac{Q}{L[g h_i \Delta\rho / \rho_a]^{1/2}} \quad (5.1)$$

Q : Suyun hacimsel debisi (m^3/s)

g : Yerçekimi ivmesi (m/s^2)

h_i : Difüzör çıkış yüksekliği (m)

= (difüzörden çıkan akışkan tarafından işgal edilen dikey mesafe. Tabana bakan akışkan için difüzör çıkış kesiti ile taban arasındaki uzaklık. Yukarı bakan difüzör için çıkış kesiti ile su tüzeyi arasındaki uzaklık)

ρ_a : Difüzör çıkış sıcaklığında suyun yoğunluğu (kg/m^3)

$\Delta\rho$: depolanmış su ile gelen veya giden suyun yoğunlukları arasındaki fark (kg/m^3)

L : difüzör uzunluğu

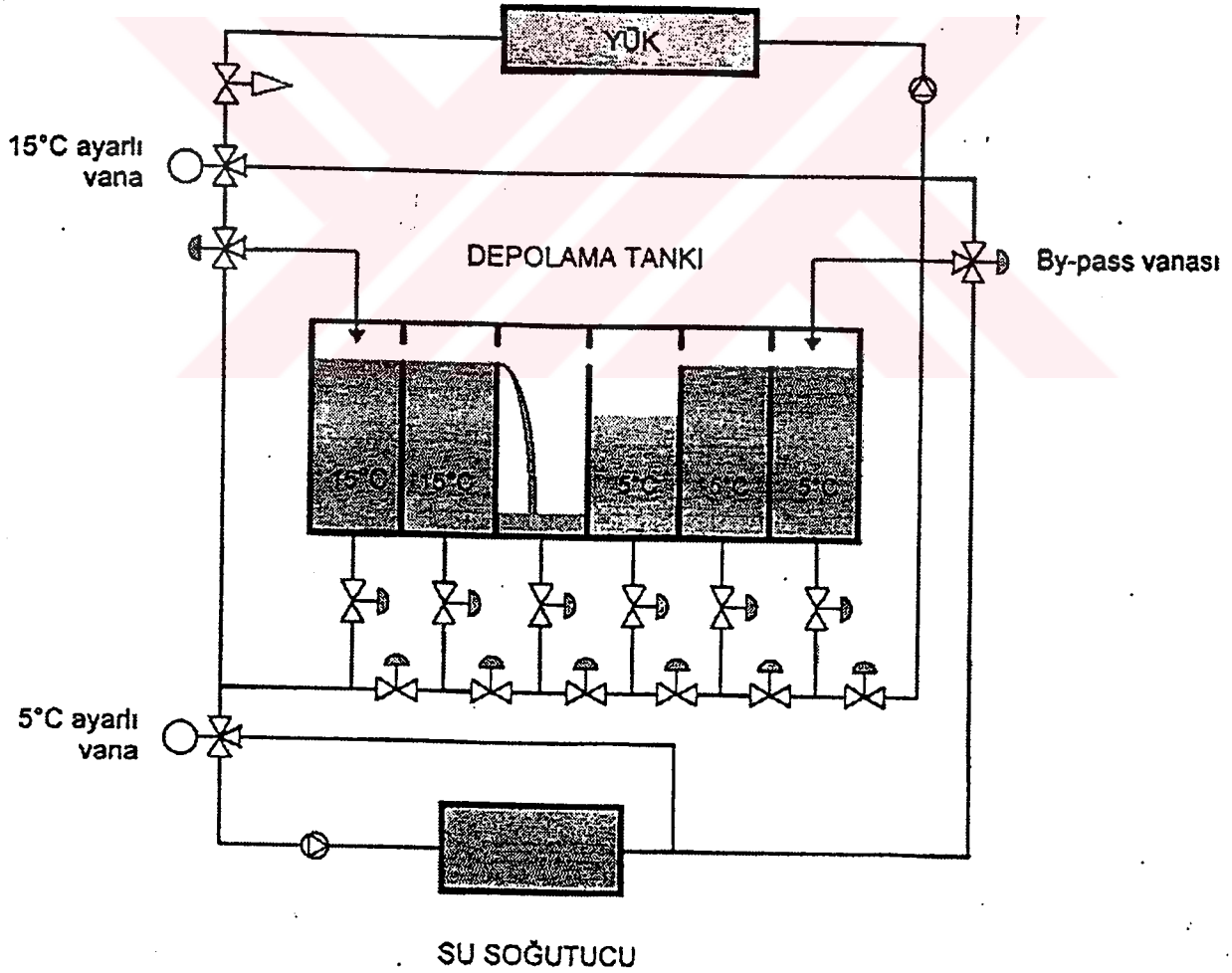
Difüzör kollarındaki su akış kanalları üniform hızda bir akış temin edecek bir şekilde açılmalıdır. Eğer üniform olmayan bir dağılım elde edilirse bu, dönme hareketlerinin oluşmasına ve sonuçta geçiş bölgesinin aşağıya inmesine neden olabilir. Tank içerisinde difüzör kollarının dağılımı tankın ortasından geçen dik eksene göre simetrik olmalıdır. Tam bir üniformluğu sağlamaya yardım etmesi açısından; herhangi bir difüzör kolundaki su akış yerlerinin toplam alanının, difüzör borusunun kesit alanının yarısını geçmemesi gerektiği önerilmiştir.

5.1.2 Çoklu Tank Kullanımı

Çoklu tank sistemlerinde; soğuk ve ılık suyun ayrı tanklarda depolanarak birbirlerinden ayrılması sağlanır. Bu şekilde, depolanan suyun belirli bir kararlı sıcaklıkta korunması

sağlanmış olur. Böyle bir sistemde iki veya daha fazla tank kullanılır. Bu tanklardan biri depolama veya geri kazanım çevrimlerinin başında daima boştur. Depolama esnasında bir tanktan çekilen ılık su soğutulur ve boş olan tanka pompalanır. Soğu geri kazanımı boyunca ise depolanmış soğuk su, yükü kullanmak üzere alınır, ılık dönüş suyu ise boş tanka pompalanır. İşlemler buna göre daima bir tankın boş olmasını gerektirdiğinden, deponun toplam hacmi katmanlaşmalı bir sisteme göre daha büyük olacaktır. Çoklu tank sisteminin şematik görünüşü;

Çoklu tank sistemleri görece olarak karmaşık bir borulama ve kontrol gerektirdiğinden ilk yatırım ve bakım maliyetleri yüksektir. Sistemdeki pompalar sürekli olarak değişen dinamik bir yüke karşı çalışacağından, seçimleri de o oranda güçleşir.



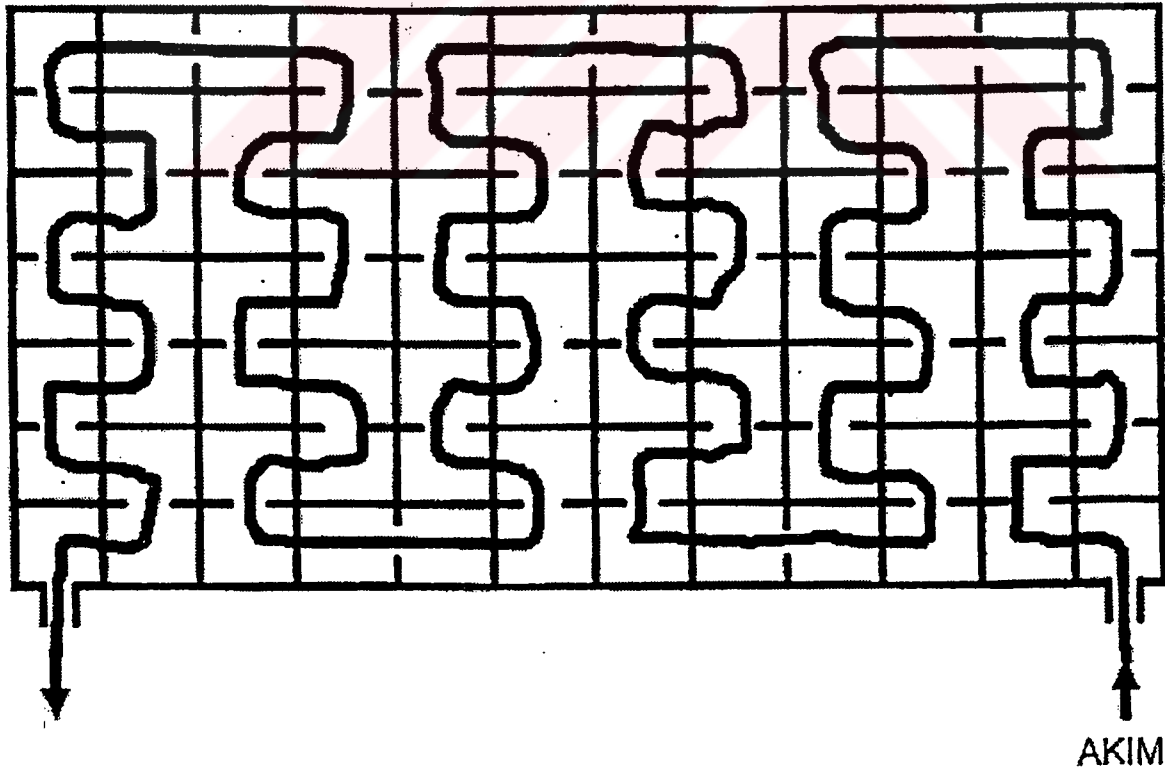
Şekil 5.3 Bir Çoklu Tank Sistemi

5.1.3 Membran veya Diyafram Kullanımı

Membran veya diyafram kullanımına göre, soğuk ve ılık su ortamları birbirinden tank içerisine yerleştirilmiş esnek bir membran veya hareketli bir diyafram yoluyla ayrılırlar. Buna göre difüzörlere gerek kalmadan bir tank içerisinde birbirine karışmayan iki farklı sıcaklık ortamı yaratılmış olur. Membran boyunca olan ısı geçişi bir enerji kaybına neden olmaktaysa da bu tür sistemlerin katmanlaşmalı sistemlerle aynı ısı performansını verdikleri incelenmiştir.

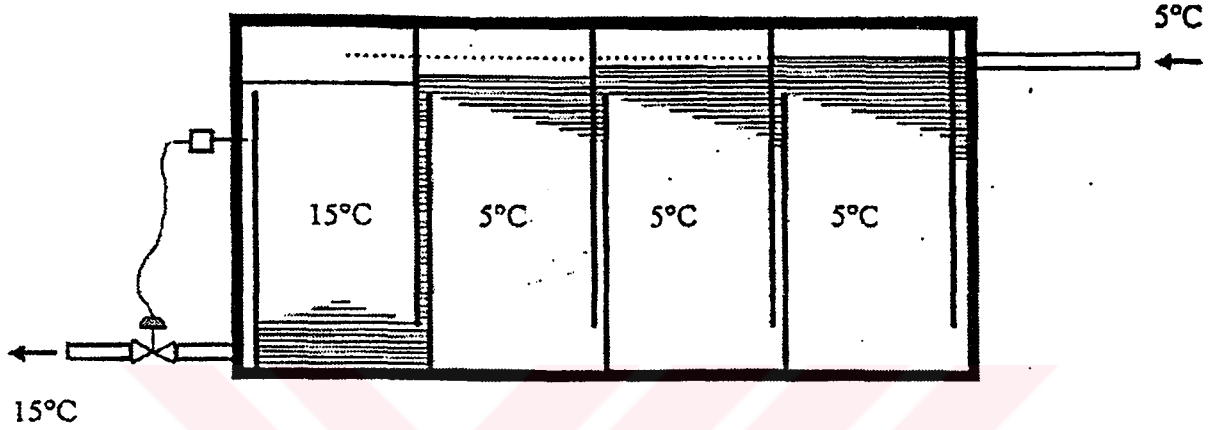
5.1.4 Labirent ve Saptırıcı Kullanımı

Labirent ve saptırıcı kullanımına göre, depo içerisinde labirentler yaparak ve saptırıcılar kullanarak akım yolu güçleştirilir ve daraltılır. Bu şekilde ılık ve soğuk suyu birbirinden ayıran bir tampon bölge oluşturulur. Bu bölgenin sıcaklığı, soğuk ve ılık su sıcaklıklarının arasında bir değere sahiptir. Soğu depolama sürecinde, bu tampon bölge ılık suyu tank dışına iterken arkadan gelen soğuk suyun depoyu doldurmasını sağlar. Benzer şekilde, soğu geri kazanım periyodunda, tampon bölge dışarı alınan soğuk su ile yerine gelen sıcak su arasında ayırma fonksiyonunu yerine getirir.



Şekil 5.4 Labirent ve saptırıcı sistem

Labirent yaklaşımının kullanıldığı bir diğer uygulama da seri tanklar yöntemidir. Buna göre sistemde birbirine seri olarak bağlanan bir dizi tank vardır. Soğuk su ilk tanka, tank tabanından girecek şekilde pompalanır. İlk tanktan taşan su ikinci tanka, ikinci tanktan su üçüncü tanka, üçüncü tanktan taşan su dördüncü tanka vb. akar sonuçta bütün tanklarda soğuk su depolanmış olur. Soğuk su geri kazanım periyodunda ise soğuk su, ilk tankın altından emilir ve dönüş suyunun en sondaki tankın üstünden başlayarak ters yönde tankları doldurması sağlanır.



Şekil 5.5 Seri tanklar yöntemi

5.1.5 Depolama Tankları

Tabakalaşmalı bir soğu depolama tankı için en uygun şekil, düz tabanlı dik bir silindirdir. Silindirik bir tankın yüzey/hacim oranı, aynı hacimde dikdörtgen kesitli prizmatik bir tanka göre daha azdır. Bu da ısı kayıplarının daha az olacağı ve depolanan birim soğu için konstrüksiyon maliyetinin düşeceği demektir.

Tankın yükseklik/çap oranını arttırmak, geçiş bölgesinin işgal ettiği hacmin toplam hacme oranını düşürür, ancak bu tank maliyetinin artması demektir. Tank çapı, gerekli debiye ve difüzör boyutlarına göre değişir. Yükseklik/çap oranının artması, difüzör uzunluğunu etkiler ve tasarımı oldukça güç kılar, tasarımın güçleşmesi sonucunda da maliyet artar. Bu nedenlerle ideal bir yükseklik/çap oranı; tankın yerleştirileceği yerin konumu, tank maliyeti ve gerekli debilere göre saptanır.

Beton tanklar için yükseklik/çap oranı 0,25 ile 0,50 arasındadır. Bu tankların minimum yüksekliği 7 m. civarındadır. Beton tankların yüksekliklerinin 14 m.'den az olması halinde

daha ekonomik oldukları belirtilmekle birlikte uygulamalarda daha yüksek tanklara da rastlanmaktadır.

Toprak üzerine yerleştirilen çelik tanklar için ise yükseklik/çap oranları 0.5 ile 1,2 arasında, yükseklik değerleri ise 12 ile 15 m. arasında değişmektedir.

Katmanlaşmalı soğu depolama uygulamalarında küresel tanklar en düşük yüzey/hacim oranına sahip olmakla birlikte, iyi bir katmanlaşmaya izin vermezler. Silindirik tankların yatay olarak yerleştirilmeleri de aynı nedenle pek uygulanmamaktadır.

Soğuk su depolama tankları, diğer soğu depolama sistemlerinin gerektirdiği tanklara göre daha büyük olduğundan, bina çevresine yerleştirme bir problem teşkil edebilir. Eğer tank için uygun bir boş alan yok ise yer altına yerleştirme uygun görülür.

Depolama tanklarının soğutuculara ve pompalara yakın olması ısı kayıpları önleyeceği gibi boru maliyetinde de önemli düşüş sağlar.

Bir soğu depolama sisteminde, verilen bir soğu miktarını depolamak için gerekli tank hacmi, gidiş ve dönüş sularının sıcaklıkları arasındaki farka ve tankın depolama etkinliğine bağlıdır. Bu etkinlik, yararlılık ölçüsü (FoM, Figure of Merit) olarak ifade edilir. Yararlılık ölçüsü tanım olarak; depodan çekilen enerji miktarının, teorik olarak depolayabileceği tüm soğuyu depolamış bir tankta mevcut soğu miktarına oranıdır.

İyi tasarlanmış difüzörler içeren bir katmanlaşmalı soğu deposu için. FoM değeri 0,9 veya daha fazla olabilmektedir. Yani bir su soğutucu ile 100 birimlik soğu bir tanka depolanmış ise, bunun 90 birim veya daha fazlasını, kullanım suyunun sıcaklığı maksimum kullanabilme sıcaklığını geçmeden geri kazanabilmek mümkündür.

Gerekli tank hacmi;

$$V = \frac{Q}{\rho c_p \Delta T \text{ FoM}} \quad (5.2)$$

Q : Depolanması istenilen enerji (kJ)

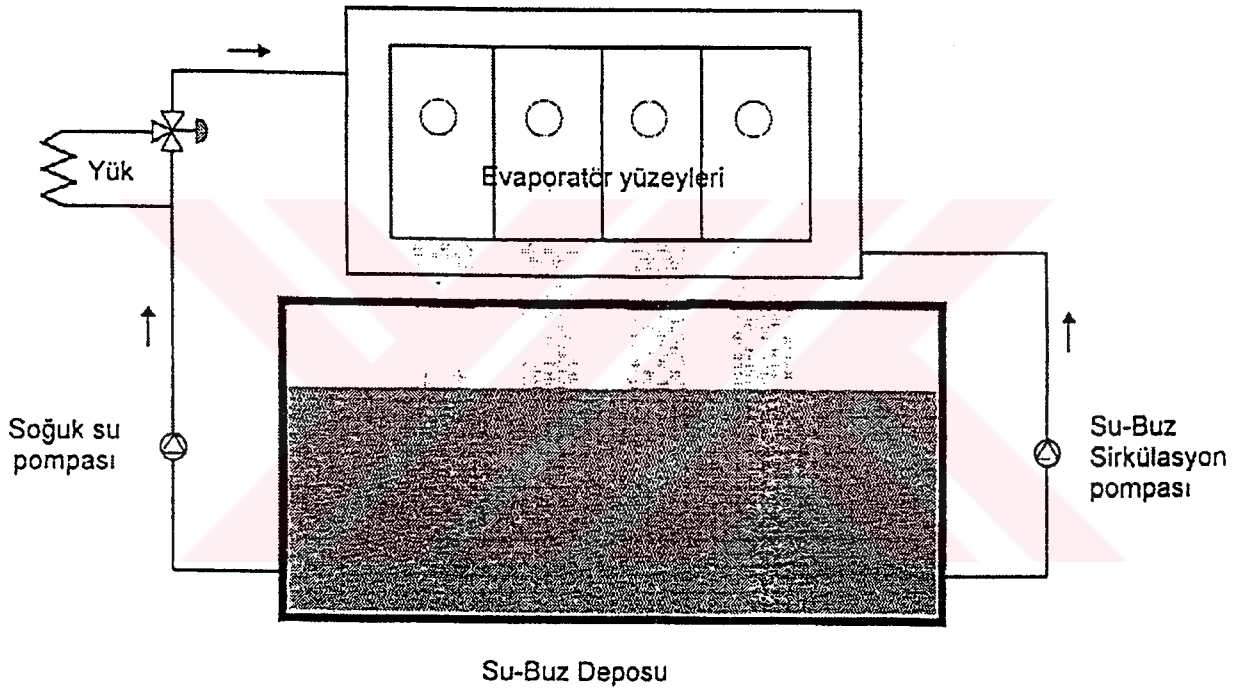
ρ : Suyun yoğunluğu (kg/m^3)

c_p : suyun özgül ısısı (kJ/kg K)

ΔT : Soğuk ve ılık su arasındaki sıcaklık farkı [$^{\circ}\text{C}$], [K] şeklindedir.

5.2 Dökümlü Buz ile Soğu Depolama

Dökümlü buz sistemleri; özel olarak tasarlanmış plakalı veya serpantinli bir evaporatör ile bunun altına yerleştirilmiş, evaporatör yüzeyinden inen buz ve soğuk su karışımını barındıran bir depolama tankından oluşur. Su, düşük basınçta evaporatör yüzeyi üzerine pompalanır ve orada dondurulur veya soğutulur.



Şekil 5.6 Dökümlü buz ile soğu depolama

Buz yapma modunda, evaporatör yüzeyi üzerine akan su, bir buz tabakası oluşturur. Bu tabakanın periyodik olarak, defrost çevrimi ile yüzeyden ayrılması ve alttaki tanka düşerek depolanması sağlanır. Su soğutma modunda ise, aynı yüzey üzerine akan su bu kez soğuyarak depoya boşalır. Buz yapma veya su soğutma modunun seçimi, suyun evaporatöre giriş sıcaklığına bağlı olarak otomatik gerçekleşir. Eğer su giriş sıcaklığı donma noktasına yakınsa, buz oluşturma modu seçilir. Su soğutma modunda defrost çevrimi çalıştırılmaz.

Soğu geri kazanım periyodunda, su-buz karışımı tankın dibinden alınarak yükü karşılamak üzere sirküle ettirilir. Tanktaki sıcaklık geri kazanım periyodunda faz değişim sıcaklığı civarında seyrederek, ancak içindeki buz tamamen eriyince bu sıcaklık da yükselmeye başlar.

Buz yapma modunda, buz oluşum ve defrost süreleri zamanlayıcılar (timer) tarafından kontrol edilir. Buz imal periyodu genellikle 10-30 dakika arasında sürer, defrost süresinde ise evaporatöre 20-60 saniye arasında sıcak gaz gönderilmesi buzun yüzeyden ayrılması için yeterli bir süredir. Yüzeyler üzerinde istenilen kalınlıkta buz oluşturulabilmesi için gerekli süre; gerçekte, evaporatör yüzey sıcaklığına, suyun bu yüzey üzerine gönderilme hızına ve su sıcaklığına bağlıdır.

5.2.1 Depolama tankları

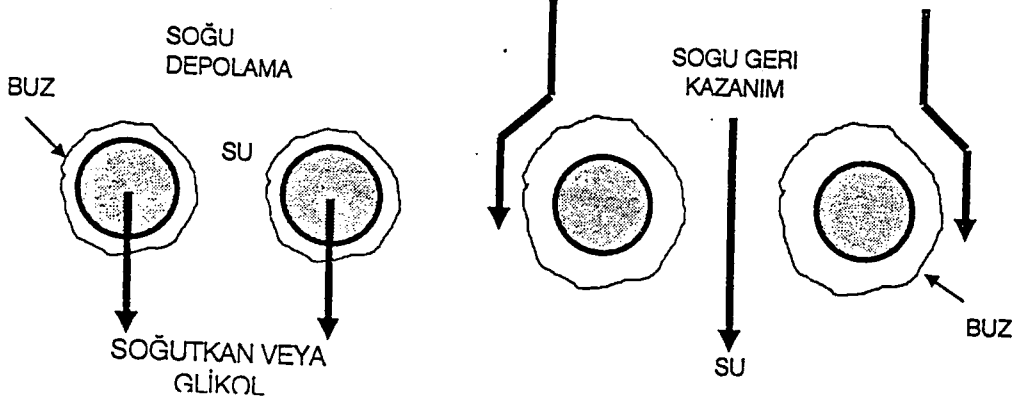
Dökümlü buz üretilen sistemlerde çoğunlukla yerinde üretilen, dikdörtgen kesitli beton tanklar kullanılmaktadır. Bu sistemlerde, tank geometrisi depolama kapasitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Oluşan buzun tank içerisinde dökülme açısı uygun değilse, tank içinde buz içermeyen bazı boşlukların kalması söz konusu olabilir. Evaporatörde tank içine doğru olan akma kesidi tank kesidine göre küçükse, buzun tank içinde büyük boşluklar doğuracak şekilde dağılması ihtimali de artar. Bu nedenle, tankı mümkün olduğunca uzun yapmak ve eğer mümkünse evaporatör modüllerinde ayırmalar yaparak buzun birkaç yerden birden daha üniform bir dağılımla tank içerisine boşalmasını sağlamak gerekir. Dökümlü buz sistemlerinin kapasitesi önemli ölçüde evaporatöre giren suyun dönüş sıcaklığına bağlıdır.

Bütün bu sistemler A.B.D.'de paket üniteler halinde üretilmektedir. Her bir üretici, kendi teknolojilerine ve tasarımına bağlı olarak; verilerin kullanımıyla ve bilgisayar desteği ile soğu tanklarını boyutlandırmaktadır.

5.3 Boru Sarmalı Dışında Buz ile Soğu Depolama

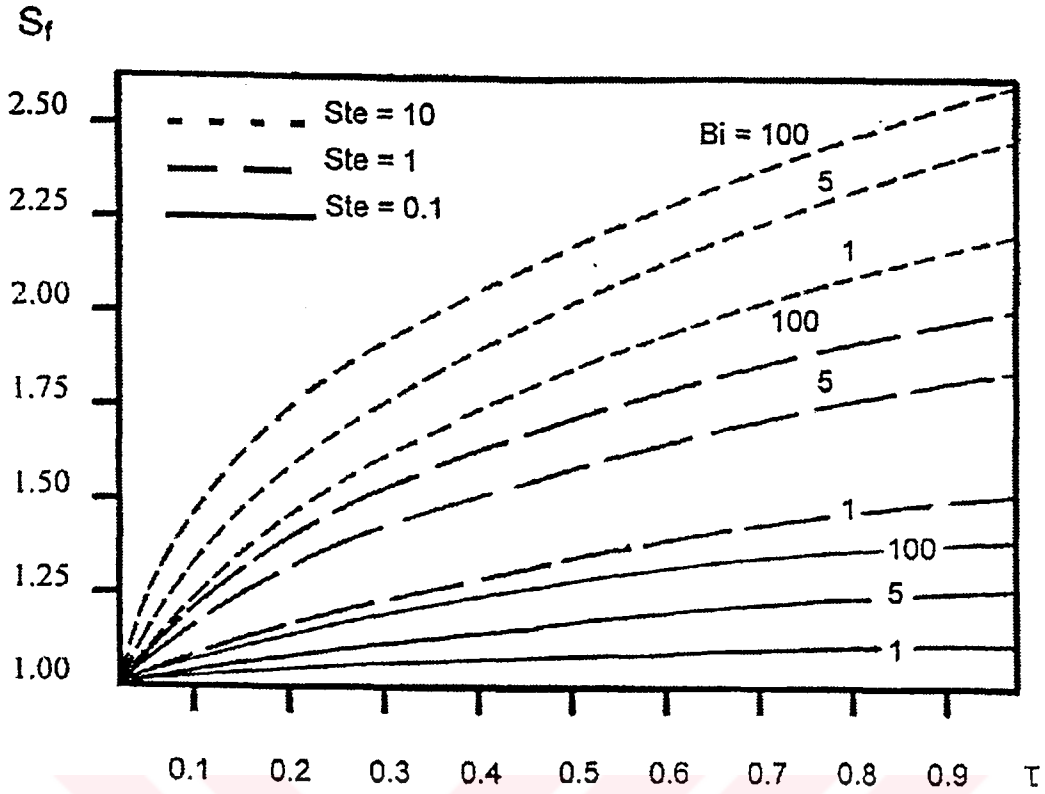
Boru sarmalı dışında soğu depolama yöntemine göre, dış yüzeylerinde buz oluşturularak soğunun depolanacağı boru sarmalları atmosfere açık bir su dolu tank içerisine daldırılır. Borular genellikle krom veya paslanmaz çelikten imal edilir, ısı iletkenliği küçük olmakla birlikte düşük maliyetten dolayı plastik boruların kullanılması da mümkündür.

Soğuyu depolamak için, sıvı soğutkan veya bir glikol çözeltisi gibi ikincil bir akışkan boru sarmalı içerisinde geçirilir. Bu şekilde boru dış yüzeylerinde buz oluşumu sağlanarak soğu depolanır. Geri kazanım periyodunda ise, tank içerisine ılık geri dönüş suyu pompalanır ve buzun eriyerek suyu soğutması sağlanır.



Şekil 5.7 Boru dışında soğu depolama ve geri kazanım

Soğu deposunun tasarlanmasında önemli noktalardan birisi, boruların eksenleri arasındaki mesafenin ayarlanmasıdır. Soğu depolama süresinin uzunluğuna bağlı olarak, komşu iki boru üzerinde oluşacak buzların birleşmesi söz konusu olabilir. Bu da, soğu geri kazanım periyodunda buz üzerine gönderilen ılık suyun geçiş bölgesinin engellenmesi anlamına geleceğinden istenmeyen bir durumdur. Bu nedenle boru üzerinde oluşacak buz kalınlığının zamana göre değişiminin bilinmesi gerekir.



Şekil 5.8 Bir boru çevresinde katılaşma hızı

$$\text{Ste (Stefan sayısı)} = \frac{C_p (T_m - T_o)}{L} \quad (5.3)$$

C_p : Buzun özgül ısısı (kJ / kg°C)

T_m : Suyun faz değişim sıcaklığı = 0°C

T_o : Boru içinde akan akışkanın ortalama sıcaklığı (°C)

L : Suyun faz değişim gizli ısısı = 335 kJ/kg

$$\text{Bi (Biot sayısı)} = \frac{h r_o}{k_s} \quad (5.4)$$

h : Boru içindeki ortalama ısı taşınım katsayısı (W / m²K)

r_o : Borunun dış yarıçapı (m)

k_s : Buzun ısı iletim katsayısı (W / m °C)

$$\tau \text{ (Boyutsuz zaman)} = \frac{\alpha_s t}{r_o^2} \quad (5.5)$$

α_s : Buzun ısı yayılım katsayısı (m^2 / s)

t : Zaman (s)

s : Boru eksenine ile buz yüzeyi arasındaki mesafe (m)

Herhangi bir t anı için buna karşılık gelen s değeri bulunduğundan sonra, $(s-r_o)$ kalınlığındaki buz tarafından bu ana kadar depolanmış bulunan soğuk enerjisi (gizli ısı olarak) birim boy boru için;

$$Q_d = \rho_s \Pi (s^2 - r_o^2) L \quad (5.6)$$

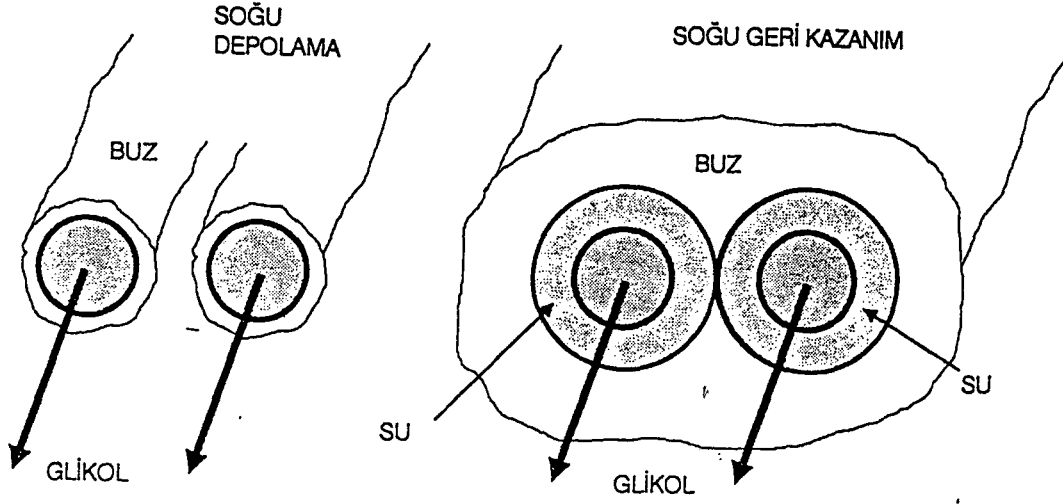
Bağıntısı kullanılır.

Boru içinden geçen akışkanın sıcaklığına bağlı olarak buz içerisinde bir miktar duyulur soğukun da depolanması söz konusudur. Ancak faz değişimli sistemlerde bu miktar, toplam depolanan enerjinin küçük bir kısmını oluşturur.

Boru sarmalları içeren tanklar da genellikle çelik veya betondan imal edilirler. Çelik tank kullanılması durumunda korozyon koruması her zaman olduğu gibi önem kazanır.

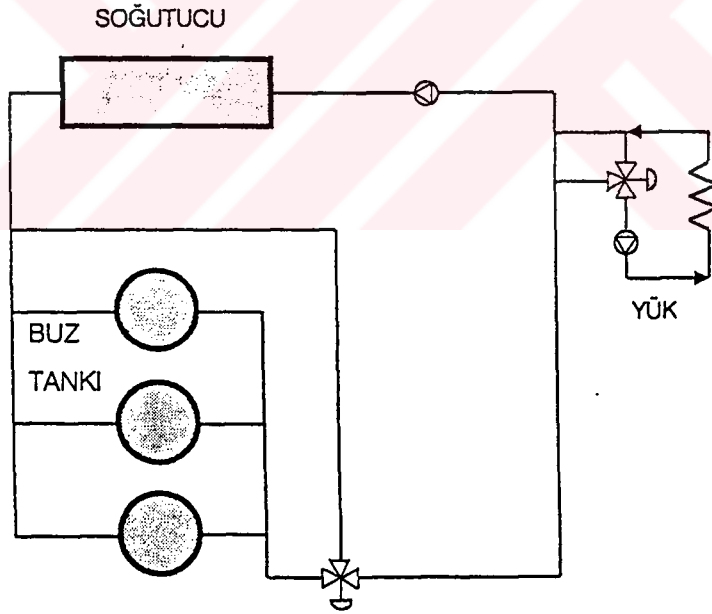
5.4 Boru Sarmalı Üzerinde İçten Eritmeli Buz ile Soğuk Depolama

Boru sarmalı üzerinde içten eritmeli buz ile soğuk depolama sistemine göre, bir ikincil akışkanın boru içinde kullanımı ile (genellikle etilen glikol) su, boru sarmalı çevresinde katılaştırılır ve soğuk depolanır. Geri kazanım periyodunda ise; bu kez suyun erime sıcaklığından daha yüksek sıcaklık değerine sahip aynı ikincil akışkan boru içinde sirküle ettirilerek, boru dış çevresinden itibaren buzun erimesi sağlanır.

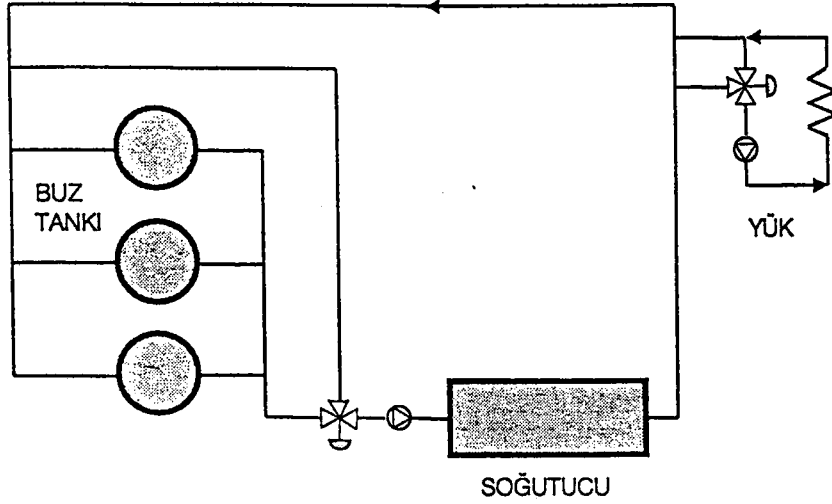


Şekil 5.9 Boru dışında soğu depolama ve buzlu içten eriterek geri kazanım

Boru sarmalı üzerinde içten eritmeli buz ile soğu depolamalı sistemlerde, soğutucunun buz tankından önce veya sonra bağlandığı iki farklı uygulama söz konusudur.



a)- Soğutucu Buz Tankından Önce



b)- Soğutucu Buz Tankından Sonra

Şekil 5.10 Soğutucu bağlantı tipleri

Tanklardan önce yapılan kısmi depolamalı bağlantı durumunda bina yükünden gelen ılık akışkan tanklara girmeden önce soğutulur. Bu durumda yüksek işletme sıcaklığından dolayı daha yüksek bir soğutucu verimi elde edilir. Ancak, depo çıkış sıcaklığının nisbeten yüksek olmasından dolayı, toplam depo kapasitesinden yararlanabilme oranı düşük olur. Soğutucunun depo çıkışına konulması durumunda ise, dönüş akışkanı önce depoya girerek soğutucu öncesi bir miktar soğutulur, bu şekilde depodan daha verimli yararlanmak mümkün olur, ancak giriş sıcaklığının düşük olmasından dolayı soğutucu verimi düşer.

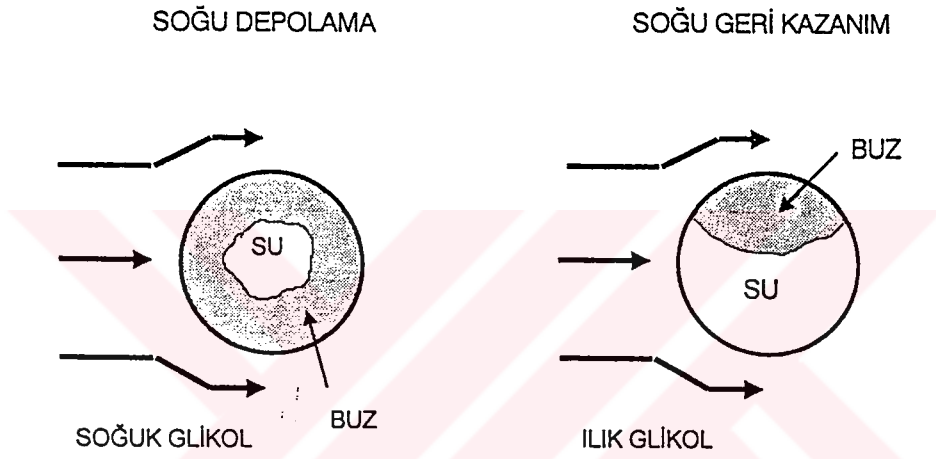
Boru sarmalı üzerinde içten eritmeli buz ile soğu depolamalı sistemlerde, tank içerisinde kalan suyun tamamen veya tamama yakın kısmının (sarmallar arasında kalan bölgeler dahil olmak üzere) katılaştırılabilir olması, belirli sabit bir hacimden yararlanabilme miktarını da arttırmaktadır.

5.5 Kapalı Hacimler İçinde Buz ile Soğu Depolama

Kapalı hacimler içerisine doldurulan suyun dondurulması ve eritilmesi yoluyla soğunun depolanması ve geri kazanımı, uygulanan bir diğer yöntemdir. A.B.D.'de ve Avrupada bunun için özel olarak üretilmiş plastik kaplar ticari olarak mevcuttur. Bu kaplar, yüksek yoğunluklu

polietilenden yapılmış olup, buz oluşumu esnasında genişmeden doğabilecek gerilmelere karşı dayanıklıdır. Ticari olarak, dikdörtgen kesitli ve küresel kaplar mevcuttur.

Katılma ve erime süreleri önemli olduğundan, bu kapların boyutları da, belirli bir sürede depolayabilecekleri enerji miktarı açısından önem taşır. Kap içerisindeki sıyın çok durağan kalabileceği küçük ebatlarda aşırı soğuma (0°C 'nin altında sıvı kalma) olabileceğinden, iyonsuzlaştırılmış sıyın içerisinde katılaşmayı ajite edecek bazı katkı maddeleri konur. Çoğunlukla fabrikasyon olarak imal edilen bu kaplar bir soğu depolama tankına mümkün olduğunca düzenli bir şekilde yerleştirilir ve dışlarından geçirilen bir ikincil akışkan (genellikle etilen glikol) vasıtasıyla işlevini yerine getirir.



Şekil 5.11 Bir kapalı hacim içerisinde soğu depolama ve geri kazanım

Katılma periyodunda, çeperlerden başlayarak içeri doğru giden bir katı-sıvı ara yüzeyi olacağından, nisbeten açıdan bağımsız bir katı profili gözlenebilir. Ancak geri kazanım sürecinde, çeperlerden başlayan erime sonucu serbest kalacak iç katı kütle yoğunluk farkından dolayı yukarı doğru çıkacağından aynı şeyi söylemek mümkün değildir.

Bir küre içindeki akışkanın tamamen katılaşması için gerekli süre;

$$t_t = \frac{r_o^2}{3 \alpha_s \text{ Ste}} [0.5 + \text{Bi}^{-1} + 0.2631 \text{ Ste}] \quad (5.7)$$

t_t : Akışkanın tamamen katılaşma süresi,

r_o : Kürenin yarıçapı (m)

α_s : Buzun ısı yayılım katsayısı (m^2 / s)

Ste : Stefan sayısı = $c_s (T_\infty - T_m) / L$

c_s : Buzun özgül ısısı (kJ / kg °C)

T_∞ : Küre dışındaki akışkanın ortalama sıcaklığı (°C)

T_m : Katılma sıcaklığı (su için 0 °C)

L : Akışkanın katılma gizli ısısı (kJ / kg)

Bi : Biot sayısı = $h r_o / k_s$

h : akışkan ile küre dış yüzeyi arasındaki ısı taşınım katsayısı

k_s : Katının ısı iletim katsayısı (W / m °C)

Ancak bu bağıntı küre içindeki akışkanın, soğu depolama periyodunun başında faz değişim sıcaklığına (su için 0 °C) veya bu değere çok yakın bir sıcaklığa sahip olması halinde geçerlidir. Aynı koşulun geçerli olması kaydıyla dikdörtgen kesitli bir bölgeyi dolduran akışkanın tam katılma süresi için de benzer bir bağıntı verilmiştir;

$$t_t = \frac{d^2}{\alpha_s Ste} [0.5 + Bi^{-1} + 0.125 Ste] \quad (5.8)$$

Burada d , dikdörtgenin kısa kenarının uzunluğudur.

Küre için daha hassas bir bağıntı ise;

$$\tau_t = 0.251992 (Ste)^{-0.9084357} (\theta_m)^{-0.9457662} (Bi)^{-0.04822747} \quad (5.9)$$

τ_t : Boyutsuz tam katılma süresi = $\alpha_s t_t / r_o^2$

$$Ste = c_s (T_i - T_\infty) / L \quad (5.10)$$

T_i : Başlangıç anında sıvı suyun sıcaklığı (°C)

θ_m : Boyutsuz sıcaklık = $(T_m - T_\infty) / (T_i - T_\infty)$

$$Bi = h r_o / k_s \quad (5.11)$$

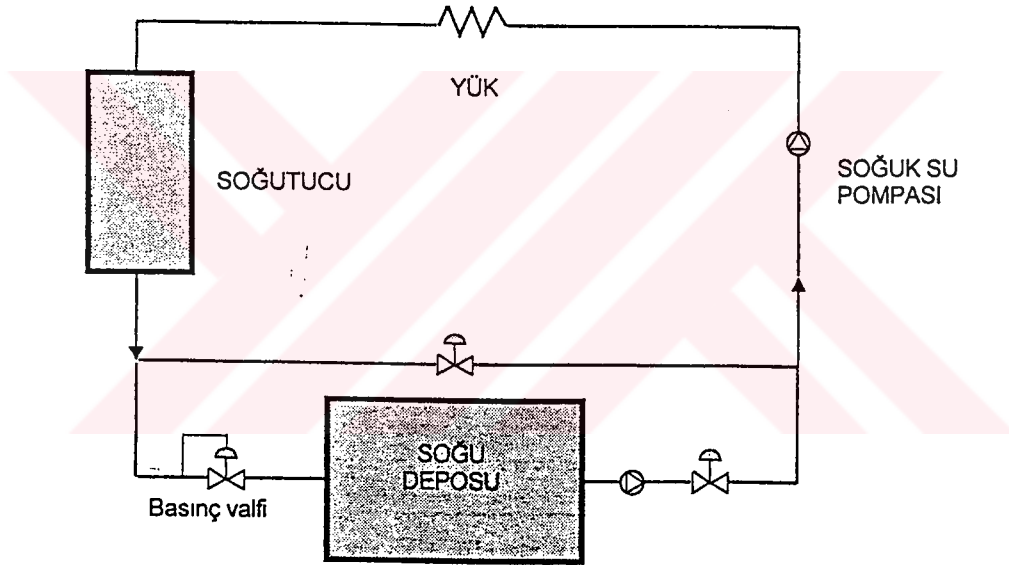
5.6 Ötektik Tuzların Kullanımı Yoluyla Soğu Depolama

Ötektik tuz, belirli bir sıcaklıkta faz değiştiren kimyasal bir karışımdır. Temel amaç, elde edilen karışımın istenilen bir sıcaklıkta faz değiştirmesidir. Bu sıcaklık da, soğu depolama uygulamaları için 7-10 °C arasındadır. Çünkü bu sıcaklık aralığı içinde bir akışkandan ısı çekerek faz değiştirebilmek için tipik konvansiyonel su soğutucuları kullanmak yeterli

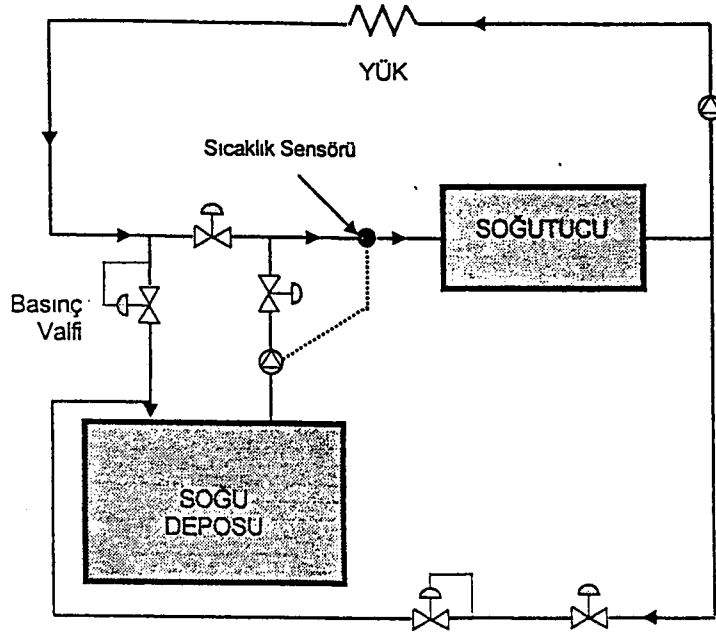
olmaktadır. Bu da; mevcut sistemde herhangi bir değişiklik yapmadan, sadece dağıtım sisteminde bir iki ufak eklemeye bir soğu deposunun ana sisteme entegre edilebilmesi anlamına gelir.

Ötektik tuzlu sistemlerde de, soğutucu, depodan önce veya sonra sisteme bağlanabilir. Tank öncesi bağlantı, tam depolamalı işletme yöntemlerinde veya depo çıkışında ilave soğutma gerektirmeyen durumlarda kullanılabilir. Tank sonrası bağlantı ise, yükü karşılamada, istenilen sabit bir sıcaklık değerini tutturmayı hedefler. Suyu, enerji depolama ve geri kazanım periyotlarında tanktan geçirmek amacıyla kullanılan pompa genellikle depo emiş hattına bağlanır.

Soğutma bağlantı uygulamaları;



Şekil 5.12 Depo öncesi soğutucu bağlantılı soğu depolama sistem şeması



Şekil 5.13 Depo sonrası soğutucu bağlantılı soğu depolama sistem şeması

5.7 Soğu Depolama Sistemlerinin Kıyaslanması

Soğu depolama sistemleri; soğutucu tipi, soğutucu maliyeti, depo hacmi, depo maliyeti, enerji depolama sıcaklığı, enerji geri kazanım sıcaklığı ve soğutucu performans katsayıları konularında kıyaslama yapılmıştır.

Bu kıyaslamayı tabloya dökerek olursak;

Çizelge 5.1 Soğu depolama sistemlerinin kıyaslanması

	Soğuksu	Dökümlü buz	Boru sarmalı dışında buz	Boru sarmalı dışında içten erimeli buz	Kapalı hacim içinde buz	Ötektik buz
Soğutucu Tipi	Standart su soğutucu	Buz yapıcı Ekipman	Düşük Sıcaklıklı Soğutucu	Düşük sıcaklıklı ikincil akışkanlı soğutucu	Düşük sıcaklıklı ikincil akışkanlı Soğutucu	Standart su soğutucu
Soğutucu Maliyeti (USD/kW)	57-85	313-427	57-142	57-142	57-142	57-85
Depo Hacmi (m ³ /kWh)	0,09-0,17	0,02-0,03	0,023	0,019-0,023	0,019-0,023	0,048
Depo Maliyeti (USD/kWh)	8,5-28	5,7-8,5	14-20	14-20	14-20	28-43
Soğu Depolama Sıcaklığı (°C)	04.Haz	-5	-5	-3	-3	04.Haz
Soğu geri Kazanım sıcaklığı (°C)	Depolama Sıcaklığının 0,5-2°C üzerinde	01.Şub	01.Şub	01.Mar	01.Mar	09.Eki
Soğutucu performans katsayısı	2,1-2,5	3,3-4,6	3,0-4,9	3,0-4,9	3,0-4,9	2,1-2,5

Tablo, ASHRE'nin "Design Guide for Cool Thermal Storage" isimli kitabından alınmıştır. Bu nedenle de maliyete ilişkin rakamlar, A.B.D. için geçerlidir. Ancak sistemlerin birbiriyle kıyaslanması sonucu, maliyetler açısından da bir fikir edilmesi mümkündür.

6. SOĞU DEPOLAMA SİSTEMLERİNİN TASARIM KRİTERLERİ ve YÖNTEMİ

İyi bir tasarım gerçekleştirilebilmesi için bina sahibi ve ekibinin programlarını oluşturması, proje ekibinin seçilmesinde gözetilmesi gerekli hususlar ve fizibilite etüdünün hazırlanması gerekmektedir.

6.1 Ön Tasarım Safhası

İyi bir tasarımın gerçekleştirilebilmesi, istenilenlerin net bir şekilde ortaya konulmasına bağlıdır. Bu amaca yönelik olarak yapılması gerekli ön çalışma içerisindeki aktiviteler;

6.1.1 Bina sahibi ve ekibinin programlarını oluşturması

Bina sahibi ve ekibinin programlarını oluşturması temel olarak; amaçlar, performans gereksinimleri ve istenilen sistem karakteristikleri yer alır. Kriterler bir kez saptanıp oluşturulduktan sonra, tasarım amacının temeli kurulmuş demektir. Sistemin başarı veya başarısızlığına karar vermek, bu kriterlerin ne ölçüde sağlıklı olduğu ve ne ölçüde uyulduğu ile ilgilidir.

Yapı sahibinin bir konstrüksiyon projesinin sonuçlarından duyduğu memnuniyet, onun tasarım öncesi ve konstrüksiyon başlangıcında, beklentilerini net ve tam olarak ortaya koyma derecesiyle ilgilidir. Eğer yapı sahibi, önceden sadece maliyeti ön plana çıkarmışsa, diğer konulardaki beklentileri, maliyet konusundaki isteklerinin gerçekleşmesinden sonra ortaya çıkar. Bina sahibinin ekibi, bu programı, soğutma sistemi projesi için gerekli olanları saptadıktan sonra oluşturur. Proje ekibinin seçilmesinden sonra da, bu programın geliştirilmesi ve detaylandırılması yapılır.

Bina sahibinin programı;

- Yapının alanı, yüksekliği, kat sayısı
- Coğrafik konum
- Konstrüksiyon malzemelerinin cinsi, aydınlanma alanları ve tipleri, yalıtım durumu
- Kaba mimari çizim
- Yapı içerisindeki her bir alanın kullanım amacı
- Bina içerisinde bulunacak kişilerin yaklaşık dağılımı
- İklimlendirme ekipmanının çalışma tarifesi

- Kabul edilebilir yük aşım seviyesi (ortalama olarak bir yılda kaç saat soğutma yükü sistem kapasitesini geçebilir).
- Gereksinim duyulan sıcaklık ve akış parametreleri
- Gelecekte yapıda meydana gelebilecek eklentiler veya soğutma yükü artışları
- Akustik gerekler
- Uygulanabilir standart ve kodlar
- Teçhizat yerleştirmesi için uygun yerler
- Güveninirlik gerekleri
- Enerji verimliliği gerekleri
- Ana para ve işletme giderleri için ayrılan bütçe

Birçok soğutma sistemi projesi, yeni bir yapının konstrüksiyonu veya var olan bir yapının yenileştirilmesi kapsamı içerisinde yer alır. Bu nedenle soğutma sistemine ait bina sahibi programı da, bütün yapı projesi tanımı içerisinde onun bir parçasını oluşturur.

6.1.2 Proje Ekibinin Oluşturulması

Proje ekibinin seçim takvimi, projeden projeye farklılık gösterir. Bir soğutma sistemini kurmak veya değiştirmek için, bütün gerekenlerin önceden saptanabildiği bazı durumlarda, bütün ekip ön tasarım aşamasında oluşturulur.

Proje ekibi üyeleri;

- Mal sahibi temsilcileri
- Kontroller
- Tasarım mühendisi
- Mimar
- Soğu depolama uzmanı
- Müteahhitler'den oluşur.

Ayrıca ekibi güçlendirmek için bu ekibe; kullanıcı temsilcileri, teçhizat satıcıları ve özel danışmanlar eklenebilir.

Projenin yapısı ve büyüklüğüne bağlı olarak, bazı ekip elemanları çoklu görevler üstlenebilir. Örneğin tasarım mühendisi, aynı zamanda bir soğu deposu uzmanının deneyim ve

niteliklerine sahip olabileceğinden bu görevi veya kontrolörlük görevini yüklenbilir. Bu şekilde fonksiyonları birleştirmek, özellikle küçük projelerde, maliyeti düşürücü unsurlardır. Tasarım aşamasındaki görevlerin paylaşımında bir sorun çıkarsa, bu taraflar arasında tartışılarak giderilebilir. Ancak bu başarılmazsa en büyük sorumluluğu taşıyan mal sahibi ve yasal sorumluluğu taşıyan tasarım mühendisi sorunu çözümlenmelidir.

Genel olarak proje ekibinin görevleri;

6.1.3 Mal sahibi temsilcisi

Mal sahibi temsilcisi, mal sahibinin istek ve çıkarlarını gözetmekle yükümlüdür. Bu çerçevede;

- Mal sahibinin sistemle ilgili isteklerini ilgililere açık bir dille anlatmak
- Bu isteklerin projenin ilerlemesi boyunca uygun bir şekilde yerine getirilmesini sağlamak
- Projenin yürütülmesi işleminde lider rolünü üstlenmektir.

Büyük projelerde, birkaç kişi birden farklı konularda mal sahibinin temsilciliğini yapabilir. Bu, projenin büyüklüğü ve organizasyon yapısı ile ilgilidir. Büyük organizasyonlarda, soğutma sistemi projeleri çoğunlukla bina işletme departmanı tarafından yönetilir, bu yüzden bu departmanın bir veya daha fazla bireyi, proje ekibinde mal sahibi temsilcisi olarak yer alabilir.

Bir diğer önemli konu da, işletme ve bakım personelinin proje ekibine veriler sağlayacağı bir mekanizmanın oluşturulmasıdır. Bu, daha sonra sistemin teslim edileceği bu personelin, projenin amacını anlaması ve sistemi kontrol edebilmesi açısından çok önemlidir.

Organizasyon içerisinde yer alan diğer grupların bireyleri de projenin gelişimine önemli veri katkılarında bulunabilir. Örneğin, soğutma sisteminin performans gereksinimleri, mekanları kullanacak kişilerin fikirleri alınarak oluşturulabilir.

Ancak, doğal olarak, proje oluşumu için verilerine ihtiyaç duyulan her kişi veya grubun istekleri birbiriyle aynı değildir. Farklı görüşler söz konusu olur, örneğin; işletme personeli ile kullanıcının veya finans kısmının daima uyum içinde olması olanaksızdır. Fikir çatışmaları olacaktır. Bu nedenle, yapı sahibi organizasyonun içerisindeki birinin liderliği yüklenmesi ve gruplar arasında bir denge yaratması zorunludur.

6.1.4 Kontrollük

Mal sahibi, kontrollük ekibini ön safhada oluşturur. Bu ekip içerisindeki kişi veya kurum, bina sahibi programının geliştirilmesi, tasarım maliyetinin somutlaştırılması ve ön kabul planının oluşturulması konularına yardım eder. Kontrollük birimi, planlama koordinasyonu, tasarım, konstrüksiyon ve soğutma sisteminin testi konularından sorumludur. Bu alanların her birisinde deneyimli personel bulunmalıdır. Bu personel, çok iyi derecede sözlü ve yazılı anlatım yeteneğine sahip olmalı ve disiplinli çalışma konusunda deneyimli olmalıdır.

6.1.5 Tasarım mühendisi

Ön tasarım safhasında, tasarım mühendisi, ekip tarafından ön görülen HVAC sistemine ait kavramlara ilişkin bilgiler sağlar ve önerilerde bulunur. Bina sahibi temsilcisine, programın oluşturulmasında yardım eder. Bu yardım, programın, sistem tasarımına ilişkin bütün gerekli bilgileri içermesini sağlayacak kapsamda olur. Tasarım mühendisi, fizibilite etüdünün yapılmasında soğu depolama uzmanıyla birlikte çalışabilir.

Bazı projelerde, tasarım mühendisi, ön tasarım safhasında belirlenmiş olabilir. O zaman bu görevleri, kontrollük ve soğu depolama uzmanı birlikte yapar.

6.1.6 Mimar

Yeni yapı projelerinde mimar, yapı sahibi ve tasarım mühendisi ile birlikte çalışarak, HVAC donanımı için uygun yerleşim yerlerini saptar. Yapının genişletilmesi veya tadilatı projelerinde de uygun yerleşim sağlanması planı yine bu kişiler tarafından birlikte yapılır. Sadece mekanik sistemde değişiklikler içeren projelerde mimara gerek olmayabilir.

6.1.7 Soğu depolama uzmanı

Proje ekibinde, soğu depolama sistemlerinin analiz ve tasarımında uzman kişiye ihtiyaç vardır. Birçok projede, bu deneyime sahip kişiler ayrıca görev alır, ancak bazen tasarım mühendisi de bu görevi üstlenebilir.

Soğu depolama uzmanı sadece tasarımda değil aynı zamanda konstrüksiyon, işletim ve bakım konularında da deneyimli olmalıdır. Ön tasarım safhası boyunca, soğu depolamaya yönelik

sınırlamalar ve yararlar konusunda gerekli bilgiyi aktarmalı, fizibilite etüdünü bizzat yapmalı veya yardımcı olmalıdır.

6.1.8 Müteahhitler

Müteahhitler, ön tasarım safhasında, konstrüksiyonla ilgili güçlükler, sınırlamalar ve konstrüksiyon maliyetleriyle ilgili bilgiler sağlarlar. Soğu depolama sistemlerinde deneyimli bir tasarımcı müteahhit söz konusu ise, bu kişi ekip içerisinde tasarım mühendisi veya soğu depolama uzmanının rolünü üstlenebilir.

6.1.9 Fizibilite etüdünün gerçekleştirilebilmesi

Fizibilite etüdü, bina sahibi programının kapsadığı bilgiler ışığında, aday sistemlerin kıyaslanması ve seçilmesi işlemidir. Bir soğu depolama sistemini kurma kararının verilmesi, gerçekçi bir fiyat analizinin yapılmasıyla mümkündür. Bu analiz, diğer finans yatırımlarda olduğu gibi özenli bir şekilde gerçekleştirilmelidir.

Etüd işlemi, genellikle, bir danışmanın veya bina sahibi personelinden bir kişinin; soğu depolamanın maliyet ve kazandırdıklarının mertebesini kabaca hesapladığı basit bir analizle başlatılır. Bu çalışma, soğu depolamanın çekici bir alternatif olduğunu belirlerse, mal sahibi daha detaylı bir analiz yapılmasını ister. Bu analiz, çoğunlukla, soğu depolama deneyimi olan bir müşavir tarafından yapılır. Müşavir, yük profillerini hesaplar, ön tasarım kavramlarını oluşturur, su soğutucu (chiller), depo ve pompalar gibi ana ekipmanların seçimini yapar. Bu çalışma, muhtemel konstrüksiyon maliyetini ve farklı soğu depolama seçeneklerine göre umulan işletme maliyetlerini ortaya çıkarır. Mal sahibi, bu bilgilere dayanarak sistem seçimi için karara varır ve proje için bir bütçe oluşturur.

Müşavir, fizibilite etüdü boyunca; verileri toplar, bu veriler çerçevesinde proje ekibiyle tartışır ve sonuç rapor hazırlayarak bunu sunar.

Tam fizibilite etüdü, program ve tasarım safhaları arasında gerçekleşir. Bunun da nedeni, detaylı bir fizibilitenin yapılabilmesi için gerekli bilgilere, tasarım safhasının başlangıç aşamalarında ulaşılabilir olmasıdır.

Bir fizibilite etüdünün ilk amacı, mal sahibine, proje için hangi soğutma sisteminin seçilebileceği konusunda yardımcı olmaktır. İkinci önemli amaç ise, tasarım işlemi için bir başlangıç noktası oluşturmaktır.

İlk amacı karşılayabilmek için, ilk yatırım ve işletme maliyetleri konusunda hassas bir tahmin yapılmalıdır. İkinci amaç için ise, girdiler ve tahminleri oluşturan kabuller, açık bir şekilde kağıda dökülmelidir.

Bir soğu depolama fizibilite etüdü için tavsiyeler;

- Binanın ısıtma ve iklimlendirme (HVAC) gereklerini anlamak,
- Fizibilite etüdü, bütün ekipmanların bedellerini ve her bir sistem için işletme maliyetlerini tam olarak kapsamalıdır.
- Glikol veya bir başka ikincil akışkanın maliyeti
- Su iyileştirme maliyeti
- Pompa ve boru donanımı maliyetlerindeki düşüşler
- Soğutma kulelerinin boyutlarındaki azalmalar
- Pompalar ve soğutma kulelerinin işletme sürelerinde meydana gelebilecek olası artışlar.
- Depolama tanklarının ısı kazançları
- Geceleri yoğunlaşma sıcaklığının düşük olmasından dolayı verimde meydana gelecek artış
- Su soğutucu, pompa ve soğutma kulelerine elektrik dağıtım maliyetlerindeki azalma

6.1.10 Fizibilite etüdü raporu

Tamamlanmış bir fizibilite etüdü raporu;

- Binanın tanımı, soğutma sistemi gereksinimlerinin bina sahibi programında verildiği şekliyle tanımlanması,
- Soğu depolama kavramının, bu proje bazında, risk ve yararlarıyla birlikte irdelenmesi
- Tepe soğutma yükü ve profilinin, veri listesi ve yapılan kabullerle birlikte tahmini
- Çalışmada analizi yapılan sistem bileşenlerinin tanımı,
- Su soğutucu (Chiller), soğutma kulesi, pompalar, fanlar ve diğer ilgili ekipmanların boyutları
- Hava ve su dolaşım sıcaklıkları
- Şematik sistem diyagramı
- Soğu depolama seçenekleri için,

- Su soğutucu ve depo performanslarının yirmidört saatlik analizi
- Kaba ve gerçek depolama gereksinimleri
- Tasarım günü ve kısmi yükte çalışma koşulları için çalışma stratejisini içeren tanımlamalar
- Sistem seçenekleri arasındaki farkların,
- Bakım maliyetleri
- Toplam mevcut soğutma kapasitesi
- İşletme esnekliği
- Kontrol sistemi gereksinimleri
- Kontrollük gerekleri

Açısından incelenmesi.

- Ekonomik analiz
- Her bir sistem için aylık enerji talebi ve tüketimi
- Her bir sistem için ilk yatırım maliyeti
- Her bir sistem için enerji ve bakım giderlerini içeren işletme maliyetleri
- Elektrik ücret tarifesi
- Analizde kullanılan giriş belgeleri ve kabuller

6.1.11 Detaylı bir “Tasarım amacı” ifadesinin geliştirilmesi

Tasarım amacı ifadesi, soğu depolama sisteminin performans gereksinimlerini detaylı bir şekilde tanımlar. Bu ifade, daha sonra yapılacak işlere şekil verecek ve projenin başarı derecesini gösterecek bir ana referans metnidir.

Bu metin, bina sahibi programında yer alan bilgilerden ve fizibilite etüdünün sonuçlarından yararlanılarak hazırlanır. Bina sahibinin fonksiyonel gereksinimlerini, çevresel kontrol ve sistem performansına ilişkin isteklerini tanımlar.

Bu çerçevede;

- Sıcaklık ve nem kontrol gerekleri
- Soğutma yükü parametreleri
- Kabul edilebilir aşırı yük seviyesi: Bir yılda yükler, sistem kapasitesini kaç saat aşabilir.
- Bina içindeki kişilerin yerleşim durumu
- Güvenilirlik tanımlamaları

- İstenilmeyen durum tanımlamaları
- İşletim esnekliğine ilişkin kriterler
- Finans kriterleri
- Enerji performans kriterleri

Saptanmalıdır.

6.2 Bir Soğu Depolama Sisteminin Başarılı Olabilme Kriterleri

Soğu depolama endüstrisinde çalışan uzmanlar (Tasarım mühendisleri, üreticiler, bina sahipleri, sistem operatörleri, v.b.) çalışan başarılı sistemlerin ortak bazı özelliklerini saptamış ve bunları sınıflandırmışlardır. Bu sınıflandırma sonucunda oluşan başarı kriterleri yapıya ve sistemde sorumluluğu olan kişilere göre yapılmıştır. Bunlar;

6.2.1 Yapı

- Yapının maximum soğu yükü ortalama yükten önemli ölçüde fazla ise
- Tepe yüklerin olduğu saatler (on-peak) ile diğer saatler (off-peak) arasında elektrik tarifesinde önemli ölçüde fark var ise
- İşletme personelinden daimi statülü bir görevli soğutma sistemlerinin çalışmasından sorumlu ise
- Mevcut bir yapı, soğutma kapasitesinde artış gerektiren bir büyüme veya değişme evresinden geçecekse
- Soğu depolama tankı olarak kullanılacak mevcut atıl bir tank var ise
- Yangın koruma için su depolama gerekiyor ise
- Yapının bulunduğu bölgede elektrik gücü sınırlı ise
- (4,4 °C – 10 °C) sıcaklık aralığında hava gerekli ise

Birçok yapı için, birinci ve ikinci maddelerin sağlanması, soğu depolamayı ekonomik olarak çekici kılmak için yeterlidir. Soğu depolamanın başarıyla kullanıldığı büyük ve küçük yapılarda, önemli ölçüde yararın maximum soğutma yükünün 3500 kw ve soğutma için harcanan yıllık enerjinin 100.000 USD'ı geçtiği durumlarda sağlandığı rapor edilmiştir. (A.B.D. için)

6.2.2 Bina sahibi

Başarılı bir soğu depolama sisteminin sahibi; soğu depolama için yaptığı yatırımın tüm kaynakların kullanımını gerektireceğini bilir, soğutma sistemini, harcamalarının minimize edilmesi gerekli bir yatırım olacağı değil, konfor ve üretkenliği sağlayan bir yatırım olarak görür. Soğu depolama sistemini ise, işletme maliyetlerini azaltmasının yanısıra, işletme esnekliği sağlayan bir yol olarak değerlendirir.

Mal sahibi, sistemin sonuç başarısını engelleyecek tasarruf tedbirlerinden sakınır. Örneğin, müteahhitler sadece düşük fiyat verme bazına göre seçilmez, geçmişte yaptıkları ve kazandıkları başarılar göz önüne alınarak değerlendirilir. Konstrüksiyon safhasında ise, düşük fiyatlı ekipmanların kullanımına sadece uygun performansa sahip oldukları biliniyorsa izin verilir.

Tasarımcı profesyoneller isteklilikleri ve geniş kapsamlı yüksek kaliteli tasarım yetenekleri göz önüne alınarak seçilir. Danışman, soğu depolama uzmanı ve kontrollük için de benzer kriterler göz önüne alınır. Bu profesyonel ekibi oluşturmak için gerekli fonlar tahsis edilir. Tasarım ücretleri, sistem maliyetinin belirli bir yüzdesi bazında değil, verimli ve ekonomik bir sistemin karşılığını verecek anlayışla saptanır.

6.2.3 Tasarım mühendisi

Tasarım mühendisi, mal sahibinin isteklerini tam olarak anlamalı ve bunları, tasarım amacının ilk ifadesi olarak kağıda dökmelidir. Her bir müşterinin özel gereksinimlerine uygun özgün tasarımlar gerçekleştirmeli, her bir projede, daha önce yapılmış bir tasarımı kopya etmemelidir.

Tasarım mühendisi, soğu depolama uzmanından, işletme ve bakım personelinden gelen verileri ve önerileri değerlendirir.

6.2.4 Müteahhit

Müteahhit; proje ekibinin diğer üyeleri ile koordineli bir çalışma anlayışını benimsemelidir. Müteahhit'in istenilen düzeyde olması, belirleyeceği kıstaslara uygunluğuyla orantılıdır. Bu

düzyey de, deneyimle ilişkilidir. Bazı mal sahipleri, en düşük fiyatı veren müteahhiti seçmek durumunda kalırlar. Bu durumdaki bir mal sahibinin çok etkili bir kontrolluk kurması gerekir.

6.2.5 İşletme personeli

Başarılı sistemleri çalıştıran personel daima iyi eğitimli personeldir. Onlar soğu depolamanın ve kendi sistemlerinin detaylarını iyi bilir. Kontrol sistemindeki bir arıza veya beklenmeyen bir durumda sistemin elle çalıştırılması konusunda gerekli bilgi donanımına sahiptir.

6.3 İyi Bir Tasarım İçin Gerekenler

Bir soğu depolama sisteminin tasarımı, genel kavram ve tanımlamalardan dikkatle hesaplanmış detaylara uzanan bir süreç içerir. İlk ekonomik göstergelerin eldesinde kullanılan kaba kabuller yerini detaylı hesaplamalara bırakır. Tahmini yük profilleri ve yaklaşık tepe yükleri yerine 24 saatlik yük hesapları devreye girer. Kaba bağıntılarla saptanan ekipman boyutları, hassa verilerin devreye girmesiyle daha duyarlılıkla tesbit edilir.

Gerçekte bir soğu depolama sisteminin başarısı, mühendislerin tasarım işlemi boyunca indikleri detayla doğru orantılıdır.

Doğru ve tam bir soğu depolama tasarımı;

- Doğru bir yük profilinin hesaplanması
- Ekipmanları seçmek ve boyutlandırmak için saatlik bir işletme profilinin kullanılması
- Detaylı bir işletme stratejisinin geliştirilmesi
- Bir şematik diyagram oluşturulması
- Tasarım amacı ifadesinin geliştirilmesi
- Emniyet faktörlerinin dikkatli kullanımı
- Sistem performansının izlenmesi için plan yapılması
- Son tasarım dökümanlarının oluşturulması
- Deneyimli bir soğu depolama mühendisinin, tasarımı gözden geçirmesi

6.3.1 Doğru bir yük profilinin hesaplanması

Doğru bir tasarım yük profili, birkaç nedenden dolayı, soğu depolama tasarımının başarısında kritik rol oynar. Çünkü;

- Gerekli depolama kapasitesi miktarını saptamak için, toplam-integral-soğutma yükü bilinmelidir.
- İhtiyaç duyulduğunda, elde mevcut depolama kapasitesinin yeterli olduğunu bilebilmek için, yüklerin zamanla değişimi bilinmelidir.
- Uygun performanslı soğu depolama ekipmanlarını tedarik edebilmek için, yük profili belirli olmalıdır.

Gerekli soğutma yükü bilgisi, depolama çevriminin her saati için (çoğunlukla günün 24 saati için) gereklidir. Bu yüklerin yanlış hesabına dayalı bir soğu depolama sistemi, gerekli olandan küçük veya büyük ve pahalı bir sistem olabilir, bu da hiç istenilmeyen sonuçlara yol açabilir.

Yük hesabındaki hataların sonuçları, soğu depolu bir sistem söz konusu ise, kendini daha fazla belli eder. Soğu deposu olmayan bir sistemde eğer gerçek tepe yükler, hesaplanandan %5 veya %10 daha yüksekse mahaldeki bu yükleri hiç hissetmeyebilirler. Bir yıl içerisindeki yük, sekiz – on gün bazı saatlerde soğutma sistemi kapasitesini aşsa bile, mahal sıcaklıkları sadece birkaç saat için bir iki derece yükselir. Dış sıcaklıktaki düşüş veya ortamda bulunan kişi sayısındaki azalma bu durumu hemen tolere edebilir. Ancak birçok soğu depolama sistemi, hesaplanana göre gerçek yük arasındaki benzer bir uyumsuzluğu aynı ölçüde tolere edemeyebilir. Çünkü, bir gün sonraki yükünü karşılayabilmek için soğuyu gece yeniden depolamaları gerektiğinden bu sistemler, fazla ısıyı alabilmek için yeterli rezerv kapasitesine sahip değildir.

Eğer tepe yükler ardı ardına birkaç gün oluşursa, yük seviyeli kısmi depolamalı bir sistem, ideal koşullarda büyük ölçüde sapma göstererek binayı hiç soğutmayabilir. Fazla kapasiteye sahip, tam depolamalı veya talep belirlemeli sistemlerde bile, tepe yükleri aşıldığında su soğutucuları devreye sokmak gerekebilir. Bu tür durumlarda da, soğu depolama sisteminden umulan ekonomik yarar da büyük azalmalar meydana gelebilir.

Bir soğu depolama sisteminden ekonomik yarar, toplam depo kapasitesi ile toplam yükün birbiriyle çalışma derecesiyle yakından ilgilidir. Bu nedenle de depo büyüklüğünün doğru tesbiti hayati önem taşır. (ileride yük artımının olabileceği bazı uygulamalarda, önceden büyük depoların kullanımı buna bir istisna teşkil eder.)

Yük profilinin şekli de, depolama sisteminin performans karakteristiğini etkiler. Örneğin, birçok soğu depolama sistemi sabit bir yüke, önce artan sonra azalan bir yüke olduğundan

daha farklı tepki verir. Bu nedenle, depolama ve soğu geri kazanım çevriminin her bir saati için yük değerinin tam olarak hesaplanması gereklidir.

Depolu sistemler için yüklerin hesabı, deposuz tasarımlardaki hesaplara benzerdir. Tek farklılık, ısı kazançlarının, tüm tasarım günü için dikkate alınmasıdır. Yüklerin hesabında;

- Tasarıma esas dış ortam sıcaklıkları bina sahibinin, yüklerin sistem kapasitesini aşabileceği saat sayısı sınırlaması dikkate alınarak, seçilmelidir.
- Yapı içerisindeki kişilere, aydınlatma ve cihazlara ait tahminler hassas olarak saptanmalıdır. Örneğin bilgisayarlar gibi bazı cihazlar sürekli çalışıyorsa, binanın boş olduğu saatlerde de ısı kazançları önemli bir yekün tutar.
- Şartlandırılacak ortamdaki bütün ısı kaynakları dikkatle saptanmalıdır.
- Binanın boş olduğu saatlerde, sistemler kapalı iken biriken ve sistemin çalışmasını takip eden ilk saatlerde karşılanacak yükler dikkate alınmalıdır.
- Depolama tankına dış çevreden olacak ısı kazançları hesaba katılmalıdır.

Soğu depolama uygulamaları için iki tip tasarım günü vardır. Birincisi deposuz sistem tasarımcılarının kullandığı, yıl içerisinde maximum bir saatlik soğutma yükünü içeren gün, diğeri ise 24 saatlik periyot boyunca maximum toplam yükün olduğu gündür. Bazı binalarda, bu iki tepe yük aynı günde oluşmayabilir. Soğu depolama tasarımcıları; uygun tasarım günü yük profilini belirleyebilmek için, bütün soğutma mevsimini kapsayan saatlik yük hesaplamalarını gerçekleştirmek durumundadırlar. Sistem; yeterli soğutma kapasitesini yukarıda tanımlanan her iki tip gün için de karşılayacak şekilde boyutlandırılmalıdır.

6.3.2 Ekipmanları seçmek ve boyutlandırmak için saatlik bir işletme programının kullanılması

Tasarım ekibi, uygun bir su soğutucu ve depo kapasitesi saptayabilmek için saatlik bir çalışma profili hazırlamalıdır. Bu profil, depo çevriminin her bir saati için sistem çalışma koşullarını tanımlıyor olmalıdır. Bu koşullar;

- Dış havanın kuru ve yaş termometre sıcaklıkları
- Toplam sistem yükü
- Su soğutucular tarafından karşılanan yük depodaki mevcut yük
- Akışkanın su soğutuculara giriş sıcaklıkları
- Akışkanın su soğutuculardan çıkış sıcaklıkları
- Su soğutucular için akışkan debisi

- Akışkanın depoya giriş sıcaklığı
- Akışkanın depodan çıkış sıcaklığı
- Depo için akışkan debisi
- Depo, su soğutucu ve boru donanımındaki basınç düşümleri
- Depolanmış durumdaki soğu miktarı

6.4. Soğutucu ve Deponun Boyutlandırılması

Doğru boyutlandırılmış bir soğu depolama sistemi tasarım gününün her saatinde soğutma yükünü karşılamalıdır. Bu nedenle, işletme yöntemine de bağlı olarak, soğutucu ve deponun bileşik performanslarının detaylı bir analizi yapılmalıdır. Soğutucu ve depo için basit boyutlandırma bağıntıları vardır. Ancak bu bağıntılar, sadece, sistem bileşenlerinin ön boyutlandırılması aşamasında fikir vermek amacı ile kullanılırlar. Nihai sistem boyutlandırmasında kullanılmamalıdır.

Bir depolama sisteminin boyutlandırılmasında izlenen temel adımlar;

- Yapının yük profilinin çıkarılması
- Soğutucu ve deponun ön boyutlandırmasının yapılması
- İşletme yönteminin saptanması ve uygun depolama sisteminin seçilmesi
- Soğutucu, depo ve ekipmanlarına ilişkin son boyutlandırmanın gerçekleştirilmesi.

6.4.1 Yapının yük profilinin çıkarılması

Bir soğu sisteminin tasarımında ilk ve en önemli adım, yapının saat bazında ve kritik dönem için (uygulamaya göre değişebilmekle birlikte örneğin Nisan-Ekim dönemi için) yük profilini çıkarmaktır. Bu yük profili; bütün bina ve sistem için (soğu deposu da dahil) ısı kazançlarını içermelidir. Deposuz bir sistemde; sistemin 24 saatlik toplam kapasitesi, saatlik tepe yükün 24 katı olduğundan, tasarım yükünü aşan kısa süreli periyotlarda, durumu tolere edebilme şansı vardır. Ancak bir soğu depolu sistemde bu fırsat pek olmadığından, depolama çevrimi için toplam entegre yükün hassas bir şekilde hesaplanması önem kazanır.

Yüklerin hesaplanabilmesi için öncelikle bölgeye ait iklim datalarına gereksinim vardır. Ancak bu dataların olmadığı yerler için tasarım gününe ait dış hava sıcaklıkları profili ele alınabilir.

Yük profilleri, enerji depolama ve geri kazanımını kapsayan bütün bir çevrim boyunca hesaplanmalıdır. Çoğunlukla bu süre 24 saattir, bu duruma göre haftalık ta olabilir.

Yük profili hesabında, iklimlendirilecek bölgedeki bütün ısı kaynakları dikkate alınmalıdır. Küçük olan ısı kazançları bile ihmal edilmemelidir. Soğutma sisteminin sadece binalar dolu iken çalıştırıldığı durumlarda; binanın boş olduğu zamanlardaki ısı kazançları önem kazanır. Bu kazançlar (24 saat periyotlu uygulamalarda) çoğunlukla sistemin çalıştığı ilk bir iki saat içerisinde karşılanır. Söz konusu bu yükler, deposuz sistemlerin büyüklüğünü etkilemez, ancak depolu sistemlerde dikkate alınmalıdır.

Mevcut bir binanın soğutma sistemine bir soğu deposu eklenmesi söz konusu olduğunda, yükleri tahmin etmek yerine ölçmek daima tercih edilen bir yöntemdir.

6.4.2 Soğutucu ve deponun ön boyutlandırmasının yapılması

Boyutlandırma işlemine başlarken, basit denklemleri kullanarak büyüklüklerin mertebeleri konusunda sonuçlar elde etmek yararlı olur.

Yapının bütün günlere ait yük profili ortaya çıkarıldıktan sonra; ortalama yükü en fazla olan gün, tasarım günü olarak seçilir.

Ön boyutlandırma işlemi sayısal olarak açıklamak amacıyla böyle bir tasarım gününe ait saatlik yük profilinin;

Çizelge 6.1 Bir yapı tasarım gününe ait yük dağılımı

Saat	Yük (kW)	Saat	Yük (kW)
0,1	0	0,13	8480
0,2	0	0,14	8780
0,3	0	0,15	8310
0,4	0	0,16	8205
0,5	0	0,17	7490
0,6	0	0,18	6325
0,7	0	0,19	4200
0,8	1800	0,20	0
0,9	5620	0,21	0
0,10	6110	0,22	0
0,11	7070	0,23	0
0,12	8130	0,24	0

Gibi oluştuğunu varsayalım.

İlk boyutlandırma işlemi için; soğutma ünitesinin toplam ortalama kapasitesinin, ortalama soğutma yüküne eşit olması gerektiği söylenebilir. Bu kabul, depodan olan soğu kayıpları, pompalardan oluşan ısı kazançlarını, v.b. içermediği için kaba bir kabuldür. Ancak, başlangıçta depo büyüklüğü bilinmeyeceği için deponun ısı kazancını hesaplamak da olanaksızdır. Daha ileri aşamalarda, sistem ve yöntem seçimi yapıldıktan sonra, bu ve benzeri faktörlerin de hesapların içerisine katılması gerekir.

Toplam soğutma yükü = Toplam soğutucu kapasitesi

Birçok sistemde; soğutucu kapasitesi, soğutucunun depoya veya yüke çalışma durumuna göre değişeceğinden toplam kapasite, her bir durumdaki kapasite-çalışma süresi çarpanlarının toplamına eşit olacaktır.

$$\text{Toplam soğutucu kapasitesi} = t_d c_d + t_{y1} c_{y1} + t_{y2} c_{y2} \quad (6.1)$$

Bu eşitlikte;

t_d : Soğutucunun depo için çalıştığı süre (saat)

c_d : Soğu depolama sürecindeki kapasite

t_{y1} : Tepe yük bölgelerinde, doğrudan yük için çalışılan süre

c_{y1} : Tepe yük bölgesinde, doğrudan yük için çalışma sürecindeki kapasite

t_{y2} : Tepe yük bölgesi dışında, doğrudan yük için çalışılan süre

c_{y2} : Tepe yük bölgesi dışında, doğrudan yük için çalışma sürecindeki kapasite şeklindedir.

Bir soğutucunun Nominal kapasitesi; belirli standart koşullarda (6-7°C soğuk su ve 29.4°C kondenser suyu sıcaklıkları) çalışma durumundaki kapasite olarak tanımlanırsa;

$$\text{Nominal soğutucu kapasitesi} = \frac{\text{Toplam soğutma yükü}}{t_d CR_d + t_{y1} CR_{y1} + t_{y2} CR_{y2}} \quad (6.2)$$

ifadesine ulaşılır.

CR_d : Soğu depolama sürecindeki kapasitenin nominal kapasiteye oranı (soğu depolama sürecindeki kapasite oranı)

CR_{y1} : Tepe yük bölgesinde doğrudan yük için çalışma sürecindeki kapasite oranı

CR_{y2} : Tepe yük bölgesi dışında doğrudan yük için çalışma sürecindeki kapasite oranıdır.

Tam depolamalı bir sistemde, tepe yük bölgesi için soğutucu kapasitesi sıfırdır. Yük seviyelemeli bir sistem için direkt soğutma kapasitesi tepe yük bölgesinde ve dışında aynıdır. Bir soğuk su depolamalı sistemde soğutma kapasitesi genellikle sabit kabul edilir.

($CR_d = CR_{y1} = CR_{y2} = 1$). Dökümlü buz sistemlerinde, buz yapma kapasitesi, nominal kapasiteye eşit kabul edilir, direkt soğutma kapasite oranı ise 1.2-1.3 arasındadır. Diğer buzlu sistemlerde buz yapma kapasite oranı 0.6-0.7 arasında kabul edilir. Direkt soğutma kapasite oranı ise, gerekli soğuksu sıcaklığına göre 0.8 ile 0.9 arasında değişir.

Gerekli depo kapasitesi ise; toplam soğutma yükünden, direkt soğutucu tarafından karşılanan yük ile depolama sürecinde soğutucu tarafından karşılanan yükün çıkartılması ile hesaplanır.

$$\text{Depo kapasitesi} = \text{Toplam soğutma yükü} - (Ct_{y1} + Ct_{y2} + Ct_d) \quad (6.3)$$

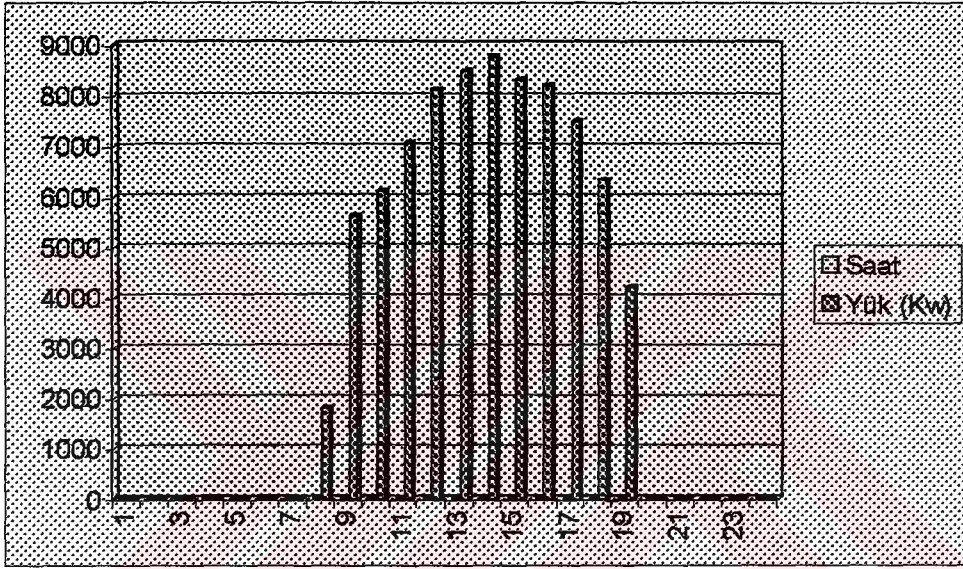
Burada;

$C_{t_{y1}}$: Tepe yük bölgesinde, doğrudan yüke çalışma kapasitesi

$C_{t_{y2}}$: Tepe yük bölgesi dışında, doğrudan yüke çalışma kapasitesi

C_{td} : Depolama sürecinde soğutucu tarafından aynı zamanda karşılanan yük miktarı (eğer varsa) eşitliği ile hesaplanacak depo kapasitesi gerçekte nominal depo kapasitesidir. Gerçek depo büyüklüğü ise, seçilen depo tipinin karakteristikleri ve deponun soğutucu ile olan etkileşimi üzerine yapılacak analizlerle ortaya çıkarılabilir.

Bir yapı için tasarım gününe ait yük dağılımı için grafik;



Grafik 6.1 Bir yapı için yük dağılımı

Yük dağılımını $10^{00} - 18^{00}$ saatleri arasını “Tepe yük bölgesi”, geri kalan saatleri ise “Tepe yük bölgesi dışı” olarak seçelim (gerçekte farklı farklı seçimler yaparak değişik sonuçlar elde etmek ve bir optimizasyon gerçekleştirmek mümkündür).

Bu seçime göre üç farklı işletim yöntemine göre (tam depolama, yük seviyelemeli kısmi depolama ve talep belirlemeli kısmi depolama) yapılan ön boyutlandırma işlemleri ve sonuçları sırasıyla incelenmiştir;

6.4.2.2 Yük seviyelemeli kısmi depolama

Günlük bir yük seviyelemeli sistem için tepe yük bölgesi ve bu bölgenin dışı için direkt soğutmaya ait kapasite oranları eşittir. Soğu depolama kapasitesinin nominal kapasiteye eşit olduğu bir soğuk sulu sistem için nominal soğutucu kapasitesi;

$$\text{Nominal soğutucu kapasitesi} = \frac{\text{Toplam yük}}{\text{Soğu depolama süresi}} = \frac{80520 \text{ kWh}}{(13\text{hx}1)+(11\text{hx}1)} = 3355 \text{ kW} \quad (6.8)$$

Ve depo kapasitesi,

$$\begin{aligned} \text{Depo kapasitesi} &= 80520 \text{ kWh} - (11\text{h} \times 3355 \text{ kW} \times 1 + 1800 \text{ kW} \times 1\text{h}) \\ &= 41815 \text{ kWh} \end{aligned} \quad (6.9)$$

olarak bulunur.

6.4.2.3 Talep belirlemeli kısmi depolama

Gerçekte, talep belirlemeli bir sistem, yük seviyelemeli bir sistemle benzer şekilde çalışır. Ancak, tepe yük bölgesinde soğutucu kapasitesi, ek talebi karşılayabilmek üzere sınırlandırılır. Kapalı hacimli bir buz sisteminin kullanıldığı varsayılır ve tepe yük bölgesinde soğutucunun %50 kapasite ile çalıştığı düşünülürse;

$$\text{Nominal soğutucu kapasitesi} = \frac{80520 \text{ kWh}}{(13\text{hx}0.7)+(9\text{hx}0.9 \times 0.5)+(2\text{hx}0.9)} = 5386 \text{ kW} \quad (6.10)$$

$$\begin{aligned} \text{Depo kapasitesi} &= 80520 \text{ kWh} - (9\text{h} \times 5386 \text{ kW} \times 0.9 \times 0.5) + (2\text{h} \times 5386 \text{ kW} \times 0.9) + (1800 \\ \text{kWh}) &= 47212 \text{ kWh} \end{aligned} \quad (6.11)$$

olarak bulunur.

Çizelge 6.2 Farklı depolama tipleri için nominal soğutucu ve depo kapasiteleri

		Ön boyutlandırma sonuçları	Ön boyutlandırma Sonuçları
İşletme yöntemi	Depolama tipi	Soğutucu (kW)	Depo (kW)
Günlük tam depolama	Soğuk sulu sistem	5368	69152
Günlük tam depolama	Kapalı hacimde buzlu sistem	7387	68900
Günlük yük seviyelemeli kısmi depolama	Soğuk sulu sistem	3355	41815
Günlük yük seviyelemeli kısmi depolama	Kapalı hacimde buzlu sistem	4238	36798
Talep belirlemeli kısmi depolama	Kapalı hacimde buzlu sistem	5368	47212

Şimdiye kadar üç farklı günlük depolama yöntemi bazı depolama tipleri için ele alınmış ve ön boyutlandırmalar sadece seçilen bu tipler için yapılmıştır. Oysa gerçek bir projede; bütün depolama tipleri için ve hatta tepe yük bölgesinin sınırlarında oynamalar yapılarak, farklı farklı sonuçlar elde edilmeli ve ekonomikliği etkileyen diğer faktörler de göz önüne alınarak bir optimizasyona gidilmelidir.

Ön boyutlandırma sonuçlarına bakarak sadece ilk yatırım maliyeti anlamında, soğu depolamanın getirileri (veya götürüleri) kabaca gözlenebilir.

Ayrıca, elektrik fiyatlarındaki gece-gündüz fiyat farklılıkları da ülkemizde kullanıldığından ilk yatırım maliyetinin haricinde kendini amorti süresi de önemli bir hal almıştır.

Ele alınan örnek için bu kaba sonuçları tabloya dökersek;

Çizelge 6.3 Farklı depolama tipleri için ön boyutlandırma sonuçlarına bağlı ilk yatırım maliyetleri

İşletme yöntemi	Depolama tipi	Soğutucu maliyeti (Bin dolar)	Depo maliyeti (Bin dolar)	Toplam (Bin dolar)
Deposuz konvansiyonel Sistem		614,6		614,6
Günlük tam depolama	Soğuk sulu sistem	375,8	691,5	1067,3
Günlük tam depolama	Kapalı hacimde buzlu sistem	517,1	964,6	1481,7
Günlük yük seviyelemeli kısmi depolama	Soğuk sulu sistem	234,9	418,2	653,1
Günlük yük seviyelemeli kısmi depolama	Kapalı hacimde buzlu sistem	296,7	515,2	811,9
Talep belirlemeli kısmi depolama	Kapalı hacimde buzlu sistem	377	661	1038

Bu tablonun hazırlanması için gerekli soğutucu ve depo fiyatları ASHRAE kaynaklarından alınmıştır. (soğutucu fiyatı = 70 USD/kW; soğuk sulu sistem için depo fiyatı = 10 USD/kWh, buzlu sistem için 14 USD/kWh) (1997 yılı için)

Tablodaki sonuçlar, seçilen bütün işletme yöntemleri ve depolama tipleri için toplam maliyetin konvansiyonel bir sisteme göre daha fazla olduğunu göstermektedir. Ancak burada ele alınan, hesap yöntemini göstermek için seçilen bir örnek olduğundan, çıkan bu sonucun her zaman ve her durum için geçerli olacağını söylemek doğru olmaz.

6.5 İşletme Yönteminin Saptanması ve Uygun Depolama Sisteminin Seçilmesi

Seçilen örnek için, günlük yük seviyelemeli soğuk sulu bir kısmi depolama sisteminin kısa sürede kendini amorti edeceği söylenebilir. Yine de kullanılan fiyatların A.B.D. kaynaklı

olması nedeniyle, çıkan sonuçlardan mutlak büyüklükler anlamında çıkarımlar yapmanın doğru olmadığını söyleyebiliriz.

İyi bir seçim ve buna bağlı olarak da iyi bir tasarım için bütün olasılıkları irdeleyen bir sonuç tablonun elde edilmesi gereklidir.

6.6 Soğutucu, Depo ve Ekipmanlarına İlişkin Son Boyutlandırmanın Gerçekleştirilmesi

Soğutucu ve depo için ön boyutlandırma işleminin yapılmasının ardından, ekonomik göstergelere ve diğer parametrelere bakarak hangi depolama tipinin ve işletme yönteminin seçileceğine karar verilir. Bu aşamada yapılması gereken, soğu depolarını ve ekipmanlarını üreten firmaların, ürünlerinin depolama ve geri kazanım karakteristiklerini verdikleri bilgileri kullanarak, tam boyutlandırma işlemini gerçekleştirmek ve ilgili cihazların seçimini yapmaktır. Ülkemizde henüz bu alana yönelik bir üretim olmadığından, depo ve donanımlarının tasarımlarının da sistem tasarımcısı veya ekibi tarafından yapılması ve imalatının bu doğrultuda gerçekleştirilmesi bir ihtimal olarak gözükmemektedir. Böyle bir durum tercih edilirse; soğutucunun giriş-çıkış karakteristikleri ile deponun karakteristiklerinin birbirlerini etkilediği, soğutucu performansının yük ve çevre koşulları ile giriş ve çıkış sıcaklıklarından etkilendiği göz önüne alınmalıdır. Soğu deposu performansına etkileyen faktörler de; depolama malzemesi cinsi, giriş-çıkış sıcaklıkları ve enerji depolama ve geri kazanım hızlarıdır. Tam boyutlandırma işlemi, bu faktörlerin bir arada dikkate alınmasını gerektirir.

7. DÜNYADA MEVCUT BAZI UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Soğu depolama konusunda birçok önemli uygulamayı gerçekleştirmiş ve sektörün dünyadaki en önemli isimleri konumuna gelmiş firmalara ilişkin bazı referanslar ve uygulamalar;

Çizelge 7.1 Dünyada mevcut bazı uygulama örnekleri;

Uygulamanın yapıldığı Yer,yıl	Depolama yöntemi	Sağlanan azami Kullanım tasarrufu (uygulayıcı beyanı)	Koordinatör /uygulayıcı	Sistemin Toplam Yüğü
The Worthington Hotel, Forth Worth TX, USA -1987	Dökümlü buz	34%	Paul Mueller Company	2484 kW
801 Tower Office Building, LA, USA -1992	Kapalı hacim İçerisinde buz		Cryogel	38720 kW
Des Moines Community College Ankeny, Iowa, USA	Kapalı hacim İçerisinde buz		Cryogel	17020 kW
Miller Insurance Building Lansing, Michigan, USA	Kapalı hacim İçerisinde buz		Cryogel	7185 kW
Marriott Hotel San Francisco, USA -1993	Boru sarmalı Dışında içten Erimeli buz		Fafco	6336 kW
CBS Television City, LA, USA -1993	Boru sarmalı Dışında içten Erimeli buz		Fafco	3872 kW
John Peter Smith Hospital Forth Worth TX, USA (1990)	Boru sarmalı Dışında içten Erimeli buz		Baltimor Aircoil	2732 kW
Cornell University, USA	Soğuk su		Pitt-Des Moines, Inc.	133760 kW
University of California San Diego Campus, USA	Soğuk su		Pitt-Des Moines, Inc.	126368 kW
Sacramento Municipal Utility District, USA	Soğuk su		Pitt-Des Moines, Inc.	35200 kW
Texas Instruments, Inc. Dallas, USA	Soğuk su	240 000 USD/yıl	Natgun	35975 kW

Uygulamanın yapıldığı yer,yıl	Depolama yöntemi	Sağlanan azami Kullanım tasarrufu (uygulayıcı beyanı)	Koordinator /uygulayıcı	Sistemin Toplam Yüktü
International Communication Center, Wirginia USA	Boru sarmalı Dışında buz	66 000 USD/yıl	EPRI	4928 kW
Sonoma County Admin, Center Santa Rosa California, USA	Soğuk su		EPRI	6336 kW
Saint Mary Medical Center, Long Beach, California, USA	Ötektik tuz	Tepe yük bölgesinden 500 kW kaydırıldı	EPRI	8800 kW
Boeing Defence and Space Corp. Corinth, TX, USA	Soğuk su	103 000 USD/yıl	EPRI	35200 kW
Florida Regional Service Center, Forth Meyers, Florida , USA (1996 ASHRAE teknoloji ödüllü)	Boru sarmalı Dışında buz	140 000 USD/yıl	CALMAC	18000 kW

8. CRİSTOPİA (STL SİSTEMİ)

Cristopia gizli ısı ile enerji depolayan bir sistemdir. Genellikle endüstriyel alanlarda kullanılır.

8.1 Sisteme Giriş

STL, nodüllerle dolu bir tank sistemidir.

Tankın üst kısmında nodülleri doldurmak için giriş deliği, alt kısmında da boşaltma deliği mevcuttur. Tankın içinde ısı transfer sıvısının yayılması için iki adet giriş ve çıkış borusu mevcuttur. Tank içinde basınç düşmesi 2.5 mWG dir. Yükleme tarzında giriş, doğal tabakalaşmanın sağlanarak daha düşük difüzör yoluyla gerçekleştirilir.

Tanklar işlenmemiş çelikten imal edilirler (test basıncı 4.5 ila 10 bar arasında). Boş olarak sevk edilir ve yerine yerleştirilir. Eğer inşaat alanına yaklaşmak imkansızsa yerine montajı yapılır.

Nodüller küreseldir. S tipi olanların çapı 77 mm, C tipi nodüller 96 mm'dir.

HDPE nodülleri PCM içerir. Nodüllerin karakteristik ve kimyasal özellikleri soğutma sistemlerinin tüm uygulamalarına uygundur.

Önce PCM ile doldurulan nodül kalıpları, su sızdırmazlığı ultrasonik yöntemle tam olarak sağlanır.

Nodüller 22 kg'lık torbalara doldurulur. Tanklar üst taraftan doldurulur. Doldurma işlemi düzenli ve homojen yapılır.

8.2 Rekabete Dayalı Sistem

3 bar basınçtan daha yüksek olan çalışma basıncına dayanabilmesi için tank'ın şekli genellikle silindirik olur. Test basıncı 4.5 ila 10 bar arasında değişir.

Silindirik şekil kolay dolmayı sağlar.

Nodül çapı, teknik ve ekonomik talepleri karşılayacak şekilde hesaplanarak seçilir. Büyüklüğü devre sonuna kadar olan yüksek değişimlere imkan verir.

Modern teknolojiler kalite kontrolü uygun görür. Hal değişim malzemeleri ve ısı transfer sıvısı için kullanılan malzemeler doğaldır.

Hal değişim malzemeleri CRISTOPIA'ya göre kullanılır. Fransa ve yurt dışındaki laboratuvarlarda test edilmektedir. (teknik bilgi CSTB No: 14185-194).

CRISTOPIA sıcaklık sınırını $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $+27\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında önerir.

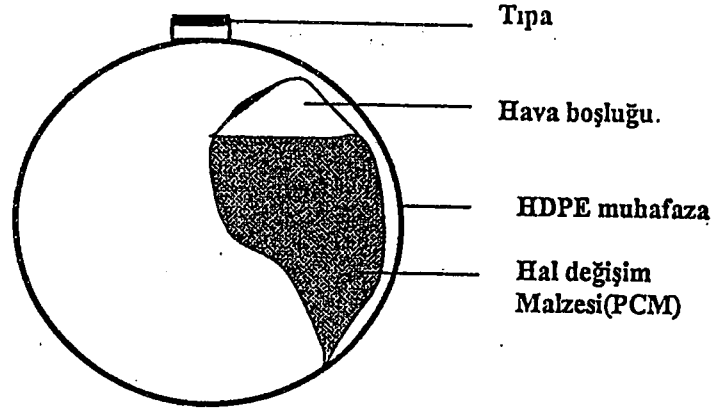
8.3 STL Tarifi

Nodül tipine göre depolanan enerji miktarı, depo hacmiyle ters orantılıdır. Sistem içersindeki nodüllerin sayısı, nodüller ile ısı iletken sıvısı arasındaki ısı değişim oranını belirler.

Nodüller:

Örtü:

- HDPE malzeme
- Kolay erimeye veya ve ısı ileten sıvısına karşı kimyasal olarak nötr
- Kalınlık 1.5 mm; ısı iletken sıvısı göçünün engellenmesi için
- Küre, savurma kalıplama ile elde edilir: kaçak yok
- Kabin sızdırmazlığı ultrasonic kaynakla sağlanır
- dış çap : 77 mm..... Endüstriyel soğutmalarda
96 mm..... Hava şartlandırmada
- Değişme alanı:-
Dış çap : 77 mm $1\text{ m}^2/\text{kWh}$ depolama
Dış çap : 96 mm $0.8\text{ m}^2/\text{kWh}$ depolama
- genişleme için hava boşluğu
- m^3 hacime düşen yararlı nodül sayısı
Dış çap :77 mmyaklaşık olarak 2550
Dış çap: 96mmyaklaşık olarak 1320



Şekil 8.1 STL nodül

Nodül özellikleri;

Tablo nodül performansını verir. (gizli ısı, erime noktası v.b.)

Çizelge 8.1 1 m³ tank hacmi için nodül performansı

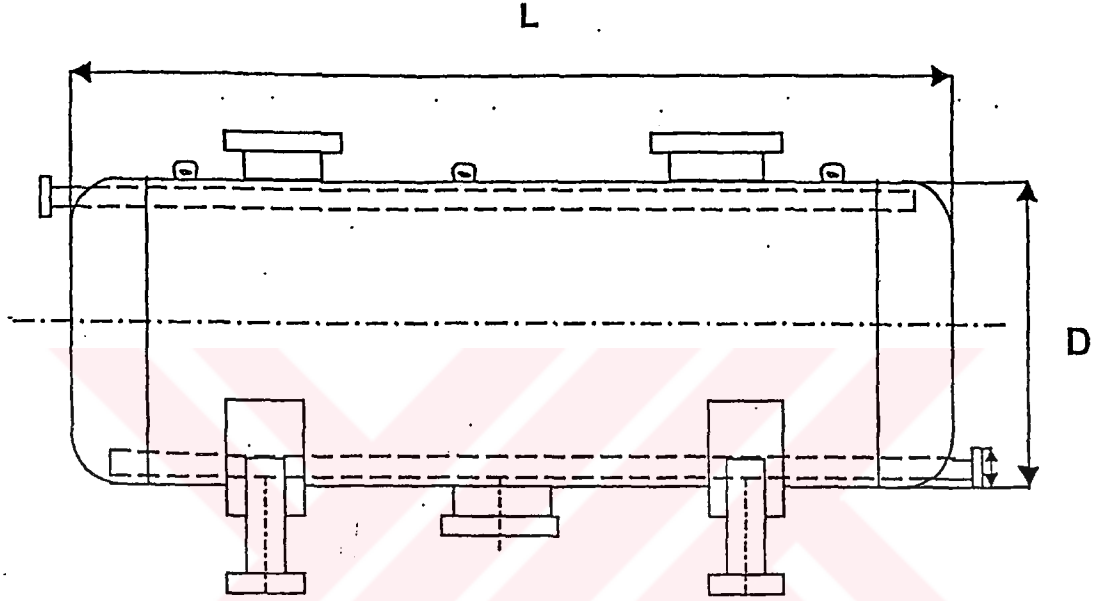
Nodül Tipi	Hal değişim sıcaklığı °C	Gizli ısı Q1 kWh/m ³	Duyulur ısı (katı) Qss kWh/°C	Duyulur ısı (sıvı) Qss KW/°C	Isı transfer PCM kristalleşme Kvr kW/°C	Isı transfer PCM füzyon Kvf kW/°C	Nodül ağırlığı kg	Toksit LD50 değeri mg/kg a	İşletme Sıcaklık Sınırı °C
SN.33	-33	44,6	0,7	1,08	1,6	2,2	724	2,6	
SN.29	-28,9	39,3	0,8	1,15	1,6	2,2	681	1,2	
SN.26	-26,2	47,6	0,85	1,2	1,6	2,2	704	1,2	
SN.21	-21,3	39,4	0,7	1,09	1,6	2,2	653	1,3	
SN.18	-18,3	47,5	0,9	1,24	1,6	2,2	706	2,7	-40°C
SN.15	-15,4	46,4	0,7	1,12	1,6	2,2	602	8,4	
SN.12	-11,7	47,7	0,75	1,09	1,6	2,2	620	5	A
SN.10	-10,4	49,9	0,7	1,07	1,6	2,2	617	11	
SN.06	-5,5	44,6	0,75	1,1	1,6	2,2	625	18	+60°C
SN.03	-2,6	48,3	0,8	1,2	1,6	2,2	592	58	
SN.00	0	48,4	0,7	1,1	1,6	2,2	558	85	
c.	0	48,4	0,7	1,1	1,15	1,85	560	85	
S.27	27	44,5	0,86	1,04	1,6	2,2	887	2,5	

(1 m³ tank hacmi için)

LD50 : Ortalama öldürücü değeri

- Tank özellikleri
- İşlenmemiş çelik

- Yatay veya dikey
- İçeride, dışarıda gömülü veya üst köprü inşası
- Pas önleyici içerir boya
- Alanın izolasyonu
- Verimli difüzör sistem
- Basınç düşüşü : 2.5 mWG
- Talep edilen yere göre ölçülendirme



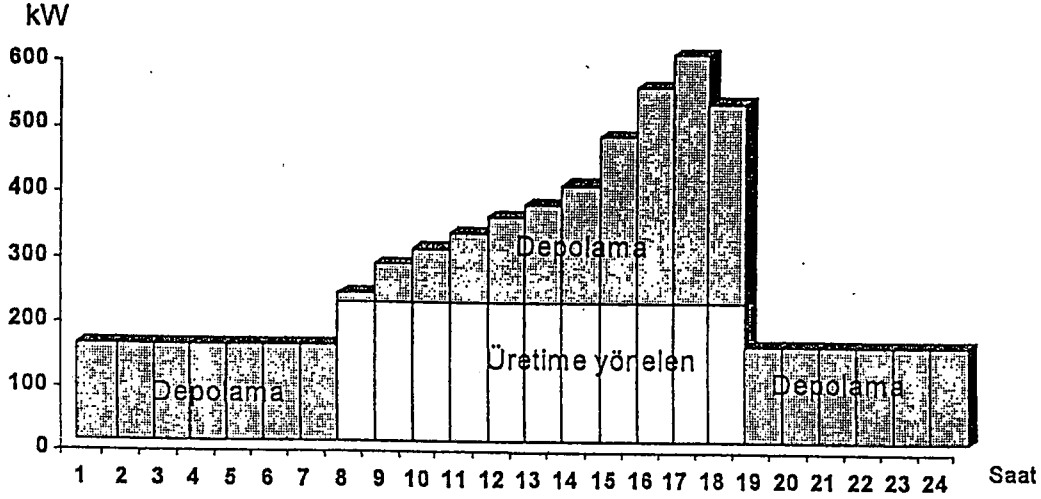
Şekil 8.2 STL tank

Çizelge 8.2 STL ölçü örnekleri

Hacim m ³	Dış çap D (mm)	Flanşsız Toplam uzunluk L/mm	İzolasyonlu dış yüzey m ²	Giriş ve çıkış flaşlar ES/mm	Ayak sayısı	Boş ağırlık Kg Pe 4,5 bar	Isı transfer sıvısı hacmi m ³
2	950	2980	10	40	2	850	0,77
5	1250	4280	18	50	2	1250	1,94
10	1600	5240	29	80	2	1990	3,88
15	1900	5610	37	100	2	2900	5,82
20	1900	7400	47	125	3	3700	7,77
30	2200	8285	61	150	3	4700	11,64
50	2500	10640	89	175	4	6900	19,4
70	3000	10425	106	200	4	7300	27,16
100	3000	14770	147	250	6	12700	38,8

8.4 Depolama Stratejileri

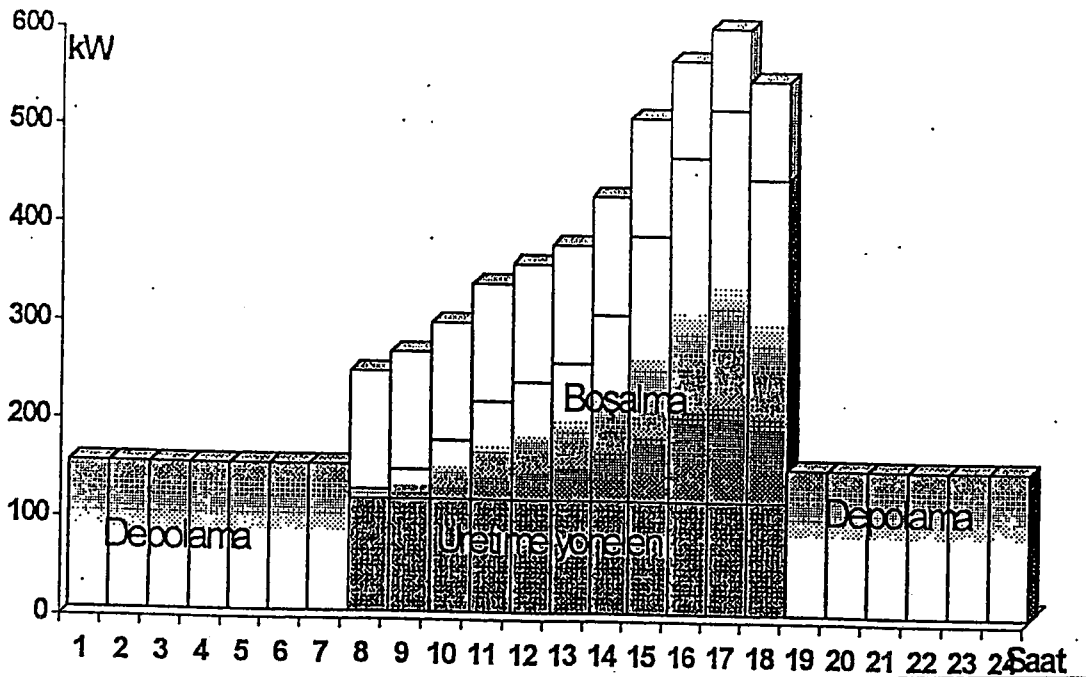
8.4.1 Kısmi depolama (Chiller kapasitesini azaltma)



Grafik 8.1 Kısmi depolama

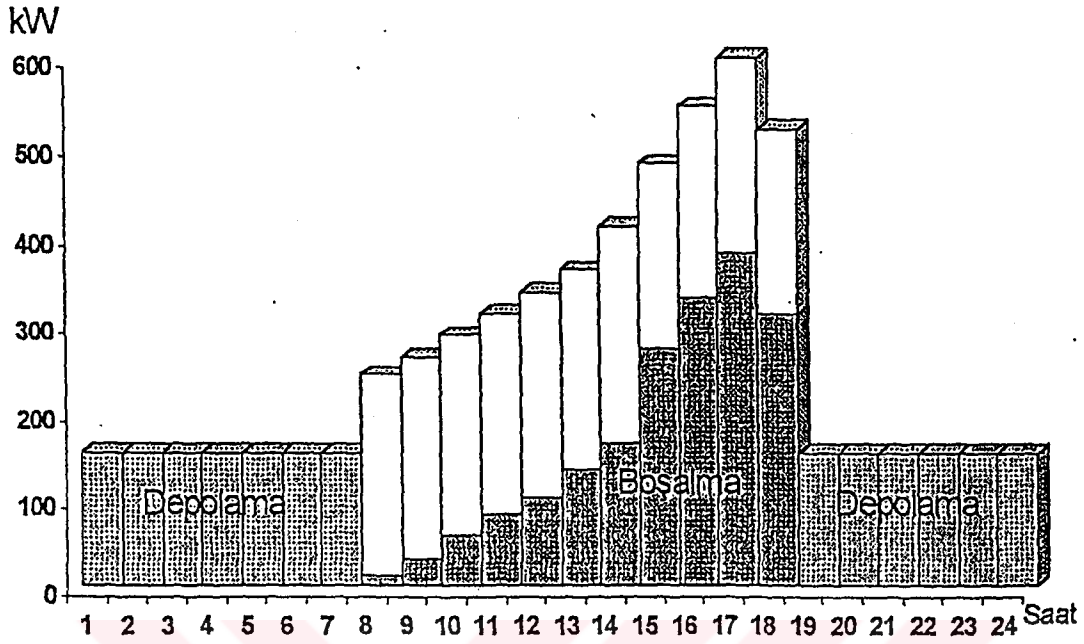
Maximum ihtiyaca göre chiller'in kapasitesi %30 - %60 arasında azaltılır. Soğutma grubu (chiller) gece boyunca enerji depolar. Gündüzleri ilk olarak soğutma enerjisini sağlayan Chiller kullanılır. Chiller kapasitesinden daha fazla enerji talep edildiğinde STL devreye girerek eksikliği tamamlar.

8.4.2 Düşük mevsim boşalma



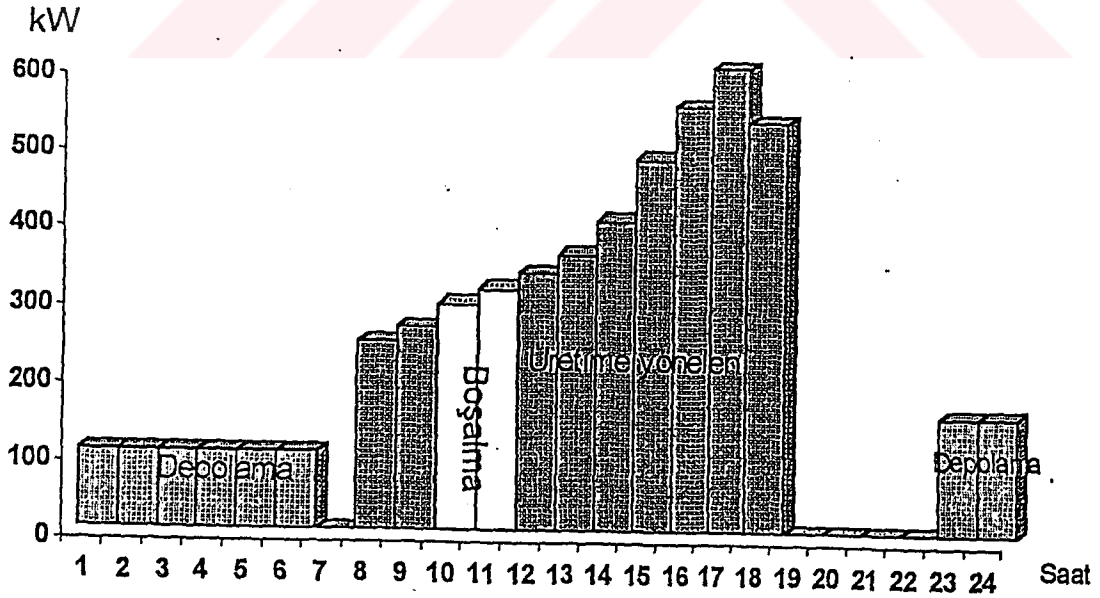
Grafik 8.2

Yüksek mevsimde bir kısmı depolama, tam depolamaya veya işletme masraflarından kurtulmak için düşük mevsimde zamanlama tipi depolamaya kolayca dönüştürülebilir.



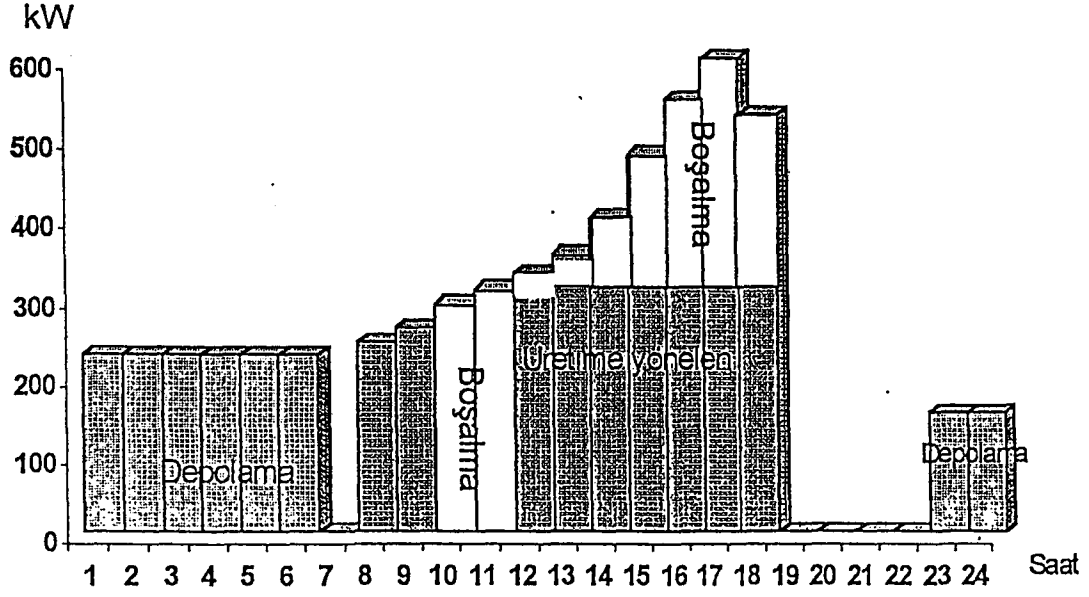
Grafik 8.3

8.4.3. Time of day



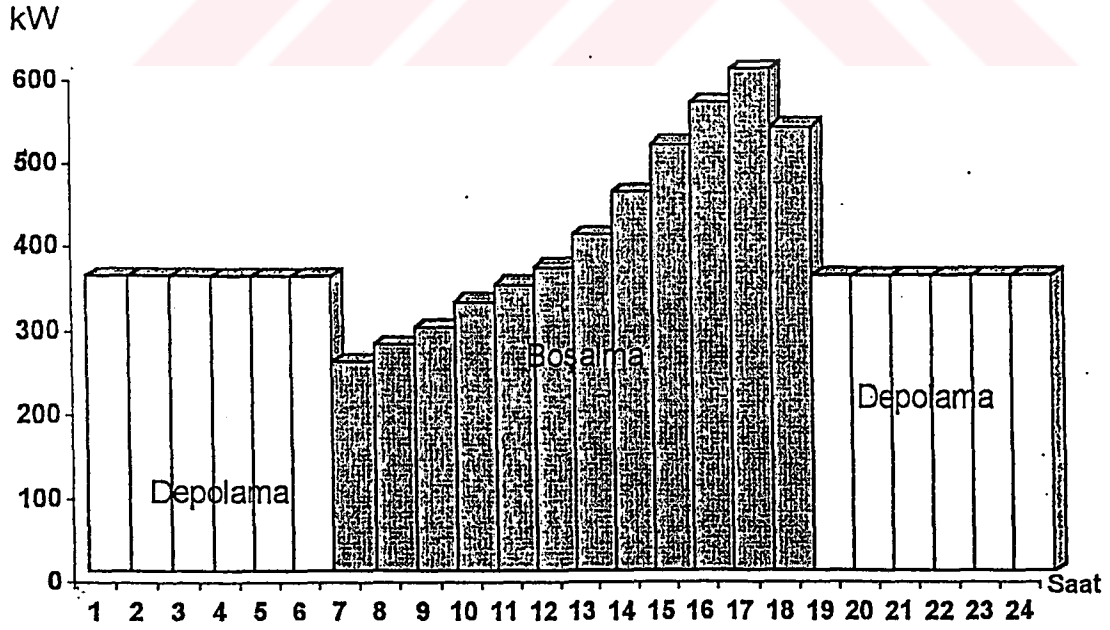
Grafik 8.4

Günün belli zamanlarında "time of day" ile elektrik tarifi özellikle yüksektir. Enerji düşük periyotlarda depolanıp yüksek periyotlarda boşalır.



Grafik 8.5

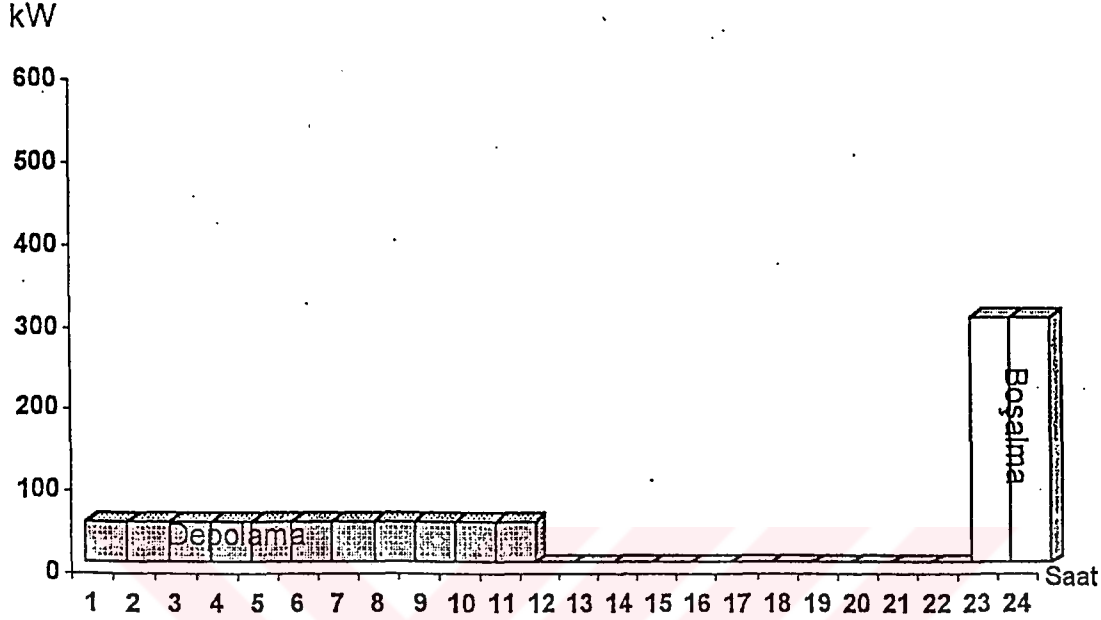
8.4.4 Toplam depolama



Grafik 8.6

Hava şartlandırma esnasında chiller durdurulur ve tüm soğutma enerjisi yalnız STL ile sağlanır.

8.4.5 Back-up



Grafik 8.7

STL sadece gerektiği zaman back-up olarak kullanılır. Arıza durumunda ana soğutma sisteminin yerine geçer. STL sabit kayıpları dengelemek için, düzenli olarak tekrar depolama yapar.

8.5 Dizayn

STL işlem devresi iki ayrı tarza bölünmüştür;

Yükleme tarzı: Depo, içinde kristal tuzların bulunduğu nodüller ile doludur. Bu işlem, STL içinden geçen ısı iletken sıvı sıcaklığının tuzun hal değişim sıcaklığından daha düşük olduğu zaman gerçekleşir ve ısı değişim hareketi oluşur. Isı iletken sıvısının enerjisi nodüllere geçer.

Boşalma tarzı : Depolanan enerji, nodüllerin içerisinde bulunan tuzların erimesiyle çözülür. Bu işlem depo içinden geçen ısı iletken sıvı sıcaklığının tuz hal değişim sıcaklığından daha yüksek olduğu zaman gerçekleşir. STL'de bir ısı değişimi meydana gelir ve ısı iletken sıvısı nodüllerin enerjisini emer.

Sistemin düzenlenmesi:

Evaporatörün giriş veya çıkışına termostat yerleştirilerek chiller kompresörü kontrol altına alınır. Sıcaklık, yükleme tarzı sonunda birinci düğümün (abcd) ayarlanan sıcaklığına eşit veya altında olduğu zaman termostat kompresör yükünü boşaltır.

Evaporatörün girişine bir kapama vanası yerleştirilerek belirli zamanlarda chiller'in kapanmasını sağlayabiliriz.

Sistemde dolaştırılan ısı transfer sıvısının sıcaklığını sabit tutup işletme sıcaklığının kontrol edilmesi, pompadan (thd) sonra yerleştirilen bir üç yollu valf ile sağlanır.

Dört değişik işletme tarzı:

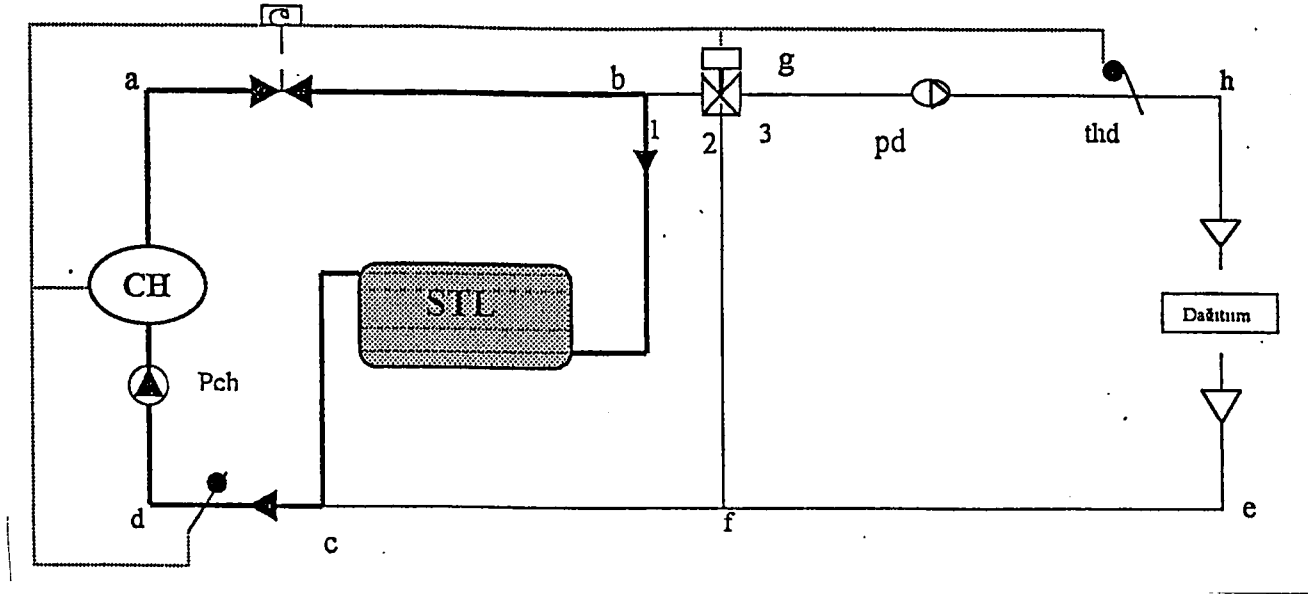
- Yükleme tarzı
- Yükleme ve chiller işletme tarzı
- Boşaltma chiller işletme tarzı
- Sadece boşaltma tarzı

8.5.2 Değişik işletme tarzlarının tanımı

Depolama tarzı:

Soğutmanın gerekmediği durumlarda geçerlidir.

Nodüllerin kristalleşme sıcaklığının altında chiller birinci düğümde (abcd) soğur ve chillerden çekilen soğutma enerjisiyle hal değişimi başlar. Nodüllerin içinde cidardan çevreye doğru kristalleşme başlar. Kristal kalınlıklarının enerji transferine etkisiyle değişim katsayısı azar azar azalır. Chiller'den dolayı ısı transfer sıvısının sıcaklığı depolama zamanının sonuna tekabül eden minimum sıcaklığa ulaşmaya kadar azalır. Ayrıca katı PCM'nin makul soğuması ısı transfer sıvısının sıcaklığının hızlı olarak azalmasına neden olur. Bu sıcaklık azalışı hal değişimi sonunda görülür ve kontrol termostatu chilleri kapatır.

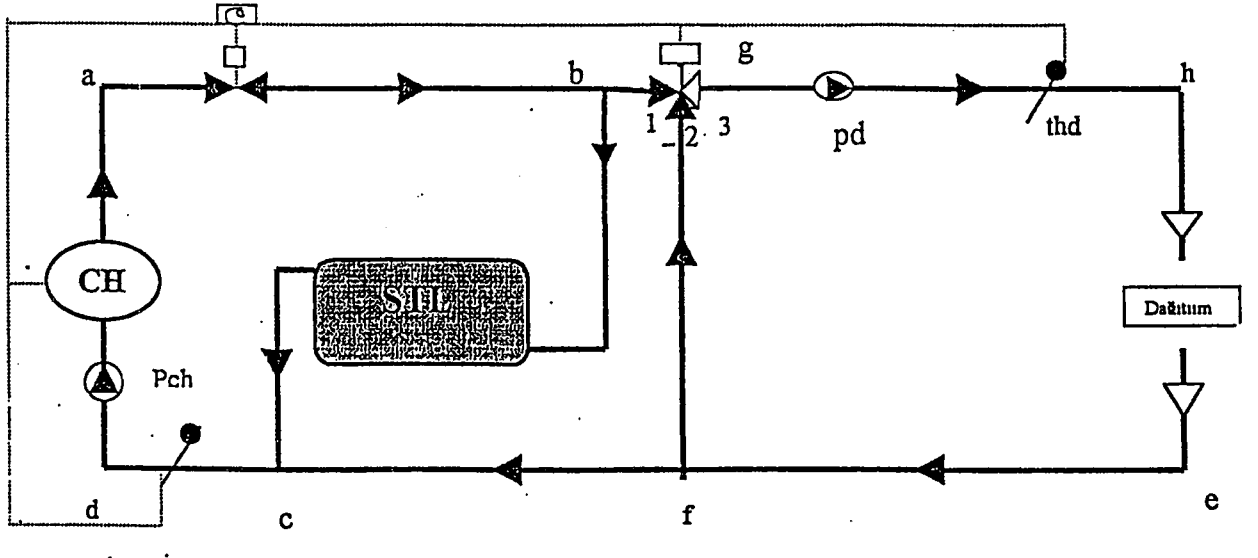


Şekil 8.4

Pompa(pd) kapatılır ve üç yollu valf yol 1'i kapatarak dağıtım sistemine kılavuzluk eder.

Dağıtım yükü ile depo depolama:

Soğutma talebi, chiller çıkışından daha küçük olduğunda meydana gelir.

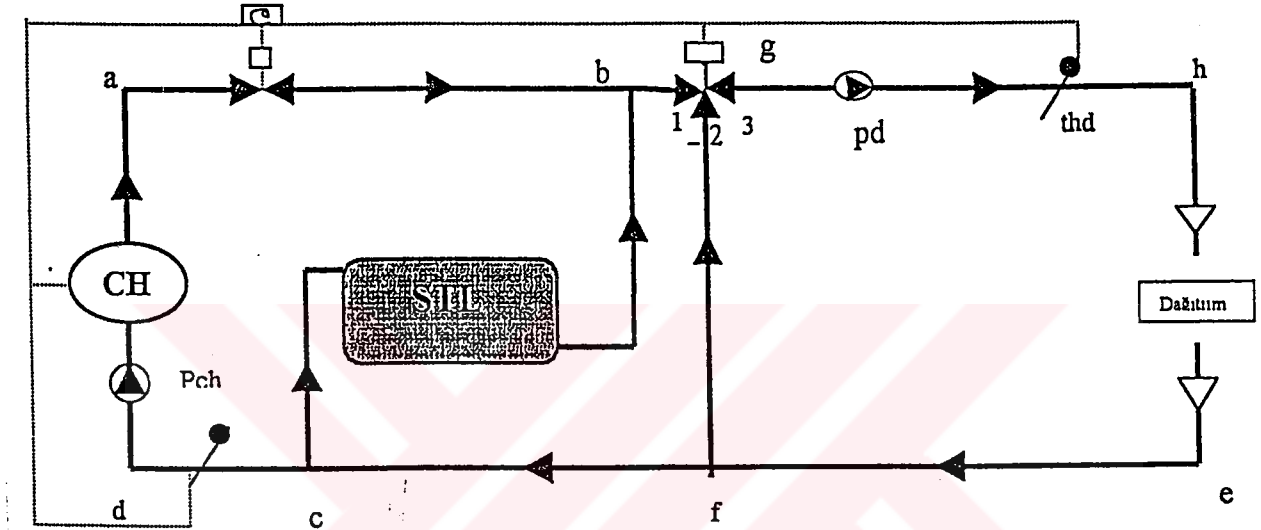


Şekil 8.5

Pompa(pd)çalışır. Üç yollu valf ise haberci sıcaklığın (thd) ihtiyacına göre değişerek dağıtım sisteminin (efgh) sıcaklığı kontrol edilir. Yükleme pompası vasıtasıyla devreden sıvı kısmen üç yollu valf'in 1. yolundan kısmen de b-c yönünde STL deposunun içinden geçer. Böylece depo yüklenir.

Dağıtım yükü ile depo boşaltma:

Bu durum, talep edilen soğutmanın chiller çıkışından daha yüksek olduğu durumda meydana gelir.



Şekil 8.6

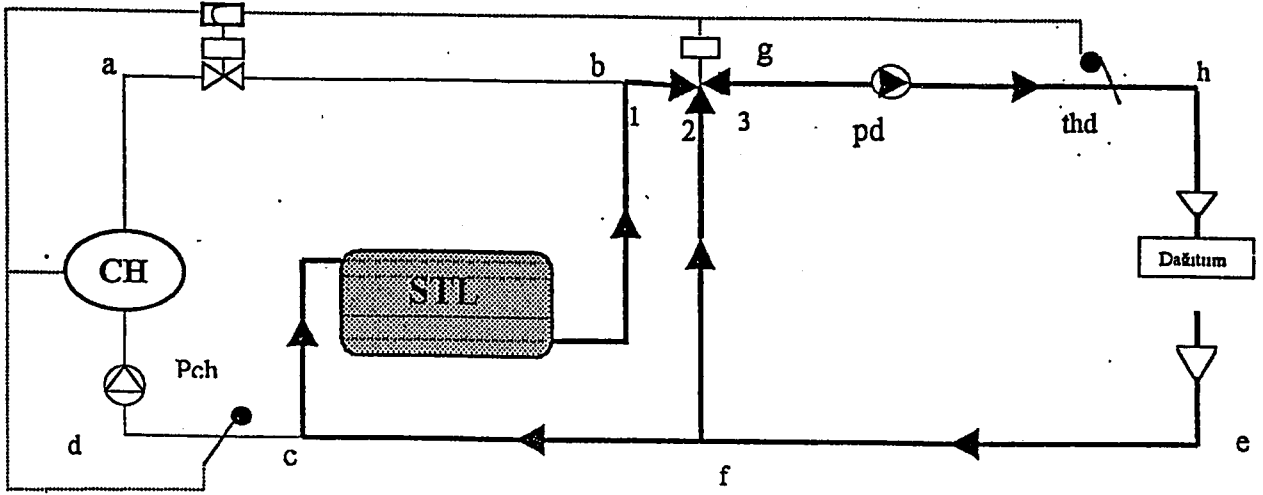
Pd ve pch pompaları çalışır, üç yollu valf daha önce anlatıldığı gibi ayarlanır.

Sıcaklık probesiyle talep edilen enerji üç yollu valf'in içinden devredilen sıvı ile karşılanamaz. (Pd) pompayla (fj) yönünde devreden sıvı iki kola ayrılır;

- Pompadan (Pch) geçerek chiller vasıtasıyla soğutulan sabit akım (jcbi)
- STL 'nin içinden geçen değişken akım (jcbi)

Yalnız boşaltma tarzı:

Kullanıcı chilleri kapatmak, yalnızca yoğun talep esnasında STL'yi kullanmak istediği durumlarda kullanılır.



Şekil 8.7

Bu tarzda, chiller bir "stop" sistem (elektrik aletleri) ile kontrol edilir. Buna bağlı olarak ta yük pompası (Pch) otomatik olarak ve chiller yoğun saatler esnasında kapanır. Evaporatörden sonra bir kapama valfi yerleştirilir ve pompa otomatik olarak kapandığında ısı iletken sıvısı yalnız STL deposunun içinden geçer.

8.5.3 Back-up sistemi

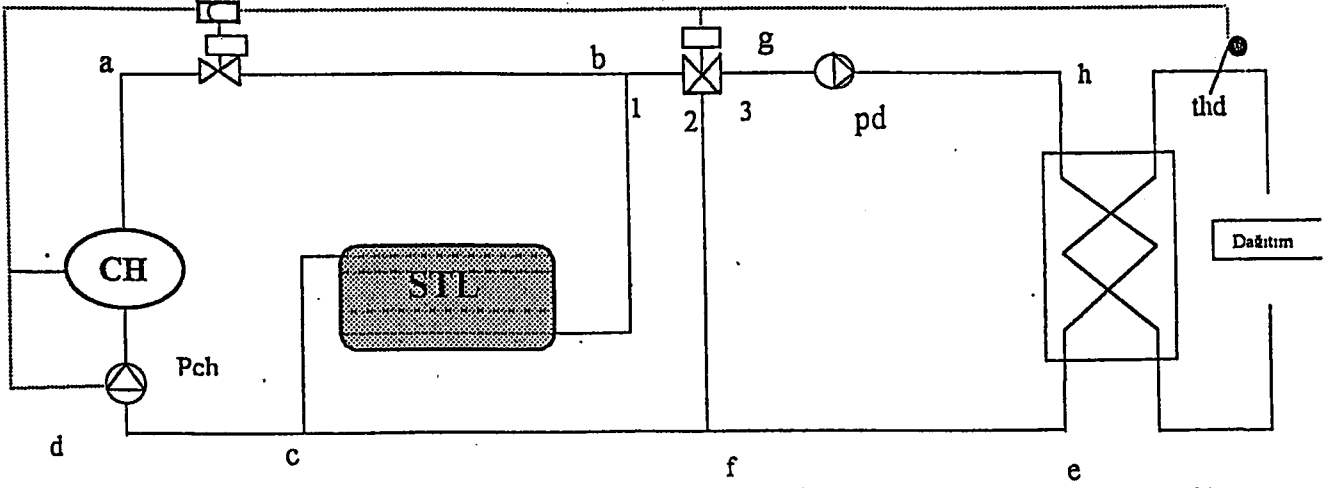
Back-up sistemini dizayn ederken dikkate alınması gereken birkaç parametre vardır.

- Kullanılan malzemenin kalitesi,
- Soğutma enerjisi için back-up sistemi
- Back-up soğutmayı üretmek için gerekli elektrikli teçhiz.

STL depolama / boşaltma sistemi, sistem içindeki diğer bileşenlerden tamamen farklı bir teknolojik yapıda ve statik (hareketsiz parça) oluşu gibi iki avantaja sahiptir.

STL boyutu, talep edilen standby süresine ve büyüklüğüne bağlı olacaktır.(i.e.Talep edilen zaman, sistemi diğer sisteme dönüştürme zamanıdır).

Eğer chiller grubu sabit bir yük için ölçülendirildiğinde ve bağımsız sistem için chiller ve depo aşağıdaki plana göre tavsiye edilir. ilk devre bir ısı değiştiriciden geçerek dağıtım sistemine bağlanır.



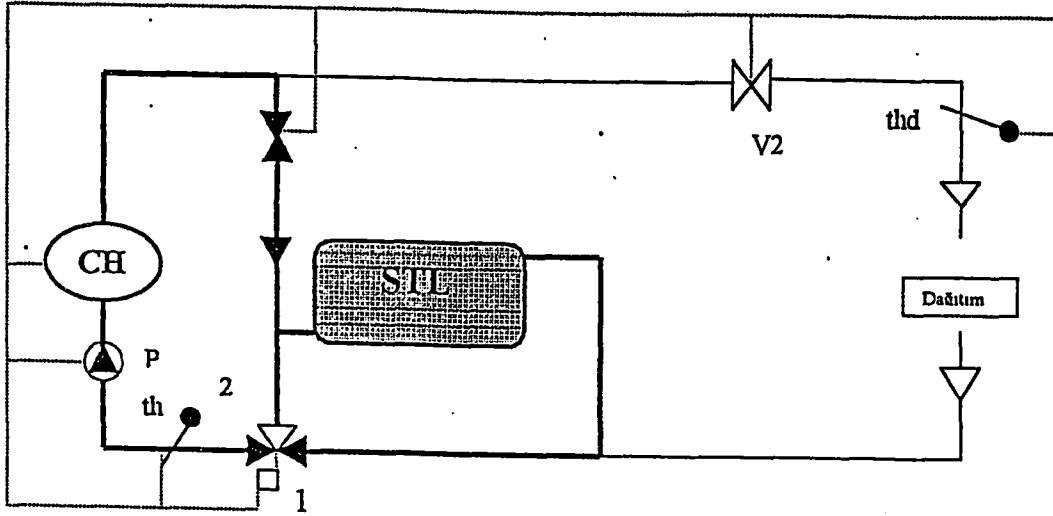
Şekil 8.8

8.5.4 Plan Serileri

Depolama sistemi, chiller ile paralel veya seri olarak kullanılabilir.

Paralel veya seri yapının kullanılması karşı dağıtım devre sıcaklık değişimine bağlıdır. Evaporatör ve STL'nin aynı işletme sıcaklığında olması için, 5°C veya 6°C sıcaklık farkıyla STL'nin paralel olarak kullanılması mümkündür. (i.e. $5^{\circ}\text{C} / 10^{\circ}\text{C}$ veya $6^{\circ}\text{C} / 12^{\circ}\text{C}$). Eğer sıcaklık farkı 8°C ila 12°C arasında veya daha fazlaysa evaporatör ve STL'nin seri yapısı uygun görülür. (i.e. dağıtım sisteminde düşük sıcaklık için) Bu durumda evaporatör ve STL'nin her birinde nispi olarak sıcaklık farkı meydana gelir. Evaporatör'ün makul bir sıcaklık farkı çalışmada uygun görülür. örneğin, $4^{\circ}\text{C} - 12^{\circ}\text{C}$ arasında dağıtım devre sıcaklık değişimi evaporatör ve STL'nin her birinde 4°C soğutma meydana gelir. Talep edilen yükün %50'si karşılanır. Seri yapıda iki olasılık vardır; STL akış aşağıya veya yukarıya.

Depolama durumu;

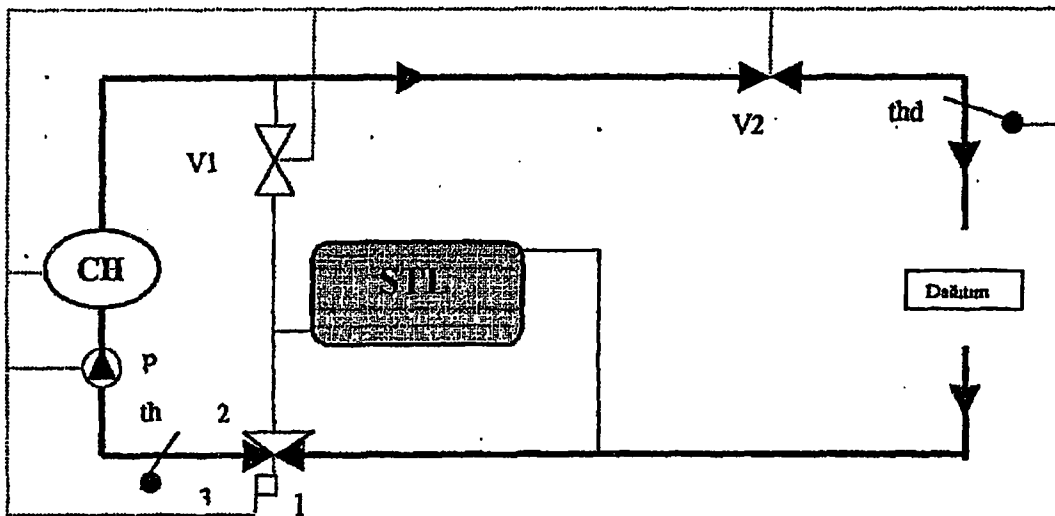


Şekil 8.9

Chiller ile seri durumdaki STL'nin işlevi görülmektedir.

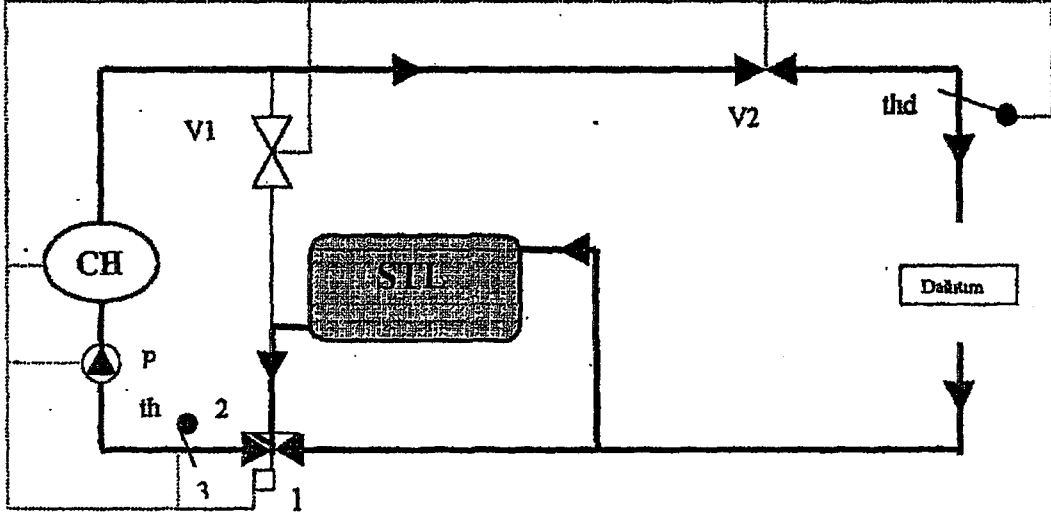
Depolama başlangıcında, valfi (v1) açılır, (v2) kapanır, ve üç yollu valf tamamen by-pass 'ı ayarlar. Depolama uygulamasında, chiller çıkış sıcaklığı depolama tarzının ayar noktasına (-6°C okunan) ulaşır. Bir periyot sonra chillerin dönüş sıcaklığı hemen hemen bu sıcaklığa ulaşır. Depo şarj edildiğinde chiller yüksüz görülecektir.

Boşalma durumu :



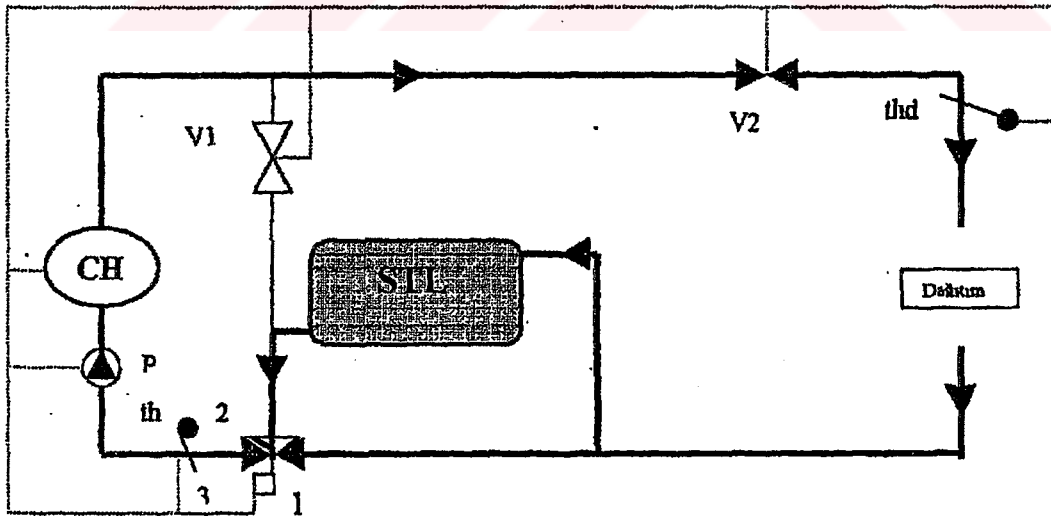
Şekil 8.10

Yükleme periyodunun başlangıcında (v2) açılır, (v1) kapanır ve üç yollu valf ayarlanmaya başlanır. Chiller istenilen yüklenmede doyurucu özeliğe sahiptir ve sıcaklık probesi (thd) ile kontrol edilir. Eğer istenilen yükleme chiller kapasitesinden daha küçükse STL By-pass edilir.



Şekil 8.11

İstenilen yük chiller kapasitesinden daha büyük olduğu zaman termostat (th) 8 °C (örneğin) den daha büyük sıcaklıkta görülür. 3 yollu valfi değiştirerek deponun içinde akışa neden olur. Ve böylece ayarlanan noktaya ulaşılır.



Şekil 8.12

8.6 STL Boyutlandırma

STL'nin boyutunu etkileyen faktörler;

- Dağıtım sistemi sıcaklık farkı
- İster su isterse glikol kullanılsın bir ısı değiştirgeci gereklidir
- Günlük soğutma profili dizaynı
- Chiller compresör'ü tipi (vidalı, pistonlu ,santrifüj)

8.6.1 Histogram

a) Grafıksel işaret:

Yük eğrisi için iki parametre;

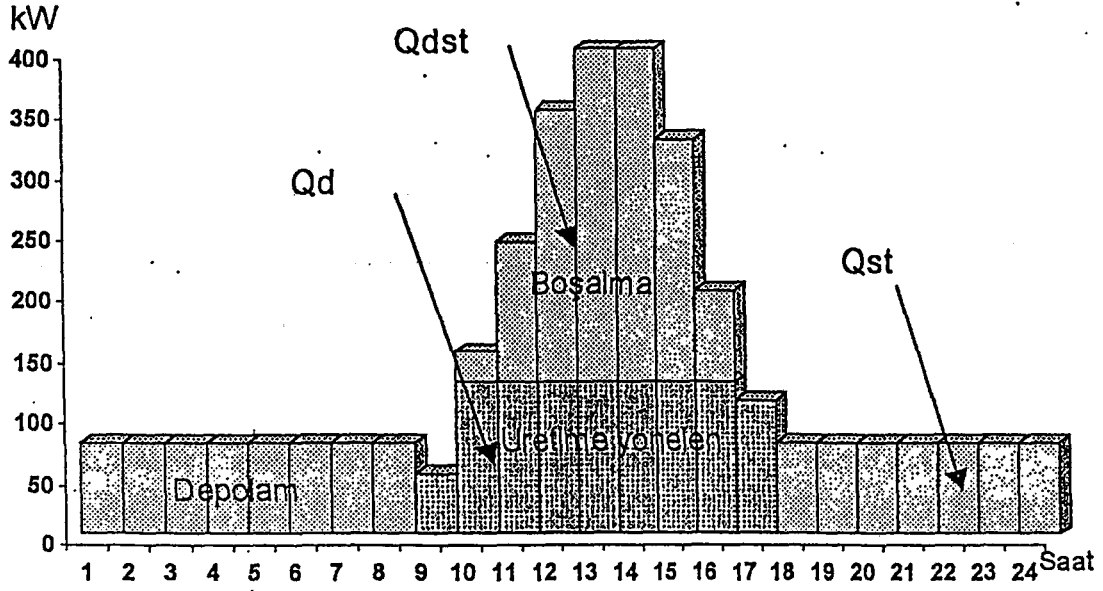
- Çok ani soğutma isteđi P_m (kW)
- Tasarlanan günlük soğutma ihtiyacı Q_j (kWh)

Azami yük (P_m), sistemin büyüklüğüyle belirlenir ve depo dahil edilmemiş haliyle yerleştiren chiller kapasitesine denktir.

Q_j , yoğun dizayn şartları için beyan edilen maksimum günlük soğutma ihtiyacıdır.

Bir hava şartlandırma sistemi için yerleştiren deponun büyüklüğü için bir örnek;

- Sıcaklık sınırı $7^{\circ}\text{C} / 12^{\circ}\text{C}$
- Plakalı eşanjör
- Birinci düğümde eşanjörden önce sıcaklık 5°C ila 10°C arasındadır.
- Histogram
- Pistonlu chiller



Şekil 8.13

Q_d (kWh) : Sistemin soğutma kapasitesi (üretim yönelen)

Q_{st} (kWh) : Depolanan enerji

Q_{dst} (kWh) : Boşalan enerji

$$Q_j = Q_d + Q_{dst}$$

(8.1)

8.6.2 Nodüllerin seçimi

Nodüllerin seçimi, hal değişim sıcaklığına (T_{st}) ve işletme koşullarına bağlıdır.

$$T_{st} < T_d - 4^\circ\text{C}$$

Isı değişim oranının artışına bağlı olarak, hal değişim sıcaklığı daha düşük olan nodüllerin seçilmesi mümkündür.

Bazı durumlarda hal değişim sıcaklığı ve ısı transfer sıvısının ayrılma sıcaklığı arasındaki 4°C 'lik fark, sistemin özel şartlarına göre azalabilir.

Bir hal değişim sıcaklığı 0°C seçildiğinde, sistem maliyetini azaltmak için C-00 nodüller kullanılabilir. Yine de, maximum ani talep yüksekse S-00 nodüller çıkış performansı için seçilebilir.

Mesela 5/10 °C soğutma suyu veya glikol ürünü için C-00 nodülleri seçilir.(Tst<5-4)

8.6.3 Chiller kapasitesi

Eğri, maximum günlük harcamayı verir. (kWh)

24

$$Q_j = \sum_{i=1} P(i) = 2200 \text{ kWh} \quad (8.2)$$

Hatırlanmalıdır ki kapasitesi evaporatör sıcaklığına bağlı olan chiller boyutu; Yükleme tarzında chiller kapasitesi direkt üretim periyodu esnasından daha düşük olacaktır. Günlük harcama 24 saate yayıldığında ve gerekli minimum chiller kapasitesi;

$$Q_j / 24 = P_{\min} \text{ (kW)} \quad (8.3)$$

$$P_{\min} = 2200/24 = 92 \text{ Kw}$$

Biz direkt üretim esnasındaki chillerin işletme periyodunu çıkış gücünü 92 kW olarak hesaplayacağız.

Chiller 9. ve 17. saatleri arasında (8 saat) %100 çalışıyor. 8.ve 9. saatleri arasında iki olasılık vardır; Depolama ve üretime yönelen veya yalnızca üretime yönelen

Yalnızca üretime yöneleni seçersek;

Chiller 8.ve 9.saatler arasında ortalama elde edilen 50 kW'lık bir kapasite ile kısmen çalışır.(işletme zamanı = 50/92 = 0.54h).Direkt üretimde chiller'in işletme zamanının tümü 8.5 saat (tpd) olacaktır.

Chillerin depolama tarzında 17.ve 5.saatler (tst = 15saat) arasında çalışır.

$$Pr1 = \frac{q_j}{Tst \times f \times tpd} \quad (8.4)$$

f direkt üretim ve şarj durumu esnasında chiller'in sebep olduğu kapasite azalma katsayısıdır.

Göz önünde bulunduracağımız ilk yaklaşım buharlaşma sıcaklığının (T_3-T_2) 1°C değişmesi ile %3'lük bir azalma olmasıdır.

$$f = 1 - [0.03 \times (T_3 - T_2)] \quad (8.5)$$

Bu örnekte evaporatörden ayrılan su veya glikollü suyun sıcaklığı direk üretimde 5°C veya 11°C 'lik buharlaşma sıcaklığının azalma durumuna uygun olarak depolama tarzında -6°C dir.

O zaman;

$$f = (1 - 0.05) \times 11 = 0.67 \quad (8.6)$$

$$P_{r2} = \frac{2200}{15 \times 0.67 + 8.2} = 121 \text{ kW} \quad (8.7)$$

Direk üretim zamanı;

$$t_{pd} = 7 + \frac{50}{121} + \frac{100}{121} = 8.2 \quad (8.8)$$

Chiller kapasitesi, direk üretimde chiller işletme zamanı aynı elde edilir. Depolama durumunda chiller kapasitesinin azalma kat sayısı;

$$P_c = f \times P_r = 0.67 \times 121 = 81 \text{ kW} \quad (8.9)$$

Depolanan ve boşalan enerjilerin eşdeğer olduğu doğrulanmıştır.

$$Q_{st} = 81 \times 15 = 1125 \text{ kWh} \quad (8.10)$$

$$Q_{st} = (150-121)+(250+121)+(350-121)+2 \times (400-121)+(300-121)+(200-121) = 1203 \text{ kWh} \quad (8.11)$$

8.6.4 Depo hacmi

DSTL, hesaplanan depolama yoğunluğu (STL'nin m^3 başına düşen depolama enerjisi)

$$DSTL = Ql + [Qsl \times (T3 - Tst)] + [Qdd \times (Tm - Tst)] \quad (8.12)$$

Boşalma durumunda sıcaklık sınırı 5-10°C arasındadır. Böylece T3 = 5 °C Bu sınır evaporatör giriş-çıkış sıcaklık farkına bağlıdır.

Depolama ve boşaltma tarzları arasındaki kapasite azalması 0,67 dir. Evaporatör içindeki debi her iki durum esnasında aynıdır. Kapasite azalması, akış oranı sabit kaldığı süre içerisinde sıcaklık farkı azalmasıyla eşleştirilir. Şarj durumundaki fark bu nedenle 0.65 x 5 = 3.4°C dir.

Bu durum esnasında sıcaklık sınırı -6 °C -2.6°C arasındadır.

$$Tm = \frac{(-6) - (-2.6)}{2} = -4.3 \quad (8.13)$$

$$DSTL = 48.4 + (1.1 \times 5) + (0.7 + 4.3) = 56.9 \text{ kWh/m}^3 \quad (8.14)$$

Depolanan enerji 1215 kWh dir. Minimum hacim;

$$V = \frac{Qst}{DSTL} \quad V = \frac{125}{56.9} = 21.4 \quad (8.15)$$

8.6.5 Isı değişim kapasitesi

* Depo şarj oranı;

$$pst = Vv \times kvcr \times Imtdl \quad (8.16)$$

$$Imtd = \frac{(T2 - Tst) - (T1 - Tst)}{\ln \frac{(T2 - Tst)}{(T1 - Tst)}} \quad (8.17)$$

$$p_{st} = 21.4 \times 1.15 \times \frac{(-6-0)-(-2.6-0)}{(-6-0)} = 100 \text{kw} \quad (8.18)$$

$$In = \frac{(-2.6-0)}{(-6-0)}$$

$P_{st} > P_c$ olması gerekir. (tamamen şarj durumu esnasında), bu durumda $PC = 81 \text{ kW}$, sistem doğru büyüklüktedir.

Depo boşalma oranı;

$$P_{dst} = V \times kvfu \times l_{mtd2} \quad (8.19)$$

$$(T4-T_{st}) - (T3-T_{st})$$

$$l_{mtd2} = \frac{(T4-T_{st})}{In} \quad (8.20)$$

$$P_{dst} = 21.4 \times 1.85 \times \frac{(10-0)-(5-0)}{(10-0)} = 286 \text{ kw} \quad (8.21)$$

$$In = \frac{(5-0)}{(10-0)}$$

Tüm boşalma durumu esnasında STL ve chiller çıkışı istenilenden daha büyük olması gerekir.

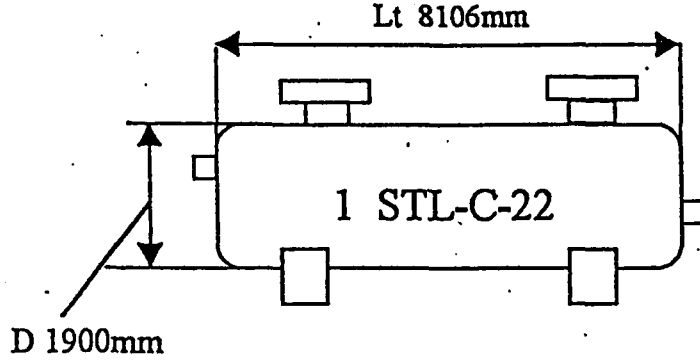
Örneğin maksimum ani talep periyodu esnasında

$$P = 400 \text{ kW} \quad P_r = 121 \text{ kW} \quad P_{dst} = 286 \text{ kW}$$

$$P_{dst} = p_r = 407 \text{ kW}$$

$P_{dst} + P_r > p$ yerleştirme uygundur.

STL'nin seçimi; 1 STL-C-22



Şekil 8.14

8.7 STL'nin Yerleştirilmesi

Nodüller ve tanklar ayrı olarak sevk edilirler. Yerleştirme işlemi iki adımda gerçekleştirilir.

-Tank pozisyonu

-Nodüllerin doldurulması

Sevk öncesi tavsiyeler

STL tankları:

Tankın yerleştirileceği alanın uygunluğunu kontrol edin.(toleranslar, yol, çalışma bölgesi v.b.).

Tanklar yüklenmesi kolay olan kamyonlar üzerinde sevk edilirler. Kaldırma ekipmanı sevk günü yerinde olmalıdır.

Eğer tank yatay olarak ayaklar üstüne yerleştirilecek ise izolasyonun yapılması ve uygun pozisyonun seçilmesi gerekir, bu izolasyon ve yerleştirme işi aynı günde yapılmalıdır.

Nodüller:

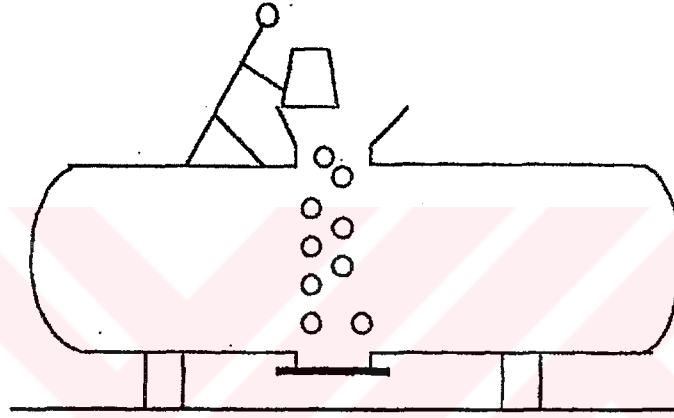
Nodüller, tank tesliminden sonra mümkün olduğu kadar en kısa zaman içinde teslim edilmelidir. önce tankın doldurulmak için hazır olup olmadığı kontrol edilir.

Nodüller, 22.5kg(C-00 nodüller)' lık plastik torbalar içinde yüklemesi kolay olan kamyonlar üzerinde sevk edilirler.

Para ve zamandan kazanmak için kamyonun boşaltılmasından hemen sonra tank doldurulmalıdır. Takriben müsaade edilen zaman 1 insan saat/m²(zor durumlar hariç) Nodüllerin yüklenmesi mümkün değilse, gün ışığından muhafaza edin.

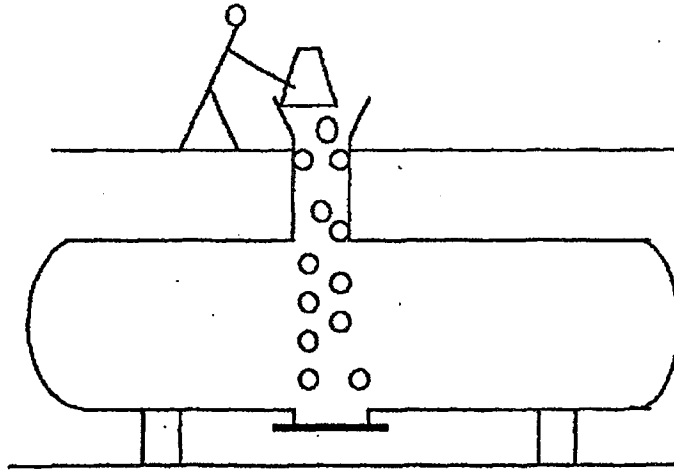
Hızlı ve emniyetli yüklemek için tepedeki deliklere kolayca ulaşılabilir olmalıdır. Yerleştirme kolaylığı için iskele, rampa veya benzeri sistemler kurulabilir. Çok genel gösterimler;

- Küçük tank:



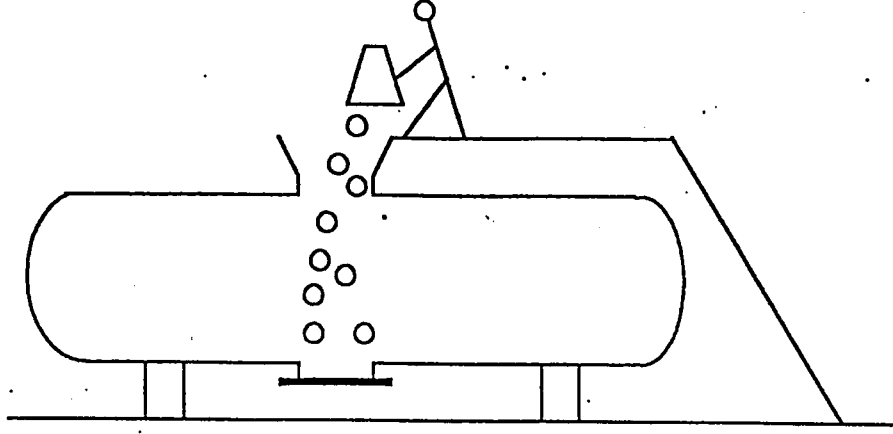
Şekil 8.15

-Yer altı veya gömülü tank



Şekil 8.16

- İskele kurma:



Şekil 8.17

Yerleştirme şirketinin emniyet ve sağlık kurallarına uygun olarak düzenli bir şekilde uygulaması esastır.

Tankların yerleştirilmesi:

Dikkatli olarak kullanılmalı ve seviyeli yerleştirilmelidir.

Giriş deliğinin yukarısında yaklaşık 0.60 m boşluk bırakılmalıdır.(alt delik için 0,25m). Sistemin yerleştirildiği odanın yüksekliği oldukça kısıtlı ise giriş delikleri (alt ve üst) dikeyle 30° açıyla yerleştirilmelidir. Böylece maksimum bir tank çapı elde etmiş oluruz.

Hidrolik boru donanımı ve giriş/çıkış flanşlarının doğru olarak bağlanması:

-Şarj durumu esnasında ısı transfer sıvısı girişi alt difüzör yoludur.

Tank'ı modüller ile yükleme

Üst giriş deliği açıldıktan sonra tank içi kontrol edilir;

- Sızdırmazlık elemanlarının kalitesi ve varlığı
- Difüzörlerin varlığı
- Alt giriş deliği ızgarasının varlığı
- Tank temizliği

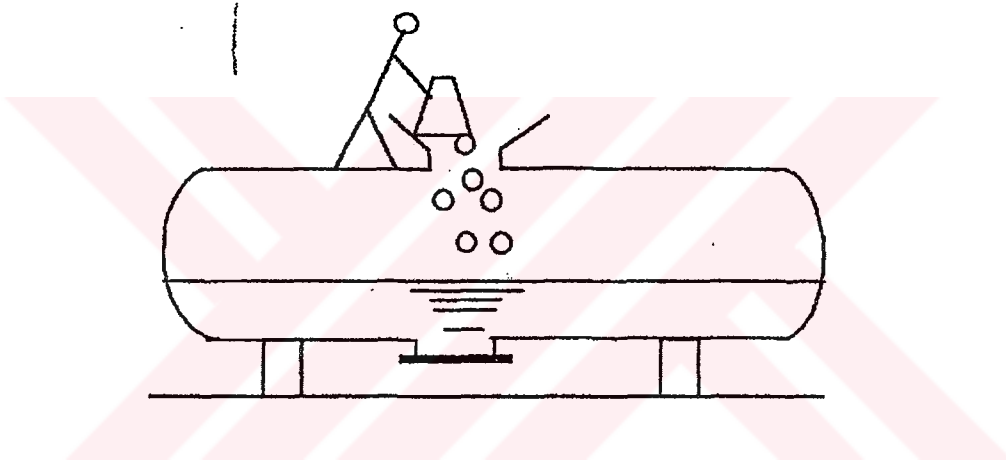
Nodüller plastik torbalar içinde sevk edilirler. Bir tel ile bağlanarak ağzının Sızdırmazlığı sağlanır. Torbaları kolayca açmak için kesme makinesi veya karga burun gerekmektedir.

Tanklar, nodüller ile doğru olarak doldurulmalı ve akılcıca yayılmalıdır. Doldurma talimatı doğru olarak izlenmelidir.

Doldurma başlangıcı:

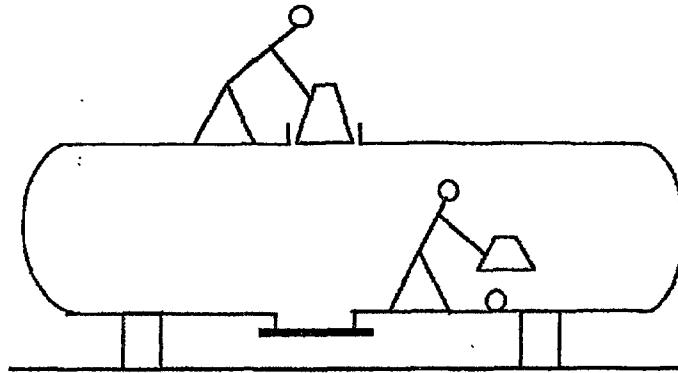
Nodül düşüşlerinin absorbe edilmesi ve doğal yayılmalarını sağlamak amacıyla tank yüksekliğinin 1/3 'ü kadar su doldurulur.

Torbalar açılarak üst giriş deliğinden boşaltılır.



Şekil 8.18

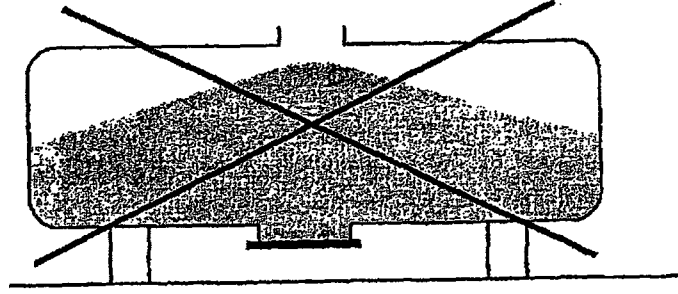
Yerleşim alanında su mevcut değilse aşağıdaki resimde gösterildiği gibi uygulanır.



Şekil 8.19

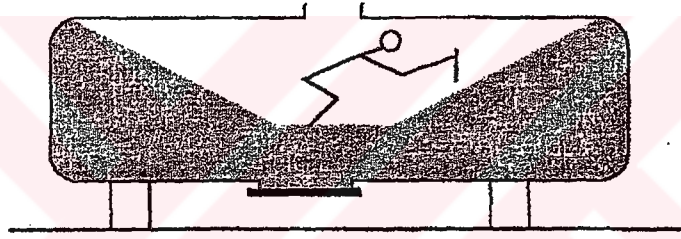
Doldurma sonu:

Aşağıdaki resimde gösterildiği gibi tankın yanlış doldurulmasından kaçınılmalıdır.

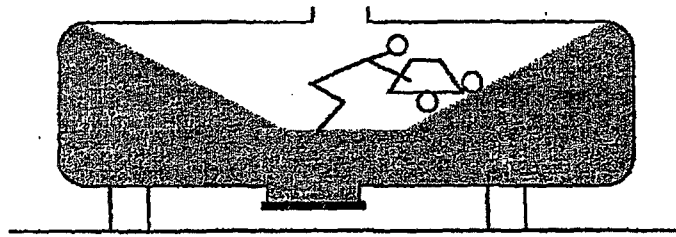


Şekil 8.20

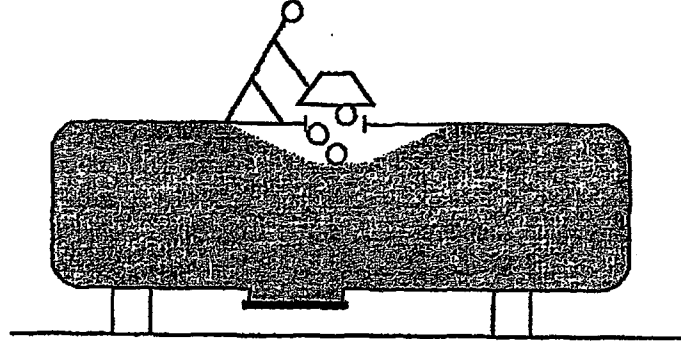
STL doldurma şekilleri;



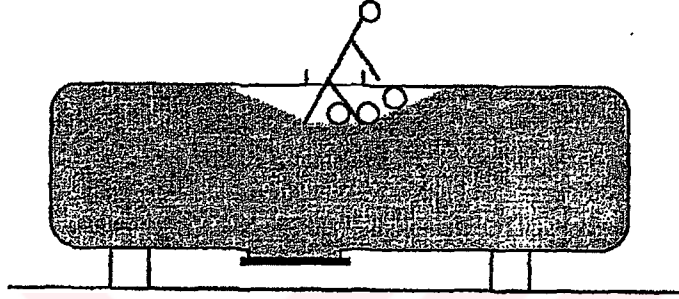
Şekil 8.21



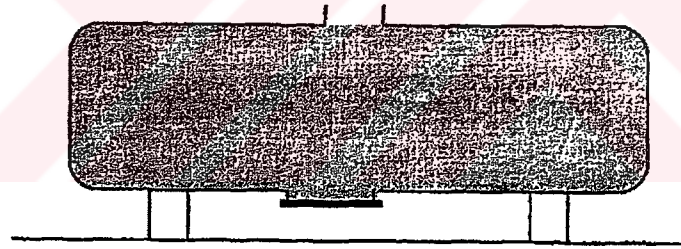
Şekil 8.22



Şekil 8.23



Şekil 8.24



Şekil 8.25

Genel olarak(yatay) tankın yarısı doluyken nodülleri yaymak için tank'ın içine bir veya iki kişi girer. Bu yayma doldurma yönteminin sonunda yapılmalıdır. Nodüller devamlı olarak tankın uç kısımlarına itilir.

9. SOĞU DEPOLAMAYA İLİŞKİN ANALİZ

Konvansiyonel bir sistemle soğu depolamalı bir sistem arasında oluşacak farklılıkları incelemeye yönelik çalışma global verilere göre yapılmıştır. Bunu klasik bir sistemle uygulamasını yapmış olduğumuz bir sistemi ele alıp, eğer bu sisteme soğu depolama uygularsak nasıl sonuçlar elde ederiz düşüncesiyle yola çıkılarak yapılmıştır.

Projenin soğutma hesapları CARRIER programıyla yapılmıştır. Ancak burada direkt verilerden yola çıkılarak analiz yapılacaktır.

Sistemde kullanılan benzer malzemeler hesaba katılmamıştır. Sistemde değişen elemanların maliyetleri ile elektrik fiyatlarındaki farklılıklar dikkate alınmıştır.

Binanın pik soğutma yükü :1163 Kw'dir.

1. Klasik sisteme göre

Hava soğutmalı soğutma grubu	(1 adet)	:	206.150 DM
Max. Soğutma kapasitesi	1163 kW		
Toplam Elektrik sarfiyatı	400 kW		
Evaporatör	12 / 7 °C		
Kondenser	35 °C		
Boyutlar	12 x 2.3 x 2.5 m		

TOPLAM BÜTÇE : 206.150 DM

2. Soğu depolamalı sisteme göre

Hava soğutmalı soğutma grubu	(1 adet)	:	139.350 DM
Max. Soğutma kapasitesi	575 kW		
Toplam Elektrik sarfiyatı	215 kW		
Evaporatör	13.4 / 8.8 °C		
Kondenser	35 °C		
Boyutlar	6 x 2.3 x 2.5 m		
Soğu depolama tankı	(2 adet)		
Depo kapasitesi	4182 kWh		150.000 DM
Serpantin	8.8 / 3.8 °C		

Boyutlar	6 x 2.4 x 2.5 (2 adet)	
Kontrol vanaları(motorlu vanalar), Logic kontrol ve eşanjör v.b.		16.000 DM
TOPLAM BÜTÇE	: 305.350 DM	

SAATLERE GÖRE ORTALAMA ELEKTRİK TÜKETİMİ

Elektrik fiyatları TEDAŞ (Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş.)'dan ARALIK 1999 fiyatlarına göre alınmıştır.

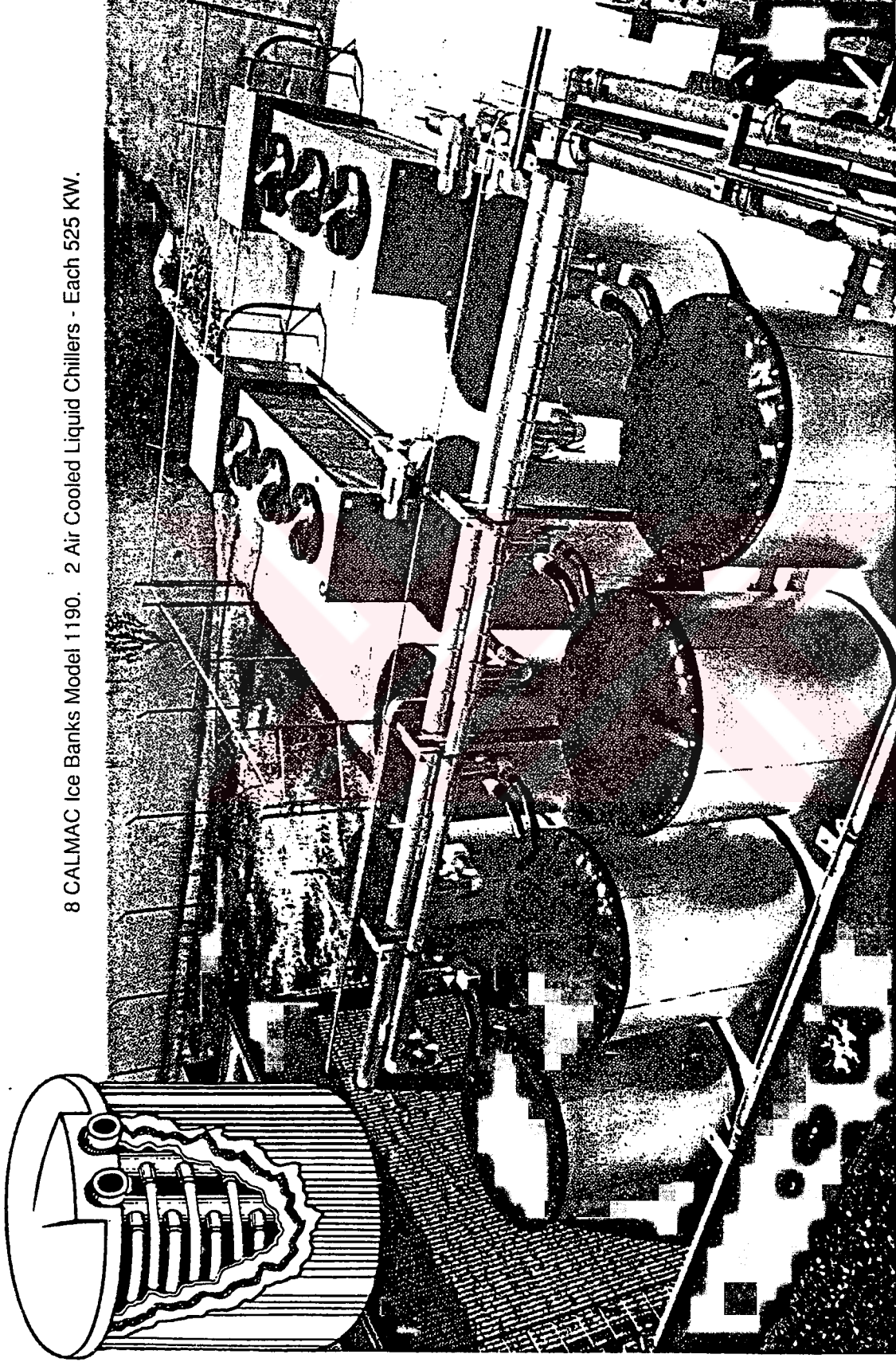
	17-22 arası	22-06 arası	06-17 arası
ELEKTRİK kWh fiyatı :	64.760 TL	16.540 TL	35.080 TL
	5 SAAT	8 SAAT	11 SAAT
	Kw	Kw	Kw
1. SİTEM (Klasik)			400
Günlük toplam tahmini elektrik bedeli :	154.352.000 TL		
	5 SAAT	8 SAAT	11 SAAT
	Kw	Kw	Kw
2. SİTEM (Soğu Depolu)		215	215
Günlük tahmini elektrik bedeli		28.448.800 TL	82.964.200 TL

Günlük toplam tahmini elektrik bedeli : 111.413.000 TL

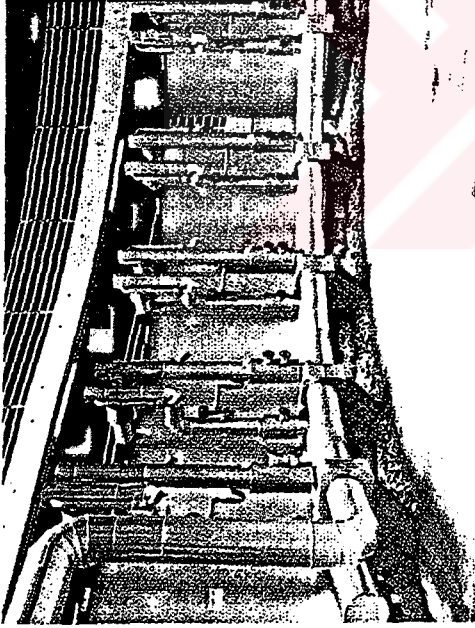
Klasik bir sistemde ilk yatırım maliyeti daha düşük görülmesine rağmen soğu depolu sistemde bir gündeki fiyat farkı daha düşük görülmektedir. Soğu depolu sistemler maliyet açısından daha uygun gözükmesine rağmen iyi bir sistem analizi yapmak gereklidir.

Özellikle yüksek kapasiteli sistemlerde daha iyi sonuçlar alınmaktadır.

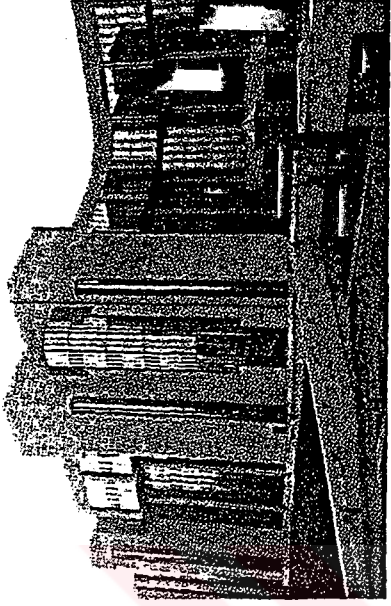
10. CALMAC SOĞU DEPO UYGULAMALARI İLE İLGİLİ ÇEŞİTLİ RESİMLER



Atlantic Southern Properties Mays Landing N.J. - peak demand imput KW. cut by 50% by use of Ice Storage



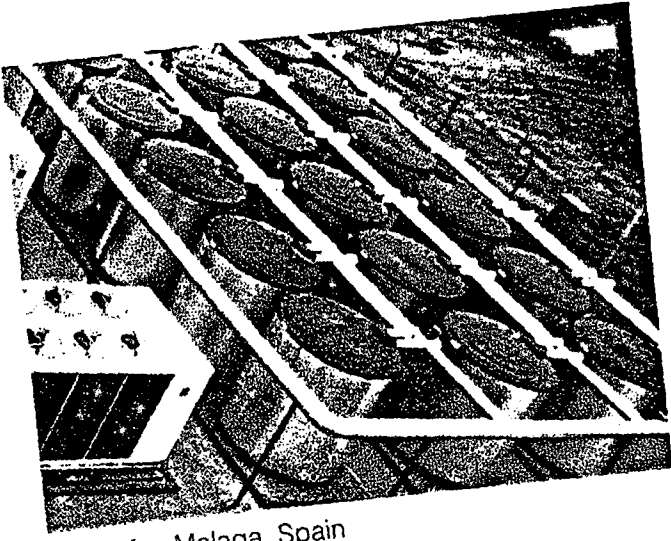
Flughafen Hamburg, Germany



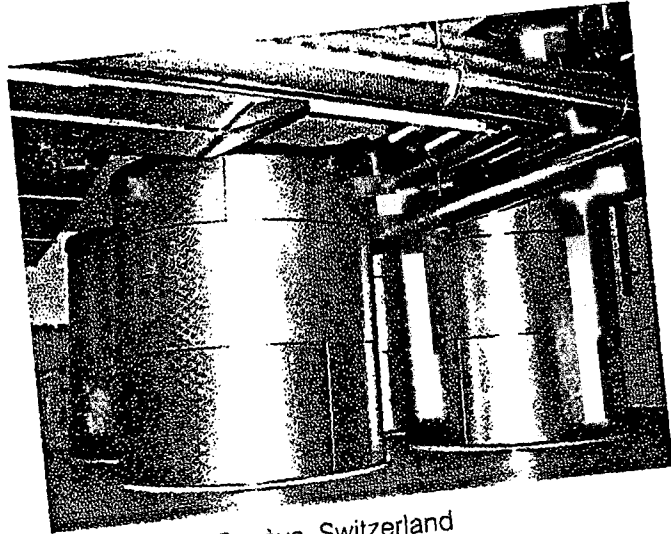
Banque International, Luxemburg



Chemie Grünenthal, Germany



Flughafen Malaga, Spain

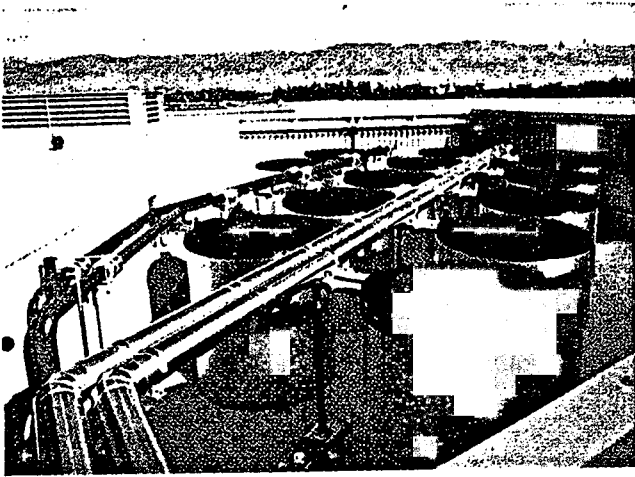


Kanonalbank Genève, Switzerland

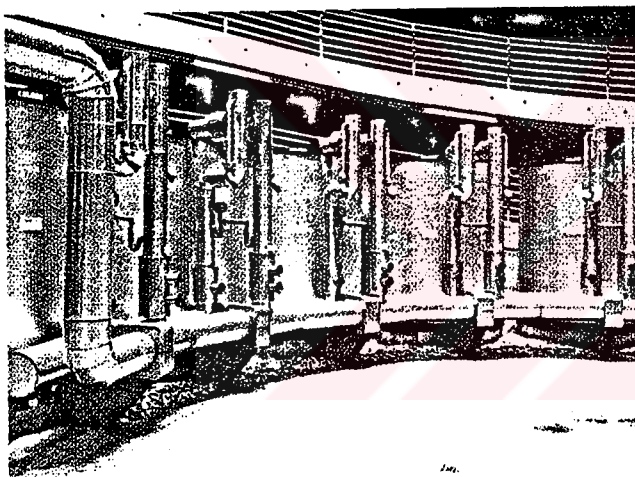
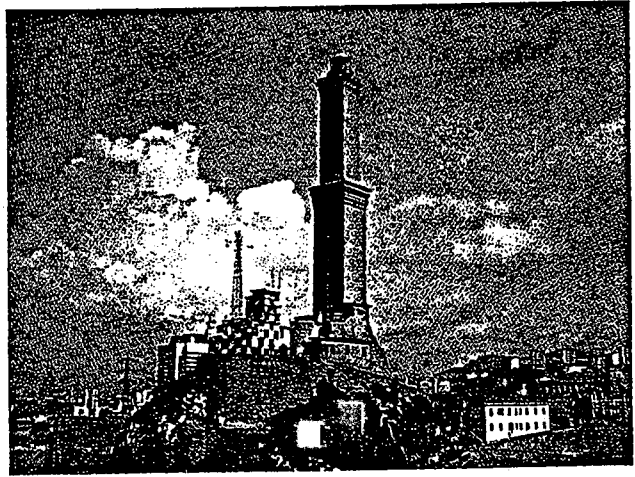


Du Pont de Nemours Int. SA, Genf, Switzerland

International Center Cointrin, Genf, Switzerland



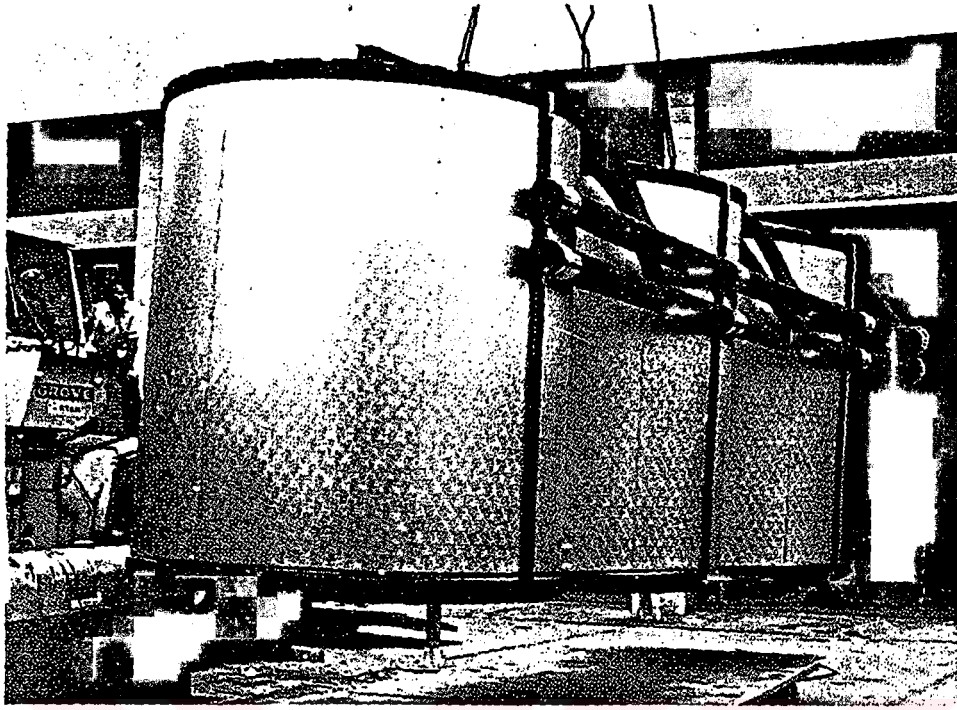
RAI Rom, Italy



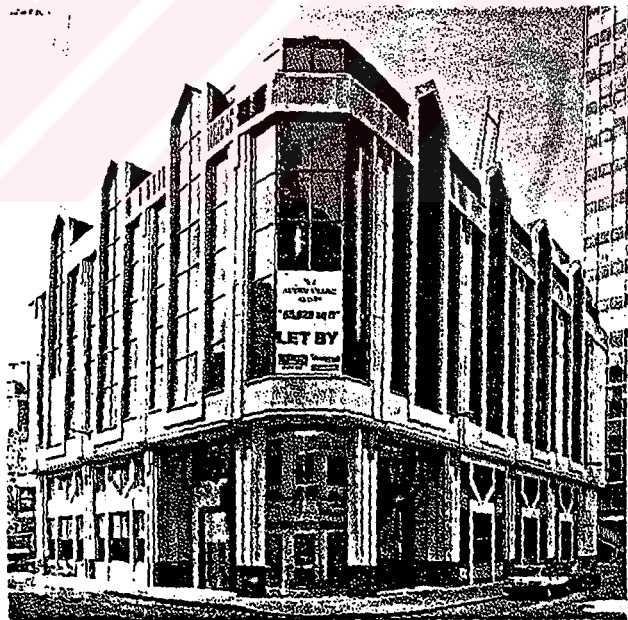
Flughafen Hamburg, Germany



Banque International, Luxemburg



CALMAC Model 1500



Aldermanbury House, London, England.

11. SONUÇ ve ÖNERİLER

Dünyanın birçok ülkesinde oldukça yaygın uygulamaları olan bu sistem Türkiye’de de yakında gündeme geleceği kanısındayım. Özellikle elektrik fiyatlandırmasındaki düzenlemelerin yapılmış olması da soğu depolama uygulamalarının yaygınlaşmasında büyük rol oynayacaktır. Hem ilk yatırım masrafları hem de kullanım, bakım ve onarım masrafları bakımından depolu soğutma sistemleri iklimlendirme kullanıcıları ve ülke ekonomisi bakımından fevkalade yararlı olduğu açıktır.



KAYNAKLAR

ASHREA Guideline 1, (1996) "The HVAC Commissioning Process"

ASHREA, (1993) "Design Guide For Cool Thermal Storage"

Baltimore Aircoil, "Ice Chiller Thermal Storage Unit" BALTIMORE^R katalođu.
Thermal Storage System

Calmac, "Ice Tanks" CALMAC katalođu

Cristopia Energy Systems, "Colth Storage" Cristopia katalođu

İlken, Z., (1998) "Soğu Depolama", TTMD. III. Uluslar arası Yapıda Tesisat Bilimi ve Teknolojisi sempozyomu, İzmir, 351-435.

Odabaşı, H., (1999) "Klima Uygulamalarında Buz Depolama Sistemleri" TTMD Semineri, Ankara.

Yılmaz, T., (1998) "Su veya Buz Depolama Yöntemleriyle iklimlendirme", TTMD. III. Uluslar arası Yapıda Tesisat Bilimi ve Teknolojisi sempozyomu, İzmir, 137-149.

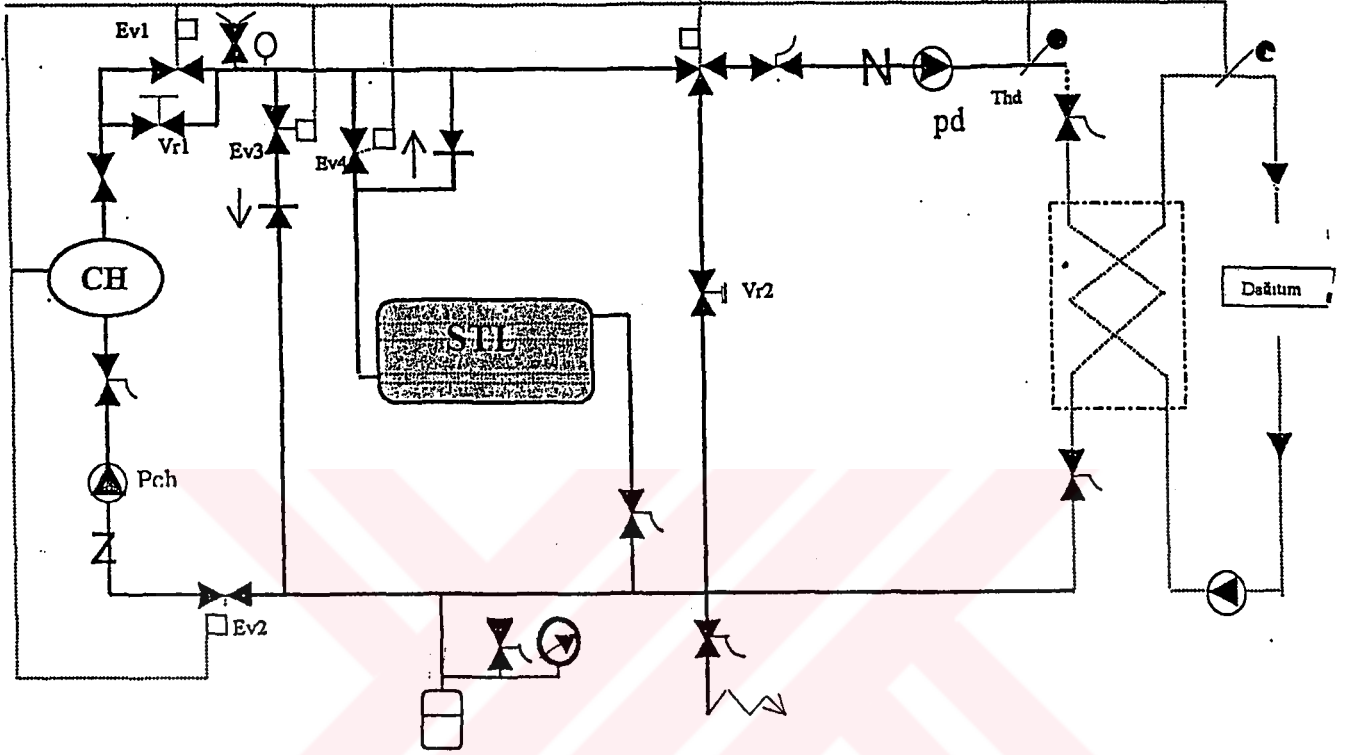
York Ice Balls, "Thermal Storage System" YORK^R katalođu.

York International Limited, "Thermal Energy Storage Seminerleri" Seminer notları.

EKLER

Ek 1 Cristopia Enerji sistemleri

PLAN ÖRNEĞİ



Genleşme kabı



İşletme valfi



Motorlu valf



Emniyet valfi



Boşaltma valfi



Ayar valfi



Doldurma valfi



Çek valf



Sıcaklık göstergesi

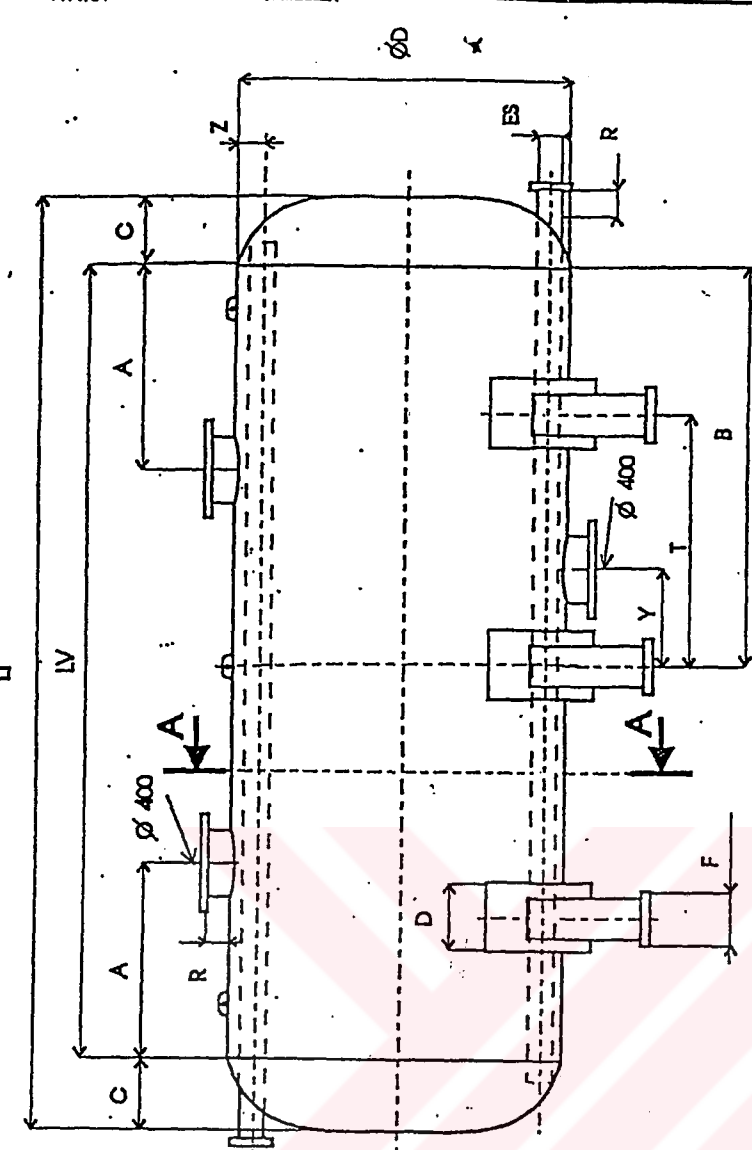
N Filtre



Hava boşaltma valfi



Manometre



Alçak difüzör ile
depolama girişi

IZOLASYON

Ölçüler (mm)

Ø D	D
LV	EB
LT	EF
ES	EV
A	F
B	G
C	H
R	K
Z	S

Basınç düşüşü

Debi

Hacim

Test basıncı

Boş ağırlık

Servis basıncı

Hizmet ağırlığı

Çizen :

İndeks :

Tarih :

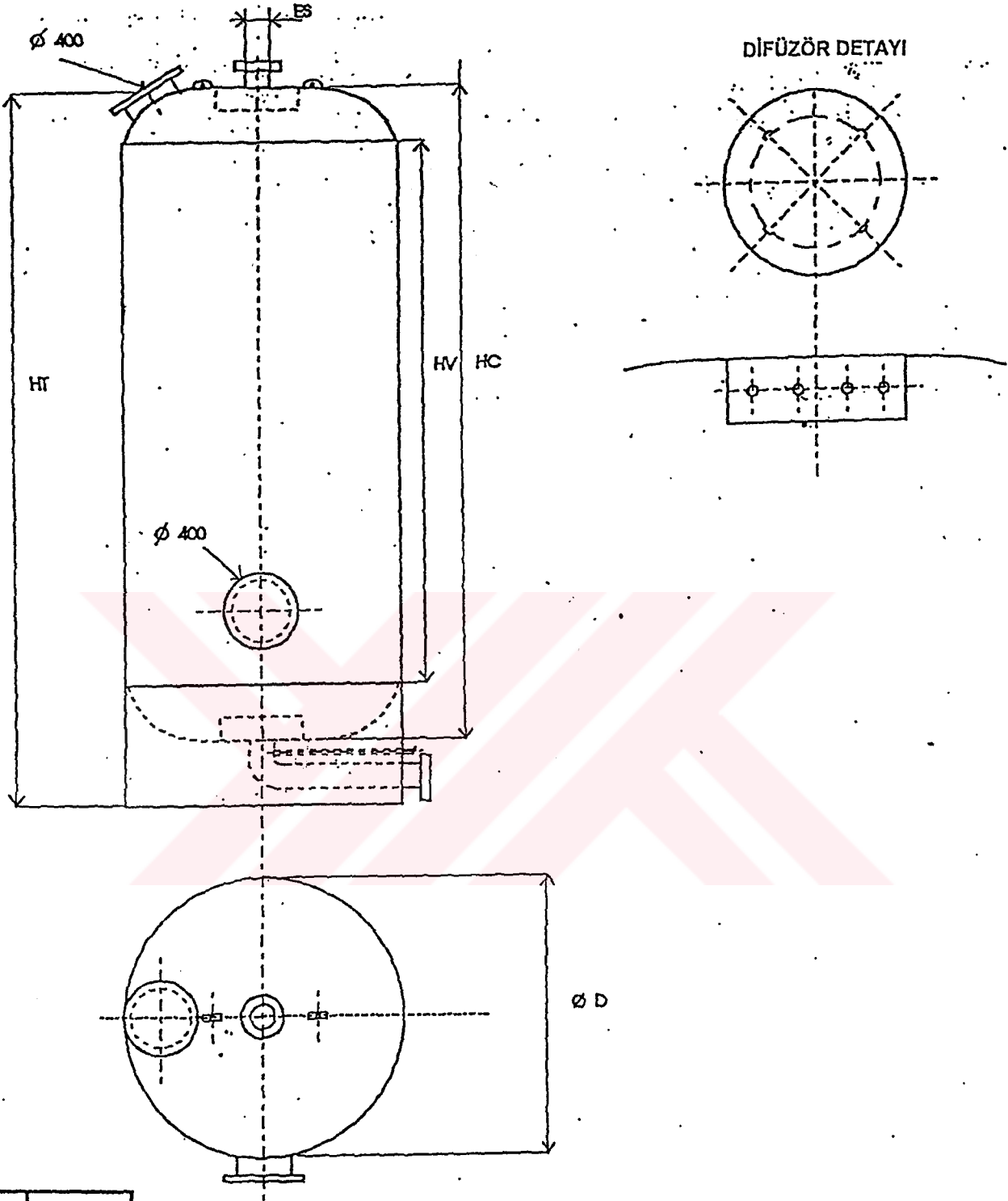
PROJE :

CRISTOPIA
ENERJİ SİSTEMLERİ

MUŞTERİ :

NB : H-3-PA

STL

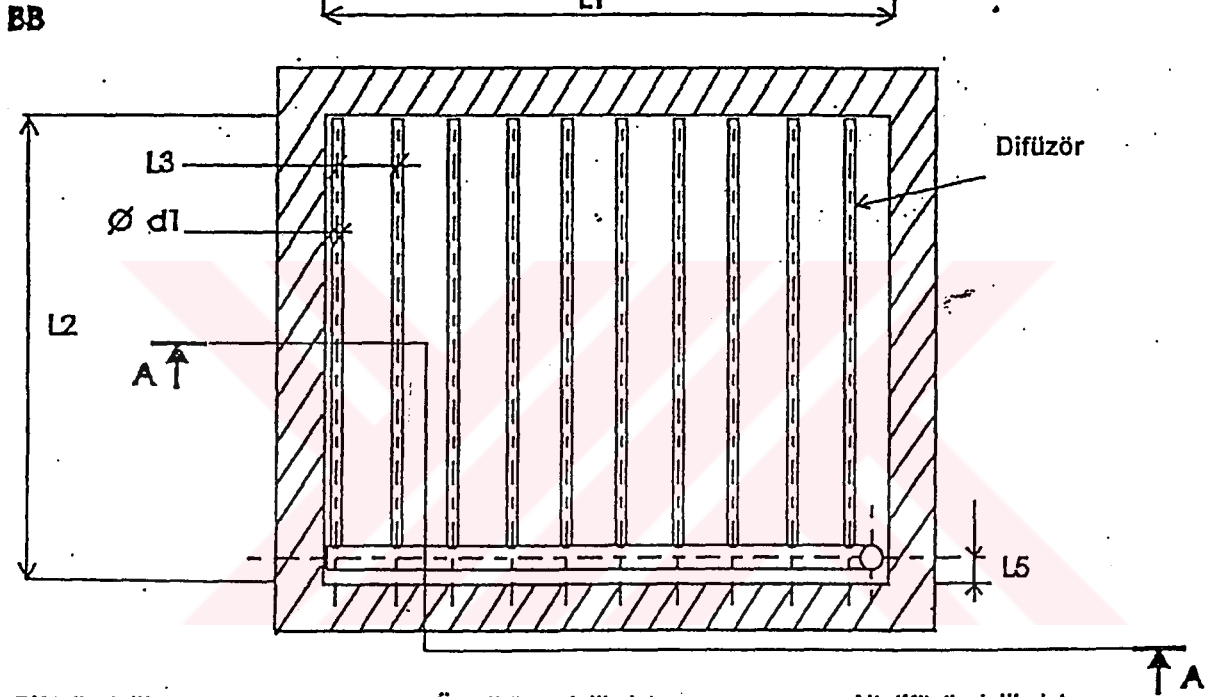
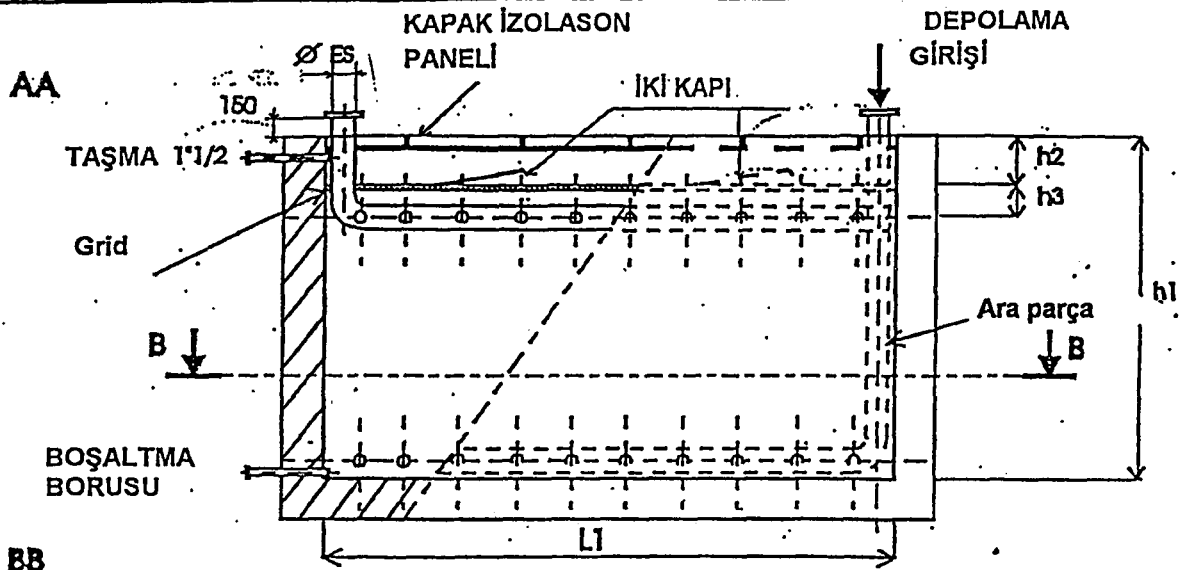


Ø D	
HV	
HC	
HT	
ES	

Servis basıncı	
Test basıncı	
Servis ağırlığı	
Boş ağırlık	

ALT DİFÜZÖR İLE
DEPOLAMA GİRİŞİ

Basınç düşüşü	Debi	Hacim
Çizen :	İndeks :	CRISTOPIA ENERJİ SİSTEMLERİ
Tarih :	PROJE :	
MÜŞTERİ :	NB : VA/	STL-

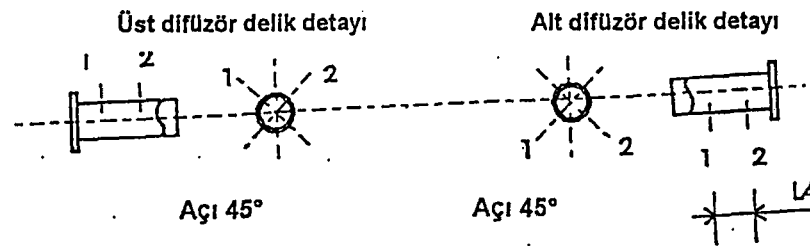


$\phi d2$ = Difüzör delik çapı

Isı kayıplarını önlemek için
İzolasyona izin verilir

Glikol seviyesi

---mm ızgaranın üstünde

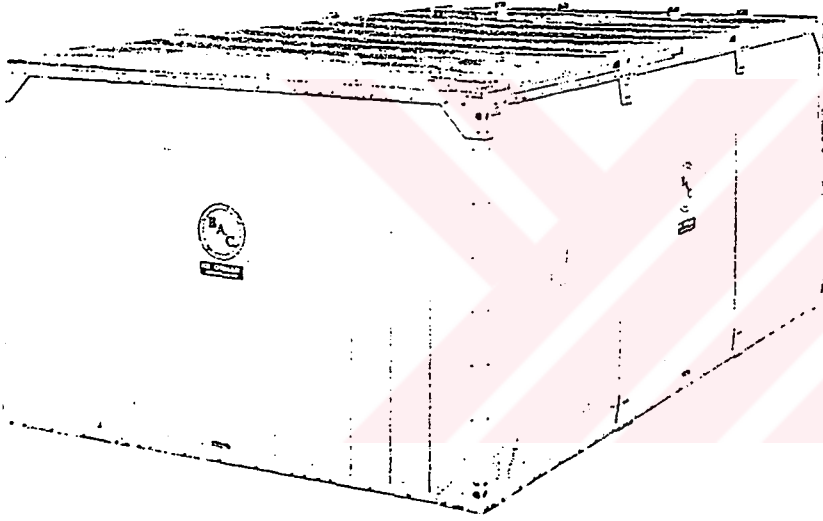


L1		Nb	h1	
L2		Nb	h2	
L3		ϕES	h3	
L4		$\phi d1$		
L5		$\phi d2$		

Basınç düşüşü		Debi		Hacim	
---------------	--	------	--	-------	--

Çizen :	İndeks :	CRISTOPIA ENERJİ SİSTEMLERİ	
Tarih :			
PROJE :	78 chemin du moulin de la Clue, F-06140 VENCE		
MÜŞTERİ :	Tel : (33) 93 24 61 16- FAKS: (33) 93 242938		
	NB : COE/		
	STL-		

Ek 2 Baltimore Soğu Depolama Seçim Tabloları



NOTE: ICE CHILLER® and ICE LOGIC are trademarks of Baltimore Aircoil Company which may be registered or pending in the U.S.A. and certain other nations.

© 1995 Baltimore Aircoil International N.V.



Galvanized Steel Coil

Ice Logic Controller

Coils Installed in Tank



ICE THERMAL STORAGE QUESTIONNAIRE

1. Owner, Consultant, Contractor

Owner

Company :
Address :
.....
.....
Fax :
Phone :
Contact person :

Consultant

Company :
Address :
.....
.....
Fax :
Phone :
Contact person :

Contractor

Company :
Address :
.....
.....
Fax :
Phone :
Contact person :

2. Application

Air Conditioning Dairy Brewery Other, specify :

Job Name :

Location :

3. Load Profile

3.1. Load Profile

Please attach your daily load profile or fill in the table below.

Hour	Cooling Load in kW
0	
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	

3.2. No Load Profile

If the daily load profile is not available, please answer following questions :

- Total cooling load (kWh) :
- Peak load (kW) :
- Base cooling load (kW) :
- Start cooling time (h) :
- Total required cooling time (h) :
- Available build time (h) :

3.3. Required System Temperatures

Inlet temperature : °C

Outlet temperature : °C

4. Chiller Data

Will existing chillers be used in the Ice Thermal Storage System ?

Yes

No

Available existing chiller capacity :

Day capacity (kW) : at + °C

Night capacity (kW) : at - °C

Chiller type : reciprocating screw centrifugal

Condenser type : air-cooled water-cooled

Ambient air temperatures : Maximum (°C) :

Minimum (°C) :

Glycol type : ethylene glycol propylene glycol

5. Energy Cost

5.1. Do you have variations between day and night electricity rates ?

Yes No

Please specify :

Rate (..... currency)	From (hour)	Until (hour)

5.2. Do electricity rates depend on seasonal changes.

Please specify :

Electricity Rate (..... currency)	From (month)	Until (month)

5.3. Do you have a demand charge ?

No Yes, specify :

5.4. Do you wish to stop the chillers during certain hours ?

No Yes, specify :

6. Space Restrictions

Has the cooling plant/room (where the Ice Thermal Storage Unit is located) already been designed ?

Yes

No

Are space restrictions applicable to the plant room ?

Yes

No

Available height (m) :

Available length (m) :

Available width (m) :

Are space restrictions applicable for entering the building ?

Height restriction (m) :

Length restriction (m) :

Width restriction (m) :

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 25.09.1973

Doğum yeri Kastamonu

Lise 1984-1993

Galatasaray Lisesi

Lisans 1993-1997

Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 1997-2000

Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri
Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı,
Isı Proses Programı

Çalıştığı kurum

1997-

HASEL Yapı ve Endüstri Tesisleri Sanayi ve
Ticaret Limited Şirketi

