

95023

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SOĞU DEPOLAMA SİSTEMLERİNİN
İNCELENMESİ VE ÖNERİLER

Mak.Müh. Şule DOĞRU

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

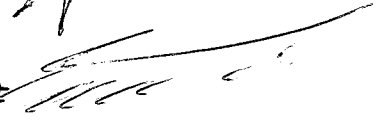
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Oğuz SOYLU

Prof. Dr. Oğuz SOYLU



Doc. Dr. Eyüp AKARYILDIZ



Doc. Dr. U. KESGİN



İSTANBUL, 2000

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	iv
ÖNSÖZ.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. SOĞU ENERJİSİNİ DEPOLAMANIN TEMELLERİ.....	2
2.1 Soğu Depolama Sistemlerine Ait Temel Prensipler.....	6
2.1.1 Depolamanın Ana İlkeleri ve Depolayıcılar.....	7
2.1.1.1 Depolamanın Temelleri.....	7
2.1.2 Soğu Depolayıcılar.....	8
2.1.3 Soğu Depolama Tankları.....	10
2.1.3.1 Çelik Tanklar.....	11
2.1.3.2 Beton Tanklar.....	11
2.1.3.3 Plastik Tanklar.....	11
2.2 İşletme Yöntemlerine Göre Soğu Depolama Yöntemleri.....	12
2.2.1 Tam Depolama.....	12
2.2.2 Kısmi Depolama.....	13
2.2.2.1 Yük Seviyelemeli Kısmi Depolama.....	13
2.2.2.2 Talep Belirlemeli Kısmi Depolama.....	14
2.2.3 Uygulamaya Göre Değişebilen Farklı Stratejiler.....	14
2.3 Depolama Malzemesi ve Yöntemine Göre, Soğu Depolama Sistemleri.....	17
2.3.1 Soğuk Su ile Depolama.....	18
2.3.1.1 Katmanlaşma.....	18
2.3.1.2 Çoklu Tank Kullanımı.....	21
2.3.1.3 Örtenek veya Diyafram Kullanımı.....	22
2.3.1.4 Labirent Kullanımı.....	24
2.3.2 Buz Toplama Tekniği ile Soğu Depolama.....	28
2.3.3 Boru Sarmalı Dışında Buz ile Soğu Depolama.....	30
2.3.4 Boru Sarmalı Üzerinde Dışında İçten Eritmeli Buz ile Soğu Depolama.....	33
2.3.5 Kapsüllenmiş Buz ile Soğu Depolama.....	35
2.3.6 Ötektik Tuzların Kullanımı Yoluyla Soğu Depolama.....	38
2.3.7 Soğu Depolama Sistemlerinin Kıyaslanması.....	40
3. SOĞU DEPOLAMA SİSTEMLERİNİN TASARIM KRİTERLERİ VE YÖNTEMİ.....	42
3.1 Ön Tasarım Aşaması.....	42
3.2 Bir Soğu Depolama Sisteminin Başarılı Olabilme Kriterleri.....	50
3.3 İyi Bir Tasarım İçin Gerekenler.....	52
3.4 Soğutucu ve Deponun Boyutlandırılması.....	55

3.4.1	Yapının Yük Profiline Çıkarılması.....	55
3.4.2	Soğutucu ve Deponun Ön Boyutlandırılmasının Yapılması.....	56
3.4.3	İşletme Yönteminin Saptanması ve Uygun Depolama Sisteminin Seçilmesi.....	58
3.4.4	Soğutucu, Depo ve Ekipmanlarına İlişkin Son Boyutlandırmanın Gerçekleştirilmesi.....	58
4.	DÜNYA 'DA MEVCUT BAZI UYGULAMA ÖRNEKLERİ.....	60
5.	SOĞU DEPOLAMAYA İLİŞKİN TASARIM ÖRNEĞİ.....	62
5.1	Binanın Tanıtımı.....	62
5.2	Havalandırma ve Soğutma Tesisatı.....	62
5.2.1	Dizayn Kriterleri ve Sistem Tasarımları.....	63
5.2.2	Isı Kazancı Hesapları.....	66
5.2.3	Isı Kazancı Hesapları Bilgisayar Çıktıları.....	67
5.2.4	Sistemin Ekipmanlarının Boyutlandırılması.....	68
5.3	Soğu Depolama Sisteminin İşletme Maliyetinin Hesaplanması.....	69
5.4	Bina İçin Soğu Depolama Sisteminin Konvansiyonel Sistem ile İlk Yatırım ve İşletme Maliyetleri Bazında Karşılaştırılması.....	73
6.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	74
	KAYNAKLAR.....	76
EK 1	Tüm Mahallerde Uygulanan Tipik Koordinasyon Resmi.....	77
EK 2	Yabancı Diller Bölümü Katler Mimari Planları.....	79
EK 3	Yabancı Diller Bölümü Soğutma Tesisatı Şeması.....	82
	ÖZGEÇMİŞ.....	84

SİMGE LİSTESİ

c_p	Sabit basınçta özgül ısı (kJ/kg °C)
c_v	Sabit hacimde özgül ısı (kJ/kg °C)
$Q_{\text{depolanan}}$	Depolanan Isı (kJ)
m	Kütleli debi (kg/h)
T	Sıcaklık (°C)
ρ	Yoğunluk (kg/m ³)
V	Hacim (m ³)
Δh	Entalpi farkı (kJ/kg)
Q	Hacimsel debi (m ³ /sn)
g	Yerçekimi ivmesi (m/sn ²)
h	Difüzör çıkış yüksekliği (m)
L	Uzunluk (m)
FoM	Merit Sayısı (%)
h	Boru İçindeki Ortalama Isı Taşınım Katsayısı (W/m ² K)
r	Yarıçap (m)
k	Isı iletim katsayısı (W/m °C)
α	Isı yayılım katsayısı (m ² /sn)
t	Zaman (sn)
s_f	Boyutsuz katı – sıvı ara yüzey konumu
s	Boru eksenine ile buz yüzeyi (katı – sıvı ara yüzeyi) arasındaki mesafe (m)
θ	Boyutsuz sıcaklık
CR	Kapasite oranı (%)
Ct	Çalışma kapasitesi (%)
Fr	Froude Sayısı
A	Deşarj anında tanka sağlanan yük
B	Geri kazanım çevriminde tanktan chillere sağlanan yük
C	Deşarj anında depodan binaya sağlanan yük
D	Geri kazanım çevriminde chillerden tanka sağlanan yük
St	Stefan sayısı
Bi	Biot sayısı
τ	Boyutsuz Zaman

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1a	Soğu depolama çevrimi..... 6
Şekil 2.1b	Soğu geri kazanımı çevrimi..... 6
Şekil 2.2	Tam depolama.....12
Şekil 2.3	Yük seviyelemeli kısmi depolama..... 13
Şekil 2.4	Talep belirlemeli kısmi depolama.....14
Şekil 2.5	Ara soğutuculu bir soğu depolama sistemi..... 15
Şekil 2.6	Katmanlaşmalı bir soğu depolama sistemi..... 19
Şekil 2.7	Tipik bir katmanlaşmalı sıcaklık profili.....20
Şekil 2.8	Çoklu tank sistemi..... 22
Şekil 2.9a	Diyaframalı bir sistem – Tam deşarj durumunda..... 23
Şekil 2.9b	Diyaframalı bir sistem – Kısmi deşarj durumunda..... 23
Şekil 2.10	Labirentli sistem.....24
Şekil 2.11	Seri tanklar yöntemi..... 25
Şekil 2.12	Depolama esnasında soğuk su sıcaklık profili.....27
Şekil 2.13	Buz toplam tekniği ile soğu depolama sistemi..... 28
Şekil 2.14	Boru dışında soğu depolama ve geri kazanım..... 30
Şekil 2.15	Boru dışında buz üreten soğu depolama tankı..... 31
Şekil 2.16	Boru çevresinde katılma hızı..... 32
Şekil 2.17	Boru dışında soğu depolama ve buzlu içten eriterek geri kazanım.....34
Şekil 2.18a	Soğutucu bağlantı tipleri (Soğutucu buz tankından önce)..... 34
Şekil 2.18b	Soğutucu bağlantı tipleri (Soğutucu buz tankından sonra)..... 35
Şekil 2.19	Kapsüllenmiş buz – Dikdörtgen kesitli kap..... 36
Şekil 2.20	Kapsüllenmiş buz – Küresel kap..... 37
Şekil 2.21	Bir kapalı hacim içerisinde soğu depolama ve geri kazanım.....37
Şekil 2.22a	Ötektik tuz kullanan bir soğu depolama sistemine ait şematik gösterim (Depo öncesi soğutucu bağlantılı)..... 39
Şekil 2.22b	Ötektik tuz kullanan bir soğu depolama sistemine ait şematik gösterim (Depo sonrası soğutucu bağlantılı)..... 40
Şekil 5.1	Dizayn Günü İçin Binanın Yük Profili..... 68
Şekil 5.2	Mart Ayı Günlük İşletme Maliyetleri..... 70
Şekil 5.3	Nisan Ayı Günlük İşletme Maliyetleri.....70
Şekil 5.4	Mayıs Ayı Günlük İşletme Maliyetleri..... 71
Şekil 5.5	Haziran Ayı Günlük İşletme Maliyetleri..... 71
Şekil 5.6	Temmuz Ayı Günlük İşletme Maliyetleri.....72
Şekil 5.7	Aylık İşletme Maliyetleri..... 72
Şekil 6.1	Dünyada Uygulanan Bazı Soğu Depolama Sistemlerinin İşletme Maliyetlerindeki Yıllık Tasarruf Miktarı 74

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1	Duyulur ısı depolama için kullanılan bazı malzemelerin özellikleri..... 8
Çizelge 2.2	Bazı faz değıştiren ısı depolama malzemelerinin özellikleri..... 8
Çizelge 2.3	Soğ u depolama malzemelerinin karşılaştırılması..... 41
Çizelge 4.1	Dünya 'da mevcut bazı uygulama örnekleri..... 60
Çizelge 5.1	Mahallere Göre Bazı Dizayn Parametreleri..... 63
Çizelge 5.2	Isı Geçirme Katsayıları..... 65
Çizelge 5.3	TEDAŞ Elektrik Enerjisi Satış Tarifesi..... 65
Çizelge 5.4	Klima Cihazlarının Karakteristikleri..... 67
Çizelge 5.5	Soğ u Depolama Sistemi İşletme Parametreleri..... 69
Çizelge 5.6	Soğ u Depolamalı Bir Sistem ile Konvansiyonel Sistemin İlk Yatırım ve İşletme Maliyetlerinin Karşılaştırılması..... 73



ÖNSÖZ

Dünya 'da enerji sektöründeki değişim ve gelişmeler pek çok sektörde olduğu gibi tesisat sektörüne de yön vermektedir. Bu tez çalışmasında incelenen "soğu depolama sistemleri" de bu gelişmelerin yansımasıdır.

Çalışmalarım esnasında buldukları katkılardan dolayı, hocam Prof.Dr. Oğuz SOYLU, Prof.Dr. Doğan ÖZGÜR, Sayın Kirkor BOYACIOğLU ve Sayın Hüseyin ERDEM şahsında Tokar A.Ş 'deki tüm çalışma arkadaşlarıma, York firmasından Sayın Hakan ODABAŞI 'na ve akademik yaşantım süresince sabır ve anlayışlarını benden esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Ocak 2000



ÖZET

Soğuk depolama sistemleri hakkında genel bilgiden, tasarım için gerekli bilgilere kadar geniş bir yelpaze içinde konu incelenmektedir. Soğuk enerjisini depolamanın temel prensipleri açıklanmış, enerji depolu ve deposuz sistemlerin farklılıkları anlatılmış, işletme yöntemine göre enerji depolama sistemleri (Tam depolama, kısmi depolama) tanıtılmıştır. Bu sistemleri oluşturan bileşenler ile depolama sistemi tipinin seçilme kriterleri tartışılmıştır. Ardından enerji depolama yöntemine göre (soğuk su ile depolama, dökümlü buz ile depolama, boru sarmalı içinde veya dışında depolama, kapalı hacimler içerisinde buz ile depolama ve ötektik tuzların kullanımı yoluyla depolama) sistemler tek tek ele alınmış, her birisi için; genel tanımlamalar ile gerekli bilgiler verilmiş ve depolama tankları hakkında açıklamalarda bulunulmuştur.

Tasarım öncesi programlama safhası hakkında bilgi verilmiş, sistemin başarılı olabilme kriterleri sıralanmış ve tasarım safhası kapsamında sırasıyla, yapının soğutma yük profillerinin elde edilmesi, enerji depolama ve işletme yöntemine göre depo sisteminin seçilmesi, soğutma ve depolama sistemi bileşenlerinin saptanması ve boyutlandırılması konuları ele alınmıştır.

Konuyla ilgili dünyada yer alan önemli ve başarılı uygulamalar sıralanmış, bu uygulamaların kendilerini ne kadar zamanda amorti ettikleri gösterilmiş ve alternatif sistemlerle ilk yatırım ve işletme maliyetleri bakımından karşılaştırılmaları yapılmıştır. Sağlanan azami kullanım tasarrufları uygulayıcı beyanına dayanılarak verilmiştir.

Son kısımda, özel bir üniversite kampüsü içinde yer alan, Yabancı Diller Bölümü olarak kullanılan bir yapının soğuk deposu entegre edilmiş iklimlendirme sistemi projesi tanıtılmıştır. Aynı yapının konvansiyonel bir sistemle yapılan iklimlendirme projesi de verilmiş ve depolu-deposuz durumlar, ilk yatırım ve işletme maliyetleri bazında kıyaslanmıştır.

ABSTRACT

Cool storage systems are discussed in a big field of range from general information about cool storage systems to design criteria and design of different systems. The main principles of cool energy storage systems, comparison of storage and non-storage systems and according to different strategy of use (full storage, partial storage) storage systems was explained. The components of the systems and design criteria of selecting storage system type was discussed. Further more, according to the storage principle (storage by using cool water, ice harvesting, ice on/in coil, capsulated ice, eutectic salts) systems were subjected one by one and for all, general descriptions and necessary information were given with the necessary storage tank information.

Before the design, related to the programming phase, general information was given . It contained necessary information about; programming phase, successful cool storage goals, performing building's load profiles, selecting system type related to operating strategy and energy storage, sizing system components.

Related to the subject successful cool storage applications through worldwide was overviewed. The initial and operating costs are compared with alternative systems and pay-back duration was expressed basing on users' declarations.

By using the information concluded from all of the above studies, a pilot project was selected for a special building which is located in a private university's campus and constructed in order to be used as Language Center of the university. By the implementation of ice storage technology to the building, a comparison between a conventional system was made according to the initial and operating costs criteria. Further, the conclusion was evaluated by taking into account worldwide applications.

1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun artması, çeşitli sorunlarla birlikte enerji ihtiyacının da artması sorununu da gündeme getirmiştir. 1970 'li yıllarda yaşanan enerji krizi, özellikle enerji açısından dışarıya bağımlı olan Avrupa ülkelerinde enerji korunumunu ve enerjinin verimli kullanımının önemini ön plana çıkartmıştır. Günümüzde, sanayileşme ve kalkınmanın en önemli girdileri arasında yer alan enerji, bütün dünya ülkelerinde olduğu gibi ülkemizde de önemini ve güncelliğini sürdürmektedir. Enerji kullanımı, endüstrileşme ve ekonomik gelişme ile yakından ilgili olup, enerji tüketimi de bu gelişmeler ile doğru orantılı olarak hızla artmaktadır. Bugün ülkemizin enerji tüketiminin %41 'i binaların ısıtılması, soğutulması ve havalandırılması gibi konforun sağlanmasına yönelik olarak kullanılmaktadır. Dünyada, enerji kaynaklarının sınırlı ve pahalı olması, enerjiyi verimli kullanmayı hedefleyen tasarım yaklaşımlarını ortaya koymuş, bu perspektifte, iklimlendirme sektöründe de çalışmalar yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir. Bu çalışmalardan biri de tesisat sektöründe, soğutmayı sağlayan kaynakların depolanması şeklinde oluşturulmuştur. Bu sistem, kullanıcının, enerjiyi verimli kullanmasına katkı sağlamasının yanında, kullanılan sistemin işletme maliyetinin de gözle görülür bir miktarda azaltılmasını sağlar.

Amerika' da, birçok Avrupa ülkesinde ve çok yakın bir zamandan beri ülkemizde elektrik tarifelerinde düzenlemeler yapılmıştır. Elektrik ücretlerinin, kullanımın en yoğun olduğu gündüz saatlerinde pahalı, gece saatlerinde ise ucuz olması, binada kısa süreli pik yüklerinin oluşması, kesin olmayan veya tahmin edilemeyecek pik yüklerin oluşması özellikle soğutma - iklimlendirme gerektiren endüstriyel ve ticari binalarda enerji depolarının kullanılması fikrini cazip hale getirmiştir. Soğu depolama sisteminin kullanımının başka bir sebebi de örneğin su depolamalı bir tankın ayrıca yangın suyu depolama tankı vazifesini de görmesi, böylece bu tankın maliyetinden ve bina içinde kaplayacağı alandan da tasarruf ediliyor olmasıdır. Bu şekilde çalışan bir sistemin verimli kullanımı, maksimum yüke göre değil de ortalama bir yüke göre tasarlanmayı gerektirdiğinden, soğutma sisteminin bileşenleri de daha küçük seçilecek ve sistemin birçok zaman atıl durumda kalması önlenmiş olacaktır. Ancak tüm bunlar tek başına ekonomik olarak bir avantaj sağlandığını göstermez. Çünkü depolama sisteminin maliyetini, değişen sistemi de göz önüne alarak düşünmek gerekir. Soğu depolama sistemleri için ekonomik analiz yapılırken, işletme ve bakım maliyetlerini de göz önüne almak gerekir.

2. SOĞU ENERJİSİNİ DEPOLAMANIN TEMELLERİ

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 düzeneği de bu maksimum yükü karşılayacak şekilde seçilir. Bu kritere göre seçilmiş bir cihaz, yükün az olduğu diğer saatlerde kısmi olarak çalışır, hatta bazı saatlerde hiç çalışmaz, atıl olarak kalır.

Birçok Avrupa ülkesinde, çok yakın bir zamandan beri ülkemizde ve Amerika'da elektrik kullanım ücretleri günün saatlerine göre değişiklik göstermektedir. Elektriğin pahalı olduğu saatler, binalar için gerekli soğutma yüklerinin maksimum olduğu gündüz saatleri, 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 düşebilecektir. (Soğu deposunun getireceği ilave yatırım masrafı, bazen bu durumun gerçekleşmesini engelleyebilir).

Soğu depolu ve deposuz sistemler arasındaki temel fark, depolu sistemlerde soğu enerjisinin üretilmesi ve kullanılması zamanlarının birbirinden ayrılmasıdır. Bu ayırım, yukarıda değinildiği gibi elektrik tüketim ücretlerinde azalma sağlar. Bunun yanısıra, soğu depolamalı bir sistemde, daha düşük bir yoğunlaşma sıcaklığında ve daha sabit bir yükü karşılamak için çalışacak olmalarından dolayı, su soğutucuların performans katsayıları da artar. Soğu deposu kullanımının faydaları aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- Çoğu kez ilk yatırım maliyetlerini düşürür;

Birçok 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 görevini de üstlenerek, bunun için aynı bir sistem kurulması için gerekli maliyetini de ortadan kaldırabilir.

Henüz tasarım aşamasında olan binalarda, soğu deposu kullanımına karar verilmesi, daha geniş alanların yaratılmasına olanak sağlayabilir. Hatta hava değişim sistemindeki fan ve kanalların boyutundaki küçülmeler sayesinde asma tavan içerisinde gerekli alan küçüleceğinden kat yükseklikleri artar. Bu sayede inşaat maliyetleri düşer ve bazı yüksek binalarda, bina yüksekliğini değiştirmeden ilave kat kazanılabilir. Bu durum, değerli arsalar üzerinde inşa edilen yüksek binalarda m² bazında bir kazanç sağlayacağından, yatırımcıya büyük bir avantaj sağlar.

- İşletme giderlerini azaltır;

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

- Elektrik donanımının boyutlarını küçültür;

Daha küçük soğutma ekipmanlarının kullanımı, soğutma gücünü sağlayan cihazların boyutlarının küçülmesi ve dolayısıyla çektikleri enerjinin azalması, bu cihazları besleyen MCC panolarının (Ana Dağıtım Panoları) 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, geniş alanlar kaplayan MCC panoları küçüleceğinden, yine bina içerisinde hacimden tasarruf edilmiş olunacaktır.

- İşletme esnekliğini artırır;

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

- Mevcut bir sistemin kapasitesini büyütür;

Mevcut bir sistemin soğutma kapasitesi, soğu deposu entegrasyonu ile, konvansiyonel deposuz bir sistemin ilavesine göre çok daha ucuza artırılabilir. Soğuk su depolama tankı,

mevcut sistemin soğutma kapasitesini yeni soğutuculara ve dolayısı ile bundan doğan ek maliyete gerek duyulmadan artırır. 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 arttırmak mümkündür. Soğuk su ve havanın mevcut dağıtım sisteminde daha düşük sıcaklıkta dolaştırılması, daha büyük yüklerin karşılanabileceği anlamına gelir.

- Yapının maksimum soğutma yükü, ortalama yükten önemli ölçüde fazla ise daha düşük kapasiteli bir soğutma cihazı seçilebilir;

Özellikle ofis binalarının soğutma yükleri, 24 saatlik ortalama yükten iki-üç kat yüksek bir değerde maksimum yüke ulaşır. Bazı endüstriyel işlemlere ait yük profillerinde de benzer durumlarla karşılaşılabilir. Örneğin süt teknolojisinde, belirli bir miktar sütü soğutmak için sistem tam kapasite ile bir süre çalıştırılır, daha sonra ise çoğu kez 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 artıkça, chiller kapasitesi o ölçüde daha küçük seçilebilir.

- Elektrik kullanım ücretlerinde, pik yüklerin olduğu saatlerle diğer saatler arasında önemli ölçüde farklılık var ise, tüketilen elektrik enerjisi bedeli azalacaktır;

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.

- Mevcut bir soğutma sisteminin büyütülmesi düşünülüyor ise, bu ekonomik yönden avantaj sağlar;

Bir yapıya eklemeler yapılması gündemde 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 soğuk deposu eklenme maliyeti, oluşan ek yükleri karşılamak için yeni su soğutucular edinme maliyetinden çok daha düşük olabilir.

- Binada mevcut bir tank var ise soğuk depolama amacıyla kullanılabilir;

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

- Soğutma ekipmanlarının büyük bir kısmı ithalat yoluyla sağlanıyor ise ilk yatırım maliyeti ek depo maliyetinden daha fazla olacaktır;

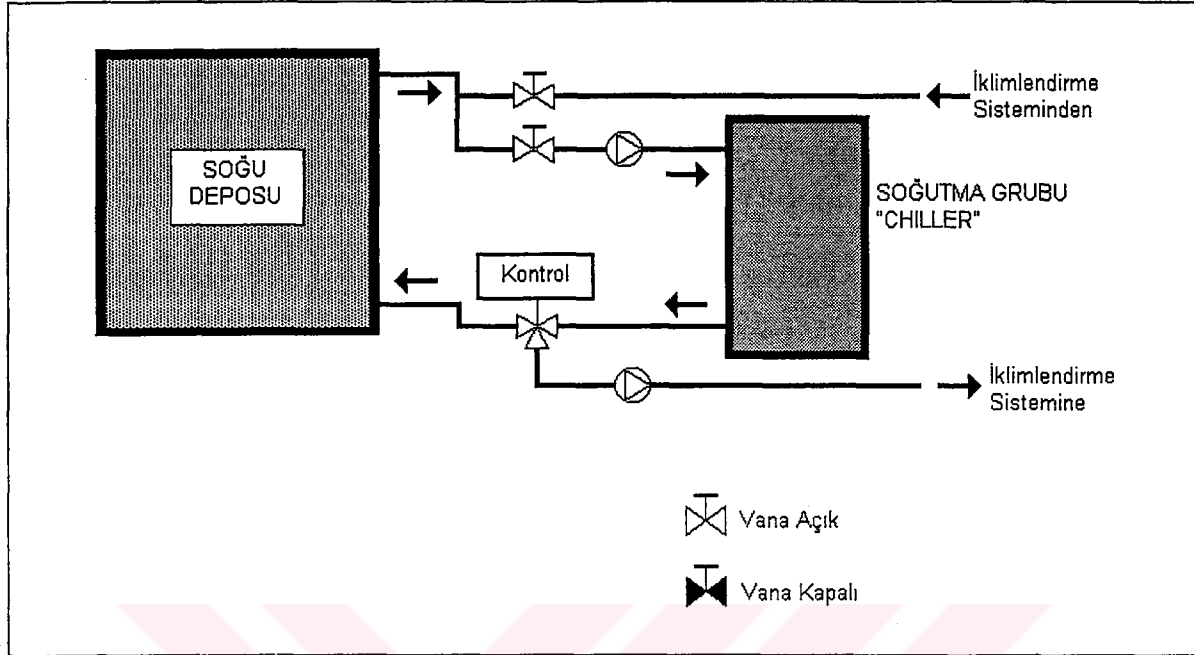
Su soğutma cihazları ithal ediliyorsa, fiyatlarının da yüksek olacağı aşikardır. Bu durumda soğuk deposu entegrasyonu ile su soğutucu kapasitesinde oluşacak düşmenin ilk yatırım maliyetinde meydana getireceği azalma, çoğunlukla ek depo maliyetinden daha fazla olacaktır.

- Düşük sıcaklıklı bir hava dağıtım sistemi kullanılıyor ise pompalar ve dağıtım sisteminde önemli küçülmeler sağlanır;

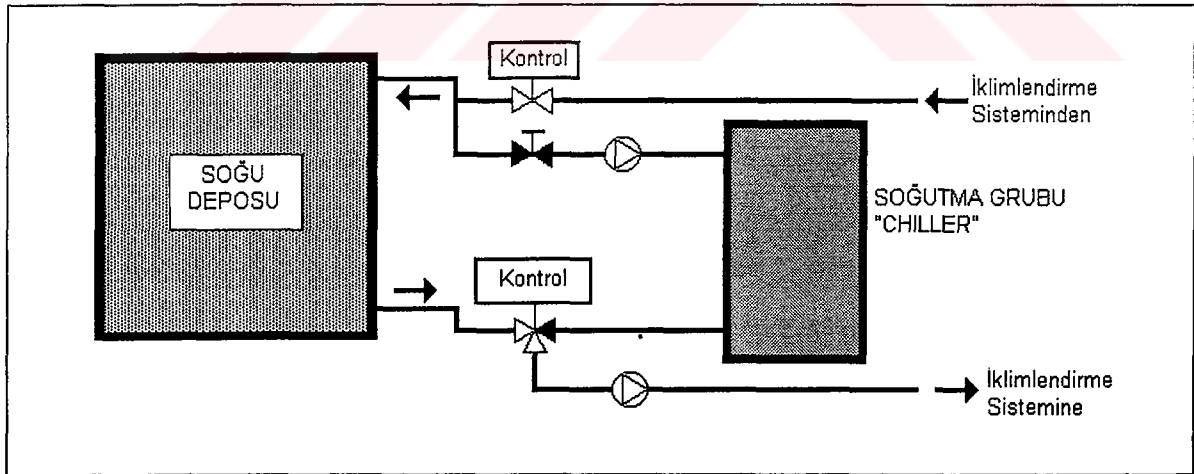
Özellikle buzun kullanıldığı soğuk depolama teknolojilerinde, su ve hava sıcaklıkları konvansiyonel sistemlere göre daha düşük olmaktadır. Bu da; pompaların ve dağıtım sistemindeki boru ve kanalların boyutlarında önemli küçülmeler yaratır. 6 °C - 9 °C arasında çalışan soğuk hava dağıtım sistemlerinin kullanıcıya sağladığı büyük yararlar vardır; bu şekilde, 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 dağıtımını ile karşılanabilir. Bunun için de; çoğunlukla buz enerji depolama maddesi olarak kullanan depolama sistemleri tercih edilir. Bu şekilde, düşük sıcaklıklı deposuz chiller temini ve kullanımına gerek kalmaz.

2.1 Soğu Depolama Sistemlerine Ait Temel Prensipler

Tam depolamalı bir sistemin şematik görüntüsü Şekil 2.1' de yer almaktadır.



Şekil 2.1a Soğu depolama çevrimi
(İlken, 1998 ; S 359)



Şekil 2.1b Soğu geri kazanımı çevrimi
(İlken, 1998 ; S 359)

Buna göre, 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. Bütün sisteme ait diğer bileşenler (soğutma grubu, iklimlendirme ünitesi, pompalar v.s.), konvansiyonel sistemlerde de aynı olduğundan, burada bu konuya özgü olarak karşımıza çıkan soğu deposu ve ona ait parametreler/özellikler üzerinde durmakta yarar vardır.

2.1.1 Depolamanın ana ilkeleri ve depolayıcılar

2.1.1.1 Depolamanın temelleri

Isının depolanması için iki temel metod, gizli ısının veya duyulur ısının depolanmasıdır. Duyulur ısı, depolanan enerjinin faz değişimi olmadan sıcaklık değişimini, gizli ısı ise faz değişimini esas alır.

Duyulur ısının hesaplanmasındaki diğer bir önemli parametre özgül ısıdır. Bir maddenin özgül ısısı sıcaklık değişimi ile o malzemenin soğu depolama kapasitesinin nasıl değiştiğini gösteren bir özelliktir. Özgül ısı bazen sabit sıcaklıkta (c_p), bazen sabit hacimde (c_v) verilir. Termodinamiksel olarak bunlar birbirinden tamamen farklıdır. Ancak yoğunluğun basınç ve sıcaklık altında fazla değişmediği sıvı ve katılar için aynı olarak alınabilir.

Duyulur ısının depolanmasında en çok tercih edilen malzemeler sıvı ve katılardır.

$$Q_{\text{depolanan}} = m \times c_p \times (T_2 - T_1) \quad 2.1$$

$$Q_{\text{depolanan}} = \rho \times V \times c_p \times (T_2 - T_1) \quad 2.2$$

Yukarıdaki ifadeden de görülebileceği üzere duyulur ısı depolamada iki temel özellik yüksek değerli özgül ısı ve yüksek değerli yoğunluk veya, $\rho \times c_p$ çarpanının büyük olmasıdır.

Çizelge 2.1 : Duyulur ısı depolama için kullanılan bazı malzemelerin özellikleri
(Johnson, 1995, S 14.7)

Malzeme	Özgül Isı c_p (kJ/kg °C)	Yoğunluk ρ (kg/m ³)	Çarpan $\rho \times c_p$ (kJ/ m ³ °C)
Su	4,186	1000	4186
Yağ	1,799	912	1640
Kaya	1,017	2720	2770
Demir	0.448	7840	3512
Tahta	1,758	352-720	619-1266

Çizelge 2.2 : Bazı faz değıştiren ısı depolama malzemelerinin özellikleri
(Johnson, 1995, S 14.8)

Malzeme	Faz Değişimi	Faz Değişim Sıcaklığı (°C)	Entalpi Değişimi Δh (kJ/kg)	İlk Durumdaki Özgül Hacim (m ³ / kg)	Son Durumdaki Özgül Hacim (m ³ / kg)
Su (Buhar)	Sıvıdan –Buhara	100	2260	0,001	1,688
Su (Buz)	Sıvıdan – Katıya	0	-334	0.001	0.0011
Ötektik Tuz	Sıvıdan – Katıya	8,3	-95	0.0006	0.0006

Soğ u depolama sistemleri değ iş ik varyasyonlar ve değ iş ik teknolojilerle gündeme gelebilir. Duyulur ısı depolanması depolama ortamının sıcaklığ ının değ iş tirilmesiyle yapılır ve depolanan kapasitenin kütle ve özgül ısısına bağı ldır. Duyulur ısı depolama, sistemlerin sıcaklıkla olan ilişkisine ve depolama ortamının çevreyle olan ilişkisinden kaynaklanan ısı transferine göre karakterize edilir.

Faz değ iş tiren sistemler, gizli ısıya dayandığı ndan büyük oranlardaki soğ u depolama hemen hemen sabit sıcaklıktadır. Soğ u depolamada en çok karşı laş ılan faz değ iş imi sıvı ile katı arasındadır. Bunun sebebi malzemenin özgül hacminde orta değ erde bir değ iş im olmasıdır. Sıvıdan katıya dönüşümlerde, sistemdeki hacim değ iş imi de göz önünde bulundurulmalıdır.

2.1.2 Soğ u depolayıcılar

En bilinen soğ u depolama ortamları; su, buz ve ötektik tuzlar olarak bilinen faz değ iş im malzemeleridir. Her bir ortamın, birim hacim baş ına depoladıkları enerji miktarları ve enerji depoladıkları sıcaklık (veya sıcaklık aralıkları) birbirinden farklıdır.

- **Su**

Su içerisinde soğu enerjisi, duyulur ısı olarak depolanır. Bu da suyun özgül ısı ile (4.18 kJ/kg °C) orantılıdır. Depolama hacmi depodan elde edilen su ile depoya geri dönüş suyu arasındaki sıcaklık farkına bağlıdır. Birçok 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 bağlıdır. 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 azalmanın olacağı söylenebilir.

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

- **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 ile 0.03 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 üreticiler 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. (TTMD III. Uluslararası Yapıda Tesisat Bilimi ve Teknolojisi Sempozyumu, 1998)

Soğuk hava, ortamda nemin de azalması sonucunu doğuracağından iç hava kalitesi artar.

- **Ötektik Tuzlar**

Ötektik tuzlar da gizli ısı yoluyla enerji depolayan faz değişim malzemelerdir. Belirli ve saptanmış sıcaklıklarda katılaşıp eriyebilmeleri için değişik formülasyonlarda üretilirler. Soğu depolama uygulamaları için kullanılan en genel formülasyon, inorganik tuzları, suyu ve yapısal kararlılığı 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. (TTMD III. Uluslararası Yapıda Tesisat Bilimi ve Teknolojisi Sempozyumu, 1998)

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 son zamanlarda 5 °C civarında faz değiştiren ötektik tuz karışımları da elde edilmiştir. Bu şekilde 5–6 °C'lik bir depo çıkış sıcaklığı sağlanmakta ve konvansiyonel hava dağıtım sistemleriyle daha uyumlu bir işletim elde edilmektedir.

2.1.3 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 ışınlam 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 (Otopark, Tenis kortu, Helikopter pisti v.b.) üstlerinde oluşabilecek ağırlıkları taşımalıdır. Kısmi veya tam olarak toprağa gömülmüş tanklar boşaltıldıkları takdirde doğabilecek yeraltı sularının hidrostatik basıncına da dayanıklı olmalıdır.

Depolama tanklarının şekilleri genellikle prizmatik veya silindiriktir. Soğuk su depoları veya dökümlü buzlu depolarda tank geometrisi depodan geri kazanılacak kullanılabilir soğu

miktarını önemli ölçüde etkiler, bununla ilgili detaylı bilgi 2.3.1. ve 2.3.2. kısımlarında yer almaktadır.

Soğu depolama tankları genellikle çelik, beton, fiberglass veya plastiktir.

2.1.3.1 Çelik tanklar

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

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 epoksi kaplama kullanılır. Toprak altına gömülü tanklarda ise çoğunlukla katodik koruma tercih edilmektedir.

2.1.3.2 Beton tanklar

Beton tanklar önceden imal edilmiş olabileceği gibi yerinde de imal edilebilir. Ülkemizde ticari anlamda bu amaca yönelik bir imalat sözkonusu olmadığından, betonun yerinde dökülmesi ile tankın imali tercih edilecek yöntem olarak görülmektedir. 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 sözkonusu olduğunda tankın tamamını boşaltmaya gerek kalmamalıdır.

2.1.3.3 Plastik tanklar

Uygulamada kullanılacak bir diğer tank çeşidi de plastik olanlardır. 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.

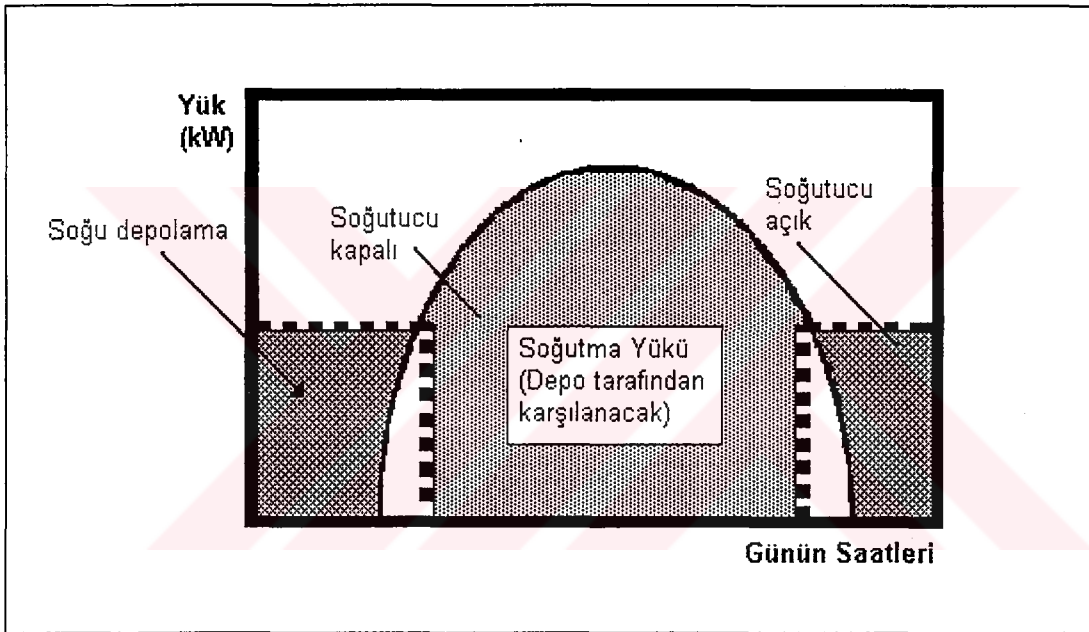
Tanklar, plastik yerine fiberglass'dan da imal edilebilir. Aranılan ortak özellik ise, diğer tanklarda olduğu gibi; mukavemet, korozyon direnci ve iklim koşullarına dayanıklılıktır.

2.2 İşletme Yöntemlerine Göre Soğu Depolama Sistemleri

Enerji depolama sistemlerinin işletim stratejileri, tam depolama veya kısmi depolama olarak adlandırılabilir. Bunun yanısıra uygulamaya göre değişebilen farklı stratejiler de mevcuttur.

2.2.1 Tam depolama

Bu işletme yöntemine göre; maksimum yükün olduğu anı da kapsayan bir zaman dilimi boyunca bütün yük depodan karşılanır. Bunun dışındaki zamanlarda ise soğutma grubu, ihtiyaca göre tamamen depoya veya kısmen depoya, kısmen yüke çalışır. (Şekil 2.2)



Şekil 2.2 Tam depolama (İlken, 1998 ; S 355)

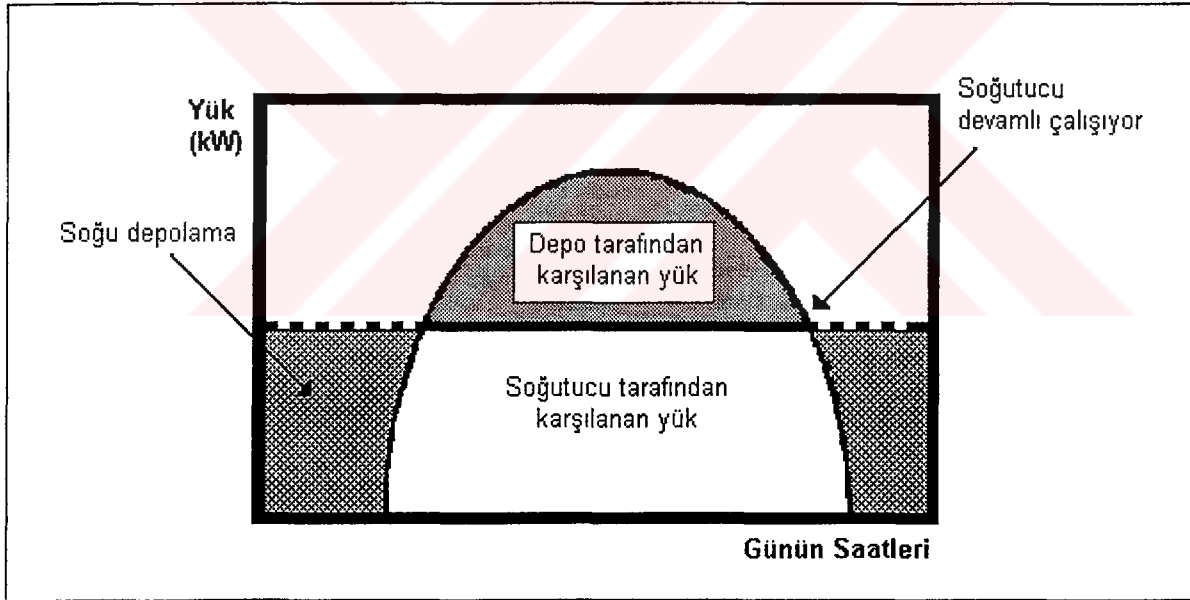
Bu işleme göre su soğutucular, çalıştıkları dönemlerde daima tam kapasite ile çalışırlar. Kesikli bir çalışma sözkonusu olduğundan, göreceli olarak yüksek soğutucu ve depo kapasiteleri gereklidir. Maksimum yükü içeren zaman diliminde elektrik ücretlerinin yüksek olduğu veya bu zaman diliminin kısa olduğu durumlarda bu işletim yöntemi tercih edilir. İdeal çalışan bir sistem için Şekil 2.2 'deki çapraz taralı alanlar birbirine eşit olmalıdır. Tam depolama durumunda sistemin kontrolü da oldukça basittir.

2.2.2 Kısmi depolama

Kısmi depolamalı bir sistemde, maksimum yükün olduğu dönemde soğutma yükünün bir kısmı depodan takviye edilir. Chiller grubu her zaman devrededir. Ancak seçilen chiller kapasitesi depolamasız bir sisteme göre daha küçüktür. Bu yöntemin benimsenmesindeki amaç, cihazın sürekli çalışarak sabit oranda elektrik harcaması veya değişik elektrik tarifesi uygulanan yerlerde belli bir oranın üstüne çıkmayarak güç aşımı yaratmamaktır. Kısmi depolama sistemleri orta ölçekli sistemlerde kullanılmak üzere uygundur. Bu işletim iki farklı şekilde gerçekleştirilebilir.

2.2.2.1 Yük seviyelemeli kısmi depolama

Bu işletim yöntemine göre, soğutma grubu - tasarım günü için - bütün gün çalışır. Yük, chiller kapasitesinin altına düştüğünde, chiller depolama amacıyla kullanılır. Yük, kapasiteyi geçtiğinde ise gerekli soğu fazlası depodan karşılanır. (Şekil 2.3)



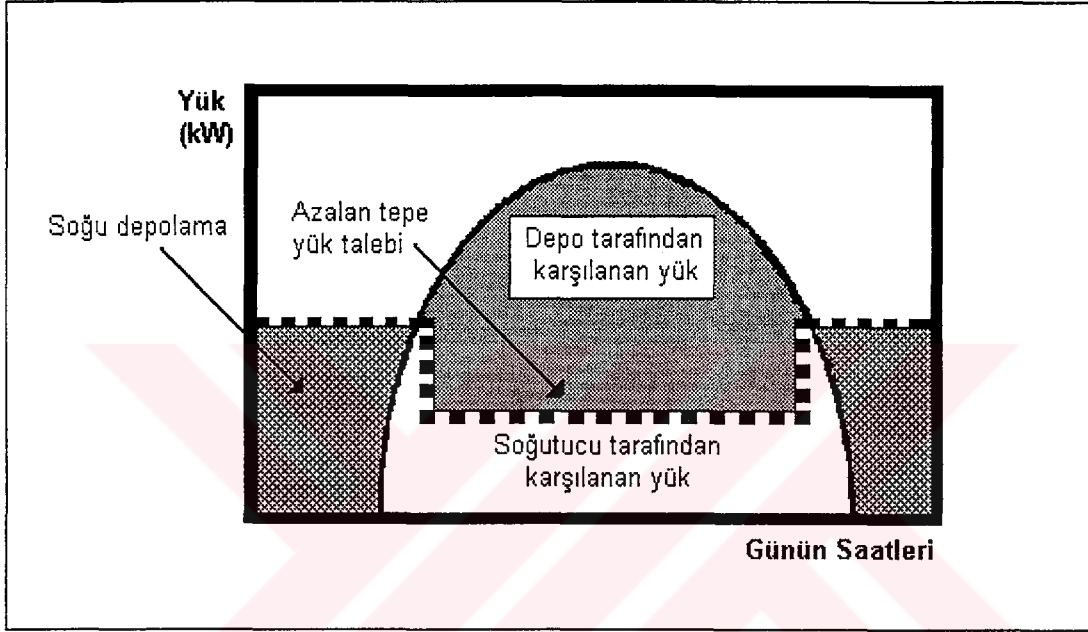
Şekil 2.3 Yük seviyelemeli kısmi depolama

(İlken, 1998 ; S 356)

Bu işletim yönteminin kullanımı, soğutma kapasitesi ve depo büyüklüğünü minimize eder. Tercih edildiği durum ise, tepe soğutma yükünün ortalama yükten çok fazla olduğu uygulamalardır.

2.2.2.2 Talep belirlemeli kısmi depolama

Bu yöntemde göre, soğutma ekipmanları, maksimum yükü içeren periyodda; talebin belirlediği düşük bir kapasiteyle çalışırlar. Bazı durumlarda, bu ekipmanların kontrolü, elektrik sayacına göre ve belirli bir seviyenin altında kalınması prensibine göre gerçekleştirilir. Böyle durumlarda bina kontrol sisteminde ek cihazlara gerek vardır. Bu yöntemin tercih edildiği durumlarda, maksimum yük dışı periyodda sistemin tamamı soğunun depolanması için çalışır (Şekil 2.4).

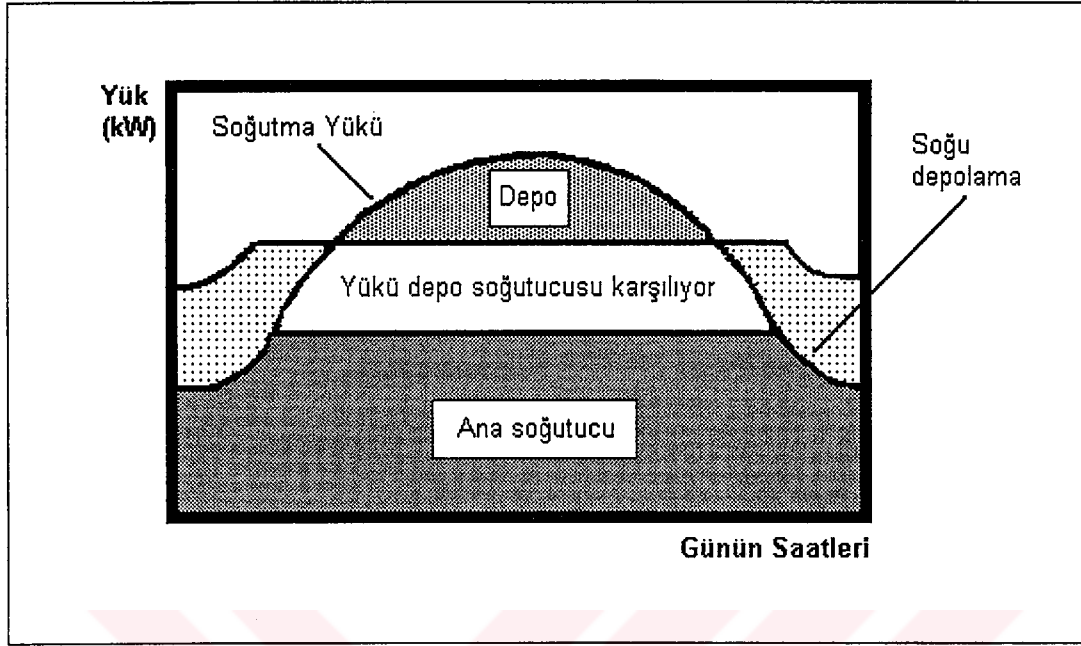


Şekil 2.4 Talep belirlemeli kısmi depolama
(İlken, 1998 ; S 357)

2.2.3 Uygulamaya göre değişebilen farklı stratejiler

Yukarıda tanımlanan sistemler; soğutma gereksiniminin belirli bir periyod boyunca gerektiği, ancak bu süre dışında herhangi bir yükün olmadığı (veya az olduğu) durumlar için uygundur. Ancak bazı uygulamalarda bütün gün boyunca belirli bir soğutma talebinin olması söz konusudur. Çoğunlukla daha az eğimli yük profillerinin olduğu bu gibi uygulamalarda birden fazla soğutucuyu bir enerji deposuyla birlikte ve belirli bir düzen içerisinde kullanarak tasarruf sağlamak mümkündür. Bu işlemler, gerek tam depolama, ve gerekse kısmi depolama yöntemlerinin kapsadığı prensiplere uygun olarak gerçekleştirilebilir.

Şekil 2.5 'de yer alan uygulamada bir 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.



Şekil 2.5 Ara soğutuculu bir soğu depolama sistemi
(İlken, 1998 ; S 357)

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 ise 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 periyodlara 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 periyodlarla çalıştırmak gerekebilir. Eğer tepe yükler, haftanın belirli veya birkaç gününde oluşuyorsa bu dağılımı dikkate alan haftalık periyotlu bir depolama - geri kazanım çevrimi uygun düşebilir. Örneğin bir kilisede tepe yükler sadece pazar günü oluşur, diğ günlerde ise soğutma yükü oldukça azdır. Bir spor salonu veya eğlence merkezi için de benzer şeyler söylenebilir. Yüklerin bu tesisler için hafta sonlarında daha fazla olacağı, hafta içi günlerde ise azalacağı aşikardır.

Hatta ofis binaları için bile benzer bir çalıştırma çevriminin daha uygun olabileceği söylenebilir.

Haftalık periyodlu sistemlerde sürenin çoğu depolama boyunca harcanacağından, bu tür bir periyod 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. Bazı tam depolama sistemlerinde de, 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 ise daha karmaşıktır. Burada amaç, depolanan soğuyu maksimize etmek olduğundan, yüksek yükleri karşılamada soğutucuya destek olacak yeterli soğunun var olup olmadığını kontrol etmek gerekir.

2.3 Depolama Malzemesi ve Yöntemine Göre, Soğu Depolama Sistemleri

Bu bölümde, bir önceki kısımda tanıtılan soğu depolayıcıların, farklı soğu depolama tekniklerindeki kullanımları anlatılmaktadır. Altı farklı sistemin tanıtılmaya çalışılacağı bu kısımda, her bir sistem için önce genel bilgi aktarılacak daha sonra soğutma sistemleri, depolama tankları ve boyutlandırılması, kontrol sistemleri gibi konularda bilgiler verilecektir.

2.3.1 Soğuk su ile 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 (absorbsiyonlu olanlar dahil) kullanımını olanaklı kılmaktadır.

Soğuk sulu sistemlerde yukarıda değinilen 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 gereksinimi doğmaktadır. Ancak, soğuk su depoları görece olarak uzun olduğundan, yer işgali konusunda diğer sistemlerle başabaş sonuçlar verebilir.

Soğuk su ile depolamanın 7000 kWh'den (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.

Su depolamalı tanka sahip soğu depolama sistemlerinin önemli özellikleri şunlardır:

- Su depolama tankları, depolama tankı dışında hiçbir özel cihaz gerektirmeyen standart chiller grupları ile kullanılabilirler.
- Bu tanklar hem ılık hemde soğuk suyu depo edebilirler.
- Mevcut bir sisteme soğu depolama takviyesi yapılacaksa su depolamalı tank en ideal çözümdür.
- Tank kapasitesi büyüdükçe su depolama tankları daha ekonomik hale gelir.
- Denenmiş ve güvenilir sistemlerdir.
- Su depolamalı soğu depolama sistemlerinin otomasyonu daha kolaydır.

- Tankta depo edilen su aynı zamanda yangın suyu depolama tankı olarak kullanılabilir.

Su depolama tankı kullanımının dezavantajları ise, suyun dar sıcaklık aralığı yüzünden kapasitede sınırlama, tankta karışım önlenemediği takdirde tanktan çekilen suyun sıcaklığındaki değişim, tankın çevreyle olan ısı transferi ve tankın ilk yatırım maliyetidir.

Soğuk su depolama sistemlerinde temel prensip, soğuk depo yükleme suyu ile ılık dönüş suyunu ısı olarak birbirinden ayırmaya dayanır. Bu işlem temel olarak dört şekilde gerçekleştirilebilir.

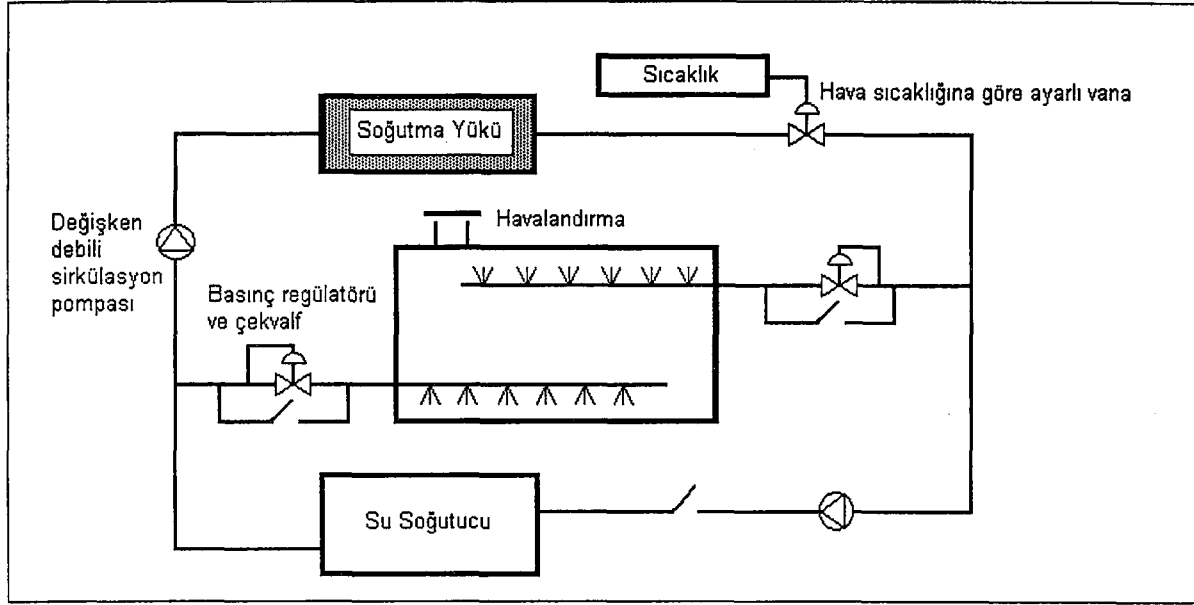
- 1) Katmanlaşma
- 2) Çoklu tank kullanımı
- 3) Örtenek veya diyafram kullanımı
- 4) Labirent ve saptırıcı kullanımı

2.3.1.1 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 devam eder. Bunun sonucunda tankı dolduran su; yoğunluğuna bağlı olarak farklı katmanlarda farklı sıcaklıklara sahip olan bir profil gösterir. Soğu depolama sistemleri için, sayısal değerlerle ifade etmek gerekirse; 4–6 °C civarındaki su, tankın alt bölümünde, 10–18 °C civarındaki su ise üst bölümlerde toplanır. Böylece tank içinde kendiliğinden oluşan bir katmanlaşma meydana gelir. İyi tasarlanmış bir depolama tankında, soğuk ve ılık suyu birbirinden ayıran bir geçiş bölgesi oluşur. Kararlı ve keskin bir profile sahip bu bölge, alttaki soğuk su ile üstteki sıcak suyun birbirlerine karışmalarını önler. Bu kararlılığı sağlayabilmek ve sürdürülebilmek için en önemli konu, suyun tanka giriş ve çıkışını sağlayan difüzörlerin doğru tasarlanmış olmasıdır.

Depolama periyodunda, soğuk su, tanka dipte yer alan difüzörlerden girer. Ilık su ise yukarıdan alınır. Soğuk su miktarı arttıkça geçiş bölgesi yükselir, ancak tankın içerisindeki su hacmi sabit kalır. Soğu geri kazanım periyodunda ise akış yönü tersine döner, ılık su yukarıdan yavaşça tanka verilirken, soğuk su aşağıdan alınır. Difüzörlerin uygun tasarımı ile; türbülans yaratmadan, geçiş bölgesinin kararlılığı korunarak enerji depolama ve geri kazanım

işlemleri yürütülebilir. Katmanlaşmalı bir soğuk su depolama sistemine ait şematik diyagram, Şekil 2.6 'da yer almaktadır.



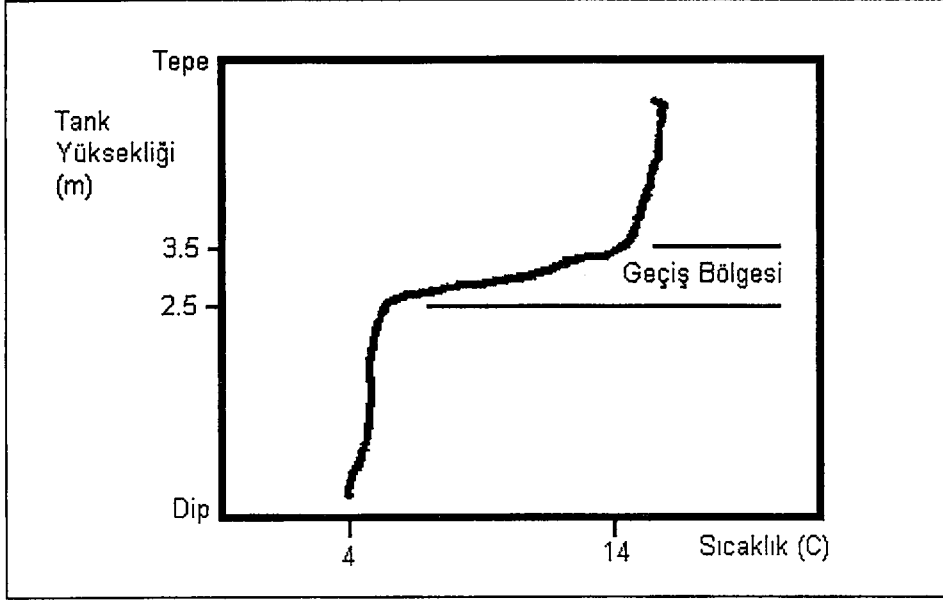
Şekil 2.6 Katmanlaşmalı bir soğuk su depolama sistemi

(Johnson, 1995, S 15.5)

Bu tür bir tankın depolama kapasitesi - diğer soğuk su depolama yöntemlerinde olduğu gibi - depolanan soğuk su ile yükten gelen ılık dönüş suyu sıcaklıkları arasında farkla orantılıdır. Bu farkın fazla olması ılık ve soğuk su yoğunlukları arasındaki farkın artmasına neden olacağından katmanlaşmayı da kolaylaştırır.

Geçiş bölgesi ve tank çeperleri boyunca olan ısı kazanç veya kayıpları, geçiş bölgesinin aşılmasına veya yükselmesine neden olur. Çoğunlukla bu tür bir depo için ısı kazancı sözkonusu olacağından, geçiş bölgesi giderek alçalır ve soğuk su miktarı azalır. Eğer tank olduğu gibi bırakılırsa muhtemelen içinde, birkaç gün içerisinde kullanılacak soğuk su kalmayacaktır.

Difüzör tasarımına bağlı olmak üzere, iyi bir tasarım için geçiş bölgesi kalınlığı 30 cm ile 1 m arasında değişir. (ASHRAE Applications, 1995) Şekil 2.7 'de tipik bir depo içi sıcaklık dağılım profili yer almaktadır.



Şekil 2.7 Tipik bir katmanlaşmalı sıcaklık profili
(İlken, 1998 ; S 364)

- 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 (ASHRAE Applications, 1995) , 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 gerektiği söylenebilir.

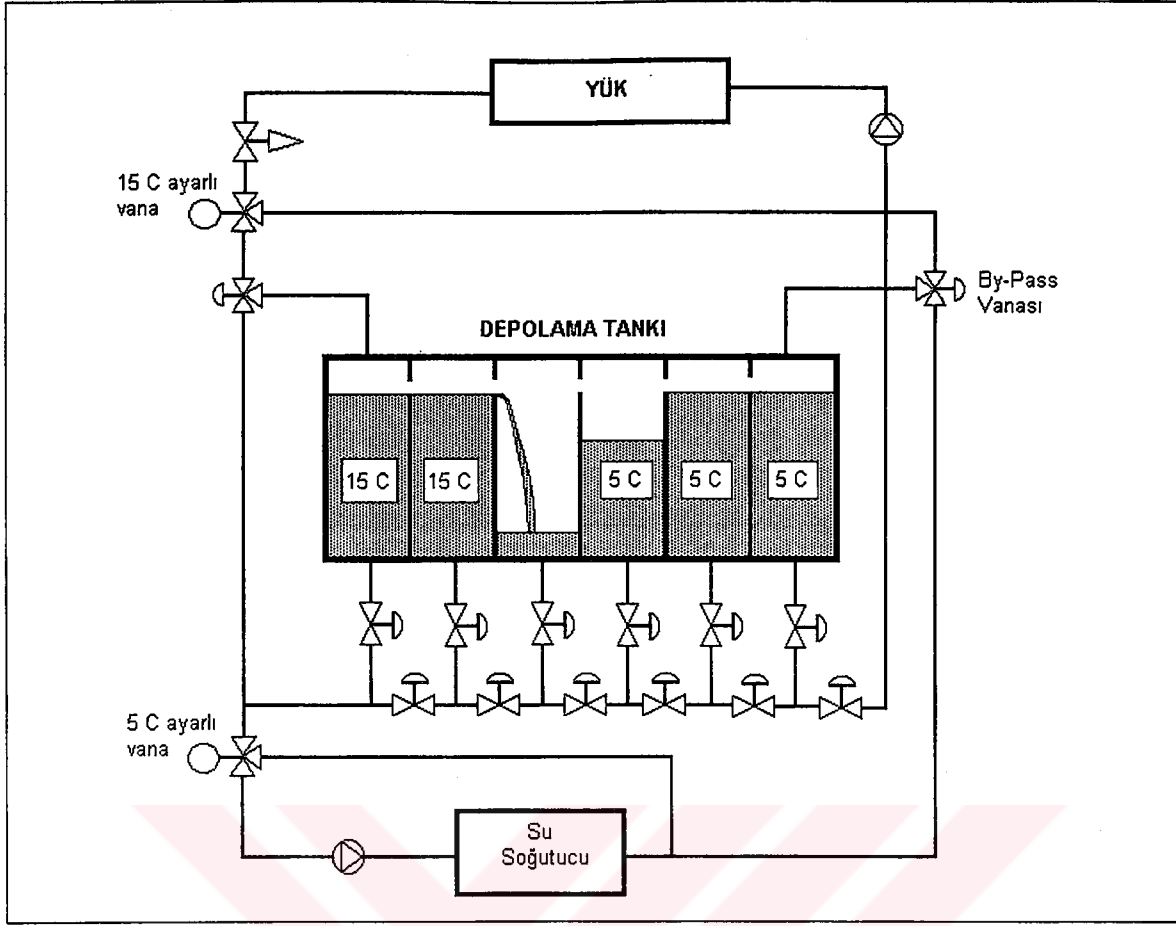
$$Fr = \frac{Q}{L \cdot [g \cdot h_i^3 \cdot (\Delta\rho/\rho_i)]^{1/2}} \quad 2.3$$

olarak tanımlanmıştır. (ASHRAE Applications, 1995)

Difüzör kollarındaki su akış delikleri/kanalları üniform hızda bir akış temin edecek 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 üniformalığı sağlamaya yardım etmesi açısından; herhangi bir difüzör kolundaki su akış yerlerinin toplam alanının, difüzör borusunun kesit alanının yarısını geçmemesi gerektiği önerilmiştir. (TTMD III. Uluslararası Yapıda Tesisat Bilimi ve Teknolojisi Sempozyumu, 1998)

2.3.1.2 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. Şekil 2.8 'de tipik bir çoklu tank sistemi şematik olarak yer almaktadır.

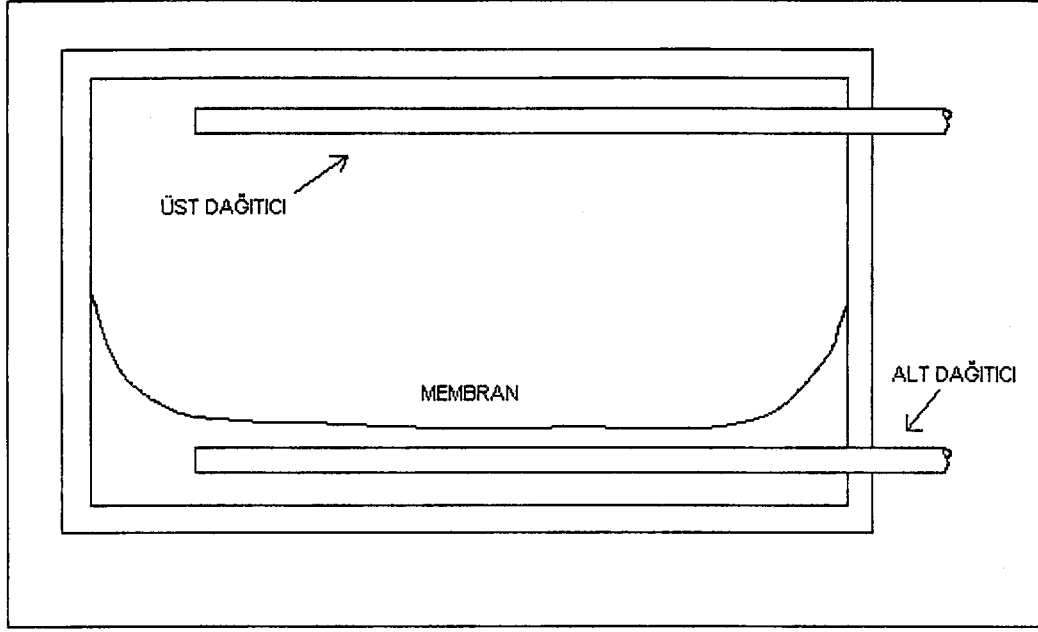


Şekil 2.8 Çoklu tank sistemi
(İlken, 1998 ; S 366)

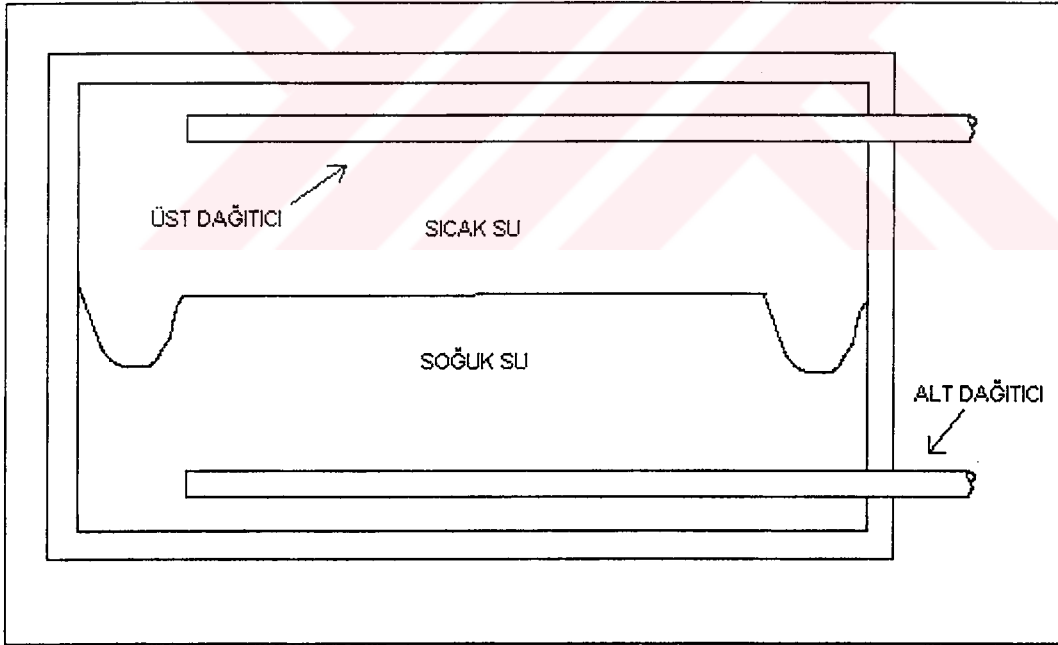
Çoklu tank sistemleri görece olarak karmaşık bir borulama ve kontrol gerektirdiğinden ilk yatırım ve bakım maliyetleri yüksektir. Sistemdeki pompalar sürekli olarak değişen dinamik bir yüke karşı çalışacağından, seçimleri de o oranda güçleşir.

2.3.1.3 Örtenek veya diyafram kullanımı

Bu yöntemle göre, soğuk ve ılık su ortamları birbirinden tank içerisine yerleştirilmiş esnek bir örtenek (membran) veya hareketli bir diyafram yoluyla ayrılırlar. Buna göre difüzörlere gerek kalmadan bir tank içerisinde birbirine karışmayan iki farklı sıcaklık ortamı yaratılmış olur. Örtenek boyunca olan ısı geçişi bir enerji kaybına neden olsaydı da bu tür sistemlerin katmanlaşmalı sistemlerle aynı ısıl performansı verdikleri gösterilmiştir.



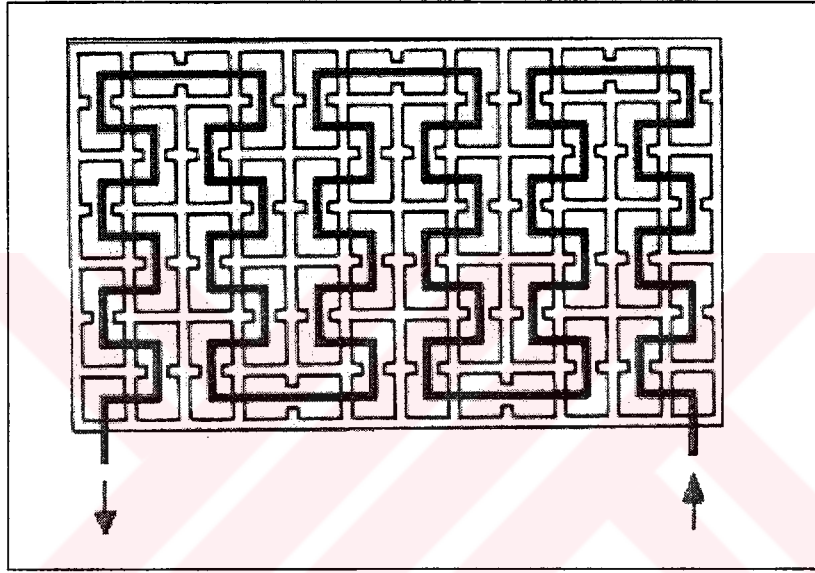
Şekil 2.9a Diyaframlı (Membran) bir sistem – Tam deşarj durumunda membran pozisyonu
(1995 Applications – ASHRAE, S 40.10)



Şekil 2.9b Diyaframlı (Membran) bir sistem - Kısmi deşarj durumunda membran pozisyonu
(1995 Applications – ASHRAE, S 40.10)

2.3.1.4 Labirent kullanımı

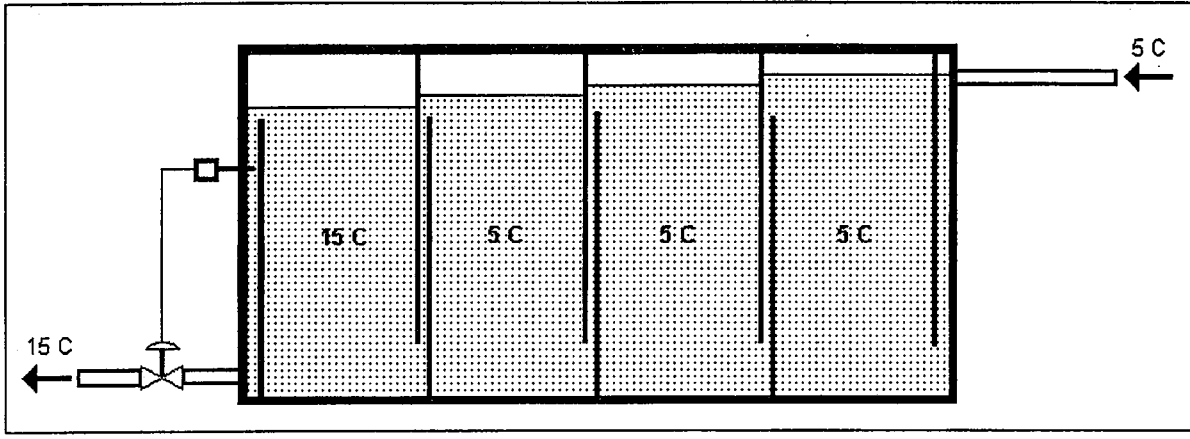
Bu sisteme göre, depo içerisinde labirentler yaparak ve saptırcılar kullanarak akım yolu güçleştirilir ve daraltılır. Bu şekilde ılık ve soğuk suyu birbirinden ayıran bir tampon akışkan bölge oluşturulur. Bu bölgenin sıcaklığı, soğuk ve ılık su sıcaklıklarının arasında bir değere sahiptir. Soğu depolama 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 2.10).



Şekil 2.10 Labirentli sistem

(1995 Applications – ASHRAE, S 40.10)

Labirent yaklaşımının kullanıldığı bir diğer uygulama seri tanklar yöntemidir. Buna göre sistemde birbirine seri olarak bağlı bir dizi tank vardır. Soğuk su ilk tanka, tank tabanından girecek şekilde pompalanır. İlk tanktan taşan su ikinci tanka, ikinci tanktan taşan üçüncü tanka v.b. 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 2.11).



Şekil 2.11 Seri tanklar yöntemi
(İlken, 1998 ; S 368)

- 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 anlamına gelir.

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

Beton tanklar için yükseklik/çap oranı 0.25 ile 0.50 arasındadır. 0.25 ile 0.33 arasındaki bir değer optimal olması ihtimalinin daha yüksek olduğu rapor edilmiştir. (TTMD III. Uluslararası Yapıda Tesisat Bilimi ve Teknolojisi Sempozyumu, 1998) Bu tankların minimum yüksekliği 7 m. civarındadır. Beton tankların yüksekliklerinin 14 m.'den az olması halinde daha ekonomik oldukları belirtilmekle birlikte daha yüksek tanklara da rastlanmaktadır.

Toprak üzerine yerleştirilen çelik tanklar için tipik yükseklik/çap oranları 0.5 ile 1.2 arasında, yükseklik değerleri ise 12 ile 15 m. arasında değişmektedir.

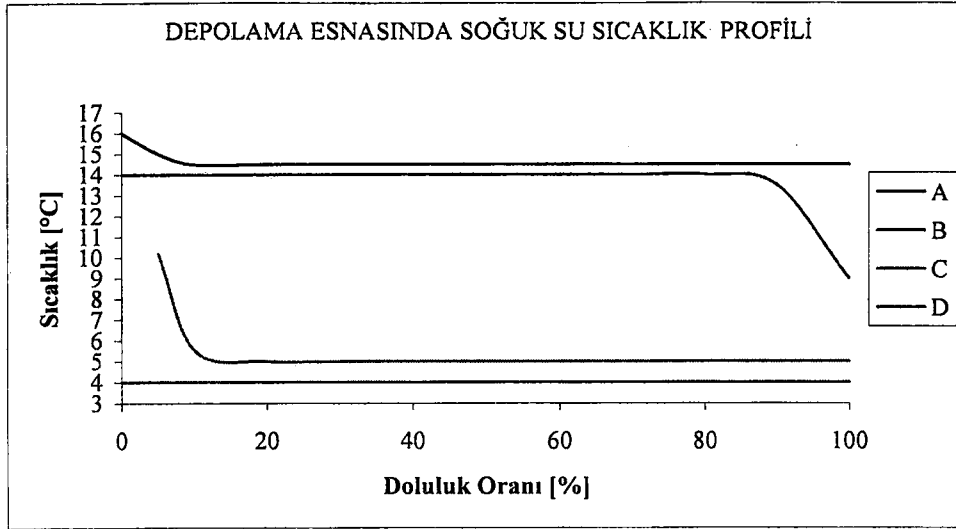
Katmanlaşmalı soğuk depolama uygulamalarında diğer tank şekilleri de kullanılabilir. Küresel tanklar en düşük yüzey/hacim oranına sahip olmakla birlikte, iyi bir katmanlaşmaya izin vermezler. Silindirik tankların yatay olarak yerleştirilmeleri de aynı nedenle kabul görmemektedir.

Soğuk su depolama tankları, diğer soğuk depolama teknolojilerinin gerektirdiği tanklara göre daha büyük olduğundan, bina çevresine yerleştirme bir problem oluşturabilir. Eğer tank için uygun bir boş alan yoksa, yer altına (tenis kortu, otopark v.b.) yerleştirme de düşünülebilir. Toprak üstü yerleşim dekorasyon için bir sakınca yaratıyorsa, uygun bir peyzajla (ışıklandırma, renklendirme v.s.) kamuflaj sağlanabilir.

Depolama tankının soğutuculara ve pompalara yakın olması ısı kayıpları ve boru maliyetini düşürür.

Bir soğuk depolama sisteminde, giriş ve çıkış suyu sıcaklıkları arasındaki farka bağlı olarak bir sıcaklık profili oluşturulmuş ve FoM (FoM, Merit sayısı) sayısının belirlenmesinde kullanılmıştır. Bu sayı tanktan elde edilebilecek soğutma miktarını ifade eder. (ASHRAE Applications, 1995) Tanım olarak; depodan çekilen enerji miktarının, teorik olarak depolayabileceği tüm soğuyu depolamış bir tankta mevcut soğuk miktarına oranıdır.

İyi tasarlanmış difüzörler içeren bir katmanlaşmalı soğuk deposu için FoM değeri 0.9 veya daha fazla olabilmektedir. Yani, bir su soğutucu ile 100 birimlik soğuk, bir tanka depolanmışsa, bunun 90 birim veya daha fazlasını, kullanım suyunun sıcaklığı maksimum kullanılabilir sıcaklığını geçmeden geri kazanabilmek mümkündür.



Şekil 2.12 Depolama esnasında soğuk su sıcaklık profili
(Applications 1995 – ASHRAE, S 40.10)

FoM sayısının hesaplanmasında yukarıdaki grafikten faydalanılır. Bu grafikte,

- A – Deşarj anında tanka sağlanan yük
- B – Geri kazanım çevriminde tanktan chillere sağlanan yük
- C – Deşarj anında depodan binaya sağlanan yük
- D – Geri kazanım çevriminde chillerden tanka sağlanan yük

Bu sayının % olarak hesaplanmasında aşağıdaki formülden faydalanılır.

$$FoM = \frac{A - C}{A - D} \cdot 100 \quad (\%) \quad 2.4$$

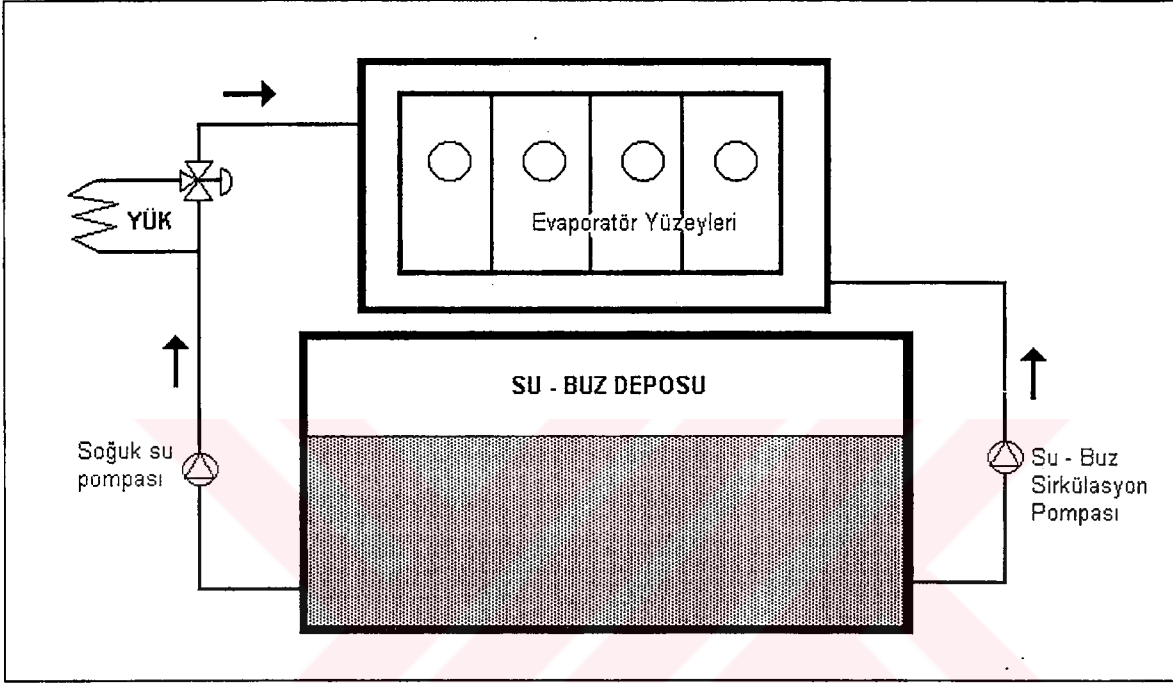
Gerekli tank hacmi

$$V = \frac{Q}{\rho \cdot c_p \cdot \Delta T \cdot FoM} \quad (m^3) \quad 2.5$$

bağıntısından bulunabilir.

2.3.2 Buz toplama tekniği ile soğu depolama

Buz toplama 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 2.13).



Şekil 2.13 Buz toplama tekniği ile soğu depolama sistemi

(Johnson, 1995, S 15.6)

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 olarak 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 sn 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.

Buz toplama sistemlerinin bazı özellikleri şöyledir:

- Tank üzerine oturtulmuş buz üreticisi buz veya soğuk su üretir.
- Kısa süreli soğutma ihtiyaçlarına hemen cevap verir, uzun süreli ve yüksek miktarda deşarj sağlar.
- Yük profiline göre sistem kolaylıkla buz üretme çevriminden soğuk su üretme çevrimine geçebilir.
- Tank içinde buz ile birlikte yer alan su sıcaklığı oldukça düşüktür. Bu sayede hava dağıtım sisteminde kanal kesitleri önemli ölçüde daralır.

Bu sistemlerin dezavantajı buz üretme cihazının normalde kullanılan konvansiyonel chillerler ile ton başına soğutma kapasitesi ile karşılaştırıldığında daha pahalı olmasıdır. Ayrıca suyu soğutmak yerine buz haline getirmek için harcanan enerji daha fazladır.

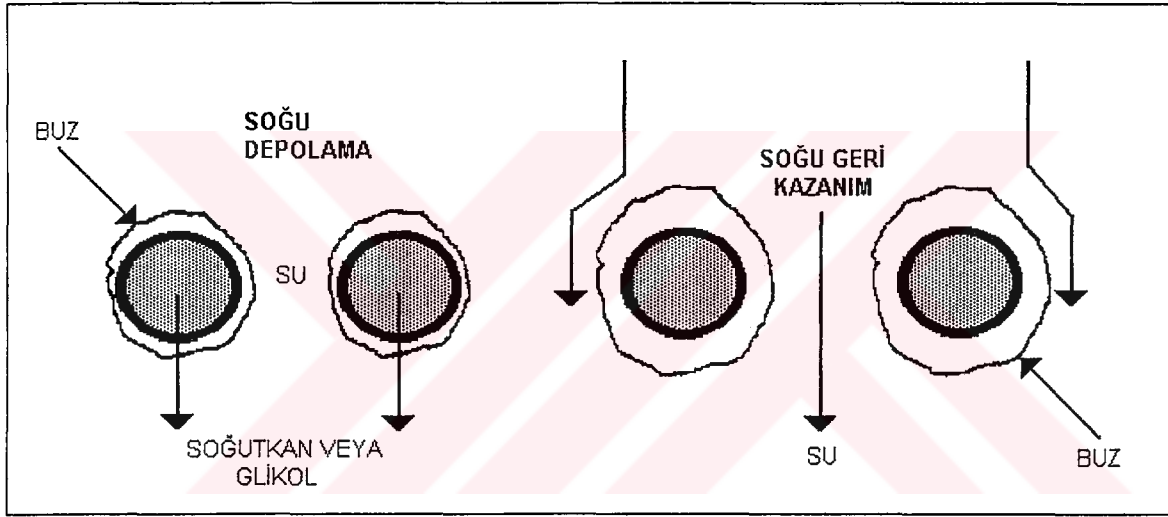
- Depolama Tankları

Buz toplama tekniği içeren 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 uniform bir dağılımla tank içerisine boşalmasını sağlamak gerekir. Dökümlü buz sistemlerinin kapasitesi önemli ölçüde evaporatöre giren suyun dönüş sıcaklığına bağlıdır. Kapasite, çevre sıcaklığına bağlı yoğuşma sıcaklığıyla da ilgilidir.

2.3.3 Boru sarmalı dışında buz ile soğu depolama

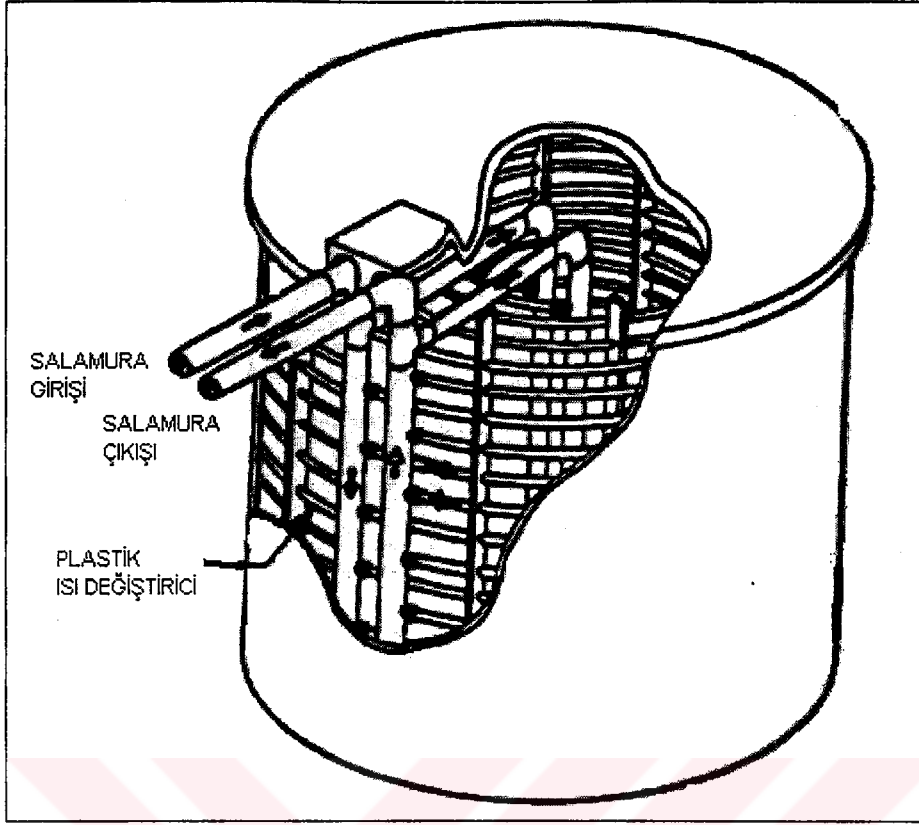
Bu yöntemle göre, dış yüzeylerinde buz oluşturularak soğunun depolanacağı boru sarmalları atmosfere açık bir su dolu tank içerisine daldırılır. Borular genellikle krom veya paslanmaz çelikten imal edilir, ısı iletkenliği küçük olmakla birlikte düşük maliyetten dolayı plastik boruların kullanılması da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

Soğuyu depolamak için, sıvı soğutkan veya bir glikol çözeltisi gibi ikincil bir akışkan boru sarmalı içerisinden 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 2.14)



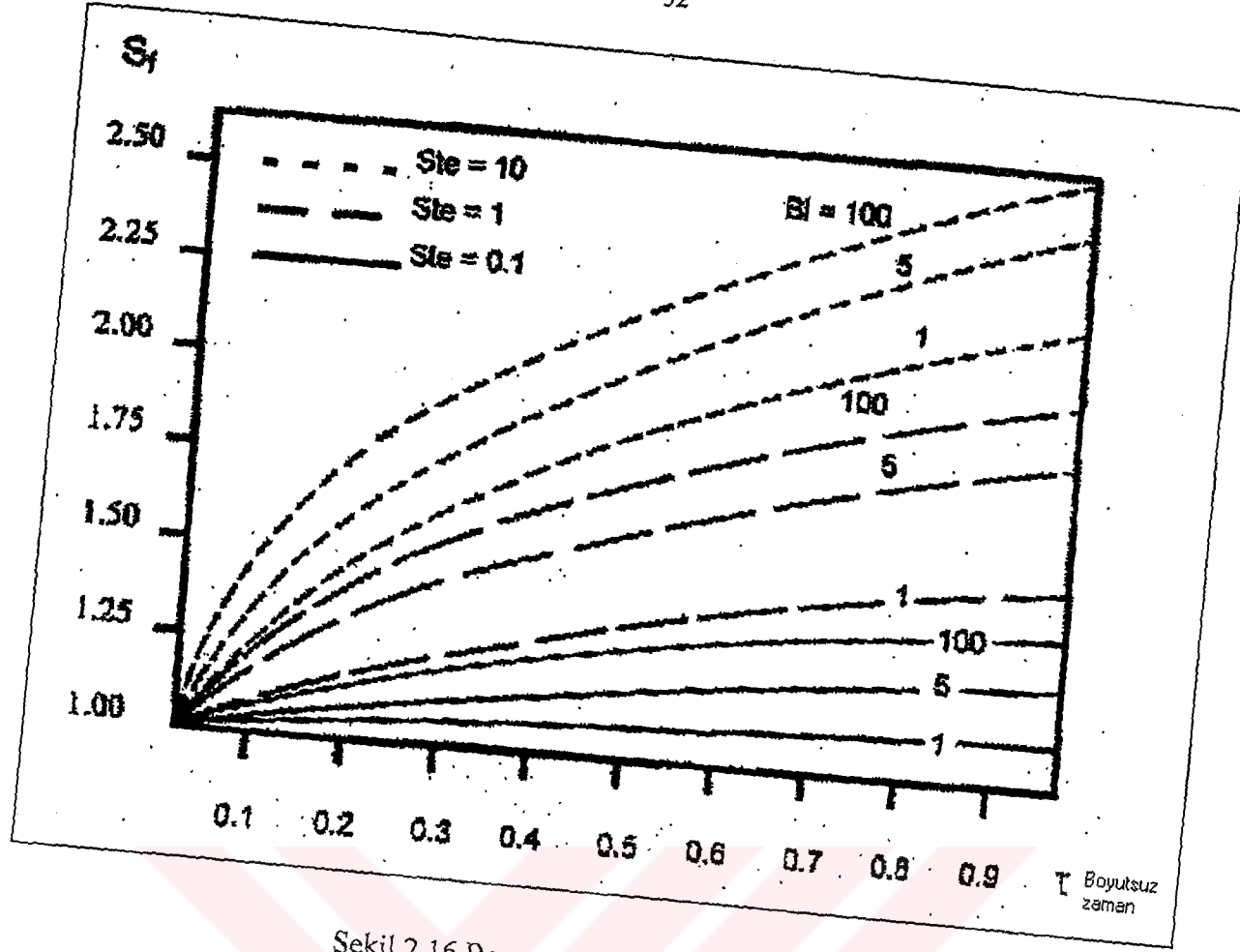
Şekil 2.14 Boru dışında soğu depolama ve geri kazanım

(Johnson, 1995, S 15.8)



Şekil 2.15 Boru dışında buz üreten soğu depolama tankı
(YORK Air Conditioning and Refrigeration Kataloğu, 1994, S 3)

Deponun 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. Bu konuda, problemin matematik modeline ait denklemlerin integral yöntemle çözümü sonrasında Şekil 2.16 'de yer alan grafik elde edilmiştir. (TTMD III. Uluslararası Yapıda Tesisat Bilimi ve Teknolojisi Sempozyumu, 1998) Bu grafikte yer alan değişkenlerin tanımlamaları aşağıda verilmektedir.



Şekil 2.16 Boru çevresinde katılaşma hızı
(İlken, 1998 ; S 372)

$$Ste \text{ (Stefan Sayısı)} = \frac{c_{p_s} \cdot (T_m - T_0)}{L}$$

2.6

c_{p_s} = Buzun Özgül Isısı [kJ/kg °C]

T_m = Suyun Faz Değişim Sıcaklığı = 0 °C

T_0 = Boru İçinde Akan Akışkanın Ortalama Sıcaklığı [°C]

L = Suyun Faz Değişim Gizli Isısı = 335 kJ/kg

$$Bi \text{ (Biot Sayısı)} = \frac{h \cdot r_0}{k_s}$$

2.7

Herhangi bir t anı için buna karşılık gelen s değeri bulunduktan sonra, (s-r₀) kalınlığındaki buz tarafından bu ana kadar depolanmış bulunan soğu enerjisi (gizli ısı olarak) birim boru boyu için

$$\tau (\text{Boyutsuz Zaman}) = \frac{\alpha_s \cdot t}{r_0^2} \quad 2.8$$

Herhangi bir t anı için buna karşılık gelen s değeri bulunduktan sonra, (s - r₀) kalınlığındaki buz tarafından bu ana kadar depolanmış bulunan soğu enerjisi (gizli ısı olarak) birim boru boyu için;

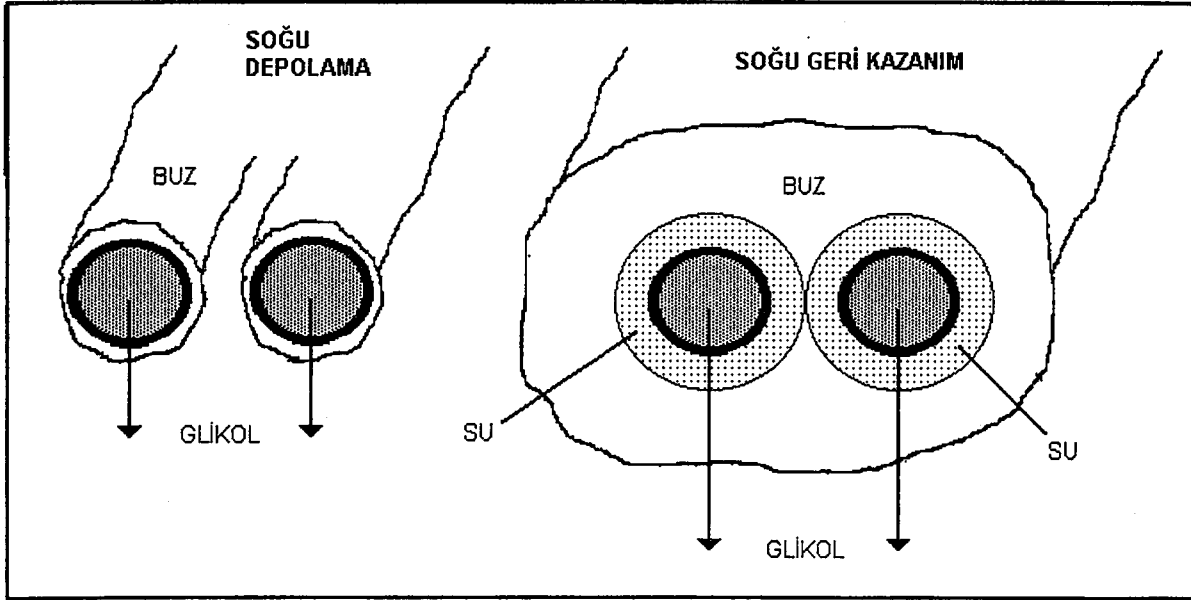
$$Q_{depolanan} = \rho_s \cdot \pi \cdot (s^2 - r_0^2) \cdot L \quad 2.9$$

bağıntısından hesaplanabilir. Boru içerisinden geçen akışkanın sıcaklığına bağlı olarak buz içerisinde bir miktar duyulur soğunun da depolanması sözkonusudur. Ancak faz değişimli sistemlerde bu miktar, toplam depolanan enerjinin küçük bir kısmını oluşturur. Emniyetli bölgede yer alınacağı da düşünülerek bu enerji dikkate alınmayabilir.

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

2.3.4 Boru sarmalı üzerinde içten eritmeli buz ile soğu depolama

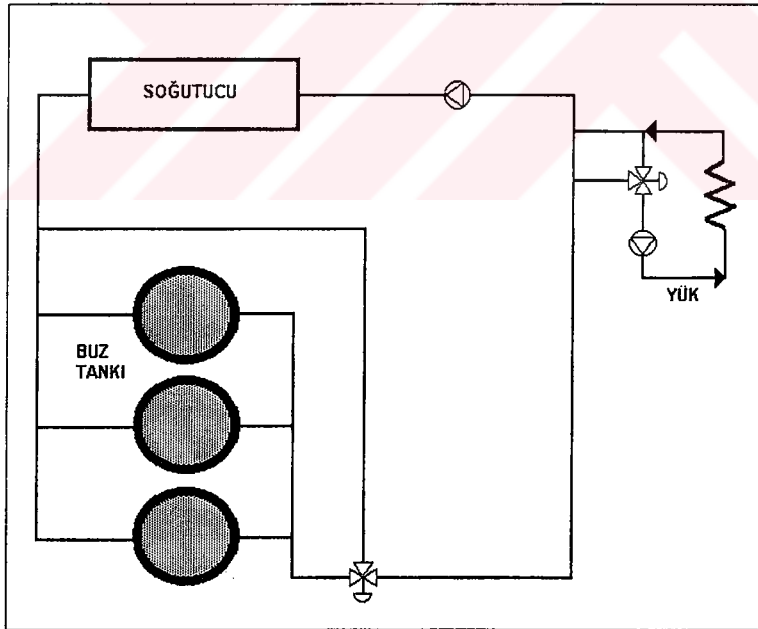
Bu sisteme göre, bir ikincil akışkanın boru içinde kullanımı ile (genellikle etilen glikol) su, boru sarmalı çevresinde katılaştırılır ve soğu depolanır. Geri kazanım periyodunda ise; bu kez suyun erime sıcaklığından daha yüksek sıcaklık değerine sahip aynı ikincil akışkan boru içinde sirküle ettirilerek, boru dış çeperinden itibaren buzun erimesi sağlanır (Şekil 2.17).



Şekil 2.17 Boru dışında soğu depolama ve buzlu içten eriterek geri kazanım

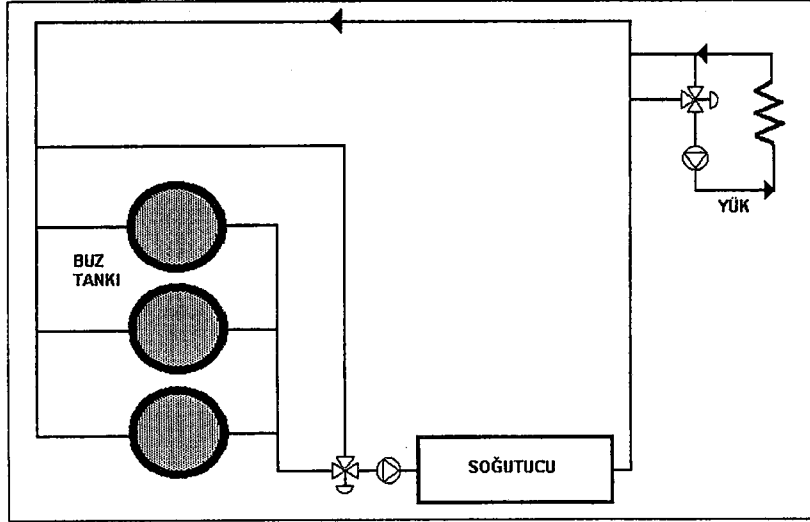
(Johnson, 1995, S 15.8)

Bu sistemlerde, soğutucunun buz tankından önce ve sonra bağlandığı iki farklı uygulama söz konusudur. (Şekil 2.18)



Şekil 2.18a Soğutucu bağlantı tipleri (Soğutucu buz tankından önce)

(İlken, 1998 ; S 374)



Şekil 2.18b Soğutucu bağlantı tipleri (Soğutucu buz tankından sonra)
(İlken, 1998 ; S 374)

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.

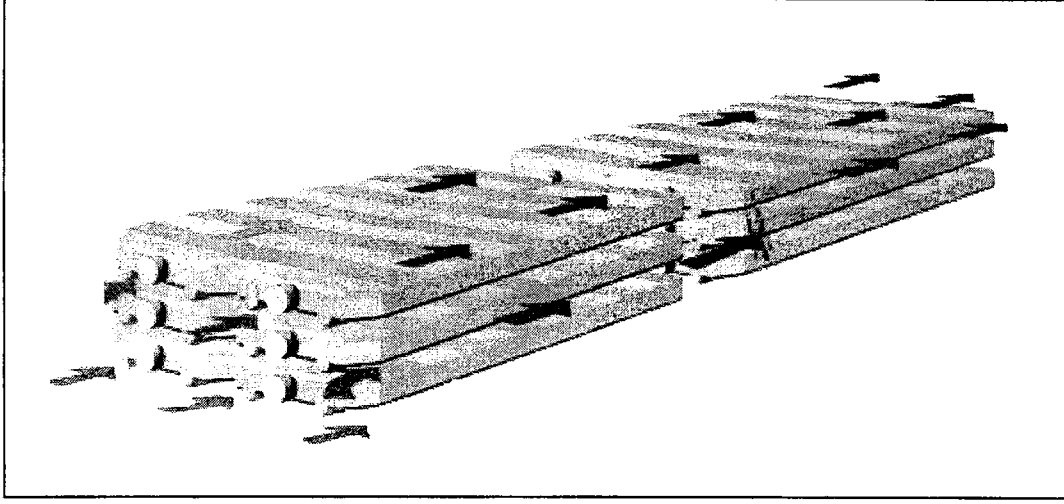
Bu sistemlerde, tank içinde kalan suyun tamamen veya tamama yakın kısmının (sarmallar arasında kalan bölgeler dahil olmak üzere) katılaştırılabilir olması, belirli sabit bir hacimden yararlanabilme miktarını da artırmaktadır.

Boru çevresinde buzun zamana göre oluşum miktarı hesaplanırken bu sistemler için de Şekil 2.19 'deki eğrilerden yararlanılabilir.

2.3.5 Kapsüllenmiş buz ile soğu depolama

Kapsüller içerisine doldurulan suyun dondurulması ve eritilmesi yoluyla soğunun depolanması ve geri kazanımı, uygulanan bir diğer yöntemdir. A.B.D.'de ve Avrupa'da bunun

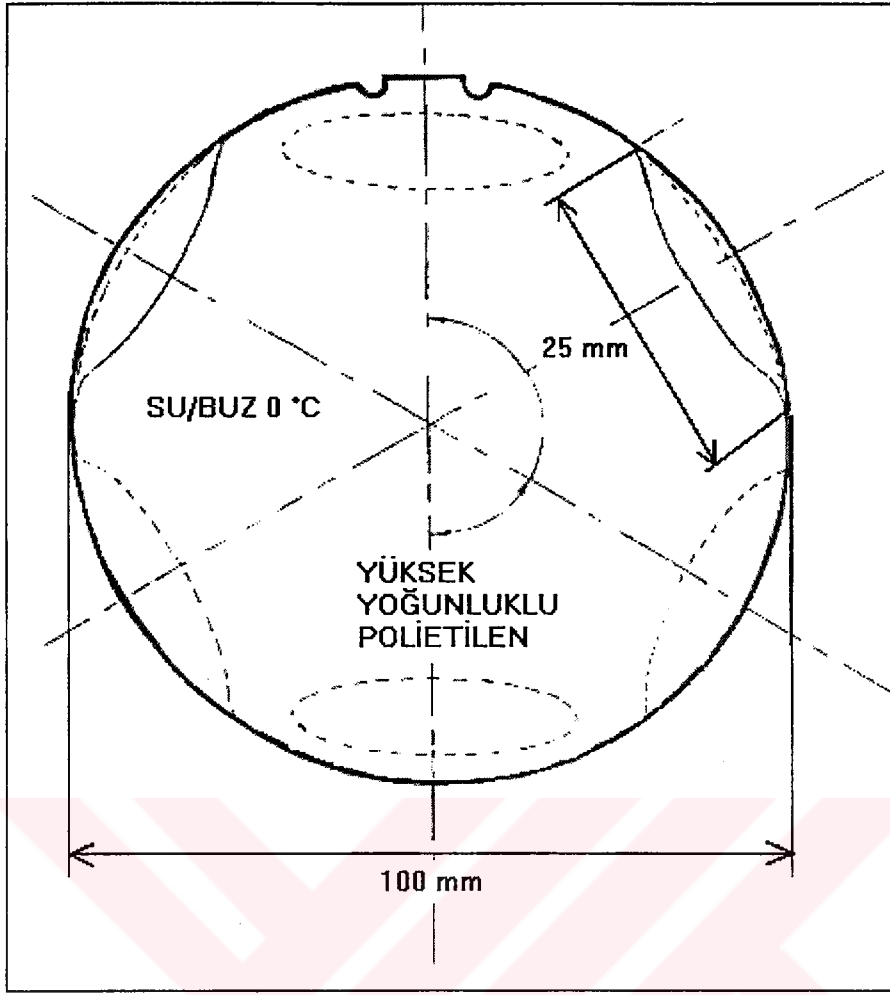
için özel olarak üretilmiş plastik kaplar ticari olarak mevcuttur. Bu kaplar, yüksek yoğunluklu polietilenden yapılmış olup, buz oluşumu esnasında genişmeden doğabilecek gerilmelere karşı dayanıklıdır. Ticari olarak, dikdörtgen kesitli ve küresel kaplar mevcuttur.



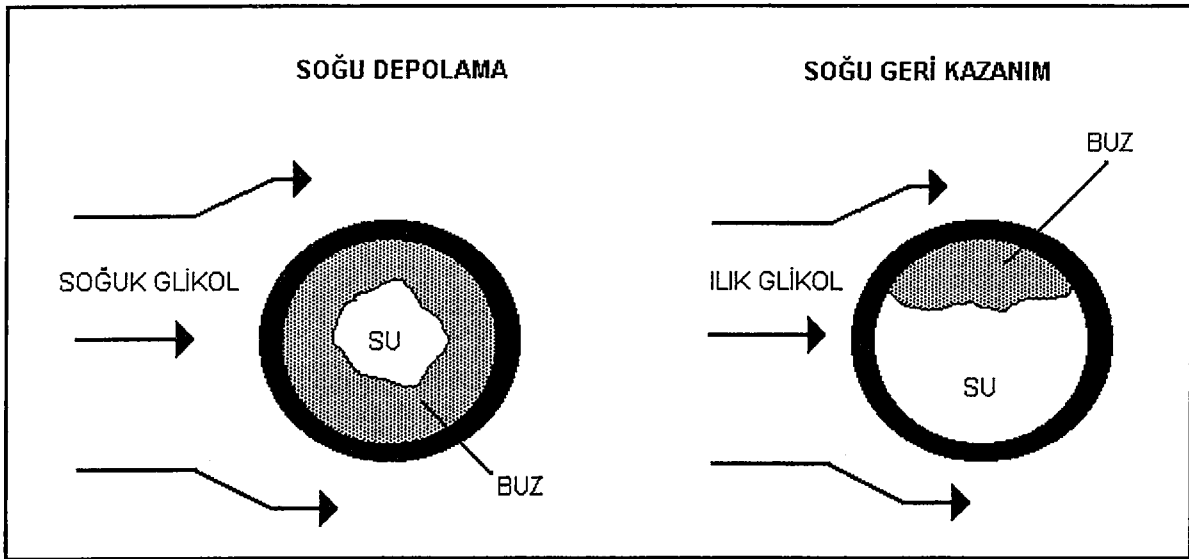
Şekil 2.19 Kapsüllemiş buz – dikdörtgen kesitli kap

(Applications 1995 – ASHRAE, S 40.13)

Katılaşma ve erime süreleri önemli olduğundan, bu kapların boyutları da, belirli bir sürede depolayabilecekleri enerji miktarı açısından önem taşır. Kap içerisindeki suyun çok durağan kalabileceği küçük ebatlarda aşırı soğuma ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'nin altında sıvı kalma) olabileceğinden, iyonsuzlaştırılmış suyun içerisine bu etkiyi giderecek (YORK Kataloğu) bazı katlı maddeler konulur. 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 işlevlerini yerine getirirler (Şekil 2.20).



Şekil 2.20 Kapsülennmiş buz – küresel kap
(Applications 1995 – ASHRAE, S 40.13)



Şekil 2.21 Bir kapalı hacim içerisinde soğu depolama ve geri kazanım
(Johnson, 1995, S 15.8)

Katılaşma 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 konusunda aşağıdaki eşitlik önerilmektedir. (Isı Transferi Ders Notları, Teke İ.,1995)

$$t_i = \frac{r_0^2}{3 \cdot \alpha_s \cdot Ste} \cdot [0.5 + Bi^{-1} + 0.2631 \cdot Ste] \quad 2.10$$

Ancak bu bağıntı küre içindeki akışkanın, soğu depolama periyodunun başındaki 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 katılaşma süresi için de benzer bir bağıntı verilmiştir.

$$t_i = \frac{d^2}{\alpha_s \cdot Ste} \cdot [0.5 + Bi^{-1} + 0.125 \cdot Ste] \quad 2.11$$

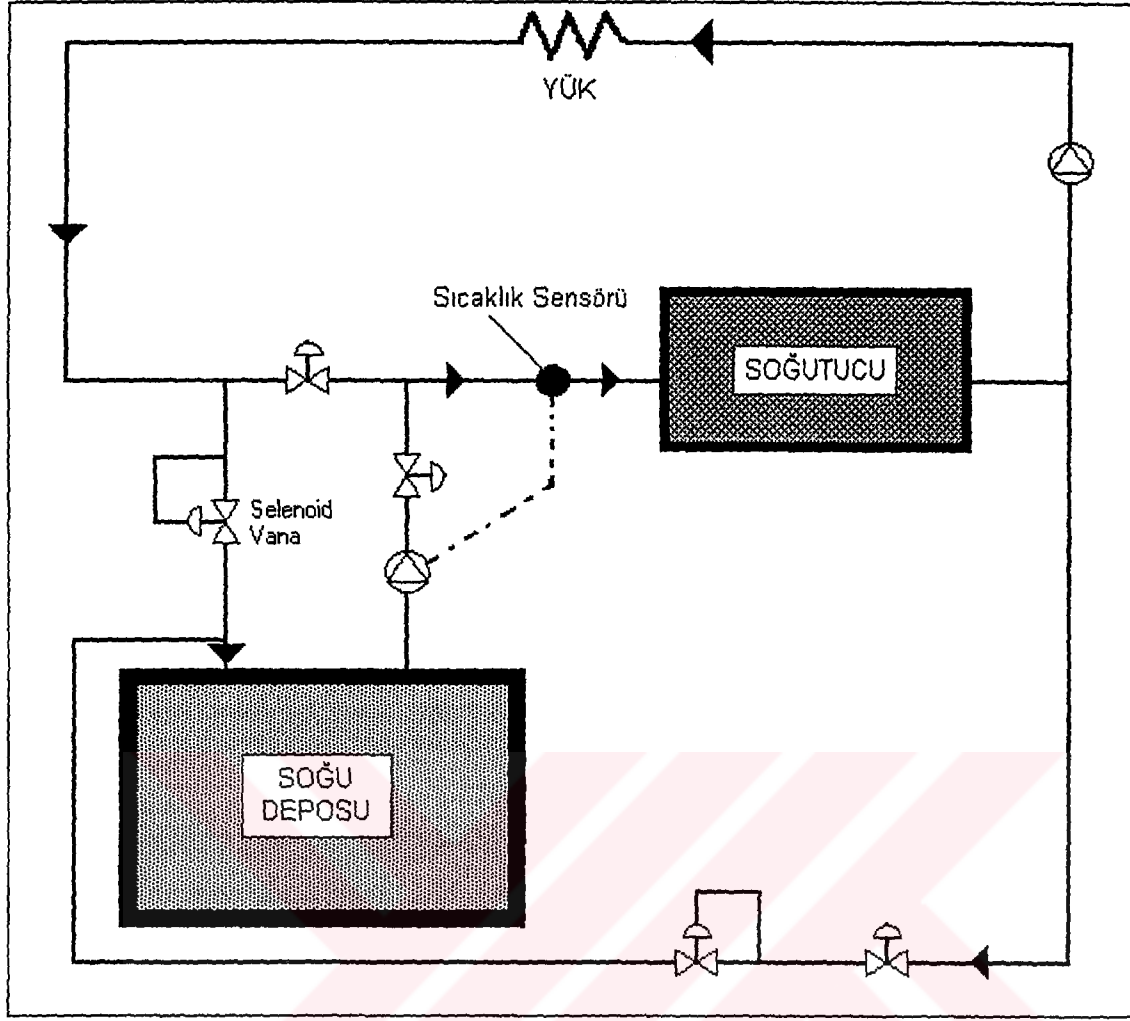
Burada d, dikdörtgenin kısa kenarının uzunluğudur. Yukarıdaki bağıntıların $0 \leq Ste \leq 4$ ve $0.1 \leq Bi$ koşulları için en fazla %10 hatalı olabilecekleri rapor edilmektedir.

Küre içinde daha hassas benzer bir bağıntı aşağıda yer almaktadır.

$$\tau_i = 0.251992 \cdot (Ste)^{-0.9084357} \cdot (\theta_m)^{-0.9457662} \cdot (Bi)^{-0.04822747} \quad 2.12$$

2.3.6 Ötektik tuzların kullanımı yoluyla soğu depolama

Ötektik tuz, belirli bir sıcaklıkta faz değiştiren kimyasal bir karışımdır. Bu karışım; kimyasal tuzlar, su ve katılaşmayı ajite edici bazı katkılardan oluşur. 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;



Şekil 2.22b Ötektik tuz kullanılan bir soğu depolama sistemine ait şematik gösterim (Depo sonrası soğutucu bağlantılı) (İlken, 1998 ; S 378)

2.3.7 Soğu depolama sistemlerinin kıyaslanması

Önceki bölümlerde tanıtımı yapılan soğu depolama sistemleri; soğutucu tipi, soğutucu maliyeti, depo hacmi, depo maliyeti, enerji depolama sıcaklığı, enerji geri kazanım sıcaklığı ve soğutucu performans katsayıları konularında aşağıda yer alan tablo'da kıyaslanmaktadır. Tablo, ASHRAE'nin "Design Guide for Cool Thermal Storage" isimli kitabından alınmıştır. Bu nedenle de maliyetlere ilişkin rakamlar, A.B.D. için geçerlidir. Ancak sistemlerin birbiriyle kıyaslanması sonucu, maliyetler açısından da görelî anlamda bir fikir edinilmesi mümkündür.

Çizelge 2.3 Soğu depolama sistemlerinin karşılaştırılması
(İlken, 1998 ; S 379)

	Soğuk Su	Dökümlü buz	Boru sarmalı dışında buz	Boru sarmalı dışında içten erimeli buz	Kapalı hacim içinde buz	Ötektik tuz
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 /kg)	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)	4-6	-9-(-4)	-9-(-4)	-6-(-3)	-6-(-3)	4-6
Soğu geri Kazanım Sıcaklığı (°C)	Depolama Sıcaklığının 0.5-2°C üzerinde	1-2	1-2	1-3	1-3	9-10
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

3. SOĞU DEPOLAMA SİSTEMLERİNİN TASARIM KRİTERLERİ VE YÖNTEMİ

Bu başlık altında, öncelikle, iyi bir tasarımın gerçekleştirilebilmesi için uyulması gerekli temel prensiplerden bahsedilmektedir. Bu çerçevede, bina sahibi ve ekibinin programlarını oluşturması, proje ekibinin seçilmesinde gözetilmesi gerekli hususlar ve fizibilite etüdünün hazırlanması gibi konular irdelenmekte ve bir soğu depolama sisteminin başarılı olabilme kriterleri sorgulanmaktadır. Bunun ardından, bir tasarımın içermesi gereken unsurlar sıralanmakta ve tartışılmaktadır. Bu metinsel bilgilerin ardından, soğutucu ve deponun boyutlandırılması işlemi aşama aşama anlatılmaktadır.

3.1 Ön Tasarım Aşaması

İyi bir tasarımın gerçekleştirilebilmesi, öncelikle istenilenlerin net bir şekilde ortaya konulmasına bağlıdır. Bu amaca yönelik olarak yapılması gerekli ön çalışma içerisindeki aktiviteler şu şekilde sıralanmaktadır. (Successful Cool Storage Projects)

- Bina sahibi ve ekibinin, duruma ait bilgileri ve istekleri kapsayan programı oluşturması
- Proje ekibinin seçimi ve oluşturulması
- Bir fizibilite etüdünün yapılması ve istenilen sistemin seçilmesi
- Soğu depolama sisteminden istenilen performansın detaylı ve net bir şekilde tanımlanması
- Projenin yürütme aşamalarındaki işlemlerin tanımlandığı bir planın yapılması

Ön tasarım safhası olarak nitelendirilebilecek bu süreçte yer alan bu aktivitelere ait detaylar aşağıda verilmektedir.

- **Bina Sahibi ve Ekibinin kendi programlarını oluşturması**

Bu programda temel olarak; amaçlar, performans gereksinimleri ve istenilen sistem karakteristikleri yer alır. Bu kriterler bir kez saptanıp oluşturulduktan sonra, tasarım amacının temeli kurulmuş demektir. Sistemin başarı veya başarısızlığına karar vermek, bu kriterlere ne ölçüde uyulduğuyla ilişkilidir.

Yapı işletmesi hakkında yapılan araştırmalar göstermektedir ki, 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 çıkartmışsa, 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 aşağıdaki bilgileri ve istekleri içermelidir;

- Yapının alanı, yüksekliği, kat sayısı,
- Coğrafik konum,
- Konstrüksiyon malzemelerinin cinsi, aydınlanma alanları ve tipleri, yalıtım durumu,
- Kaba mimari çizim,
- Yapı içerisinde 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,
- Güvenlik 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 tanımını içerisinde onun bir parçasını oluşturur.

- **Proje ekibinin oluşturulması**

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

Bu ekibin oluşumu ve görev paylaşımının uygun olarak yapılması, projenin başarısında çok önemli bir faktördür. Proje ekibi üyeleri,

- Mal sahibi temsilcisi(leri),
- Kontroller,
- Tasarım mühendisi,
- Mimar,
- Soğu Depolama Uzmanı,
- Müteahhitler'den oluşur.

Buna ek olarak; kullanıcı temsilcileri, teçhizat satıcıları ve ek özel danışmanlarla (örneğin jeoloji mühendisi, korozyon uzmanı, v.b.) ekip güçlendirilebilir.

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 yüklenir. Bu şekilde fonksiyonları birleştirmek, özellikle küçük projelerde, maliyeti düşürücü unsurlardır.

Tasarım aşamasındaki görevlerin paylaşımında bir sorun çıkarsa, bu taraflar arasında tartışılarak giderilebilir. Ancak bu başarılamazsa en büyük sorumluluğu taşıyan mal sahibi ve yasal sorumluluğu taşıyan tasarım mühendisi sorunu çözümlenmelidir.

Genel olarak proje ekibinin görevleri aşağıda tanımlanan unsurları içerir.

- Bina Sahibi Temsilcisi

Bu temsilci, mal sahibinin istek ve çıkarlarını gözetmekle yükümlüdür. Bu çerçevede,

- Mal sahibinin sistemle ilgili istediği gerekleri ilgililere açık bir dille anlatmak

- Bu gereklerin projenin ilerlemesi boyunca uygun bir şekilde yerine getirilmesini sağlamak
- Projenin yürütülmesi işleminde lider rolünü üstlenmektir.

Büyük projelerde, birkaç kişi birden farklı konularla 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 veri sağlayacağı bir mekanizmasının oluşturulmasıdır. Bu, daha sonra sistemin teslim edileceği bu personelin, projenin amacını anlaması açısından da çok önemlidir.

Organizasyon içerisinde yer alan diğer grupların bireyleri de projenin gelişimine önemli veri katkılarında bulunabilirler. Örneğin, soğutma sisteminin performans gereksinimleri, mekanları kullanacak kişilerin fikirleri alınarak oluşturulabilir. Bu çerçevede bu kişilerde, birer temsilci olarak nitelendirilebilir.

Ancak, doğal olarak, proje oluşumu için verilerine ihtiyaç duyulan her kişi veya grubun istekleri birbiriyle örtüşmez. İşletme personeli ile kullanıcının veya finans kısmının daima uyum içinde olması olanaksızdır. Bu nedenle, yapı sahibi organizasyonunun içerisindeki birinin liderliği yüklenmesi ve gruplar arasında bir denge yaratması zorunludur.

- Kontrollük

Mal sahibi, kontrollük ekibini ön tasarım safhasında 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, inşaat 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 multi disiplinler çalışmalarda deneyimli olmalıdır.

- 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 üstlenirler.

- 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.

- 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 bu görevi de 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.

- Yükleniciler

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

- **Fizibilite Etüdünün Gerçekleştirilmesi**

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 analizin 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 etüdüde aşağıda sıralanan tavsiyeler, özellikle önemlidir:

- Binanın Isıtma ve İklimlendirme (HVAC) gereklerini anlamak
- Fizibilite etüdü, bütün ekipmanların bedellerini ve her bir sistem için işletme maliyetlerini tam olarak kapsamalıdır. Aşağıda yer alan bazı faktörler kolayca gözden kaçabilecek türdendir.
- Glikol veya bir başka ikincil akışkanın maliyeti
- Su iyileştirme maliyeti
- Ek pompaların 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 yoğuşma sıcaklığının düşük olmasından dolayı verimde meydana gelecek artış
- Su soğutucu, pompa ve soğutma kulelerine elektrik dağıtım maliyetlerindeki azalma
- **Fizibilite Etüdü Raporu**

Tamamlanmış bir fizibilite etüdü raporu aşağıdaki konuları içermelidir.

- 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 yirmi dört 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 bilgileri ve kabuller
- **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,
- Güvenlik tanımlamaları,
- İstenilmeyen durum tanımlamaları,
- İşletim esnekliğine ilişkin kriterler,
- Finans kriterleri,
- Enerji performans kriterleri saptanmalıdır.

3.2 Bir Soğu Depolama Sisteminin Başarılı Olabilme Kriterleri

Soğu depolama endüstrisinde çalışan uzmanlar (Tasarım Mühendisleri, üreticiler, bina sahipleri, sistem operatörleri vb.) çalışan bazı sistemlerin özelliklerini saptamış ve bunları sınıflandırmışlardır. Bu sınıflandırma sonucunda oluşan başarı kriterleri yapıya ve sistemde sorumluluğu olan kişilere göre yapılmış olup aşağıda sırasıyla verilmektedir.

- **Yapı**
- Yapının maksimum 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 varsa
- 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 kullanılabilir mevcut atıl bir tank var ise
- Yangın koruma için su depolama gerekiyorsa
- Yapının bulunduğu bölgede elektrik gücü sınırlı ise
- (4.4 °C–10 °C) sıcaklık aralığında hava gerekli ise

Birçok yapı için, birinci ve ikinci maddelerin sağlanıyor olması, soğu depolamayı ekonomik olarak çekici kılmak için yeterlidir. Soğu depolamanın başarıyla kullanıldığı büyük ve küçük yapılarda, önemli ölçüde yararın maksimum soğutma yükünün 3500 kw ve soğutma için harcanan yıllık enerjinin 100 000 USD'ı geçtiği durumlarda sağlandığı rapor edilmiştir (A.B.D. için).

- **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 gözönüne 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 gözönüne alınarak seçilir. Danışman, soğu depolama uzmanı ve kontrollük için de benzer kriterler gözönüne 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.

- **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.

- **Yüklenici**

Yüklenici, proje ekibinin diğer üyeleri ile koordineli bir çalışma anlayışını benimsemelidir. Yüklenicinin istenilen düzeyde olması, belirleyeceği kıstaslara uygunluğu ile orantılıdır. Bu düzey de deneyimle ilişkilidir. Bazı mal sahipleri, en düşük fiyatı veren yükleniciyi seçmek durumunda kalırlar. Bu durumdaki bir mal sahibinin çok etkili bir kontrollük kurması gerekir.

- **İşletme Personeli**

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

3.3 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, hassas 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, aşağıda sıralanan dokuz unsurun hepsini içermelidir.

- 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.
- **Doğru bir yük profilinin hesaplanması**

Doğru bir tasarım yük profili, 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 yüzde beş veya on daha yüksekse mahaldeki bu yükleri hiç hissetmeyebilirler. Bir yıl içerisinde 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 gerçek yük arasındaki benzer bir uyumsuzluğu aynı ölçüde tolere edemeyebilir. Çünkü, bir gün sonranın 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 seviyelenmeli kısmi depolamalı bir sistem, ideal koşullarda büyük ölçüde sapma göstererek binayı hiç soğutmayabilir. Fazla kapasiteye sahip, tam depolamalı veya talep belirlemeli işletmelerde bile, tepe yükleri aşıldığında, su soğutucuları devreye sokmak gerekebilir. Bu tür durumlarda da, soğu depolama sisteminden umulan ekonomik yararada büyük azalmalar meydana gelebilir.

Bir soğu depolama sisteminden ekonomik yarar, toplam depo kapasitesi ile toplam yükün birbiriyle çakışma derecesiyle yakından ilgilidir. Bu nedenle de depo büyüklüğünün doğru tesbiti hayati önem taşır. (İleride 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 aşağıda sıralanan konulara dikkat edilmelidir.

- 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 takibeden 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 maksimum bir saatlik soğutma yükünü içeren gün, diğeri ise 24 saatlik periyod boyunca maksimum toplam (integral) 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.

- **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 aşağıdaki bilgileri içermelidir.

- Dış havanın kuru ve yaş termometre sıcaklıkları ,
- Toplam sistem yükü,
- Su soğutucu(lar) tarafından karşılanan yük,
- Depo'daki mevcut yük,
- Akışkan su soğutucu(lar)ya(a) giriş sıcak(lıklar)lığı,
- Akışkan su soğutucu(lardan) çıkış sıcak(lıklar)lığı,
- Su soğutucu(lar) için akışkan debi(leri)si,
- Akışkan depoya giriş sıcaklığı,

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

3.4 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 amacıyla kullanılırlar. Nihai sistem boyutlandırmasında kullanılmamalıdır.

Bir depolama sisteminin boyutlandırılmasında izlenen dört temel adım vardır.

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

3.4.1 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 verilerine gereksinim vardır. Bu iklim verileri, enerji simülasyonu için çok önemlidir. Bu veriler yılın her günü için her ülkenin Meteoroloji Genel Müdürlüğü 'nce saptanır. Ancak Türkiye için böyle bir çalışma yapılmamıştır.

Yük profilleri, enerji depolama ve geri kazanımını kapsayan bütün bir çevrim boyunca hesaplanmalıdır. Çoğunlukla bu süre 24 saattir, ancak daha önce de değinildiği gibi, bazı uygulamalarda haftalık çevrimler de söz konusu olabilir. Saat bazında yüklerin hesaplanma yöntemi (Carrier E-20 Hourly Energy Analysis) referansında detaylı olarak açıklanmaktadır.

Yük profili hesabında, iklimlendirilecek bölgedeki bütün ısı kaynakları dikkate alınmalıdır. Görece küçük olan bazı 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 periyodlu 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. Bu işlem - eğer mevcutsa - bina kontrol sisteminin kayıtlarından veya soğutucunun devreye girip çıkma kayıtlarından temin edilebilir. Bu sistemler yoksa, tasarım gününü içine alan bir zaman aralığında ölçümler yaparak sağlıklı veriler elde etmek mümkün olabilir.

3.4.2 Soğutucu ve deponun ön boyutlandırmasının yapılması

Boyutlandırma işlemine başlarken, basit denklemleri kullanarak büyüklüklerin mertebeleri konusunda sonuçlar elde etmek yararlı olur. Bu şekilde , işletme yöntemlerini veya depolama teknolojilerini karşılayabilmek mümkün olur. Ancak elde edilen bu kaba sonuçlar, detaylı bir analiz sonucunda doğrulanmadan, nihai tasarım parametreleri olarak kabul edilmemelidir.

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

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

3. 1

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

$$\text{Toplam soğutucu kapasitesi} = t_d \cdot c_d + t_{y_1} \cdot c_{y_1} + t_{y_2} \cdot c_{y_2} \quad 3.2$$

Bu eşitlikte

t_d = Soğutucunu Depo İçin Çalıştığı Süre (saat)

c_d = Soğu Depolama Sürecindeki Kapasite (kW)

t_{y_1} = Tepe Yük Bölgelerinde Doğrudan Yük İçin Çalışılan Süre (saat)

c_{y_1} = Tepe Yük Bölgesinde Doğrudan Yük İçin Çalışma Sürecindeki Kapasite (kW)

t_{y_2} = Tepe Yük Bölgesi Dışında Doğrudan Yük İçin Çalışılan Süre (saat)

c_{y_2} = Tepe Yük Bölgesi Dışında Doğrudan Yük İçin Çalışma Sürecindeki Kapasite (kW)

şeklindedir

Bir soğutucunun Nominal kapasitesi; belirli standart koşullarda (örneğin ARI standartlarına göre 6 – 7 °C soğuk su ve 29.4 °C kondenser suyu sıcaklıkları) çalışma durumundaki kapasite olarak tanımlanır, 3.4.2.1 ve 3.4.2.2 eşitliklerinin de birleştirilmesiyle

$$\text{Nominal soğutucu kapasitesi} = \frac{\text{Toplam Soğutma Yüğü}}{t_d \cdot CR_d + t_{y_1} \cdot CR_{y_1} + t_{y_2} \cdot CR_{y_2}} \quad 3.3$$

ifadesine ulaşılabilir. Burada

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

CR_{y_1} = Tepe yük bölgesinde doğrudan yük için çalışma sürecindeki kapasite oranı

CR_{y_2} = Tepe yük bölgesi dışında doğrudan yük için çalışma sürecindeki kapasite oranıdır.

Tam depolamalı bir sistemde, tepe yük bölgesi için soğutucu kapasitesi sıfırdır. Yük seviyelenmeli bir sistem için direkt soğutma kapasitesi tepe yük bölgesinde ve dışında aynıdır.

Bir soğuk su depolamalı sistemde soğutma kapasitesi genellikle sabit kabul edilir ($CR_d = CR_{y_1} = CR_{y_2} = 1$) 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 soğuk su 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.

$$\text{Depo kapasitesi} = \text{Toplam soğutma yükü} - Ct_{y_1} + Ct_{y_2} + Ct_d \quad 3.4$$

Burada

Ct_{y_1} = Tepe yük bölgesinde, doğrudan yüke çalışma kapasitesi (kW)

Ct_{y_2} = Tepe yük bölgesi dışında, doğrudan yüke çalışma kapasitesi (kW)

Ct_d = Depolama sürecinde soğutucu tarafından aynı zamanda karşılanan yük miktarı (eğer varsa) (kW)

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.

3.4.3 İşletme yönteminin saptanması ve uygun depolama sisteminin seçilmesi

Yöntemin saptanması ve uygun depolama sisteminin seçimi, ancak 2.3. bölümünde belirtilen soğu depolama sistemleri için ayrı ayrı hesap yapılması ve sonuçların karşılaştırılması ile mümkündür. İlk yatırım maliyeti ve işletme giderleri en uygun olan sistem seçilerek uygulanabilir.

3.4.4 Soğutucu, depo ve ekipmanlarına ilişkin 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 gözükmektedir. 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 gözönüne 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.

Depo ve ekipmanlarının yurt dışından temini bir diğer -ancak pahalı- seçenektir. Ancak, yüksek tasarrufların söz konusu olduğu durumlarda bu yöntem tercih edilmelidir. Çünkü, özellikle A.B.D.'de bu konuda uzun yıllardır çalışan uzman kuruluşlar mevcuttur.



4. DÜNYA 'DA MEVCUT BAZI UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Bu kısımda, soğu depolama konusunda birçok önemli uygulamayı gerçekleştirmiş ve sektörün dünyadaki en önemli isimleri konumuna gelmiş firmalara ilişkin bazı referanslar tablo şeklinde verilmektedir.

Çizelge 4.1 Dünya 'da mevcut bazı uygulama örnekleri
(İlken, 1998 ; S 396)

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)	Buz Toplamalı	%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 Lansin , Michi an, USA	Kapalı Hacim İçerisinde Buz		Cryogel	7185 kW
Marriott Hotel San Francisco, USA (1993)	Boru Sarmalı, Dışında İçten Erimeli Buz	135 000 USD/yıl	Fafco	6336 kW
CBS Television City, LA, USA (1993)	Boru Sarmalı, Dışında İçten Erimeli Buz	175 000 USD/yıl	Fafco	3872 kW
John Peter Smith Hospital Forth Worth TX, USA (1990)	Boru Sarmalı Dışında İçten Erimeli Buz		Baltimore 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
Uygulamanın yapıldığı yer,yıl	Depolama Yöntemi	Sağlanan Azami Kullanım Tasarrufu -Uygulayıcı Beyanı-	Koordinatör/Uygulayıcı	Sistemin Toplam Yükü
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
International Communication Center, Virginia 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, Fort Meyers, Florida, USA (1996 ASHRAE Teknoloji Ödüllü)	Boru Sarmalı Dışında Buz	140 000 USD/yıl	CALMAC	18000 kW

5. SOĞU DEPOLAMAYA İLİŞKİN TASARIM ÖRNEĞİ

Bu son bölümde uygulama örneği olarak özel bir üniversite kampüsü içinde Yabancı Diller Bölümü'ne tahsis edilmiş bir bina konu edilmiştir. CARRIER-E20-II programı kullanılarak binanın ısı kazançları ve yük profilleri hesaplanmıştır. Bu verilerden yola çıkılarak binada bir soğu depolama sistemi dizayn edilmiştir. Son olarak da bina için konvansiyonel bir sistem ile soğu depolamalı bir sistemin ilk yatırım ve işletme maliyetleri karşılaştırılmıştır.

5.1 Binanın Tanıtımı

Özel bir üniversite kampüsü içinde inşaa edilmiş olan bina, yabancı diller bölümüne hizmet etmektedir. 4620 m² kapalı alanı vardır. Bina mimari olarak bir bodrum ve iki normal kattan oluşmaktadır. Çok sayıda laboratuvar, tercüme merkezi, öğrenci danışma ve test odaları, kaynaklar odası, çok amaçlı salonlar, konferans odaları, sınıflar ve idari ofisler belli başlı bölümleridir.

5.2 Havalandırma ve Soğutma Tesisatı

Binada değişken debili (VAV) sistem kullanılmıştır. Kışın klima santrallerinde 16 °C sıcaklığa kadar ısıtılan hava, radyatörlerle ısıtılmış mahallere VAV kutularında debi kontrolü yapılarak sevk edilir ve böylece mahal havası şartlandırılmış olur. Bazı mahallere üflenen havanın sıcaklığı VAV kutularının önüne konan ön ısıtıcılar ile ayarlanabilir. Değişken hava debili sistemde , ısıtma veya soğutma yükünü taşıyan hava olduğundan, mahallerdeki değişken soğutma yükü durumlarına bağlı olarak hava debisi de değiştirilebilir. Bu ise, oda termostatları ile VAV kutuları içindeki damper ve iki yollu vana pozisyonları ayarlanarak mahal havasının şartlandırılması ile sağlanır. Hava debisinin artması veya azalmasına göre klima santrallerinin hücrelerinde yer alan aspiratör ve vantilatörlerin devirleri de ayarlanabilir. Bu amaçla genelde elektrik motorları statik frekans ayarlayıcılar ile basınç sensörlerinden gelen uyarıcıya göre bina otomasyon sistemi ile ayarlanır. Değişken debili cihazlar bütün mahallerde kullanılmaktadır. Bu sistem sayesinde enerji ekonomisi sağlanmış olur.

Birinci katta iklimlendirmesi yapılacak 38 mahal, zemin katta ise 29 mahal bulunmaktadır. 1. Katta 34 bölge (zone) , zemin katta ise 26 bölge (zone) olduğu kabul edilmiştir. Binadaki mahallerde ve zonlardaki tüm ısı kazançları bilgisayar programı ile hesaplanmıştır. Buradan yola çıkılarak toplam soğutma yükü hesaplanmıştır. Binadaki tüm mahallerde egzost ve temiz

hava sistemleri ile havalandırma yapılmıştır. Tüm mahallerde uygulanan tipik bir koordinasyon resmi Ek 1 'de sunulmuştur.

5.2.1 Dizayn kriterleri ve sistem tasarımı

- Yaz çalışması için soğutma yüklerinin tayininde dış ortam ve iç hava tasarım sıcaklıkları ve iç ortam nem oranları bütün mahaller için aşağıdaki gibi alınmıştır.

Şehir:	İstanbul
Enlem:	41 ° Kuzey
Rakım:	28 m
Kış Dış Hava Sıc:	-3 °C
Yaz Dış Hava Sıc:	33/24 °C
Yaz Günlük Sıcaklık Farkı:	9 °C
Klimatize Edilen Yerler Yaz Sıc:	24 °C
Klimatize Edilen Yerler Kış Sıc:	22 °C
Soğutma Yükü Emniyet Zammı:	%0
Isıtma Yükü Emniyet Zammı:	%10
Tüm Mahallerde Kişi Başına:	71.8W/60.1W (Duyulur/Gizli Isı)

- Klima hesaplarında, bütün mahaller için dikkate alınan, kişi adedi, aydınlatma yükü, cihazlar elektrik yükü, taze hava miktarı aşağıda tablo halinde sunulmuştur. Binanın mimarisi ve mahal yerleşimleri Ek 2 'de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Mahallere göre bazı dizayn parametreleri

Mahal Adı	Kişi Sayısı	Aydınlatma Yükü	Cihazlardan Gelen Yük	Taze Hava Miktarı
1.KAT				
1008	3 Kişi	25 W/m ²	20 W/m ²	10 L/s/Kişi
1009	4 Kişi	25 W/m ²	20 W/m ²	10 L/s/Kişi
1007	3 Kişi	25 W/m ²	20 W/m ²	10 L/s/Kişi
1012	1 Kişi	25 W/m ²	350W	10 L/s/Kişi
1011	1 Kişi	25 W/m ²	350W	10 L/s/Kişi
1013	6 Kişi	25 W/m ²	30 W/m ²	10 L/s/Kişi
1017	15 Kişi	25 W/m ²	30 W/m ²	10 L/s/Kişi

Mahal Adı	Kişi Sayısı	Aydınlatma Yüklü	Cihazlardan Gelen Yük	Taze Hava Miktarı
1006	14 Kişi	25 W/m ²	10 W/m ²	10 L/s/Kişi
1005	10 Kişi	25 W/m ²	15 W/m ²	10 L/s/Kişi
1004	2 Kişi	25 W/m ²	20 W/m ²	10 L/s/Kişi
1003	14 Kişi	25 W/m ²	20 W/m ²	10 L/s/Kişi
1001	2 Kişi	25 W/m ²	350W	10 L/s/Kişi
1002	4 Kişi	25 W/m ²	350W	10 L/s/Kişi
1020	8 Kişi	25 W/m ²	20 W/m ²	10 L/s/Kişi
1021	8 Kişi	25 W/m ²	20 W/m ²	10 L/s/Kişi
1023	22 Kişi	25 W/m ²	30 W/m ²	10 L/s/Kişi
1024	16 Kişi	25 W/m ²	30 W/m ²	10 L/s/Kişi
1025	24 Kişi	25 W/m ²	15 W/m ²	10 L/s/Kişi
1026	22 Kişi	25 W/m ²	15 W/m ²	10 L/s/Kişi
1027	22 Kişi	25 W/m ²	15 W/m ²	10 L/s/Kişi
1030	25 Kişi	25 W/m ²	15 W/m ²	10 L/s/Kişi
1031	21 Kişi	25 W/m ²	15 W/m ²	10 L/s/Kişi
1037	18 Kişi	25 W/m ²	30 W/m ²	10 L/s/Kişi
1038	25 Kişi	25 W/m ²	15 W/m ²	10 L/s/Kişi
1033	2 Kişi	25 W/m ²	350 W	10 L/s/Kişi
1034	2 Kişi	25 W/m ²	350 W	10 L/s/Kişi
1035	2 Kişi	25 W/m ²	350 W	10 L/s/Kişi
1041	3 Kişi	25 W/m ²	350 W	10 L/s/Kişi
1050	20 Kişi	25 W/m ²	15 W/m ²	10 L/s/Kişi
1049	24 Kişi	25 W/m ²	15 W/m ²	10 L/s/Kişi
1048	24 Kişi	25 W/m ²	15 W/m ²	10 L/s/Kişi
1046	20 Kişi	25 W/m ²	15 W/m ²	10 L/s/Kişi
1045	22 Kişi	25 W/m ²	15 W/m ²	10 L/s/Kişi
1032	1 Kişi	20 W/m ²	1000 W	10 L/s/Kişi
1028	10 Kişi	25 W/m ²	5 W/m ²	10 L/s/Kişi
1022	1 Kişi	20 W/m ²	1000 W	10 L/s/Kişi
1040&1043	10 Kişi	25 W/m ²	5 W/m ²	10 L/s/Kişi
1052	1 Kişi	20 W/m ²	1000 W	10 L/s/Kişi
ZEMİN KAT				
G006	5 Kişi	25 W/m ²	5 W/m ²	10 L/s/Kişi
G004	16 Kişi	25 W/m ²	15 W/m ²	10 L/s/Kişi
G001	20 Kişi	25 W/m ²	15 W/m ²	10 L/s/Kişi
G041	22 Kişi	25 W/m ²	15 W/m ²	10 L/s/Kişi
G039	21 Kişi	25 W/m ²	15 W/m ²	10 L/s/Kişi
G038	25 Kişi	25 W/m ²	30 W/m ²	10 L/s/Kişi
G019	10 Kişi	25 W/m ²	0	10 L/s/Kişi

Mahal Adı	Kişi Sayısı	Aydınlatma Yüktü	Cihazlardan Gelen Yük	Taze Hava Miktarı
G026	1 Kişi	20 W/m ²	1000 W	10 L/s/Kişi
G015	10 Kişi	25 W/m ²	1000 W	10 L/s/Kişi
G007	10 Kişi	25 W/m ²	800 W	10 L/s/Kişi
G043	10 Kişi	25 W/m ²	800 W	10 L/s/Kişi
G015	10 Kişi	25 W/m ²	1000 W	10 L/s/Kişi
G007	10 Kişi	25 W/m ²	500 W	10 L/s/Kişi

- Yapı elemanlarının ısı geçirme (K) katsayıları aşağıdaki gibi alınmıştır:

Çizelge 5.2 Isı geçirme katsayıları

Dış Duvar	0,524 W/m ² K
Çatı	0,42 W/m ² K
Pencere	2,0 W/m ² K
Gölgeleme Faktörü	0,4

- Hafta içi günlerde binanın 07⁰⁰ – 19⁰⁰ saatleri arasında %100 dolu, diğer saatlerde boş, cumartesi ve pazar günleri ise tatil günü kabul edilmiştir.
- Binada soğutma yapılacak aylar, Mart, Nisan, Mayıs, Haziran ve Temmuz ayları olarak belirlenmiştir.
- İşletme maliyeti analizi yapılırken binanın yıllık takviminde hafta içi günler çalışma günü, pazar günü ise tatil günü alınmıştır. İşletme maliyeti analizi 1999 yılı esas alınarak yapıldığından, bu yıl içinde gerçekleşen 14 günlük resmi ve dini bayramlar da göz önüne alınmıştır.
- Binaya TEDAŞ tarafından aşağıdaki elektrik enerjisi satış tarifesi uygulanmaktadır.

Tablo 5. 3 TEDAŞ elektrik enerjisi satış tarifesi

Saat	USD / kWh
17 ⁰⁰ – 22 ⁰⁰	0,07753
22 ⁰⁰ – 06 ⁰⁰	0,03092
06 ⁰⁰ – 17 ⁰⁰	0,04884

- Soğu depolama sistemi kısmi depolamalı olarak dizayn edilmiştir. Chillerin gece sadece soğu depolama tankını beslediği, gündüz ise binadaki soğutma yükünü karşılamak üzere tank ile birlikte çalıştığı düşünülmüştür. Ancak, bina yükünün olduğu saatteki yük, tanktan ve chillerden elde edilen yüklerin toplamından küçükse depo öncelikli bir strateji uygulanacaktır. Yani, bu andaki yük yalnız depodan karşılanacaktır. Binadaki soğutma sisteminin çalışma prensibini anlatan şematik resim Ek 3 'de verilmiştir. Bu kabülden yola çıkarak ortalama soğutma yüküne göre chiller seçimi yapılmış, böylelikle hem yüksek kapasitede bir chiller seçiminden doğacak ilk yatırım maliyetindeki artıştan kaçınılmış hem de işletme maliyetlerindeki tasarruftan faydalanılmıştır.
- Hava soğutmalı bir chiller seçilmiştir.
- İşletme maliyetleri yalnızca soğutma cihazlarının çektiği güçler bazında incelenmiştir. (Kondenser fanlarının ve kompresörün çektiği güç dikkate alınmıştır.)
- Buz depolamalı bir soğu depolama sistemi tasarlanmıştır.
- Akışkan olarak glikol ve su kullanılmıştır. Chiller ve tankta %25 etilen glikol çözeltisi, bina devresinde ise su kullanılmaktadır.
- Sistemde buz üretme çevrimi esnasında (gece döneminde) sisteme giren akışkan sıcaklığı $-1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, chillerden çıkıp tanka giren akışkan sıcaklığı $-4,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, tanktan çıkış sıcaklığı ise $-1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir. Tankın ve chillerin binadaki soğutma yüklerini karşılamak için çalıştığı gündüz döneminde ise chillere giren akışkan sıcaklığı $12\text{ }^{\circ}\text{C}$, chillerden çıkıp tanka giren akışkan sıcaklığı $7,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve tank çıkış sıcaklığı $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir. Bina devresinde dolaşan soğutma suyu gidiş sıcaklığı $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve dönüş suyu sıcaklığı $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir.

5.2.2 Isı kazancı hesapları

Soğutma hesaplarının tayininde "Carrier E-20-II Hourly Analysis" bilgisayar programı kullanılmıştır. Bu programın uygulanabilmesi için gerekli olan:

- Oda sıcaklık ve rutubet şartları,
- Pencere ve cam bilgileri,
- Cam ve gölgeleme katsayıları,
- Bina elemanlarının gölgeleme faktörü,
- Duvar ve çatı bilgileri,
- Yönler,
- Kişi sayısı ve hareket durumu,

- Aydınlatma ve diğer elektrikli cihazlar,
- İç bölmeler,
- Enfiltrasyon durumu,
- Dahili yüklerin 24 saatlik sürede oluşum şekli

girilerek her mahaldeki ısı kazancı hesaplanmıştır.

5.2.3 Isı kazancı bilgisayar hesap sonuçları

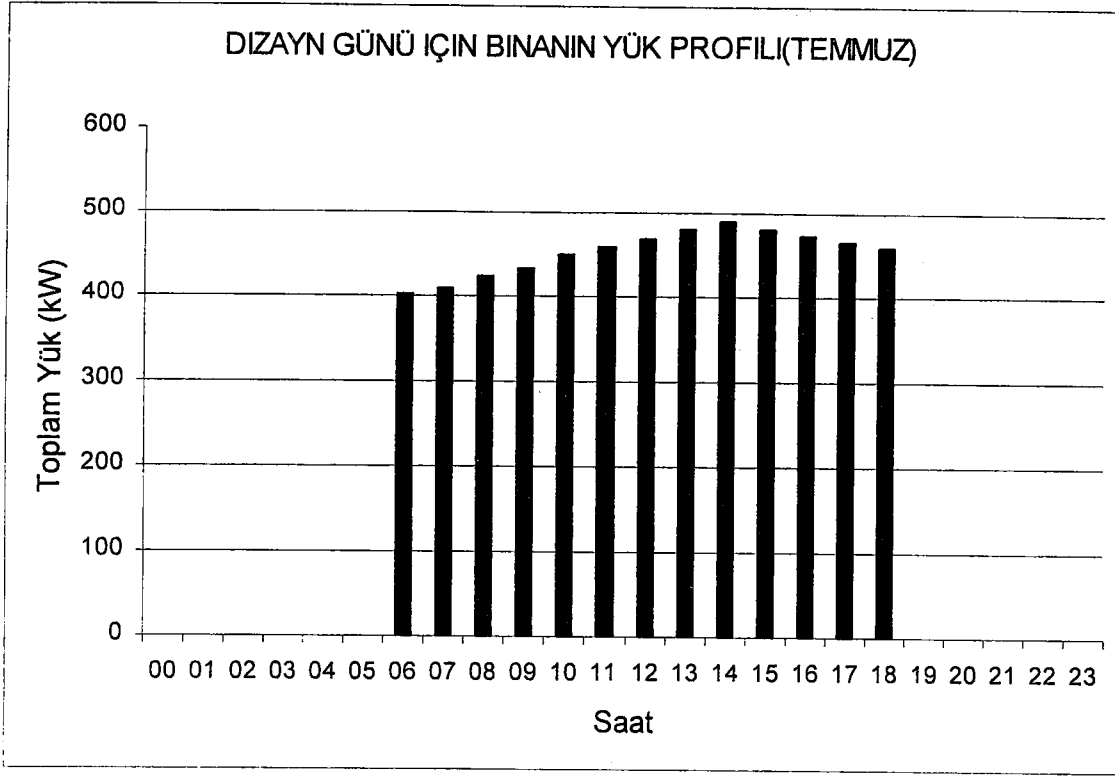
Yukarıdaki maddede belirtilen verilere göre, her zon ve bu zonların içindeki bütün mahaller için maksimum soğutma yükleri ayrı ayrı bulunmuştur.

Mahaller için hava üfleme sıcaklığı 15 °C alınarak, klima cihazlarının karakteristikleri de bilgisayar hesap çıktılarından alınmıştır.

Tablo 5.4 Klima cihazlarının karakteristikleri

	AHU-1	AHU-2
Duyulur Isı Yükü	190,9 kW	151,7 kW
Gizli Isı Yükü	88,6 kW	225,8-151,7 kW
Toplam Isı Yükü	279,5 kW	225,8 kW
Taze Hava Miktarı	4320 L/s	3680 L/s
Soğutucu Hava Girişi	29,5/21,0 °C	29,4/21,0 °C
Soğutucu Hava Çıkışı	13,8/13,1 °C	13,8/13,1 °C
Toplam Hava Miktarı	10412 L/s	8389 L/s

Ayrıca chiller seçimine esas teşkil etmek üzere bütün zonların bir arada çalışması halinde oluşacak maksimum ısı kazancı ile, VAV sistemi klima havalandırma cihazlarının debilerinin tayin etmek üzere hesaplanan maksimum toplam ısı kazançları Şekil 5.2.3.1 'de verilmiştir.



Şekil 5. 1 Dizayn günü için binanın yük profili

5.2.4 Sistem ekipmanlarının boyutlandırılması

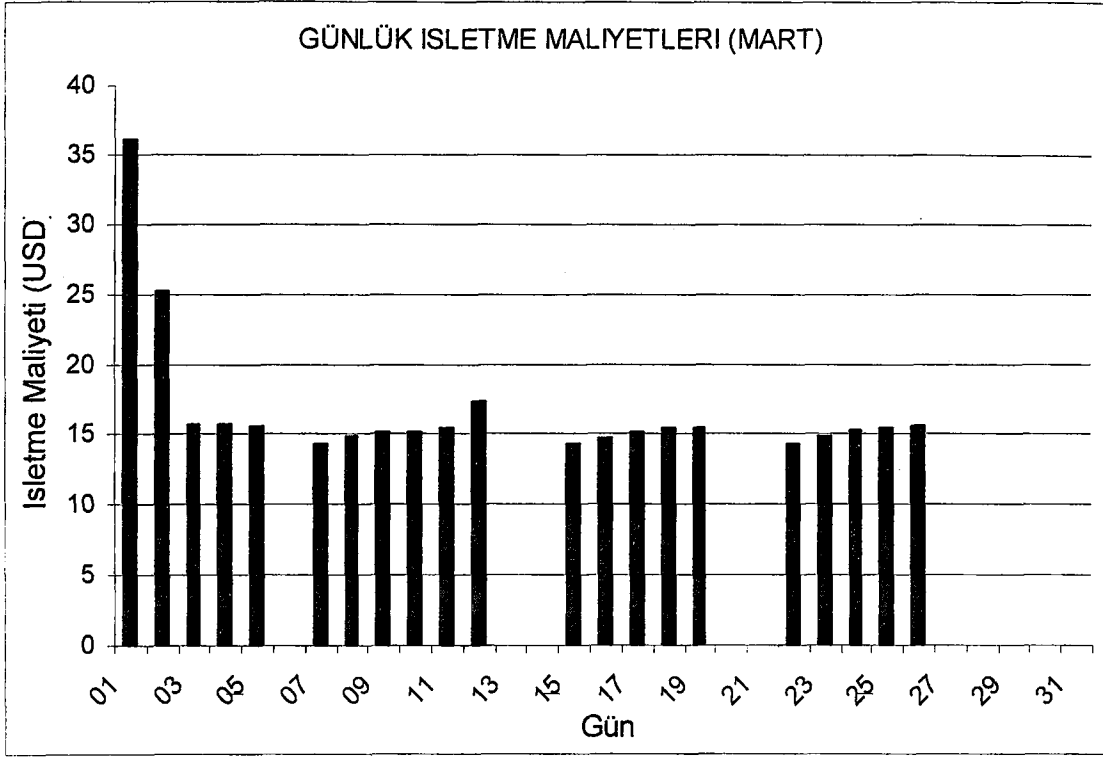
Binanın yük profilinden yola çıkılarak, sistem ekipmanları boyutlandırılmış ve 300 kW 'lık bir chiller seçilmiştir. Tank kapasitesi ise 2679 kWh olarak belirlenmiştir. İşletme stratejilerine ve yük profiline uyularak, seçilen sistemin dizayn gününde işletme parametreleri aşağıdaki gibidir;

Çizelge 5.5 Soğu depolama sistemi işletme parametreleri

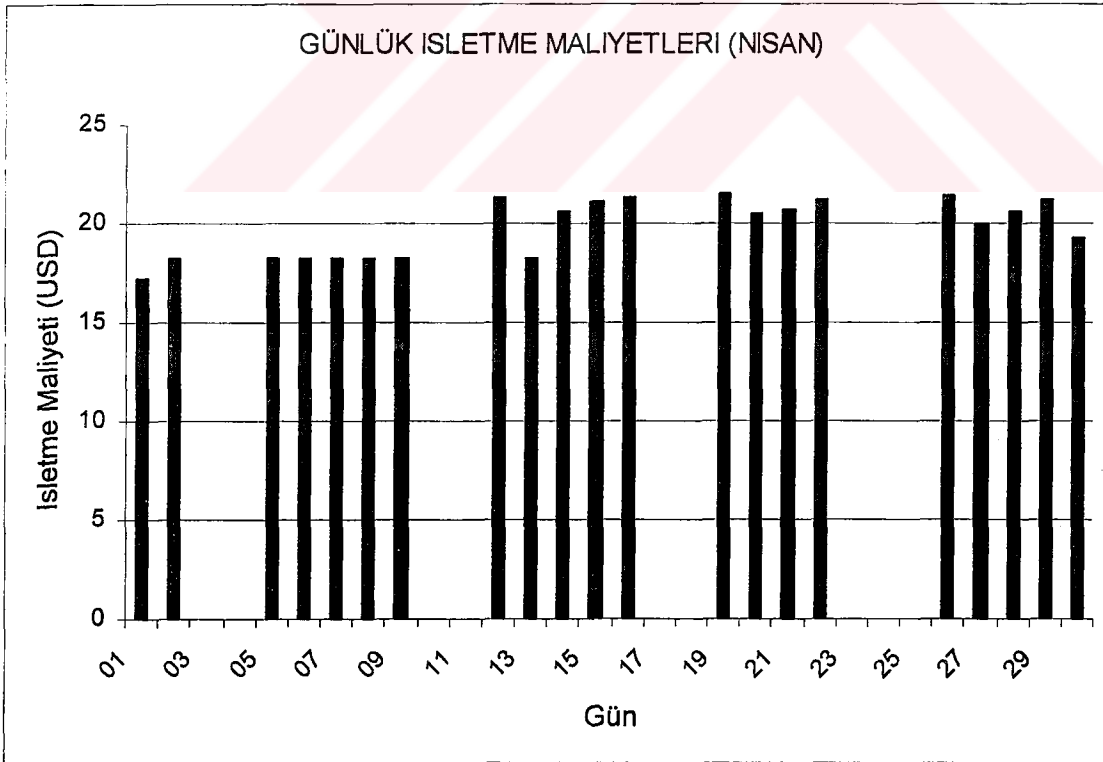
Saat	Chiller Çalışma Durumu	Toplam Soğutma Yüğü (kW)	Karşılanan Soğutma Yüğü (kW)	Chiller Kapasitesi (kW)	Tanktaki Enerji Miktarı (kWh)
00 : 00	Şarj	0	0	245,0	1302,8
01 : 00	Şarj	0	0	245,0	1547,5
02 : 00	Şarj	0	0	245,0	1792,3
03 : 00	Şarj	0	0	245,0	2037,0
04 : 00	Şarj	0	0	245,0	2281,8
05 : 00	Şarj	0	0	245,0	2526,5
06 : 00	Şarj	0	0	200,2	2670,0
07 : 00	Deşarj	399,4	399,4	152,6	2479,0
08 : 00	Deşarj	403,0	403,0	200,2	2279,0
09 : 00	Deşarj	413,0	413,0	203,0	2079,0
10 : 00	Deşarj	425,9	425,9	213,8	1879,0
11 : 00	Deşarj	441,6	441,6	226,8	1679,0
12 : 00	Deşarj	455,6	455,6	242,5	1479,0
13 : 00	Deşarj	467,3	467,3	256,5	1279,0
14 : 00	Deşarj	476,8	476,8	268,3	1079,0
15 : 00	Deşarj	482,1	482,1	277,8	879,0
16 : 00	Deşarj	481,4	481,4	283,0	679,0
17 : 00	Deşarj	476,5	476,5	282,4	479,0
18 : 00	Deşarj	465,9	465,9	277,5	279,0
19 : 00	Deşarj	453,2	453,2	266,9	79,0
20 : 00	Şarj	0	0	254,1	323,0
21 : 00	Şarj	0	0	245,0	568,0
22 : 00	Şarj	0	0	245,0	813,3
23 : 00	Şarj	0	0	245,0	1058,0

5.3 Soğu Depolama Sisteminin İşletme Maliyetinin Hesaplanması

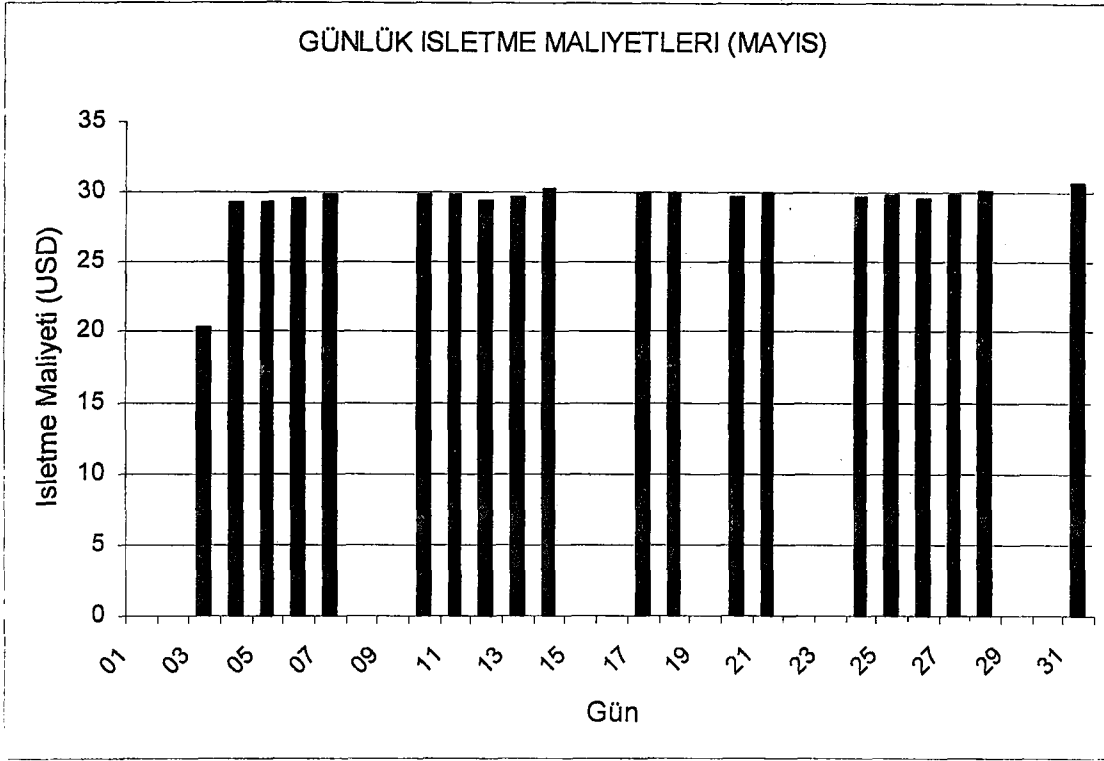
İşletme maliyetleri “Carrier – 20 – Energy Analysis” programı kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen bilgisayar programı sonuçları aşağıdaki Şekil ‘lerde gösterilmiştir.



Şekil 5.2 Mart ayı günlük işletme maliyetleri



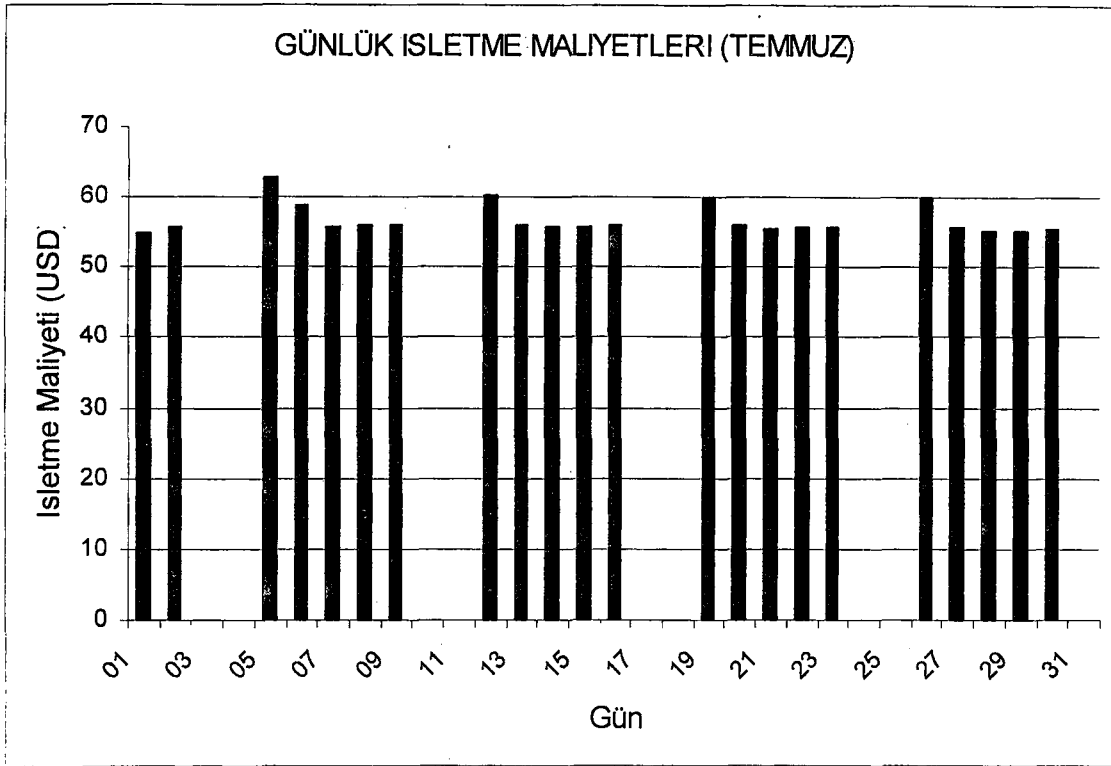
Şekil 5.3 Nisan ayı günlük işletme maliyetleri



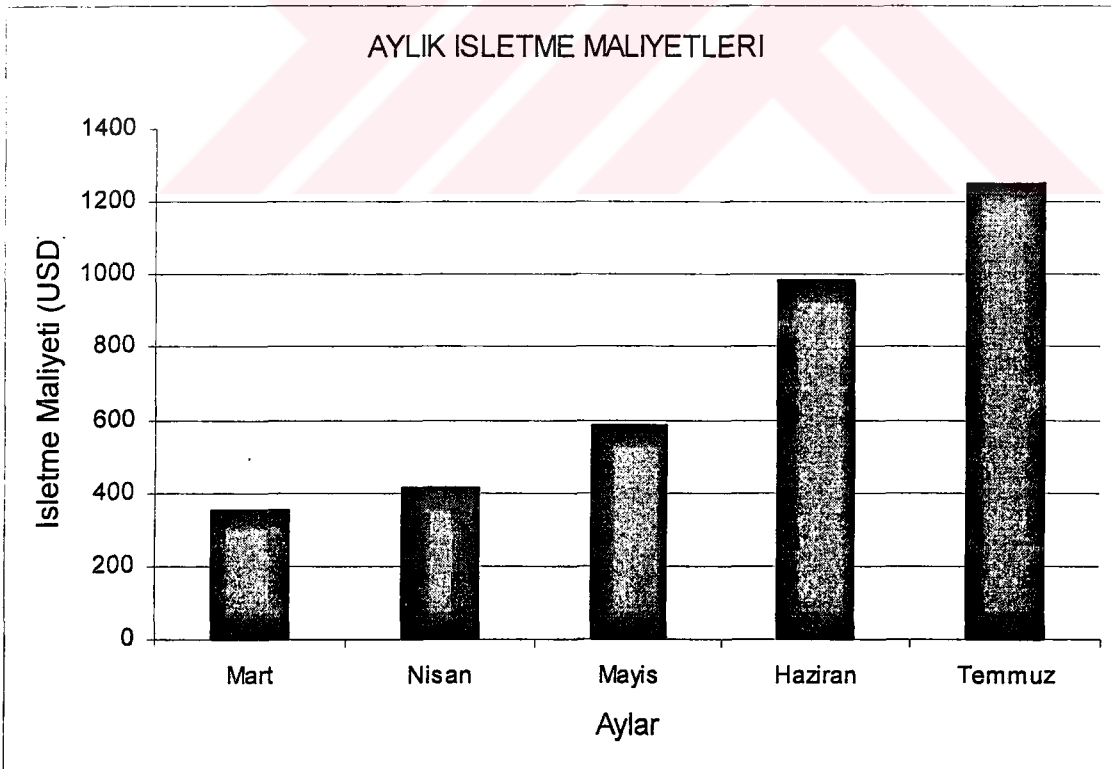
Şekil 5.4 Mayıs ayı günlük işletme maliyetleri



Şekil 5.5 Haziran ayı günlük işletme maliyetleri



Şekil 5.6 Temmuz ayı günlük işletme maliyetleri



Şekil 5.7 Aylık işletme maliyetleri

5.4 Bina İçin Soğu Depolama Sisteminin Konvansiyonel Sistem ile İlk Yatırım ve İşletme Maliyetleri Bazında Karşılaştırılması

Sistemde konvansiyonel bir hava soğutmalı chiller kullanılması halinde seçilecek chiller kapasitesi 500 kW olacaktır. Bu kapasitede bir cihazın saatte çektiği enerji ise YORK firması tarafından 175 kWh olarak belirtilmiştir.

Cihazın günlük çalışma süresi 13 saat olacaktır. Bu durumda tek terimli elektrik tarifesi uygulanacak ve tüketim bedeli 0,0514 USD / kWh olacaktır. (TEDAŞ elektrik enerjisi satış tarifesi)

Her iki sisteme ait cihazlar YORK firması tarafından fiyatlandırılmış ve ilk yatırım maliyetleri, işletme maliyetleri ile birlikte aşağıdaki tabloda karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.6 Soğu depolamalı sistem ile konvansiyonel sistemin ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin karşılaştırılması

Soğutma Grubu	İlk Yatırım Maliyeti	İşletme Maliyeti
Konvansiyonel Chiller	65 000 USD	12 160 USD/yıl
Soğu Depolam Sistemi	105 000 USD	3590 USD/yıl

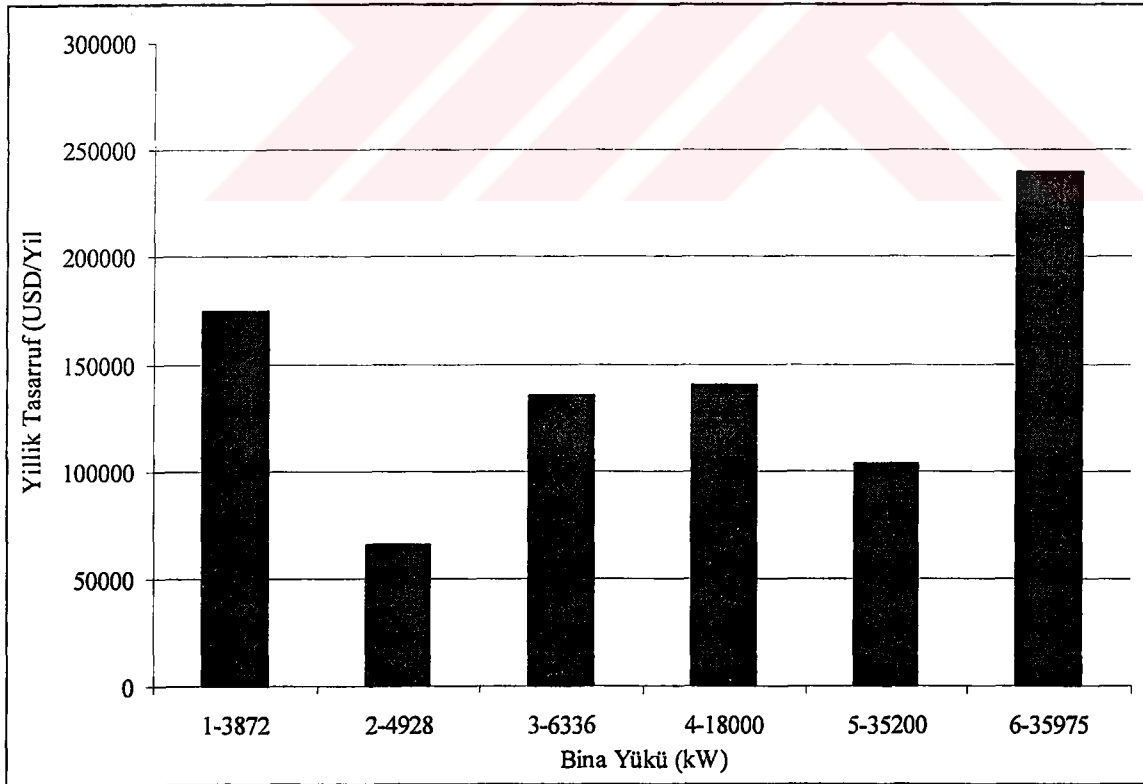
6.SONUÇ VE ÖNERİLER

Elde edilen değerlerden yola çıkarak, soğutma ihtiyacının 500 kW olduğu bir sistemde soğu depolamalı bir sistemin ilk yatırım maliyetinin konvansiyonel bir sisteme göre oldukça yüksek olduğu görülmüştür. İşletme maliyetleri bazında karşılaştırma yapıldığında ise soğu depolamalı bir sistem daha ucuzdur. Yukarıda elde edilen sonuçlardan yola çıkarak sistemin geri ödeme süresi hesaplanacak olursa;

$$\text{Geri Ödeme Süresi} = \frac{\text{Yatırım Maliyetindeki Artış}}{\text{İşletme Maliyetindeki Tasarruf}} = \frac{40000}{8570} = 4,6 \text{ Yıl} \quad 6.1$$

olduğu görülür.

Bu değerden yola çıkarak soğu depolamalı bir sistemin soğutma yükünün az olduğu bu büyüklükteki bir bina için uygun olmadığı söylenebilir. Ancak daha önce konu edilen dünyadaki örnekler ele alındığında, aşağıdaki grafikte özetlenen durum ortaya çıkmaktadır.



Şekil 6.1 Dünyada uygulanan bazı soğu depolama sistemlerinin işletme maliyetlerindeki yıllık tasarruf miktarı

Şekilden de görüldüğü gibi soğutma ihtiyacının 3500 kW 'dan daha büyük olduğu binalarda, soğu depolama sisteminin kullanımı, işletme maliyeti bazında önemli bir tasarruf sağlamaktadır. Ancak, yük ile elde edilecek tasarruf miktarı doğru orantılı değildir. Bu konu ile ilgili aşağıdaki parametreler de dikkate alınmalıdır.

- Ülkede veya ülkenin değişik bölgelerinde uygulanan değişik elektrik enerjisi tarifeleri,
- Depolama yöntemi,
- Sistem dizaynının doğru olarak yapılmış olması,
- Proje türü (Yeni veya revize proje)
- Sistem verimi

Genelden özele gidildiğinde soğu depolamalı sistem kullanımı tasarım örneği olarak incelenen kampüs içindeki tek bir bina için ekonomik yönden bir avantaj sağlamamasına rağmen, dünyada yapılan uygulamalar göz önüne alınarak kampüs içerisinde 17 binadan oluşan üniversite için soğutmanın tek bir merkezi sistemden sağlandığı ve bu sistemin soğu depolamalı bir sistem olduğu kabul edildiğinde yıllık işletme maliyetlerinde büyük tasarruf sağlanacağı öngörülmüştür.

KAYNAKLAR

ASHRAE Handbook - Applications, (1995), ASHRAE, Atlanta Georgia

Carrier Cooperation ETO Software Systems, (1996), Energy Analysis User 's Manuel

Carrier Cooperation ETO Software Systems, (1996), Load Analysis User 's Manuel

Dorgan, C.E. ve Elleson, J.S., (1993), Design Guide for Cool Thermal Storage, ASHRAE, Atlanta Georgia

Elleson, J.S., (1997), Successful Cool Storage Projects : From Planning to Operation, ASHRAE, Atlanta Georgia

İlken, Z., (1998), "Soğu Depolama", III. Uluslararası Yapıda Tesisat Bilimi ve Teknolojisi Sempozyumu, 7-9 Mayıs 1998, İstanbul

Johnson, R.R., (1995), Fundamentals of HVAC Systems", ASHRAE, Atlanta Georgia

Lorsch, H.G., (1993), Air Conditioning System Design Manuel, ASHRAE, Atlanta Georgia

MacCracken, M., (1998), "Thermal Storage and Deregulation", ASHRAE Journal, 40 (4): 55-59, Atlanta Georgia

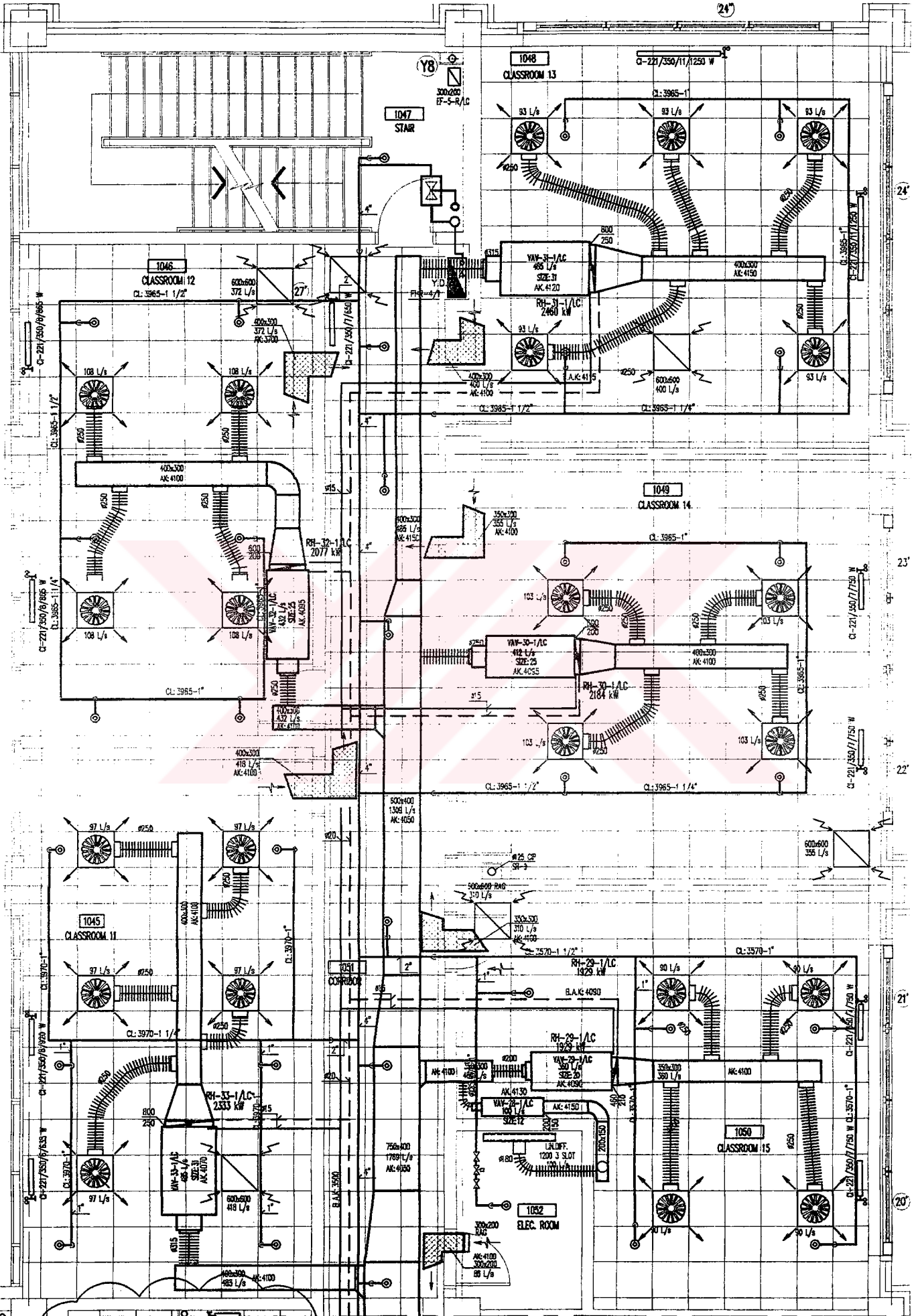
Montgomery, R.D., (1998), "Ice Storage System for School Complex", ASHRAE Journal, 40 (71): 52-55, Atlanta Georgia

Odabaşı, H., (1999), "Buz Depolama Sistemleri", TTMD Dergisi, 2:31-33

York International Cooperation, (1994), York Firması Soğu Depolama Sistemleri Kataloğu

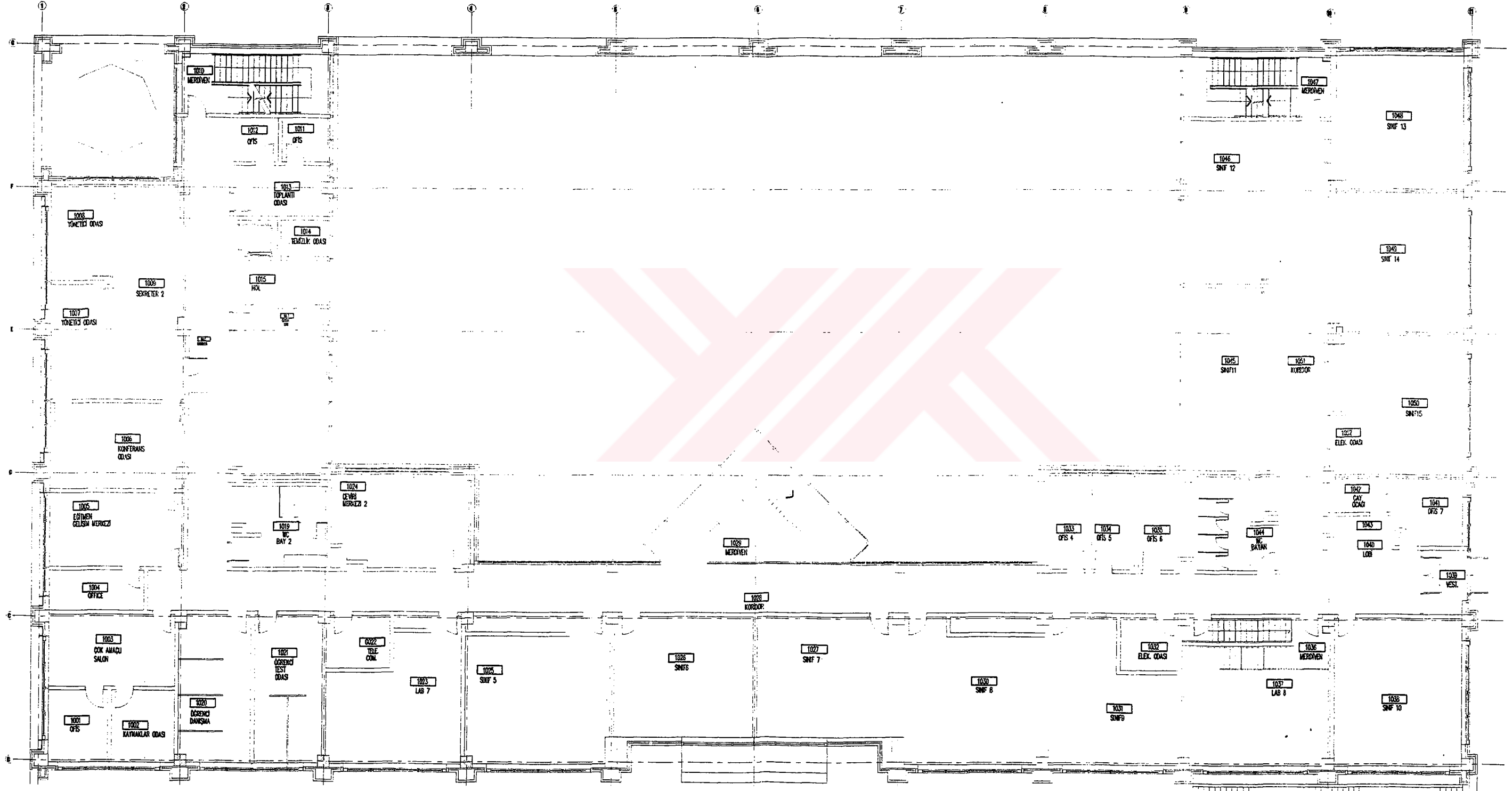
EK 1

TÜM MAHALLERDE UYGULANAN TİPİK KOORDİNASYON RESMİ



EK 2

YABANCI DİLLER BÖLÜMÜ KATLAR MİMARİ PLANLARI



YABANCI DİLLER BÖLÜMÜ 1.KAT MİMARİ PLANI

EK 3

YABANCI DİLLER BÖLÜMÜ SOĞUTMA TESİSATI ŞEMASI

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	04.07.1975	
Doğum Yeri	Bitlis	
Ortaokul	1986-1989	Bursa Özel Namık Sözeri Lisesi
Lise	1989-1993	İSTEK Acıbadem Özel Lisesi
Lisans	1993-1997	Yıldız Teknik Üniversitesi Müh. Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1997-Devam ediyor	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Müh. Anabilim Dalı, Isı Proses Programı
Çalıştığı kurumlar		
	1995-1996	Gentes Mühendislik A.Ş
	1997-Devam ediyor	Tokar A.Ş
Bildiği Diller	İngilizce, Almanca	