



**bu bir MMO
yayıdır**

MMO, bu makaledeki ifadelerden, fikirlerden, toplantıda çıkan sonuçlardan ve basım hatalarından sorumlu değildir.

Su veya Buz Depolama Yöntemleriyle İklimlendirme

Tuncay YILMAZ

Çukurova Üni.
Müh. Mim. Fak. Mak. Müh. Böl.

SU VEYA BUZ DEPOLAMA YÖNTEMLERİYLE İKLİMLENDİRME

Tuncay YILMAZ

ÖZET

Soğu depolanması destekli iklimlendirme son yıllarda oldukça önem kazanmıştır. Soğuk ihtiyacının genelde gündüz olması dolayısıyla belirli saatlerde ihtiyaç duyulması ve soğutma sisteminin günün en yüksek soğutma yüküne göre seçilmesi gereği, bu ihtiyacı doğurmuştur.

Soğu depolanması için iki alternatif mevcuttur. Bunlardan ilki düşük sıcaklıkta soğuk su depolanmasıdır. Bu suyun sıcaklığı farkı 4-7 °C arasındadır. Soğu depolanması için geniş bir tank kapasitesi gerektiğinden, ikinci ana yöntem olarak da buz üretip, üretilen buz depolamak ön plana çıkmıştır. En çok uygulanan bu yöntemde de bilhassa depolama için bir çok metod bulunmaktadır.

Günlük ortalama bir soğutma yüküne göre soğutucu sistem seçilmesinden dolayı soğuk depolu sistemler deposuz sistem kapasitelerinin yaklaşık yarısı olarak seçilebilmektedir. Bu miktar, soğu deposu ve ek aksesuarlar için gerekli maliyetin çok üzerinde olduğundan depolu sistemin ilk yatırım maliyetleri önemli ölçüde azalmaktadır.

Gelişmiş ülkelerde elektrik enerjisi fiyatı da gün boyunca değişmekte olup, bilhassa gece fiyatları çok düşüktür. Ülkemizde de böyle bir fiyat politikası uygulandığında depolu sistemlerin elektrik enerjisi masrafları da oldukça azalacaktır.

Hem ilk yatırım masrafları hem de kullanım, bakım ve onarım masrafları bakımından depolu soğutma sistemleri iklimlendirme kullanıcıları ve ülke ekonomisi bakımından fevkalade yararlı olduğu açıktır.

GİRİŞ

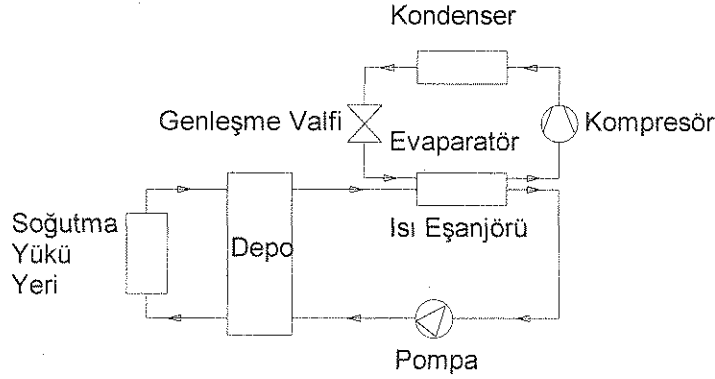
Soğu depolama yöntemi son elli yıldır bilinen ve uygulanan bir yöntemdir [1]. Bu yöntem iklimlendirme sisteminin ilk yatırım masraflarını azalttığı gibi, elektrik ihtiyacını da dengelemektedir [2].

Binaların iklimlendirilmesi amacıyla soğu depolama uygulamalarını depolama ortamı, birincil enerji kaynağı ve depolama teknolojisine göre tanımlamak mümkündür. Depolama ortamı genellikle soğutulmuş su, buz veya faz değiştiren ötektik (eutectic) tuzlardır. Soğu eldesi için kullanılan birincil enerji kaynağı genellikle elektrik olmak üzere, doğal gaz, buhar veya atık ısı olabilir. Depolama teknolojilerini ise soğutulmuş su depoları, buz toplama (harvesting), boru üzerinde buz (ice-on-pipe), serpantin üzerinde buz (ice-on-coil), ve kapsüllenmiş depolama olarak gruplandırmak mümkündür.

En yaygın olarak kullanılan depolama ortamları su, buz, ötektik tuzlar ve benzeri faz değiştiren maddelerdir. Bu ortamların kullanımında birim hacim başına depolanan enerji miktarı ve soğunun depolandığı sıcaklık önemli rol oynar. Bu çalışmada sadece su ve buz depolama yöntemleri ele alınmıştır.

SU DEPOLAMALI SİSTEMLER

Şekil 1'de su depolamalı sistem şematik olarak gösterilmiştir. Böyle bir sistemde şarj süresince depodan alınan su, bir su soğutma ünitesinden geçirilerek istenilen sıcaklığa kadar soğutulur. Kullanımda ise soğutulmuş su depodan alınarak iklimlendirilecek ortama götürülür ve daha sonra tekrar depoya geri döner.



Şekil 1. Su depolamalı sistem.

1980'lerden önce kurulan soğu depolama sistemlerin büyük bir bölümünü su depolama sistemleri oluşturmuştur. Su kullanılmasının en çekici yönü, bu sistemlerin alışlagelmiş su soğutucu sistemleri ve dağıtım şebekeleri (boru ve kanal) ile uyum içerisinde olmaları, yeni soğutma sistemlerine ve dağıtım şebekesine ihtiyaç duyulmamasıdır. Bu nokta tesisin kurulması açısından olduğu kadar soğu depolama için özel yetiştirilmiş operatörlere gereksinim duyulmaması açısından da önemlidir. Su depolama sistemlerinin avantajları şu şekilde özetlenebilir :

- Standart su soğutucularını yüksek bir etkinlikle kullanırlar. Özel ekipmana ihtiyaç yoktur.
- Mevcut alışlagelmiş sistemin kapasitesini artırmak için idealdir.
- Depo hacminin artmasıyla daha ekonomik hale gelirler. İlık yatırım maliyeti 7000 kWh (veya 760 m³) kapasitede alışlagelmiş sistemlerle yarışabilir hale gelir.
- Depo aynı zamanda yangın için su deposu görevini görebilir.
- Denenmiş olup güvenilir bir sistemdir.
- Hem sıcak hem de soğuk suyu depolayacak şekilde düzenlenebilir.

Bu avantajlarının yanında su depolama ve depo hacminin büyük olması, yer bulma ve estetik açıdan bazen problemlere de yol açabilir.

Depolama ortamı olarak suyun kullanılmasında, suyun duyulur ısısından (4.184 kJ/kg K) faydalanılır. Depoda depolanan soğu enerjisi, depolanan suyun sıcaklığı ile iklimlendirilecek ortamdan dönen suyun sıcaklıkları arasındaki farka (ΔT_s) bağlıdır. İyi tasarlanmış bir sistemde, sıcaklık farkı artırılarak depolanan soğu enerjisi arttırılabilir.

Soğutulmuş su genellikle 4 ile 7 °C arasında değişen sıcaklıklarda depolanır. Bu sıcaklıklar pratikte kullanılan birçok su soğutucu sistemler ve dağıtım şebekeleri ile uyum içerisinde.

Depo Hacmi

İstenilen miktarda soğuyu depolayabilmek için gerekli depo hacmi, depodan iklimlendirilecek ortama gönderilen ve ortamdan dönen suyun sıcaklıkları arasındaki farka (ΔT_s) ve deponun etkinliğine bağlıdır. Buradaki depo etkinliği, deponun kullanılabilir bir sıcaklıkta depolanan soğuyu deşarj etmedeki performansdır ve yararlılık ölçüsü (figure of merit = FOM) olarak ifade edilir[3].

Bir soğuk su deposunun performansı için iki ayrı parametre tanımlamak mümkündür. Bunlardan birisi *depolama etkinliği* olup, "deşarjda depodan çekilen enerjinin şarjda depoya verilen enerjiye oranı olarak" tanımlanır. Ancak depolama etkinliği karışma veya ısıl iletimden dolayı kullanılabilir enerjide meydana gelen azalmayı dikkate almadığından deponun performansını belirlemek için yeterli bir parametre değildir.

Yararlılık ölçüsü (FOM) isedeşarjda depodan çekilen soğunun şarj işlemi sonunda depoda mevcut teorik soğuya oranıdır. Teorik soğu, şarjda suyun giriş sıcaklığı vedeşarjda ılık suyun depoya dönüş sıcaklığı esas alınarak hesaplanır. FOM, karışma veya ısıl iletimden dolayı kullanılabilir enerjide meydana gelen azalmayı da dikkate alır.

Sıcaklık farkı ve FOM'un belirlenmesinden sonra gerekli depo hacmi

$$V [m^3] = 0.862 \cdot \frac{Q_d [kWh]}{\Delta T_s [K] \cdot FOM} \quad (1)$$

eşitliğiyle hesaplanabilir.

Bu bağıntıdan da görülebileceği gibi belirli bir kapasitede, sıcaklık farkı (ΔT_s) ve FOM artırılarak depo hacmi minimum tutulabilir. Sıcaklık farkı ise iklimlendirilen ortamdan geri dönen ılık suyun sıcaklığı artırılarak ve depolanan suyun sıcaklığı düşük tutularak artırılabilir. Ender olarak 17 °C'yi bulmakla birlikte, pratikte sıcaklık farkı (ΔT_s) genellikle 11 °C olacak şekilde sistem tasarlanır.

Soğuk su ile ılık suyun karışmasını önlemek için uygulanan yöntemler aşağıda ele alınmıştır. Bu ayrıştırma yöntemlerinden katmanlaştırmanın uygulanması ile %85 ile %90 mertebesinde FOM elde etmek mümkündür.

(1) nolu eşitliğe göre, 11°C'lik sıcaklık farkında %90 FOM ile, birim kWh'lık depolama kapasitesi için gerekli depo hacmi 0.087 m³ tür. Eğer sistem, sıcaklık farkı 17 °C olacak şekilde tasarlanırsa bu değer 0.056 m³/kWh çıkar.

Belirtilen bu depo hacmi, buz depolamalı sistemlere göre 3 ile 7 kat ve faz değiştiren ötektik tuzlara göre 2 ile 3 kat daha büyüktür. Bu büyük hacim gereksinimi yer ve estetik açıdan bazı problemlere yol açabilmektedir. Ancak su depolamalı sistemlerde depo, diğerlerine göre daha yüksek imal edilebileceğinden depo için gerekli alan diğer sistemlerle hemen hemen aynıdır. Eğer yer mevcut ise su depolamalı sistemler büyük miktarlarda soğu depolanması için ekonomik bir yöntem olabilir.

Soğutma yükünün 7000 kWh'ten daha büyük veya depo hacminin 760 m³ten daha büyük olması gereken uygulamalarda en ekonomik soğu depolama sistemi su depolama sistemidir. Tank hacminin artmasıyla depo yüzey alanının depo hacmine oranı azaldığından depolanan birim soğu için maliyet de azalmaktadır. Pratikte uygulanan bazı sistemlerde depo hacmi 3800 m³ hatta 19000 m³ mertebesinde dir.

Birden fazla tanka veya aynı tank içerisinde bölmelere sahip su depolamalı sistemlerde aynı anda sıcak ve soğuk su depolanabilir. Örneğin tanklardan birisi kış aylarında binanın ısıtılması için geri kazanılmış ısı ile ısıtılmış sıcak suyu depolarken, aynı anda diğer tank binanın iç (merkez) kısımlarının soğutulması için gerekli soğuk suyu depolayabilir [1].

Ayrıştırma Yöntemleri

Su soğutmalı sistem, depo içerisinde şarj edilmiş soğutulmuş su ile ılık geri dönüş suyu arasında bir ısıl ayrıştırma sağlama prensibine dayanır. Bu ayrıştırma değişik şekillerde gerçekleştirilebilir :

- katmanlaştırma (stratification)
- çoklu depo
- membran veya diyafram
- labirent ve engel

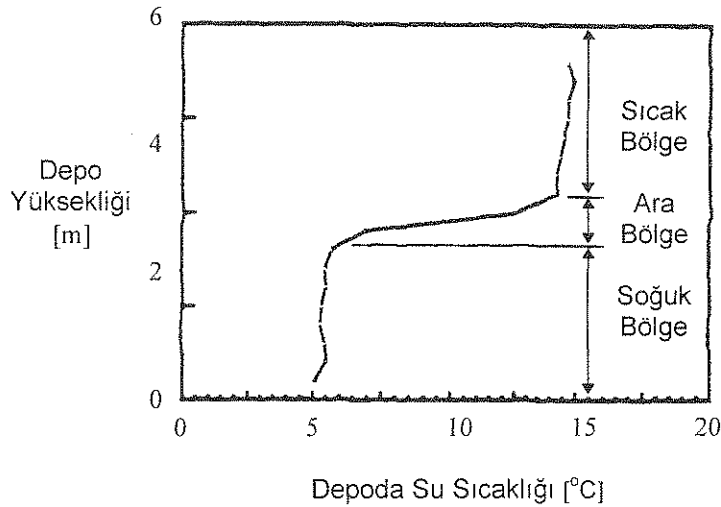
Katmanlaştırma

Soğutulmuş su depolama için katmanlaştırma en basit, en etkili ve maliyet açısından en avantajlı sistemdir. Bazı uygulamalarda diğer sistemlerde kullanılmış olmalarına rağmen, pratikte en yaygın olarak kullanılan sistem katmanlaştırılmış depolardır. Katmanlaştırma suyun yoğunluğunun sıcaklıkla değişmesi prensibine dayanır. Bilindiği gibi sıcaklık düştükçe suyun yoğunluğu artar. 4 °C de bir maksimuma ulaştıktan sonra donuncaya kadar tekrar artar. Bu sebepten dolayı 4 ile 6 °C civarındaki soğuk su deponun tabanında, geri dönen ılık (10 - 18 °C) su ise tavanında toplanır. İyi tasarlanmış katmanlaştırmalı bir depoda, depolanan soğunun %85-90'ından soğutma amacıyla faydalanılabilir. Bu oran diğer ayırıştırma yöntemleriyle aynı mertebede hatta bazılarında daha iyidir.

İyi tasarlanmış katmanlaştırmalı bir depoda, soğuk su ile sıcak su ara bölge (termocline) adı verilen bir bölge oluşturularak birbirlerinden ayrılırlar[3].

Kararlı ve keskin bir ara bölge, deponun alt bölgesindeki soğuk su ile üst bölgesindeki ılık suyun birbirine karışmasını önler.

Şarj süresince, su soğutma cihazında soğutulan su, difüzörler aracılığıyla depoya alttan girer ve ılık su üstten depoyu terk eder. Difüzörlerin tasarımı hakkında Wildin[4] gerekli bilgileri vermiştir. Depo içerisinde soğuk su hacminin artmasıyla ara bölge yukarıya doğru hareket eder. Belirli bir süre sonra depo içerisindeki suyun sıcaklığı her noktada eşitlenir. Deşarj süresince ise soğuk su depodan alttan çekilir ve iklimlendirilen ortamdaki dönen ılık su üstten depoya döner. Sıcaklığın yükseklikte değişimi Şekil 2'de verilmiştir. Ara bölge 0.5-1 m civarındadır[5].



Şekil 2. Depoda katmanlaştırma.

Diğer sistemlerde olduğu gibi katmanlaştırmalı soğuk su depolarında da, ΔT_s nin artmasıyla soğuk depolama kapasitesi artar. Ayrıca ΔT_s nin büyük tutulmasıyla soğuk ve ılık su arasındaki yoğunluk farkı artacağından katmanlaştırma iyileşir. ΔT_s nin büyük olmasının bir diğer avantajı ise, depoya giren ve depodan çıkan su debilerinin az olması dolayısıyla katmanlaştırma yine olumlu yönde etkilenir.

Katmanlaştırmalı depo içerisinde ayrışmanın sağlanabilmesi için serbest konveksiyon, karışma ve ısı iletimi kontrol edilmelidir. Depo içerisinde karışmanın olmaması için, giriş ve çıkışlarda su depoya difüzörler yardımıyla verilir. Uygun difüzörler yardımıyla türbülans önlenir ve termocline bölgesi artırılmaz.

Çoklu Depo

Bu sistemde birden fazla depo kullanılır ve soğuk su ile iklimlendirilen ortamdaki dönen ılık su ayrı ayrı depolarda saklanır. Böylelikle hemen hemen tam bir ayrışma sağlanır ve soğutulacak ortama daima

aynı sıcaklıkta su gitmesi temin edilmiş olur. Bu sistemin bir diğer avantajı ise sistem çalışırken depolardan bazılarının bakım için devre dışı bırakılabilmesidir.

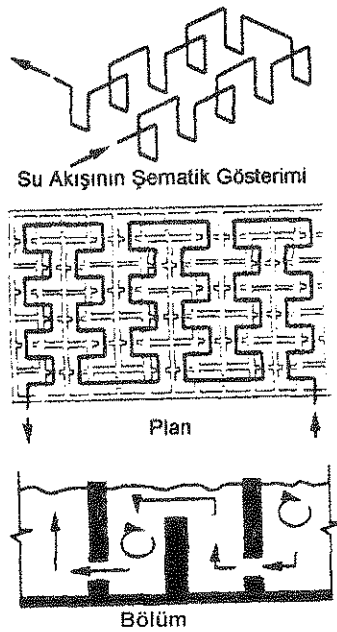
Bu sistemde şarjın başlangıcında depolardan birisi boştur. Şarj süresince dolu depodan alınan su, soğutucuda soğutulduktan sonra boş depoya gönderilir. Kullanımda ise soğuk su deposundan alınan su iklimlendirmeden sonra boşalmış depoya pompalanır. Boş bir depoya ihtiyaç duyulduğundan depo hacmi iklimlendirme için gerekli su hacminin yaklaşık iki katıdır. Bu da ilk yatırım maliyetini olumsuz yönde etkiler. Çoklu depo sisteminde kullanılan boru şebekesi ve kontrol devresi karmaşıktır.

Membran veya Diyafram

Bu sistemde soğuk su ile ılık su birbirlerinden esnek bir membran veya hareket edebilen katı bir diyafram kullanılarak ayrılırlar. Bu sebeple difüzörlere ihtiyaç yoktur. Ancak gerek membranın ilk yatırım maliyeti gerekse membranda meydana gelebilecek yırtılmaların tamiri için gerekli maliyet difüzöre ihtiyaç duyulmamasından doğan maliyet avantajını ortadan kaldırmaktadır. Yapılan çalışmalar membranlı sistem ile katmanlaştırmalı sistemin hemen hemen aynı ısı ayrışmayı sağladığını göstermiştir .

Labirent ve Engel

Bu sistemde depo içerisine yerleştirilen duvarlar veya engeller yardımıyla suyun depo içerisinde akış yolu karmaşık hale getirilir. Soğuk ve ılık akışkanlar arasında meydana gelen küçük hacimdeki bir miktar akışkan hareket ederek ayrışmayı sağlar. Ancak bu tür sistemlerde türbülans, serbest ve zorlanmış konveksiyon ve ısı iletkenlik sebebiyle ayrışma istenilen düzeyde değildir. Bu sisteme bir örnek Şekil 3'de verilmiştir. [5,6]



Şekil 3. Engelli depo sistemi.

BUZ DEPOLAMALI SİSTEMLER

Buz depolamalı sistemler ilk olarak süt işleme tesislerinde, kiliselerde ve tiyatrolarda boru serpantinleri üzerinde buz oluşturularak kullanılmıştır. Soğutmaya duyulan ihtiyacın kısa zaman aralıklarında olduğu bu tür uygulamalarda soğutma için kurulan tesisin büyüklüğü depolamalı sistem kullanılması durumunda büyük oranda küçülmektedir. Buz depolamalı sistemlerin ilk uygulamalarında birincil amaç, enerji maliyetinden daha çok ilk yatırım maliyetlerindeki azalma olmuştur. Bu ilk kuşak sistemler karmaşık olmayan, özel soğutma ünitelerine ihtiyaç duyan ve enerji açısından fazla etkin olmayan sistemlerdir.

1970 lerde yaşanan enerji krizinden sonra soğu depolama daha çok ilgi çekmiş ve bu dönemde kurulan tesislerin büyük çoğunluğunda depolama ortamı olarak su kullanılmıştır. Ancak uzun yıllar süren araştırmalar sonucu buzlu sistemlerde bazı iyileştirmeler yapılmış ve bu sistemler sulu sistemlerle yarışır hale gelmiştir. Günümüzde buzlu sistemlerin sayısı sulu sistemlerden daha fazla olmakla birlikte toplam kapasite dikkate alındığında sulu sistemlerin bir üstünlüğü söz konusudur.

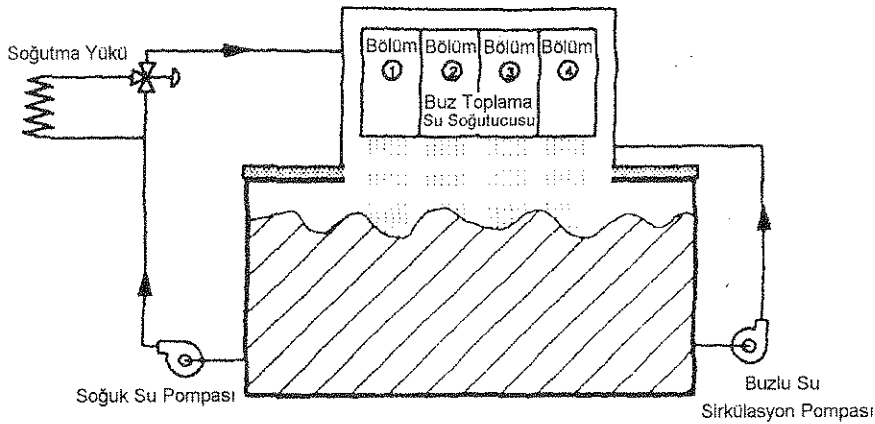
Buzlu sistemler, suyun erime gizli ısısından (= 335 kJ/kg) faydalanırlar. Depolama hacmi, tam şarj olmuş bir depoda buz miktarının su miktarına oranına bağlıdır. Kullanılan buz depolama tekniğine bağlı olmakla birlikte, depo hacmi 0.02 ile 0.03 m³/kWh arasında değişir.

Buzlu sistemlerde su donma noktasında (0 °C) depolanır. Buz elde etmek için soğutma sistemi -3 ile -9 °C arasında değişen sıcaklıklarda bir akışkanı soğutmak zorundadır. Bu sıcaklıklar, iklimlendirmede kullanılan soğutma makinalarının çalışma sıcaklıklarının altında olduğundan özel buz yapma makinalarına ihtiyaç vardır.

Buz depolamalı sistemler statik ve dinamik sistemler olmak üzere genelde iki gruba ayrılırlar. Statik sistemlerde su dolu bir tank içerisine daldırılmış serpantinlerin üzerinde ve etrafında buz oluşur. Dinamik sistemlerde ise değişik şekillerde oluşturulan buz parçacıkları bir depoya gönderilerek, orada saklanır.

Buz Toplama

Bu sistemde soğutucu akışkan düz, düşey buharlaştırıcı levhalar içerisinden geçer ve bu sırada levhaların üzerinden geçen su buz haline dönüşür (Şekil 4). Levhalar üzerinde belirli bir kalınlıkta buz oluştuğundan sonra, evaparatörden geçirilen sıcak soğutucu akışkan yardımıyla buz evaparatörün altına yerleştirilen su deposunun içerisine düşer. Bu tankın altından alınan soğuk su iklimlendirilecek ortama gönderilir. Bu işlem periyodik olarak devam eder.

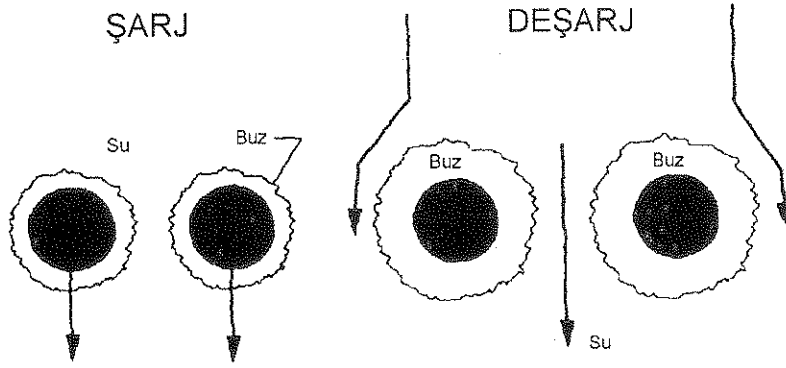


Şekil 4. Buz toplama sistemi.

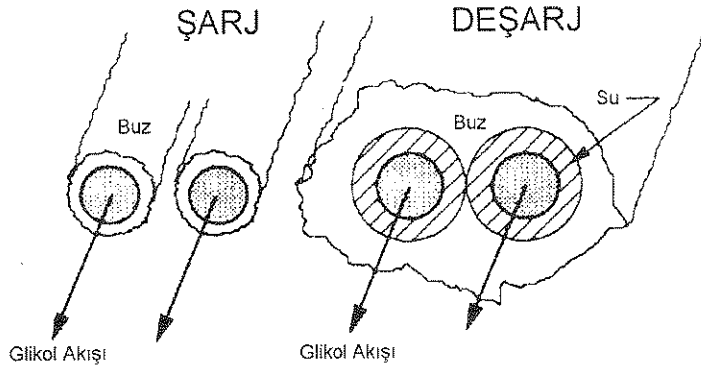
Serpantinler Üzerinde Buz

Bu sistemin iki değişik türü mevcuttur. Birinci türde (Şekil 5) su ile doldurulmuş bir deponun içerisine serpantin yerleştirilir. Bu serpantin içerisinden soğutucu akışkan geçirilerek, serpantin üzerinde buz oluşması sağlanır. İklimlendirilecek ortamdan dönen ılık su oluşan buz tabakasının üzerine gönderilerek, buz eritir ve suyu da soğutur[6].

İkinci türde (Şekil 6) ise boru içerisinden bir soğutma ünitesinin buharlaştırıcısında soğutulmuş glikol-su karışımı dolaştırılır. Buz oluştuğundan sonra iklimlendirilecek ortamdan dönen glikol-su karışımı boru içerisinden geçirilerek buzun erimesi ve karışımın soğuması gerçekleştirilir.



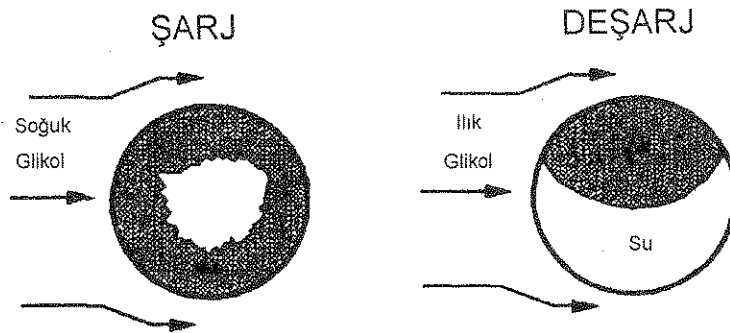
Şekil 5. Dıştan eritmeli buz depolamasının şarj ve deşarjı.



Şekil 6. İçten eritmeli buz depolamada şarj ve deşarj.

Kapsüllenmiş Buz

Bu sistemlerde iyonize edilmiş su ve buz çekirdeklendirici içeren plastik kapsüller kullanılır (Şekil 7).



Şekil 7. Kapsülle buz depolamada şarj ve deşarj.

Ticari olarak satılan kapsüller ya silindirik ya da dikdörtgen prizması şeklindedir. Şarj süresince bir soğutucu üniteye soğutulan glikol-su karışımı bir depo içerisine yerleştirilmiş plastik kapsüllerin üzerinden geçirilerek kapsüllerin içerisinde buz oluşumu gerçekleşir. Deşarjda ise iklimlendirilecek ortamdan dönen glikol-su karışımı kapsüllerin üzerine gönderilerek buzun erimesi ve karışımın soğuması sağlanır. Kapsüllü depolamada şarj ve deşarj esnasında ısı transferi önemli bir rol oynamaktadır[8].

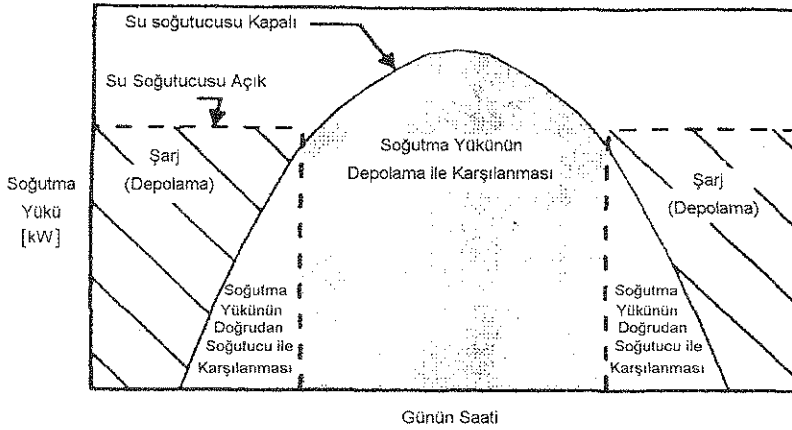
Faz Değiştiren Ötektik Tuzlar

Bu sistemlerde ise plastik kapsüller içerisinde su yerine faz değiştiren bir ötektik tuz kullanılır. Faz değiştiren bu maddelerde depolamada aşırı soğuma ve aşırı genleşme önlenmektedir[9].

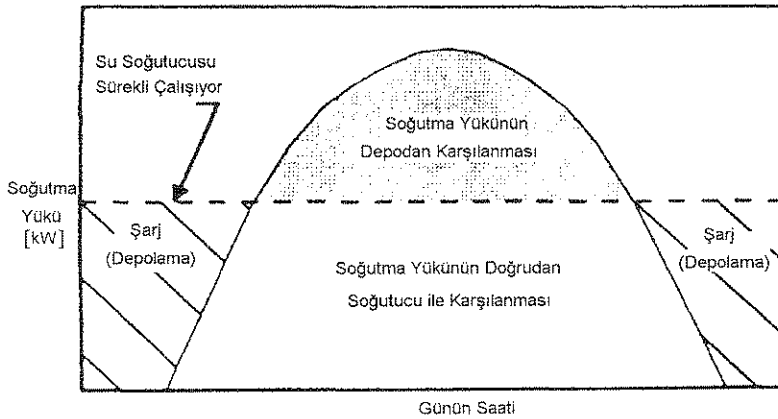
SOĞU DEPOLAMALI SİSTEMLERİN İŞLETME ŞEKİLLERİ

Çıkarılan soğutma yükü profiline göre, depolamalı sistemin nasıl işletileceğine karar verilebilir. Soğu depolamalı bir sistem genel olarak "tam depolama" veya "kısmi depolama" olmak üzere iki değişik şekilde tasarlanabilir. Her iki işletme yönteminde de soğutma yükü profiline bakılarak soğutma yükünün tamamının veya belirli bir bölümünün depodan sağlanacağı periyoda ("on-peak") karar verilir. Tam depolamada, "on-peak" süresince soğutma yükünün tamamı depodan karşılanır. Bu sürede su soğutma ünitesi kapalıdır. Bu sürenin dışında ise su soğutma ünitesi depolanan suyu soğutmak ve/veya doğrudan soğutma yükünü karşılamak üzere çalışır. Böyle bir çalışma durumu Şekil 8'de gösterilmiştir.

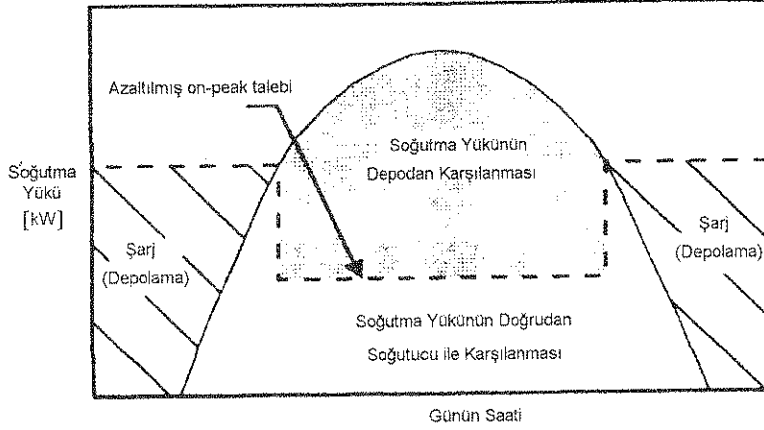
Kısmi depolama ise kendi içerisinde iki gruba ayrılabilir. "Yük seviyelemeli" çalıştırmada (Şekil 9) su soğutma ünitesi 24 saat tam kapasitede çalışır. Soğutma yükünün olmadığı saatlerde soğutulan su depoda saklanır. Soğutma yükü su soğutucu ünitenin kapasitesinden fazla olduğunda ise ihtiyaç duyulan fazladan soğutma depodan karşılanır. "İhtiyaç sınırlamalı" sistem "yük seviyelemeli" sisteme benzemekle birlikte bu çalışma modunda "on-peak" süresince su soğutma ünitesi daha düşük bir kapasite ile çalışır (Şekil 10). Soğutma yükünün geri kalan bölümü ise depodan karşılanır.



Şekil 8. Tam depolama.

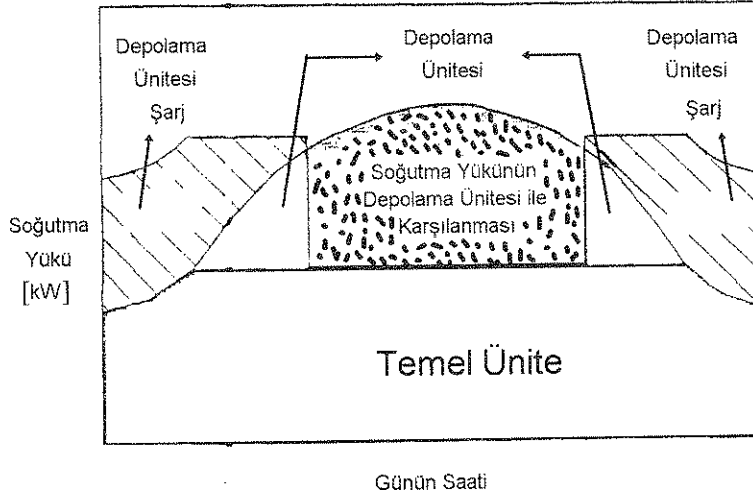


Şekil 9. Kısmi depolamada eşit çalışmalı soğutma ünitesi.



Şekil 10. Kısmi depolamada değişken yüklü soğutma ünitesi.

24 saat soğutma yükünün bulunduğu durumlarda temel yük sürekli olan temel soğutma ünitesi ile ve geri kalan kısmı ise ikinci bir sistem ile karşılanır. Tam depolamalı ve temel soğutma üniteli bir durum Şekil 11'de gösterilmiştir.



Şekil 11. Temel ünite ve depolama ünitesi ile çalışma durumu.

SOĞU DEPOLAMALI SİSTEMLERİN TASARIMI

Soğu depolamalı sistemlerin tasarımında aşağıdaki işlemlerin yapılması gereklidir:

- Ön ekonomik analizin yapılması
- Soğutma yükünün günün saatlerine göre belirlenmesi
- Soğu depolama sisteminin belirlenmesi
- Çalışma sistemlerinin belirlenmesi
- Soğutma ünitelerinin belirlenmesi
- Soğu deposunun belirlenmesi
- Kesin ekonomik analizin yapılması
- Kesin tasarımın yapılması

Burada yukarıdaki kısımlara kısaca değinilecektir.

Soğutma Yüğü

Soğu depolamalı sistemlerin tasarımında soğutma yükü profilinin 24 saat boyunca veya daha uzun sürede değişimi maksimum saatlik yük kadar önemlidir. Depolamanın yapılmadığı alışlagelmiş bir sistemde 24 saatlik toplam yük maksimum saatlik yükün 24 ile çarpılmasıyla elde edilir. Böylelikle tasarım yükünün kısa bir süre için aşılması durumunda sistem bunu tolere edebilir. Bununla birlikte depolamalı bir sistem maksimum saatlik yükü olduğu kadar toplam yükü de karşılayabilecek şekilde tasarlanmalıdır. Bu sebeple, bir şarj-deşarj çevrimi boyunca toplam yükü doğru bir şekilde hesaplamak önemlidir. Bir çevrim genellikle 24 saat olmakla birlikte, bazı özel uygulamalarda bu bir haftaya kadar çıkabilmektedir.

Depolamalı bir sistemin tasarımında saatlik soğutma yükü alışlagelmiş sistemlerde olduğu gibi hesaplanır. Soğutma yükünün hesabı ayrıntılı olarak bilinmektedir [10]. Soğu depolamalı bir sistem tasarımı için soğutma yükü hesabında "pull-down" yükü adı verilen yüke dikkat edilmelidir. "Pull-down" yük, binanın boş olduğu periyotlarda (mesai saatleri dışı ve hafta sonu) kazanılan ısıdır ve soğutmanın ilk bir kaç saatinde karşılanması gerekir. "Pull-down" yükleri alışlagelmiş sistemlerin tasarımında sistemin büyüklüğünü etkilemez, ancak soğu depolamalı sistemlerde hesaba katılmalıdır. "Pull-down" yükleri binanın kullanım şekline göre ve günlere göre değişir. Örneğin bir ofis binası için eğer haftasonu normal iklimlendirme sistemi çalışmıyorsa, pazartesi en büyük "pull-down" yükü ortaya çıkar. Bu tür pazartesi sabahı "pull-down" yükleri depolamalı sistemi normalden bir kaç saat önce şarj etmeye başlayarak karşılanabilir.

Depolamalı sistem için soğutma yükü hesabında, alışlagelmiş soğutma yükü hesabında dikkate alınan parametrelere ilave olarak deponun ısı kazancı ve gerek şarj gereksedeşarjda kullanılan pompalardan kaynaklanan ısı kazancı da dikkate alınmalıdır.

Soğutma yükünün dağılımı ve büyüklüğü ile belirtilen diğer durumlara göre soğu depolamanın su ile mi yoksa buz ile mi yapılacağı ve sistemin tam depolamalı mı yoksa kısmi depolamalı mı olması gerektiğine karar verilir. Ayrıca buzlu ve sulu depolama sisteminde depolama sistemi hakkında da bir karara varılır. Bundan sonra soğutucu kapasitesi ve soğu deposu kapasitesi belirlenir.

Soğutucu Kapasitesi

Soğutucu kapasitesi ve depolama kapasitesi toplam soğutma yükünün yanında depolamalı sistemin nasıl işletileceğine de doğrudan bağlıdır.

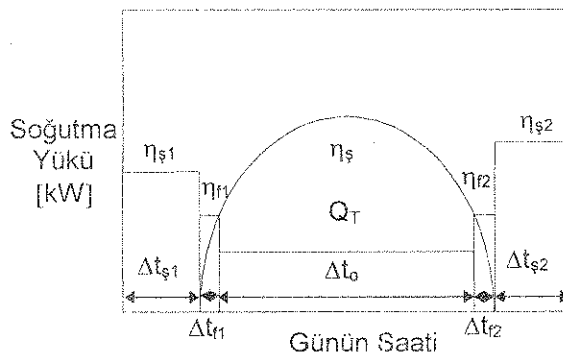
Şekil 12'deki soğutma sistemi için soğutucu kapasitesi;

$$\dot{Q}_c = \frac{Q_T}{\Delta t_s \cdot \eta_s + \Delta t_o \cdot \eta_o + \Delta t_f \cdot \eta_f} \quad (2)$$

bağıntısından belirlenir. Burada Q_T [kWh] olarak toplam soğutma yükünü, Δt_s , Δt_o ve Δt_f şarj, on-peak ve off-peak durumlarının saat olarak sürelerini ve η_s , η_o ve η_f de şarj, on-peak ve off-peak durumlarında soğutucu kapasitesinin oranını göstermektedir. Şekilden de görüleceği gibi

$$\Delta t_s = \Delta t_{s1} + \Delta t_{s2} \quad \text{ve} \quad \Delta t_f = \Delta t_{f1} + \Delta t_{f2}$$

şeklinde toplam şarj ve off-peak saatleri hesaplanmalıdır.



Şekil 12. Soğutucu kapasitesinin belirlenmesi.

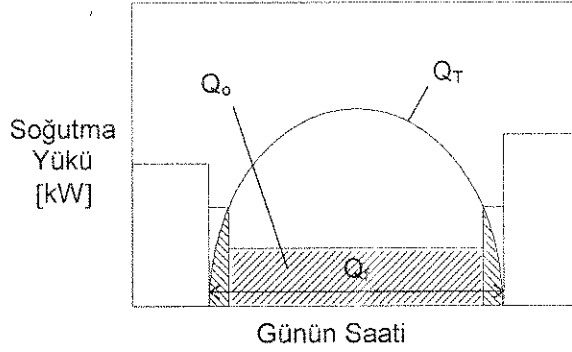
Depo Yüğü

Depo yüğü Q_d 'nin hesaplanma durumu Şekil 13'de verilmiştir. Depo yüğü Şekil 13'e göre

$$Q_d = Q_T - Q_o - Q_f \quad (3)$$

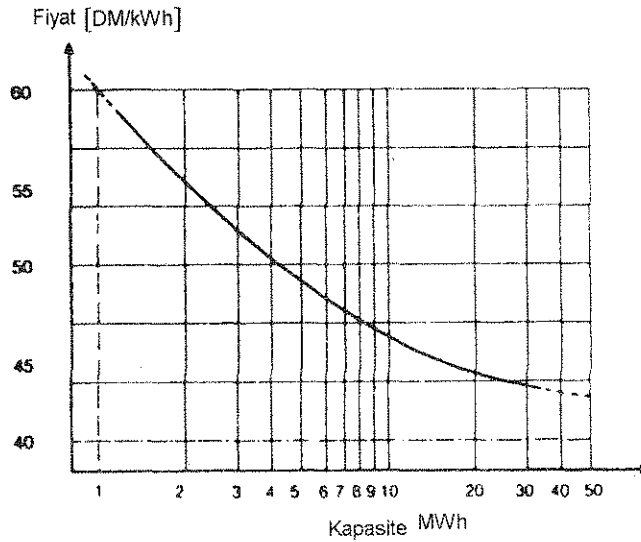
bağıntısından belirlenir. Burada Q_o on-peak ve Q_f de off-peak durumundaki yüklerdir. Depo hacmi de bu Q_d yüğü ile eşitlik (1)'den bulunmuştur.

Buz depolamada depo büyüklüğü, soğutma kapasitesi tayini ve ekonomiklik için Musgrove [11] bir program vermiştir.



Şekil 13. Depo yükünün belirlenmesi.

Buzlu sistemde depo maliyeti Şekil 14'de verilmiştir[12]. Deneysel çalışmalar [13] genelde %50 ekonominin sağlandığını göstermektedir. Soğu depolu sistemin tercih edilmesi için ekonomik bir çözüm olması gereklidir. Bunun için konvensiyonel sistem ile bu sistem arasında ülkemizin koşullarında ilk yatırım açısından bir avantaj olması istenir. Çünkü ülkemizde gece saatlerinde elektrik enerjisinin daha ucuz kullanılması söz konusu değildir.



Şekil 14. Buz depo fiyatlarının kapasite ile değişimi.

UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Hem buzlu hem de sulu depolama sistemleri için dünyada bir çok uygulamalar mevcuttur. Avrupanın en büyük depolama sistemleri Renauid fabrikalarının yeni yapılan araştırma ve geliştirme bölümünün 350.000 m² kapalı soğutulacak alanları için yapılmış olup, buz depo hacmi 576 m³ ve depolama kapasiteleri de 46.000 KWh'dir[13].

Cornell Üniversitesi kampüs alanı da soğuk su depolama sistemi ile soğutulmaktadır[14]. 279.000 m² kapalı alanın soğutulması için 45.700 KW en yüksek ısı yükü (peak load) gerekmektedir. Depo yüksekliği 20 m ve depo çapı 33 m olup, depo katmanlaştırma prensibine göre çalışmaktadır. Toplam su hacmi 16.676 m³ olup depolama kapasitesi ortalama 125 MWh'dir. Depo yüksekliği 31 m olarak planlanmış, ancak estetik görünümünden dolayı 20 m olarak seçilmiştir. ABD'nin diğer üniversite kampüslerinde de benzer uygulamalar yapılmıştır[15].

Bir telefon veri merkezinde kullanılan 80 m³ buz depolamalı bir sistemden de gayet olumlu sonuçlar alınmıştır[16].

Dünyanın en büyük buzlu depolama sistemlerinden biri büyük bir iş merkezi için yapılmış olup, 115 MWh soğu depolama kapasitesine sahiptir[16]. Sistem kendisini 5 senede geri ödemektedir.

Dallas'da 50 katlı 139.350 m² alanlı bir iş merkezinde herbiri 1420 m³ hacimli 4 depolu bir sistem yapılmıştır[18]. Bu sistemle ve enerji geri kazanım uygulamasıyla toplam enerji tüketiminden %40'a varan tasarruf sağlanmıştır. Çok çeşitli uygulamalarda ölçümler Tran ve ark.[19] tarafından yapılmıştır.

SONUÇ

Soğu depolu iklimlendirme sistemleri dünyada uzun yıllardan beri başarıyla kullanılmaktadır. Bu teknoloji denenmiş olup, küçük sistemlerde genelde buzlu, büyük sistemlerde de sulu sistemler tercih edilmektedir. İlk yatırım maliyetlerinde çok önemli azalmalar meydana gelmesi sebebiyle, günün veya haftanın belirli kesimlerinde kullanılan cami, düğün salonu, dans salonları, lokanta, spor salonu, konferans salonu gibi mahallerde başarılı bir şekilde kullanılabilir. Bu yapıldığında ülkemiz ekonomisine büyük bir katkı sağlanabilecektir.

KAYNAKLAR:

- [1] HASEM, A. and MERTOL, A. "Thermal energy storage for cooling of commercial buildings", Energy Storage Systems, Klumer Academic Publishers, 1989, 315-347.
- [2] SURİ, R.K. and et. all. "Cool storage for air conditioning in Kuwait", Int. J.. Refrigeration, 8, 1985, 240-245.
- [3] ASHRAE Handbook, HVAC Applications, Thermal Storage, 1991, 39.01-39.17.
- [4] WILDIN, M.W. "Diffuser for naturally stratified thermal storage", ASHRAE Transaction 96(1), 1990, 1094-1102.
- [5] DORGAN, C.E. and ELLESON, J.S. "Design Guide for Cool Thermal Storage", ASHRAE, Atlanta, 1994.
- [6] SWET, C.J. "Cool Storage for solar and conventional air conditioning", Energy Storage Systems, 1989, 349-368.

- [7] LEE, A.H.W. and JONES, J.W. "Modelling of an ice-on-coil thermal energy storage system", Energy Covers. Mgmt., 37, 1996, 1493-1507.
- [8] CHEN, S.L. and YUE, J.S. "Thermal performance of cool storage in packed capsules for air conditioning", Heat Recovery Systems & CHP, 11, 1991, 551-561.
- [9] RYU, H.W. and et. all. "Heat transfer characteristics of cool-thermal storage systems", Energy, 16, 1991, 727-737.
- [10] ASHRAE Handbook, Fundamentals, 1993.
- [11] MUSGROVE, A.R. "ISTORE-A model to simulate and optimise the operation of ice-storage air-conditioning systems", Int. J. Energy Research, 14, 1990, 199-208.
- [12] BRUDER, T. "Eisspeicher in der Kältetechnik", Ki Klima-Kälte-Heizung 4/1993, 147-151.
- [13] SCHMID, W. "Eiskaldes Sparpaket", Energierückgewinnung, 1997, 14-15.
- [14] BAHNFLETH, W. et all. "Stratified storage economically increases capacity and efficiency of campus chilled water system", ASHRAE Journal, March 1995, 46-48.
- [15] ANDREPONT, J.S. "Case studies of chilled water storage", Heating/Piping/Air Conditioning, January 1993, 105-113.
- [16] SIVERLING, A.M. and KRESSLER, K.J. "Ice storage system assures data center cooling", Heating/Piping/Air Conditioning, April 1995, 35-39.
- [17] BARTLETT, T. A. and FROEBE, R. "The design and operation of JCPenney's ice storage system takes conversions and/or addition of future controls and equipment into consideration", Heating/Piping/Air Conditioning, April 1995, 27-32.
- [18] TACKETT, R.K. "Results from operation of a large membrane stratified cool storage system with heat recovery", ASHRAE Transactions 93(1), 1987, 728-739.
- [19] TRAN, N. et. all., "Field measurement of chilled water storage thermal performance", ASHRAE Transactions 95(1), 1989, 1106-1112.

ÖZGEÇMİŞ

1945'de Tarsus'ta doğdu. 1968'de Berlin Teknik Üniversitesi'nin Makina Fakültesini bitirdi. 1972 yılında aynı üniversitede doktorasını tamamladı. 1973 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde göreve başladı. 1977 yılında Makina Mühendisliği Bölümü'nde Isı ve Kütle Transferi Bilim Dalı'nda doçent oldu. 1983'te Çukurova Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı'na profesör olarak atandı. Almanya dışında İngiltere'de Cambridge ve Liverpool Üniversiteleri'nde, ABD'de Massachusetts Institute of Technology'de misafir öğretim üyesi olarak bulundu. 1982-83 yıllarında K.T.Ü. Makina Mühendisliği Bölüm Başkanlığı görevini yaptı. 1986-89 yılları arasında Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dekanlık görevini yürüttü. Halen Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölüm Başkanlığı ve Çukurova Üniversitesi Soğutma ve İklimlendirme Tekniği Uygulama ve Araştırma Merkezi Müdürlüğü görevini sürdürmektedir.