

SOĞUK SULU İKLİMLENDİRME VE PROSES SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE KURU SOĞUTUCULU DOĞAL SOĞUTMA UYGULAMALARI

Hasan ACÜL
Makina Mühendisi
Ar-Ge Bölüm Şefi

ABSTRACT

The heightened emphasis placed today on energy efficiency in air conditioning and process cooling applications, has an impact on the design of cooling systems responsible for the majority of energy consumption in facilities; the tendency towards alternative systems in order to increase efficiency of natural resources is increasing and systems consuming less energy continue to be developed.

The system of free cooling which reduces operational costs with the increase in efficiency it creates, entirely or partially eliminates the need for operation of the cold water generating group at periods of low ambient temperature, thus saving substantial amounts of energy. Dry cooler systems have an important function in energy efficiency, operating with a cooling group or independently depending on properties of the application.

This paper will offer detailed and comparative information on "Dry Cooler Free Cooling Systems" which are among free cooling techniques categorised as "Free Cooling for Water-Side Applications" [1], emphasizing energy efficiency in cooling installations through sample applications in various sectors. Information will also be given on the material, performance and construction properties of dry coolers as well.

1. GİRİŞ

Doğal Soğutma sistemleri Sulu ve Havalı Sistemlerde yapılan uygulamalar olmak üzere iki temel kategoridedir. [1]

Temelde sulu soğutma uygulamaları için doğal soğutma olarak kategorize edilen doğal soğutma teknikleri merkezi bir soğutma grubundan sağlanan soğuk su üretiminin maliyetini azaltmaya yönelik uygulamaları kapsamaktadır. Soğutma suyu ihtiyacı olan sistemlerde uygulanan doğal soğutma, ortamın düşük hava sıcaklığından faydalanarak soğuk su üretici grubun (chiller) kompresörünün çalışması olmaksızın yada kısmen çalıştırılarak soğutma suyu elde edilmesidir [1],[2].

Sulu Soğutma Uygulamaları için Doğal Soğutma uygulamaları kendi içinde iki ana kategoriye ayrılmaktadır:

- **Evaporatif Soğutma Uygulamaları**
 - Açık Devre Soğutma Kulesi Uygulamaları
 - Kapalı Devre Soğutma Kulesi Uygulamaları
- **Isı Değiştirgeçli Soğutma Uygulamaları**
 - Entegre Doğal Soğutma Bataryası Uygulamaları

- Kuru Soğutucu ve Islak/Kuru Soğutucu Uygulamaları

Her bir sistem kendi avantaj ve dezavantajlarına sahip olmakla birlikte uygulanacak sistem seçimini etkileyen en önemli unsurlardan biri soğutma sisteminin hangi amaç doğrultusunda kullanıldığı veya kullanılacak olduğudur. Bu durum sistem tasarımını doğrudan etkilemektedir.

Diğer önemli etken ise, sistemin kurulacağı bölgenin iklim koşullarıdır. Soğutma sistemi proje aşamasında iken doğal soğutma uygulanmasının avantajlı olup olmadığının belirlenebilmesi ve sağlıklı bir yatırım kararı alınabilmesi için sıcaklık değerlerin yıllık tekrar edilme sıklıklarının bilinmesi (Bin data) ve bu verilerin değerlendirilmesi (Bin metodu) çok önemlidir [3].

Aşağıda belirtilen noktalar da sistem seçiminde göz önüne alınması gereken diğer önemli etkenlerdir:

- Sistemin soğutma kapasitesi
- Soğutma grubunun çalışma aralıkları ve operasyon zamanı
- Doğal soğutma maliyeti ve uygulama ile geri ödeme süresi
- Sistemde kullanılan diğer yardımcı ekipmanların sisteme etkisi
- Sistemin kurulacağı bölgenin elektrik, su vb. maliyetleri

2. ISI DEĞİŞTİRGEÇLİ SOĞUTMA UYGULAMALARI

İklimlendirme sistemlerinde, proses su soğutma tesislerinde vb. ihtiyaç duyulan soğuk su üretimi için farklı uygulamalar yapılabilir. Hava / su soğutmalı Chillerler, açık / kapalı su soğutma kuleleri, plakalı / boru-kovan tip eşanjörler bu sistemlerdendir.

Bahsi geçen uygulamalara ek olarak soğuk su üretiminde oldukça yaygın kullanım alanına sahip olan bir diğer sistem de kuru soğutucu (kanatlı-borulu ısı değiştirgeçli soğutma bataryalı) sistemleridir. Bu sistemler uygulamada ihtiyaç duyulan soğuk su sıcaklık değerlerine bağlı olarak herhangi bir soğuk su üretici grup olmaksızın çalışabilmekle birlikte doğal soğutma uygulamaları için bir soğuk su üretici grup ile beraber entegre veya bağlantılı olarak da kullanılabilirler. Ortam sıcaklık değerinin istenilen soğutma suyu sıcaklığının 1,5 – 2.0°C altına düşmesi ile birlikte bu sistemler kullanılmaya başlanabilir.

Sistemin çalışma yapısı,

1. Tamamen mekanik soğutma (Doğal soğutma uygulaması yok),
2. Kısmi doğal soğutma (Yük paylaşımı-ön soğutma),
3. Tamamen doğal soğutma (Soğutma grubu çalışmıyor) olmak üzere üç değişik yaklaşım ile tanımlanabilir.

Su kulelerine alternatif olan bu sistemin kapalı devre çalışması sayesinde soğutma suyunun azalması problemiyle karşılaşmaz, bunun yanı sıra devre içerisinde kirlenme vb. riskler bu uygulamalarda tamamen ortadan kalkmaktadır.

Kanatlı-borulu ısı değiştirgeçli soğutma bataryalı sistemler iki farklı biçimde uygulanabilir:

1. Soğutma Grubu ve Entegre Doğal Soğutma Bataryası Uygulamaları
2. Kuru Soğutucu ve Islak/Kuru Soğutucu Uygulamaları

2.1 Soğutma Grubu ve Entegre Doğal Soğutma Bataryası Uygulamaları

Enerji verimliliğinin tesisatlarda giderek ön plana çıkması tesislerde enerji tüketiminin hatırı sayılır bir kısmını yaratan soğutma gruplarının dizaynlarını da etkilemeye başlamıştır. Geleneksel soğutma gruplarından farklı olarak entegre doğal soğutma bataryalı gruplar uygulamalarda kendilerini hissettirir olmuşlardır. Örneğin İngiltere’de yıllık soğutma ihtiyacının %62’sinin doğal soğutma ile sağlanmasında entegre doğal soğutma bataryalı su soğutma gruplarının etkisi vardır. Bu ülkede yıllık soğutma ihtiyacının yalnızca %38’i mekanik soğutma ile sağlanmaktadır [1], [4].

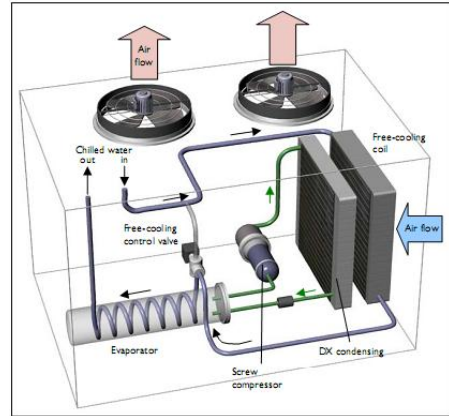
Entegre doğal soğutma bataryalı gruplar yirmi dört saat soğutma ihtiyacı olan büyük bilgisayar ve server odaları, İnternet ve telekomünikasyon veri merkezleri soğutma uygulamaları için alternatif sistemdirler. Hem mekanik soğutma hem de doğal soğutma (kısmi ve tam) yapabilme kabiliyetine sahiptirler.[1]

Şekil 1.A'da entegre doğal soğutma bataryalı su soğutma grubunun kasetlenmiş ünite halinde resmi, Şekil 1.B'de ise bu tip grupların yapısı basitleştirilmiş olarak gösterilmektedir. Doğal soğutma bataryası hava soğutmalı kondenser bataryasının –ünitenin hava giriş yönüne göre- ön kısmına yerleştirilir. Ortam sıcaklığının dönüş suyu sıcaklığının altına düşmesi ile birlikte kontrol vanası dönüş suyunu doğal soğutma bataryasına ön soğutma yada tam doğal soğutma amaçlı olarak gönderir. [1]

Entegre doğal soğutma bataryalı grupların tasarımı ve seçimi için su soğutma uygulamasının yapılacağı tesisin hangi amaç doğrultusunda kullanılacak olduğu (iklimlendirme veya endüstriyel proses soğutma amaçlı) mutlaka belirtilmelidir. Bunun yanı sıra devrede dolaşan suyun eksi dış ortam sıcaklıkları ile karşılaşmış karşılaşmayacağı da tasarım için önemlidir. Sistemin soğutma suyu ihtiyacında %100 su kullanılabileceği gibi, eksi dış ortam sıcaklıkları altında çalışma durumunda donmayı önlemek için glikol-su karışımı (salamuralı) suyun kullanılması gerekmektedir. Örneğin, hacmen %20 etilen-glikollü bir karışım yaklaşık -8°C , hacmen %30 etilen-glikollü bir karışım ise yaklaşık -16°C 'a kadar koruma sağlar (Bakınız Tablo 4.) [5]. Glikol-su karışımı sistemin kullanımı durumunda unutulmaması gereken iki önemli konu vardır: Birincisi, soğutucu bataryada donmayı önlemek için kullanılan glikol-su karışımının kapasitesinin %100 su kullanılan sistemlere göre çok daha düşük olduğu ve bu nedenle de daha büyük ısı transfer alanına, dolayısıyla daha büyük (maliyeti daha yüksek) bir soğutma grubuna gereksinim olduğudur. İkinci nokta ise, klima santrali, fancoil gibi iklimlendirme cihazlarında glikol-su karışımının kullanılmasının istenmemesidir ki bu durumda glikol-su sistemine göre dizayn edilmiş soğuk sulu ünite ile soğuk su devresi arasına ek bir ısı değiştirgeci gereksinimi duyulur. Tasarım öncesi uygulama yeri ve sıcaklıklarına göre yukarıda bahsi geçen noktalar muhakkak dikkate alınmalıdır.



Şekil 1.A Entegre Doğal Soğutma bataryalı hava soğutmalı su soğutma grubu [6]

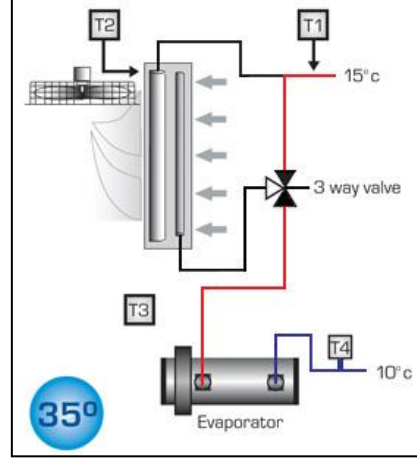
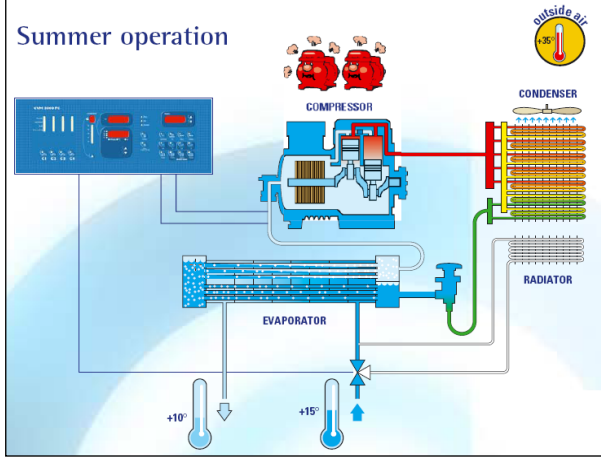


Şekil 1.B Entegre Doğal Soğutma bataryalı hava soğutmalı su soğutma grubu şematik [1]

Aşağıda görsel şekiller ile Yaz, Kış ve Bahar dönemlerinde entegre Doğal Soğutma bataryalı hava soğutmalı su soğutma gruplarının çalışma mantığı verilmektedir. Kuru soğutma sistemlerinde de temel olarak aynı yaklaşım mevcut olup grup ile kuru soğutucu ayrı ayrı üniteler olarak çalışmaktadır.

Yaz Mevsimi çalışma koşulu:

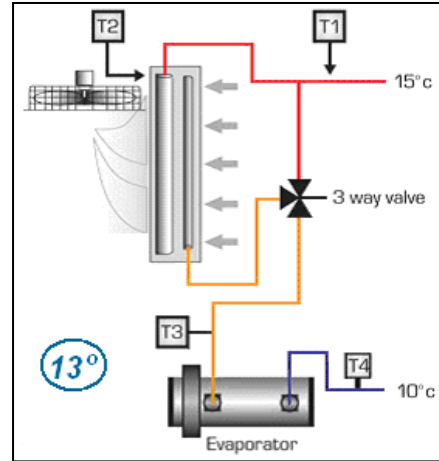
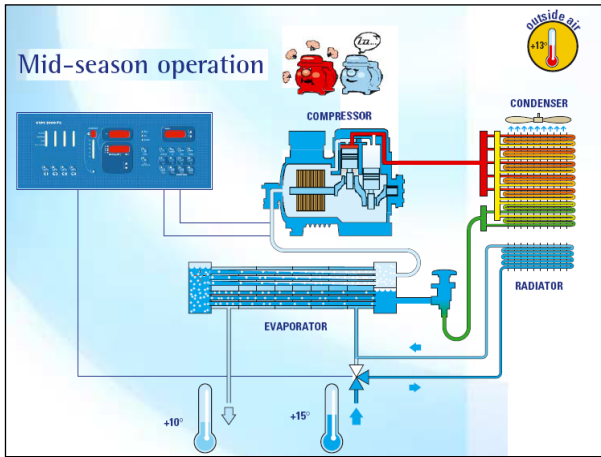
Ortam sıcaklığı istenilen soğuk su sıcaklık değeri ve dönüş suyu sıcaklık değerinin üzerindedir (Örnek $T_{\text{ortam}}: 35^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{soğutma suyu}}: 10^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{dönüş suyu}}: 15^{\circ}\text{C}$). Soğuk su ihtiyacı tamamen geleneksel soğutma çevrimi içerisinde soğutma grubunun kompresörünün çalışması ile sağlanır. Doğal soğutma bataryası çalışmamaktadır (Bakınız: Şekil 2.A1 – 2.A2).



Şekil 2.A1 – 2.A2 Entegre Doğal soğutma bataryalı hava soğutmalı su soğutma grubu Yaz Mevsimi çalışma koşulu [7] , [8]

Bahar Mevsimleri çalışma koşulu

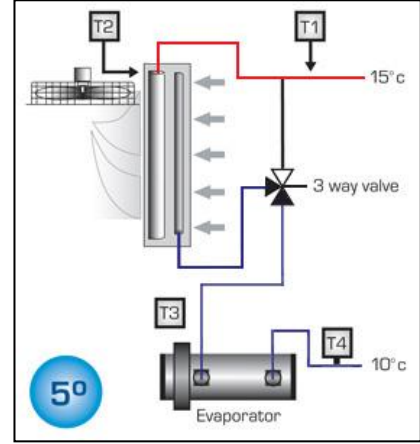
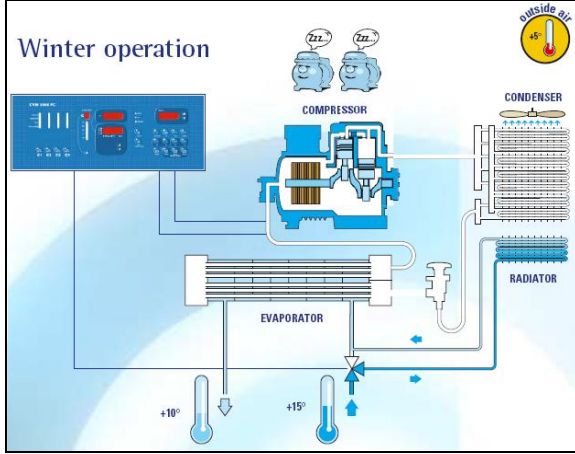
Ortam sıcaklığı istenilen soğuk su sıcaklık değerinin üzerinde ve dönüş suyu sıcaklık değerinin altındadır (Örnek $T_{\text{ortam}}: 13^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{soğutma suyu}}: 10^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{dönüş suyu}}: 15^{\circ}\text{C}$). Soğutma dönüş suyu öncelikli olarak doğal soğutma bataryasından geçirilerek ortam havası ile ön-soğutulur. Doğal soğutma kapasitesi ortam sıcaklık değerine bağlıdır. Üç yollu vana ve kontrol ünitesi vasıtasıyla Doğal soğutmadan yararlanır (Bakınız: Şekil 2.B1 – 2.B2).



Şekil 2.B1 – 2.B2 Entegre Doğal soğutma bataryalı hava soğutmalı su soğutma grubu Bahar Mevsimleri çalışma koşulu [7] , [8]

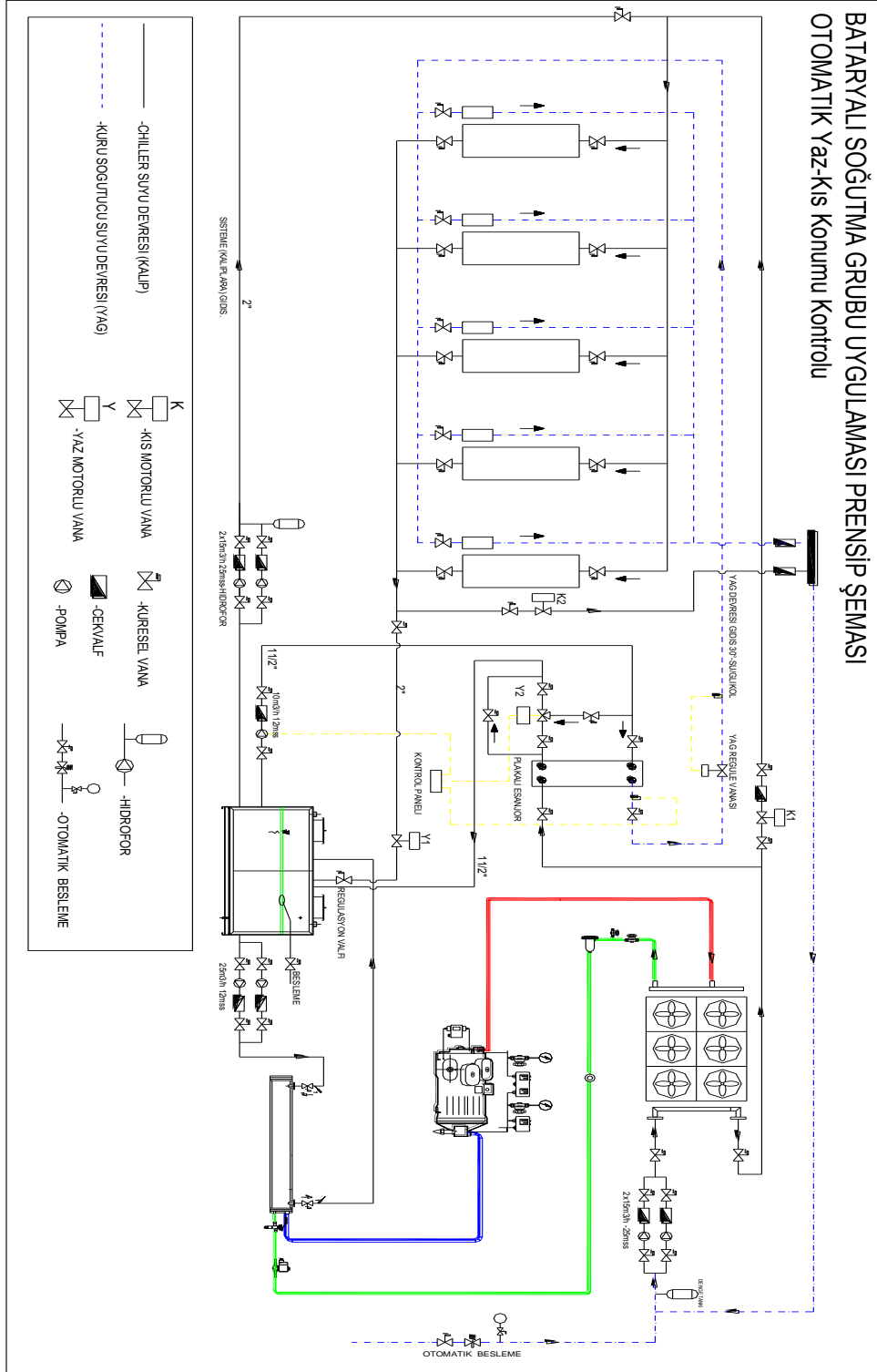
Kış Mevsimi çalışma koşulu:

Ortam sıcaklığı istenilen soğuk su sıcaklık değeri ve dönüş suyu sıcaklık değerinin altındadır (Örnek $T_{\text{ortam}}: 5^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{soğutma suyu}}: 10^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{dönüş suyu}}: 15^{\circ}\text{C}$). Sistemde ihtiyaç duyulan soğuk su tamamen ortam havası vasıtası ile Doğal soğutma bataryası tarafından sağlanır. Bu durumda soğuk su elde edilmesi için harcanacak enerji yalnızca soğutma grubunun üzerindeki fanların çektiği güç kadar olacaktır (Bakınız: Şekil 2.C1 – 2.C2).



Şekil 2.C1 – 2.C2 Entegre Doğal soğutma bataryalı hava soğutmalı su soğutma grubu Kış Mevsimi çalışma koşulu [7] , [8]

2.1.1 UYGULAMA ÖRNEĞİ – 1 : Entegre Doğal Soğutma bataryalı su soğutma grubu uygulaması [9]

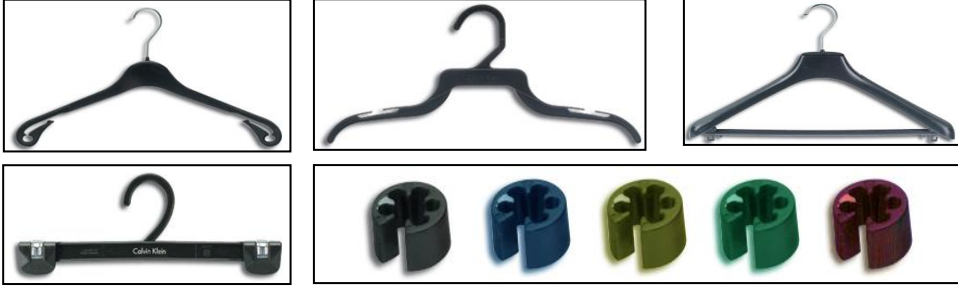


Şekil 3. Entegre Doğal soğutma bataryalı hava soğutmalı su soğutma grubu uygulamasına yönelik prensip şeması [9]

Şekil 3.'te verilen prensip şeması plastik sektörüne yönelik olarak 2002 yılında İstanbul'da yapılmış bir uygulamaya aittir. Sistemde mevsimsel dış hava sıcaklıklarına bağlı olarak soğutma grubu devreden çıkarılmakta, kalıp ve yağ soğutma için doğal soğutma kullanılmaktadır. Böylelikle sistemde enerji verimliliği sağlanmaktadır. Çalışma otomatik kontrol sistemi ile kumanda edilmektedir.

Doğal soğutma bataryası hava soğutmalı grubun kondenseri ile entegre olarak aynı kaset içerisinde yer almaktadır. Böylelikle ünitenin kompakt bir yapıda olması da sağlanmıştır.

Soğutma sisteminin kurulu olduğu fabrika plastik sektörü içerisinde faaliyet göstermekte, giyim askıları imalatı yapmaktadır (Bakınız: Şekil 4).



Şekil 4. Üretilen farklı giyim askıları örnekleri [10]

Fabrika 12 ay, 6 gün/24 saat üretim yapmaktadır. Toplam 7 adet enjeksiyon makinesi prensip şeması verilen entegre doğal soğutma bataryalı hava soğutmalı su soğutma grubuna bağlı çalışmaktadır.

Sistem Yaz konumunda 4 ay (Haziran - Eylül); Kış konumunda 8 ay (Ekim - Mayıs) çalışmaktadır.

Yaz Konumunda (Haziran - Eylül)

1. Kalıpları soğutmak için soğutma grubu çalıştırılmaktadır. Soğutma suyu çalışma sıcaklık aralığı alt sınır değeri: 24,5°C, üst sınır değeri :26 °C'dir. Sistemde Chiller grubu saatte toplam 30 dk. beklemekte, 30 dk. çalışmaktadır. Üretilen giyim askılarının malzemesi polistren ve polipropilendir. Üreticinin yaptığı çeşitli denemeler sonrasında kalıpların daha düşük sıcaklıklarda soğutulmasının üretilen bu ürünün üretim hızını çok fazla etkilemediği, ihmal edilebilir düzeyde olduğu görülmüştür. Bu nedenle de görece yüksek sıcaklıkta kalıp soğutulması yapılmaktadır. Ürün için farklı bir malzeme kullanılması veya ürün kalınlıklarının artması durumunda daha düşük sıcaklıkta kalıp soğutma suyuna ihtiyaç duyulabilir ve düşük sıcaklıkta su kullanımı ile üretim hızı artırılabilir.

2. Enjeksiyon makineleri hidrolik yağı soğutulması için entegre doğal soğutma bataryası (Entegre kuru soğutucu ünitesi) kullanılmaktadır. Yağ soğutma için soğutma suyu çalışma sıcaklık aralığı alt sınır değeri: 30°C, üst sınır değeri: 36 °C'dir. Mevsim normallerinin üzerindeki aşırı hava sıcaklıklarında Plakalı eşanjör devreye girmektedir.

Kış Konumunda(Ekim - Mayıs)

1. Kalıpları soğutmak için entegre doğal soğutma bataryası (Entegre kuru soğutucu ünitesi) kullanılmaktadır. Chiller grubu kapalıdır. Soğutma suyu çalışma sıcaklık aralığı alt sınır değeri: 24,5°C, üst sınır değeri: 26 °C'dir. Altı fandan oluşan ünitenin ikisi sürekli çalışmakta, diğer fanlar termostat kontrolü ile sisteme girmektedir. (Bunun yanı sıra Ocak ve Şubat aylarında bazı günlerde Lodos estiği zaman oluşan hava akımı fanları kendisi çevirmekte böyle durumlarda fanlar günde sadece 5 saat çalışmakta, ek bir enerji kazancı sağlamaktadır. Bu durumun oluşma zamanları belirsiz olduğundan dolayı uygulama için yapılan analizde dikkate alınmamıştır.)

2. *Enjeksiyon makineleri hidrolik yağı soğutulması için* entegre doğal soğutma bataryası (Entegre kuru soğutucu ünitesi) kullanılmaktadır. Yağ soğutma için soğutma suyu çalışma sıcaklık aralığı alt sınır değeri:24,5°C, üst sınır değeri:26 °C'dir. Yağ sıcaklığı kışın düşük kaldığından makinelere giden hattaki su debisi ayarlanarak yağ sıcaklığı istenilen değerde tutulmaktadır.

Tablo 1. Varolan sisteminin çalışma durumu ve doğal soğutma olmaması senaryosundaki durum

Soğutma İşlemi	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
VAROLAN DURUM												
Kalıp Soğutma	Kuru Soğutucu					Soğutma Grubu(Chiller)			Kuru Soğutucu			
Yağ Soğutma						Kuru Soğutucu						
DOĞAL SOĞUTMA UYGULANMAMASI SENARYOSUNDAKİ DURUM												
Kalıp Soğutma	Soğutma Grubu (Chiller) 1											
Yağ Soğutma	Soğutma Grubu (Chiller) 2											

Doğal soğutma ile ortaya çıkan kazancın bulunması için yapılan hesaplamada, sistemin varolan durumu ile doğal soğutmanın yapılmaması durumu (ikinci bir soğutma grubunun kullanılması) karşılaştırılmıştır.

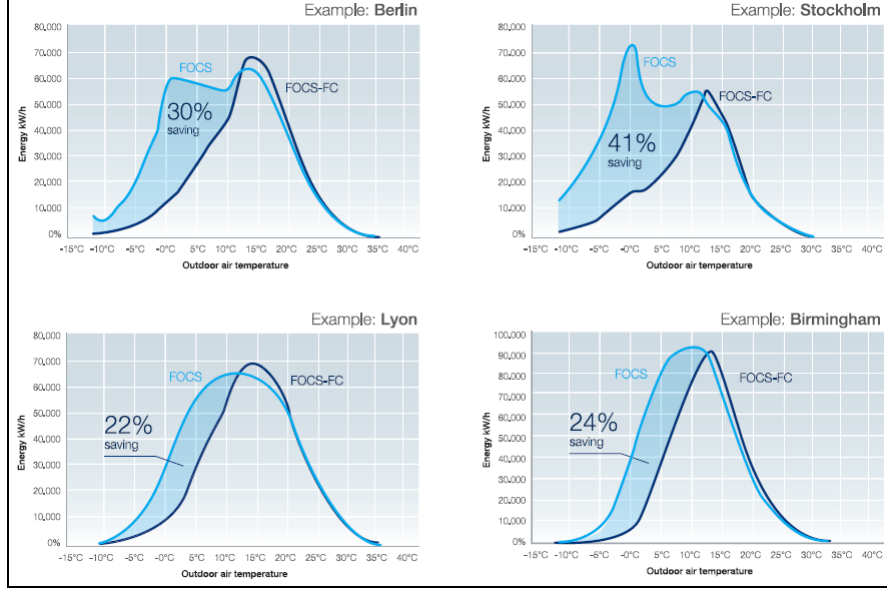
Sistemde gerekli olan soğutma kapasitesi ihtiyacı: 180 kW'dır. Varolan durumda kalıp soğutma için 60 kW ve yağ soğutma için 120 kW güç gerekmektedir. Su soğutma grubu daha sonra yapılacak yatırımlar içerisinde ortaya çıkacak kapasite gereksinimlerini karşılaması için gereken kapasiteden daha büyük seçilmiş bu nedenle de saatte toplam 30 dk. beklemekte, 30 dk. çalışmaktadır. Doğal soğutma bataryası hava soğutmalı grubun kondenseri ile entegre olarak aynı ünite içerisinde. Üniteye 6 adet yüksek devirli Ø630 mm çaplı fan mevcuttur.

Doğal soğutma uygulanmaması durumundaki senaryoda ise sistemdeki yağ ve kalıp soğutma prosesleri için gerekli toplam 180 kW lik soğutma kapasitesini karşılamak için iki adet 120 kW lik chiller kullanımı öngörülmüştür. Sistemde ihtiyaç duyulan 180 kW soğutma yüküne karşılık toplam 240 kW kapasiteli chillierlerin 18'er saat çalışması yeterlidir. Analizde elektrik birim fiyatının KDV ve benzeri eklentiler dahil 0,09 €/kWh olduğu kabul edilmiştir. Doğal soğutma uygulamalı ve doğal soğutma uygulanmaksızın Yaz ve Kış aylarında yapılan proses soğutma esnasında harcanacak enerji bedelleri dönemlere bağlı olarak yıllık toplamda aşağıdaki tabloda verilmiş, ekonomik kazanç gösterilmiştir. Ele alınan uygulamada yıllık 15.998,73 € (%63,72) kazanç sağlanmaktadır.

Tablo 2. Doğal Soğutma ile ortaya çıkan kazanç hesap tablosu

VAROLAN DURUM (CHILLER + DOĞAL SOĞUTMA BATARYASI UYGULAMASI)		
KALIP SOĞUTMA & YAĞ SOĞUTMA	4 Aylık YAZ DÖNEMİ	5.612,52 €
	8 Aylık KIŞ DÖNEMİ	3.498,08 €
	YILLIK TÜKETİM BEDELİ	9.110,60 €
CHILLER + CHILLER SENARYOSU (DOĞAL SOĞUTMA YOK)		
KALIP SOĞUTMA & YAĞ SOĞUTMA	4 Aylık YAZ DÖNEMİ	10.761,14 €
	8 Aylık KIŞ DÖNEMİ	14.348,19 €
	YILLIK TÜKETİM BEDELİ	25.109,33 €
EKONOMİK KAZANÇ (EURO/YIL)		15.998,73 €
EKONOMİK KAZANÇ (%)		%63,72

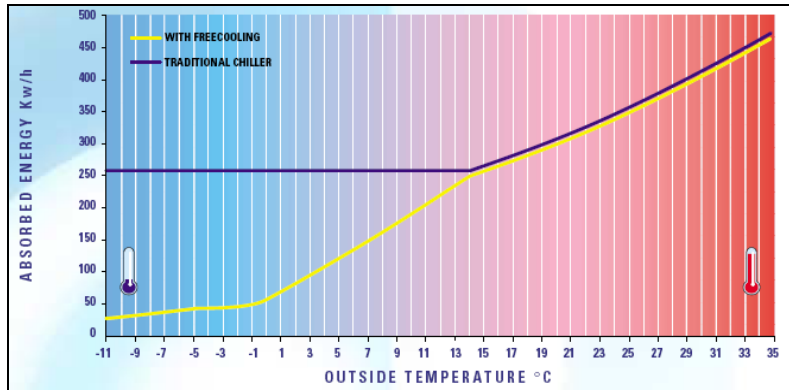
Proses soğutma uygulamasının yanı sıra, doğal soğutmanın iklimlendirme sistemlerinde kullanılması esnasında oluşan kazancı göstermek amaçlı olarak chiller üreticisi bir firmanın entegre doğal soğutma bataryalı soğutma gruplarına yönelik olarak Avrupa'nın dört farklı şehrinde yaptığı ölçümlere bağlı sonuçlar aşağıda grafikler halinde verilmiştir (Bakınız: Grafik 1).



Grafik 1. Avrupa'daki dört farklı şehirde çalışan klima sistemine uygulanan doğal soğutma bataryalı gruba ait dış sıcaklık verilerine bağlı enerji kazanç değerleri [11]

Soğuk iklim bölgelerindeki yerleşimlerde doğal soğutma veriminin yükseldiği açıklıkla görülmektedir.

Aynı üreticinin Milano şehrindeki bir başka klima sistemi için entegre doğal soğutmalı grup uygulamasından çıkan sonuçlar aşağıdaki grafik 2.'den görülebilir. ($T_{Dış}$ ortam sıcaklığı: 30°C, T_{su} gidiş / dönüş: 10°C/15°C, Glikol karışımı %30) Bu örnekte elde edilen verim üreticinin yaklaşımı ile %27,6 dır.



Grafik 2. Milano şehrinde çalışan klima sistemine uygulanan 1.123 kW soğutma kapasiteli gruba ait dış sıcaklık verilerine bağlı doğal soğutma karşılaştırma değerleri [11]

Ülkemizdeki üç farklı şehir için yapılan teorik bir başka çalışmaya istinaden 1.625 kW'lık soğutma grubuna ait doğal soğutma verimliliği İzmir şartlarında yaklaşık %15, İstanbul şartlarında yaklaşık %30 ve Ankara şartlarında yaklaşık % 37 olarak hesaplanmıştır [12].

Aşağıda İstanbul, İzmir ve Ankara şehirlerine ait Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün yayınladığı 11 yıllık sıcaklık verileri görülmektedir. Sistemde ihtiyaç duyulan soğutma suyu sıcaklığı yükseldikçe doğal soğutmadan alınan faydanın artacağı rahatlıkla görülmektedir.

Tablo 3.A D.M.İ İstanbul şehrine ait 11 yıllık sıcaklık verileri [13]

İSTANBUL	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen Ortalama Değerler (1975 - 2006)												
Ortalama Sıcaklık (°C)	6.1	5.9	7.7	12.1	16.7	21.5	23.8	23.5	20.0	15.6	11.2	8.0
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	9.0	9.2	11.6	16.6	21.3	26.2	28.5	28.3	24.9	19.9	14.8	10.7
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	3.6	3.2	4.6	8.3	12.4	16.8	19.4	19.5	16.0	12.3	8.3	5.4
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.3	3.1	4.6	6.0	8.0	9.8	10.5	9.4	7.9	5.2	3.3	2.2
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	17.3	14.9	13.0	11.3	7.6	6.4	3.9	5.6	7.0	11.3	13.7	16.9
Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen En Yüksek ve En Düşük Değerler (1975 - 2006)*												
En Yüksek Sıcaklık (°C)	18.3	24.0	26.2	32.9	33.0	39.2	39.7	38.8	33.6	34.2	27.2	21.2
En Düşük Sıcaklık (°C)	-7.9	-8.0	-6.9	0.6	3.6	9.0	13.5	12.2	9.2	3.2	-1.0	-3.4

Tablo 3.B D.M.İ Ankara şehrine ait 11 yıllık sıcaklık verileri [13]

ANKARA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen Ortalama Değerler (1975 - 2006)												
Ortalama Sıcaklık (°C)	0.4	1.9	6.0	11.2	15.9	19.9	23.4	22.9	18.5	12.9	6.6	2.3
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	4.3	6.5	11.6	17.0	22.0	26.3	30.0	29.8	25.9	19.7	12.3	6.1
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-2.9	-2.2	0.8	5.7	9.6	12.9	16.0	15.8	11.7	7.3	2.2	-0.8
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.6	4.0	5.6	6.4	8.6	10.4	11.4	10.9	9.4	6.6	4.4	2.4
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	11.5	10.2	10.2	12.6	12.4	9.3	4.0	3.3	3.7	7.3	9.0	11.1
Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen En Yüksek ve En Düşük Değerler (1975 - 2006)*												
En Yüksek Sıcaklık (°C)	16.6	19.9	25.7	30.3	33.0	37.0	40.8	39.0	35.2	32.2	24.4	18.0
En Düşük Sıcaklık (°C)	-21.2	-21.5	-19.2	-6.7	-1.6	5.0	6.8	7.2	2.8	-3.4	-8.8	-14.6

Tablo 3.C D.M.İ İzmir şehrine ait 11 yıllık sıcaklık verileri [13]

İZMİR	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen Ortalama Değerler (1975 - 2006)												
Ortalama Sıcaklık (°C)	8.9	9.1	11.7	15.9	20.8	25.7	28.1	27.4	23.6	18.9	13.7	10.3
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	12.6	13.2	16.4	20.9	26.0	31.0	33.3	32.7	29.2	24.2	18.2	13.8
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	5.9	5.8	7.7	11.4	15.6	20.1	22.7	22.4	18.7	14.7	10.4	7.5
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	4.3	5.0	6.6	7.5	9.5	11.8	12.2	11.6	10.0	7.5	5.3	3.8
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	11.4	10.3	8.3	8.4	5.0	2.2	1.7	1.3	3.7	5.4	8.9	12.3
Uzun Yıllar İçinde Gerçekleşen En Yüksek ve En Düşük Değerler (1975 - 2006)*												
En Yüksek Sıcaklık (°C)	20.4	23.5	30.5	31.8	37.5	41.3	42.6	43.0	38.0	36.0	28.6	25.2
En Düşük Sıcaklık (°C)	-4.0	-5.0	-3.1	0.6	7.0	10.0	16.1	15.6	12.6	5.7	0.0	-2.7

2.2 Kuru Soğutucu ve Islak/Kuru Soğutucu Uygulamaları

2.2.1 Kuru Soğutucular

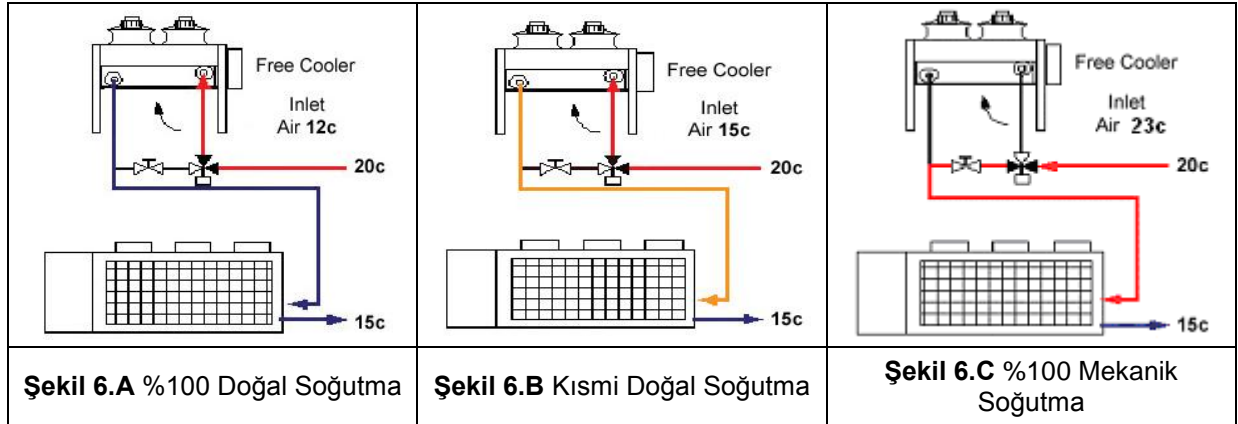
Su soğutma işleminde kullanılan kanatlı-borulu ısı değiştirgeçli bir diğer yöntem de Kuru Soğutucu olarak adlandırılan sistemlerdir (Şekil 5). İklimlendirme ve proses su soğutma sistemlerinde oldukça yaygın kullanım alanına sahiptirler. Temel mantık sistemdeki dönüş suyu yükünün bir fanlı eşanjör sistemi yardımıyla havaya aktarılmasıdır. Fanlar (vantilatörler) ile emilen havanın kanatlar (lameller) arasından geçerken boru içindeki akışkanı soğutması esasına göre çalışır. Bu yöntemde eşanjörün dış yüzeyi kurudur. Bu durumda kanatlarda kireçlenme ve korozyon gibi sorunlar yoktur. Sistemin kapalı devre çalışması sayesinde soğutma suyunun azalması problemiyle karşılaşmaz.

Şekil 5.A Yatık Tip Kuru Soğutucu [9]	Şekil 5.B V Tipi Kuru Soğutucu [9]	Şekil 5.C Soğutma grubu ve Kuru Soğutucu uygulaması [14]

Kuru soğutucularda elde edilen su sıcaklığı ortamın kuru termometre sıcaklığına bağlıdır ve bu nedenle de kuru soğutucu olarak anılırlar. Kuru soğutucular ile kuru termometre sıcaklığının yaklaşık 5 °C üzerine kadar soğutulmuş su elde edilebilir. Daha düşük sıcaklıklarda soğutma suyuna ihtiyaç duyulan durumlarda Islak-Kuru Soğutucular kullanılır.

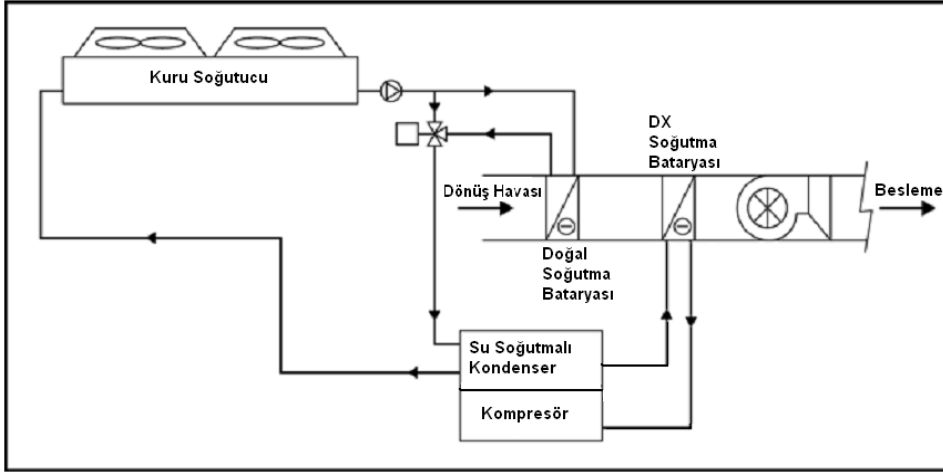
Kuru soğutucular yukarıda açıklaması yapılan entegre doğal soğutma bataryalı sistemler ile aynı mantıkta çalışmaktadır. Tesiste kurulmuş bir su soğutma grubu mevcutsa ve düşük ortam sıcaklıklarında doğal soğutma işleminden faydalanılmak isteniyorsa kuru soğutucu sistemler bu durum için idealdir.

Kuru soğutucular plastik, kimya, enerji, iklimlendirme vb. sektörü içindeki uygulamalarda bir soğutma grubu ile birlikte kullanılabilen gibi ayrıca soğutma suyu sıcaklıklarına bağlı olarak tek başına da kullanılabilirler (Bakınız: Şekil 5C, Şekil 6 A,B,C).



Şekil 6.A, 6.B, 6.C Soğutma grubu ile birlikte kuru soğutucu uygulaması şematik gösterim [8]

Şekil 7.'de paket tipi iklimlendirme cihazı ile yük paylaşımlı olarak çalışan örnek bir kuru soğutucu sisteminin prensip şeması verilmiştir. Özellikle yirmi dört saat sürekli soğutma ihtiyacı olan bilgisayar ve server odaları, İnternet ve telekomünikasyon veri merkezlerinin soğutulması için kullanılan paket tipi iklimlendirme cihazlarında enerji tasarrufu için uygulanan yöntemlerdendir. Sistemin gece periyodunda sağladığı tasarruf ciddi boyuttadır [1].



Şekil 7. Yük paylaşımlı kuru soğutucu sistemi prensip şeması [1]

2.2.1.1 Kuru Soğutucularda Donma:

Kış aylarında kuru soğutucularda donma riskine karşı önlem alınmalıdır. Aksi takdirde, iç akışkanın donması sonucu borularda oluşacak tahribatın onarılması neredeyse imkansızdır (Onarım yapılabilir bile, getireceği ek maliyetin yanında, kuru soğutucunun performansının düşmesi de söz konusudur). Ülkemizde, donma sonucu kullanılamaz hale gelmiş kuru soğutucuların tamamen yenilenmek zorunda kalıldığı örneklerle sıklıkla rastlanmaktadır. Şekil 8.'de donma sonucu bir kuru soğutucunun borularında meydana gelmiş tipik hasar gösterilmektedir [9].



Şekil 8. Donma sonucu kuru soğutucu borularında meydana gelen tipik bir hasar [9]

Donma riskine karşı genel olarak uygulanan önlem, sistemin kullanım dışı bırakıldığı soğuk havalarda kuru soğutucu içindeki suyun boşaltılmasıdır. Bununla birlikte, borulama yapısından dolayı kuru soğutucu içindeki suyun tam olarak boşaltılması mümkün olmadığından, soğutma suyuna yeterli oranda antifriz (etilen-glikol) katılması gereklidir. Bu işlem ülkemizde sıklıkla meydana gelen plansız elektrik kesintilerinden dolayı yaşanabilecek donma olaylarını önlemek için de gerekli bir durumdur.

Tablo 4.'te antifriz oranına göre karışımların donma noktası verilmiştir [20]. Burada dikkat edilmesi gereken nokta glikol oranının % 60'ının üstüne çıkması durumunda donma sıcaklıklarının yükselmeye başlamasıdır.

Hacimsel Karışım Oranı	Donma Sıcaklığı
%100 Su	0 °C
% 90 Su + % 10 Glikol Karışımı Durumunda	-3 °C
% 80 Su + % 20 Glikol Karışımı Durumunda	-8 °C
% 70 Su + % 30 Glikol Karışımı Durumunda	-16 °C
% 60 Su + % 40 Glikol Karışımı Durumunda	-25 °C
% 50 Su + % 50 Glikol Karışımı Durumunda	-37 °C
% 40 Su + % 60 Glikol Karışımı Durumunda	-50 °C
% 30 Su + % 70 Glikol Karışımı Durumunda	<-50 °C
% 20 Su + % 80 Glikol Karışımı Durumunda	-45 °C
% 10 Su + % 90 Glikol Karışımı Durumunda	-28 °C

Kuru soğutucu tasarımında ve seçiminde soğutma suyuna eklenecek glikol oranının da hesaba katılması gerekir. Aksi takdirde, suya eklenecek glikolün soğutma kapasitesinde yol açacağı düşüş, kuru soğutucudan beklenen performansın alınamamasına yol açacaktır. Dolayısıyla, kuru soğutucunun soğutma kapasitesinin değeri, tasarım şartları ve glikol oranı bilgisi verilmezse bir anlam taşımaz.

Kuru soğutucularda standart kapasiteler TS EN 1048 (Isı Değiştiriciler-Hava Soğutmalı Sıvı Soğutucular "Kuru Soğutucular"-Performansın Belirlenmesi İçin Deney Metotları) standardına göre hacmen %34 etilen glikol oranı için tanımlanmaktadır.

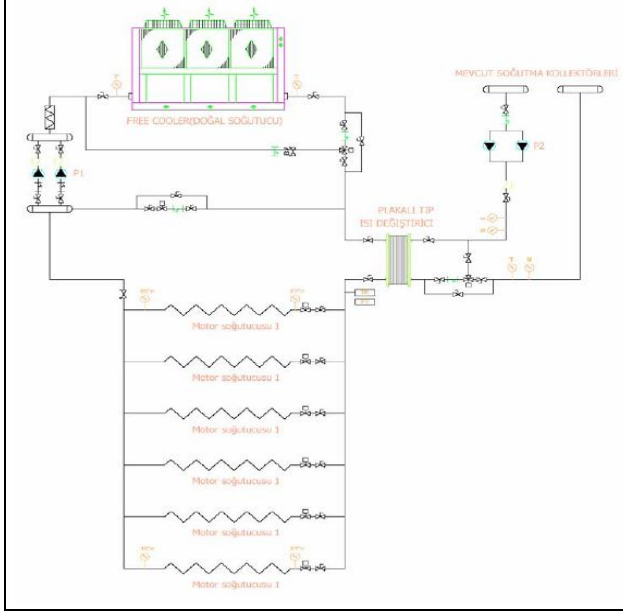
2.2.1.2 UYGULAMA ÖRNEĞİ – 2 : Endüstriyel Proses Soğutma için Kuru Soğutucu uygulaması [15]

Aşağıda İstanbul'da yapılmış bir baskı tesisinde baskı makineleri motorlarının soğutulması için kullanılan doğal soğutma sistemi uygulaması hakkında bilgi verilmektedir.

Baskı makinesi imalatçısı firmanın su soğutmalı motorlar için verdiği şartlar şunlardır:

- Motor soğutma suyu giriş / çıkış sıcaklığı :27 °C / 35 °C
- Motorlara giden suyun debisi :13 m³/h
- Günlük Çalışma Saatleri :20:00-04:00 (365 gün)
- Toplam soğutma kapasitesi :120 kW

Yukarıda belirtilen şartları sağlamak için baskı makinelerinin gece çalışacağı göz önünde tutularak geliştirilen soğutma sisteminin prensip şeması Şekil 9.'da verilmiştir. Baskı makineleri motor soğutucusundan çıkan su P1 pompası yardımıyla ilk önce kuru soğutucuya gönderilmekte, kuru soğutucuda soğuk hava ile soğutulan su daha sonrada plakalı tip ısı değiştiricisine gönderilmektedir. Dış hava kuru termometre sıcaklığına bağlı olarak çalışan kuru soğutucuda soğutulan suyun sıcaklığı 27 °C nin üzerine çıkması durumunda 6/12 °C su rejiminde çalışan plakalı ısı değiştiricisinde ikincil bir soğutmaya tabi tutulmaktadır.



Şekil 9. Motor Suyu Soğutma sistemi [15]

Kış çalışmasında dış hava sıcaklığının 0 °C nin altına düşmesi olasılığı göz önünde tutularak su devresinde glikol kullanılmıştır. Kuru soğutucuda 13 m³/h lik suyun sıcaklığını 35 °C den 27 °C ye düşürmek yani 121 kW lık ısı yükünü karşılamak için 2 kW gücünde 3 adet aksiyal fan kullanılmıştır. Fanların çektiği güç ise toplam 3,9 KW olarak ölçülmüştür. Sistemin COP ~ 30 dur. Bu ısı yükünün tümü hava soğutmalı soğutma grubu tarafından karşılanması durumunda, soğutma grubu COP değeri 3 civarında olduğu kabul edilirse tüketilen enerji $121/3 = 40$ kW civarında olur. Sonuç olarak kurulan doğal soğutma sistemi ile % 90 oranında enerji tasarrufu sağlanmış ve sistem kendini 5 ayda amorti etmiştir [15].

2.2.1.3 UYGULAMA ÖRNEĞİ – 3: Endüstriyel Proses Soğutma için Kuru Soğutucu uygulaması

Soğutma sisteminin kurulu olduğu fabrika otomotiv sektörü içerisinde faaliyet göstermekte, Audi, BMW, Honda, Ford, Volkswagen gibi araç üreticisi firmalara yan sanayi olarak araç içi merkezi ve yan konsollar, havalandırma panelleri, bardak tutacakları, küllükler vb. çeşitli ürünlerin imalatını yapmaktadır.

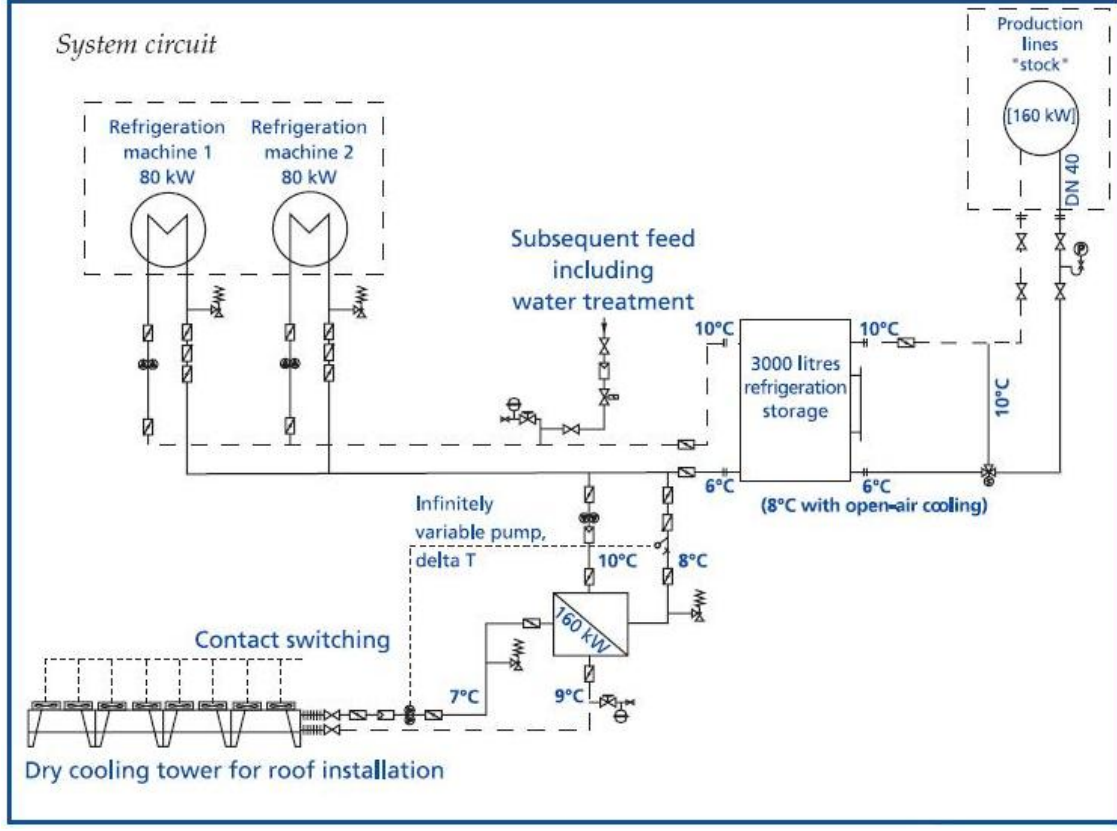


Şekil 10. Sistemde kurulu kuru soğutucu [16]



Şekil 11. Üretilen ürünlerden örnekler [17]

Üretim makinelerinin soğutma suyunu soğutan kuru soğutucular sistemde iki adet 80 kW kapasiteli soğutma grubu ile birlikte kullanılmaktadır. Soğutma grupları sistemde temel soğutmayı sağlayan cihazlar olup, enerji tasarrufu sağlamak ve ses seviyesini düşürmek amaçlı olarak dış hava sıcaklığı 3°C'nin altına düştüğü andan itibaren kuru soğutucular devreye girmektedir. Kuru soğutucu sisteminde Glikol kullanılmaktadır.



Şekil 12. Sisteme ait prensip şeması [16]

Yapılan hesaplamalara göre kuru soğutucu kullanımı ile sağlanan doğal soğutma sistemin-den yıllık %33 oranında bir enerji tasarrufu alınmaktadır. Bu tasarruf sayesinde sistemin yaklaşık üç yıl içerisinde kendini amorti etmesi sağlanmıştır. Aşağıdaki tablolarda doğal soğutma ile ortaya çıkan kazanç gösterilmiştir.

COLD PRODUCTION		
	100% compression	Open-air cooling in „winter“
Description	kWh/a	kWh/a
Compressor refrigeration	1,306	806
Open-air cooling		500
Total	1,306	1,306

COLD PRODUCTION		
	100% compression	Open-air cooling in „winter“
Description	DM/a	DM/a
Compressor refrigeration	103%	64%
Open-air cooling		6%
Total	103%	70%
→ Annual savings: 33%		

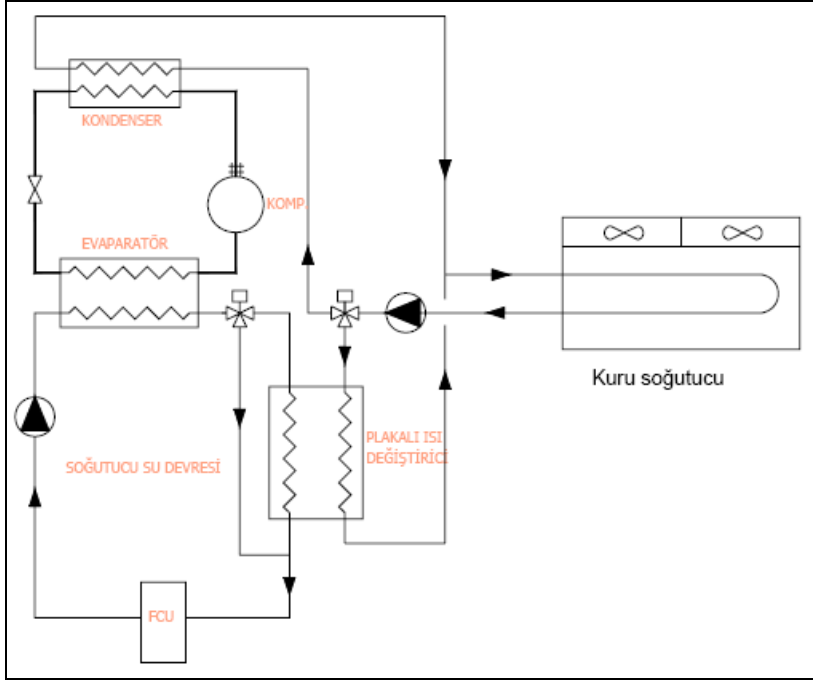
Tablo 5A - 5.B Karşılaştırmalı olarak doğal soğutma ile ortaya çıkan kazanç tabloları [16]

Kuru soğutucuların endüstriyel proses su soğutma sistemlerinde doğal soğutucular olarak kullanılmalarının yanı sıra iklimlendirme sistemlerinde de aynı amaçla kullanılırlar. Bilgisayar odaları, data ve telekomünikasyon merkezleri, elektronik eşya satan mağazalar, alışveriş merkezleri,

Konferans salonları vb. yerlerde soğutma ihtiyacı tüm yıl boyunca hissedilmektedir. Kış ve bahar mevsimlerinde kuru soğutucular ile soğutma yapılarak enerji tasarrufu sağlanmaktadır.

2.2.1.4 UYGULAMA ÖRNEĞİ – 4: İklimlendirme Sistemi için Kuru Soğutucu Uygulaması [15]

Şekil 13'de Moskova'da uygulaması yapılan bir alışveriş ve iş merkezi projesinde kullanılan doğal soğutma sisteminin prensip şeması verilmiştir.



Şekil 13. Moskova'da bulunan alışveriş merkezinde kurulu kuru soğutucu prensip şeması [15]

Alışveriş merkezinde kış ve bahar aylarında da soğutma ihtiyacı mevcuttur. Bu mevsimlerde soğutma grubu kullanılmamakta, soğutma için (doğal soğutucu olarak) kuru soğutucu görev yapmaktadır. Kuru soğutucu yaz mevsiminde su soğutmalı kondenselerin yoğuşturucu suyunu soğutmak amacı ile kullanılmaktadır. Dış hava sıcaklığının -30 °C derecelere ulaşması nedeniyle kuru soğutucuya yüksek oranda etilen glikol (anti freze) yüklemesi yapılmıştır [15].

2.2.2 Islak/Kuru Soğutucular

Islak-Kuru Soğutucular, temel prensip olarak kuru soğutucular gibi çalışır. Sistemde gerektiğinde ek soğutma sağlayacak bir su spreyleme sistemi bulunmaktadır. Spreylenen su, giriş havası akışında adyabatik soğutma etkisi meydana getirir. Sistemdeki akışkanın dış ortam sıcaklığından daha düşük sıcaklık değerlerine kadar soğutulması gerektiğinde, basınçlı su püskürtme sistemi devreye girerek giriş havasını neme doyurur ve hava sıcaklığını ortam sıcaklığının altına düşürür.

Su püskürtme sistemi yıl boyunca yalnız en sıcak günlerindeki belli saatlerde termostat kontrollü olarak devreye girerek ihtiyaç duyulan ek soğutmaya sağlayarak özel durumlar için ek bir soğutma sistemi ihtiyacını ortadan kaldırır. Diğer zamanlarda kuru çalışma olacağı için sistemde su tüketimi yoktur. Spreyleme sistemi kuru soğutucuların yanı sıra hava soğutmalı su soğutma gruplarının kondenselerine de uygulanabilir. Islak-kuru soğutucular temel mantık aynı olmak üzere üç farklı biçimde uygulanabilirler:

2.2.2.1 Doğrudan Su Spreyleme Sistemli Islak-Kuru Soğutucular

Aralıklı olarak yerleştirilmiş nozüllerden giriş havasına püskürtülen su zerrecikleri giriş havasını neme doyurmakta ve ortam yaş termometre sıcaklığına yaklaştırmaktadır. Spreyleme sisteminde kullanılan suyun sertliği alınmış ve filtrelenmiş olması gerekir; aksi halde eşanjör kanatları üzerinde biriken kireç ve tortu, zamanla eşanjörün kapasitesini düşürecek ve ömrünün kısalmasına neden olacaktır. Bu etkiyi önlemek için bir ağ sistemi üzerine su spreyleme yapılan Ağ Üzeri Su Spreyleme Sistemli Islak-Kuru soğutucular geliştirilmiştir. Islak-Kuru Soğutucularda aşındırıcı etkiye karşı ek önlem olarak epoksi kaplı lamel kullanılmalıdır. Epoksi kaplama, ortamdaki tuz ve aside karşı oldukça yüksek dayanıma sahiptir. Ünitenin epoksi toz boyalı galvaniz sac yada ileri korozif ortamlarda paslanmaz çelik olması tercih edilir. Su kulesine kıyasla suyun zararlı etkilerine çok daha az maruz kalmasına karşın, Islak-Kuru Soğutucuların uzun ömürlü olması için bu önlemlerin alınması önemlidir.



Şekil 14. Doğrudan su spreyleme sistemli Islak-kuru soğutucu [9]

Giriş havasının neme doyurulabilmesi amacıyla harcanacak su miktarı kullanılan püskürtücüye ve püskürtme basıncına göre değişiklik gösterir. Seçim, ortam havasının bağıl nemine bağlıdır; bağıl nemi %100'e mümkün olduğunca yaklaştırmak için yeterli miktarda ve kalitede su püskürtüldüğünden emin olunmalıdır. Bu nedenle tamamen buharlaşacak miktardan bir miktar daha fazla su püskürtülür ve artan su ortamda sıvı olarak kalır. Bu önlem, püskürtme sisteminin performansında zamanla oluşabilecek kayıplara karşı da emniyet sağlar.

2.2.2.2 Sisleme (Fogging) Sistemli Islak-Kuru Soğutucular

Doğrudan su spreyleme sistemlerine benzer bu uygulamada yüksek basınçta (70 bar) nozüllerden 35 mikronun altında püskürtülen su zerrecikleri giriş havasını neme doyurmakta ve ortam yaş termometre sıcaklığına yaklaştırmaktadır. Bu sistemde de spreyleme sisteminde olduğu gibi kullanılan suyun sertliği alınmış ve filtrelenmiş olması gerekir.



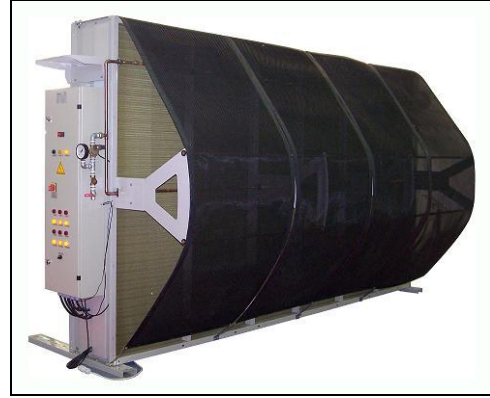
Şekil 15. Sisleme Sistemli Islak-Kuru Soğutucu [9]

2.2.2.3 Ağ Üzeri Su Spreyleme Sistemli Islak-Kuru Soğutucular

Ağ üzeri su spreyleme sistemi, kuru soğutucuların ön kısmına yerleştirilmiş geniş sık gözlü ağ yapılı malzemenin üzerine belirli mesafelerde bulunan nozullardan aralıklı olarak sistemin ihtiyacı kadar su spreyleme ve spreylene suyun adyabatik olarak buharlaşması sonucu ısı değiştirgeci yüzeyine temas eden giriş havası sıcaklığının düşürülerek, soğutmada verimin artırılmasını sağlama mantığı ile çalışan sistemdir [9], [18].

Daha önce de açıklandığı üzere su spreyleme, giriş havası akışında adyabatik soğutma etkisi meydana getirir. Belirlenmiş set değerlerinin aşılması ile kontrol sistemi ısı değiştirgecine giren hava sıcaklığını düşürmek için su spreyleme sistemini başlatır. Çok kuru iklim şartlarında su spreyleme sistemi giriş havası için 15°C ile 20°C arası değerlere varan adyabatik soğutma sağlayabilir[18].

Su spreyleme sisteminin çalışma süresi ve frekans ayarı, sistem performansının optimizasyonu ve su tüketiminin en aza indirilmesi amacı ile sürekli olarak kontrol cihazı tarafından sağlanır. Su, ısı değiştirgeci yüzeyine doğrudan püskürtülmediği, ağ yüzeyine püskürtüldüğü için lamellerin üzerinde kireç tabakası oluşmaz. Böylelikle ısı transfer verimliliğinin düşmesi engellenir. Bu sistemde su yumuşatma işlemine ayrıca gerek de kalmamaktadır.



Şekil 16.A, 16.B Ağ Üzeri Su Spreyleme Sistemli Islak-Kuru Soğutucu [6]

Kuru- Islak/Kuru Soğutucu seçiminde dikkat edilmesi gereken bir nokta da, tasarımın ortam sıcaklığının yüksek olduğu zamanlarda ihtiyaç duyulan soğutma kapasitesini sağlayacak şekilde yapılması gerekliliğidir. Ancak, hava sıcaklığının daha düşük olduğu zamanlarda, istenen kapasitenin elde edilmesi için fanların hepsinin tam devirde çalışması gereksiz ve masraflı olur. Soğutma suyu çıkış sıcaklığı üzerinden kontrol edilen sistemlerde, fanların düşük devirle çalıştırılması veya devreden çıkarılması ile sistem için uygun debide hava tedariki sağlanır.

Otomatik kontrol ile birlikte çift devirli fanların, hız kontrol cihazlarının ve Elektronik kontrollü EC fanların kullanılması sisteme ek enerji tasarrufu kazandıracaktır.

2.2.2.4 Plastik sektöründe Yağ Soğutma Sistemlerinde kullanılan soğutma uygulamaları karşılaştırılması

Daha önceki bölümlerde aktarılan uygulama örneklerinden birisinin de seçildiği plastik sanayi, soğutma uygulamalarına en fazla ihtiyaç duyulan, doğal soğutma uygulamalarının yaygınca kullanıldığı sektörlerden biridir. Bu nedenle soğutma uygulamalarında kullanılacak yöntemin bilinçli seçilmesi gerekir.

İmalatta kullanılan kalıpların soğutulması, özellikle ürün kalitesi açısından önemlidir. Plastik cinsine göre kalıpların belirli sıcaklık değerleri arasında tutulması gereklidir. Gerektiği gibi soğutulamayan kalıplarda üretilen mamullerde yüzey pürüzlülüğü yüksektir ve renk değişimi görülebilir. Ayrıca, yeterli soğutmanın yapılamaması sonucu kalıpların açılıp kapanma süreleri uzar ve üretim kapasitesi düşer.

Ortam yağ termometre sıcaklığının gereken soğutma suyu sıcaklığının üzerinde olduğu zamanlarda diğer soğutucu sistemler ihtiyacı karşılayamadıkları için, böyle durumlarda kalıp soğutmada chiller grubundan yararlanılması gerekmektedir.

Makinelerin düzgün ve verimli çalışabilmesi için, kullanılan yağın da uygun şekilde soğutulmasına ihtiyaç vardır. Aksi takdirde performans düşer ve aşınmalar artar. Bu durumda enerji kaybının artmasının yanı sıra, makine ömrü de kısılacaktır. Yağ soğutma işleminin doğru şekilde yapılması durumunda bu sorunlar önlenecektir. Yağ soğutma için ort. 29-35°C civarında soğutma suyuna ihtiyaç vardır. Yağ soğutma sistemlerinin ekonomik açıdan incelenmesinde ilk yatırım maliyetinin yanında işletme masraflarının da göz önünde bulundurulması gereklidir. Soğutma sisteminin seçiminde, alternatiflerden hangisinin orta ve uzun vadede diğerlerine göre avantajlı olduğu belirlenmelidir.

Aynı ihtiyacı karşılayacak açık ve kapalı devre su kuleleri ile Islak-kuru soğutucu Sistemin ekonomik açıdan karşılaştırılması amacıyla hazırlanan analiz sonuçları aşağıda verilmiştir. Bir soğutma cihazının kondenserinden 630 kW'lık ısı alınması söz konusudur. %70-%30 su/glikol karışımının soğutucuya giriş sıcaklığı 30°C, soğutucudan çıkış sıcaklığı ise 26°C'tir. Hava sıcaklığı 32°C, bağıl nem % 38 alınmıştır. Analizde KDV ve benzeri eklentiler dahil su birim fiyatının 1,98 €/m³, elektrik birim fiyatının ise 0,09 €/kWh olduğu kabul edilmiştir. Sermaye masraflarının hesaplanmasında €'ya uygulanan yıllık faiz oranı % 10 alınmış, her üç sistemin de 15 yıl kullanılacağı varsayılmıştır (Hesaplamalarda böyle alınmakla birlikte kulelerin korozyon gazlara dayanıksızlığı ve diğer etkenlerle ekonomik ömrünün galvaniz kaplı olanlarda bile 5 ila 10 yıl olduğunu belirtmekte yarar vardır).

Tablo 6. Su kuleleri ile Islak-kuru Soğutucu Sistemin ekonomik açıdan karşılaştırılması

SİSTEM MASRAF	Açık Devre Su Kulesi	Kapalı Devre Su Kulesi	Islak-Kuru Soğutucu
İlk Yatırım Maliyeti (€)	4.350	9.500	23.500
Su Giderleri (€/yıl)	31.300	31.300	4.600
Elektrik Giderleri (€/yıl)	5.900	7.020	11.260
Muhafaza Etme Masrafları (€/yıl)	510	640	510
Faiz Giderleri (€/yıl)	570	1.250	3.090
Yıllık Toplam İşletme Masrafı (€/yıl)	38.280	40.210	19.460

Yıllık toplam işletme masrafları; su, elektrik ve faiz giderleri ile muhafaza etme masraflarının toplamından oluşmaktadır. Yukarıdaki tabloya göre Islak-kuru Sistem, açık devre su kulesi ile arasındaki ilk yatırım maliyeti farkını 1 yılda, kapalı devre su kulesi ile arasındaki ilk yatırım maliyeti farkını ise 1 yıldan kısa sürede karşılamaktadır. Bu süreler sonunda Islak-kuru soğutucu sistem diğer sistemlere göre ekonomik olarak daha avantajlı duruma geçer. Masraflar hesaplanırken kullanılan değerler tesisin bulunduğu yere ve kullanıldığı zamana göre değişeceği için, yukarıdaki tablo genel bir kıyaslama amacıyla kullanılmalıdır.

Suyun çok bol ve ucuz olduğu yerlerde ilk yatırım maliyeti su harcamalarından daha önemli bir kriter olabilir. Suyun az bulunduğu ve pahalı olduğu koşullarda ise soğutma suyu açısından en fazla tasarrufu sağlayacak sistemin seçilmesi avantajlı olacaktır.

Aşağıdaki tabloda ise, 560 kW'lık soğutma ihtiyacını karşılayacak bir chiller grubu ile, aynı ihtiyacı karşılayacak bir Islak-kuru soğutucu sistem aylık (30 gün çalışma) enerji harcaması açısından karşılaştırılmaktadır. Soğutucudan geçen akışkanın 35°C sıcaklıktan 31°C sıcaklığa soğutulması istenmektedir. Hava sıcaklığı 33°C, bağıl nem % 48 alınmıştır. Her iki sistemin de 16 saat/gün çalıştığı kabul edilmiştir. Elektrik birim fiyatı KDV ve benzeri eklentiler dahil 0,09 €/kWh alınmıştır.

Tablo 7. Su Soğutma Grubu ile Islak-kuru soğutucu Sistemin ekonomik açıdan karşılaştırılması

Chiller Ünitesi		Islak-Kuru Soğutucu Sistem
Kompresör gücü: 136 kW	16 fanın çektiği güç: 32 kW	10 fanın çektiği güç: 20 kW
Toplam güç: 168 kW		Toplam güç: 20 kW
Aylık enerji harcaması: 80640 kWh		Aylık enerji harcaması: 9600 kWh
Aylık masraf: 7.258 EURO		Aylık masraf: 864 EURO

Yukarıdaki tabloya göre, Islak-kuru soğutucu Sistem kullanılması durumunda aylık kazanç 6.395 EURO olarak hesaplanabilir. Su tesisatı ve benzeri yatırımlar hariç tutularak sadece soğutucular ele alındığında, kullanılan soğutucu grubunun yatırım maliyetinin yaklaşık olarak 61.355 EURO olduğu, Islak-kuru soğutucunun ise 27.600.EURO gibi bir yatırımla elde edilebileceği konusu da dikkate alınmalıdır. Sonuç olarak Islak-kuru soğutucu Sistem hem ilk yatırım maliyeti açısından, hem de işletme masrafları açısından soğutucu grubundan daha avantajlı durumdadır.

3. KURU VE ISLAK KURU SOĞUTUCULARIN TASARIM VE PERFORMANS KRİTERLERİ

3.1 Temel Tasarım Verileri

Bir kuru soğutucunun ihtiyaç duyulan performansı gösterebilmesi için dikkat edilmesi gereken tasarım kriterleri vardır. Diğer bir bakış açısından ele alınırsa, bazı noktalar belirlenmeden verilen soğutma kapasitesi bilgisi anlamlı değildir.

Doğal soğutma sistemlerinde kullanılan kuru soğutucuların tasarım ve seçimi için gerekli veriler ünitenin boyutları, ortam giriş havası kuru ve yaş termometre sıcaklıkları , proses su giriş ve çıkış sıcaklıkları, su debisi, su tarafı basınç kaybı istenen değeri, glikol oranı ve istenen soğutma kapasitesi değerleridir.

Üretici firmalar, yukarıda belirtilen tasarım verileri ve istenen ek özelliklerin bilinmesi sureti ile kendi üretim tekniklerine uygun olarak kuru soğutucu tasarımı ve imalatı yapabilir. Üretici firmanın performans onaylı tasarım yazılımının olması ve bataryaların bu yazılım/program yardımı ile tasarım edilmesi sonradan ortaya çıkabilecek telafisi zor olumsuz durumları önlemede çok önemlidir.

3.2 Akışkan Özellikleri

Sistemin soğutma suyu ihtiyacında %100 su kullanılabilmesi gibi, eksi dış ortam sıcaklığı altında çalışan sistemlerde donmayı önlemek için glikol-su karışımı (salamuralı) suyun kullanılması gerekmektedir. Örneğin, hacmen %20 etilen-glikollü bir karışım yaklaşık -8°C , %30 etilen-glikollü bir karışım ise yaklaşık -16°C 'a kadar koruma sağlar [5] (Bakınız Tablo 4, Bölüm 2.1 ve 2.2.1.1)

3.3 Kuru Soğutucularda Standart Kapasite ve Enerji Sınıflandırması

Kuru soğutucularda standart kapasiteler TS EN 1048 (Isı Değiştiriciler-Hava Soğutmalı Sıvı Soğutucular "Kuru Soğutucular"-Performansın Belirlenmesi İçin Deney Metotları) standardına göre hacmen %34 etilen glikol oranı için tanımlanmaktadır.

Ürünlerde enerji verimliliği EUROVENT Rating Standard (For Forced Convection Air Cooled Liquid Coolers "Dry Coolers") 7/C/003 – 2007 standardına göre aşağıdaki tabloda verilen değer aralıkları için hesaplanabilir. [19]

Tablo 8. Enerji Verimliliği Sınıfı [19]		
Sınıf	Enerji Sarfiyatı	Enerji Oranı (R)*
A	En Düşük (Extremely low)	$R \geq 110$
B	Çok Düşük (Very low)	$70 \leq R < 110$
C	Düşük (Low)	$45 \leq R < 70$
D	Orta (Medium)	$30 \leq R < 45$
E	Yüksek (High)	$R < 30$

* Enerji oranı "R", ürün standart kapasitesinin fan motorlarının toplam enerji tüketimine bölünmesi ile elde edilir.

4. KURU VE ISLAK KURU SOĞUTUCULARIN MALZEME VE KONSTRÜKTİF ÖZELLİKLERİ

Soğutma ünitesinin ekonomik ömrü, kullanım şartlarına uygun malzeme seçimine bağlıdır ve özellikle ünite içerisindeki soğutucu batarya endüstriyel şartlara uygun olarak üretilmiş olmalıdır.

4.1 Soğutucu Batarya Özellikleri

Soğutucu bataryalar, 97/23/EC PED (Basınçlı Ekipmanlar Direktifi) altında tanımlanan SEP (Sound Engineering Practice) kapsamına uygun üretilmelidir.

4.1.1 Borular

Soğutucu bataryalar için performans ve ekonomiklik göz önüne alındığında en uygun boru malzemesi bakırdır. Borularda kullanılan bakırın kalitesi, kuru soğutucunun ömrünü belirleyen en önemli özelliklerden biridir. Zayıf malzeme kullanılması durumunda özellikle büküm ve lehim yerlerinde sorunla karşılaşılır. Bu nedenle kullanılan bakır borular uluslararası standartlarda üretilmiş olmalıdır. Ürün üzerinden ölçümü mümkün olmadığı için, kuru soğutucu seçilirken mutlaka üreticiden boru et kalınlığı bilgisi alınmalıdır. Boruların ayna saclarına teması engellenmeli ve borularda kaçaksız uzun çalışma ömrü garanti edilmelidir.

4.1.2 Lameller (Kanatlar)

Kuru soğurucularda yaygın olarak kullanılan lamel malzemesi alüminyumdur. Genel uygulamalarda, Kuru soğurucunun ekonomik ömrünün uzun olması için epoksi kaplı alüminyum tercih edilir. Epoksi kaplama, ortamın aşındırıcı etkisine karşı lamel dayanımını önemli ölçüde artırır. Özellikle deniz yakınlarında ve enerji tesislerinde epoksi kaplı lamel uygulaması gereklidir. Epoksi kaplamanın yetersiz kalabileceği çok korozif ortamlarda, epoksi ve poliüretan kaplama uygulaması tavsiye edilir.

4.1.3 Lamel Geometrisi

Kuru soğutucu tasarımında boru çapı ve borular arasındaki mesafeleri tanımlayan lamel geometrisi, kapasite ve basınç kayıpları üzerinde etkilidir. Lamel geometrisi, tasarım şartlarında ihtiyaç duyulan soğutma kapasitesinin uygun basınç kayıpları dahilinde sağlanacağı şekilde üretici tarafından kendi

standartları arasından seçilir. Yoğun borulu geometrilerin daha avantajlı kapasite/fiyat değeri verdikleri söylenebilir; fakat bu durumda basınç kayıpları da artacağı için optimizasyona gidilmesi gerekmektedir. Pratik olarak, aynı ısı transfer yüzeyine sahip fakat farklı lamel geometrisi kullanılmış Kuru soğutucuların, aynı şartlarda farklı soğutma kapasitesi ve farklı basınç kayıpları vereceğine dikkat edilmesi önemlidir.

4.1.4 Kasetleme

Kuru soğutucular kendini taşıyıcı bir konstrüksiyona sahip olmalı ve monte edileceği zemine ilave bir konstrüksiyona ihtiyaç duymadan yerleştirilebilmelidir.

Kuru soğutucularda kaset malzemesi, ortam şartlarına göre seçilir. Genel uygulamalarda kasetleme malzemesi olarak elektrostatik toz boya kaplı galvanizli çelik kullanılır. Daha dayanıklı malzemenin gerektiği yerlerde, paslanmaz çelik kasetleme tercih edilebilir ancak bu durum oldukça maliyetli olacaktır.

Her fan bölümü diğerinden sac levhalarla ayrılmalı, duran fanların ters dönüş etkisi önlenmelidir. Üniteler üzerinde müdahale kapaklarının olması tavsiye edilir.

4.1.5 Ses Seviyesi ve Fanlar

Özellikle yerleşim yerlerine yakın uygulamalarda kuru soğutucuların çalışma sırasında fazla gürültülü olmaması önemli bir kriter haline gelir. Temel olarak motorundan ve fan kanatlarının yapısından kaynaklanan ses seviyesi, üretici verileri değerlendirilerek belirlenir ve uygun sınırlar arasında kalıp kalmadığı kontrol edilir. Gerekirse motor devri düşürülerek ses seviyesi azaltılabilir; bu durumda gerekli soğutma kapasitesinin sağlanması için ısı değiştiricisinin ısı transfer yüzeyi artırılmalıdır.

Radyatör seçiminde dikkat edilmesi gereken bir nokta da, tasarımın ortam sıcaklığının yüksek olduğu zamanlarda ihtiyaç duyulan soğutma kapasitesini sağlayacak şekilde yapılması gerekliliğidir. Hava sıcaklık değerlerinin düşük olduğu zamanlarda istenen kapasitenin elde edilmesi için fanların hepsinin tam devirde çalışması gereksiz ve masraflı olur. Soğutma suyu çıkış sıcaklığı üzerinden kontrol edilen sistemlerde, fanların düşük devirle çalıştırılması veya devreden çıkarılması ile sistem için uygun debide hava tedariki sağlanır.

4.1.5.1 Çift Devirli Fanlar

Değişken debide hava sağlanması için en pratik yol, çift devirli fan kullanımudur. En yüksek çalışma devrinin 3 / 4 'ü gibi bir ikinci hızda da çalışabilen bu fanlar sayesinde, hava giriş sıcaklığının tasarım sıcaklığının çok altına düştüğü zamanlarda önemli oranda enerji tasarrufu sağlanabilmektedir.

Örneğin, 870 kW'lık 4 fanlı bir kuru soğutucu, ortam sıcaklığı 33 °C'tan 20 °C'a düştüğünde fan devri düşürülerek çalıştırılabilir. Bu durumda fan başına 0,75 kW az güç harcanır ki bu da % 40'a yakın tasarruf demektir. Bu örnek 4 fan içindir; çoğu tesiste çok daha fazla fanlı sistemler kullanılmaktadır.

Örnekte kullanılan 800 mm çaplı fanın her iki devirde harcadığı güç ve daha düşük devirlerde kullanılabilecek diğer bir fana ait veriler aşağıdadır [20].

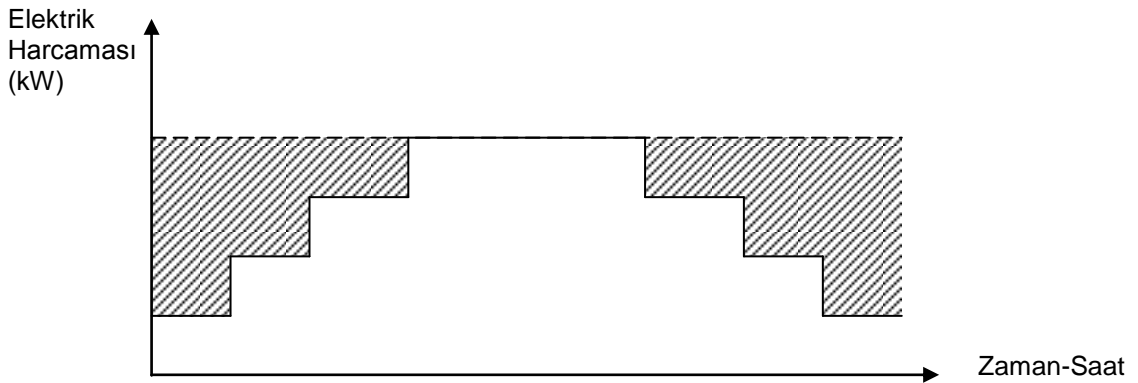
880 d/d	2,00 kW
660 d/d	1,25 kW
440 d/d	0,37 kW
330 d/d	0,20 kW

4.1.5.2 Fan Hız Kontrol Üniteleri

Tek devirli fanlarda da, çift devirli fanlarda da kullanılabilen kontrol üniteleri ile de hava debileri ihtiyaca göre değiştirilebilir.

Fan devirleri üzerinde hassas kontrol gerekmeyen yerlerde, fanların sırayla devreye girdiği ve devreden çıktığı step kontrol sistemleri uygulanır. Fanların hangi sırayla çalışacakları kullanıcı tarafından tariflenebilmektedir; fan çalışma sürelerinin dengeli dağıtıldığı alternatifler de vardır. Step kontrol üniteleri fanın sadece açık ya da kapalı olması esasına göre çalıştığı için, fan devrinin kontrol edildiği sistemlerden daha ucuza mal edilebilmektedir. Bu nedenle, çok sayıda fanın bulunduğu ve hassas kontrol gerektirmeyen sistemlerde genellikle bu yöntem tercih edilir.

Aşağıdaki grafikte, 4 fanlı bir kuru soğutucunun step kontrollü çalışmada elektrik harcamasındaki tasarruf görülmektedir. Günün sıcak saatlerinde 4 fanın da çalıştığı, en serin saatlerde ise tek fanın yeterli olduğu kabul edilmiştir.



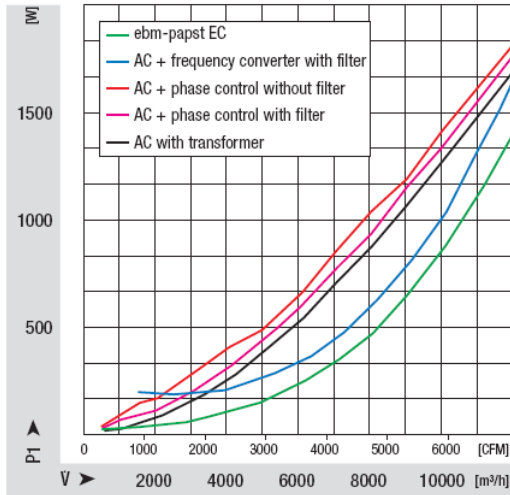
Grafik 3. Fanların step kontrol uygulanarak ihtiyaca göre devreye alındığı bir kuru soğutucuda bir günlük periyotta fanların elektrik harcaması. (Taralı alan, tüm fanların sürekli kullanılmaması sayesinde tasarruf edilen elektrik miktarını kWh olarak göstermektedir.)

Soğutma suyu dönüş sıcaklığının fazla değişmemesi istenen ve kullanılan fan adedinin az olduğu yerlerde step kontrol ile yeterli sonuç alınamaz. Böyle yerlerde fan devirlerinin kontrol edildiği ve dolayısıyla hava debisi üzerinde çok daha hassas kontrol sağlayan sistemler (frekans invertörleri/konvertörleri) kullanılır. Frekans invertörleri/konvertörleri ilk yatırım maliyeti açısından step kontrol ünitelerinden daha pahalıdır; bu nedenle genellikle tüm fanların ayrı frekans invertörleri/konvertörleri ile kontrol edildiği sistemler yerine, fanların gruplar halinde kontrol edildiği ve step kontrol üniteleri ile frekans invertörleri/konvertörlerinin birlikte kullanıldığı sistemler tercih edilmektedir.

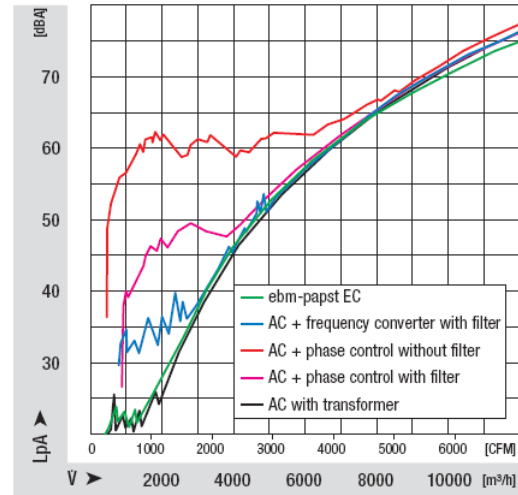
4.1.5.2 EC Fanlar [21]

Farklı devir aralıklarındaki motor seçeneklerinin yanı sıra son yıllarda kullanım alanları hızla artan EC Motor teknolojisi kuru soğutma uygulamalarında da kullanılmaktadır. EC fanlar kutup sayılarından bağımsız olarak fan motorunun tüm hızlarda kontrol edilebilmesini sağlamaktadır. Grafik 4.A' da verildiği üzere EC Motor sistemleri, frekans invertörü-step kontrol-trafo, vb. konvansiyonel hız kontrol sistemleri ile karşılaştırıldığında nominal hızlarda ortalama % 10 enerji tasarrufu sağlamaktadır.

EC Motorların akustik avantajlı tasarımı sayesinde ne frekans konvertörlü sistemlerin istenmeyen rezonansları ne de faz kontrollü sistemlerin uğultuları, EC Motorlarda gözükmez. Bu sayede EC motor sistemlerinde daha düşük ses seviyeleri sağlanır. Grafik 4.B'den görüldüğü üzere EC motor sistemleri faz kontrollü ve frekans konvertörlü sistemlere nazaran asgari 4 dBA avantaj sağlamakla birlikte özellikle düşük fan hızları ve hava debilerine inildiğinde bu fark 15~30dBA civarına çıkmaktadır.



Grafik 4.A EC-Motor Güç Tüketimi [21]



Grafik 4.B EC Motor Ses Seviyesi [21]

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yukarıdaki bölümlerde çeşitli uygulama örnekleri de kullanılarak açıklanmaya çalışıldığı üzere sulu soğutma uygulamaları için doğal soğutma sistemlerinin getirdiği verim hiçbir tereddüde yer bırakmayacak kadar açıktır.

Verimliliği arttırmak ve böylece birim maliyeti en düşük düzeye indirmek günümüzün rekabetçi ortamında en can alıcı noktadır. Tesisat sektörü içerisinde yer alan mühendislerin proje ve uygulamalarında yukarıda tanımlanan sistemlerin kullanımını yaygınlaştırması ile birlikte işletmelerimizde verimlilik artacak ve ülke olarak rekabet gücümüz yükselecektir. Bu sistemlerin aynı zamanda çevreci sistemler olduğu akıldan çıkartılmamalıdır.

6. KAYNAKLAR

- [1] De Saulles, T., "BSRIA Guide: Free Cooling Systems", BSRIA, 2004
- [2] ASHRAE Handbook 2000 Systems And Equipment, Chapter 36, Chapter 38, ASHRAE, 2000
- [3] Bulut H., Buyukalaca O., Yılmaz T., "Bin weather data for Turkey", Department of Mechanical Engineering / University of Cukurova, Applied Energy 70(2001) 135 -155
- [4] Oliver P., "Making use of free cooling", Building Service Journal, November 2001
- [5] The Dow Chemical Company Firması, Dowtherm 4000 Teknik Kataloğu (<http://www.dowtherm.com>)
- [6] Airedale Firması Teknik Kataloğu (<http://www.airedale.com>)
- [7] Climaveneta Firması "Free Cooling" Teknik Broşürü (<http://www.climaveneta.it>)
- [8] TPC Firması Teknik Kataloğu (<http://www.totalprocesscooling.co.uk>)
- [9] Friterm A.Ş Teknik Dokümanları ve Uygulamaları (<http://www.friterm.com>)
- [10] İsko Plastik Firması Ürün Kataloğu (<http://www.iskogrup.com>)
- [11] Climaveneta Firması FOCS-FC/NGT teknik Kataloğu (<http://www.climaveneta.it>)
- [12] Cansevdi B., Akdemir Ö., Güngör A., "Yıl Boyunca Soğutma Suyu Kullanılan Tesisler için Enerji Ekonomisi" Makalesi, VII. TESKON, 2005
- [13] Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Sıcaklık Ort. Raporu (<http://www.meteoroloji.gov.tr>)
- [14] ICS Firması Teknik Kataloğu (www.industrialcooling.co.uk)
- [15] Bilge M., "Endüstride ve Ticari Yapılarda Doğal Soğutma (Free Cooling) Sistemlerinin Uygulanması" Makalesi VIII. TESKON, 2007
- [16] Knief U., GEA -Küba Kältetechnik GmbH & Hölzlein S., M+W Zander Systems, Report: "Free

Cooling is Worthwhile!" GEA -Küba Kältetechnik GmbH, Forum Küba magazine for expertise in refrigeration technologyTeknik Dergisi, Sayı:2, Ağust 1999 Sayısı

- [17] Dr. Schneider Kunststofftechnik GmbH Firması Ürün Kataloğu (<http://www.dr-schneider.com>)
[18] EPS (Environmental Process Systems Ltd) Firması Ecomesh Teknik Kataloğu (www.epsltd.co.uk)
[19] EUROVENT Rating Standard For Forced Convection Air Cooled Liquid Coolers "Dry Coolers" - 7/C/003 – 2007, Published by EUROVENT CERTIFICATION, Approved on 11 October 2007
[20] Ziehl Abegg Firması Teknik Kataloğu (www.ziehl-abegg.com)
[21] EBM-PAPST GmbH Firması "EC Fans" Teknik Broşürü (<http://www.ebmpapst.com>)

YAZAR ÖZGEÇMİŞ:

Hasan ACÜL 1976 yılı Ayvalık doğumludur. 1999 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. Üniversite mezuniyeti öncesi ve sonrasında Isıtma, Soğutma, Klima sektöründe faaliyet gösteren çeşitli firmalarda satış, şantiye, üretim, ve ar-ge bölümleri olmak üzere farklı departmanlarda mühendislik görevi yürütmüştür. Halen FRİTERM A.Ş firmasında Araştırma ve Geliştirme Bölüm Şefi olarak çalışmakta; Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü'nde Bilim ve Teknoloji Stratejileri alanında yüksek lisans düzeyinde öğrenimine devam etmekte; Makine Mühendisleri Odası Kartal ilçesi temsilciliği yürütme kurulu üyeliği yapmaktadır. Hasan Acül evli ve bir kız çocuk babasıdır.

Bu makale Makina Mühendisi Hasan ACÜL tarafından 11-13 Mayıs 2008 tarihlerinde Türk Toplumı HVAC Sıhhi Mühendislerince İstanbul'da düzenlenen Türk Tesisat Mühendisleri Derneği 2008 Uluslararası HVAC+R Teknoloji Sempozyonu ve Sergisi'nde yayınlanmıştır.