

## ENERJİ TESİSLERİNDE KULLANILAN LT-HT RADYATÖRLER (KURU SOĞUTUCULAR)

**Fırat BOLAZAR**  
Makina Mühendisi

**Hasan ACÜL**  
Makina Mühendisi  
Ar-Ge Bölüm Şefi

### ABSTRACT

*Dry Coolers (Radiators) are widely used in the energy sector for the expulsion of waste heat from the system. For hassle free cooling of machines like motors and combustion turbines in a power plant, and for healthy operation of the system, the Dry Coolers to be used must be selected carefully. This paper discusses the basic points that should be taken into consideration in selecting a cost-friendly and durable Dry Cooler, capable of providing the required cooling capacity at high performance, by offering practical values to be used in selection. The scope of the paper includes information on the materials, design criteria and fans commonly used for Dry Coolers, as well as an introduction to LT-HT Radiators and Dry Coolers –which have an important place in the energy sector- with a focus on practical application.*

### 1. MALZEME

Kuru Soğutucunun ekonomik ömrü, kullanım şartlarına uygun malzeme seçimine bağlıdır.

#### 1.1. Boru

Kuru Soğurucularda performans ve ekonomi 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. Dikkat edilmesi gereken diğer bir özellik, borunun et kalınlığıdır. Kuru Soğutucularda bakır boru et kalınlığı 0,5 mm'den az olmamalıdır. Özel şartlarda 0,7 mm tercih edilebilir. Ürün üzerinden ölçümü mümkün olmadığı için, Kuru Soğutucu seçilirken mutlaka üreticiden boru et kalınlığı bilgisi alınmalıdır.

#### 1.2. Lamel

Kuru Soğurucularda yaygın olarak kullanılan lamel malzemesi alüminyumdur.

Kullanım yerine göre, lamel kalınlığının 0,14-0,15 mm olması uygun olacaktır. Özel uygulamalarda, daha kalın lamel kullanımı da mümkündür. Kuru soğutucu uygulamalarında 0,12 mm altında lamel kullanımı düşünülmemelidir.

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 + poliüretan kaplama uygulaması tavsiye edilir.

### 1.3. Kaset

Kuru Soğutucularda kaset malzemesi, ortam şartlarına göre seçilir.

Genel uygulamalarda kaset malzemesi olarak galvanizli sac kullanılır. Galvanizli sac, ek koruma önlemi alınmadığında ihtiyacı karşılamakta yetersiz kalmaktadır. Sıcak daldırma galvaniz, deformasyona neden olduğu için tavsiye edilmez. Galvanizli sac üzerine toz boya uygulaması, en avantajlı seçim olacaktır.

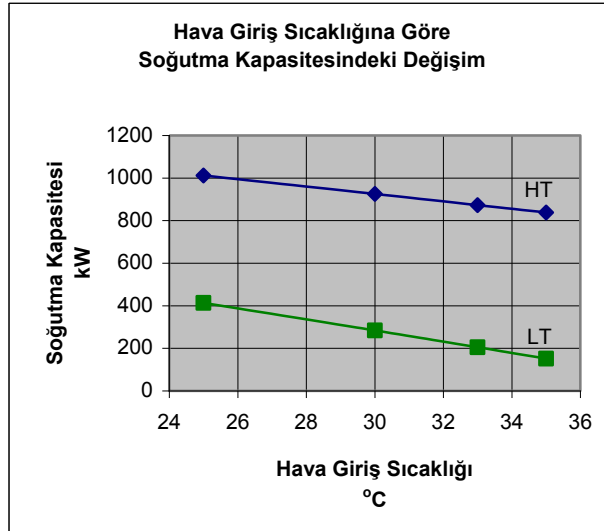
Daha dayanıklı malzemenin gerektiği yerlerde, paslanmaz çelik kasetleme tercih edilir.

## 2. TASARIM KRİTERLERİ

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.

### 2.1. Ortam Şartları

Bir Kuru Soğutucunun soğutma kapasitesi, ancak kullanılacağı ortam şartları bilindiği zaman belirlenebilir. Ortam hakkındaki en önemli kriter hava giriş sıcaklığıdır. Örneğin, HT (Jacket Water) soğutma amacıyla kullanılan ve 99°C / 73°C çalışan bir Kuru Soğutucu ile LT (After Cooler) soğutma amacıyla kullanılan ve 44°C / 39°C çalışan bir Kuru Soğutucu için farklı hava giriş sıcaklıklarındaki soğutma kapasiteleri aşağıdaki grafikte verilmiştir. Kuru Soğutucu seçiminde dikkat edilmesi gereken nokta, alınacak Kuru Soğutucunun kullanılacağı bölge şartlarındaki soğutma kapasitesinin bilinmesi gerekliliğidir. Elimizdeki örnekte 25 °C hava giriş sıcaklığındaki soğutma kapasitesine göre alınan HT Kuru Soğutucu, gerçek kullanım yerinde 35 °C hava giriş sıcaklığı ile çalıştırıldığında istenen kapasitenin % 83'ünü verebilmektedir; bu oran LT Kuru Soğutucu için ise ancak % 37'dir.



**Grafik 1.** Hava giriş sıcaklığına göre soğutma kapasitesindeki değişim

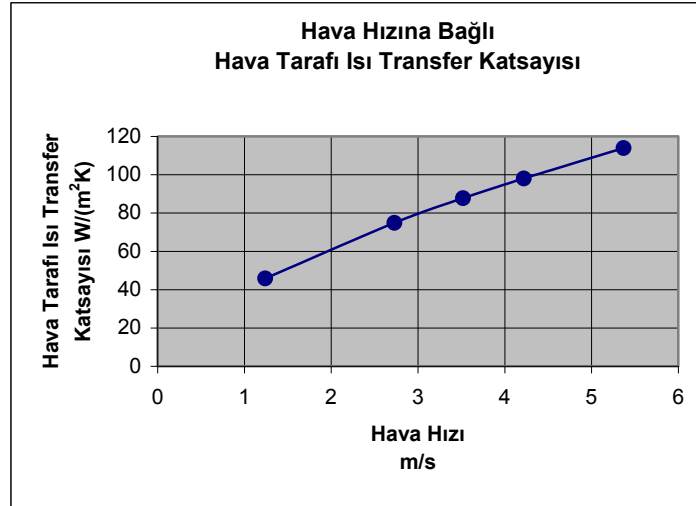
Not: Bu ve bundan sonraki tüm kapasite hesapları COILS 5.5 FRT1 yazılımı ile yapılmıştır.

## 2.2. 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.

## 2.3. Hava Hızı

Hava hızı, hava tarafındaki kısmi ısı transfer katsayısını etkilediği için önemli bir kriterdir. Hava hızı arttıkça ısı transferi arttığı için daha küçük bir ısı değiştiricisi yeterli olacaktır; bununla birlikte hava tarafı basınç kaybının artması nedeniyle yüksek hızlarda fan performansı düşer. Bu nedenle hava hızının optimum değerlerde seçilmesi gereklidir. Kuru Soğutucu uygulamalarında tavsiye edilen hava hızı 3-3,5 m/s civarındadır. Bu hızın altında hava hızları Kuru Soğutucunun çok büyük seçilmesini gerektirir. Yüksek hava hızları ise daha güçlü ve pahalı fanlar gerektirir.



Grafik 2. Hava hızına bağlı hava tarafı ısı transfer katsayısı

## 2.4. İç Akışkan

Kış aylarında Kuru Soğutucularda donma riskine karşı önlem alınmalıdır. Aksi takdirde, iç akışkanın donması sonucu borularda oluşacak tahribatin onarılması son derece zordur. Onarım yapılabilse bile, getireceği ek maliyetin yanında, Kuru Soğutucunun performansının düşmesi de söz konusudur. Ülkemizde, donma sonucu kullanılamaz hale gelmiş Kuru Soğutucuların tamamen yenilenmek zorunda kaldığı örneklere sıklıkla rastlamaktayız.

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.

Kuru Soğutucu seçiminde, kullanım sırasında soğutma suyuna eklenecek glikolün de hesaba katılması gerekir. Kuru Soğutucu tasarımı %25-%35 glikollü suya göre yapılmalıdır. 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.

## 2.5. Ses Seviyesi

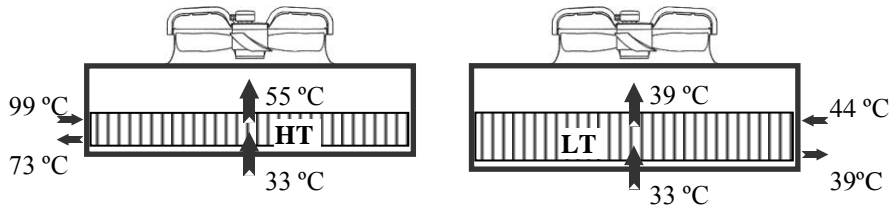
Özellikle yerleşim yerlerine yakın uygulamalarda kuru soğutucuların çalışma sırasında fazla gürültülü olmaması önemli bir kriter haline gelir. Temel olarak fan motorundan ve fan kanatlarının yapısından kaynaklanan ses seviyesi, üretici verileri değerlendirilerek belirlenir ve uygun sınırlar arasında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

## 3. LT-HT RADYATÖR

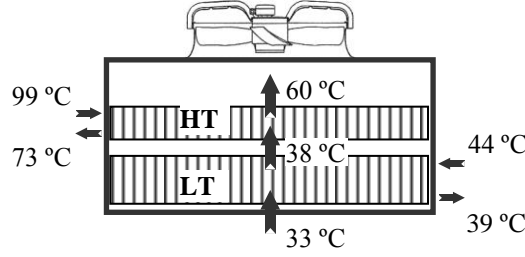


Resim 1. LT-HT Radyatör

Enerji tesislerinde kullanılan motorların atık ısılarının uzaklaştırılmasında, maliyet ve kapladığı yer açısından avantaj sağlayan özel bir sistemden yararlanılabilmektedir. HT (Jacket Water) devresinde sirküle eden suyun ortalama sıcaklığı yüksektir. Bunun yanında, LT (After Cooler) devresinde daha düşük sıcaklıklarda su sirküle eder. LT devresini soğutmak için kullanılan hava ısındıktan sonra bile, HT devresindeki soğutma ihtiyacını karşılayabilecek sıcaklıklarda kalmaktadır. Bu nedenle, HT devresi için yeni bir radyatör kullanmak yerine, iki ısı değiştiricisinin aynı fanlarla soğutulduğu LT-HT Radyatörlerden yararlanılabilir.



Resim 2. HT (Jacket Water) ve LT (After Cooler) devrelerinin ayrı kuru soğutucularla soğutulması



**Resim 3.** HT (Jacket Water) ve LT (After Cooler) devrelerinin aynı kuru soğutucu üniteye soğutulması

LT-HT Radyatörlerde, LT devresinin çıkış havası, HT devresinin giriş havasıdır. LT devresine ortam sıcaklığında giren hava After Cooler suyunu soğuturken bir miktar ısınır. HT devresine bu ısınmış hava gireceğinden, ısı değiştiricisinin Jacket Water için gereken soğutma ihtiyacını karşılayacak kapasiteyi sağlaması için, ortam havasıyla soğutma uygulamasındakinden daha büyük bir ısı transfer yüzeyine ihtiyaç vardır. Bununla birlikte, sistemin aynı kasetleme içinde çözülmesinin getireceği ilk yatırım avantajı unutulmamalıdır.

Örnek:

İstanbul'da kullanılacak HT ve LT radyatörler için aşağıdaki tabloda verilen değerlere göre seçim yapılacaktır (glikol/su oranı %30).

İstenen	HT Radyatör	LT Radyatör
Soğutma Kapasitesi	805 kW + %10 emniyet	185 kW + %10 emniyet
Su Giriş Sıcaklığı	99 °C	44 °C
Su Çıkış Sıcaklığı	73 °C	39 °C

İstanbul için: Kuru Termometre Sıcaklığı = 33 °C  
Yaş Termometre Sıcaklığı = 24 °C

HT ve LT Radyatörlerin ayrı ayrı yapılması halinde istenen şartlara uygun olarak tasarlanan radyatörler aşağıda verilmiştir.

Seçilen	HT Radyatör	LT Radyatör	Toplam
Soğutma Kapasitesi	888 kW	205 kW	
Su Giriş Sıcaklığı	99 °C	44 °C	
Su Çıkış Sıcaklığı	73 °C	39 °C	
Isı transfer yüzeyi	326 m <sup>2</sup>	652 m <sup>2</sup>	978 m <sup>2</sup>
Fan Sayısı	6 x Ø800 mm	6 x Ø800 mm	12 x Ø800 mm

LT-HT Radyatör kullanılması halinde istenen şartlara uygun olarak tasarlanan radyatör aşağıda verilmiştir.

Seçilen	HT Devresi	LT Devresi	Toplam
Soğutma Kapasitesi	936 kW	203 kW	
Su Giriş Sıcaklığı	99 °C	44 °C	
Su Çıkış Sıcaklığı	73 °C	39 °C	
Isı transfer yüzeyi	435 m <sup>2</sup>	652 m <sup>2</sup>	1087 m <sup>2</sup>
Fan Sayısı	8 x Ø800 mm		8 x Ø800 mm

Kullanılan fanın çektiği güç 2 kW/fan'dır. HT ve LT Radyatörlerin ayrı ayrı yapılması yerine LT-HT Radyatör tercih edilmesi halinde 4 fan az kullanılmaktadır; bu durumda fanların çektiği toplam güç 8

**12.ULUSLARARASI KOJENERASYON, KOMBİNE ÇEVİRİM VE ÇEVRE KONFERANSI  
(ICCI 2006), 25-26 MAYIS 2006 İSTANBUL**

kW (%33) azalmaktadır. LT-HT Radyatör kullanılması durumunda ısı transfer yüzeyindeki artış %11'dir.

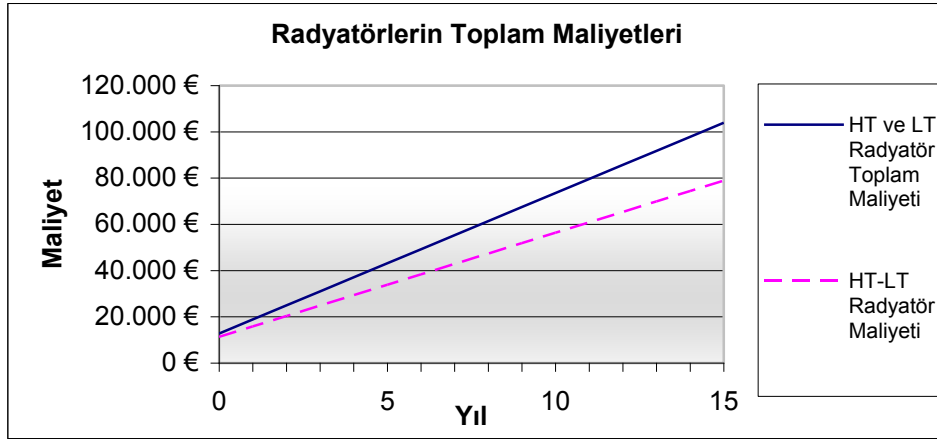
Maliyetler hakkında genel bir fikir vermesi amacıyla aşağıdaki tablo hazırlanmıştır. Çalışmanın basit tutulması amacıyla yapılan kabuller ektedir.

	HT Radyatör	LT Radyatör	Toplam	LT-HT Radyatör
<b>İlk Yatırım</b>	5.230 €	7.545 €	12.775 €	11.325 €
<b>İşletme (15 Yıl)</b>	40.500 €	50.625 €	91.125 €	67.500 €
<b>Toplam</b>	45.730 €	58.170 €	<b>103.900 €</b>	<b>78.825 €</b>

Yapılan Kabuller:

Günlük Çalışma Süresi:	15 saat/gün
Aylık Çalışma Süresi:	25 gün/ay
Yıllık Çalışma Süresi:	10 ay/yıl (HT Radyatörde 8 ay/yıl)
Elektrik Birim Maliyeti:	0,075 €/kWh
Radyatörler	Lamel: Epoksi kaplı alüminyum 0,15 mm Kasetleme: RAL 7044 boyalı galvanizli sac Tüm fanlarda pako şalter

Yukarıda verilen örnek, analiz amaçlı olmadığı için ayrıntılı hesaplama yapılmamıştır. Bununla birlikte, LT-HT Radyatörlerin işletme maliyeti açısından avantajının görülmesi için yeterlidir. Örnekte görüldüğü gibi, LT-HT Radyatörün ilk yatırım maliyeti de HT ve LT Radyatörlerin ayrı ayrı yapılması durumundaki ilk yatırım maliyetinin altında olabilmektedir.



**Grafik 3.** HT ve LT radyatörlerin ayrı ayrı yapılması ve birlikte yapılması (LT-HT Radyatör) durumlarında toplam maliyetin (ilk yatırım + işletme) yıllara göre değişimi

#### 4. ISLAK-KURU SOĞUTUCU



**Resim 4.** Doğrudan spreyleme sistemli ıslak-kuru soğutucu



**Resim 5.** Ecomesh spreyleme sistemli ıslak-kuru soğutucu

Kuru Soğutucularda elde edilen su sıcaklığı ortamın kuru termometre sıcaklığına bağlıdır; kuru termometre sıcaklığının yaklaşık 5 °C üzerine kadar soğutulmuş su elde edilebilir. Daha düşük sıcaklıklarda soğutma suyuna ihtiyaç duyulan durumlarda Islak-Kuru Soğutucular kullanılır.

Islak-Kuru Soğutucular, temel prensip olarak Kuru Soğutucular gibi çalışır. Sistemde gerektiğinde ek soğutma sağlayacak bir su püskürtme sistemi bulunmaktadır. 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 sağlar; diğer zamanlarda sistemde su tüketimi yoktur.

Püskürtme 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 Ecomesh 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. Çerçevenin 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.

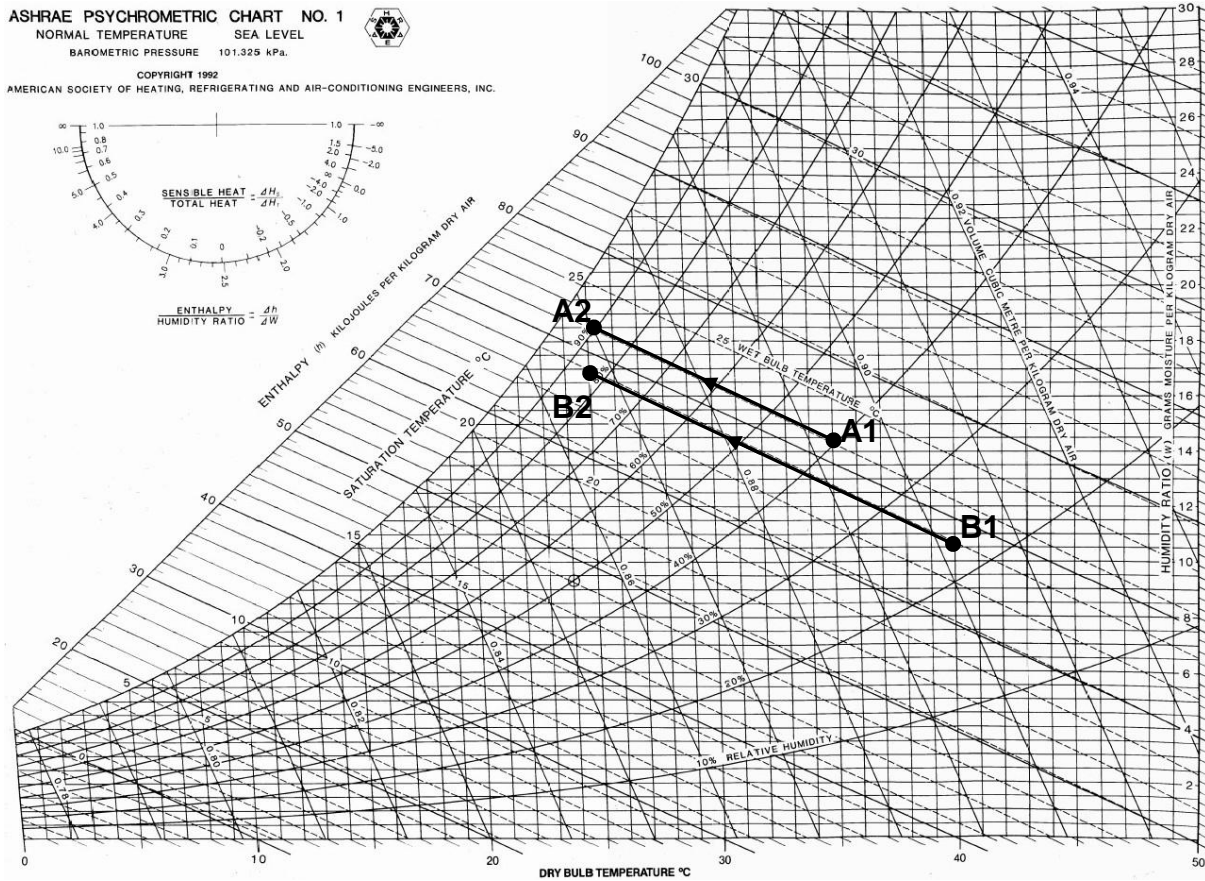
Islak-Kuru Soğutucular, acil durumlarda su püskürtme sisteminin devreye girdiği Kuru Soğutucular olarak ele alınabilir. Bu sistem sayesinde, hava sıcaklığının Kuru Soğutucu ile istenen soğutma kapasitesinin alınamayacağı kadar yükseldiği özel durumlar için ek bir soğutma sistemine gerek kalmaz.

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. Bu çalışmadaki örneklerde kullanılan Ø800 mm çaplı fanlar göz önüne alınırsa, genel uygulamalar için fan başına 124 kg/saat su püskürtülmesi yeterli olacaktır. Bu değer 2 bar püskürtme basıncı ile sağlanabilir; aynı sistem 4 barda çalıştırılırsa 173 kg/saat su püskürtülebilmektedir. Su püskürtme sistemi nadir olarak kullanılacağı ve acil durumlar için

ek soğutma ünitesi yatırımına gerek bırakmayacağı için püskürtme suyu masrafı çoğu uygulamada kabul edilir değerlerde kalmaktadır.

Örneğin, 35 °C kuru ve 24 °C yaş termometre sıcaklığındaki giriş havası (% 40 bağıl nem), su püskürtülerek %90 bağıl neme kadar doyurulursa, giriş kuru termometre sıcaklığı yaklaşık olarak 25 °C'a kadar düşürülebilmektedir (*Grafik 4, A1-A2*). Bu durumda, daha önce "2.1. Ortam Şartları" başlığı altında hava giriş sıcaklığına göre soğutma kapasitesindeki değişimini göstermek amacıyla ele alınan örnekteki HT Radyatörün soğutma kapasitesi % 20, LT Radyatörün soğutma kapasitesi ise % 170 artmaktadır. İhtiyaç duyulan 4 g/kg hava civarındaki nem artışı, 100 Pa basınç kaybında 22.500 kg/saat hava debisi sağlayan fan başına 90 kg/saat suyun buharlaştırılması ile karşılanabilmektedir; bu değer 2 bar püskürtme basıncı ile emniyetli olarak sağlanabilir.

Giriş havasının daha kuru olduğu durumlarda, Islak-Kuru Soğutucunun püskürtme sistemi daha yüksek bir performans gösterir. Örneğin, 40 °C kuru ve 23 °C yaş termometre sıcaklığındaki giriş havası (% 24 bağıl nem), su püskürtülerek %85 bağıl neme kadar doyurulursa, giriş kuru termometre sıcaklığı yaklaşık olarak 25 °C'a kadar düşürülebilmektedir (*Grafik 4, B1-B2*). İhtiyaç duyulan 6,5 g/kg hava civarındaki nem artışı, 100 Pa basınç kaybında 22.500 kg/saat hava debisi sağlayan fan başına 146 kg/saat suyun buharlaştırılması ile karşılanabilmektedir; bu değer 4 bar püskürtme basıncı ile sağlanabilir.



**Grafik 4.** Islak-Kuru Soğutucuda püskürtme yapılması sonucu giriş havasının adyabatik olarak soğutulması (Psikrometrik Diyagram [1])



## 5. FANLAR

Radyatör seçiminde dikkat edilmesi gereken bir nokta da, tasarımın ortam sıcaklığının yüksek olduğu zamanlarda ihtiyaç duyulan soğutma kapasitesini sağlayacak şekilde yapıldığıdır. 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.

### 5.1. Çift Devirli Fanlar

Değişken debide hava sağlanması için en pratik yol, çift devirli fan kullanımınıdır. En yüksek çalışma devrinin  $\frac{3}{4}$ '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 HT2 Radyatörü, 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:

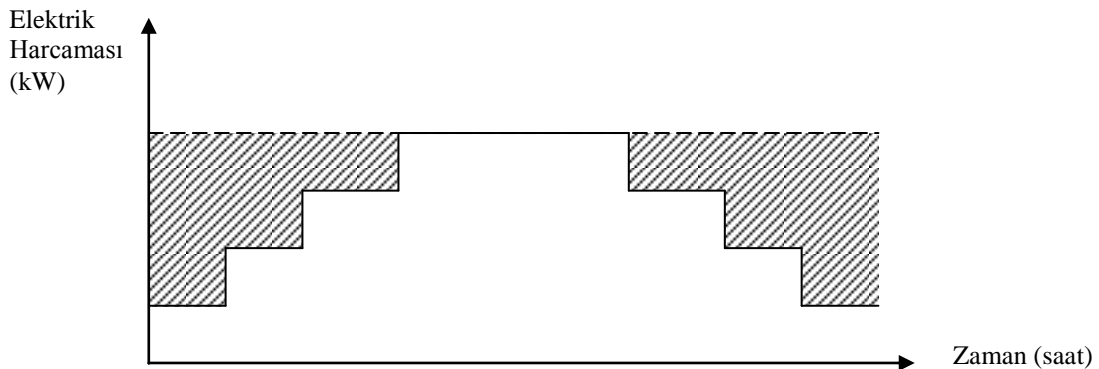
880 d/d	2,00 kW
660 d/d	1,25 kW

### 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 maledilebilmektedir. 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 5.** 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.

#### **KAYNAKLAR**

- [1] ASHRAE Handbook, 2001 Fundamentals, SI Edition, F06,11  
[2] Friterm Teknik Dökümanları

#### **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 Mühendisleri Hasan ACÜL ve Fırat BOLAZAR tarafından Mayıs 2006 tarihinde İstanbul'da düzenlenen 12. Uluslararası Enerji ve Çevre Fuarı ve Konferansı'nda yayınlanmıştır.