

İstanbul Bin Değerlerine Dayalı Chiller-Kuru Soğutucu Enerji Analizi

Sinan AYDIN, Kadir İSA
Friterm A.Ş.

Giriş

Plastik endüstrisi, soğutma uygulamalarına en fazla ihtiyaç duyulan sektörlerden biridir. Bu nedenle kullanılacak yöntemin bilinçli seçilmesi gerekir. İmalatta kullanılan kalıpların soğutulması, özellikle ürün kalitesi açısından önemlidir. Plastik endüstrisindeki soğutma uygulamalarında doğal soğutma (free cooling) enerji tüketimlerinde önemli bir düşüş sağlamaktadır.

Plastik endüstrisinde kullanılan hava soğutmalı chillerlerin kullanım ve bakım kolaylığına karşılık, işletme giderleri yüksektir. Ancak, yıl boyu soğutma gereksinimi olan mevcut bir sistem kuru soğutucular ile desteklenerek doğal soğutma yapılabilir. Dış ortam sıcaklıklarının gerekli olan soğutma suyu sıcaklıklarının altına düşmesi ile doğal soğutma sistemleri kullanılarak enerjinin etkin kullanımı sağlanabilir.



Şekil 1. Yatık ve V tipi kuru soğutucular ile chiller-kuru soğutucu entegrasyonu.

Çalışmanın temel amacı; İstanbul'da işletilmekte olan bir proses suyu soğutma sistemine entegre edilen kuru soğutucunun tesise sağladığı ekonomik getiri konusunda yıllık bin değerleri kullanarak genel değerlendirme yapmaktır.

Kabuller

Kuru soğutucu ve hava soğutmalı chillerin birlikte çalışması aşağıda belirtilen bir senaryo çerçevesinde incelenmiştir. Hesaplamadaki tüm kabul ve yaklaşımlar aşağıdaki gibidir;

- Soğutma gereksinimi olan tesis, $T_{\text{soğutma suyu gidiş}} = 11^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{soğutma suyu dönüş}} = 16^{\circ}\text{C}$ şarta sahip bir proses suyu soğutma sistemi olarak kabul edilmiştir.
- Sistemde günlük 20 saat / 365 gün boyunca soğutma istenmektedir.
- Sistemdeki toplam soğutma yükü, 500 kW kabul edilmiştir.
- Hesaplamalar chiller ve kuru soğutucunun birlikte kullanımı ile enerji verimliliğinin ne miktarda olduğunu belirlemeye yönelik olduğu için, karşılaştırmaya ve hesaplamaya konu olan dış hava sıcaklık aralığı $-6^{\circ}\text{C}/18^{\circ}\text{C}$ 'dir. 18°C üzerinde sadece chiller çalışmaktadır.
- İstanbul'a ait 1989-2012 yılları arasındaki meteorolojik verilerden derlenen bin değerleri kullanılmıştır.³
- Çalışma bölgeleri ve çalışma senaryoları kabulü şu şekilde yapılmıştır.
 - **%100 Mekanik Soğutma Aralığı** - Ortam havası sıcaklığı, soğutma suyu dönüş sıcaklığının üzerinde olduğu zamanlar %100 chiller çalışması gereklidir. $T_{\text{ortam}} > 14^{\circ}\text{C}$ olduğu zaman mekanik soğutma bölgesine girilir. Kondenser fanları ve kompresör %100 yükte çalışmaktadır. Kuru soğutucu çalışmamaktadır.
 - **Yük Paylaşımı Aralığı** - $14^{\circ}\text{C} \geq T_{\text{ortam}} \geq 6^{\circ}\text{C}$, chiller ve kuru soğutucunun yük paylaşımı olarak çalıştıkları bölge olarak kabul edilmiştir. Ortam havası sıcaklığı dönüş suyu sıcaklığının en az 2°C altına düşmesi ile ($T_{\text{ortam}}=16^{\circ}\text{C} - 2^{\circ}\text{C}=14^{\circ}\text{C}$) kuru soğutucu, ön soğutucu olarak, çalışmaya başlamaktadır. Chillere gönderilen dönüş suyu sıcaklığının düşmesi nedeni ile kompresör yükü de oransal olarak düşmektedir.

Çalışmada, chiller kompresörünün oransal olarak kapasite kontrolüne sahip olduğu varsayılmış ve buna uygun kompresör seçimi yapılmıştır. Ancak, hesaplamada kolaylık açısından belirli sıcaklıklar ve bu sıcaklıklara karşılık gelen oranlar kullanılmıştır. Oransal kontrol ile hesaplanan kazancın bir miktar daha fazla olacağı hesaba katılmalıdır. Ayrıca, kuru soğutucu ve kondenser fanlarının adım (step) kontrollü olarak çalıştığı kabul edilmiştir.

- **%100 Kuru Soğutucu Çalışma Aralığı:** Doğal soğutma bölgesi ortam havası sıcaklığı soğutma suyu gidiş sıcaklığının en az 5°C altında ve daha düşük sıcaklıklarda ($T_{ortam} \leq 5^\circ\text{C}$) tamamen kuru soğutucu çalışır. Chiller çalışmaz. Bu örnekte hava sıcaklığı, $T_{soğutma\ suyu\ gidiş}$ (11°C) - 5°C = 6°C ve altındaki sıcaklık değerlerinde olduğunda sistem %100 kuru soğutucu (doğal soğutma) ile çalışmaktadır.

Bin Değerleri

Proje aşamasında doğal soğutma uygulanmasının avantajlı olup olmadığının belirlenebilmesi ve sağlıklı bir yatırım kararı alınabilmesi için herhangi bir il için sıcaklık değerlerinin yıllık tekrar edilme sıklıklarının bilinmesi (bin değerleri) ve bu verilerin değerlendirilmesi (bin metodu) çok önemlidir. Bin değerleri, günlük belirli zaman dilimlerinde aralıklara bölünmüş sıcaklık değerlerinin yıl içerisinde kaç saat görüldüğünü gösteren verilerdir. Tablo 1’de İstanbul için farklı zaman periyotları için yıllık toplam bin değerleri verilmiştir.

Tablo 1. İstanbul bin değerleri

		Zaman Aralıkları (t, h)											
		0≤t<2	2≤t<4	4≤t<6	6≤t<8	8≤t<10	10≤t<12	12≤t<14	14≤t<16	16≤t<18	18≤t<20	20≤t<22	22≤t<24
Sıcaklık Aralıkları (t, °C)	-4 > t ≥ -6	2	2	4	3	1	0	0	0	1	2	0	2
	-2 > t ≥ -4	10	9	7	11	6	4	4	4	3	3	6	9
	-0 > t ≥ -2	11	14	14	14	12	11	8	13	21	19	17	13
	2 > t ≥ 0	47	45	47	43	35	28	31	22	24	28	34	41
	4 > t ≥ 2	43	54	58	45	35	33	19	28	39	44	45	40
	6 > t ≥ 4	73	69	61	64	54	46	56	61	60	74	79	76
	8 > t ≥ 6	55	60	69	56	59	53	54	51	56	49	40	52
	10 > t ≥ 8	69	62	53	62	55	59	50	51	50	51	64	70
	12 > t ≥ 10	56	53	66	59	62	50	47	41	52	60	59	54
	14 > t ≥ 12	82	100	85	47	48	55	56	68	56	59	66	67
	16 > t ≥ 14	47	39	40	58	48	48	50	47	51	60	57	64
	18 > t ≥ 16	56	51	57	53	47	50	48	43	44	45	42	41
20 > t ≥ 18	63	76	72	56	61	61	54	49	50	50	60	61	

Tablo 1’den anlaşılacağı üzere, İstanbul’da 8°C-10°C arasındaki sıcaklık değerleri 10.00-12.00 saatleri arasında yıl içerisinde 59 saat görülmüştür. Bu değer, 1989-2012 arasındaki meteorolojik verilerin ortalamasıdır.

Kuru Soğutucu ve Chillerin Birlikte Çalışma Senaryosu

Tablo 2’de senaryo ve -4°C/18°C sıcaklık aralığında kuru soğutucu ve chillerin toplam soğutma kapasitesini sağlayacak şekilde çalışması durumunda harcayacağı güç değerleri ve kapasite oranları gösterilmektedir. Bu güç değerlerine göre elektrik birim fiyatı kullanılarak İstanbul için kuru soğutucu ve chiller birlikte çalışması senaryosunda enerji maliyetine ilişkin hesaplamalar verilmektedir.

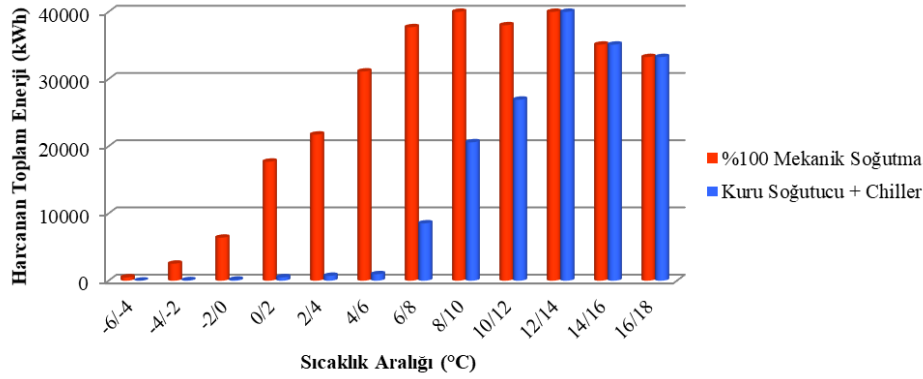
Tablo 2 - İstanbul için %100 mekanik ve kuru soğutucu-chiller karşılaştırması

<i>İstanbul Bin Değerleri</i>	17	76	167	425	483	644	654	696	659	789	609	577
Günde 20 saat çalışma	14	63	139	354	403	537	545	580	549	658	508	481
Sıcaklık Aralığı (°C)	-6/-4	-4/-2	-2/0	0/2	2/4	4 / 6	6/8	8/10	10 /12	12/14	14/16	16/18
%100 MEKANİK SOĞUTMA												
Harcanan Enerji (kWh)	35	40	46	50	54	58	69	69	69	69	69	69
Toplam Enerji (KWh/Yıl)	496	2533	6402	17708	21735	31127	37714	40136	38002	45499	35119	33274
Saatlik Enerji Bedeli (€/kWh)	0,10 €											
Enerji Bedeli (€)	50	253	640	1.771	2.174	3.113	3.771	4.014	3.800	4.550	3.512	3.327
Toplam Enerji Bedeli	30.974 €											
KURU SOĞUTUCU							KURU SOĞUTUCU VE CHILLER			CHILLER		
Harcanan Enerji (kWh)	0,72	1,08	1,08	1,44	1,80	1,80	15,64	35,50	49,04	62,73	69,20	69,20
Harcanan Toplam Enerji (kW)	10	68	150	510	725	966	8524	20590	26931	41245	35119	33274
Saatlik Enerji Bedeli (€/kWh)	0,10 €											
Enerji Bedeli (€)	1	7	15	51	72	97	852	2.059	2.693	4.124	3.512	3.327
Toplam Enerji Bedeli	16.811 €											
ENERJİ KAZANCI (%)										Yıllık Kazanç (Euro)		
%46										14.163		

Uygulamada EC (*Electronically Commutated*) fan motoru kullanılması durumunda işletme maliyeti ve geri dönüş süreleri açısından ek iyileştirmeler olacağı gözden kaçırılmamalıdır. %100 mekanik soğutma yapıldığı durumda, chillerin kapasite kontrolüne sahip olması nedeniyle -6/6°C aralığında enerji sarfiyatı kademeli olarak düşürülmüştür. Kendi işletme şartlarınıza uygun daha gerçekçi değerlendirmeler yapmak üzere üreticilerin teknik satış birimleri ile iş birliği yapmakta yarar vardır.

Çalışma Senaryoları İçin Güç Hesapları

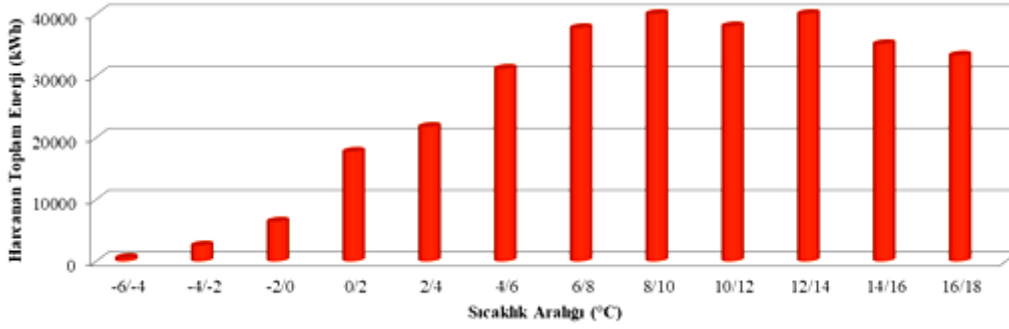
Tablo 2’de görüldüğü üzere %100 mekanik soğutma yapıldığı zaman 14/18°C sıcaklık aralığında chiller devrededir ve bu sıcaklık aralığı doğal soğutma için uygun değildir. Birlikte çalışma durumunda chiller ve kuru soğutucunun harcayacağı güç ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu durum için toplam güç değerinin %100 mekanik soğutmada harcanan güç değerinden daha düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 2 - Kısmi ve doğal soğutma enerji miktarları

Kısmi ve %100 doğal soğutma bölgesinde kuru soğutucunun harcadığı güç, sadece fan gücüdür ve dış hava sıcaklığı düştükçe fanlar kademeli olarak kapanmaktadır. Bunun yanı sıra, kış aylarında rüzgârın fazla olduğu günlerde fanların tümü devrede olmasa dahi rüzgâr etkisi ile soğutma etkisi artmaktadır. Sonuç olarak, dış hava sıcaklıklarına bağlı olarak kuru soğutucu verimi ve enerji kazancı değişmektedir.

İstanbul da -6°C'nin altında bir sıcaklık yıl boyu görülmemektedir. Kısmi soğutma ve %100 doğal soğutma yapılması durumunda İstanbul için harcanacak enerji miktarlarını gösteren grafik Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3 - İstanbul için bin değerlerine bağlı enerji sarfıyatı

Sonuç

Üretimde makinelerin kalıp ve yağ devrelerinin soğutulması, malzemenin ısıl işlemi sonrası soğutulması, kaplama havuzlarının, kesme ve işleme yağlarının istenen özellikte kalması için belirli sıcaklıklarda tutulması gibi birçok imalat aşamasında yaz-kış soğutmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Yıl boyu soğutma suyu kullanan ve mevcut bir hava soğutmalı chiller sistemi olan tesisler için gerekli soğutma yükünü karşılayacak bir kuru soğutucu seçilerek, bu entegrasyon sonucundaki enerji maliyetleri karşılaştırılmıştır. Soğutma sisteminin kurulu olduğu veya kurulacağı bölgenin *iklim koşulları* ile istenen *soğutma suyu sıcaklıkları* doğal soğutmadan elde edilebilecek faydaya etki eden en önemli unsurlardır.

Dış hava sıcaklığı soğutma suyu dönüş sıcaklığının 2°C altına düştüğünde kısmi doğal soğutma, 6°C altına düştüğünde ise %100 doğal soğutma yapılacak şekilde bin değerleri kullanılarak enerji maliyetleri hesaplanmıştır. Verimlilik, maliyet ve geri dönüş sürelerine etkisinin açıkça görülmesi için değişik enerji sınıflarına ait kuru soğutucular esas alınarak yapılacak bir değerlendirme daha gerçekçi olacaktır.

Yoğun enerji tüketiminin olduğu endüstriyel soğutma tesislerinde sürdürülebilir çevre ve işletme maliyetlerinin azaltılması açısından kuru soğutucuların önemli bir katkı sağladığı görülmektedir.

Kaynaklar

- FRİTERM A.Ş., 2017, *Plastik Endüstrisinde Soğutma Sistemleri ve Uygulamaları*, 3. Baskı, Friterm A.Ş. Teknik Yayını, İstanbul, ISBN: 978-975-6263-32-7
- ACÜL, H., 2009, Kuru Soğutuculu Doğal Soğutma Uygulamaları ile İklimlendirme Sistemlerinde Enerji Verimliliği, IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi (TESKON) Bildiriler Kitabı, 6-9 Mayıs 2009 İzmir, 83-114.
- PUSAT, Ş., EKMEKÇİ, İ., DÜNDAR, A.C., ERMİŞ, K., 2015, Üç Büyük Şehir Merkezi İçin Bin-Data Değerlerinin Belirlenmesi, 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi (TESKON 215), 1597-1606.
- KÖK, G., 2012, Kuru Soğutucu Kullanımının Enerji Verimliliği Açısından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- FRİTERM A.Ş., 2017, *İklimlendirme Soğutma Sistemlerinde Enerji Verimliliği*, Genişletilmiş 2. Baskı, Friterm A.Ş. Teknik Yayını, İstanbul, ISBN: 978-975-6263-33-4