

Şekil 2.12. Sis Önleyicili Hibrid Soğutma Kulesinin Psikrometrik Diyagram Üzerinde Gösterilmesi

suyu tamamen absorbe edemez. Bu durumda soğutma kulelerinin üzerinde sis oluşur (Şekil 2.13). Çok soğuk havalarda su damlacıkları, soğutma kuleleri ve çevresinde buzlanmaya sebep olur.

Hibrid soğutma sisteminin yatırım maliyeti açık bir şekilde daha yüksek olmasına karşın, hibrid soğutucuların işletme maliyetleri ıslak soğutma sisteminkinden çok daha düşüktür. Amorti süresinin kısa olmasının sebepleri aşağıdaki gibi açıklanabilir.



Şekil 2.13. Nem Oranının % 95'ten Fazla Olduğu Bir Gün Soğutma Kulesi [7]

- Pompaları, ısı değiştiricileri, kontrol elemanları, vanaları olan su devrelerine fazladan ihtiyaç yoktur.
- Isı değiştiricilerinin temizlenme sorunu olmadığı için bakım süreleri daha kısadır.

Hibrid soğutucuların en büyük avantajı ise tüketiminin düşük

olmasıdır. Kullandığı ilave su, ıslak soğutma kulelerinin kullandığı suyun sadece % 20'si kadardır. Ortam sıcaklığı düşüktüğü, kullanılan ilave suyun miktarı da düşer. Sadece sıcak yaz günlerinde hibrid soğutucu hemen hemen ıslak soğutma kulesinin duyduğu kadar suya ihtiyaç duyar. Yinede bu süre çok kısa olduğundan, ilave su kullanımına kayda değer bir etki yapmaz [7].

Örnek 1: Aşağıda verilmiş tasarım şartlarında, sis önleyicili hibrid bir kule tasarım edilmesi, eşanjör alanı ve hava debisinin belirlenmesi, mimari tasarımının nasıl yapılabileceğini gösterelim.

Verilen tasarım şartlarımız;

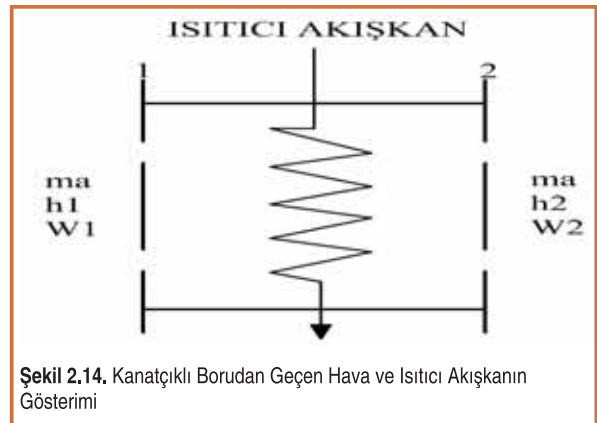
Soğutulacak su debisi	: 500 kg/h
Akışkan giriş sıcaklığı	: 45°C
Akışkan çıkış sıcaklığı	: 30°C
Deniz seviyesinden yükseklik	: Deniz seviyesi (İstanbul)
Barometrik basınç	: 101.325 kPa
Hava hızı	: 3,6 m/s
İzin verilen kule eşanjör açıklığı	: 2000x1000 mm

Kule ıslak kısmına 10°C kuru termometre sıcaklığında ve % 90 bağıl nemde giren havanın, 25°C kuru termometre sıcaklığında ve % 100 bağıl nemde çıkması durumunda kule üzerinde sis oluşacağı görülmektedir. Bu sisi önlemek için kule üst kısmında yerleştirilmiş olan serpantinlerde havaya duyulur ısı verme işlemi yapılacaktır.

Çözüm 1:

a-) Kule kuru tarafının hesaplanması

Kulede iki adet kanatlı borulu ısı değiştirici kullanılacağı tasarlanmıştır.



Şekil 2.14. Kanatçıklı Borudan Geçen Hava ve Isıtıcı Akışkanın Gösterimi

Her bir serpantinden geçen su debisi	=250 kg/h
Isıtıcı serpantine giren havanın kuru termometre sıcaklığı	=10°C
Giriş havası bağıl nemi	= % 90

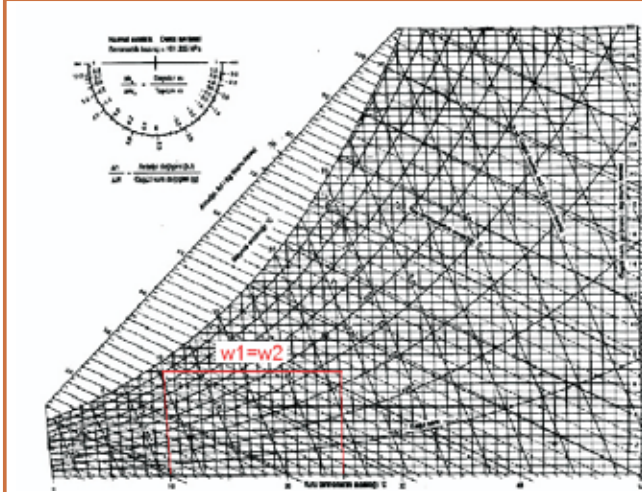
Isıtıcı serpantin giriş şartlarını psikrometrik diyagram yardımıyla yazarsak,

$$\text{Entalpi} = h_1 = 27 \text{ KJ/KGA}$$

$$\text{Özgül nem } \omega_1 = 7 \text{ gnem/KGA}$$

$$\text{Özgül hacim } V_1 = 0,81 \text{ m}^3/\text{KGA}$$

Isıtıcı serpantin vasıtasıyla havanın 25°C kuru termometre sıcaklığına ısıtıldığını kabul edelim.



Şekil 2.15. Isıtıcı Serpantinden Geçen Havanın Psikrometrik Diyagramda

Isıtıcı serpantin çıkış şartlarını psikrometrik diyagram yardımı ile yazarsak,

$$\text{Entalpi} = h_2 = 41 \text{ KJ/KGA}$$

$$\text{Özgül nem} = \omega_2 = \omega_1 = 7 \text{ gnem/KGA}$$

$$\text{Serpantindeki hava debisi} = A \cdot V = 2 * 1 * 3,6 * 3600 = 25.920 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Sistemdeki kuru hava miktarı} = m_a = 25.920 / 0,81 = 32.000 \text{ KGA/h}$$

$$q_{1-2} = m_a (h_2 - h_1) = 32.000 (41 - 27) = 444.800 \text{ kJ/h} = 123,55 \text{ kW}$$

Bir Serpantine giren havanın hacimsel debisi

$$V_1 = 25.920 \text{ m}^3/\text{h}$$

b-) Kule Islak Tarafının Hesaplanması

Kule ıslak tarafı giriş şartları,

$$\text{Akışkan giriş sıcaklığı} = 42^\circ\text{C}$$

$$\text{Akışkan çıkış sıcaklığı} = 30^\circ\text{C}$$

$$\text{Su debisi} = 500 \text{ kg/h}$$

$$\text{Dolguyu terk eden hava sıcaklığı} = 25^\circ\text{C}$$

$$\text{Bağıl nem} = \% 100$$

Sürekli akışlı açık sisteme kütle ve enerjinin korunumu denklemleri uygulanırsa aşağıdaki denklemler elde edilir.

$$\text{Kuleden geçen kuru hava kütlesi, } m_1 = m_2 = m_a$$

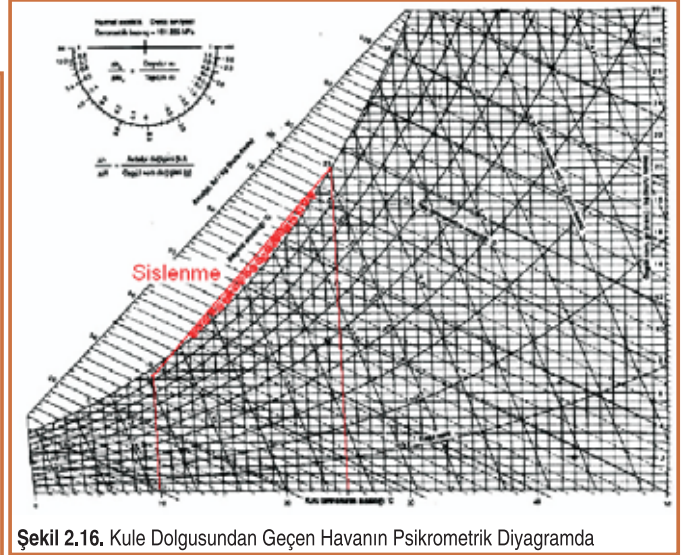
$$\text{Su kütlesi, } m_3 + m_{a1} \omega_1 = m_4 + m_{a2} \omega_2$$

$$m_3 - m_4 = m_a (\omega_2 - \omega_1)$$

$$\text{Enerji, } Q - W = \Sigma m_v h_v - \Sigma m_g h_g$$

$$0 = m_{a2} h_2 + m_4 h_4 - m_{a1} h_1 - m_3 h_3$$

$$m_a = [m_3 (h_3 - h_4)] / [(h_2 - h_1) - (\omega_2 - \omega_1) \cdot h_4]$$



Şekil 2.16. Kule Dolgusundan Geçen Havanın Psikrometrik Diyagramda

Psikrometrik diyagramdan,

$$\text{Entalpi} = h_1 = 27 \text{ KJ/KGA}$$

$$\text{Özgül nem } \omega_1 = 7 \text{ g}_{\text{nem}}/\text{KGA}$$

$$\text{Özgül hacim } V_1 = 0,81 \text{ m}^3/\text{KGA}$$

$$\text{Entalpi} = h_2 = 76 \text{ KJ/KGA}$$

$$\text{Özgül nem} = \omega_2 = 20 \text{ g}_{\text{nem}}/\text{KGA}$$

h_3 ve h_4 ü doyma eğrilerinden bulursak,

$$h_3 = h_{f42} = 175,46 \text{ kJ/kg su}$$

$$h_4 = h_{f30} = 125,79 \text{ kJ/kg su}$$

Bu değerler yukarıdaki denklemde yerine konursa,

$$m_a = 500 \cdot [(175,46 - 125,79)] / [(76 - 27) - (0,0200 - 0,007) \cdot (125,79)]$$

$$m_a = 524,0 \text{ kg/s}$$

$$V_2 = 524 \cdot 0,81 = 424,44 \text{ m}^3/\text{s} = 1.526.400 \text{ m}^3/\text{h}$$

c-) İki nemli havanın adyabatik karışımının incelenmesi

Kule kuru kısmını terk eden hava şartları;

$$\text{Hava debisi} = 51.840 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Kuru termometre sıcaklığı} = 25^\circ\text{C}$$

$$\text{Bağıl nem} = \% 35$$

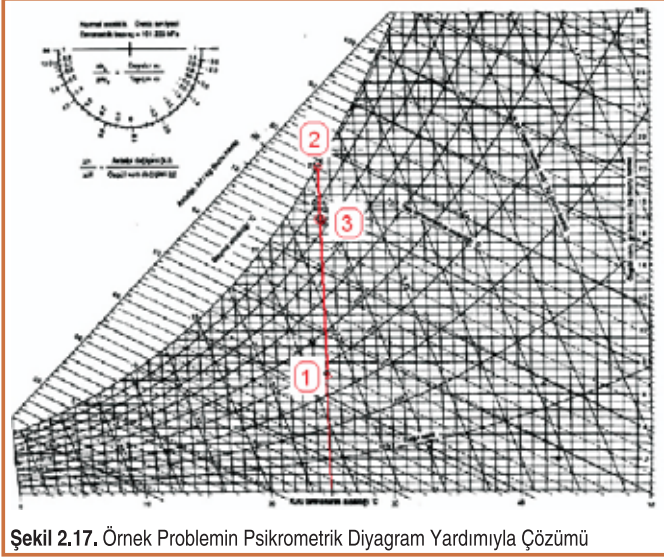
Kule ıslak kısmını terk eden hava şartları;

$$\text{Hava debisi} = 1.526.400 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Kuru termometre sıcaklığı} = 25^\circ\text{C}$$

$$\text{Bağıl nem} = \% 100$$

Problemin psikrometrik diyagramdaki çözümü Şekil 2.17'de görülmektedir. Bu diyagramda nemli havanın özgül hacimleri sırasıyla,



Şekil 2.17. Örnek Problemin Psikrometrik Diyagram Yardımıyla Çözümü

$$h_{a1}-h_{a0}=(L/G)C_w\Delta T$$

$$h_{a1}=27,013 \text{ kJ/kg}_{\text{kuru hava}}$$

$$NTU=(C_w.\Delta T_w)/(h_w-h_a)$$

$$NTU=1,7$$

$NTU=Ka. V_k/L=1,7$ eşitliğinde Ka ve L yerine yazılırsa, kule hacmi

$$V_k=3,65 \text{ m}^3 \text{ bulunur.}$$

$$S=(mh/3600).\rho_h/V_k=1,82 \text{ m}^2$$

Aşağıdaki formül yardımıyla kule yüksekliği hesaplanır.

$$H=V_k/S=2,0 \text{ m}$$

Soğutma Kulelerinin Ekonomik Değerlendirmesi

Avrupa'da uzun yıllardan beri hibrid soğutma kuleleri kullanılmaktadır. Birçok nedenden dolayı, su ve enerji fiyatlarının yüksek olduğu, görünür sise izin verilmediği zamanlarda sis önleyicili soğutma kuleleri çözüm olarak uzun yıllardan beri gelişmiş ülkelerde kullanılmaktadır. Hibrid soğutma kulesi kullanmak hem teknik, hemde ekonomiktir. İlk yatırım aşamasında korozyona dayanıklı malzemeler ve düşük ses seviyesine sahip fanlar kullanıldığı için fiyatları yüksek olmaktadır. Ancak bu yüksek giderler hibrid soğutma

KULE VERİMLİLİĞİ (NTU) HESAPLANMASI						
SU TARAFI			HAVA TARAFI		ENTALPİ FARKI	
Açıklama	t_w	$h_w(\text{KJ/KGA})$	Açıklama	$h_a(\text{KJ/KGA})$	(h_w-h_a)	$1/(h_w-h_a)$
Ts _{gs} +0,1.Soğutma Derecesi	30,700	126,800	ha ₀ +4,18,0,1.L/G.Soğutma Derecesi	27,001	99,799	0,010
Ts _{gs} +0,4.Soğutma Derecesi	32,800	140,340	ha ₀ +4,18,0,4.L/G.Soğutma Derecesi	27,005	113,335	0,009
Ts _{gs} +0,6.Soğutma Derecesi	34,200	152,560	ha ₀ +4,18,0,4.L/G.Soğutma Derecesi	27,007	125,553	0,008
Ts _{gs} +0,9.Soğutma Derecesi	36,300	167,780	ha ₀ +4,18,0,4.L/G.Soğutma Derecesi	27,027	140,753	0,007
Toplam $1/(h_w-h_a)=0,034$						
$NTU=C_w.\text{Soğutma Derecesi}/(h_w-h_a)=1,700$						

Şekil 2.18. Kule Verimliliği (NTU) Hesaplanması

$$V_1=0,855 \text{ m}^3/\text{KGA}$$

$$V_2=0,865 \text{ m}^3/\text{KGA}$$

olduğundan, kütleli debiler için

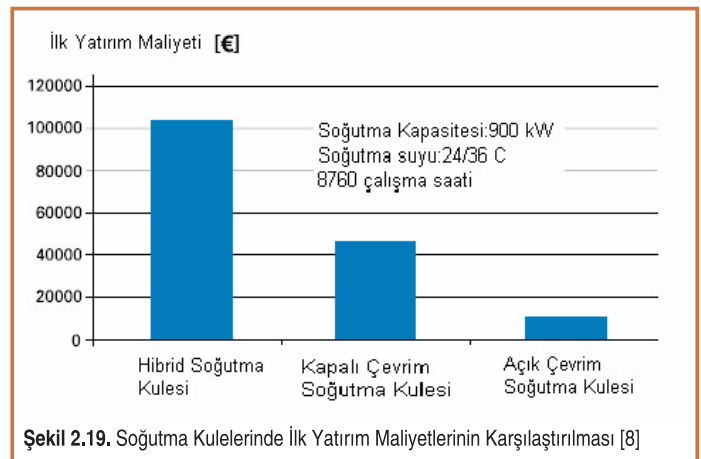
$$m_{a1}=51.840/0,855=60.631 \text{ KGA/H}$$

$$m_{a2}=1.526.400/0,865=1.764.624 \text{ KGA/H}$$

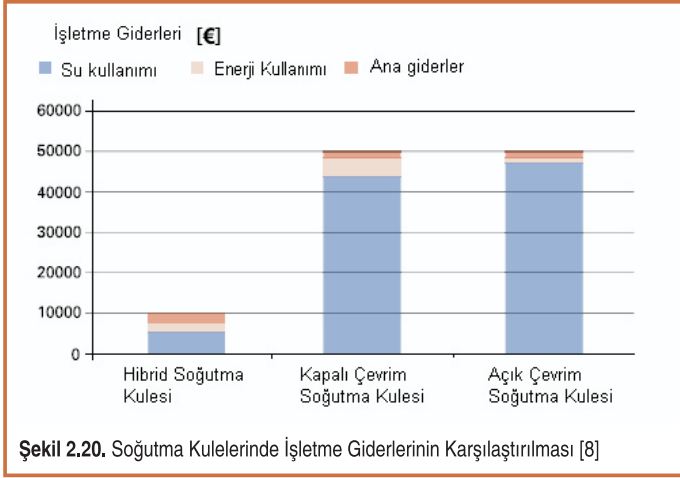
$$(13 \text{ doğrusu})/(32 \text{ doğrusu})=1.764.624/60.631,0=29,1$$

Psikrometrik diyagramdaki 12 doğrusu bir cetvel ile yukarıda verilen oranı gerçekleştirecek şekilde bölünürse karışımı gösteren 3 noktası kolayca bulunabilir. Bulunan bu 3 noktada havada sis oluşmayacağı açıkça görülmektedir.

Bulduğumuz veriler yardımıyla kule ıslak kısmını hacmini hesaplayalım.



Şekil 2.19. Soğutma Kulelerinde İlk Yatırım Maliyetlerinin Karşılaştırılması [8]



Şekil 2.20. Soğutma Kulelerinde İşletme Giderlerinin Karşılaştırılması [8]

kulesindeki su ve enerji tüketimindeki tasarruf ile 1-2 yıl içerisinde kendini amorti etmektedirler. Şekil 2.19 da Sydney Water firması tarafından, belirlenen şartlar altında yapılan araştırmada ilk yatırım maliyetleri değerlendirmesi bulunmaktadır.

Yukarıdaki diyagramlardan soğutma sistemlerinde yıllık ortalama giderler için basit bir ekonomik karşılaştırma görülmektedir. Su ve enerji fiyatları ucuz ise diğer soğutma sistemlerini tercih etmek daha ekonomik olabilir. Diğer soğutma sistemlerine göre hibrid soğutma sistemi karakteristik olarak su kullanımının daha düşük olduğu bir sistemdir.

Hibrid soğutma kuleleri Avrupa'da ve Amerika'da 1970 yılından beri kullanılmaktadır. Ülkemizde, çevreyle ilgili yasalarda sisin önüne geçilmesiyle ilgili herhangi bir kısıtlama bulunmadığı için kendisine çok fazla kullanım alanı bulamamıştır. Ancak Türkiye'nin hızlı bir sanayi atılımı gerçekleştirdiği, organize sanayi bölgelerinin ve sanayi kuruluşlarının şehirlerin kısmen içerisinde kaldığı veya çok yakınlarında bulunduğu görülmektedir. Bundan dolayı soğutma kulesi endüstrisi hibrid soğutma kulelerine gereken önemi vermeye başlamış ve fizibilite çalışmalarını hızlandırmışlardır. Çoğu soğutma kule üreticisi firma bu konuda AR-GE çalışmaları yürütmektedir. Soğutma kule üreticileri gelecek talepleri karşılayabilecek altyapıyı oluşturmaya başlamışlardır. Hibrid soğutma kulelerinin yasalarla desteklenmesiyle hem gereksiz su tüketiminin önüne geçilmiş olacak hem de istenmeyen sisin bertaraf edilmesi sağlanacaktır.

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Gelecek zamanlarda; enerji tasarrufunun, su kaynaklarının korunmasının ve tasarruflu kullanılmasının, sistemlerin çevresel etkilerinin en aza indirilmesinin gerektiği bilinen bir gerçektir. Yapılan bu çalışmada birçok endüstri kuruluşunda kullanılan soğutma kulelerine yönelik bir analiz yapılmıştır.

Soğutma kulelerinde küçük bir ilk yatırım maliyet ilavesiyle işletme giderlerinde önemli bir tasarruf sağlanabileceği, su kaynaklarının daha tasarruflu kullanılabileceği ve zararlı çevresel etkilerin minimuma indirgenebileceği belirlenmiştir.

Tasarım ve analizi yapılan soğutma kulesinde; su önce bir kanatlı borulu ısı değiştirici içerisinde geçirilmiş, buradan çıkan su bir toplama kolektörü yardımıyla homojen olarak kule dolgu elemanı üzerine püskürtülmüştür. Kule dolgusu üzerinden çıkan şartlandırılmış havanın kule giriş yaş termometre sıcaklığına bağlı olarak bağıl neminin ve sıcaklığının arttığı gözlemlenmiştir.

Kule üst kısmına yerleştirilmiş olan ısı değiştiricisinden çıkan havanın sıcaklığının arttığı ancak bağıl neminin azaldığı görülmüştür. Kule fanının emiş yaptığı plenum kısmına iki adet oval statik karıştırıcı koyularak ıslak ve kuru taraftan gelen havanın homojen olarak birbirine karışması sağlanmıştır.

Farklı sıcaklık ve bağıl nem oranında olan iki havanın birbiri arasındaki etkileşim ile havadaki doymunluk azaltılmış böylece ıslak taraftan çıkmış hava içerisindeki nem atmosfere ulaşmadan kule içerisinde tekrar kazanılmıştır. Bilindiği üzere kulede buharlaşan su miktarına eşit bir doldurma suyu (make up) ilave edilmelidir. Sislenmenin önüne geçmek demek, kullanılacak ilave doldurma suyunun diğer soğutma kulelerinin ihtiyaç duyduğu suya oranla en az 4/5 oranında azalması demektir.

Sisin önlenmesi için tamamen kapalı sistemler kullanılabilir ancak kapalı sistemler kullanılması durumunda kule boyutları istenmeyen ebatlarda büyüyecektir. Sisi önlerken boyutun büyümemesi için ıslak-kuru (hibrid) soğutma kuleleri ideal çözümler getirmektedir [2].

Bu çalışma; hibrid kule tasarımındaki önemli parametreleri göstermeyi hedeflemiştir. Hibrid kule tasarımı, bu parametreler üzerindeki gelişmelere bağlı olarak daha verimli bir hâle getirilebilir. Mühendislik eğitiminde ısı ve kütle transferinin önemli bir yeri vardır. Farklı sıcaklıklara sahip iki farklı cisim, akışkan veya yüzey arasında muhakkak bir ısı transferi gerçekleşmektedir. Isı transfer denklemleri çok karmaşık bir yapıya sahiptirler [3]. Hibrid soğutma kulesi tasarımının önemli bir parçası olan kanatlı borulu ısı değiştiricisinin daha verimli hâle getirilmesi kuleyi daha verimli kılacaktır.

Isı transferini pozitif yönde etkileyecek birçok parametre bulunabilir. Bunlardan bazılarını sıralarsak laminer bir akış yerine türbülanslı akışı tercih etmek, ısı değiştirici içerisinde geçen akışkanın akışını düzensizleştirmek, yüzey üzerinde pütürler oluşturmak, sınır tabaka kalınlığını azaltacak aktif ve pasif teknikler uygulamak olabilir.

Soğutma kulelerinde maliyet analizi yaparak harici tesisat

elemanları kullanılabilir. Bunlar giriş hava debisini ayarlayabileceğimiz panjur damperleri, giriş havası nemliliğini ayarlayabilecek nemlendirici, gerekli hava debisini sağlayabilecek fan, motorlu vanalar, frekans konvertörleri vb. elemanlar olabilir.

Bir tasarım yapılırken, enerjinin nasıl verimli kullanılacağı ve yapılan sistemin insanlık yararına nasıl hizmet edeceği iyi planlanmış olmalıdır. Soğutma kulesi tasarımı yapılırken etkili olan birçok parametreyi göz önüne almak gerekir. Örneğin by-pass duvarının etkisini ihmal etmek imkânsızdır. Özellikle küçük bir soğutma kulesinde % 20'ye varan oranlarda etki edebilmektedir. Tasarımda önemli olan etkenlerden biri de hava basıncının düşmesidir. Hava akış yönü veya hava akış hızı aniden değiştiği zaman sahada hava basıncı düşmektedir. Karşı akışlı soğutma kulelerinde; hava giriş panjurları, dolgu elamanı, su dağıtım boruları, damla tutucular ve fan ağız gibi elemanlar basınç düşümüne neden olabilmektedir.

Soğutma kulesi üst kısmında bulunan fan bacaları fan verimliliğini maksimize etmek için kullanılırlar. Fan bacaları, tahliye havasını minimize etmek ve havanın ters seyrini engelleyecek şekilde tasarlanmalıdır.

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A	Alan (m ²)
CÇN	Cihaz çığ noktası
CW	Suyun özgül ısısı (kJ/kg°C)
H	Ortalama ısı taşınım katsayısı (W/m ² K)
h	Entalpi (KJ/KGA)
K _a	Buharlaşma katsayısı

K	Isı iletim katsayısı (W/mK)
L	Serpantin yüksekliği (m)
m _a	Havanın akış hızı (kg/s)
M _w	Nemli hava içerisindeki nem kütlesi
m _w	Suyun akış hızı (kg/s)
Q	Isı miktarı (W)
S	Kule kesiti(m)
V	Nemli havanın özgül hacmi (m ³ /KGA)
V _K	Kule hacmi (m ³)
ω	Özgül nem (g _{nem} /KGA)
ΔT _m	Ortalama logaritmik sıcaklık farkı
Φ	Bağıl nem

KAYNAKÇA

1. **ASHRAE**. 1992. Cooling Tower Performance: Theory and Experiments (Çev.,ASHRAE),ASHRAE,ATALANTA.
2. **Shan, K. W.** 1994. Handbook of Air Conditioning and Refrigeration, McGraw-Hill, New York.
3. **Genceli, O. F.** 1983. Isı değiştiricileri, Birsen Yayınevi, İstanbul.
4. ASHRAE Handbook, HVAC System and Equipment.
5. **Carrier**, 1965. Handbook of Air Conditioning System Design.
6. Cooling Tower Institute., (1963), Annual Meeting Technical Paper Number TP93-01
7. **Jensen, J. P., Conrad, B., Schuetz, U., Ullrich, F. R., Wanning, A.** 2004. Hybrid Dry Coolers in Cooling Systems of High Energy Physics Accelerators, Hamburg, Germany.
8. Sydney Water., <http://www.sydneywater.com.au>