

Ünsal M.; Varol, A.: “Soğutma Kulelerinin Boyutlandırılması İçin Bir Kuramsal Analiz”, Birinci Ulusal Soğutma ve İklimlendirme Sempozyumu, Bildiri Kitabı, 6-18 Mayıs 1990, S: 181-185, Adana

4.5. SOĞUTMA KULELERİNİN BOYUTLANDIRILMASI İÇİN BİR ANALİZ

Asaf Varol

Fırat Üniversitesi,
Teknik Eğitim Fakültesi, Elazığ

Mazhar Ünsal

Gaziantep Ün.
Mühendislik Fakültesi, Gaziantep

ÖZET

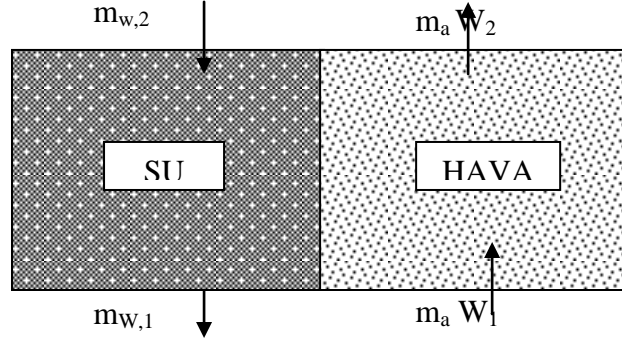
Bu tebliğde, soğutma kulesindeki suyun ve havanın karşıt akışlı olması hali için, soğutma kulesi enerji ve kütle sakımı ifadeleri yazılarak soğutma kulesindeki entalpi ve nem oranı dağılımı problemlerinin formülasyonu verilmiştir. Problem formülasyonundan kapalı çözüm elde edilebilmesi için gerçekçi fiziksel varsayımlar yapılmış ve soğutma kulesindeki hava prosesi için geçerli basit, kapalı ve yaklaşık cebirsel ifadeler elde edilmiştir.

AN ANALYSIS FOR SIZING OF COOLING TOWERS

ABSTRACT

Conditions for energy and mass conservation inside a counter flow cooling tower are reported. These conditions represent the problem formulation for enthalpy and humidity ratio distributions inside a counter flow cooling tower. Physically realistic assumptions are introduced to obtain closed form approximate algebraic solutions describing the moist air flow process inside a counter flow cooling tower.

GİRİŞ



Şekil 16: Karşıt Akışlı Soğutma Kulesi ve Enerji Bilançoları İçin Kontrol Hacmi

Soğutma kulelerinin boyutlandırılması hakkındaki teknik bilgiler iklimlendirme sistemlerinin tasarımında gereklidir ve bu nedenle önem taşımaktadırlar. Soğutma kulelerinin analizi ve boyutlandırılmaları için literatürde kuramsal yöntemler mevcuttur. Kaynak [1] de karşıt akışlı bir soğutma kulesinde nemli hava entalpisinin kule içindeki değişiminin hesaplanması ve soğutma kulesinin boyutlandırılması için bir formülasyon ile sayısal çözüm yöntemi verilmiştir. Pratik mühendislik hesaplamalarında ise sayısal hesaptan ziyade basit formüllerden yararlanılması tasarımda zaman kazanılması ve çabuk sonuca gidilebilmesi için önemlidir. Sayısal yöntemle hesaplamaların uzun zaman alması ve pratik olmaması nedenleriyle, bu çalışmada, soğutma kulesindeki nemli hava entalpsi ve nem oranının kule boyunca değişimini veren cebirsel bir kapalı formül elde edilmiştir. Soğutma kulesinin boyutlandırılması için Kaynak [2] de kule içindeki su debisi/hava debisi oranının farklı değerleri için farklı analizler yapılmış ve farklı Çözümler verilmiştir. Bu çalışmada ise su debisi/hava debisi oranının

Ünsal M.; Varol, A.: “Soğutma Kulelerinin Boyutlandırılması İçin Bir Kuramsal Analiz”, Birinci Ulusal Soğutma ve İklimlendirme Sempozyumu, Bildiri Kitabı, 6-18 Mayıs 1990, S: 181-185, Adana

bütün değerlerinde kule boyutlandırması için geçerli tek bir cebirsel kapalı ifade elde edilmiştir.

Şekil 24 de gösterilen soğutma kulesi kontrol elemanında üst nokta 2 indisi ile alt nokta ise 1 indisi ile gösterilecektir. Soğutma kulesinde su ile nemli havanın karşıt akışlı oldukları varsayılacaktır. Soğutma kulesi tasarımında, soğutulacak olan suyun kuleye giriş ve çıkış tasarım sıcaklık değerlerinin bilinmesi gereklidir.

Atmosferik tasarım hava şartının da belirlenmesi ile soğutma kulesi boyutlandırılması için gerekli özellik bilgileri tamamlanmış olur. Soğutma kulesi denklemlerinin eldesi için havanın akış yönünde ve sonsuz küçüklükte bir kontrol elemanı alınacaktır. Kontrol elemanı üzerinde enerji ve kütle bilançoları yapılarak soğutma kulesi nemli havası için aşağıdaki eşitlikler elde edilir [1].

$$m_a d_i = m_w d_{i_w} + i_w d m_w \quad (1)$$

$$m_a d_i = h(i_i - i) dA \quad (2)$$

$$m_a c W = h(W_i - W) \quad (3)$$

Soğutma kulesi analizlerinde su damlacıktan içinde tekdüze sıcaklık olduğu var sayılmakta ve damlacık sıcaklığıyla su/nemli hava ara yüzey sıcaklığı eşit kabul edilmektedir[1,2]. Bu itibarla, psikometrik diyagramın doymuş nemli hava için geçerli izafi rutubet eğrisinden yararlanılarak

$$d_i = f d_{i_w} \quad (4)$$

$$c W_j = g d_{i_w} \quad (5)$$

ifadeleri yazılacaktır. Soğutma kulesi içindeki hava prosesi için (4) ve (5) numaralı eşitliklerdeki f ve g katsayılarının yaklaşık olarak sabit kaldıktan varsayılacaktır. Ayrıca, daha önce yapılmış olan analizlere uyumlu

olarak (1) numaralı eşitlikteki dm_w terimi küçük olduğundan ihmal edilecektir.

ANALİZ

(1) numaralı ifadenin soğutma kulesi giriş ve çıkış noktaları arasında integrali alınarak

$$i_2 = i_1 + M(\dot{I}_{w,2} - i_{w,1}) \quad (6)$$

eşitliği elde edilir. (2) numaralı eşitliğin türevi alınır, di ; terimi (4) ve (1) numaralı ifadeler yardımıyla yok edilirse

$$\frac{d^2 i}{dx^2} - (n-1) \frac{di}{dx} = 0 \quad (7)$$

adi türevli denklemi elde edilir. (7) numaralı denklem $x = 0$ da $i = i_1$ ve $di/dx = i_{i,1} - i_1$ başlangıç şartları kullanılarak çözüldüğünde

$$i = i_1 - \frac{i_{i,1} - i_1}{n-1} \{1 - e^{(n-1)x}\} \quad (8)$$

bulunur. (3) numaralı denklemin türevi alındıktan sonra dW_i teriminin (5),(4) ve (1) numaralı eşitlikler yardımıyla yok edilmesiyle

$$\frac{d^2 W}{dx^2} + \frac{dW}{dx} = \frac{gn}{f} \{i_{i,1} - i_1\} e^{(n-1)x} \quad (9)$$

adi türevli denklemi bulunur. (9) numaralı denklemin $x = 0$ da $W = W_1$ ve $dW/dx = W_{i,1} - W_1$ başlangıç şartları kullanılarak çözülmesiyle

$$W = W_{i,1} - \gamma n + \{W_1 - W_{i,1} + \gamma(n-1)\} e^x + \gamma e^{(n-1)x} \quad (10)$$

ifadesi bulunur. (8) numaralı ifade x için çözümlenip (10) numaralı ifadedeki x değişkeni yok edilirse soğutma kulesi içindeki nemli havanın proses eğrisi için

$$W = W_{i,1} - \gamma n + \{W_1 - W_{i,1} + \gamma(n-1)\} \left[1 + \frac{i - i_1}{i_{i,1} - i_1} [n-1] \right]^{-\frac{1}{n-1}} + \gamma \left[1 + \frac{i - i_1}{i_{i,1} - i_1} [n-1] \right] \quad (11)$$

bulunur.

ÖRNEK PROBLEM

Elde edilmiş olan denklemlerin uygulamasını göstermek için Kaynak [2] de incelenmiş olan örnek problem ele alınacaktır. Karşıt akışlı kulede soğutulması gereken suyun soğutma kulesine giriş ve çıkış sıcaklıkları 35C ve 30C olsun. Bu su sıcaklıklarındaki arayüzey doymuş hava entalpileri $i_{i,2}=129.54$ ve $i_{i,1}= 99.96$ olur. Atmosferik havanın kuleye giriş entalpisi $i_i= 76.6$ ve nem oranı $W_i= 0.015$ olsun. Su debisinin hava debisine oranını $m_w/m_a = 1$ kabul edelim.

Problemin tanımındaki verilerden ilk önce g/f oranı hesaplanacaktır. 30C ve 35C sıcaklıklarda $W_{i,1}= 0.0273$ ve $W_{i,2}= 0.0366$ değerleri psikometrik diyagramdan veya hesap yoluyla bulunur. Bu değerleri kullanarak

$$\frac{g}{f} = \frac{\Delta W_i}{\Delta i_i} = \frac{0.0366 - 0.0273}{129.54 - 99.96} = 0.0003144 \quad (12)$$

bulunur, n sayısı için

$$n = m_a f / m_w = m_a f / c_w m_w = 5.916 / 4.186 = 1.4133$$

bulunur. Ayrıca

Ünsal M.; Varol, A.: “Soğutma Kulelerinin Boyutlandırılması İçin Bir Kuramsal Analiz”, Birinci Ulusal Soğutma ve İklimlendirme Sempozyumu, Bildiri Kitabı, 6-18 Mayıs 1990, S: 181-185, Adana

$$\gamma = g(i_{i,1} - i_1)/f(n - 1) = 0.0003144 (99.96 - 76.7)/(1,4133 - 1) = 0.01778$$

bulunur. Bu parametrelerin (11) numaralı denklemde yerlerine konulmasıyla nemli hava proses eğrisi için nem oranını entalpinin fonksiyonu olarak veren aşağıdaki ifade elde edilir.

$$W_0 - 0.00416 + 0.000315i - 0.004952 [-0.356 + 0.0177i]^{-2.42} \quad (13)$$

Bu ifade kullanılarak nemli havanın psikometrik diyagram üzerindeki proses eğrisini için aşağıdaki değerler bulunur.

İ	75.0	80.0	85.0	90.0	95.0	100
W	0.0142	0.0167	0.0191	0.0212	0.0233	0.0252

Nemli havanın soğutma kulesinden çıkış entalpisi (6) numaralı denklemden $\dot{I}_2 = 97.53$ olarak hesaplanır. Buna göre havanın kuleden çıkış nem oranı $W_2 = 0.024$ olacaktır.

Soğutma kulesinin boyutlandırılması (8) numaralı denklemden tespit edilebilir. (8) numaralı denklem x için çözümlerse

$$x = \frac{1}{n-1} \ln \left\{ 1 + \frac{(i_2 - i_1)(n-1)}{i_{i,1} - i_1} \right\} \quad (14)$$

elde edilir. (14) numaralı denklemden $x = 0.76$ bulunur. Bu değer Kaynak [2] de ekle edilmiş olan sonuca eşittir. (14) numaralı eşitlikte $(i_2 - i_1)$ terimi (6) numaralı eşitlik yardımıyla yok edilirse aşağıdaki (15) numaralı ifade elde edilir.

$$x = \frac{1}{n-1} \ln \left\{ 1 + \frac{M(i_{w,2} - i_{w,1})(n-1)}{i_{i,1} - i_1} \right\} \quad (15)$$

SONUÇLAR

Literatürdeki mevcut çalışmalarda soğutma kulesi içindeki nemli havanın proses eğrisinin tayini ancak sayısal çözüm yöntemleriyle yapılabilmektedir. Bu tebliğde soğutma kulesi içindeki nemli havanın proses eğrisi için kapalı bir cebirsel ifade elde edilmiştir. Sunulan kapalı ifade, pratikteki uygulanabilirliğinin yanında, iklimlendirme sistemlerinin simülasyonu yapılan bilgisayara dayalı araştırmalarda da kolaylıkla kullanılabilir.

Elde edilen (15) numaralı denklemdeki kapalı çözüm soğutma kulesinin transfer birimleri sayısını soğutma kulesine giren ve soğutma kulesinden çıkan su sıcaklıkları, soğutma kulesine giren havanın entalpisi ile hava ve su debilerinin fonksiyonu olarak vermektedir.

SİMGELER

A	: Isı ve kütle aktarım yüzey alanı
h	: Kütle taşınım katsayısı
i	: Nemli hava entalpisi
i_i	: Ara yüzey doymuş hava entalpisi
i_w	: Su entalpisi
M	: m_w/m_a
m_a	: Kuru hava debisi
m_w	: Su debisi
n	: $m_a f/m_w$
x	: hA/m_a
W	: Nem oranı
W_i	: Arayüzey doymuş hava nem oranı

İNDİSLER

1	Kule alt noktası
2	Kule üst noktası

Ünsal M.; Varol, A.: “Soğutma Kulelerinin Boyutlandırılması İçin Bir Kuramsal Analiz”, Birinci Ulusal Soğutma ve İklimlendirme Sempozyumu, Bildiri Kitabı, 6-18 Mayıs 1990, S: 181-185, Adana

KAYNAKLAR

1. F.C. McQuiston and J.D. Parker, Heating Ventilating and air Conditioning – Analysis and Design, John Wiley and Sons, New York, 1980, 451 – 468
2. H.Jaber and R.L. Webb, Design of Cooling Towers by the Effectiveness – NTU Method, Journal of Heat Transfer, 111 (1989), 837 – 843