

# KARŞI AKIŞLI SU SOĞUTMA KULESİ BOYUTLANIDIRILMASI

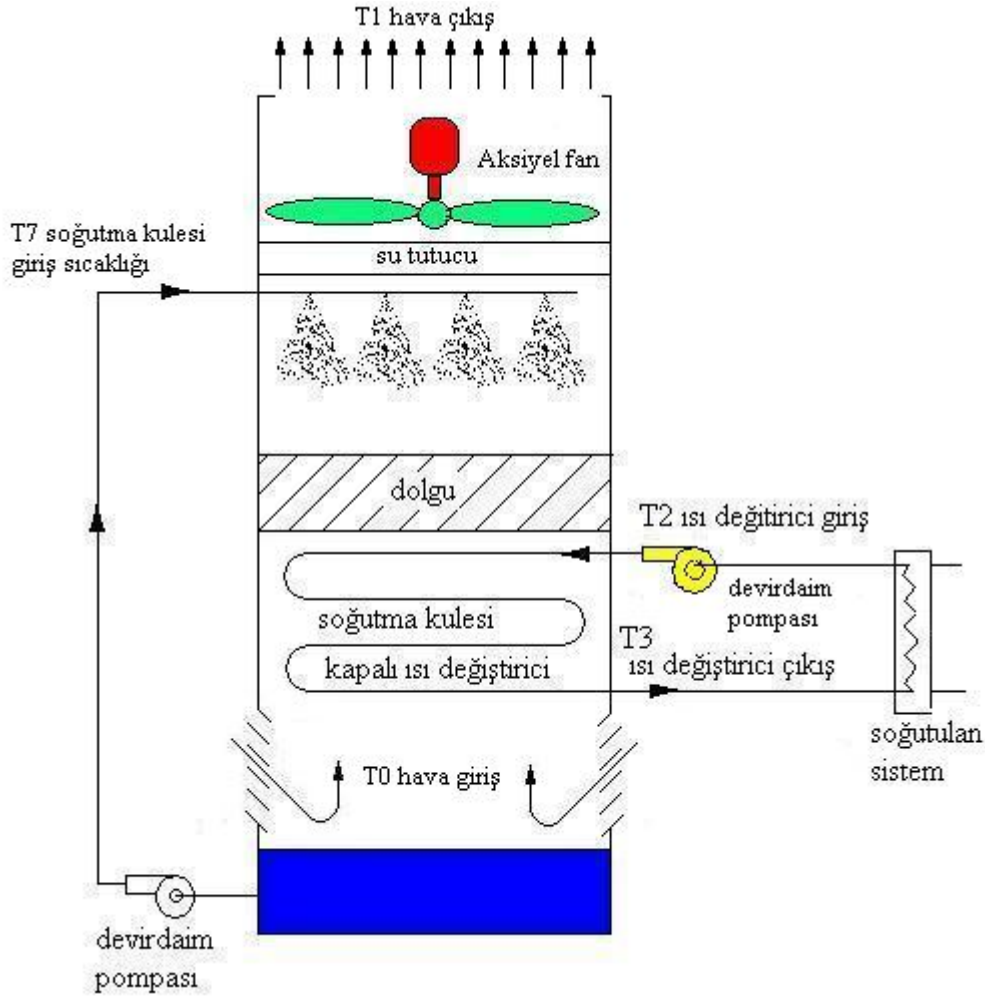
**Yard. Doç. Dr. M. Turhan Çoban**  
**Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi**  
**Makine Mühendisliği Bölümü**  
[turhan.coban@ege.edu.tr](mailto:turhan.coban@ege.edu.tr)

## Özet

Bu yazımızda ters akışlı soğutma kulelerinin boyut tayinine ve temel hesaplarına bir giriş yapılmaya çalışılmıştır..

## 1. TERS AKIŞLI SU SOĞUTMA KULESİ

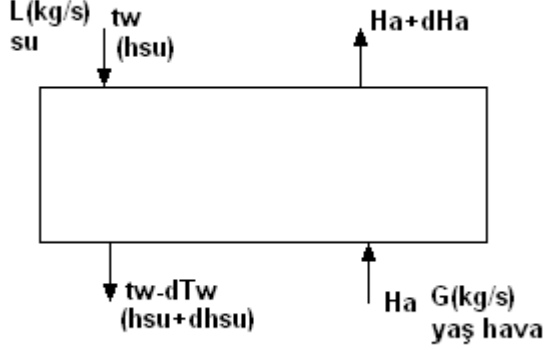
Soğutma kuleleri sistemlerin soğutulması için suyun buharlaşması sırasında ısı alma temel prensibini kullanan temel soğutma sistemleridir. Su soğutma kulelerinde bir tarafta dış hava su soğutma kulesine girer. Diğer taraftan sistemden gelen sıcak su kuleye gönderilir. Bu su dolgu ismini verdiğimiz yapıların üzerinden akıtılarak parçalanır ve giren havayla iyi bir temas yüzeyi sağlar. Bu yüzey boyunca suyun bir kısmı buharlaşır ve buharlaşırken ısı çeker. Buharlaşan su havaya karışarak havanın su içeriğini artırır. Bu yazımızda su akış yönünün ve hava akış yönünün birbirine ters olduğu (karşı akışlı) su soğutma kulesinde kule temel boyutlandırılması yapılması verilecektir. Şekil 1 de karşı akışlı bir ve ısı değiştiricili bir soğutma kulesi gösterilmiştir.



Şekil 1 Açık tip karşı akışlı soğutma kulesi

## 2. TERS AKIŞLI SU SUĞUTMA KULESİ KULE KAREKTERİSTİĞİNİN TAYİNİ

Bizim burada ilk olarak hesaplamaya çalışacağımız dolgu miktarı ve buna bağlı olarak soğutma kulesi boyutudur. Şekil 1 de karşı akışlı bir hava kulesinde akan suyun ve havanın dolgu üzerindeki diferansiyel kontrol hacmi görülmektedir.



**Şekil 1** hava kulesinin diferansiyel kontrol hacmi

Şekildeki  $t_w$  su sıcaklığı,  $h_{su}$  suyun entalpisi,  $H_a$  yaş hava giriş entalpisi.  $L$  su kütleli debisi,  $G$  kuru hava kütleli debisidir. Bu durumda diferansiyel kontrol hacmi enerji denklemi :

$$L C_{pw} dt_w = L dh_{su} = G dH_a \quad (1)$$

Su damlacığının enerji transferinde 2 temel mekanizma söz konusudur. Birincisi sıcaklık farkından dolayı ısı taşınımı diğeri ise kütle transferinden dolayı (damlacık yüzeyinden suyun belli bir kısmı buharlaşmaktadır) oluşan bizim makine mühendisliğinde gizli ısı dediğimiz enerji transferi. (1) denklemini ısı ve kütle transferi yönünden yazacak olursak :

$$L C_{pw} dt_w = L dh_{su} = h_{taşınım} a dV(t_w - t_a) + K a dV (W_w - W_a) h_{fg} \quad (2)$$

Buradaki

$$h_{taşınım} = \text{taşınım ısı transferi katsayısı (W/m}^2\text{K)}$$

$$K = \text{su - hava temas yüzeyindeki kütle transferi katsayısı}$$

$$a = \text{dolgu maddesinin birim hacmi başına su ile havanın temas yüzeyi (m}^2\text{)}$$

$$C_{pw} = \text{suyun özgül ısısı (KJ/kg K)}$$

$$h_{su} = \text{suyun entalpisi (KJ/kg)}$$

$$h_{fg} = h_{buhar} - h_{su} = \text{suyun buharlaşma entalpisi}$$

$$W_w = \text{su sıcaklığındaki doymuş havanın mutlak nemi (kg su buharı/kg kuru hava)}$$

$$W_a = \text{su sıcaklığındaki doymuş havanın mutlak nemi (kg su buharı/kg kuru hava)}$$

Su hava temas yüzeyinde Lewis adını verdiğimiz bir benzeşim bağıntısı genellikle geçerlidir. Bu bağıntı

$$K = h_{taşınım} / C_{phava} \quad (3)$$

bu bağıntıdaki  $C_{phava}$  havanın sabit basınçta su - hava temas yüzeyindeki özgül ısısıdır.

Denklem (2) ve (3) ü bir araya getirirsek :

$$L C_{pw} dt_w = L dh_{su} = K a dV (C_{phava} t_w - C_{phava} t_a + W_w h_{fg} - W_a h_{fg}) \quad (4)$$

Denklemini elde ederiz. Yaş havanın entalpisi

$$H_w = C_{phava} t_w + W_w h_{fg} \quad (5)$$

$$H_a = C_{phava} t_w + W_a h_{fg} \quad (6)$$

Olduğu göz önüne alınırsa denkleminiz

$$L C_{pw} dt_w = L dh_{su} = K a dV (H_w + H_a) \quad (7)$$

Formunu alır. Buradan

$$\int_0^V \frac{KaV}{L} = \int_{tsuc}^{tsug} \frac{C_{pw} dt_w}{H_w - H_a} = \int_{tsuc}^{tsug} \frac{dh_{su}}{H_w - H_a} \quad (8)$$

$$\frac{KaV}{L} = \int_{tsuc}^{tsug} \frac{C_{pw} dt_w}{H_w - H_a} = \int_{tsuc}^{tsug} \frac{dh_{su}}{H_w - H_a} \quad (9)$$

denklemleri elde edilir. Bu denklem Merkel denklemi adı ile anılır. Buradaki  $\frac{KaV}{L}$  terimi kule karakteristiği adını alır.

Kule dizaynında kule karakteristiği ısı değiştirici dizaynındaki NTU gibi önemli bir parametredir. Anlam olarak ta

NTU'ya benzer. Diğer bir terimle çok büyük  $\frac{KaV}{L}$  değerine sahip olan bir kule gereğinden büyüktür (yani çok

pahalıdır), çok küçük bir  $\frac{KaV}{L}$  değerinde ise gereğinden küçüktür diyebiliriz. Denklem (9) analitik olarak çözüme pek

uygun bir denklem değildir. Sayısal olarak çözülmesi çok daha kolaydır. Sayısal çözümde genel uygulama sıcaklığın küçük stepler halinde değiştirilerek her step için olan terimlerin toplanmasıdır.

$$\frac{KaV}{L} = \sum_{i=0}^n \frac{C_{pw} \Delta t_w}{H_w - H_a} = \sum_{i=0}^n \frac{\Delta h_{su}}{H_w - H_a} \quad (10)$$

$$\Delta t_w = \frac{t_{sug} - t_{suc}}{n} \quad (11) \text{ veya } \Delta h_{su} = \frac{h_{sug} - h_{suc}}{n} \quad (12) \text{ denklemleriyle verilir. Denklemdeki } H_a \text{ yaş hava giriş}$$

entalpisinin ilk değerini hava giriş yaş hava sıcaklığı ve kuru hava sıcaklığından (veya kuru hava sıcaklığı ve bağıl nemden) saptadıktan sonra her stepteki değişimi denklem (1) de verdiğimiz enerji dengesini kullanarak hesaplayabiliriz.

$$H_a^{i+1} = H_a^i + \frac{L}{G} \Delta h_{su} = H_a^i + \frac{L}{G} C_{pw} \Delta t_w \quad (13)$$

Bu denklemin çözümünü yapmak için java programlama dilinde bir program geliştirdik. Bu programı kullanarak biri örnek problemi irdeleyelim. Sıcak su kuleye 45.0 C de girmekte ve 30 C de çıkmaktadır. Kuru hava sıcaklığı 34 C ve yaş hava sıcaklığı 24 C ise ve su hava debi oranı (L/G)=1.3 ise kule karakteristik denklemini hesaplayalım : program çıktısı

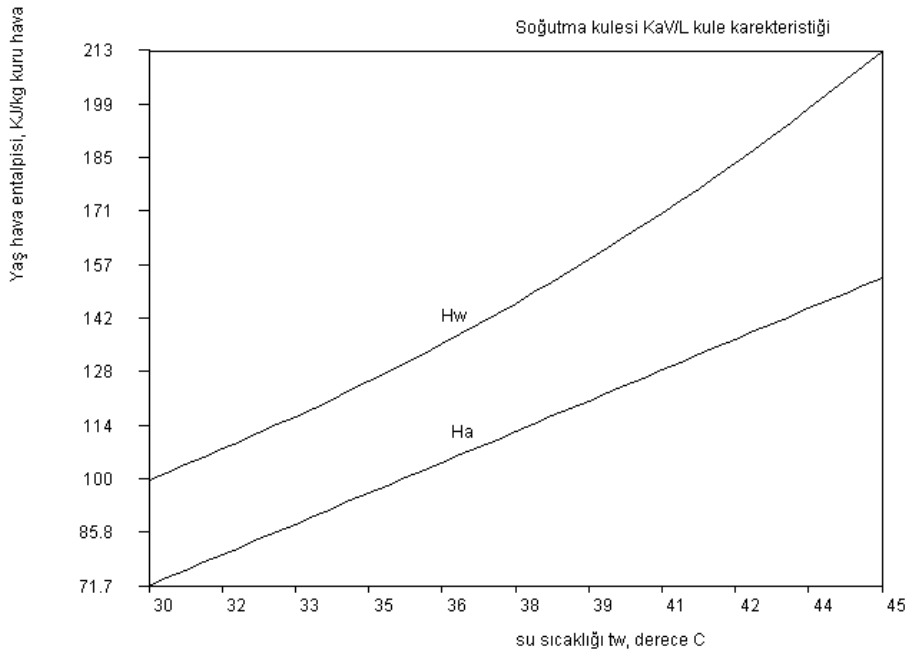
olarak  $\frac{KaV}{L} = 1.8195099755983606$  bulundu. Bu değeri elde etmek için 40 stepli sayısal integrasyon kullanıldı. Her

stepteki değerler Tablo 1 de verilmiştir.

Tablo 1 örnek problemdeki hesaplanan entalpi değerleri

T derece C	Hw (kJ/kg)	Ha(kJ/kg)	dhsu	dtw
30	99.63004	71.69137	1.567001	0.375
30.375	101.6045	73.72847	1.566918	0.375
30.75	103.6127	75.76546	1.566839	0.375
31.125	105.6552	77.80235	1.566763	0.375
31.5	107.7328	79.83915	1.56669	0.375
31.875	109.8461	81.87584	1.566621	0.375
32.25	111.9959	83.91245	1.566555	0.375
32.625	114.1829	85.94897	1.566491	0.375
33	116.4078	87.98541	1.566432	0.375
33.375	118.6715	90.02177	1.566375	0.375

33.75	120.9747	92.05806	1.566321	0.375
34.125	123.3182	94.09428	1.56627	0.375
34.5	125.7028	96.13043	1.566223	0.375
34.875	128.1294	98.16652	1.566178	0.375
35.25	130.5989	100.2025	1.566136	0.375
35.625	133.112	102.2385	1.566097	0.375
36	135.6698	104.2745	1.566061	0.375
36.375	138.2731	106.3103	1.566028	0.375
36.75	140.9229	108.3462	1.565998	0.375
37.125	143.6201	110.382	1.56597	0.375
37.5	146.3657	112.4177	1.565945	0.375
37.875	149.1608	114.4535	1.565923	0.375
38.25	152.0063	116.4892	1.565903	0.375
38.625	154.9033	118.5248	1.565886	0.375
39	157.8529	120.5605	1.565871	0.375
39.375	160.8561	122.5961	1.565859	0.375
39.75	163.9142	124.6317	1.565849	0.375
40.125	167.0283	126.6673	1.565841	0.375
40.5	170.1995	128.7029	1.565836	0.375
40.875	173.4291	130.7385	1.565833	0.375
41.25	176.7184	132.7741	1.565833	0.375
41.625	180.0685	134.8097	1.565835	0.375
42	183.4809	136.8453	1.565839	0.375
42.375	186.9568	138.8809	1.565845	0.375
42.75	190.4976	140.9165	1.565853	0.375
43.125	194.1048	142.9521	1.565863	0.375
43.5	197.7798	144.9877	1.565875	0.375
43.875	201.5241	147.0233	1.56589	0.375
44.25	205.3391	149.059	1.565906	0.375
44.625	209.2266	151.0947	1.565924	0.375
45	213.1879	153.1304	1.565944	0.375



Şekil 2 karşı akışlı hava kulesinde entalpi değişimi grafiği

Bu değerleri grafik formunda Şekil 2 de gösterilmiştir. Şekil 2 görsel olarakta bize  $H_w$  nun deęiŐiminin lineer olmadığını göstermektedir.

### **3. TERS AKIŞLI SU SUğUTMA KULEŐİ KULE KÜTLE TRANSFER KATSAYISININ VE DOLGU BASINÇ DÜŐÜMÜNÜN TAYİNİ**

Soğutma endüstrisinde kullanılan soğutma kulelerinde genellikle plastik malzemeler kullanılır.