

Soğutma Kulelerinde Film ve Bigudi Tipi Dolguların Oluşturduğu Basınç Kaybının İncelenmesi

Arif Emre ÖZGÜR

Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü / ISPARTA
Alınış tarihi:18.07.2007, Kabul: 24.01.2008

Özet: Soğutma kulelerinde çok yaygın olarak kullanılan film ve bigudi (silindirik tel kafes) tipi dolgu malzemelerinin, soğutma kulesi hava akışı basınç kaybına olan etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Üç farklı dolgu yüksekliği, dört farklı hava akışı ve beş farklı su akışı değerleri değişken parametreler olarak alınmıştır. Deneysel sonuçlar grafikler halinde ve ampirik ifadeler ile sunulmuştur. Tüm deneysel çalışma şartlarında, film tipi dolgu malzemesinin, soğutma kulesi içindeki, hava akışına karşı daha az direnç gösterdiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Soğutma kulesi, film dolgu, bigudi dolgu, basınç kaybı.

An Investigation of Pressure Loss Values of Film and Curler Wet-Cooling Tower Fills

Abstract: The pressure loss of air flow obtained with film and curler (cylindrical wire cage) type filling materials widely used in cooling towers were experimentally investigated. Three various fill height; four different air mass fluxes and five different water mass fluxes were used as variable parameters. Experimental results were presented with graphics and empirical equations. It was concluded that, pressure loss value obtained with the film type fill are lower than the value obtained with curler type.

Key Words: Cooling tower, film fill, curler fill, pressure loss.

Giriş

Soğutma kulelerinde kullanılacak dolgu malzemelerinin seçiminde dikkate alınması gereken birçok parametre vardır. Dolgu ile elde edilebilecek hava ile su arasındaki volümetrik ısı transfer ve kütle transfer katsayıları, dolgu üzerinden akan hava akışının basınç kaybı değeri, soğutulan su akışının kireçli, çamurlu vb. kirletici özellikte olması, soğutulan akışkanın kimyasal bileşimi (özellikle ph değeri) ve çevre ortam havasının tozlu olması gibi parametreler bunlardan en önemlileridir. Bu kıstaslar doğru değerlendirilmediğinde yüksek enerji maliyetleri başta olmak üzere birçok istenmeyen durum oluşabilmektedir. Örnek olarak, hava akışına karşı dolgu malzemesinin gösterdiği direncin yüksek değerlerde olması, soğutma kulesi fanı tarafından çekilen enerji miktarının artmasına sebep olur. İstenen kule çıkış suyu sıcaklığının, hava akışına karşı daha az direnç gösteren dolgu malzemeleri ile sağlanabilmesi enerji verimliliğine olumlu katkı sağlayacaktır. Bu çalışmada, ülkemizde çok yaygın olarak kullanılan, bigudi ve film tipi dolguların, hava akışına karşı gösterdikleri direnç sonucunda oluşan, basınç kaybı değerleri deneysel olarak incelenmiştir.

Soğutma kulelerinde kullanılan dolgular sebebiyle oluşan hava akışı basınç kaybı değerleri ile ilgili olarak literatürde bazı çalışmalar mevcuttur. Goshayshi ve Missenden (2000), yedi farklı film tipi dolgu

$$\Delta P_d = c_1 (G_s)^{0.35} (G_h)^{0.55} \quad (1)$$

$$\Delta P_d = c_1 (G_s)^{0.35} (G_h)^{0.55} \quad (1)$$

Burada c_1 dolgu tipine bağlı bir deneysel katsayıdır. Bu çalışmada kullanılan hava ve su akışı değerleri ($0,2 < G_h < 1,5$ $\text{kg/m}^2\text{s}$; $0,45 < G_s < 2,2$ $\text{kg/m}^2\text{s}$) endüstriyel uygulamalarda kullanılan değerlere göre düşüktür (Li ve Priddy, 1985).

Milosavljevic ve Heikkila (2001), yedi farklı film tipi dolgu malzemeleri ile deneysel çalışmalar yapmışlardır. Film tipi dolguların kullanılması ile oluşan basınç kaybı için (2) no'lu ifadeyi önermişlerdir.

$$\frac{\Delta P_d}{L_d} = c_1 \left(1 + (G_s)^{c_2} \right) (G_h)^{c_3} \quad (2)$$

Burada c_1 , c_2 ve c_3 sabitleri film tipi dolgunun tipine bağlı olarak birer deneysel sabittir. Bu çalışmada kullanılan su ve hava akı değerleri gerçek endüstriyel değerlere uygun olarak alınmıştır

Kloppers ve Kröger (2003), film, sıçratmalı ve damlatmalı tip dolgu malzemeleri ile yaptığı çalışmada, basınç kaybı katsayısı için (3) no'lu ifadeyi önermiştir.

$$K_d = c_1 G_s^{c_2} G_h^{c_3} + c_4 G_s^{c_5} G_h^{c_6} \quad (3)$$

Burada K_d , basınç kaybı katsayısı (4) no'lu ifade ile basınç kaybı değerlerine dönüştürülebilir;

$$\Delta P_d = K_d \rho_h v_h^2 / 2 \quad (4)$$

Literatürde dolgu malzemelerinin oluşturduğu basınç kaybı değerleri ile ilgili çalışmaların büyük bir kısmı film tipi dolgu malzemeleri kullanılarak yapılmıştır. Bigudi tipi dolgu malzemelerinin kullanılması durumunda oluşan basınç kaybı değerleri ile ilgili yeterli bilgi sağlayan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada, özellikle ülkemiz sanayisinde çok yaygın olarak kullanılan, bigudi ve film tipi dolguların hava akışında oluşturduğu basınç kaybı değerleri deneysel olarak incelenmiştir. Bu sonuçlar birer deneysel denklemler ile kullanılabilir hale de dönüştürülmüştür.

Materyal ve Metot

Deneysel çalışmalar için 0.4 x 0.4 m² kesit alanına sahip, şekil 1de şematik olarak görülen, karşıt akışlı soğutma kulesi test düzeneği kurulmuştur. Bu kulenin toplam yüksekliği 1.8 m dir. Kule içerisine, üç farklı yükseklikte, dolgular yerleştirilmiştir. Bu değerler 0.6, 0.8 ve 1 m dir. Kule gövdesinin üç yüzeyi ısı kaybına karşı izole edilmiştir ve diğer yüzey ise sistemin gözlemlenebilmesi için 4 mm kalınlıkta şeffaf plastik malzeme ile kapatılmıştır. Bu sayede ölçüm kablolarının ve diğer elemanların konumlarının doğruluğu kontrol edilebilmektedir. Kule çıkış bölgesine bir adet damla tutucu yerleştirilmiştir. Bu sayede hava ile birlikte sürüklenen su damlalarının büyük bir kısmı tutulmuştur. Soğutma kulesi test düzeneğine hava akışı, kulenin alt bölgesinden bir harici dikdörtgen kesitli hava kanalı ile sağlanmıştır. Bu kanal, kanal içerisinde tam gelişmiş akış oluşabilmesini sağlayacak uzunlukta yapılmıştır. Böylelikle kanal bitiminin yakınlıklarına yerleştirilen hava hızı ölçüm elemanı ve giriş basıncı ölçüm kablosunun gelişmiş hava akışı ile karşılaşması sağlanmıştır.

Deneysel verileri alabilmek için şekil 1 de gösterildiği gibi 1 numaralı hava sıcaklık sensörü (ısı çift) ve nem sensörü, 2 numaralı kanatlı tip hava hızı ölçüm sensörü ve 3 numaralı pozitif hava basınç hortumu soğutma

kulesine hava akışını getiren kanalın sonuna yerleştirilmiştir. 4 numaralı negatif hava basınç hortumu ise dolgu sonuna yani soğutma kulesinin hava çıkışına monte edilmiştir. Basınç ölçümü için yerleştirilen hortumların uçlarının kule ve hava kanalının köşelerine gelmemesine dikkat edilmiştir. Çünkü dikdörtgen kesitli kanallarda köşelerde akış hızı azalmaktadır ve taşınım katsayısı düşmektedir (Incropera ve De Witt, 1996). Dolayısıyla ölçüm sonuçlarının hassas olarak elde edilebilmesi için bu hususa dikkat edilmelidir. Tüm veriler Testo 454 veri kaydedici sisteminde (g) depolanmış ve dijital olarak gözlemlenmiştir.

Şekil 1.de f ile gösterilen frekans kontrollü santrifüj bir fan yardımıyla istenen hava debisi değerleri hassas olarak sağlanmıştır. Dört farklı hava akışı değerinde deneysel ölçümler yapılmıştır. Bu değerler 5.21, 4.51, 3.82 ve 3.13 kg/m²s dir. Kuleye gönderilen hava sıcaklığı ve nem değerleri dış ortamdan alınan havaya ait değerlerdir. Mümkün olduğunca aynı dış hava şartlarının sağlanabilmesi için hava sıcaklığı ve nem değerleri gözlemlenmiştir.

Su debisi şekil 1 de c ve d ile gösterilen 2 adet santrifüj pompa yardımıyla ve a ve b ile gösterilen bir by-pass valfi ve bir çek valften oluşan by-pass devresi yardımıyla hassas olarak ayarlanmıştır. Beş farklı su akışı değeri deneysel ölçümlerde kullanılmıştır. Bu değerler 5.21, 4.51, 3.82, 3.13 ve 2.43 kg/m²s dir. Su debisinin ölçümü için 2 inç çapında bir debimetre (e) kullanılmıştır. Bu debimetrenin ölçüm hassasiyeti 30 °C su sıcaklığında \pm % 0.7 kg/s dir. Debimetreden geçen su akışı, dolu koni püskürtme özelliğine sahip ve şekil 2. de görülen bir spreyle homojen olarak, dolgu malzemesinin üzerine dağıtılmıştır. Böylelikle dolgu içinde homojen su akışı sağlanabilmiştir. Bu çalışmada kullanılan su ve hava akışı değerleri, gerçek endüstriyel uygulamalarda kullanılan değerlere uygun olarak seçilmiştir. Li ve Priddy (1985) tarafından verilen sınırlandırmalar ile akı değeri seçimleri yapılmıştır.

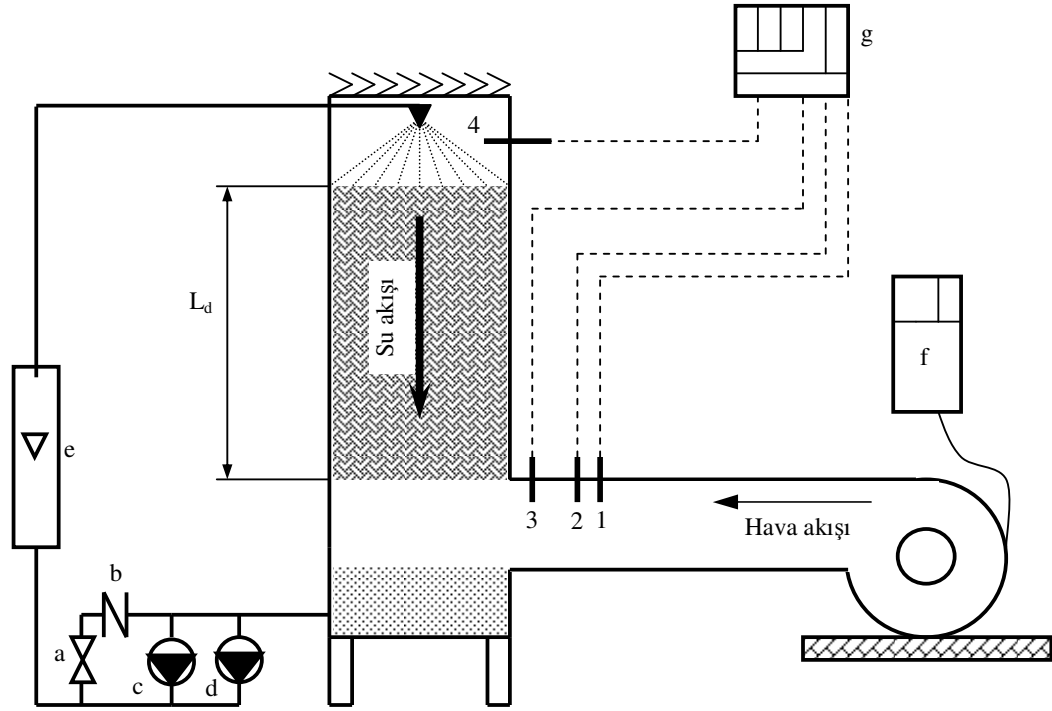
Deneysel sonuçların elde edilmesinde kullanılan ölçme cihazlarının özellikleri çizelge 1' de verilmiştir.

Çizelge 1. Ölçme cihazlarının özellikleri

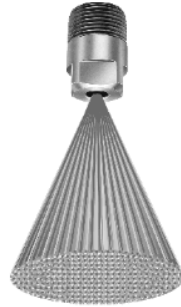
Adı	Tip	Hassasiyet
Debimetre	Yüzen seviye göstergeli	\pm 0.7 kg/s
Nem sensörü	Aynalı	\pm % 1 bağıl nem
Isıl çift	K	\pm 0.7 °C
Anemometre	Kanatlı	\pm 1 m/s

Film tipi dolgu ise dalgalı yüzeyli ve yön değişimli film levhaların birbirine eklenmesinden elde edilmiştir. Bu dolgu tipi, film dolgu çeşitleri içinde en yüksek hacimsel ısı taşınım katsayısına sahiptir (Milosavljevic ve Heikkila, 2001). Film tipi dolgular kolay üretilebilir

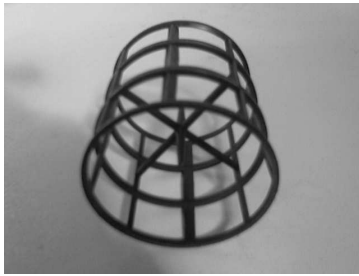
ve birçok korozif ortamda uzun ömürlü olabilmeleri için PVC malzemelerden üretilmektedir (McQuiston, 1994). (Bu çalışmada da kullanılan film ve bigudi dolgular PVC esastır.)



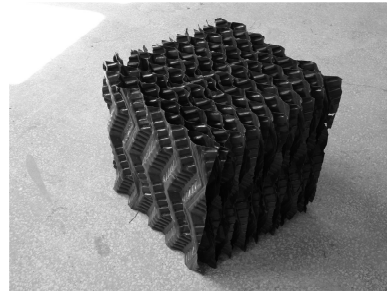
Şekil 1. Deneysel sistemin ve ölçüm elemanlarının yerlerinin şematik gösterimi a- By-pass valfi - b- Çek valf - c- Pompa 1 - d- Pompa 2 - e- Debimetre f- Frekans dönüştürücü - g- Veri kaydedici



Şekil 2. Deneysel sistemde kullanılan dolu koni tipi su spreyi (Spraying Systems, 2004'den)



(a) Bigudi dolgu



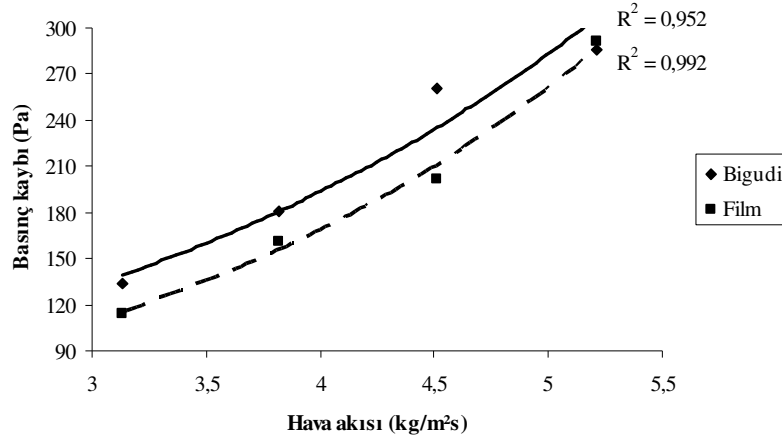
(b) Film dolgu

Şekil 3. Deneysel çalışmalarda kullanılan dolgu elemanları

Bulgular

Hava akışının basınç kaybının $G_s = 4.51 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ve $L_d = 1 \text{ m}$ şartlarında, hava akışı ile değişimi şekil

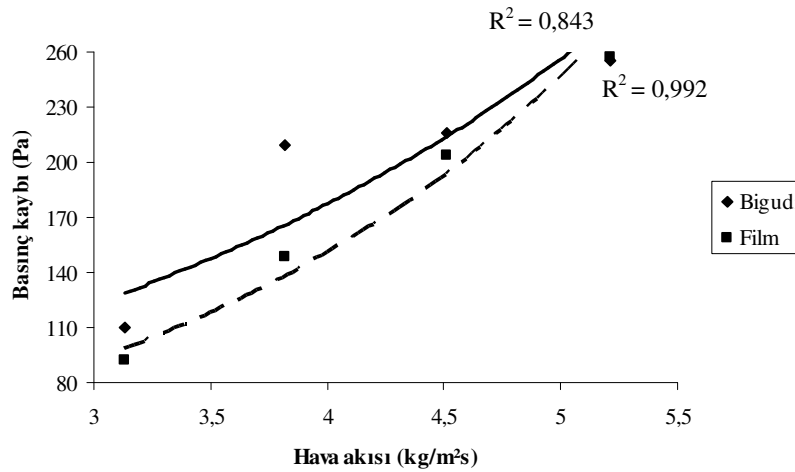
4. de verilmiştir. Diğer su akışı değerlerinde de basınç kaybı değerlerinin değişimi için şekil 4. de görülen karakteristik gözlemlenmiştir.



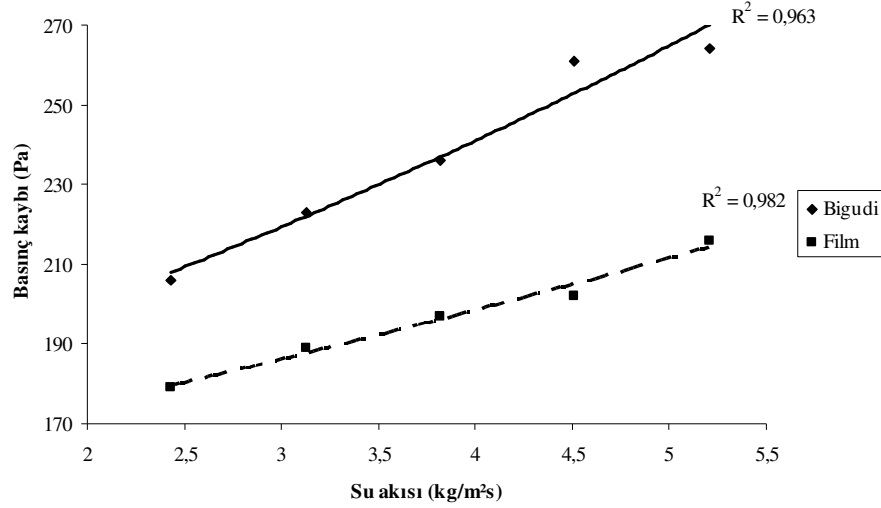
Şekil 4. $L_d = 1 \text{ m}$ ve $G_s = 4.51 \text{ kg/m}^2\text{s}$ değerleri için bigudi ve film tipi dolgular için basınç kaybının G_h ile değişimi

Yine basınç kaybının $G_s = 5.21 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ve $L_d = 0.8 \text{ m}$ şartlarında, hava akışı ile değişimi şekil 5. de verilmiştir. Diğer su akışı değerlerinde ve $L_d = 0.6 \text{ m}$ dolgu yüksekliğinde basınç kaybı

değişimleri benzer karakteristik göstermiştir. Havanın basınç kaybının $L_d = 1 \text{ m}$ ve $G_h = 4.51 \text{ kg/m}^2\text{s}$ şartlarında su akışı ile değişimi ise şekil 6. da verilmiştir.



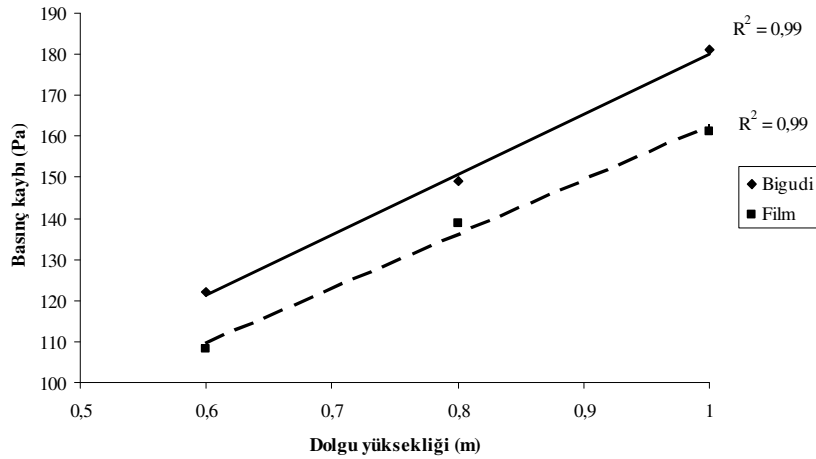
Şekil 5. $L_d = 0.8 \text{ m}$ ve $G_s = 5.21 \text{ kg/m}^2\text{s}$ değerleri için bigudi ve film tipi dolgular için basınç kaybının G_h ile değişimi



Şekil 6. $L_d = 1 \text{ m}$ ve $G_h = 4.51 \text{ kg/m}^2\text{s}$ değerleri için bigudi ve film tipi dolgular için basınç kaybının G_s ile değişimi

Basınç kaybının, su ve hava kütleli akılarının $G_s = 4.51 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ve $G_h = 3.82 \text{ kg/m}^2\text{s}$ değerlerinde,

bigudi ve film tipi dolgular için, dolgu yüksekliği ile değişimi ise şekil 7 de verilmiştir.



Şekil 7. $G_s = 4.51 \text{ kg/m}^2\text{s}$ ve $G_h = 3.82 \text{ kg/m}^2\text{s}$ değerleri için bigudi ve film tipi dolgular için basınç kaybının L_d ile değişimi

Bigudi ve film tipi dolgular için deneysel sonuçlardan elde edilen deneye dayalı ifadeler aşağıda sunulmuştur.

(5) no'lu ifade bigudi dolgu için ve (6) no'lu ifade ise film tipi dolgular için verilmiştir.

$$\Delta P_d = (18,131 * G_s) + (61,422 * G_h) + (194,625 * L_d) - 318,157 \quad R^2 = 0,95 \quad (5)$$

$$\Delta P_d = (12,559 * G_s) + (71,845 * G_h) + (161,151 * L_d) - 321,44 \quad R^2 = 0,96 \quad (6)$$

Sonuçlar ve Tartışma

Denklem (5) bigudi ve denklem (6) ise film tipi dolguların kullanılması durumunda soğutma kulesi hava akışında oluşan basınç kaybının belirlenmesi için yüksek geçerliliğe sahip denklemlerdir. Bu denklemlerde hava akışının basınç kaybını oluşturan temel etkenler (dolgu geometrisi, hava akısı ve su akısı) değişken parametreler olarak alınmıştır. Literatürde soğutma kulesi ile ilgili olarak yapılan çalışmalarda, bigudi dolguların soğutma kulesi hava akışında oluşturduğu basınç kaybını veren bir ampirik bağıntı yoktur. Dolayısıyla, ülkemizde çok yaygın olarak kullanılan, bigudi tip dolgulardaki basınç kaybı değerlerinin denklem (5) ile belirlenebilmesi önem arz etmektedir. Denklem (5) karşıt akışlı soğutma kulelerinde bigudi dolguların oluşturduğu basınç kaybının hesaplanması için yüksek geçerliliğe sahip bir deneysel dayalı bağıntıdır.

Bigudi tip dolguların sebep olduğu basınç kaybı film tipi dolgular ile oluşan basınç kaybından yüksektir. Bu beklenen bir sonuçtur. Çünkü bigudi elemanları rasgele biçimde soğutma kulelerine doldurulmaktadır. Bu durumda hava akışı bigudi dolgulardan geçerken çok yön değiştirmektedir. Ayrıca bigudi dolgulardan damlalar halinde düşen su damlaları da basınç kaybını arttırmaktadır.

Basınç kaybına sebep olan en önemli etki hava akısıdır. Daha sonra ise dolgu yüksekliği ve su akısı değerleri etkili parametreler olarak sıralanabilir. Su akısı değeri bigudi dolgularda oluşan basınç kaybı için film tipi dolguya göre daha fazla etki etmektedir.

Dolgu yüksekliğinin ve su akısı değerlerinin artışı basınç kaybında lineer bir artmaya sebep olmaktadır. Fakat hava akısı değerinin artışı basınç kaybında lineer olmayan ve hızlı artan bir artışa sebep olmaktadır. Dolayısıyla soğutma kulelerinin tasarım aşamasında hava akısı değerinin optimize edilmesi önem arz etmektedir. Hava akışında oluşan basınç kaybı, soğutma kulesi fanı tarafından çekilen enerjiyi arttırmaktadır. Kule içerisindeki su sıcaklığı bu basınç

kaybı değerinden etkilenmez. Çünkü kule işletme şartlarının sağlanması, kule içinden geçmesi gereken hava debisi veya hava hızının ayarlanması ile olmaktadır. İstenen çalışma şartlarında oluşan hava akışındaki basınç kaybı değeri, sistem verimliliğini olumsuz yönde etkiler. Bu da soğutma kulesinin tükettiği enerjinin artması anlamına gelmektedir. Tüm bu ifadelerden sonra, soğutma kulesinde kullanılan dolguların sistemin işletme masraflarına doğrudan etki eden bir parametre olduğu ifade edilmelidir.

Kaynaklar

- Goshayshi, H. R., Missenden, J. F. 2000. The investigation of cooling tower packing in various arrangements. *Applied Thermal Engineering*, No: 20, 69 – 80.
- Incropera, F.P., De Witt, D. P. 1996. *Fundamentals of heat and mass transfer*. John Wiley & Sons, New York, 449 pp.
- Kloppers, J.C., Kröger, D.G. 2003. Loss coefficient correlation for wet-cooling tower fills. *Applied Thermal Engineering*, No: 23, 2201 – 2211.
- Li, K.W., Priddy, A. P. 1985. *Power Plant System Design*. John Wiley & Sons, New York, 350 pp.
- McQuiston, F.C. 1994. *Heating ventilating and air conditioning: Analysis and design*. John Wiley & Sons, Singapore, 555 pp.
- Milosavljevic, N.P., Heikkila, 2001. A comprehensive approach to cooling tower design. *Applied Thermal Engineering*, No: 21, 899 – 915.
- Spraying systems. 2004. *Index smart catalog*. Wheaton, Illinois, A.B.D.