Islak Tip Soğutma Kulelerinde Dolgu Yüksekliğinin Performansa Etkisinin Deneysel İncelenmesi

Görkem ZENGİN
Mak. Müh.
Cenk Endüstri
İstanbul
gorkem@cenk.com.tr

Ayhan ONAT
Doç. Dr.
Marmara Üniversitesi
Teknoloji Fakültesi
Makine Mühendisliği
İstanbul
onattayhan@gmail.com
orcid: 0000-0001-9737-6300

ÖZ

Bu çalışmada ıslak tip soğutma kulelerinde dolgu yüksekliğindeki değişikliklerin performansa etkisi incelenmiştir. Deneysel olarak yapılan çalışmalarda dört farklı yükseklikteki dolgunun ampirik hesaplama katsayıları çıkartılmıştır. Dezavantajları ve avantajları incelenmiştir. 1.500, 1.800, 2.100 ve 2.400 mm'lik dolgu yüksekliklerinde performans testleri yapılmıştır. Bu testlerde termal giriş çıkış sıcaklıkları ölçülmüş ve sonucunda termal hesaplama korelasyon katsayıları çıkartılmıştır. Termal performans testlerinin yapıldığı sırada dolgudaki basınç kaybı değeri de her koşulda ayrı ayrı ölçülmüştür. Bu ölçümler sonucunda da farklı dolgu yüksekliklerinde, hava hızlarında ve su yüklerindeki hava direnci değerlerini veren grafikler elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler
Evaporatif Soğutma, Soğutma Kulesi, Açık Çevrim Soğutma Kulesi, Islak Tip Soğutma Kulesi.

Experimental Analyses of Cooling Fill Height Effect on Wet Cooling Towers Performance

ABSTRACT

In this study, the effect of fill height changes on thermal performance of wet cooling towers are investigated. In the experimental study, four different cooling fill height's empirical calculation coefficients are found. Disadvantages and advantages are examined. Performance tests were performed at fill heights of 1.500, 1.800, 2.100 and 2.400 mm. In these tests, thermal input output temperatures were measured and thermal correlation coefficients were calculated. During thermal performance tests, the pressure loss value on cooling fill was measured separately in each condition. With these measurements, graphs were obtained for different fill heights, air velocity and water loading values.

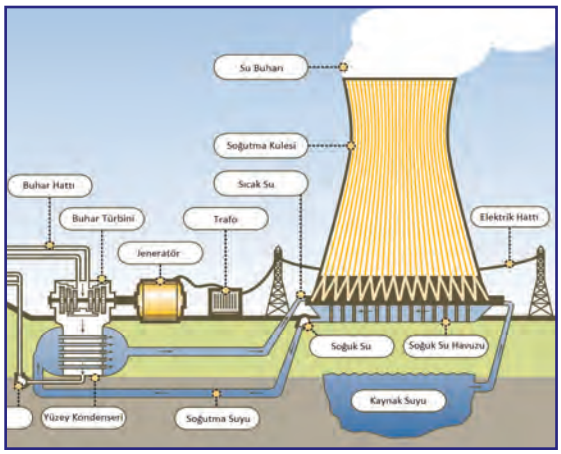
Keywords
Evaporative Cooling, Cooling Tower, Open Circuit Cooling Tower, Wet Type Cooling Tower.

Geliş Tarihi : 22.10.2018
Kabul Tarihi : 30.01.2019

Zengin, G., Onat, A., Islak Tip Soğutma Kulelerinde Dolgu Yüksekliğinin Performansa Etkisinin Deneysel İncelenmesi, 14. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı, sf. 461-475, 17-20 Nisan 2019.

1. GİRİŞ

Soğutma kuleleri ısı ve kütle transferi ile su soğutan endüstriyel ünitelerdir. Sıcak su, dağıtıcı fıskiyeler vasıtasıyla film tipi dolgu bloklarının veya sıçratma tipi dolgu yapılarının üzerine püskürtülerek atmosfer havası ile su arasında geniş yüzey alanları oluşturulması sağlanır. Havanın ortama girişi mekanik çeşitli soğutma kulelerinde fan ve mekanik grup vasıtasıyla olurken doğal çekişli soğutma kulelerinde basınç dengesi ile sağlanır. Bu işlem sırasında çevrimdeki suyun bir kısmı giren havanın doymamış formda olması dolayısıyla buharlaşır. Su buharlaşırken bir yandan da enerji transferi olur bu enerji transferi ile de çevrim suyu soğur [1]. Şekil 1'de enerji santralinin su soğutma devresi görülmektedir.

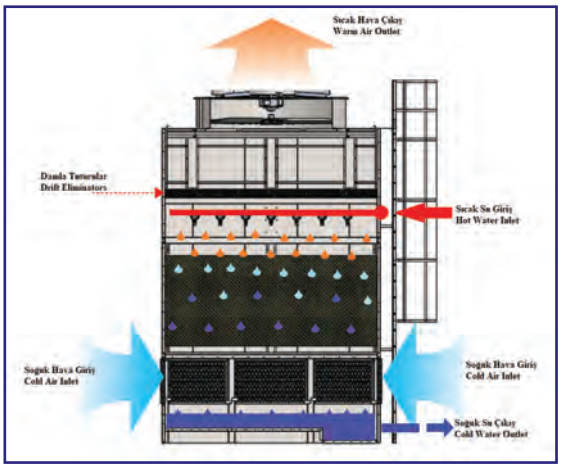


Şekil 1. Enerji santralinin su soğutma devresi [2]

Türbin çıkış buharı, basıncı ve ısı enerjisi azalmış entalpisi düşmüş çürük buhar, yüzey kondenserine giriş yaptıktan sonra soğutma kulesinden gelen soğuk su boruların dış yüzeyiyle temas ederek buharın yoğuşmasını sağlar. Bu yoğuşma sırasında sıvı faza geçen türbin çıkış buharı pompalar ile kazana giderek çevrimine devam eder. Bunun yanı sıra soğutma kulesinden gelen suyun çevrimi ise yüzey kondenserinden sonra sıcaklığı ve entalpisi yükselmiş şekilde geri dönerek soğutma kulesinin sıcak su hattına gider. [3]

Sıcak su soğutma kulesinde önce su dağıtım kolektörlerine gönderilir. Sonrasında fıskiyelerde dağıtılarak, küçük su damlacıkları olacak şekilde dolguların üzerine püskürtülür. Dolgunun alt kotundan gelen soğuk ve entalpisi düşük hava sürekli olarak yüksek ısı ve kütle transfer alanlarında temas kurar. Bu süre zarfında kuru hava neme doyarken bir miktar soğutma suyu buharlaşır. Soğutma kulesine sıcaklığı ve entalpisi yüksek olarak giren soğutma suyu soğuk olarak havuzda toplanırken, atmosfer havası yaklaşık %100'e kadar neme doymuş ve entalpisi yükselmiş şekilde bacadan kule ortamını terk eder. Burada havanın aldığı enerji ile suyun verdiği enerji birbirine eşittir. Bu denklik soğutma kulesindeki genel ısı transfer denkliğini oluşturmaktadır. Kaybedilen su miktarı da sürüklenen ve buharlaşan su miktarına eşit olarak soğutma kulesinin kütle transfer denkliğini oluşturmaktadır. Soğutma kulelerinde soğutma rejimine ve ısı transfer rejimi gibi temel kriterlere bağlı olarak ortalama buharlaşma oranı çevrim su debisinin yaklaşık %1-3'ü kadardır [4].

Literatürde ve sektörde çokça farklı tipte dizayn çalışmaları bulunmaktadır. Bu çalışmada karşı akışlı ve mekanik çekişli ıslak tip soğutma kulesi ile performans testleri yapılmıştır. Bu tip soğutma kulelerinde atmosfer havası ünite içerisine ünitenin alt kotunda bulunan panjurlardan giriş yapar. Sonrasında yatayda iki tarafı akışa kapalı fakat dikeyde iki tarafı açık olan dolgudan aşağıdan yukarıya doğru hareket eder. Karşılaştığı dirençler yani geçtiği bölgeler sırasıyla hava giriş panjuru, yağmurlama bölgesi, dolgu bölgesi, spreyleme bölgesi, su dağıtım hattı, damla tutucu bloklar ve aksiyal fanın giriş kısmından oluşmaktadır. Bu bölgelerin sadece yağmurlama, dolgu ve spreyleme bölgelerinde ısı ve kütle transferi yapılmaktadır [5]. Diğer bölgelerin görevleri soğutma kulesinin sürekliliğinin sağlanması içindir. Şekil 2'de mekanik çekişli bir



Şekil 2. Karşı akışlı soğutma kulesi çalışma prensibi [7]

karşı akışlı soğutma kulesinin genel çalışma prensibi gösterilmektedir. Detay özellik olarak panjur, dolgu blokları ve damla tutucular farklı bölgelerde olduğu için toplam basınç kayıpları çapraz akışlı soğutma kulelerine kıyasla bir miktar daha fazla olmaktadır. [6]

2. TEST DÜZENEĞİ ve KULLANILAN EKİPMANLAR

Soğutma kulelerinin performans ve basınç kaybı eğrileri için data kayıtları yapılırken Arnavutköy - İstanbul'da bulunan bir performans test istasyonu kullanılmıştır. Test istasyonumuzda kullanılan alandaki ana mekanik ekipman listesi ve teknik özellikleri aşağıda madde madde belirtilmektedir.

2.1. Sıcak Su Hattı Ekipmanları

Tesise ısı yükü oluşturması için maksimum 500 kW'lık ısı yükü oluşturacak bir kazan sistemi bulunmaktadır. Kazan sistemi çift brülörlü olduğu için değişken ısı yükleri konusunda da esneklik sağlamaktadır. Kazan üzerindeki kontrol panosu sayesinde ısı yükü sabitlemesi ve sıcak suyun ortalama aralığı belirlenebilmektedir. Toplam tesisat direnci 0,8 bar olduğu koşulda 50 m^3/h su basacak şekilde dizayn değerleri bulunmaktadır.

2.2. Plakalı Tip Isı Değiştirici

Plakalı tip ısı değiştirici kazandan gelen sıcak su ile soğutma kulesinden gelen su arasında ısı transferini yapan elemandır. Buradaki temel amaç soğutma kulesinde atmosferle direkt temas halindeki çevrim suyunun kazan hattına karışmasını engellemektir.

2.3. Soğutma Kulesi Çevrim Suyu Pompası

Plakalı tip ısı değiştiricinin soğuk su hattındaki suyu soğutma kulesine göndermekle görevli pompadır. Sistemimizde test yapıldığı sırada 1 asil ve 1 yedek olmak üzere 2 adet in-line tipi pompa kullanılmıştır. Maksimumda 67-70 m^3/h su debisine ulaşan bir su debisi çevrimi sağlanmıştır.

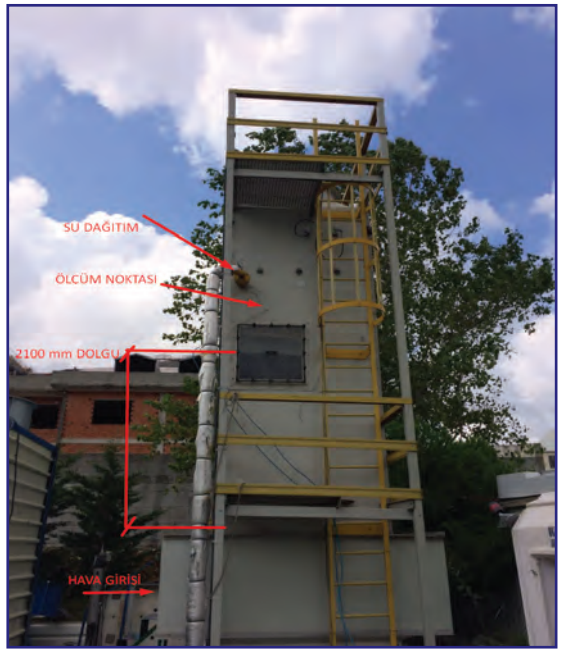
2.4. Test Soğutma Kulesi

Performans testleri sırasında kullanılan soğutma kulesi test amaçlı dizayn edilmiş olup farklı tipte dolguların testine olanak sağlayabilmektedir. Tablo 1'de soğutma kulesinde kullanılan malzemeler ve diğer özellikler verilmektedir.

Tablo 1. Soğutma Kulesi Özellikleri

Dış Kaplama	Camelyaf Takviyeli Polyester
Fan Tipi	Aksiyal Fan (Üstten Çekişli)
Tahrik Tipi	Direkt Akuple Motor
Fan Kanat Malzemesi	Alüminyum
Fan Kanat Sayısı	4
Fan Çapı	1.200 mm
Fan Kanat Profili	Airfoil (Uçak Kanadı Tipi)
Motor Gücü	5,5 kW
Motor Hızı	960 d/d
Dolgu Tipi	PVC Film Tipi Dolgu
Dolgu Hatvesi	19 mm
PVC Film Oryantasyonu	60°, Çapraz
Dolgu Yükseklikleri	1500, 1800, 2100, 2400 mm
Su Dağıtım Sistemi	12 Adet Fıskiye
Kule İç Eni	1.850 mm
Kule İç Boyu	1.850 mm
Toplam Kule Yüksekliği	7.500 mm

Şekil 3'de performans testlerinde kullanılan soğutma kulesi deney düzeneğinin fotoğrafı gösterilmektedir. Dolgulardaki su dağıtımını ve fan dönüşünü izlemek için 2 adet sahanlığı bulunan servis merdiveni bulunmaktadır.



Şekil 3. Soğutma kulesi deney düzeneği

Resim üzerinde de gösterildiği üzere kulenin hava girişi alt kottan yapılmaktadır. Hava giriş seviyesinden 2.400 mm'ye kadar dolgu eklemesi yapıla-

bilmektedir. Bunun dışında su dağıtım noktası ve örnek bir hava tarafı basınç kaybı ölçüm noktası gösterilmektedir.

2.5. Kullanılan Ölçüm Cihazları

Test sisteminde performans testi yapılırken sıcaklık, basınç ve debi kontrolü için cihazlar kullanılmıştır. Bu cihazlar scada sistemi ile kaydedilip detaylı analizlerin oluşturulması sağlanmıştır.

2.5.1. Sıcaklık ölçümlerinde kullanılanlar

Testler sırasında kullanılan sıcaklık transmitterleri yüksek hassasiyete sahip ve dış ortamda kullanıma uygun olarak seçilmiştir. Tablo 2'de detaylı özellikleri belirtilmektedir;

Tablo 2. Hava Tarafı Sıcaklık Transmitteri Özellikleri

Sıcaklık Ölçüm Aralığı	0-100 °C
Dalma Boyu (Ölçüm Probu)	1.000 mm
Konum	Su dağıtım hattının üzerinde
Sinyal	4-20 mA
Adet	2

Isı transferi su dağıtım sisteminden sonra olmadığı için hava tarafı sıcaklık ölçüm transmitterleri su dağıtım hattının üzerine yerleştirilmiştir. 2 adet olmasının nedeni ise testler sırasında biri bozulduğunda diğeri ile arasındaki ölçüm farkı oluşacaktır. Bu sayede kalibrasyonun bozulduğunun fark edilmesi sağlanacaktır. Tablo 3'de su tarafı sıcaklık transmitterlerinin özellikleri verilmektedir.

Tablo 3. Su Tarafı Sıcaklık Transmitterinin Özellikleri

Sıcaklık Ölçüm Aralığı	0-100 °C
Dalma Boyu (Ölçüm Probu)	60 mm
Konum	Sıcak su hattında Soğuk su hattında
Sinyal	4-20 mA
Adet	2 + 2 (Toplamda 4 adet)

Su tarafındaki dalma boyunun hava tarafındakinden kısa olmasının nedeni hava kanalı 1.850 x 1.850 mm iken su hattındaki boruların DN100 ölçülerinde olmasından kaynaklıdır. Yine bir önceki ölçümdeki gibi asil ve yedekli ölçüm bulunmaktadır.

2.5.2. Hava tarafı basınç ölçüm cihazları

Fark basınç transmitteri hava tarafı basınç kaybı ölçümünde kullanılan en kritik ekipmandır. Hava hızındaki değişime göre dolgu üzerindeki fark basınç değeri, farklı noktalardan ölçüm yapılmıştır.

2.5.3. Debimetre

Soğutma kulesine giden su miktarını ölçmekte kullanılmıştır. Debimetrenin bulunduğu hattın ölçüsü DN150 olduğu için debimetrenin de giriş çıkış ölçüleri DN150'dir. Ölçümde herhangi bir hata olmaması açısından düz bir boru üzerinde ölçüm alınmıştır.

2.5.4. Yaş termometre sıcaklığı ölçüm cihazları

Bu cihazlar sıcaklık transmitteri ve ıslak tutmak için bulunan bir hazne ile birlikte çalışmaktadır. Üzerlerinde bulunan vantilatör sayesinde de sürekli olarak hava akışı sağlayarak daha net bir sıcaklık değeri elde edilmesini sağlamaktadır.

3. PERFORMANS TESTLERİ ve ANALİZ SONUÇLARI

3.1. Termal Performans Testleri

Soğutma kulelerinin dolgu performansları üzerinde deneysel analiz yapılırken termal performans ve dolgu dirençleri üzerinde durulmuştur. Bir önceki bölümde bahsedilen ölçüm cihazlarından alınan değerler sistem rejime oturduğundan itibaren minimum 1 saat stabil ölçüm alınarak elde edilmiştir.

Bir dolgu tipinin eğrisini oluşturmak için pek çok termal şartta test yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada analiz sırasında 20 farklı koşulda su ve hava debisi değiştirilerek test yapılmıştır. Aşağıda 1.500 mm yüksekliğindeki dolgunun bazı şartlardaki ölçüm sonuçları gösterilmiştir.

3.1.1. Ölçüm No:1

Tablo 4'de su debisi ve hava hızı değerlerinin test sonuçları Şekil 4'de gösterilmektedir.

Tablo 4. Ölçüm – 1 Şartları

Su Debisi	67 m^3/h
Hava Hızı	2,75 m/s
Fan Motoru Frekans Konvertörü Değeri	50 Hz

T_{sg1}: Su giriş sıcaklığı ölçümü yapan 1 nolu transmitter sonucu

$T_{sçl}$: Su çıkış sıcaklığı ölçümü yapan 1 nolu transmitter sonucu

T_{wbl}: Yaş termometre sıcaklığı ölçümü yapan 1 nolu transmitter sonucu

3.1.2. Ölçüm No:2

Tablo 5'de su debisi ve hava hızı değerlerinin test sonuçları Şekil 5'de gösterilmektedir.

Tablo 5. Ölçüm – 2 Şartları

Su Debisi	67 m^3/h
Hava Hızı	1,65 m/s
Fan Motoru Frekans Konvertörü Değeri	30 Hz

3.1.3. Ölçüm No:3

Tablo 6'da su debisi ve hava hızı değerlerinin test sonuçları Şekil 6'da gösterilmektedir.

Tablo 6. Ölçüm – 3 Şartları

Su Debisi	52 m^3/h
Hava Hızı	2,25 m/s
Fan Motoru Frekans Konvertörü Değeri	40 Hz

3.1.4. Ölçüm No:4

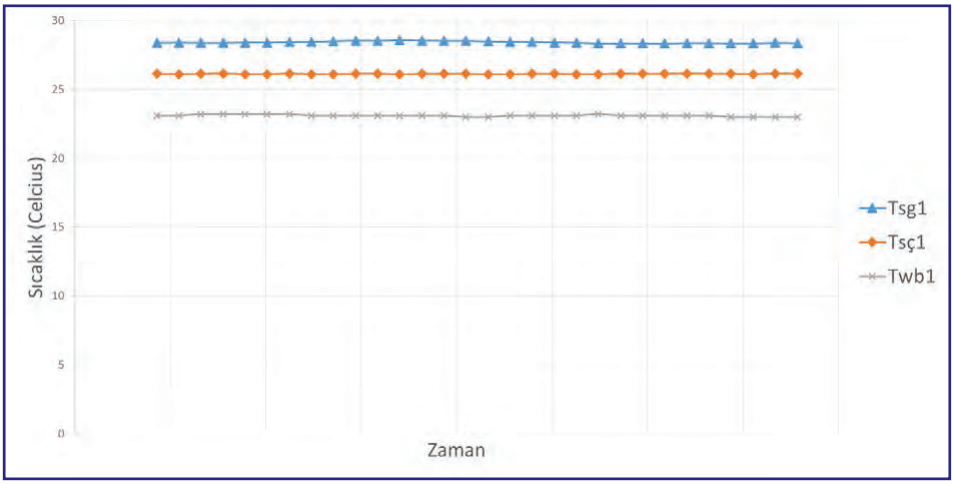
Tablo 7'de su debisi ve hava hızı değerlerinin test sonuçları Şekil 7'de gösterilmektedir.

Tablo 7. Ölçüm – 4 Şartları

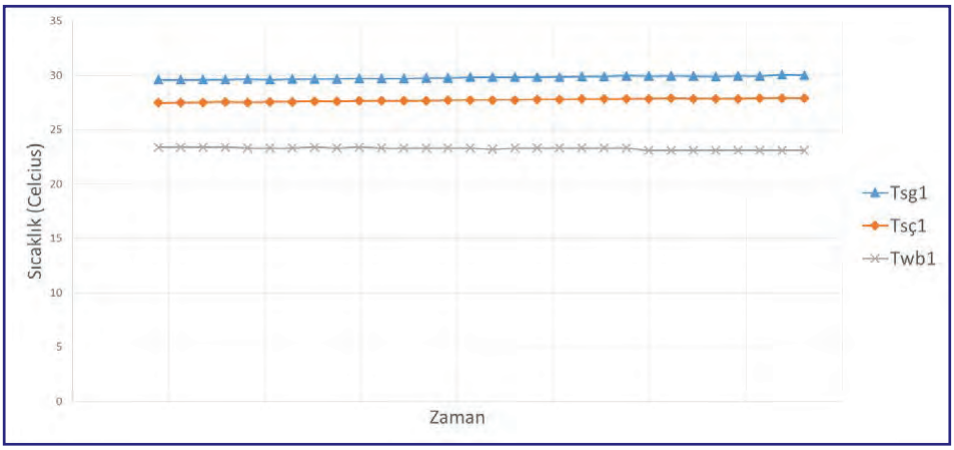
Su Debisi	35 m^3/h
Hava Hızı	2,50 m/s
Fan Motoru Frekans Konvertörü Değeri	45 Hz

3.1.5. Ölçüm No:5

Tablo 8'de su debisi ve hava hızı değerlerinin test sonuçları Şekil 8'de gösterilmektedir.



Şekil 4. Örnek test sonuç grafiği-1



Şekil 5. Örnek test sonuç grafiği-2

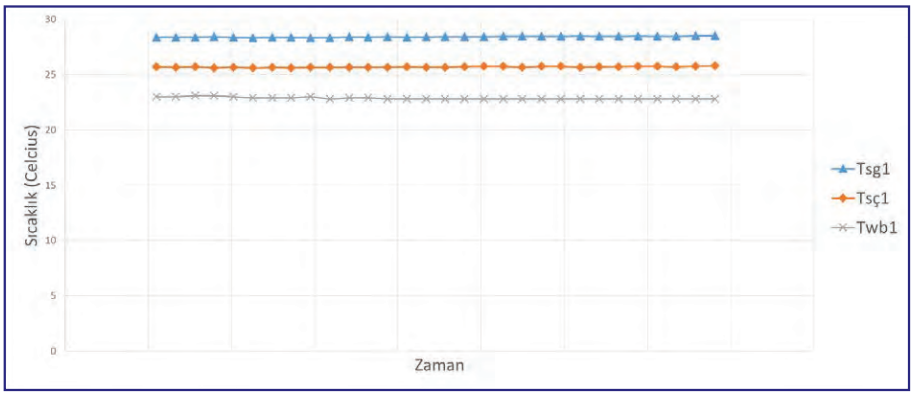
Tablo 8. Ölçüm – 5 Şartları

Su Debisi	17 m^3/h
Hava Hızı	2,85 m/s
Fan Motoru Frekans Konvertörü Değeri	50 Hz

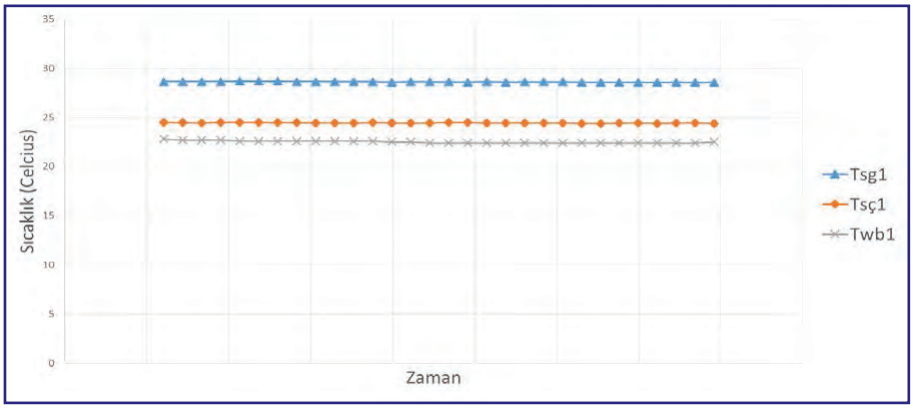
3.2. Chebyshev Teoremiyle Merkel Yaklaşımı

Soğutma kuleleri performansı hesaplamada genellikle Poppe, Merkel ve e-NTU metotları kullanılır. Bu metotlardan en yaygını Merkel'dir ve çalışmamız da Merkel'e göre analiz edilip sonuçlar çıkartılmıştır.

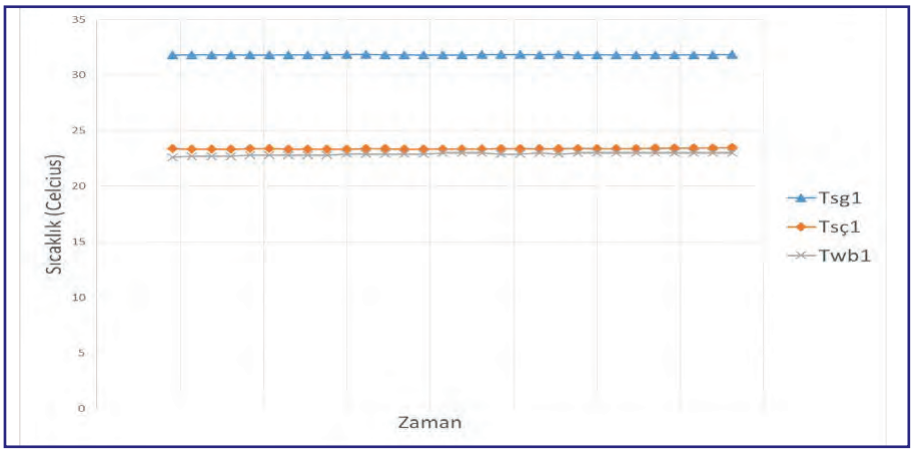
Chebyshev teoremi kullanılarak Merkel yaklaşımı kolaylaştırılarak hesaplanabilirliği artırılmıştır. Aşağıdaki formülde Merkel yaklaşımının formülü belirtilmektedir.



Şekil 6. Örnek test sonuç grafiği-3



Şekil 7. Örnek test sonuç grafiği-4



Şekil 8. Örnek test sonuç grafiği-5

$$Me = \frac{KaV}{L} = \int_{T_{wo}}^{T_{wi}} \frac{c_{pw} dT_w}{(h_{masw} - h_{ma})} \quad (1)$$

Yukarıdaki eşitlğin Chebyshev teoremiyle genişletilmiş hali aşağıdaki formül dizisinde belirtilmiştir.

$$\int_{T_{wo}}^{T_{wi}} f(x)dx \approx \frac{b-a}{4}[f(x)_1 + f(x)_2 + f(x)_3 + f(x)_4] \quad (2)$$

$$\begin{aligned} f(x_1) &\approx T_{wo} + 0,1(T_{wi} - T_{wo}) \\ f(x_2) &\approx T_{wo} + 0,4(T_{wi} - T_{wo}) \\ f(x_3) &\approx T_{wo} + 0,6(T_{wi} - T_{wo}) \\ f(x_4) &\approx T_{wo} + 0,9(T_{wi} - T_{wo}) \end{aligned} \quad (3)$$

Daha önceki formüller birleştirilerek değerlendirildiğinde aşağıdaki ifade (4) elde edilmektedir.

3.3. Termal Test Sonuçlarından Merkel Yaklaşımına Göre Dolgu Katsayılarının Oluşturulması

Merkel'e göre dolguların performansını hesaplayıp soğutma kulesi tasarımı yapılabilmesi için dizaynda kullanılacak dolgunun performans katsayılarının bilinmesi gerekmektedir. Çalışmanın bu bölümünde elde edilen test sonuçlarından dolgu katsayıları çıkartılacaktır. Çalışma kapsamında dört farklı yükseklikteki dolgunun katsayıları çıkartılmıştır. Test sonuçları ile L/G – KaV/L eğrileri oluşturulmuştur.

Şekil 9, Şekil 10, Şekil 11, Şekil 12'de farklı dolgu yüksekliklerine ait dolguların performans testi sonuçları belirtilmektedir.

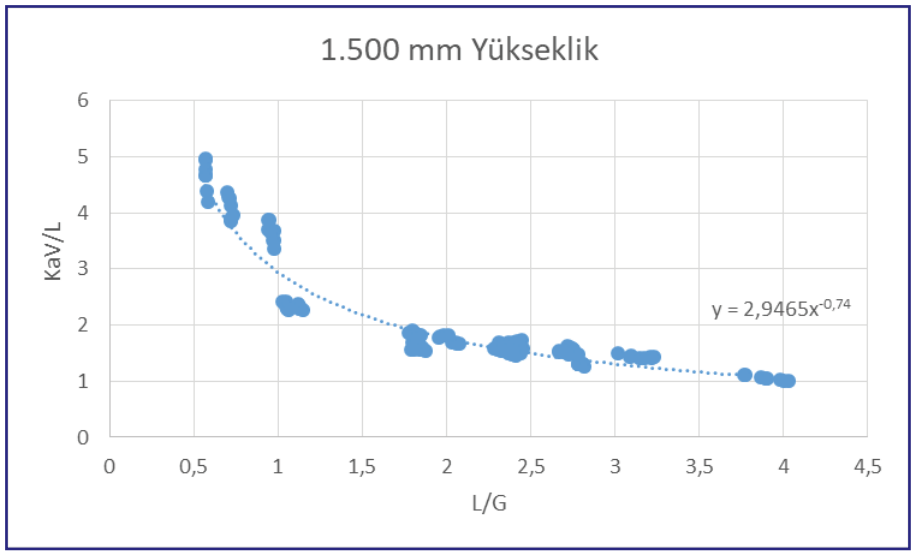
Farklı şartlarda alınan ölçüm sonuçlarında katsayılar farklı gelmektedir. İleriye dönük yapılacak dizaynlarda değerler arasında uyum olması açısından dolguların n katsayılarının eşitlendiği 5. grafik aşağıda gösterilmektedir.

Şekil 13'de düzeltilmiş dolgu eğrilerinin tablosu bulunmaktadır.

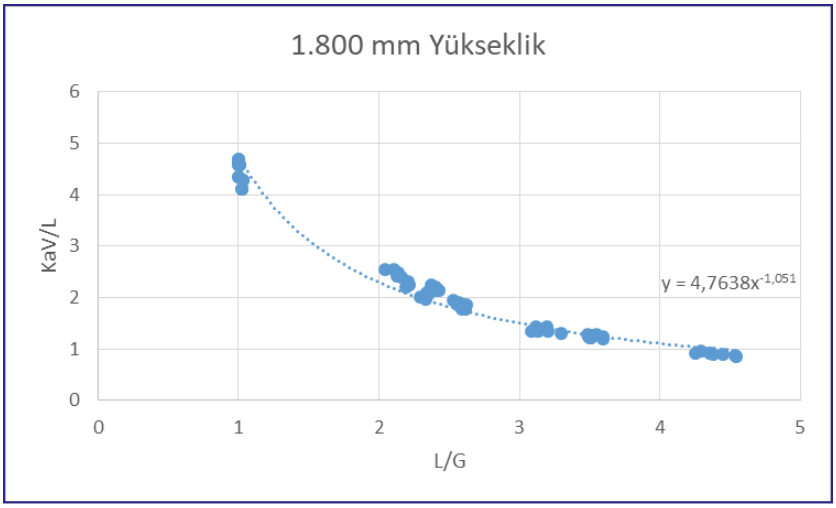
Eş n katsayılarıyla hesaplandığında eğri kıvrımları da aynı oranda değiştiği için daha derli toplu sonuçlar elde edilebilmektedir. Yukarıdaki eğrilerin c ve n katsayıları aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

Tablo 3.6'da dolgu yüksekliklerine göre dolgu c katsayısı belirtilmektedir.

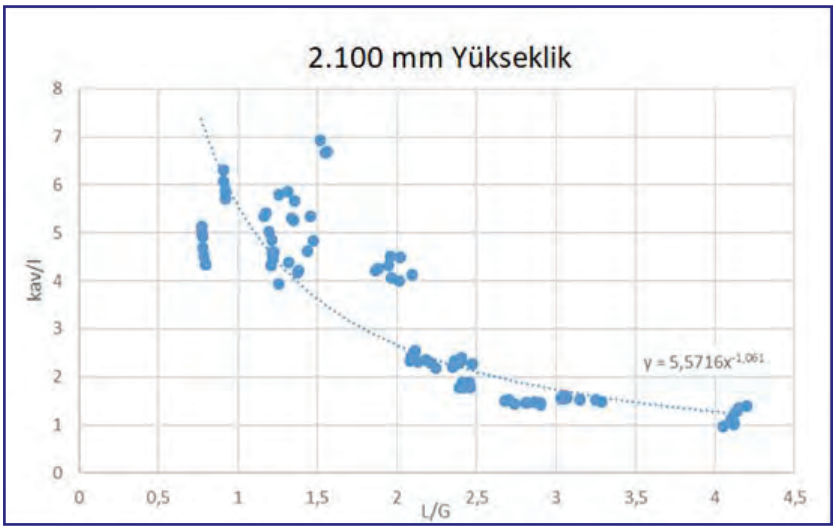
$$\frac{KaV}{L} \approx \frac{(T_{wi} - T_{wo})}{4}\left[\frac{c_{pw1}}{\Delta h_1} + \frac{c_{pw2}}{\Delta h_2} + \frac{c_{pw3}}{\Delta h_3} + \frac{c_{pw4}}{\Delta h_4}\right] \approx \frac{c_{pwm}(T_{wi} - T_{wo})}{4}\left[\frac{1}{\Delta h_1} + \frac{1}{\Delta h_2} + \frac{1}{\Delta h_3} + \frac{1}{\Delta h_4}\right] \quad (4)$$



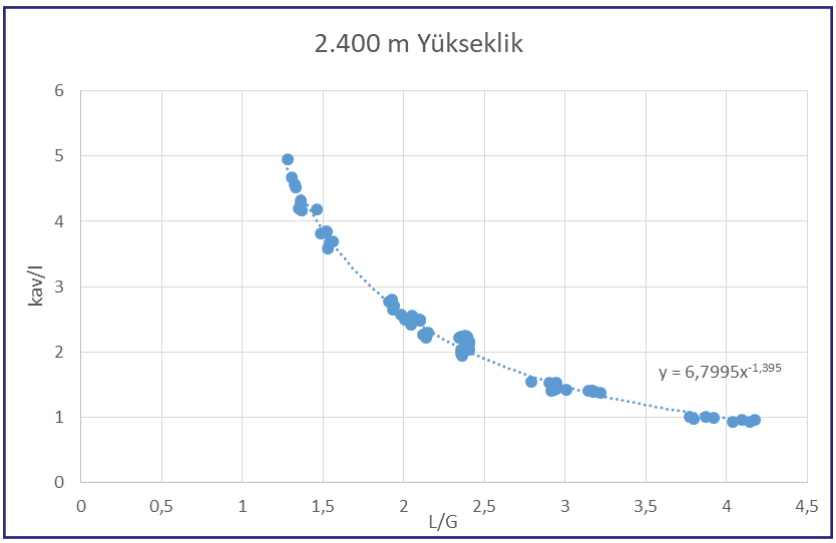
Şekil 9. 1.500 mm yüksekliğindeki dolgunun performans eğrisi



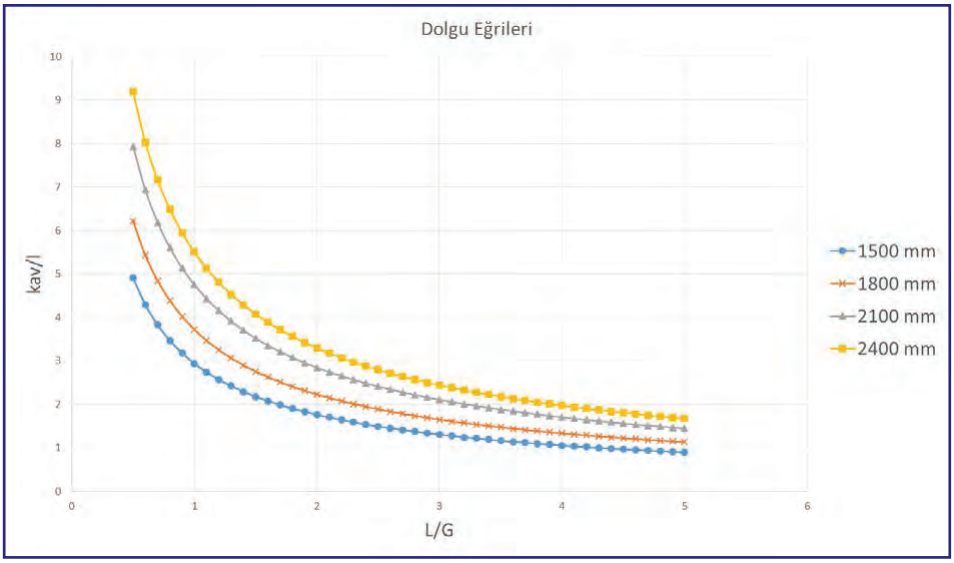
Şekil 10. 1.800 mm yüksekliğindeki dolgunun performans eğrisi



Şekil 11. 2.100 mm yüksekliğindeki dolgunun performans eğrisi



Şekil 12. 2.400 mm yüksekliğindeki dolgunun performans eğrisi



Şekil 13. Dolgu yüksekliklerine göre performans eğrileri

Tablo 3. 1. Dolgu Yüksekliklerine Göre Performans Katsayıları

Dolgu Yüksekliği	(c) katsayısı	(n) katsayısı
1.500 mm	2,95	-0,74
1.800 mm	3,72	-0,74
2.100 mm	4,75	-0,74
2.400 mm	5,50	-0,74

Görüldüğü üzere dolgu yüksekliği arttıkça c değerinde belirli bir artış gözlenmektedir. n katsayısının sabit bırakılmasının nedeni dolgu formu değişmediği için eğri eğiminin de değişmemesi gerekliliğinden kaynaklanmaktadır.

3.4. Basınç Kaybı Test Sonuçları ve Analizi

Soğutma kulesi termal değerleri analiz edilirken eş zamanlı olarak basınç kaybı değerleri de okunarak analiz sonuçları desteklenmiştir. Aşağıdaki grafiklerde dolgu yüksekliği değişimlerinin, benzer hava hızlarında ve değişken su yüklerindeki direnç değerleri gösterilmektedir.

Şekil 14, Şekil 15, Şekil 16 ve Şekil 17'de dolgulardaki farklı hava hızlarına ve su yüklerine göre basınç kayıpları belirtilmektedir.

Grafiklerde de görüldüğü üzere dolgu yüksekliği arttıkça hava tarafındaki direnç de orantılı olarak artmaktadır. Aynı şekilde hava hızı ve su yükü basınç kaybına pozitif efekt göstermektedir.

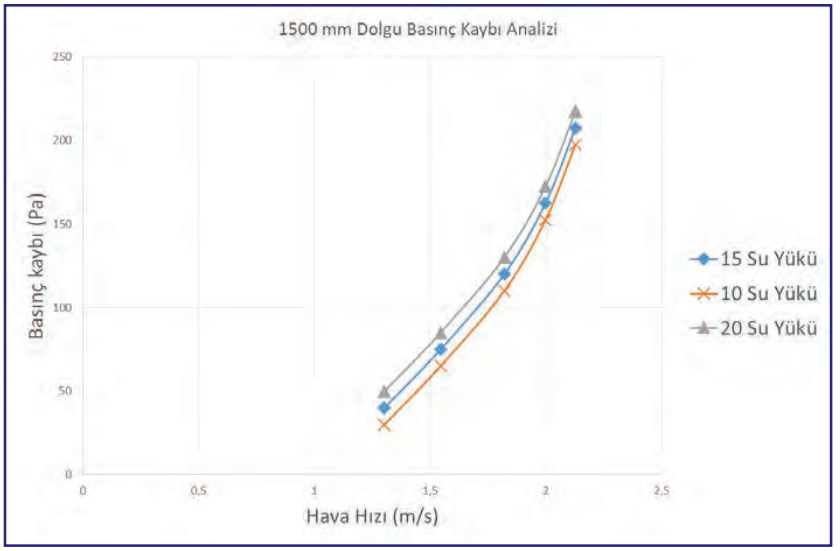
4. SONUÇ

Yapılan çalışmalar boyunca 19 mm hatveli PVC yapraklı çapraz film tipi dolgu blokları 1.500, 1.800, 2.100 ve 2.400 mm yüksekliklerde test edilmiştir. Her bir dolgu yüksekliğinin termal performans katsayılarının çıkartılması için toplamda 20 farklı su ve hava debisi noktasında minimum 1 saatlik ölçüm sonuçları alınmıştır. Alınan test sonuçları sonrasında hesaplama algoritmasına göre analiz edilerek grafiklere dökülmüş, performans katsayıları ve direnç eğrileri oluşturulmuştur.

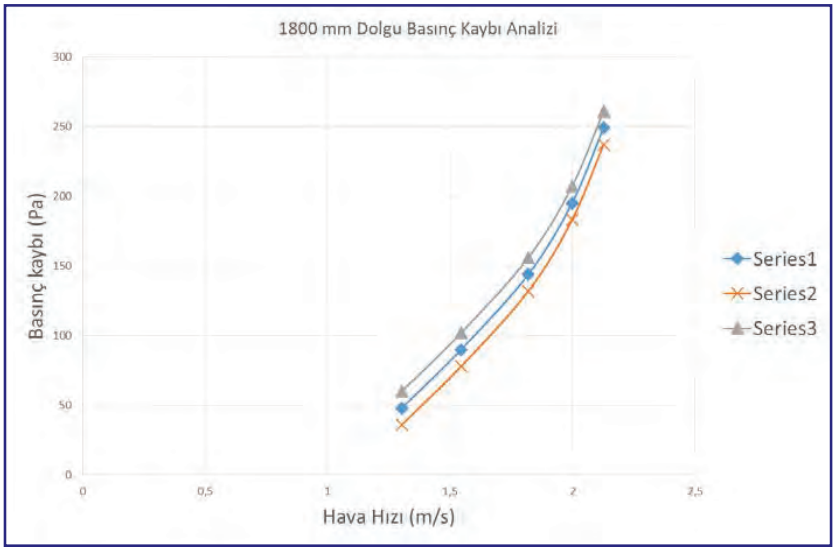
Şekil 13 incelendiğinde 4 farklı yükseklikteki dolgunun birbirleri arasındaki performans karşılaştırılması gösterilmektedir. Performansı en düşük olan 1.500 mm'lik dolgu olurken en yüksek olanı da 2.400 mm'lik yüksekliğe sahip olandır. Her 300 mm'lik dolgu yüksekliği artışında belirli miktarda performans artışı sabit kalmıştır.

Şekil 14, Şekil 15, Şekil 16 ve Şekil 17 incelendiğinde bir önceki paragrafta belirtilen 4 farklı yükseklikteki dolgunun değişken hava hızı ve değişken su yükündeki hava tarafı direnç değerleri gösterilmektedir. Grafikler incelendiğinde de en düşük direnç değeri 1.500 mm'lik dolguda ölçülürken en yüksek değer de 2.400 mm'lik dolguda ölçülmüştür.

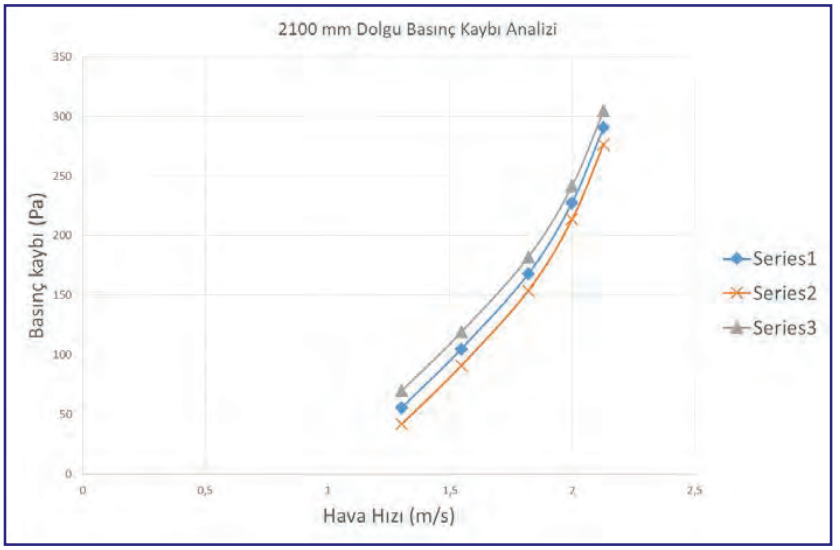
Soğutma kuleleri dizaynında dolgu yüksekliği ne kadar artırılırsa performans o kadar artmaktadır, lakin bu artışla birlikte hava tarafı direnci de art-



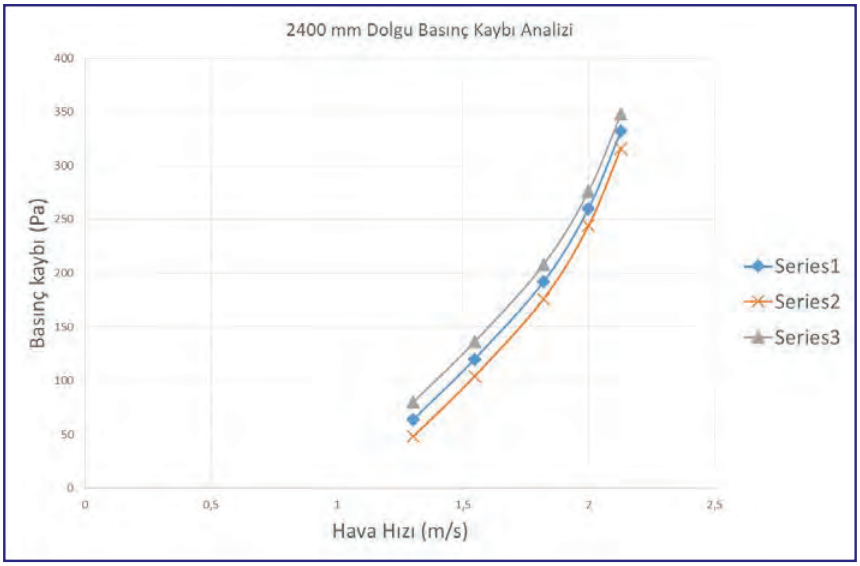
Şekil 14. 1.500 mm'lik dolgunun basınç kaybı değerleri



Şekil 15. 1.800 mm'lik dolgunun basınç kaybı değerleri



Şekil 16. 2.100 mm'lik dolgunun basınç kaybı değerleri



Şekil 17. 2.400 mm'lik dolgunun basınç kaybı değerleri

maktadır. Dirençi direkt olarak ihtiyaç duyulan motor mil gücünü etkileyecek bir faktördür. Düşük direnç değerleri nedeniyle enerji verimliliği en yüksek dolgu 1.500 mm'lik olandır. Fakat dar alanlarda yüksek ısı transfer kapasitesi için daha yüksek dolgulara ihtiyaç gerekebilir.

KAYNAKLAR

[1] Kröger, D. G., (2004), Air Cooled Heat Exchangers and Cooling Towers, Volume 1., Oklahoma: Pennwell Corporation.

[2] İnternet Kaynağı (https://www.nuclear-power.net/nuclear-engineering/thermodynamics/)

[3] Kloppers, J. C., (2003), A Critical Evaluation And Refinement Of The Performance Prediction of Wet Cooling Towers.

[4] VDI Second Edition, (2010), Cooling Towers Section.

[5] Kelly, N. W., (1976), Kelly's Handbook of Crosslow Cooling Tower Performance.

[6] Johnson, B. M., (1989), Cooling Tower Performance Prediction and Improvement.

[7] Cenk Endüstri Tesisleri İmalat ve Taahhüt A.Ş., Teknik Katalog Dosyası.