

M.H.YEĞİN,2011

YÜKSEK LİSANS TEZİ

NİĞDE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



T.C.
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BİR ÇİMENTO FABRİKASINDAKİ SOĞUTMA
KULESİNİN OPTİMİZASYONU

MUSTAFA HASAN YEĞİN

AĞustos 2011

T.C.
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BİR ÇİMENTO FABRİKASINDAKİ SOĞUTMA
KULESİNİN OPTİMİZASYONU

MUSTAFA HASAN YEĞİN

Yüksek Lisans Tezi

Danışman
Prof. Dr. Mustafa BAYRAK

Ağustos 2011

Mustafa Hasan Yeğın tarafından Prof.Dr. Mustafa Bayrak danışmanlığında hazırlanan “Bir Çimento Fabrikasında Soğutma Kulesinin Optimizasyonu” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof.Dr. Kadir Yıldız

Aksaray Üniversitesi

Üye : Prof.Dr. Mustafa Bayrak

Niğde Üniversitesi

Üye : Doç.Dr. Yüksel Kaplan

Niğde Üniversitesi

ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından 22/06/2011 tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun/..../20.... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

Doç. Dr. Nurettin ACIR

MÜDÜR

ÖZET

BİR ÇİMENTO FABRİKASINDAKİ SOĞUTMA KULESİNİN OPTİMİZASYONU

YEĞİN, Mustafa Hasan

Niğde Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mustafa BAYRAK

Temmuz 2011, 47 Sayfa

Çimento fabrikalarında soğutma kuleleri yaygın olarak kullanılan bir ısı değiştirici sistemdir. Soğutma kulelerinin amacı hem atık gazın sıcaklığını istenilen değerlere indirmek hem de atık gazda bulunan tozun pülverize su vasıtasıyla belirli bir oranda çöktürülmesini sağlamaktır. Kule içine verilen su miktarı, sistemin doğru ve etkin çalışması bakımından önemli bir parametredir. Bu çalışmada kule içine gelen sıcak havanın sıcaklık ve hızını ve kuleye giren pompa suyunun sıcaklığını ölçerek kuleye su girişini sağlayan grupları otomatik olarak kontrol eden bir program yazılmıştır. Bu şekilde sıcaklık ve debi parametrelerinin ikisini de hesaba katarak istenilen kule çıkış hava set sıcaklığına düşürülürken herhangi bir arızaya sebebiyet vermeden kule kontrolü sağlanmaktadır.

Anahtar sözcükler: Soğutma kulesi, pülverize,sıcaklık,debi

SUMMARY

COOLING TOWER OPTIMIZATION IN A CEMENT FACTORY

YEĞİN, Mustafa Hasan

Nigde University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor : Professor Dr. Mustafa BAYRAK

May 2011,47 pages

Cooling towers are used commonly as a heat exchange system in cement factories. The main purpose of cooling towers is cool down the hot waste gases and separate dust from the gas relatively with the help of pulverized water. The amount of water is very critical parameter for the efficiency of the cooling tower. In this project a computer program is written that controls the water inlet groups by measuring the hot gas temperature and velocity and inlet water temperature. By adding the temperature and flow parameter cooling tower output air temperature can be controlled without causing any failure.

Keywords: Cooling tower, temperature, flow, pulverized water.

ÖNSÖZ

Bu çalışma çimento fabrikalarında sıklıkla kullanılan soğutma kulelerinde gerekli olan su miktarının otomatik olarak ayarlanmasını sağlamak amacıyla yapılmıştır. Mevcut sistemlerde genellikle sıcaklığa bağlı olarak kontrol yapılmakla birlikte, değişen döner fırın koşullarına bağlı olarak sıcaklığın artıp gaz debisinin azalması durumunda sistem sıcaklığını düşürmek için gerekenden fazla su vermektedir. Kuleye giren gaz toz ihtiva eder. Verilecek fazla su buharlaşamayacağından ötürü sıvı şekilde kule altında biriken toz ile birleşerek çamurlaşma sorununu yaratır. Soğutma kulelerinde kule altında biriken toz sisteme geri kazandırılır. Bu çamurlaşma ise geri dönüş sistemlerini tıkar, ekipmanları zorlar, çeşitli arızalara sebep olur. Bu arızaların önüne geçebilmek, sistemdeki parametre kontrollerinin daha sağlıklı yapılabilmesi için Microsoft Excell tabanlı bir program yazılmıştır. Bu program çeşitli otomasyon programlarına dönüştürülüp çimento endüstrisinde kullanılabilir. Program sayesinde soğutma kuleleri insandan bağımsız, arızaya sebep vermeyen ve verimli kullanılabilen bir ısı değiştirici olacaktır. Başta çimento sektörü olmak üzere aynı tip soğutma kule kontrollerinde kullanılarak fayda sağlanmasını dilerim.

TEŞEKKÜR

Ders aldığım ve bilgilerimin artmasına vesile olan çok değerli öğretim görevlilerine, tez yazımı boyunca verdiği desteklerden ötürü danışman hocam sayın Prof.Dr. Mustafa Bayrak'a ve Doç.Dr. Yüksel Kaplan'a, fen bilimleri enstitüsü çalışanlarına sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Konu üstünde beni araştırma yapmaya sevk eden Sn. Doęan Özkul'a ve akademik çalışmalarında beni yüreklendiren Sn. Levent Öncel'e şükranlarımı sunarım. Ayrıca yüksek lisans yapmam konusunda beni teşvik eden ve eğitim öğretim hayatımda beni hep destekleyen çok kıymetli anne ve babam Fatma ve Yıldırım YEĞİN'e müteşekkirim. Gerek ders aşamasında gerek tez aşamasında yüksek lisans öğrenimim boyunca benden ilgisini esirgemeyen eşim Hilal YEĞİN'e teşekkürlerimi sunarım. Bu çalışmamı biricik oğlum Yıldırım Efe YEĞİN'e ithaf ediyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
SUMMARY	iv
ÖNSÖZ	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vii
TABLolar DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
FOTOĞRAF DİZİNİ	x
KISALTMA VE SİMGELER	xi
BÖLÜM I GİRİŞ	1
BÖLÜM II TEORİK ESASLAR.....	5
BÖLÜM III MODELLEME VE HESAPLAMALAR.....	14
BÖLÜM IV SONUÇLAR	23
BÖLÜM V SONUÇLARIN İRDELENMESİ VE ÖNERİLER.....	28
KAYNAKLAR	33
EKLER.....	35

TABLolar DİZİNİ

Tablo 3.1 Düz Sayısına Göre Gruplarının Devreye Alınma Tablosu.....	22
---	----

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 ÇimSa çimento Niğde fabrikası soğutma kulesi gaz akış şeması.....	9
Şekil 2.2 ÇimSA çimento Niğde fabrikası soğutma kulesi nozzle dağılım durumu.....	11
Şekil 3.1 ÇimSA çimento Niğde fabrikasına ait soğutma kulesi tesisat ve kontrol ekipmanları	21
Şekil 4.1 Hava giriş hızı ile düz sayısı arasındaki orantı.....	23
Şekil 4.2 Hava giriş sıcaklığı ile düz sayısı arasındaki orantı	24
Şekil 4.3 Kule gaz çıkış sıcaklık set değeri ile düz sayısı arasındaki orantı.....	25
Şekil 4.4 Su giriş sıcaklığı ile Düz Sayısı Arasındaki Orantı.....	26

FOTOĞRAF DİZİNİ

Fotoğraf 2.1 Soğutma kuleleri.....	6
Fotoğraf 2.2 ÇimSA çimento Niğde fabrikası soğutma kulesi genel görünümü.....	8
Fotoğraf 2.3 ÇimSA çimento Niğde fabrikası soğutma kulesi nozzle dağılım sistemi...12	
Fotoğraf 3.1 Kule giriş kesitinde gazın hızını ve sıcaklığını ölçen multimetre.....	15
Fotoğraf 3.2 Soğutma kulesinin programa aktarılacak önemli parametreleri.....	19

KISALTMA VE SİMGELER

\dot{V} : Gazın hacimsel debisi

v : Gazın kule giriş hızı

A : Gazın kule giriş kesit alanı

\dot{Q} : Gazın soğuma esnasında verdiği anlık ısı

\dot{m}_g : Gazın kütleli debisi

$(h_2-h_1)_g$: Kule girişi ve çıkışı arasındaki gazın entalpi farkı

$\dot{Q}_{su,1}$: Suyun giriş sıcaklığından 100 °C'ye gelmesi için gerekli olan anlık ısı

\dot{m}_s : Suyun kütleli debisi

$(h_2-h_1)_{su}$: Suyun giriş sıcaklığı ile 100 °C sıcaklıktaki entalpi farkları

$\dot{Q}_{su,2}$: Suyun 100 °C'de sıvı fazdan gaz faza geçmesi için gerekli olan anlık ısı

\dot{m}_b : Buharın kütleli debisi

δ_g : Gazın özkütlesi

\dot{Q}_b : Buharın 100 °C'den çıkış set sıcaklığına gelmesi için gerekli olan anlık ısı

$(h_2-h_1)_g$: Gazın kule çıkış set sıcaklığı ile 100 °C sıcaklıktaki entalpi farkları

BÖLÜM I

GİRİŞ

1.1 Amaç ve Kapsam

Bu çalışmada çimento fabrikalarında yaygın olarak fırından elektro filtreye iletilen sıcak gazın şartlandırılma işleminde kullanılan soğutma kulelerine verilen soğutma suyunun doğru bir şekilde verilmesini sağlamak amacıyla otomatik kontrollü bir program yazılmıştır. Çalışmanın yapıldığı soğutma kulesi ÇimSA Niğde çimento fabrikasında kullanılan soğutma kulesidir. Çeşitli fırın şartlarında değişiklik gösteren kule giriş gaz sıcaklığı, soğutmada kullanılan suyun sıcaklığı, kuleye giren gazın hızına bağlı olarak incelemeler ve ölçümler yapılmış olup, istenilen çıkış gaz sıcaklık set değerine göre en uygun su miktarı otomatik olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonrasında kule üstünde suyun girişini sağlayan gruplar otomatik olarak yönlendirilerek bir otomatik kontrol programı oluşturulmuştur.

Endüstriyel tesislerde sıcak gazın soğutulması, sistem suyunun ısıtılması, tozun azaltılması ve ardındaki sistem öncesinde akışkanın ısıl yönden şartlandırılmasında sıkça kullanılan bir ısı değiştiricidir. Soğutucu akışkanın gaz veya sıvı olmasına göre ıslak ve kuru; akışkanların akış yönlerine göre paralel, karşıt ve çapraz; akışkana hareketin cebri olarak verilip verilmemesine göre ise doğal ve zorlanmış akışlı soğutma kule sistemleri mevcuttur [1]. Soğutma kuleleri ile ilgili literatürde birçok çalışma bulunmaktadır.

Fisenko tarafından yapılan çalışmada karşıt akışlı soğutma kulelerinin iki boyutlu ısı geçişi modellemesi bu modellemenin matematiksel açılımı incelenmiştir. Bu ısıl verimliliği etkileyen en önemli parametrenin kuleye giren su kotundaki kulenin kesit alanı olduğu ortaya konulmuştur [2].

Qi ve Liu soğutma kulelerinin performans hesaplarını sıcak gazın giriş sıcaklığı ve kule çıkışındaki suyun sıcaklığına dayanarak incelemişlerdir [3].

Smrekar ve arkadaşları doğal akışlı soğutma kulelerin performanslarını su akış dağılımlarının ayarlanarak kule performansını iyileştirmeye yönelik çalışmalarda bulunmuşlardır[4].

Williamson ve arkadaşları tarafından doğal akışlı ıslak soğutma kulelerinde iki boyutlu ve iki fazlı olarak ısı ve kütle transferi incelemeleri yapılmıştır [5].

Waked ve arkadaşları kule girişine değişik pozisyonlarda koydukları akış kıran parçalarla kule içine giren gazın hızlarının kule performansına olan etkilerini incelemiştir [6].

Qureshi ve Zubair, karşıt akışlı soğutma kulelerinde termodinamiğin birinci ve ikinci yasalarını kullanarak termodinamik bir inceleme yapmışlardır. Kayıpları ekserji analizi yaparak hesaplamışlardır. Buna bağlı olarak kule performansını hesaplamaya çalışmışlardır [7].

Muangnoi ve arkadaşları ise hava sıcaklığı ve nem yüzdesinin soğutma kule performansına etkisini termodinamiğin ikinci kuralındaki ekserji analizine göre araştırmışlardır. Suyun şartları sabit iken farklı kuru termometre, ıslak termometre sıcaklıklarındaki havanın kuleye girmesine göre ekserji analizi yapmışlardır [8].

Gao ve arkadaşları, doğal ve karşıt akışlı ıslak soğutma kulelerindeki kule performansını geçen havanın hızı, sirkülasyon suyunun miktarı ve sıcaklığı parametrelerini değiştirerek incelemişler ve performansı incelemişlerdir [9].

Hosoz ve arkadaşları kule performansını etkileyen parametrelerden hava hızı, sirkülasyon su miktarı ve sirkülasyon su sıcaklığına ek olarak buharlaşan suyun kuru termometre sıcaklığı ve bağıl nemine göre de incelemelerini yapmışlardır [10].

Rao ve Patel ABC (artificial bee colony) algoritmasını kullanarak zorlanmış karşıt akışlı ıslak soğutma kulelerinin performansını suyun buharlaşma oranı, suyun ve gazın akış hızları parametrelerine bağlı olarak incelemişlerdir [11].

Xiaoni ve arkadaşları soğutma kulelerinin kinetik modelleme ile ısı ve kütle transfer modellemeleri ile pülverizasyon ve bunun kule üzerindeki etkileri hakkında incelemeler yapmış, soğutma kulelerinin endüstri kullanımları ve teorik hesaplamaları ile ilgili deneyler yapmış, arasındaki korelasyonları irdelemişlerdir [12].

Williamson ve arkadaşları iki boyutlu iki fazlı ısı ve kütle transferini doğal akışlı ıslak soğutma kuleleri şartlarında incelemişler ve kule merkezi ile kule cidarı arasındaki kuleyi terk eden gazın sıcaklıkları arasındaki farkı ortaya koymuşlardır [13].

Söylemez cebri ve karşıt akışlı ıslak soğutma kulelerinin optimum performans noktalarını bulmak için nümerik yaklaşım metodu ile çalışmalarda bulunmuştur [14].

Wang ve Li karşıt akışlı ıslak soğutma kulelerinin performansını incelemiş, incelemeleri sonunda ekserji etkinliğinin %25 altında kaldığını, buharlaşmadan kaynaklanan su kaybının, ekserji etkinliğinin, ekserji giriş ve kayıplarının termal verimi etkileyen çok hassas parametreler olduğunu ortaya koymuştur [15].

Hajidavalloo ve arkadaşları karşıt akışlı ve ıslak soğutma kulelerinde çevre havanın ıslak termometre sıcaklığının değişimine göre performanslarını incelemişler, ıslak termometre sıcaklığının artışı ile buharlaşmanın arttığını ortaya koymuşlardır [16].

Tüm bu çalışmalara rağmen çimento sektöründe kullanılan soğutma kulelerini detaylı incelemiş bir çalışma literatürde bulunamamıştır. Çimento fabrikalarında kullanılan soğutma kulelerinin gazın soğutulması yanında gaz içindeki tozu da çöktürme amacı olduğundan dolayı kuleler genellikle paralel akışlı ve ıslak kulelerdir. Literatür incelemelerinde kule performansları incelenmiş ve termal performansı artırıcı yöntemler bulunmaya çalışılmış olsa da çimento endüstrisinde soğutma kulelerinin kontrolü, değişen döner fırın şartlarına göre çekilen sıcak gazın sıcaklığı ve debisi doğrultusunda en doğru miktardaki suyun kule içine verilmesi yönünde bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

Bu çalışma ile çimento endüstrisinde çalışan soğutma kulelerinin değişen döner fırın şartlarına göre uygun miktarda su akışı ve minimum arıza ihtimali ile çalışmasını sağlayacak bir program yapılmıştır. Soğutma kuleleri, çimento fabrikalarında döner fırından gelen sıcak gaz ve toz karışımının diğer ünitelerde kurutma için kullanım olmaması halinde, sıcak havanın sıcaklığının elektro filtreye gitmeden önce dengelenmesi ve tozun sıcak havadan ayrıştırılması için kullanılan sistemlerdir. Sistemdeki gazın sıcaklığı pülverize su verilerek istenilen değere indirilir. Pülverize suyun aynı zamanda sıcak hava içindeki tozu da çökertme etkisi olduğu için soğutma kuleleri bir filtre görevi de görür. Sistemdeki tozun bir bölümü, suyun çökertme etkisi ile çöktürüldükten sonra ise kule altındaki toplama bunker ve helezonlar vasıtası ile sisteme geri kazandırılır. Bu noktada ise verilen su miktarının önemi devreye girmektedir. Verilen su kritik miktardan fazla olursa tozla karışan su, balçık kıvamında bir madde oluşturur ki bu olaya çamurlama denir. Bu çamur ise geri kazanım için kurulan helezonları tıkar, helezon motorları ve redüktörlerine artı yük getirerek mekanik

ve elektriksel arızalar açarak sistemin devreden çıkmasını sağlar ki bu istenmeyen durumdur. Soğutma kulelerinin çalışma prensipleri, çeşitleri ve çeşitli uygulamalardaki hesaplamalarıyla ilgili yayınlanmış birçok makale ve çalışmanın olmasına rağmen, çimento sektöründeki kulelerin çalışma prensipleri ve gereken kritik miktar su hesaplanması ile ilgili çalışmalara rastlanamamıştır. Bu bağlamda ileride bahsedilecek olan soğutma kulelerinin proses kontrolünün çimento fabrikalarında kritik öneme haiz olması, olası hatalarda on binlerce liralık üretim kayıplarına, yine yanlış işletme koşulları olursa binlerce liralık bakım, işçilik ve malzeme kayıplarına yol açabileceği dikkate alınarak bu çalışma yapılmıştır. Sistem basit hesaplar ve kurulumu kolay olduğu için hem maliyet bakımından ucuz, parametrelerin rahatlıkla değiştirilebilmesi veya programa kolaylıkla eklentiler yapılabilmesi bakımından işlevseldir.

BÖLÜM II

TEORİK ESASLAR

2.1 Soğutma Kuleleri ve Çeşitleri

Su soğutma kulesi; tesisten ısınarak gelen sıcak suyun bir kısmını buharlaştırıp atmosfere atarak soğutan, gerekli sıcaklığa ulaşmış kalan kısmını ise tesise kullanılmak üzere geri gönderen bir ısı değiştirici sistemdir. Su soğutma kuleleri genellikle klima sistemleri, elektrik üretim sistemleri, üretim prosesleri vb. yerlerde soğutulmuş su elde etmek amacıyla kullanılırlar. Her ne kadar genelde suyun buharlaşması esnasından sistemin soğumasını sağlamaya dayalı sistemler olsalar da bazı proseslerde gazın su yolu ile soğutulması maksadı ile de kullanılırlar. Soğutma kuleleri kullanılan ısı transfer yöntemlerine göre;

a. Islak soğutma kuleleri

b. Kuru soğutma kuleleri

olarak iki gruba ayrılırlar. Islak soğutma kulelerinde genellikle su kullanılır. Bu kule tiplerinde su buharlaşarak sistemden su ile gelen ısının suyun buharlaşması yolu ile atmosfere atılması prensibi ile çalışır. Kuru soğutma kuleleri ise çevre havasından, çalışma akışkanının ayrılarak yüzeyden ısı taşınımı yoluyla atık ısıyı atmosfere atar. Soğutma kuleleri akışın sağlanması durumuna göre de ikiye ayrılır.

a. Doğal akışlı soğutma kuleleri,

b. Zorlanmış (Cebri) akışlı soğutma kuleleri

Doğal akışlı soğutma kulelerinde kule yapısı, akış yönünde daralır. Debi değişmeyeceğinden ve kesit alanı azaldığından dolayı akışkan kule içindeki hareketini hiçbir cebri akış yaratacak ekipman olmadan sürdürür. Bu tür soğutma kuleleri genellikle enerji üreten santrallerde görülür. Zorlanmış akışlı sistemlerde ise akış kullanılan fanlar vasıtası ile sürdürülür. Bu tip kuleler ya başka bir sisteme bağlı olduğu için ya da akışkanın akmasını mümkün kılacak bir tasarım yapılamadığı durumlarda kullanılır. Soğutma kuleleri soğutucu maddenin akışın yönüne bağlı olarak da üçe ayrılır.

a.Karşıt akışlı soğutma kuleleri

b.Çapraz akışlı soğutma kuleleri

c.Paralel akışlı soğutma kuleleri

Karşıt akışlı soğutma kulelerinde iki akışkan birbirine zıt istikamette hareket ederken, çapraz akışlı kulelerde iki akışkan birbiri ile 90° açı yapacak şekilde akar. Örneğin soğutulacak akışkan aşağı yönde hareket ederken hava, suya dik bir biçimde sisteme verilir. Paralel akışlı kulelerde ise soğutucu akışkan ile soğutulan akışkanın yönleri aynıdır.



Fotoğraf 2.1 Soğutma kuleleri

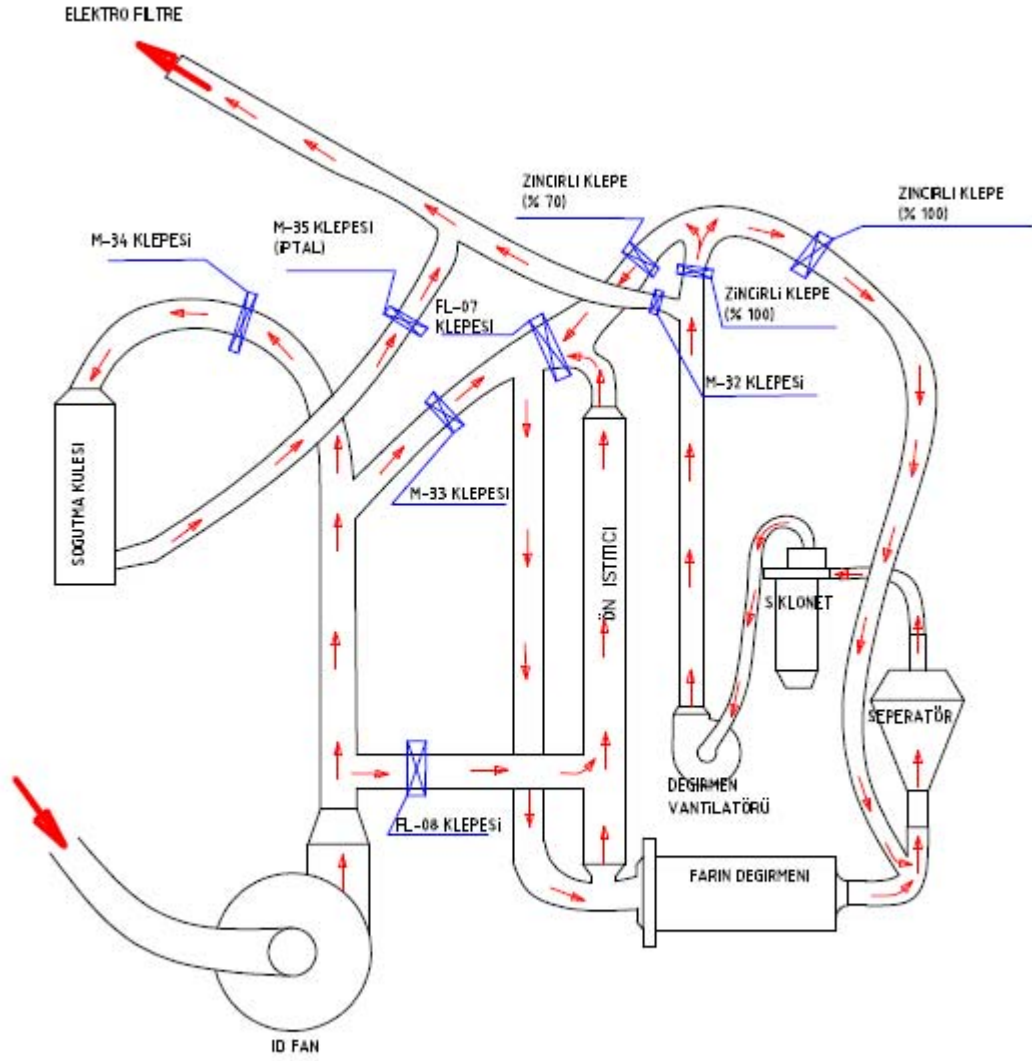
2.2 Soğutma Kulelerinin Çimento Fabrikalarında İşlevi

Çimento tesislerinde sıcak gaz, klinkerin pişmemiş hali olan farinin öğütülmesine yardımcı olması adına neminin azaltılması maksadı ile farin değirmeninin prosesinde kullanılır. Bunun haricinde siklonlar kısmında döner fırının prosesini kolaylaştırmak adına tersiyer akış prensibi ile farinin aşağı inmesi sırasında sıcak gazın ters yönde hareketinden ötürü bir kullanım söz konusudur. Kullanılan bu sıcak gaz döner fırında malzeme pişirme maksadı ile fırına verilen kömürün yanması ile oluşan sıcak gazdır. Farin değirmeninin öğüttüğü malzemenin neminin azaltılması ve siklonlarda malzemenin pişirilmesi yine bu sıcak gaz tarafından sağlandıktan sonra tozlu gaz

atmosfere atılmadan önce elektrofiltreden geçirilerek içindeki tozdan %99,9 mertebesinde arındırılır. Farin değirmeninin çalışmadığı yani sıcak gaza daha az ihtiyaç duyulduğu zamanlarda da döner fırından çıkan gaz siklonlardan geçtikten sonra elektrofiltreye yönlendirilir ve aynı tozsuzlaştırma prosesi gerçekleşir. Ancak elektrofiltreye sıcak gaz girmeden önce şartlandırılması gerekmektedir. Bu şartlandırma ihtiyacı hem elektrofiltreye giren gazın daha rahat iyonize olması açısından hem de yüksek sıcaklığın elektrofiltre içindeki plakaların zarar görmesini engellemek zaruretinden kaynaklanır. Takriben 350 °C sıcaklıkta soğutma kulesine giren sıcak ve toz ihtiva eden gaz, 130 °C sıcaklık mertebelerine kadar indirilir ve içindeki bir kısım toz da pülverize suyun etkisi ile kule tabanına çöktürülür. Bu proses sonucu elektrofiltrenin yükü %30 mertebelerinde azaltılmış olur. Tabana biriken toz, helezonlar vasıtası ile farin değirmeni prosesine geri kazandırılır. Kule içine verilen su miktarı, hem elektro filtre öncesi sıcak havanın şartlandırılması bakımından hem de kule tabanına çöken tozun çamurlaşmaması bakımından son derece önemlidir. Su miktarının az olması elektro filtreye giden gazın yeterince soğumamasından ötürü, filtrenin verimini azaltır, dışarı atılan toz miktarını artırır. Eğer sıcaklık düşürülemez ise elektro filtrenin zarar görmemesi için klinker üretim prosesi durdurulur. Miktarın gereğinden fazla olması durumunda ise su, tamamıyla buharlaşamayacağından dolayı kule dibindeki toz ile birleşerek çamurlaşır. Geri dönüş sistemindeki helezonlarda korozyon, motor termik açmaları, zorlanmalar, yatak ve askı yatak zorlanmaları-kırılmaları gibi çeşitli arızalara sebebiyet verir. Bu nedenle kuleye verilen su miktarı çok kritik bir öneme haizdir.



Fotoğraf 2.2 ÇimSA çimento Niğde fabrikası soğutma kulesi genel görünümü

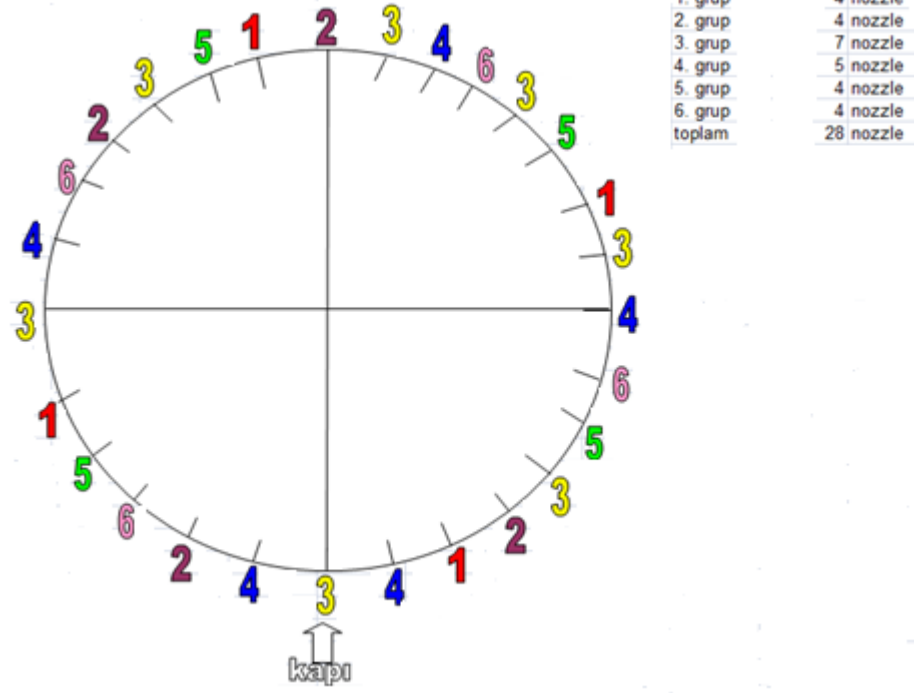


Şekil 2.1 ÇimSA çimento Niğde fabrikası soğutma kulesi gaz akış şeması

Şekil 2.1’de görüldüğü gibi motorlu klepeler ile ünitelerin sıcak gaz ihtiyacına göre gaz akışı yönlendirilir. Farin değirmeni enerjinin pahalı olduğu 17:00 – 22:00 saatleri arasında duruşa alındığından ötürü ön ısıtıcı ve değirmene giden sıcak gaz hattı kesilerek sıcak gazın siklonlara giden bölümünün haricindeki miktarın tamamı soğutma kulesine yönlendirilir. Yine farin değirmeni çalışırken döner fırının değişken şartlarından ötürü sıcak gazın fazla geldiği durumlarda da klepeler oranlı açılıp kapatılarak kuleye sıcak gaz yönlendirilmesi yapılır. Elektrofiltreye gazın gitmesinden önce kuleye gazın verilmesi iyonizasyonu kolaylaştırır. Ancak gazın kuleye uğramadan

sistem içinden geçerek elektrofiltreye gittiği durumlarda da hammaddenin içindeki ortalama % 8 nem sıcak gazın iyonizasyonun gerçekleşmesine yeterli gelmektedir.

Soğutma kulelerinde çimento endüstrisinde su kullanılır. Gazın akışı elektro filtre fanı emişi sayesinde gerçekleşir. Soğutucu su soğutulacak gaz ile aynı yönde hareket eder. Bundan dolayı çimento endüstrisinde kullanılan soğutma kuleleri, ıslak, zorlanmış akışlı ve paralel akışlı soğutma kuleleridir. Su, kule içine girmeden önce pülverizasyonu sağlayan memelerden geçerler. Suyun yeterince pülverize olması hem yüksek basınç hem de memelerin yapısı ile sağlanır. Bu şekilde hem temas yüzeyi artırılmış olur hem de suyun buharlaşmadan kule altına sıvı fazda inme riski azaltılır. Bu pülverizasyonu sağlayan özel düzler kullanılır. Düzlerin yapılarına göre su ya yüksek basınçlarda bu düzlerden geçirilir, ya da su – hava karışımı düzlere verilir. Basınçlı hava, basınçlı su elde etmekten daha pahalı bir yöntem olduğundan dolayı bu şık çok da fizibil değildir. Ayrıca iki farklı akışkanın basınçlarını oransal olarak ayarlamak nispeten daha zordur. Kule içine verilecek su kule üstünden belirli gruplar dâhilinde verilir. Düzlerin yerleşimi 360° açıda olabildiğince eşit açılara bölünmüş olarak ve gelen sıcak gazın durumuna göre sıra ile kademeli şekilde artacak şekilde yapılmıştır. Bu tasarım suyun en etkin ve stabil bir şekilde kuleye verilmesini sağlamaktadır.



Şekil 2.2 ÇimSA çimento Niğde fabrikası soğutma kulesi nozzle dağılım durumu

Kule üstündeki bu ayarlama, pnömomatik vanalar sayesinde sıcak gazın durumuna göre otomatik olarak açılır ve kapanırlar. Kuleye giren ısı miktarı arttıkça suyun girişini sağlayan ilgili grubun önündeki pnömomatik vana otomatik olarak açılır ve kule içine su akışı başlatılmış olur. Toplamda altı vana, altı farklı grubu idare eder. Normal şartlarda öncelikle düz sayısı düşük olan gruplar devreye girer ancak sıcaklık ve debi şartlarına göre düz sayısı yüksek olan gruplar da devreye girebilmektedirler. Bu şekilde en uygun çalışma şartları oluşturulurken, doğal kaynakların kullanımı da bilinçli bir şekilde yapılmış olur.



Fotoğraf 2.3 ÇimSA çimento Niğde fabrikası soğutma kulesi nozzle dağılım sistemi

Soğutma kulelerinde en kritik olay, kule içine verilecek suyun doğru bir şekilde hesaplanması ve bu su akışının otomatik olarak kontrol edilmesidir. Sistem suyunun fazla olması durumunda çimento endüstrisinde “çamurlama” olarak tabir edilen farin tozunun su ile ıslanarak çamur haline gelmesi olayı yaşanır. Sistem kapalı bir sistem olduğundan, sıcak gaz içindeki bir miktar tozun kulede bastırıldığından ve bu tozun geri dönüş sistemleri ile sisteme aktarılmasından ötürü çamurlaşma problemi prosesi olumsuz yönde etkileyen sorunlardan birisidir. Bu sorun kulede korozyona, geri dönüş sistemlerindeki motor, redüktör, helezon, askı yatak ve rulmanlarına son derece zarar veren, tamiri hem işçilik hem de malzeme yönünden pahalı arızalara sebep veren bir arıza çeşididir. Böyle bir sorun ortaya çıktığında soğutma kulesi devre dışı kaldığı ve sıcak gazın bu şekilde elektro filtreye verilememesinden dolayı genellikle farin değirmeni devreye alınarak, sıcak gaz bu üniteye doğru yönlendirilir. Bu durum tamamıyla durumu kurtarmaya yönelik bir çalışmadır. Eğer farin silolarında oluşan farini depolayacak yer bulunmaz veya sorun silodaki bu boş yerin dolmasından daha uzun sürer ise döner fırın üretimi durdurulmak zorunda kalınır. Döner fırının kapasitesine bağlı olarak bu olay işletmeye saatlik onlarca milyarlık zarar açması anlamına gelir. Yine bakımcılıkta olan temel bir kavram vardır ki o da bir arıza, diğer başka arızaları da tetikler. Hem prosesin durması hem de arıza tamir maliyetleri bakımından kuleye verilen suyun doğru miktarda ve doğru yöntemle verilmesi sistemin sürdürülebilirliği açısından hayati önem taşımaktadır. Sistem suyunun az verilmesi de

elektro filtrenin zarar görmesine, performansının düşmesine ve çevreye verilen toz miktarının artmasına sebep olur. Su kule içerisine tam pülverize olmuş şekliyle girmediği durumlarda ise suyun buharlaşması güçleşeceği için kule altına sıvı fazda inmesi söz konusu olmaktadır. Bu da biraz önce bahsedilen sorunları beraberinde getirmektedir. Bundan mütevellit soğutma kulelerinde planlı koruyucu bakımlar eksiksiz ve tam anlamıyla yapılmalıdır. Düzlerin tıkanıklığı, basınç kontrolleri, sistem hatları ve pompalar düzenli olarak kontrol edilmeli, herhangi bir arızaya sebep vermeden izleme yolu ile takip edilerek özellikle gün içerisinde farin değirmeni devrede iken yani kule üzerine sıcak gaz akışı yönlendirilmemiş durumda bu kontroller, gerekli değişim ve bakımlar icra edilmelidir. Soğutma kuleleri her ne kadar birçok farklı endüstride kullanılsa ve bir çok farklı bakım yöntemleri olsa da genellikle prosesin durumuna göre optimize edilmiş periyot ve işlerle işletmeye özel bakım takvimleri oluşturulmuştur.

İncelenen kule ÇimSA Çimento Niğde Fabrikası'ndaki soğutma kulesidir. Hesaplamalar yapılmadan önce kule içinde değişik fırın şartlarındaki gazın sıcaklık ve hız, özdeş düzelerden sisteme verilen suların debilerinin ölçümleri yapılmış ve kayıt altına alınmıştır. Bu kayıtlar sonrasında termodinamik kurallar çerçevesinde hesaplamalar Microsoft Excell tabanında yapılmış ve döner fırının değişik şartlarına bağlı olarak değişen gaz sıcaklık ve debisine, soğutma suyunun giriş sıcaklığına göre kule çıkış set sıcaklığı parametresine bağlı olarak kuleye giren su miktarı ve giren gruplar otomatik olarak ayarlanmıştır.

BÖLÜM III

MODELLEME VE HESAPLAMALAR

3.1 Hesaplamalar

Soğutma kulelerine girecek suyun hesaplanmasına başlamadan önce kule içine hangi maddenin ne şartlarda kule içine girdiğini bilmek çok önemlidir. Yine aynı şekilde kule çıkışında istenilen değerleri bilmek kulenin yapması gereken ısı değişiminin büyüklüğü hakkında bilgi verecektir. Kulenin amacı herhangi bir iş üretmek değildir. Yine aynı şekilde kule içine bir iş verilmemektedir. Termodinamiğin 1. Kanunu kullanılarak

$$Q-W=m.(h_2-h_1) \quad (3.1)$$

formülü yazılabilir. Bu formülde iş ile ilgili W terimi sıfır olacaktır. Q terimi gazın vermesi gereken ısının karşılığı, h_1 gazın kuleye girerkenki entalpi değerini, h_2 gazın kule çıkışındaki entalpi değerini göstermektedir. m değeri ise sıcak gazın ağırlıdır. Hesaplamalara başlamadan önce bazı mühendislik kabulleri yapılacaktır. Bu kabuller sonuçta çok büyük ölçüde fark yaratmamakla birlikte hesaplama yükünü büyük ölçüde azaltacaktır. Soğutma kulelerinde gazın sıcaklığı ideal şartlarda sadece su girişi sayesinde düşürülür. Ancak pratikte soğutma kuleleri boru ve duvarlarının metal yapılarında oluşan deliklerden dışarı kaçan sıcak havanın da gaz soğumasına etkisi vardır. Bu etki göz ardı edilecektir. Yine ele alınan kule gövdesinde ısı yalıtımı yapılmıştır. Bu izolasyon %100 bir izolasyon sağlamaz. Ancak hesaplama kolaylığı açısından gövdeden iletim ve taşınım ile sağlanacak ısı kayıpları hesaba alınmayacaktır. Kuleye gelen sıcak havanın içindeki gaz karışımının büyük çoğunluğu hava olduğundan NO_x ve SO_x gazlarının kısmi fonksiyonları irdelenmeyecektir. Bununla birlikte yapılacak hesap Termodinamiğin 0. Kanunundan faydalanarak yapılacaktır. Yani “birbiriyle etkileşen iki maddenin sıcaklıkları eşitlenene değin maddeler arasında bir ısı transferinin olacağı” temel alınarak hesaplar yapılacaktır. Bir diğer kabul ise ortamın deniz seviyesinde oluşudur. Rakımsal değişiklikler bu projede önemsenmeyecek kadar düşük olduğundan dikkate alınmamıştır. Bu kabuller sonrasında istenilen çıkış şartlarına bakmak gerekirse, çıkış set sıcaklığının 130 °C mertebesinde olduğu istenmektedir. Buradan çıkartılacak sonuç ise şudur. Kule içine verilen su öncelikle bulunduğu sıcaklıktan 100 °C sıcaklığına kadar ısınacak, sonra aynı sıcaklıkta buhar fazına geçecek ve en son 130 °C kızgın buhar oluncaya kadar ısınacaktır. Bu süreçlerin tamamı sıcak

gazın sıcaklığının düşürülmesini sağlayacaktır. Bununla birlikte sistemde su buharının oluşu sıcak gaz içindeki tozun elektro filtre içinde iyonize olmasını kolaylaştıracak olup, elektro filtre verimliliğine önemli katkı sağlayacaktır.

Değişen fırın şartları, fırın içinden emilen sıcak gazın sıcaklığını ve yine proses şartlarına göre değiştirilen gaz debisi soğutma kulesinin yük parametresini değiştirecektir. Mevsimlere göre soğutma suyunun sıcaklığı da değişmektedir. Bu değişimler gerekli ölçüm aletleri ile anlık olarak okunup programda ilgili yerlere girilir. Yine programa çıkış set değerinin girilmesi de gerekmektedir. Bu dört parametre ölçümsel ve kurulum olarak programa girildikten sonra program kendi içindeki formülasyonları kullanarak gerekli termodinamik formülleri yardımı ile kuleye verilecek su miktarının hesabını yapacaktır. Program çalıştırılmadan önce yine ölçümsel olarak bulunan özdeş düzelerden her birinin sisteme verdiği su miktarı ve kuleye giriş yapan gazın geçtiği borunun kesit alanı da set değer olarak sisteme tanıtılmalıdır.



Fotoğraf 3.1 Kule giriş kesitinde gazın hızını ve sıcaklığını ölçebilen multimetre

Hesaplama sistematigi kısaca şu şekildedir. İlk programa daha önce set değeri olan girilmiş sıcak gaz giriş borusu kesit alanı ile kule girişine konulacak bir hızölçerin okuyup sisteme gönderdiği hız değerleri çarpılarak kule içine giren gazın anlık hacimsel debisi hesaplanılmıştır.

$$\dot{V} = v \cdot A \quad (3.2)$$

Anlık hacimsel debisi hesaplanılan gazın giriş sıcaklığına göre değişen özkütlesi ile çarpılması ile kuleye giren sıcak gaz anlık kütleli debisi hesaplanmış olur. Bu noktada daha öncesinden bahsedilen kabullerden birisi yapılmış olacaktır. Giren gazın içerisinde her ne kadar toz, NO_x, SO_x, gibi gazlar vardysa da bunlar ihmal edilecek ve giren sıcak gaz, sıcak hava olarak hesaba dâhil edilecektir. Termodinamik tablolarda bulunan havaya ait özellikler programa set olarak tanıtılmıştır. Gaz girişinde ölçülen sıcaklık programa girildiğinde o sıcaklık değerine ait havanın özkütlesi hesaplama yapımında kullanılacaktır.

$$\dot{m}_g = \rho_g \cdot \dot{V} \quad (3.3)$$

Ölçülen giriş sıcaklığı havanın özkütlesinin belirlenmesinde faydalanılacağı gibi o sıcaklıktaki sıcak havanın entalpi değerinin de yine programa daha önce girilen değerler doğrultusunda hesaplamada kullanılacaktır. Bu şekilde giren havanın sistem içine anlık olarak ne kadar bir ısı miktarını soktuğu bilgisi hesaplanabilecektir. Yine daha önceden set edilen çıkış sıcaklık değerine göre çıkıştaki sıcak gazın entalpi değeri belirlenmiş olur. Bu iki entalpi arasındaki fark ile anlık kütleli debinin çarpılması ile kule içine giren anlık ısı hesaplanılmış olur.

$$Q = \dot{m}_g \cdot (h_2 - h_1)_g \quad (3.4)$$

Bu anlık ısının bertaraf edilmesi ise sisteme verilecek su ile gerçekleştirilecektir. Yine yaptığımız kabullerden biri olan sistemin izole olması bu anda önem kazanacaktır. Kule içindeki bazı deforme olmuş yerlerden veya olası açıklıklardan sıcaklığın dışarı kaçması ve ısının bir kısmının direk atmosfere verilmesi mümkündür ancak bu kabul ile ısının tamamının sıvı fazdaki suyun kızgın buhar haline gelinceye kadar sadece su tarafından alınmasını kabul etmek hem hesaplamayı çok fazla etkilememekte hem de çok kolaylaştırmaktadır. Su, bu ısıyı kullanırken öncelikle mevcut bulunduğu sıcaklığından

100 °C oluncaya kadar ısınacaktır. Hesaplamanın bu kısmında yine bir kabul devreye girmektedir. Su deniz kenarında 100 °C mertebesinde kaynar. Kule deniz seviyesinde olmasa da çıkacak sonuç çok fazla etkilenmeyecektir. Örnek olarak giren suyun 20 °C olduğu düşünülürse;

$$\dot{Q}_{su,2} = \dot{m}_s \times (h_2 - h_1)_{su} \quad (3.5)$$

İşlemi gerçekleşecektir. Bu reaksiyon endotermik bir reaksiyon olup sıcak gazın kule içine soktuğu ısı ile gerçekleşecektir. Sisteme havanın özellikleri tanıtıldığı gibi suyun da özellikleri tanıtıldığı için giren suyun sıcaklığına bağlı olarak program giren suyun entalpi değerini ve 100 °C'deki entalpi değerini otomatik olarak hesaba katacaktır. İkinci aşamada sıvı fazda bulunan 100 °C sıcaklığındaki su buhar fazına geçecek ve sıcak gazın ısısının büyük kısmının alınacağı aşama gerçekleşecektir. Suyun buharlaşma sırasında aldığı enerji 2257 kJ/kg'dır. Bu aşamayı göz önüne alırsak;

$$\dot{Q}_{su,2} = \dot{m}_s \times 2257 \quad (3.6)$$

Durumu ortaya çıkacaktır. Sıcak gazın sıcaklığının en çok düşürülmesine yarayan işlem bu işlem olup, kule içine giren bütün ısının %85 mertebesinde alındığı reaksiyondur. Sonrasında da 100 °C sıcaklığındaki su buharı sıcak gazın çıkış set değerine kadar tekrar ısınacak ve 130 °C mertebesinde elektro filtre emişi ile birlikte filtreye geçecektir. Bu aşama da şu şekilde gösterilebilir.

$$\dot{Q}_b = \dot{m}_b \times (h_2 - h_1)_b \quad (3.7)$$

$$\dot{m}_s = \dot{m}_b \quad (3.8)$$

Bütün bu aşamalarda entalpi farkları sistemde tanımlı olan hava ve suların entalpilerinin sıcaklıklarına göre değişimi ile otomatik olarak alınır ve hesaplanılır. Sistem kapalı ve izole olduğundan dolayı sıcak havanın vermesi gereken ısı ile suyun alacağı ısının eşitliğinden suyun miktarı hesaplanacaktır. Zaten kuledeki en kritik olgu verilen suyun doğru bir miktar ve şekilde kule içine verilmesidir.

$$\dot{m}_g \cdot (h_2 - h_1)_g = \dot{m}_s \cdot [(h_2 - h_1)_{su} + 2257 + (h_2 - h_1)_g] \quad (3.9)$$

Eşitliğin sol kısmı sıcak gazın vermesi gereken ısıyı temsil etmektedir. Kule girişinde ölçülen gaz sıcaklığı ve gazın hızı vasıtası ile gazın kütleli debisi ve giriş entalpisi sisteme veri olarak atanmıştır. Eşitliğin sağ tarafındaki entalpi farkları teker teker program içinde hesaplanarak sisteme girdi sağlanmıştır. Bu eşitlikte bilinmeyen tek parametre suyun anlık olarak kütleli debisidir. Bu debi hesaplandıktan sonra daha önceden programa girilen set değerlerinden biri olan özdeş düzlerin bir tanesinin anlık kütleli debiye bölünerek kaç adet düz devreye girmesi gerektiği hesaplanacaktır. Bu hesaplama sonrasında ise hangi düz grubu devreye girmeli bilgisi aktüatörlü vanalar sayesinde sisteme yanıt olarak gönderilecek ve sistem kontrol altında tutulacaktır.

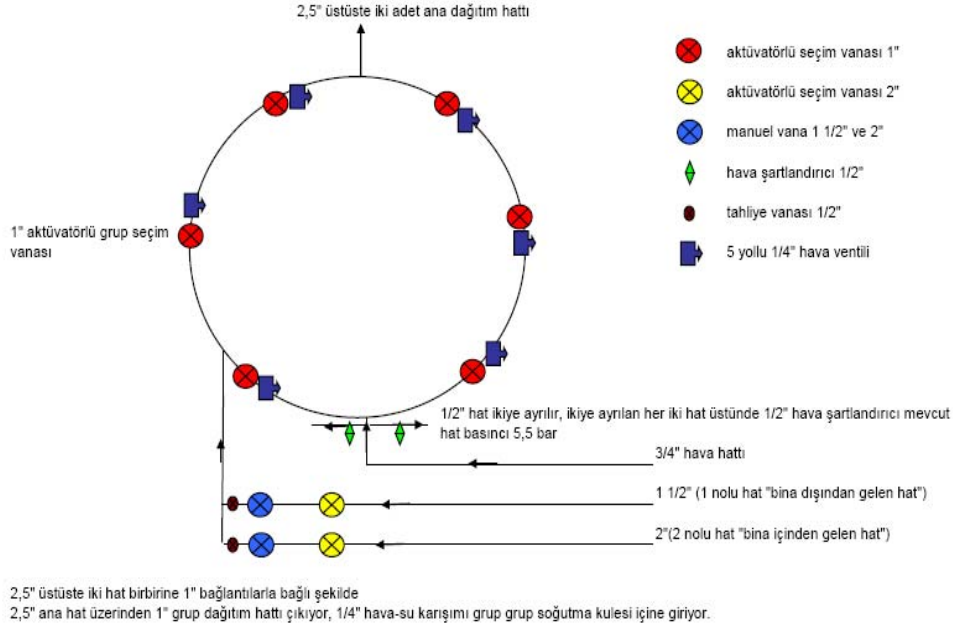


Fotoğraf 3.2 Soğutma kulesinin programa aktarılacak önemli parametreleri

3.2 Hesaplama Örneği

ÇimSA Niğde Çimento fabrikasının soğutma kulesi ele alınsın. Deve boynundaki (kuleye sıcak havanın giriş yaptığı borunun) kesit alanı $3,465 \text{ m}^2$ 'dir. Termometre sisteme $300 \text{ }^\circ\text{C}$ 'lik bir sıcaklık, anemometre ise $17,5 \text{ m/s}$ 'lik bir hava hızını programa bilgi olarak göndersin. Pompa hattındaki bağlı termometre ise sisteme giden suyun sıcaklığını $15 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak ölçmüş olsun. Giriş yapan sıcak havanın sıcaklığına karşılık gelen entalpi ve özkütle değerleri daha önceden programa girilmiş değerlerden seçilerek

program parametrelerine işlenecektir. Bu değerler için program sıcak havanın hacimsel debisini $60,638 \text{ m}^3/\text{s}$ olarak hesaplayacak ve özkütle ile entalpi değerlerini sırası ile $0,609 \text{ kg}/\text{m}^3$ ve $575,59 \text{ kJ}/\text{kg}$ olarak atayacaktır. Özkütlesi belirlenen havanın kütleli debisi, hacimsel debi ile özkütlenin çarpımı olarak $36,91 \text{ kg}/\text{s}$ olarak hesaplanır. Programa daha önceden set değeri olarak girilecek olan kule çıkış set değeri de $130 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak girilmiş olsun. Bu sıcaklık değerine karşı, kule çıkışında istenen havanın entalpisini sistem yine önce girilen değerler doğrultusunda $400,98 \text{ kJ}/\text{kg}$ olarak hesaplama değeri olarak atanır. Bu şekilde giriş ve çıkış havasının entalpsi ile kütleli debinin çarpımı anlık olarak sıcak havanın vermesi gereken ısıyı verir ki bu da $6445,5 \text{ kJ}/\text{s}$ değerindedir. Bu ısı su tarafından alınarak kızgın buhara geçiş aşamasına kadar kullanılacaktır. Giriş suyunun sıcaklığı $15 \text{ }^\circ\text{C}$ ölçüldüğünden dolayı, içeri giren su $63 \text{ kJ}/\text{kg}$ enerjiye sahip olarak girmektedir. Suyun $100 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki entalpisinin $419,04 \text{ kJ}/\text{kg}$ olduğu yine program tarafından bilinmekte olup birim kütle başına bu aşamanın $356,04 \text{ kJ}/\text{kg}$ enerji alması gerektiğini program hesaplayacaktır. Buharlaştırma sırasında birim kütle başına $2257 \text{ kJ}/\text{kg}$ enerji ihtiyacı olacaktır. $100 \text{ }^\circ\text{C}$ 'deki buharın $130 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklığa gelmesi için de yine birim kütlede $44,4 \text{ kJ}/\text{kg}$ enerji isteyecektir. Bütün bu işlemler sonucu $6165,3 \text{ kJ}/\text{s}$ 'lik sıcak havanın vermesi gereken enerjinin tamamının suyun alması kabulü ile birim su kütle başına $2657,45 \text{ kJ}/\text{kg}$ 'lik bir enerji alımı söz konusudur. Bu iki değer birbirine bölümü ile kuleye verilmesi gereken anlık su miktarı ise $2,42 \text{ kg}/\text{s}$ olarak belirlenir. Özdeş düzlerden her birinden ölçüm yolu ile belirlenen su miktarı olan $0,133 \text{ kg}/\text{s}$ olan değer programa yine set değeri olarak girilmiştir. O halde 18 adet nozzle, bu ısı değişiminin sağlanması için sisteme su vermelidir. Bu şekilde programın ikinci evresi devreye girmektedir. 18 düz tam olarak sağlayacak kombinasyon yine programa önceden tanıtılmış şekilde devreye girer. Bu örnek için 1,2,4 ve 5. Gruplar devreye girer. Bu ölçüm 30 saniyede bir kez ölçümü yenileyerek sistemde bir değişiklik olup olmadığını kontrol eder. Sistemde bir değişiklik yoksa bir önceki setteki düzler su vermeye devam eder ancak sistemde bir değişiklik var ise yeni hesaplanan düz sayısına karşılık gelen kombinasyon devreye girer.



Şekil 3.1 ÇimSA çimento Niğde fabrikasına ait soğutma kulesi tesisat ve kontrol ekipmanları

Program sonucunda çıkan düz sayısı her zaman mevcut grup yapısı ile sağlanamamaktadır. Bu gibi durumlarda çamurlama sorununun yaşanmaması için bir alt sayıdaki düz sayısına karşılık gelen kombinasyon uygulanır. Programın bir diğer avantajı ise gerek kabullerden gerek başka proses şartlarından kaynaklanan durumlarda, program sonuna eklenecek düz sayısını bir adet artır/azalt komutunun eklenmesi ile daha etkin bir kontrol sağlama imkanı tanınmasıdır.

Tablo 3.1 Düz sayısına göre gruplarının devreye alınma tablosu

Püskürme Meme Sayısı	Devreye Girecek Grup veya Gruplar	Püskürme Meme Sayısı	Devreye Girecek Grup veya Gruplar
1	Devreye Girmemeli	15	1,2 ve 3
2	Devreye Girmemeli	16	1,3 ve 4
3	Devreye Girmemeli	17	1, 2, 5 ve 4
4	1	18	1, 2, 5 ve 4
5	4	19	1, 2, 5 ve 3
6	4	20	1, 2, 5 ve 3
7	3	21	1, 2, 5, 6 ve 4
8	1 ve 2	22	1, 2, 5, 6 ve 4
9	1 ve 4	23	1, 2, 5, 6 ve 3
10	1 ve 4	24	1, 2, 3, 4 ve 5
11	1 ve 3	25	1, 2, 3, 4 ve 5
12	3 ve 4	26	1, 2, 3, 4 ve 5
13	3 ve 4	27	Tüm gruplar
14	3 ve 4	28	Tüm gruplar

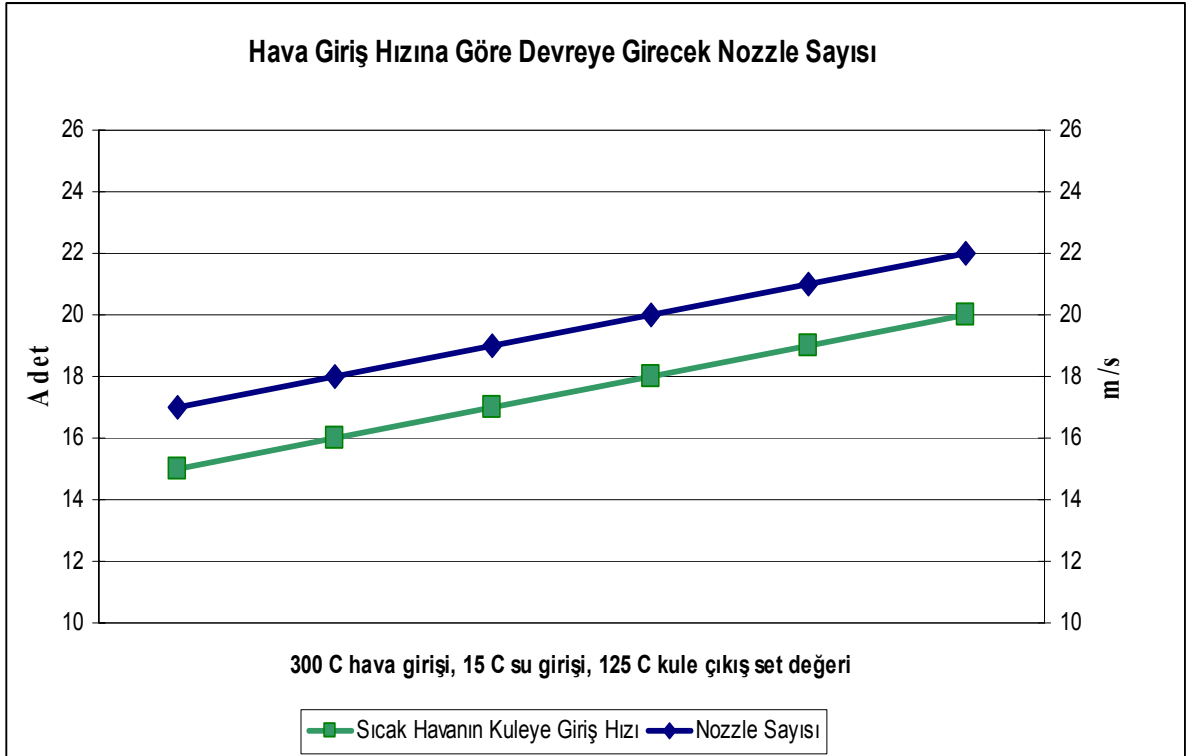
Tablo-1'e göre program sonucu hesaplanan düz sayısına göre kule tepesindeki düz grupları devreye girer ve çıkar. Sistem ihtiyacı 4 adet düzden aşağı bir sayı olduğu sürece pompa devreye girmez. 4 düz ihtiyacı başladığından itibaren pompa devreye girer ve ihtiyaç süresince sisteme su besler. Sistemin sorunsuz çalışabilmesi için sistemde bulunan tüm ekipmanlar kestirimci ve koruyucu bakım mantığı kapsamında ölçülür, kontrol edilir ve gerekli kontrol ve bakımlar özellikle kulenin çalışmadığı zamanlarda icra edilir.

BÖLÜM IV

SONUÇLAR

4.1 Program Çıktıları

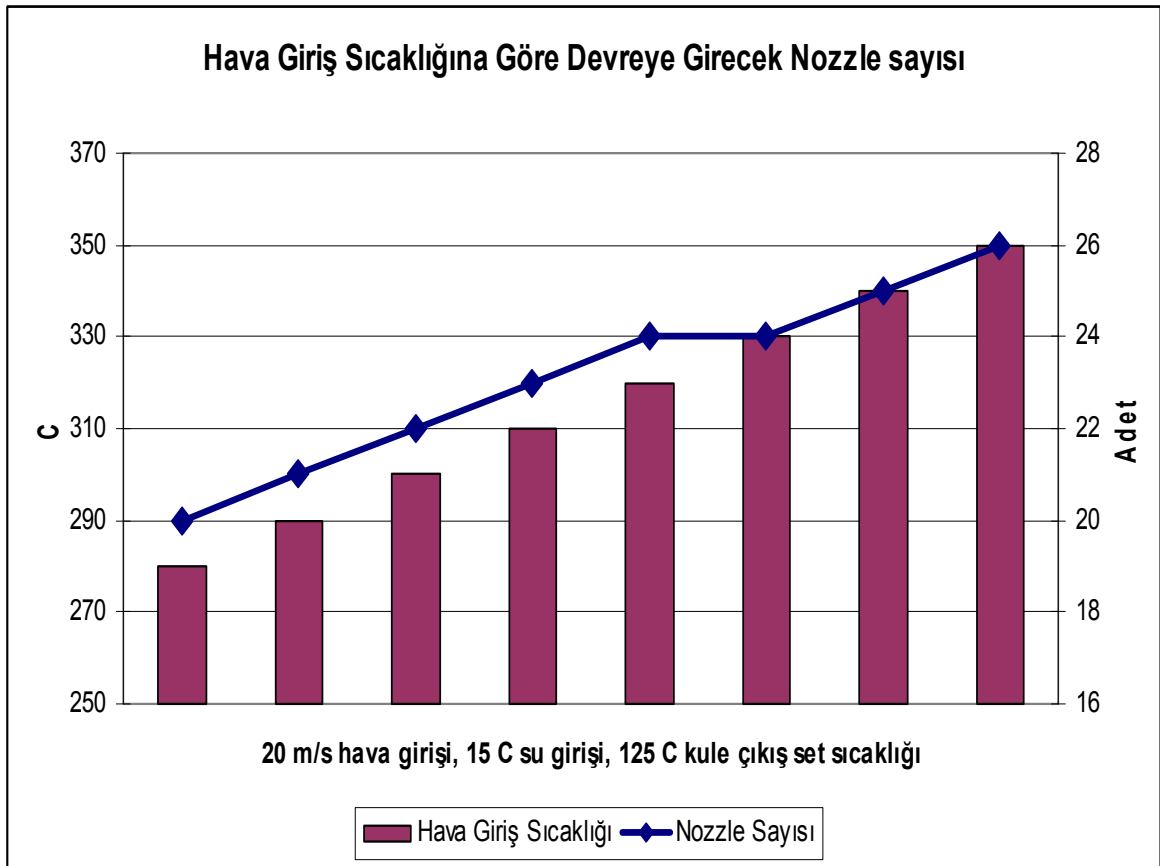
Program özellikle döner fırın prosesi değiştiği zaman soğutma kulesinin kontrolünü daha etkin sağlamak adına yazılmıştır. Bundan ötürü kulenin değişen parametrelerine göre sonuçlar irdelenecek, bu sonuçlar yorumlanacaktır. Sistemin doğruluğunu test etmek için incelenecek parametre hacrindeki değişkenler sabit tutulup durum incelenecektir. İlk değişken havanın hızıdır. Kule girişinde anemometre ile ölçülen hızın değişimi aslında hava miktarının değişimi anlamına gelmektedir. Hava hızı arttıkça sabit kesitli bir alandan geçen havanın hacimsel debisi artmıştır. Bu hacimsel debi yine sistemden ölçülen sıcaklık parametresine göre değişen özkütle ile çarpılıp kütleli debiyi vermektedir. Hızın artması kule içine giren ısı yükünü arttırdığını gösterir. Bu da daha fazla miktarda suyun verilmesi gerekliliğini beraberinde getirir.



Şekil 4.1 Hava giriş hızı ile düz sayısı arasındaki orantı

Görüldüğü gibi 15 m/s hızla kuleye giren hava 300 °C sıcaklığa sahip, çıkış sıcaklık set değeri 125 °C ve kule içine giren su sıcaklığı 15 °C ise 17 adet düzün sağladığı su miktarı ile istenilen set değerine şartlandırılabilir. Aynı set değer şartlarında eğer hava hızı 20 m/s olsa idi bunun için 22 düz görev yapmak zorunda olacaktı.

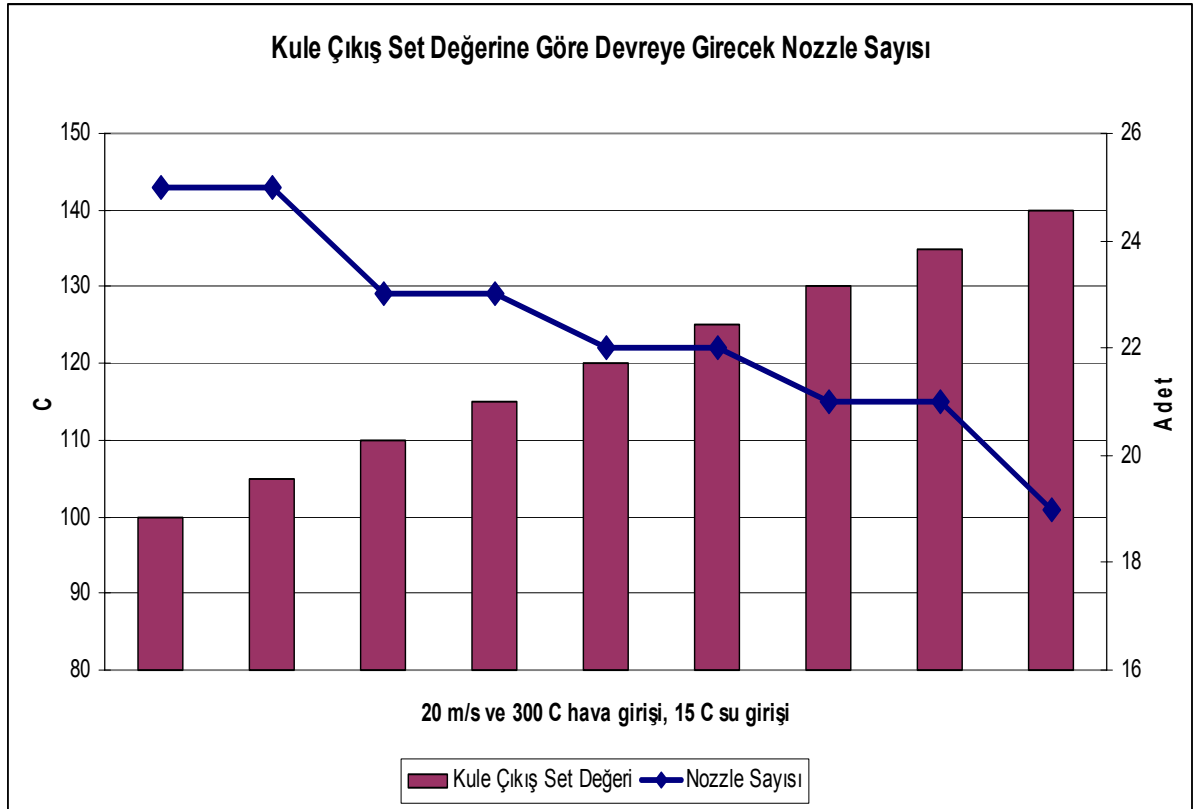
Bir diğer değişken parametre de giren sıcak havanın sıcaklığıdır. Havanın sıcaklığındaki artış gazın entalpisini artıracak için kule içine giren ısı miktarının artmasına sebep olacaktır. Bu yüksek ısınının çıkış set değerindeki sıcaklık değerindeki entalpiye getirilmesi için daha fazla suyun kule içerisine verilmesi gerekmektedir. 20 m/s hava hızının olduğu, çıkış sıcaklık set değerinin 125 °C ve giren su sıcaklığının 15 °C olması durumunda devreye girecek düz sayısı ile hava sıcaklığı arasında doğru orantı bulunur.



Şekil 4.2 Hava giriş sıcaklığı ile düz sayısı arasındaki orantı

280 °C sıcaklıktaki havanın kule içine girmesi durumunda 20 adet düz görev yapacakken sıcaklığın 350 °C çıkmasında düz sayısı 26 adede çıkmaktadır ki bu beklenen bir durumdur.

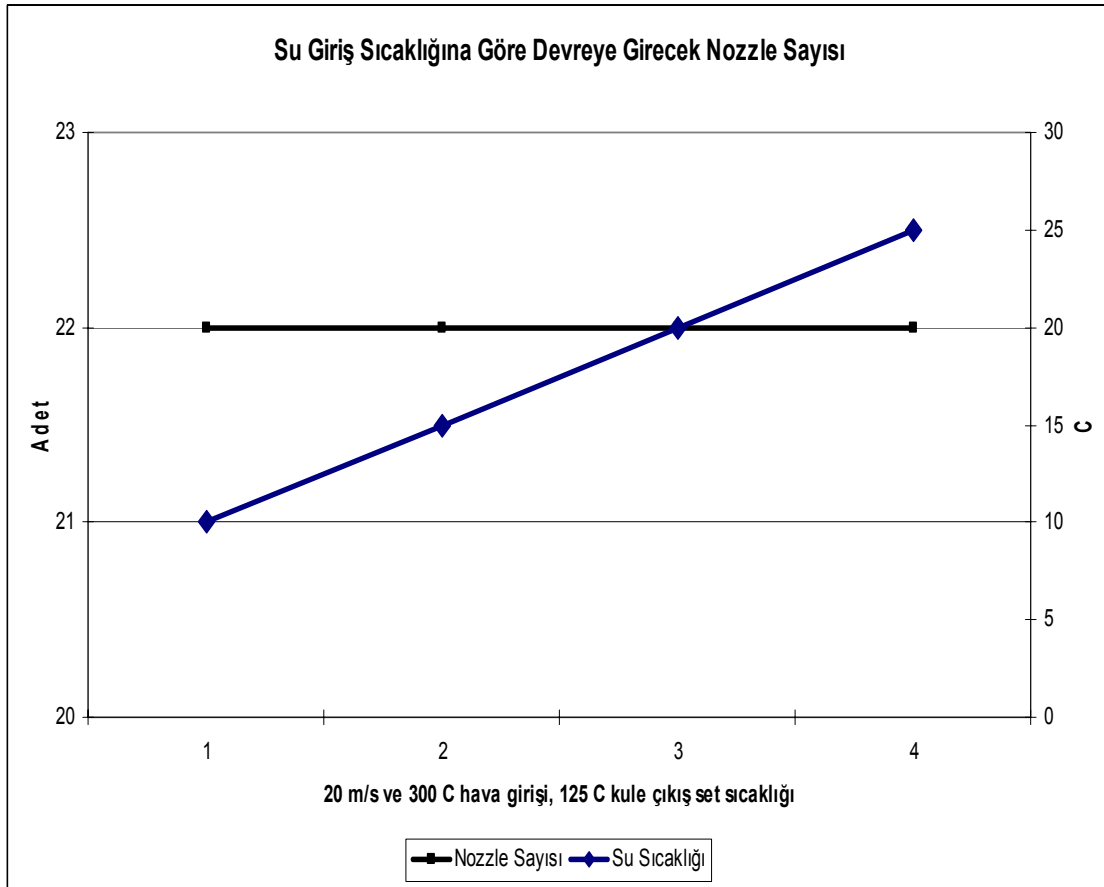
Programda set olarak girilen soğutma kule çıkışındaki hava sıcaklığının değeri de bir başka değişken parametredir. Bu parametrenin artması kulenin içindeki ısı değişiminin azalması anlamına gelmektedir. Değer yükseldikçe giren sıcak gaz ve çıkan gaz arasındaki sıcaklık farkı azalmakta dolayısı ile kele içine verilmesi gereken su miktarı da azalmaktadır. 20 m/s hava giriş hızı, 300 °C giriş sıcaklığı ve 15 °C giriş su sıcaklığı olduğu bir durumdaki devreye giren düz sayısı aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Kule çıkış gaz sıcaklık set değeri ile düz sayısı arasındaki orantı

Havanın kule çıkış set değeri 100 °C'ye çekildiğinde hava sıcaklığının 200 °C soğutulması gerekmekte olduğundan dolayı düz sayısı 25 olmuştur. Hâlbuki hava çıkış değeri 140 °C'ye set edilseydi, hava 160 °C soğutulmaya ihtiyaç duyacaktı ve bunun karşılığında 19 adet düzden çıkan su gerekli soğutmayı gerçekleştirebilecekti.

En son değişken parametre de giriş suyunun sıcaklığıdır. Kule içine verilen suyun sıcaklığı mevsimlere bağlı olarak 8 °C ile 26 °C arasında değişiklik göstermektedir. Suyun sıcaklığının düşük olması 100 °C'ye kadar olan ısınma sırasında sıcak havadan daha fazla ısının emilmesini sağlayacaktır. Ancak suyun termodinamik özelliklerine bakılınca ve giriş suyunun sıcaklığı arasındaki mevsimsel farklılıkların çok büyük olmadığına dikkat edilirse su sıcaklığı önemli bir parametre olmaktan çıkmaktadır. 20 m/s hava giriş hızı, 300 °C giriş sıcaklığı ve 125 °C kule hava çıkış set değeri olması durumundaki su sıcaklığı ve düz sayısı arasındaki ilişki aşağıdaki şekildeki gibidir.



Şekil 4.4 Su giriş sıcaklığı ile düz sayısı arasındaki orantı

Çalışma şartlarına dikkat edilirse giren su sıcaklığına çok yakın durumla programda irdelenmiştir. Sabit bir kule çalışma değerlerinde suyun 10 °C sıcaklık ile 25 °C sıcaklıkla girmesi arasında sistemde farklılık yaratacak hiçbir etken bulunmamaktadır. Her iki durumda da 22 adet düz görev yapmak durumundadır. Bu sonuçla birlikte programın bu kısmı istenilirse çıkartılabilir. Buna bağlı olarak su hattı üstünde sıcaklık ölçen ekipman ve bağlantılarına da ihtiyaç kalmamaktadır. Ancak soğutma akışkanının sıcaklık farkının yüksek olması durumunda bu basamak kesinlikle önemlidir.

BÖLÜM V

SONUÇLARIN İRDELENMESİ VE ÖNERİLER

5.1 Programın irdelenmesi

Program Microsoft Excell tabanlı yazılmış olup, Fortran, C gibi programlama dilleri ile yazılıp otomasyon programlarına adapte edilebilir. Program yazılırken bir takım kabuller yapılmış ve hesaplamalar bu kabullere göre yapılmıştır. Bu kabuller her ne kadar hesaplamaları çok fazla etkilemeseler de gerek kabullerden gerek diğer proses şartlarındaki değişiklikler, hesaba katılması gereken ancak fark edilemeyen parametreler var olsa bile sistemlere adapte edilebilir. Programın asıl amacı türdeş düzlerden kaç tanesinin devreye gireceğini hesaplamaktır. Bu hesabı mevcut programın hesaplaması ile yaptıktan sonra bu sayıya istenilen sayıda düz eklenip veya çıkartılarak sistemin en doğru şekilde çalıştırılması sağlanılabilir. Çimento fabrikalarında soğutma kulesinden beklenen iki görev, elektro filtreye gidecek gazın yeterince soğuması ve kule altına suyun sıvı fazda inmemesidir. Bu iki görevde yalnız doğru miktar ve şekilde suyun sistem içine verilmesi ile mümkündür. Günümüzde tüm mühendislik dallarında otomatik kontrol, otomasyon ile ilgili çalışmalar devam ettirilmektedir. Bu çalışmalardaki amaç insan kaynaklı hataların minimize edilmesidir. Yazılan bu programla da insanın sisteme müdahalesinin engellenmiş olması da ayrı bir kazanımdır. Programın kısa oluşu, girilen su, su buharı, havanın özkütle, entalpi değerlerinin çok fazla olmaması programın hızlı çalışmasını da sağlayabilmektedir. Program görsel değildir. Bu program otomasyon programının içine yazılacağından dolayı sistem arka planında çalışacaktır. O yüzden kullanıcılara gösterilecek herhangi bir bilgi yoktur. Kullanıcılarla paylaşılacak parametreler hangi grubun devrede olduğudur. Bunu da çalışan grubun başındaki aktüvatörlü vanadan sinyal olarak alıp ekrana taşımak gayet kolay bir iş olacaktır. Yine sistemin izlenebilirliği yönünde grup başlarına konulacak flowmetreler su akışının takibi bakımından operatöre bilgi verebilir.

Program, sistemin belirli yerlerinden belirli ölçüler alarak çalıştığı için ölçüm cihazlarının doğruluğu ve hassasiyeti çok iyi olmalıdır. Kalibreli ve ölçüme uygun cihaz seçimi pek tabii programın güvenilirliğini artıracaktır. Yine düzlerin bakımı, sudaki kirecin düzlerdeki birikiminin düzenli temizlenmesi veya suyun belirli kimyasallarla şartlandırılması, sistemin izolasyonunun yapılmış olması, gövde ve boru bağlantılarında

koroziona bağı deliklerin kontrol edilerek onarılması, mümkün ise sisteme su basan yüksek basınç pompasının yedekli ve sisteme bağı durumda olması programın etkin çalışmasını destekleyen bakımsal tedbirlerdir. Her ekipman ve sistemin sağılıklı çalışmaları için yapıldığı gibi, soğutma kulelerinin de bakımları koruyucu ve kestirimci bakım mantığı dahilinde icra edilmelidir.

Soğutma kulelerinin düzenli ve sürdürülebilir bir şekilde çalışması prosesin stabil çalışması ile mümkün olacaktır. Program stabil şartlarda çalışan bir döner fırın için çok kritik öneme haiz değildir. Fırının anlık değışebilen sıcaklık ve debi durumlarında kulenin en doğıru şekilde çalışması konusunda en çok yararı gösterecektir. Programın gerek hesaplama gerek uygulama kolaylığı aynı tip soğutma kulelerinde rahatlıkla uygulanabilirse de proste olası bir farklılık, kapasite artışı gibi değışiklikler gerektiğinde programa da işlenmeli, set değıerleri en uygun proses şartlarına göre değıştirilmelidir. Program çimento fabrikalarının genelinde kullanılan ıslak, paralel akışlı ve zorlanmış şekilde hareketi sağılanılan tüm soğutma kulelerinde uygulanabilmektedir. Bu yönüyle tüm çimento fabrikalarında var olan soğutma kule altındaki çamurlaşma problemleri bu program ile minimize edilebilir. Programda yapılan gerek kabul gerek proste öngörülemeyen sıkıntılar veya bakımsal sıkıntılardan dolayı kuleyi en doğıru şekilde şartlandırmak adına programa yazılacak tek bir komut ile düz sayılarını istenilen miktarda artırmak veya azaltmak da sistemin doğıru ve sürdürülebilir bir şekilde çalıştırılması açısından büyük fayda sağılayacaktır.

5.2 Sistemin İrdelenmesi

Sistemin doğıru çalışması için öncelikle ölçüm aletlerinin gerekli bakım, kontrol ve kalibrasyonları yapılmalıdır. Sistemi ancak sitemden alınabilecek doğıru veriler ile kontrol etmek mümkün olacaktır. Bunun haricinde sisteme verilen suyun çok iyi bir şekilde pülverize edilmesi gerekmektedir. Suyun iyi bir şekilde pülverize edilmesi ısı geçiş alanını artıracığından suyun tamamen buharlaşmasını kolaylaştıracak ve dolayısı ile hızlandıracaktır. Sisteme su basan pompalar genellikle yüksek basınçlı ve debileri yüksek pompalardır. Kulenin su basma kotunda olacak bir pompa ile basıncı daha düşük pompalara geçmek mümkün olacaktır. Çünkü genellikle çimento fabrikalarında bulunan soğutma kuleleri 40-60 metre arasındadır. Suyun bu kota çıkartılması da pompa tarafından sağılanacağı için pompa konumunun iyileştirilmesi ile (imkânlar dâhilinde) tasarruf sağılanmış olacaktır. Suyun hava ile karıştırılarak sisteme verilmesi her ne kadar

pülverizasyonu artırıcı bir özelliğe sahip olsa da basınçlı havanın elde edilme maliyeti ve sistemin hava ihtiyacının yüksekliği göz önünde tutularak kimi kulelerde fizibil olmamaktadır. Bu yüzden sistemin olabildiğince karmaşıklıktan uzak olması bakımsal sıkıntıları da beraberinde götürecektir. Çünkü her ekipman için hem koruyucu bakım yapılarak malzeme, işçilik ve hizmet anlamında bakım maliyeti artacak, hem de potansiyel bir arıza noktası oluşturulmuş olacaktır.

Pompaların yedekli çalıştırılması sistemin sürekliliği açısından önemlidir. Olası bir pompa arızası veya bakımında sistemin devamlılığı esastır. Bu yüzden ilk yatırım maliyeti her ne kadar yüksek bir nebze yüksek olsa da kulenin sağlıklı çalışması açısından bu durum önem kazanmaktadır. Sıcak gaz ihtiyacı her ne kadar farin değirmeni çalıştığı sürece ihtiyaç olup soğutma kulesine yönlendirilmese de farin değirmeninde olası bir arıza sonucu değirmenin durması sıcak ve tozlu gazın tamamının kuleye yönlendirilmesini gerektirecektir. Pompalar basınçlı olacağından pompa önlerindeki vanalar pompa çalışmasına eş zamanlı olarak mutlaka açılarak hem pompanın sağlıklı çalışması hem de vana veya sistemde sıkıntı yaratmamak adına arızaların önüne geçilmesi için önem arz etmektedir.

Kule içine verilen suyun da gerekli durumlarda şartlandırılması önemlidir. Türkiye'deki suların geneli kireç ihtiva eder. Sistem durduğunda da durgun sudaki algler de sistemi tıkamaya yönelik sorunlar açacaktır. Yosun ve kireç önleyici kimyasalların da sudaki yoğunluklarına göre suya verilmesi hem su hattının ömrü açısından hem de pülverizasyonun sağlıklı yapılabilmesi için olumlu etki sağlayacaktır.

Suyu pülverize etmekte kullanılan nozzle yapıları da önemlidir. Daha düşük basınçlar ile yapılan aynı kalitedeki pülverizasyon hem pompa basınçlarını düşürecek hem de enerji maliyetini azaltacaktır. Yine pompadaki basıncın düşmesi gerek rulman ve sızdırmazlık elemanlarının arıza ihtimalini azaltacak, hem de kademe ihtiyacını azaltacağından pompanın maliyetini düşürecektir.

Programın verimli şekilde kullanılması olası bakım faaliyetlerini azaltacağından bakım maliyetlerini aza indireyecek bu da üretim maliyetlerini aşağıya çekecektir. Bu yüzden özellikle kronikleşmiş sıkıntısı olan soğutma kulelerinde program kullanılarak sıkıntılar en az düzeye indirilebilecektir.

Doğal kaynakların verimli kullanılması son yıllarda yapılan işlerin ayrılmaz bir parçası olarak öne çıkmaktadır. Sisteme verilecek her kilogram fazla su doğal kaynakların yanlış harcanmasına sebep vererek dünyanın sürdürülebilir bir yaşam alanı olmasını engelleyecektir.

5.3 Öneriler

1. Soğutma kuleleri çimento fabrikalarında sadece sıcak gazın sıcaklığını düşürmekle kalmayıp, içindeki tozun da bir bölümünü tuttuğu için çok önemli bir toz tutucu filtre görevini de görür. Bu yüzden kulenin şartlandırılması doğru yapılmadıkça hem istenilen verim elde edilemez hem de sistemde büyük bakım maliyetleri yaratan arızalar ve proses kaybı yaşanır. Bu yüzden sistemin sağlıklı çalışması için haftalık rutin koruyucu bakımlar ile sistemin durumu kayıt altında tutulmalıdır. Bu bilgiler ile geriye yönelik istatistiki çalışmalar ile kulenin sorunları ve sorunların periyotları açığa çıkartılmış olur.

2. Soğutma kulelerinde düz bakımları kritik öneme sahiptir. Düzlerin bakımsız olması suyun pülverizasyonunu olumsuz etkileyecek olup, suyun büyük taneler ile sistem içine verilmesini sağlayacaktır. Program suyun en uygun şekilde içeri verilmesi ve kule altına inene kadar tamamen buharlaşmasını sağlamak için tasarlanmıştır. Bu ise düzlerin suyu istenilen tane boyutuna kadar küçültmesi ile mümkündür. Bu küçülme işlemi tam olarak yapılamazsa programda her ne kadar modifikasyonlar yapılarak bu sorunun önüne geçilebilse de gazın soğutulması tam anlamı ile sağlanamaz.

3. Kestirimci bakım sisteme su basan pompalar için uygulanması gereken bir bakım yöntemidir. Eğer düzler hava karışımı ile suyun verilmesini sağlayan tiplerde olmaz ise suyun pülverizasyonu çok yüksek basınçlarda sağlanabilir. 50 metrelik kule üstüne su basan bir pompada suyun minimum basıncı 25-30 bar mertebelerinde olmalıdır. Bu basınç nispeten güçlü ve yüksek devirli motorlar ile sağlanabilir. Pompa ve motor rulmanları sistematik olarak vibrasyon ölçümüne tabi tutularak olası rulman, kaplin, motor veya pompa şaselerindeki gevşeklik veya kasıntılar önceden tespit edilerek gerekli bakımların yapılması sistemin sürdürülebilirliği açısından önem taşır.

4. Sistem suları mutlaka kimyasal ve biyolojik olarak analiz ettirilmeli ve içindeki kireç ve alg ölçümleri bilinmelidir. Sistem “stand by” konumunda iken durağan su sistem

boruları ve daha çok düzlerde kesit alanlarını daraltma etkisi yapacaktır. Bu etki de gerek sistem borularını gerekse düzleri kısa sürede kullanılmaz duruma getirecektir. Bu da kule performansının önemli ölçüde düşmesini sağlayacaktır. Bu sorun da yapılan su tahlillerine göre su içine dozajlı olarak kireç ve biyolojik madde önleyiciler sayesinde giderilebilmektedir. Çok çeşitli kimyasal firmalar bu kimyasalları sağlayabilmekte olup bu maddelerin sağlığa zarar vermediği klinik raporlar ile kanıtlanmıştır.

5.Program yazılırken belirli kabuller yapılmış olup, suyun gazın ısısını almada etken tek madde olduğu kabulüne göre program yazılmıştır. Bu kabul yapılırken kulenin etrafındaki izolasyonun olması kabulü kolaylaştırmıştır. Ancak pratikte çok az da olsa kule gövdesinden dışarı atılan bir ısı da vardır. Kabulün yanlış sonuçlar vermemesi için kule ve borulardaki izolasyonların kontrol edilmesi olası izolasyon boşluklarının süratle tamirata yapılması gerekmektedir. Her ne kadar program sonuna eklenilebilecek bir satır ile kuleye su veren düz sayısı istenilen miktarda artırılıp azaltılabilse de bu seçenek mecbur kalınmadıkça kullanılmamalıdır. Doğru işlemin sistemi oluşturan ekipmanların en doğru şekilde çalıştırılması olduğu unutulmamalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Soğutma Kuleleri, Vikipedi. http://tr.wikipedia.org/wiki/So%C4%9Futma_kulesi
- [2] Fisenko, S.P and Brin, A.A., Simulation of a cross-flow cooling tower performance, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 50, 3216-3223,2007.
- [3] Qi,X.and Liu,Z., Further investigation on the performance of a shower cooling tower, *Energy Conversion and Management*,49, 570-577,2008.
- [4] Smrekar,J., Oman, J. and Sirok, B., Improving the efficiency of natural draft cooling towers, *Energy Conversion and Management*,47, 1086-1100,2006.
- [5] Williamson,N., Armfield,S., Behnia, M. Numerical simulation of flow in a natural draft wet cooling tower – The effect of radial thermofluid fields,*Applied Thermal Engineering* ,28, 178–189,2008.
- [6] Waked, R., Behnia, M., Enhancing performance of wet cooling towers, *Energy Conversion and Management* ,48,2638–2648,2007.
- [7] Qreshi ,B., Zubair,S.,Second-law-based performance evaluation of cooling towers and evaporative heat exchangers, *International Journal of Thermal Sciences*,46, 188–198,2007.
- [8] Muangnoi, T., Asvapoositkul,W. Wongwises,S., Effects of inlet relative humidity and inlet temperature on the performance of counterflow wet cooling tower based on exergy analysis, *Energy Conversion and Management*,49,2795–2800,2008.
- [9] Ming,G., Sun,F., Zhou,S., Shi,Y., Zhao,Y., Wang,N.,Performance prediction of wet cooling tower using artificial neural network under cross-wind conditions, *International Journal of Thermal Sciences*,48,583-589,2009.
- [10] Hosoz, M., Ertunc,H.M. Bulgurcu,H., Performance prediction of a cooling tower using artificial neural network, *Energy Conversion and Management*, 48, 1349–1359, 2007.
- [11] Rao, R.V., Patel,V.K. ,Optimization of mechanical draft counter flow wet-cooling tower using artificial bee colony algorithm *Energy Conversion and Management*,52, 2611-2622,2011.
- [12] Xiaoni, Q., Zhenyan,L., Dandan,L., Performance characteristics of a shower cooling tower, *Energy Conversion and Management*,48,193-203,2007.
- [13] Williamson, N., Armfield,S., Behnia, M., Numerical simulation of flow in a natural draft wet cooling tower – The effect of radial thermofluid fields *Applied Thermal Engineering*, 28, 178-189,2008.

- [14] Söylemez, M. S., On the optimum performance of forced draft counter flow cooling towers, *Energy Conversion and Management*, 45, 2335-2341,2004.
- [15] Wang, L., Nianping, L., Exergy transfer and parametric study of counter flow wet cooling towers, *Applied Thermal Engineering*,31,954-960,2011.
- [16] Hajidavalloo, E., Shakeri,R., Mehrabian,M.A., Thermal performance of cross flow cooling towers in variable wet bulb temperature, *Energy Conversion and Management*, 51, 1298-1303,2011.
- [17] Çengel, Y. ,Boles,M., *Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik*, Mc Graw Hill, 2003
- [18] Öztürk A. , Kılıç, A., Yavuz ,H., *Termodinamik ve Isı Geçişi Tabloları*, Çağlayan Kitabevi, Dördüncü yayım, 2000

EKLER

EK-A HAVANIN TERMODİNAMİK ÖZELİKLERİ

HAVA SICAKLIĞI (C)	ENTALPİ(Kj/kg)	ÖZKÜTLE(kg/m ³)
100	370,67	0,938006
110	380,77	0,913226
120	390,88	0,888446
130	400,98	0,865274
140	411,12	0,845854
150	421,26	0,826434
160	431,43	0,807014
170	441,61	0,787594
180	451,8	0,769344
190	462,02	0,753824
200	472,24	0,738304
210	482,49	0,722784
220	492,74	0,707264
230	503,02	0,69259
240	513,32	0,67989
250	523,63	0,66719
260	533,98	0,65449
270	544,35	0,64179
280	554,74	0,62975
290	565,17	0,61925
300	575,59	0,60875
310	586,04	0,59825
320	596,52	0,58775
330	607,02	0,577736
340	617,53	0,568856
350	628,07	0,559976

EK- B SU BUHARININ TERMODİNAMİK ÖZELİKLERİ

BUHAR SICAKLIĞI	ENTALPİ(kJ/kg)
100	2676,1
105	2683,8
110	2691,5
115	2699
120	2706,3
125	2713,5
130	2720,5
135	2727,3
140	2733,9
145	2740,3
150	2746,5

EK-C SUYUN TERMODİNAMİK ÖZELİKLERİ

SUYUN SICAKLIĞI (C)	ENTALPİ(kJ/kg)
10	42,01
15	62,99
20	83,96
25	104,89
30	125,79
35	146,68
40	167,57
45	188,45
50	209,33
55	230,23
60	251,13

65	272,06
70	292,98
75	313,93
80	334,91
85	355,9
90	376,92
95	397,96
100	419,04

EK-D ÖRNEK HESAPLAMA PROGRAMI

KULEYE GELEN HAVANIN HIZI (M/S)	17,5
DEVE BOYNU KESİT ALANI(M ²)	3,465
KULEYE GİREN HAVANIN HACİMSEL DEBİSİ(M ³ /S)	60,6375
KULEYE GİREN HAVANIN SICAKLIĞI (C)	300
KULEYE GİREN HAVANIN ÖZKÜTLESİ (KG/M ³)	0,60875
KULEYE GİREN HAVANIN ENTALPİSİ (Kj/kg)	575,59
KULEYE GİREN HAVANIN KÜTLESEL DEBİSİ (KG/S)	36,91307813
KULE ÇIKIŞ SICAKLIĞI (C)	130
İSTENEN ÇIKIŞ SICAKLIĞINA GÖRE HAVANIN ENALPİSİ (Kj/kg)	400,98
SICAK HAVAYA VERİLMESİ GEREKEN ANLIK ISI (Kj/s)	6445,392571
POMPA SUYUNUN SICAKLIĞI (C)	15
POMPA SUYUNUN ENTALPİSİ (Kj/kg)	62,99
GİREN SUYUN 100C SUYA GELMESİ İÇİN GEREKEN ENTALPİ FARKI	356,05
GİREN SUYUN 100 C'de BUHARLAŞMASI İÇİN GEREKEN ENTALPİ FARKI	2257
SU BUHARININ İSTENİLEN ÇIKIŞ SICAKLIĞINDAKİ ENTALPİSİ (Kj/kg)	2720,5
SU BUHARININ 130C BUHARA GELMESİ İÇİN GEREKEN ENTALPİ FARKI	44,4
1 KG SUYUN ALACAĞI TOPLAM ISI	2657,45
GEREKLİ OLAN TOPLAM SU DEBİSİ (KG/S)	2,42540502
BİR NOZZLE GİREN SUYUN KÜTLESEL DEBİSİ (KG/S)	0,133333333
DEVREYE GİRMESİ GEREKEN NOZZLE SAYISI	18