

**HİBRİT YIKAYICI / KURUTUCU İÇİN SPREYLE NEM ALMA  
SÜRECİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ**

**SEMRA GÜMRÜK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ARALIK 2015**

**ANKARA**

Fen Bilimleri Enstitü onayı

---

Prof. Dr. Osman EROĞUL

Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığını onaylarım.

---

Doç. Dr. Murat Kadri AKTAŞ

Anabilim Dalı Başkanı

Semra GÜMRÜK tarafından hazırlanan HİBRİT YIKAYICI / KURUTUCU İÇİN SPREYLE NEM ALMA SÜRECİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

---

Doç. Dr. Murat Kadri AKTAŞ

Tez Danışmanı

Tez Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Haşmet TÜRKOĞLU

Üye : Doç. Dr. Murat Kadri AKTAŞ

Üye : Doç. Dr. Ahmet YOZGATLIGİL

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atf yapıldığını bildiririm.

Semra GÜMRÜK

**Üniversitesi** : TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi  
**Enstitüsü** : Fen Bilimleri  
**Anabilim Dalı** : Makine Mühendisliği  
**Tez Danışmanı** : Doç. Dr. Murat Kadri AKTAŞ  
**Tez Türü ve Tarihi** : Yüksek Lisans – Aralık 2015

**Semra GÜMRÜK**

HİBRİT YIKAYICI / KURUTUCU İÇİN SPREYLE NEM ALMA SÜRECİNİN  
DENEYSEL İNCELENMESİ

### ÖZET

Günümüzde, çamaşır kurutma makinelerinde kurutma havası olarak kullanılan havanın neminin alınması amacıyla hava soğutmalı ya da su soğutmalı kondenserler kullanılmaktadır. Ancak bu ürünlerdeki kurutma süresinin uzunluğu, yüksek enerji ve su tüketimi gibi dezavantajlar yeni bir nem alma sistemi ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Bu çalışmada kullanılan spreyle nem alma sistemi ile çamaşır kurutma sürecinde enerji ve su tüketimini azaltmak hedeflenmektedir. Bu amaçla, çamaşır kurutma makinelerinde çamaşırların nemini alarak tamburdan ayrılan sıcak ve nemli havayı simüle eden bir deney düzeneği kurulmuştur. Deney düzeneğinde üretilen bu hava içerisine, havanın çiy nokta sıcaklığından daha düşük sıcaklıktaki su, sprej nozulu vasıtasıyla enjekte edilmiştir. Tasarlanan bu sistemde sprej kullanımının, hava ile su arasındaki temas alanını ve bunun sonucu olarak da ısı transferini artırması beklenmektedir. Nozuldan çıkan düşük sıcaklıktaki sprej damlacıkları ile nemli ve sıcak havanın etkileşimi sırasında, hava içerisindeki buhar soğuk su damlacıkları üzerinde yoğunlaşmakta ve böylelikle havanın nem oranı azalmaktadır. Yapılan çalışmada sprej su debisi, sprej su sıcaklığı, sprej enjeksiyon yönü (paralel/karşıt), nozul tipi ve hava giriş koşullarının nem alma performansı üzerine etkisi araştırılmıştır. Deney sonuçları maksimum nem alma performansının yüksek nem oranına sahip hava değerinde gerçekleştiğini göstermiştir. Su sprejinin debisinin artışı ile sprej

sonrasındaki havanın nem oranında daha fazla düşüş gözlenmiştir. Sprey enjeksiyon yönünün nem alma sistemi üzerine etkisi incelenmiş ve karşıt akıştaki nem düşüşünün paralel akışa göre daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Direkt temaslı yoğuşma, sprej nem alma

**University** : TOBB Economics and Technology University  
**Institute** : Institute of Natural and Applied Sciences  
**Science Programme** : Mechanical Engineering  
**Supervisor** : Associate Professor Murat Kadri AKTAŞ  
**Degree Awarded and Date** : M.Sc. – December 2015

**Semra GÜMRÜK**

**EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF SPRAY DEHUMIDIFICATION  
PROCESS FOR HYBRID WASHING/DRYING MACHINE**

**ABSTRACT**

Nowadays, air or water cooled condensers are used to reduce moisture of air which is used in drying machine. Because of some disadvantages of these machines such as long drying times, high energy consumption and high water consumption, a new drying system has been desired. In this investigation it is aimed to decrease the energy and water consumption for drying process. An experimental setup was designed to simulate the hot and humid air which leaves a typical drum. In our experimental setup, subcooled water at a temperature below the dew point of air is injected into the hot and humid air. It is expected to increase the contact area between the water spray and drying air and as a result heat transfer enhances. When moist air interacts with the subcooled water, steam in air condenses on water droplets. Due to condensation latent heat releases and temperature of the water droplets increases. In this system heat transfer is increased due to increased heat transfer area by using water spray.

The effects of the water mass flow rate, water spray temperature, spray configuration (parallel/counter), nozzle type and air inlet condition on dehumidification performance were investigated. Results of the present study show that increasing humidity content of air leads to higher dehumidification performance. It was also found that increasing water mass flow rate leads to higher reduction in humidity. In addition spray

configuration study revealed that counter flow leads to higher decrease in humidity ratio compared to parallel flow.

**Key words:** direct contact condensation, spray dehumidification

## TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, sabırla desteğini esirgemeyen hocam Doç. Dr. Murat Kadri AKTAŞ'a teşekkür ederim.

1488.STZ.2012-2 numaralı SANTEZ projesi kapsamında yapılan çalışmayı finansal olarak destekleyen T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, ARÇELİK A.Ş ve TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesine teşekkür ederim.

Projede ortak olarak çalıştığımız ARÇELİK A.Ş'den Fatih KASAP ve ekibine destek ve yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Bütün çalışma boyunca deney düzeneğimizle ilgili her türlü sorunda yardımımıza koşan ORASS OTOMASYON'dan Nusret ÖZTÜRK ve ekibine yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Tez jürisi üyelerinden, Prof. Dr. Haşmet TÜRKOĞLU ve Doç. Dr. Ahmet YOZGATLIGİL'e kıymetli zamanlarını ayırarak çalışmamı değerlendirdikleri için teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim süresince sağladığı burs ve her türlü imkanlar için TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesine teşekkür ederim.

Bütün hayatım boyunca yanımda olan, beni büyüten ve hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen GÜMRÜK ailesine sonsuz teşekkürler.



## İÇİNDEKİLER

<b>TEZ BİLDİRİMİ</b> .....	<b>ii</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>vii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>x</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>xii</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b> .....	<b>xiv</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. PROBLEM TANIMI</b> .....	<b>5</b>
<b>3. LİTERATÜR TARAMASI</b> .....	<b>8</b>
3.1. Deneysel Çalışmalar .....	<b>8</b>
3.2. Sayısal Çalışmalar .....	<b>9</b>
3.3. Analitik Çalışmalar.....	<b>10</b>
<b>4. DENEY DÜZENEGİ</b> .....	<b>12</b>
4.1. Arçelik 9146 YK Yıkama-Kurutma Makinesinde Mevcut Kurutma Sistemi.....	<b>12</b>
4.2. Arçelik Yıkama-Kurutma Makinesi İçin Tasarlanan Alternatif Kurutma Sistemi.....	<b>12</b>
<b>5. DENEYSEL ÇALIŞMA ve METOT</b> .....	<b>13</b>
<b>6. DENEY SONUÇLARI ve ANALİZ</b> .....	<b>24</b>
6.1. Sprey Enjeksiyon Yönünün Nem Alma Performansı Üzerine Etkisi.....	<b>29</b>

6.2. Spreyle Nem Alma Sisteminin Farklı Nem Değerlerine Sahip Hava Kullanıldığında Nem Alma Performansı .....	37
6.3. Sprey Karakterinin Nem Alma Performansı Üzerine Etkisi .....	40
6.3.1. Koniklik Açısının Nem Alma Performansı Üzerine Etkisi .....	40
6.3.2. Sprey Su Debisinin Nem Alma Performansı Üzerine Etkisi .....	42
6.3.3. Sprey Su Sıcaklığının Nem Alma Performansı Üzerine Etkisi .....	44
<b>7. BELİRSİZLİK ANALİZİ .....</b>	<b>50</b>
7.1. Sıcaklık Ölçümünde Yapılan Hatalar .....	50
7.2. Bağıl Nem Ölçümünde Yapılan Hatalar .....	50
7.3. Deneysel Hesaplamalarda Toplam Hata .....	51
<b>8. TARTIŞMA ve SONUÇ .....</b>	<b>56</b>
<b>9. GELECEK ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>59</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>60</b>
<b>EK A .....</b>	<b>63</b>
<b>EK B .....</b>	<b>69</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>70</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Çamaşır kurutma makinelerinde kurutma sisteminin şematik görünümü .	3
Şekil 1.2. Çamaşır kurutma makineleri için tasarlanan spreyle nem alma sisteminin şematik görünümü.....	4
Şekil 2.1 Hedeflenen ürün özellikleri.....	5
Şekil 2.2 Deney düzeneği elemanları şematik çizimi.....	6
Şekil 3.1 Damlacık yığın sıcaklığının zamanla değişimi. Nümerik sonuçların deneysel datalarla karşılaştırılması ( Deneysel sonuçlar: Kulic ve Rhodes 1977) ....	10
Şekil 5.1 Deney düzeneğinin katı modeli .....	13
Şekil 5.2 Sprey nozullarının enjeksiyon yönü.....	15
Şekil 5.3 Deney düzeneği.....	16
Şekil 5.4 Ölçüm probu .....	17
Şekil 5.5 Hidrolik nozul ve nozul aparatı.....	18
Şekil 5.6 Hidrolik atomizasyonlu nozullar.....	18
Şekil 5.7 Hava parçalama nozul.....	19
Şekil 5.8 Hava parçalama nozul için basınçlı hava sistemi .....	19
Şekil 5.9 Otomasyon programı arayüzü.....	20
Şekil 5.10 Hidrolik atomizasyonlu nozullar [15].....	21
Şekil 5.11 Hava atomizasyonlu nozul [15] .....	21
Şekil 5.12 Damlacık boyutları ( %5000 yakınlştırılmış) [15].....	21
Şekil 5.13 Debimetre.....	22
Şekil 5.14 Dozaj pompası .....	23
Şekil 6.1 Doğrudan temaslı yoğuşmanın psikrometrik diyagramda gösterimi .....	24
Şekil 6.2 Sıcaklığın zamana bağlı değişimi .....	26
Şekil 6.3 Bağıl nemin zamana bağlı değişimi .....	27
Şekil 6.4 Karşıt akışta kurutma havası sıcaklığının zamana bağlı değişimi .....	29
Şekil 6.5 Karşıt akışta kurutma havası bağıl neminin zamana bağlı değişimi.....	30
Şekil 6.6 Karşıt akışta kurutma havası nem oranının zamana bağlı değişimi.....	31
Şekil 6.7 Paralel akışta kurutma havası sıcaklığının zamana bağlı değişimi.....	31

Şekil 6.8 Paralel akışta kurutma havası bağıl neminin zamana bağlı değişimi .....	32
Şekil 6.9 Paralel akışta kurutma havası nem oranının zamana bağlı değişimi .....	32
Şekil 7.1 Farklı sprej enjeksiyon yönleri için elde edilen nem oranı değerlerine belirsizliğin etkisi .....	53
Şekil 7.2 Spreyle nem alma sisteminin farklı nem oranlarına sahip hava üzerindeki performansına belirsizliğin etkisi .....	53
Şekil 7.3 Farklı sprej koniklik açıları için elde edilen nem oranı değerlerine belirsizliğin etkisi .....	54
Şekil 7.4 Farklı sprej su debileri için elde edilen nem oranı değerlerine belirsizliğin etkisi .....	54
Şekil 7.5 Farklı sprej su sıcaklıkları için elde edilen nem oranı değerlerine belirsizliğin etkisi .....	55
Şekil 7.6 Farklı sprej su sıcaklıkları için elde edilen nem oranı değerlerine belirsizliğin etkisi (Hava atomizasyonlu nozul).....	55
Şekil 8.1 Spreyle nem alma sistemi üzerine etkiyen parametrelerin etkilerinin grafiksel dağılımı .....	56
Şekil 8.2 Mevcut sistem ve spreyle nem alma sisteminin karşılaştırılması .....	57

## TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1 Mevcut çamaşır kurutma sistemlerinde kurutma havasının yoğuşturucuya havanın giriş ve çıkış koşulları.....	2
Tablo 5.1. Deney düzeneğinde değişken ve ölçülecek parametreler .....	14
Tablo 6.1 Deney tekrar edilebilirlik sonuçları .....	28
Tablo 6.2 Deney tekrar edilebilirlik sonuçları standart sapma değerleri .....	28
Tablo 6.3 Sprey enjeksiyon yönünün deney düzeneğinin farklı noktalarında havanın ortalama nem oranı değeri üzerine etkisi .....	33
Tablo 6.4 Sprey enjeksiyon yönünün deney düzeneğinin farklı noktalarında havanın sıcaklık değeri üzerine etkisi.....	35
Tablo 6.5 Sprey enjeksiyon yönünün ortalama bağıl nem değerleri üzerine etkisi (nemi alınmış havanın yeniden başlangıç sıcaklığına ısıtılması sonrası).....	35
Tablo 6.6 Spreyle nem alma sisteminde farklı nem oranına sahip hava kullanıldığında nem alma performansının değişimi (ortalama nem oranı değerleri). 37	
Tablo 6.7 Spreyle nem alma sistemiyle farklı nem oranına sahip hava kullanıldığında nem alma performansının değişimi (ortalama sıcaklık değerleri).....	38
Tablo 6.8 Spreyle nem alma sistemi ile farklı nem oranına sahip hava kullanıldığında nem alma performansının değişimi (nemi alınmış havanın yeniden başlangıç sıcaklığına ısıtılması sonrası) .....	39
Tablo 6.9 Nozul koniklik açısının deney düzeneğinin farklı noktalarında havanın ortalama nem oranı değeri üzerine etkisi .....	40
Tablo 6.10 Nozul koniklik açısının deney düzeneğinin farklı noktalarında havanın ortalama sıcaklık değerleri üzerine etkisi.....	40
Tablo 6.11 Nozul koniklik açısının ortalama bağıl nem değerleri üzerine etkisi (nemi alınmış havanın yeniden başlangıç sıcaklığına ısıtılması sonrası).....	41
Tablo 6.12 Sprey su debisinin deney düzeneğinin farklı noktalarında havanın ortalama nem oranı değeri üzerine etkisi .....	42
Tablo 6.13 Sprey su debisinin deney düzeneğinin farklı noktalarında havanın ortalama sıcaklık değerleri üzerine etkisi.....	43
Tablo 6.14 Sprey su debisinin ortalama bağıl nem değerleri üzerine etkisi (nemi alınmış havanın yeniden başlangıç sıcaklığına ısıtılması sonrası) .....	43
Tablo 6.15 Sprey su sıcaklığının deney düzeneğinin farklı noktalarında havanın ortalama nem oranı değeri üzerine etkisi .....	45

Tablo 6.16 Sprey su sıcaklığının deney düzeneğinin farklı noktalarında havanın ortalama sıcaklık değerleri üzerine etkisi.....	45
Tablo 6.17 Sprey su sıcaklığının ortalama bağıl nem değerleri üzerine etkisi (nemi alınmış havanın yeniden başlangıç sıcaklığına ısıtılması sonrası).....	46
Tablo 6.18 Sprey su sıcaklığının deney düzeneğinin farklı noktalarında havanın ortalama nem oranı değeri üzerine etkisi (hava atomizasyonlu nozul).....	47
Tablo 6.19 Sprey su sıcaklığının deney düzeneğinin farklı noktalarında havanın ortalama sıcaklık değerleri üzerine etkisi (hava atomizasyonlu nozul) .....	48
Tablo 6.20 Sprey su sıcaklığının ortalama bağıl nem değerleri üzerine etkisi (hava atomizasyonlu nozul ile nemi alınmış havanın yeniden başlangıç sıcaklığına ısıtılması sonrası) .....	48
Tablo 8.1 Pamuklu kurutma programında hibrit nem alma sonuçları .....	58

## SEMBOL LİSTESİ

Sembol	Tanım
$T$	Sıcaklık
$T_b$	Yıgın sıcaklığı
$\omega$	Nem oranı
$P_{ws}$	Doymuş su buharı basıncı
$P_w$	Su buharı basıncı
$P_B$	Atmosfer basıncı
$RH$	Bağıl nem
$c_{pm}$	Buhar-hava karışımının sabit basınçta özgül ısısı
$c_{pa}$	Kuru havanın sabit basınçta özgül ısısı
$c_{pw}$	Su buharının sabit basınçta özgül ısısı
$R_a$	Gaz sabiti
$m_m$	Buhar-hava karışım kütlesi
$\Delta T$	Sıcaklık farkı
$\rho_m$	Buhar-hava karışım yoğunluğu
$\rho_{da}$	Kuru hava yoğunluğu
$\dot{V}$	Buhar-hava karışımı hacimsel debisi

## 1. GİRİŞ

Günümüzde çamaşır kurutma makinelerinde kurutma havası olarak kullanılan havanın neminin alınması amacıyla hava soğutmalı ya da su soğutmalı kondenserler kullanılmaktadır. Ancak hava soğutmalı sistemlerdeki kurutma süresinin uzunluğu ve su soğutmalı sistemlerdeki su tüketiminin fazla olması gibi dezavantajlar nedeniyle alternatif bir nem alma sistemi ihtiyacı doğmuştur.

Nem alma sistemleri absorpsiyonlu, soğutmalı ve spreyle nem alma olarak gruplandırılmıştır [1]. Soğutmalı ve spreyle nem alma sistemi havayı soğutarak nemini alma prensibine göre çalışmaktadır. Ev tipi cihazlar genellikle soğutmalı nem alma sistemine göre çalışmaktadır. Absorpsiyonlu nem alma cihazları nem tutucu bir malzeme kullanılarak havanın nemini almaya yarayan cihazlardır. Emici maddenin gözenekli yapısı yüksek iç kuvvet oluşturarak nemli havanın içerisinde su damlacıklarını çeker ve absorbe eder. Soğutuculu nem alma sistemlerinde nemli hava bir soğutma serpantininden geçerken nemini bırakır. Soğuk serpantin yüzeyiyle temas eden nemli hava içerisindeki buhar yoğunlaşarak havadan ayrılır ve ayrı bir bölümde toplanır.

Spreyle nem alma sistemlerinde hava üzerine püskürtülen su spreynin sıcaklığı nemli havanın çiy nokta sıcaklığından düşük olduğu sürece nem alma işlemi sağlanır. Su sıcaklığının hava çiy nokta sıcaklığından yüksek olması durumunda yoğunlaşma oluşmamakta, aksine hava su spreyle nemlendirilmektedir. Su spreyle temas eden havanın duyulur ısı azalırken, yoğunlaşma ile havada gizli ısı kaybı meydana gelir [1].

Buharın su spreyle üzerinde doğrudan temaslı yoğunlaşmasıyla ilgili çalışmalar son yıllarda nükleer reaktörlerin acil soğutma sistemleri, doğrudan temaslı yoğunlaştırıcılar, desalinasyon ve iklimlendirme prosesleri gibi geniş çalışma alanlarında kullanılmaya başlanmıştır. Doğrudan temaslı yoğunlaşmada hava su ile direkt olarak temas halinde iken dolaylı soğutma da su ile hava doğrudan temas halinde değildir. Dolaylı nem alma



sistemlerindeki levhaların ısı transferine direnç oluşturması nedeniyle doğrudan temaslı yoğuşma sistemleri daha etkindir [1].

Çamaşır kurutma makinelerindeki mevcut kurutma sistemi şematik olarak şekil 1.1' de gösterilmiştir. Tamburdaki ıslak çamaşırlar üzerine sıcak hava gönderilir. Çamaşırların nemini alan hava tamburdan çıkararak hava ya da su soğutmalı bir yoğuşturucu içerisinden geçer. Tablo 1.1'de mevcut kurutma makinelerinde kurutma havasının yoğuşturucuya giriş ve çıkış koşulları verilmiştir.

Havanın gerçek nem içeriğini görebilmek için nem oranı değerleri hesaplanmıştır. Nem oranı su buharı kütlesinin, kuru hava kütlesine oranı olarak tanımlanmaktadır [1].

$$Nem\ oranı = \frac{m_{buhar}}{m_{kuru\ hava}}$$

Bu denklemde;

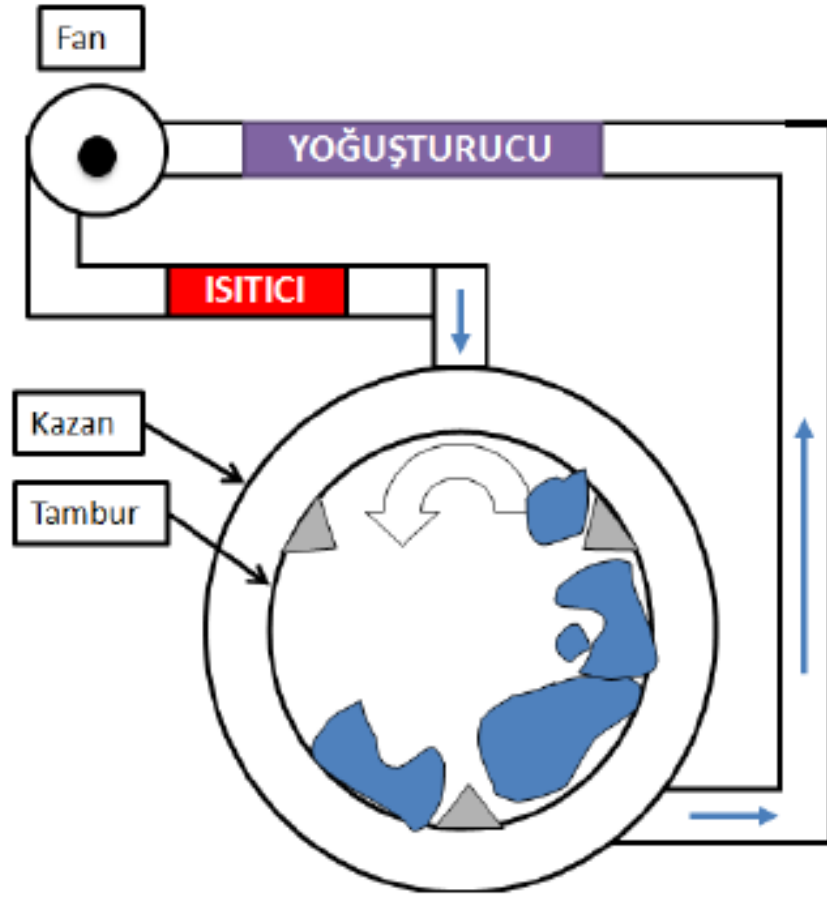
$m_{buhar}$  = buharın kütlesi (kg)

$m_{kuru\ hava}$  = kuru hava kütlesi (kg)

Tablo 1.1. Mevcut çamaşır kurutma sistemlerinde kurutma havasının yoğuşturucuya giriş ve çıkış koşulları

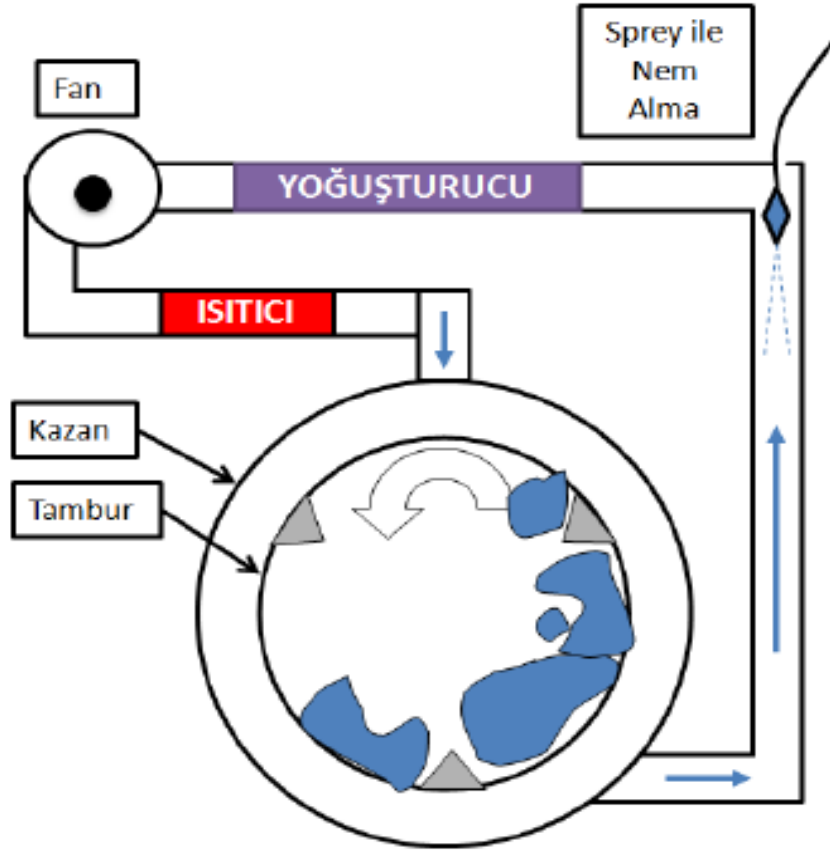
	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Nem oranı (gsu buharı/kg kuru hava)	iy Nokta (°C)
<b>GİRİŞ</b>	75	90	323.9	72.5
<b>ÇIKIŞ</b>	73	95	309.6	71.8

Yoğurturucuda nemini bırakan hava ısıtılarak tekrar çamaşırlar üzerine gönderilir. Yoğurturucu etkinliğinin nem alma konusunda yetersiz kalması çamaşırların daha uzun sürede kurumasına, bunun sonucu olarak da enerji tkretiminin artmasına ve zamanla çamaşırların yıpranmasına yol açmaktadır.



Şekil 1.1 amaşırlar kurutma makinelerinde kurutma sisteminin şematik görünümü

Kurutma makinelerinde kullanılması düşünülen spreyle nem alma sistemi şematik olarak şekil 1.2' de gösterilmiştir.



Şekil 1.2 Çamaşır kurutma makineleri için tasarlanan spreyle nem alma sisteminin şematik görünümü

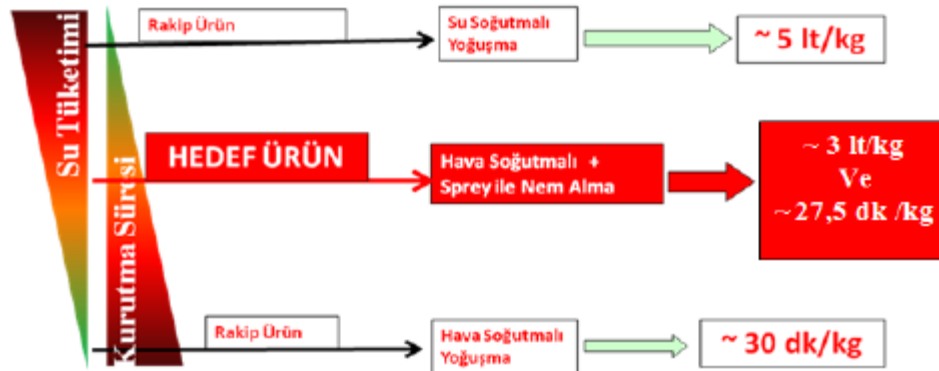
Kurutma makinelerinde tamburdan çıkan nemli hava üzerine havanın çiy nokta sıcaklığından daha düşük sıcaklıktaki su nozul aracılığıyla püskürtülür. Damlacıklar halindeki spreyle temas alanını artırdığından hava ve su arasındaki ısı ve kütle transferi artar. Hava sıcaklığı çiy nokta sıcaklığına altına düşünce hava içerisindeki nem damlacıklar üzerinde yoğuşmaya başlar. Bunun sonucu olarak da havanın özgül nemi azalır.

Bu tezde doğrudan temaslı yoğuşma prensibinden yararlanılarak, çamaşır kurutma sistemlerindeki kurutma havasının nemini almak amaçlanmaktadır. Spreyle nem alma sistemi üzerine etkileyen spreyle su debisi, spreyle su sıcaklığı, akış türü (karşıt/paralel), spreyle koniklik açısı gibi parametreler araştırılarak bu parametrelerin sistem etkinliği üzerine etkisi araştırılmış ve optimum çalışma koşulları elde edilmiştir.

## 2. PROBLEM TANIMI

Hibrit yıkayıcı/kurutucularda kurutma havasının nemini almak amacıyla hava soğutmalı ya da su soğutmalı yoğuşturucular kullanılmaktadır. Bu ürünlerdeki dezavantaj kurutma sürelerinin uzunluğu nedeniyle enerji sarfiyatına neden olması ve uzun kurutma süreleri nedeniyle zamanla çamaşırların yıpranmasıdır. Aynı zamanda piyasadaki mevcut yıkayıcı/kurutucuların tambur hacimlerinin küçük olması da çamaşırların bölünerek kurutulmasını zorunlu kılmaktadır. Siemens IQ700 hava soğutmalı yıkayıcı / kurutucularda kurutma süresi 7 kg için yaklaşık 240 dk'dır ve bu kurutma süresi değeri geleneksel kurutuculara göre uzundur.

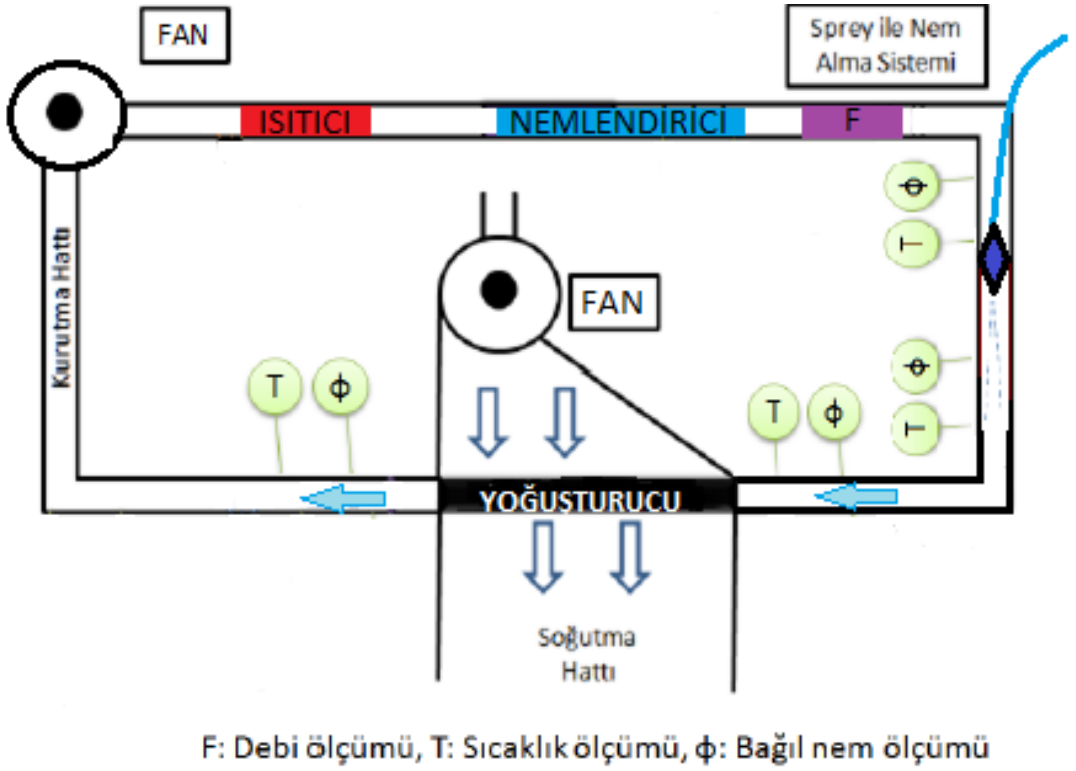
Piyasada bulunan diğer bir üründe su soğutmalı yıkayıcı / kurutuculardır. Bu ürünlerde kurutma havası su ile soğutulan bir yoğuşturucudan geçirilmektedir. Ancak kullanılan su miktarının fazlalığı bu ürünler için dezavantaj oluşturmaktadır. Su soğutmalı yoğuşturucu kullanılan Miele 2789i model ürünün 5,5 kg yıkama ve 2x2,75 kg kurutma özelliği vardır. Ürün yıkama işlemi boyunca 45 lt su harcarken kurutma işlemi boyunca ise 24 lt su kullanmaktadır.



Şekil 2.1. Hedeflenen ürün özellikleri

Yıkayıcı/kurutucularda kullanılması düşünülen spreyle nem alma sistemi ile yüksek enerji ve su sarfiyatı problemlerinin önüne geçmek amaçlanmaktadır.

Hedeflenen üründe kurutulacak çamaşırlar için 3 lt/kg su ve 27,5 dk/kg süre öngörülmektedir (Şekil 2.1). Bu amaçla TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Makine Mühendisliği Isı Bilimleri Laboratuvarı bünyesinde kurulan deney düzeneğinde deneyler yapılmıştır. Şekil 2.2’de deney düzeneğindeki elemanların şematik şekli gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Deney düzeneği elemanları şematik çizimi

- i. Deney düzeneği üzerinde nem üretici, ısıtma tesisatı ve fanları, sıcaklık, debi, basınç, bağıl nem sensörlerini bulunduran, PLC kontrollü kapalı devre bir kanal biçimindedir.
- ii. Düzeneğin ilk kısmı yıkayıcı / kurutucuda kurutma havasını simüle eden sıcak ve nemli havanın oluşturulacağı bölümdür. Bu kısımda bir buhar üretici ve elektrikli ısıtıcı kullanılacak, sıcaklık, nem ve debi otomasyonu kurulacak

sistem kurutma havasını kontrol ve tekrar edilebilir nitelikte, sürekli şartlarda sağlayacaktır.

- iii. Kapalı devre sistem içinde nemli havanın sirkülasyonu bir fan vasıtasıyla sağlanacaktır. Proses fanı frekans invertörü ile kontrol edilir. Tasarım şartlarındaki hava debisini sağlayabilmek için frekans değiştirilir.
- iv. Düzenekte hava soğutmalı yoğuşturucu kullanılarak spreyle nem alma sistemiyle beraber ve ayrı olarak çalışma sonuçları incelenecektir.
- v. Spreyle nem alma sisteminde suyun atomizasyonu için farklı tip ve kapasitelerde nozul kullanılmaktadır.
- vi. Damlacık boyutunun nem alma performansı üzerine etkisini incelemek amacıyla hava parçalamalı ve hidrolik atomizasyonlu nozullar kullanılmaktadır. Hava parçalamalı nozullar piyasada en küçük boyutta damlacık üreten nozullardır. Hidrolik tip nozullarda suyun basıncından yararlanılarak atomizasyon sağlanmaktadır.
- vii. Koniklik açısının nem alma performansı üzerine etkisini görmek amacıyla farklı koniklik açılara sahip nozullar kullanılmaktadır.
- viii. Deney düzeneğinin farklı noktalarına yerleştirilen problemler vasıtasıyla havanın sıcaklık ve bağıl nem değerleri ölçülmektedir. Elde edilen ölçümlerden yararlanılarak havanın nem içeriğini gösteren nem oranı değerleri hesaplanmaktadır.

### 3. LİTERATÜR TARAMASI

#### 3.1. Deneysel Çalışmalar

Mayinge ve Chavez [2] R113 soğutucu akışkanını kendi doymuş buharı içerisine damlacıklar halinde enjekte etmiş ve damlacıkların üzerinde oluşan yoğuşma sonrası damlacık gelişimini darbeli lazer holografi yöntemi ile incelemiştir. Elde edilen sonuçlar sıvı kütleli debisinin artırılmasıyla daha küçük damlacıklar elde edildiğini göstermiştir. Kütleli debinin artışı ile damlacık hızının doğru orantılı olarak arttığı, çevredeki doymuş buhar basıncı artırıldığında ise damlacık hızının azaldığı elde edilmiştir. Buhar basıncı ile damlacık çapı arasında doğrudan bir ilişki bulunamamıştır. Artan damlacık hızı ile ısı transfer oranının asimptotik olarak artarak maksimum bir değere ulaştığı elde edilmiştir.

Celata vd. [3] doymuş buharın soğutulmuş su damlacıkları üzerinde doğrudan temaslı yoğuşması sırasında ısı transferini etkileyen damlacık çapı ve hızı parametrelerini deneysel olarak incelemiştir. Deneysel çalışmalar ile elde edilen yoğuşma etkinliğinin saf iletim ve iç dolaşım modeli ile elde edilen sonuçlardan daha yüksek olduğu görülmüştür.

Brown vd. [4] buharın su damlacık spreyi üzerinde yoğuşması esnasındaki ısı iletimini deneysel olarak incelemiş, damlacık çapının buhar ortamındaki damlacıklar üzerindeki etkisini araştırmıştır. Damlacık çapı azaldıkça ısı transfer katsayıları ve ısı transfer oranının arttığı gözlemlenmiştir.

Ford ve Lekic [5] buhar ve su damlacıklarının doğrudan teması sırasında buharın damlacıklar üzerinde yoğuşması ile oluşan damlacık gelişimini deneysel olarak araştırmıştır. Yüksek hızlı fotoğraf çekim tekniği ile damlacıkların gelişimi kaydedilmiştir. Teorik çalışmalardan elde edilen korelasyonlarla deneysel sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür.

Hasson vd. [6] fan sprej nozul ile üretilen laminer sıvı jeti üzerinde buhar yoğuşması işlemindeki ısı transferini incelemek amacıyla bir metot geliştirdi. Isı transfer katsayısı üzerinde buhar basıncı ve buhar içerisindeki hava miktarının etkisi incelenmiştir.

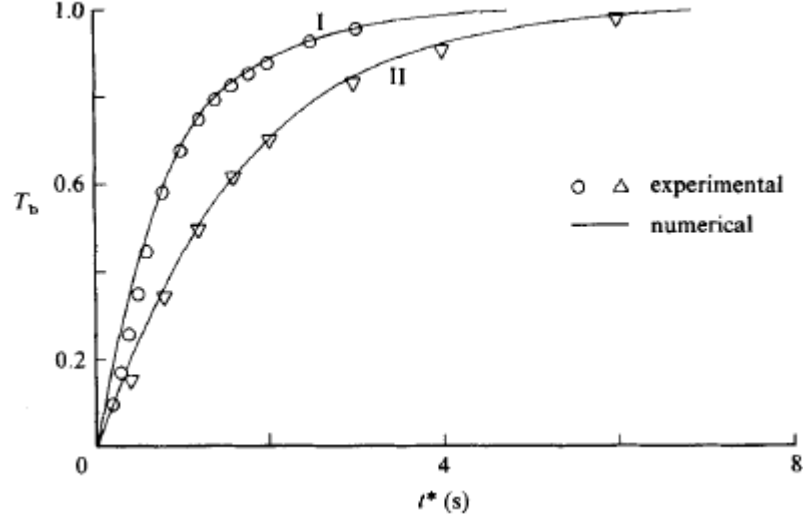
Malet vd. [7] su sprej ile hava-buhar karışımının etkileşimini ısı ve kütle transferi modeliyle incelemiş ve sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar su sprej ile etkileşimden sonra havanın sıcaklık ve nemindeki azalışın, nümerik model sonuçlarına oranla daha az olduğunu göstermiştir. Bu durumun nümerik modelde damlacık buharlaşmasının dikkate alınmamasından kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Deneysel sonuçlar ve damlacık ısı ve kütle transfer modeli sonuçlarının niteliksel olarak uyumlu olduğu görülmüştür.

El-Morsi [8] sprej soğutucu ile havanın nem alma prosesini ve bu proses üzerine etkileyen parametreleri deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Elde edilen sonuçlar su debisinin artırılmasıyla nem alma etkinliğinin arttığını göstermiştir. Sprej soğutucu etkinliği hesaplamalarında gizli yükün toplam yükün % 7.5 oluşturması nedeniyle ihmal edildiğinde sprej soğutucu etkinliğinin arttığı sonucuna ulaşılmıştır.

### **3.2. Sayısal Çalışmalar**

Sundararajan [9] , hava-doygun buhar karışımı içerisinde hareket halindeki tek bir damlacığın üzerindeki yoğuşma nedeniyle oluşan ısı ve kütle transfer mekanizmalarını nümerik yaklaşımlarla hesaplamıştır. Şekil 3.2.1'de Kulic ve Rhodes tarafından boyutsuz damlacık kütle sıcaklığı ile gösterilen analitik çalışma sonuçları ve deneysel çalışma sonuçları karşılaştırılmıştır. Damlacık yığın sıcaklığının zamanla beraber arttığını ve deneysel sonuçlar ile nümerik sonuçların tutarlı olduğu görülmüştür.





Şekil 3.1 Damlacık yığın sıcaklığının zamanla değişimi. Nümerik sonuçların deneysel datalarla karşılaştırılması ( Deneysel sonuçlar: Kulic ve Rhodes 1977)

Akira vd. [10] buhar-soğutulmuş su arayüzünde doğrudan temaslı yoğuşma prosesini üç farklı model kullanarak ısı transfer katsayısını incelemiştir. Isı iletim modeli ısı transferinin en alt sınırını bulmak için kullanılmıştır. Değiştirilmiş k-ε modeli sonuçları deneysel verilerle daha uyumlu olduğu ve diğer modellere göre daha iyi tahminde bulunduğu sonucuna varılmıştır.

### 3.3. Analitik Çalışmalar

Takahashi vd. [11] doymuş buharın soğutulmuş su spreysi üzerindeki yoğuşmasını deneysel ve analitik olarak incelemiştir. Suyun damlacıklara ayrılmadan önceki bölümünde ısı transferini belirlemek amacıyla kullanılan saf iletim modelinin yetersiz kaldığı ve bu bölümde türbülansın göz önünde bulundurulması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Lekic ve Ford [12] buharın soğutulmuş su damlacıkları üzerinde doğrudan temaslı yoğuşmasında damlacık çapı dağılımı, damlacıkların hareketi ve ısı transfer oranlarını

teorik olarak incelemiştir. Kullanılan matematiksel model ile ortalama damlacık sıcaklığı üzerine etkiyen parametreler incelenmiş ve en önemli parametrenin damlacık boyutu olduğu görülmüştür.

Lee ve Tankin [13] buhar ortamında soğutulmuş su spreynin davranışını açıklamak amacıyla bir model geliştirmiştir. Ortalama damlacık çapının buhar ortamında, hava ortamına kıyasla daha büyük olduğu sonucuna varılmıştır. Bu durumun nedeni olarak da buharın damlacıkların çevresinde yoğunlaşması ve daha önemlisi buhar ortamında suyun damlacıklara ayrılmadan önceki bölümünün kısa olmasından kaynaklandığı öngörülmüştür.

Kulic ve Rhodes [14] ani olarak üzerinde nem yoğunlaşmasına maruz bırakılan damlacığın sıcaklık dağılımını belirlemek amacıyla bir model geliştirmiştir. Elde edilen sonuçlar daha basit iki model ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmış ve sonuçta kısmi iç karışım dikkate alan ısı ve kütle transfer modelinin damlacık sıcaklığını belirlemede doğru sonuçlar verdiği görülmüştür.

## **4. DENEY DÜZENEĞİ**

### **4.1. Arçelik 9146-YK Yıkama-Kurutma Makinesinde Mevcut Kurutma Sistemi**

Beyaz eşya sektöründe mevcut çamaşır kurutma makinelerinde kurutma havasının nemini alma amacıyla hava soğutmalı ya da su soğutmalı yoğuşturucu kullanılmaktadır. Hava soğutmalı yoğuşturucu kullanıldığında kurutma süresinin uzunluğu ve su soğutmalı yoğuşturucu sistemler için su tüketiminin fazla olması gibi dezavantajlar nedeniyle yeni bir nem alma sistemi ihtiyacı doğmuştur.

Mevcut kurutma sistemlerinde hava tamburdan çıkan 75 °C, % 90 bağıl nemde çıkan hava yoğuşturucudan geçerek yaklaşık 73 °C, % 95 bağıl nemde çıkmaktadır. Yıkama-kurutma makinelerinde kurutma havası debi 15-20 lt/s mertebesinde olup kurutma havasının yoğuşturucuya giriş ve çıkış sıcaklığı ile nem değerleri solo kurutucu makineleri ile aynıdır. Yoğuşturucu kullanılan yıkayıcı-kurutucularda kurutma süresinin uzunluğu enerji sarfiyatına yol açmakta, aynı zamanda uzun süreli kurutma nedeniyle çamaşır hasar görmektedir.

### **4.2. Arçelik Yıkama-Kurutma Makinesi İçin Tasarlanan Alternatif Kurutma Sistemi**

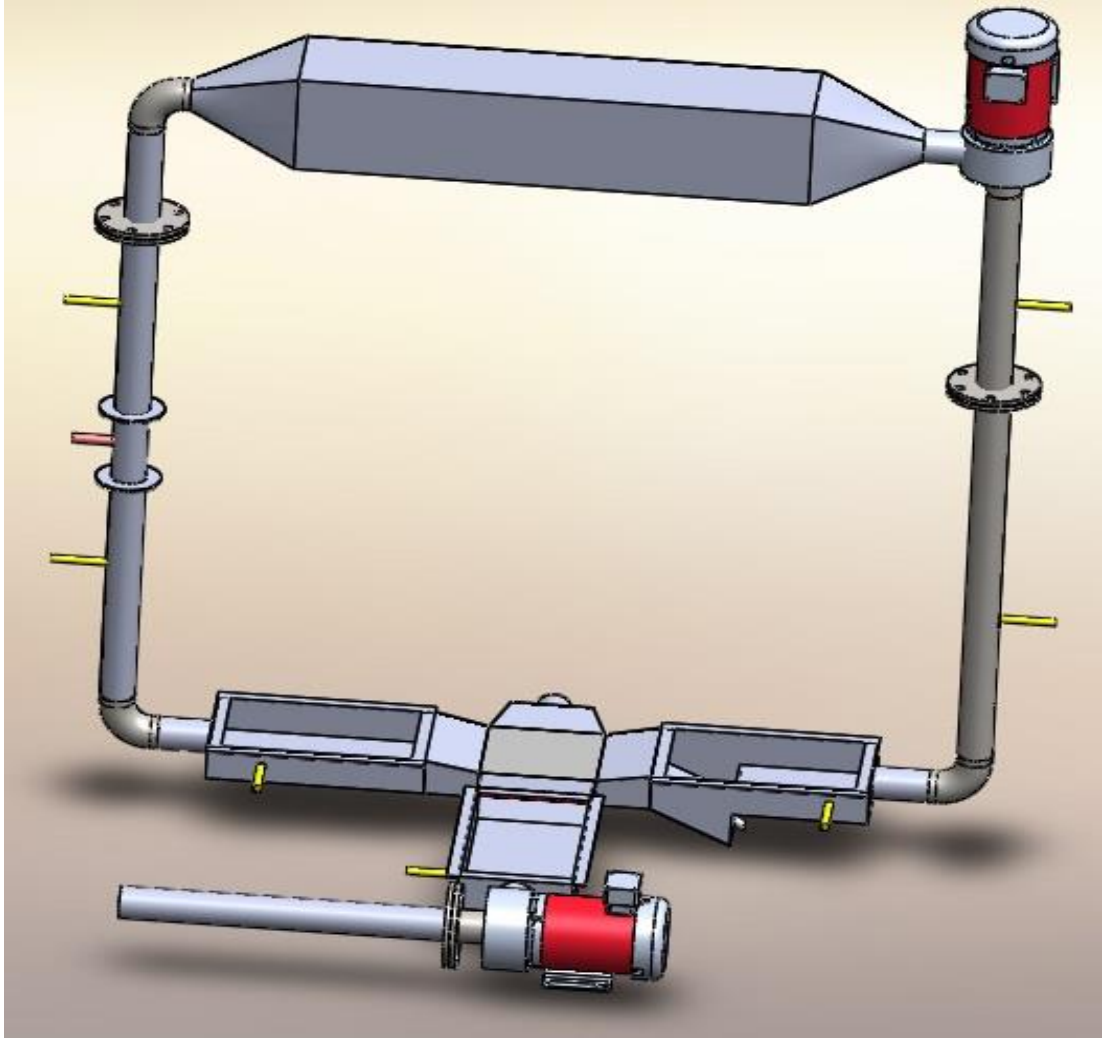
Arçelik yıkama-kurutma makineleri için kullanılması düşünülen spreyle nem alma sistemi nozul ve su girişini sağlayan aparatlardan oluşmaktadır. Havanın çiy nokta sıcaklığından daha düşük sıcaklıktaki su, sıcak ve nemli hava üzerine nozul aracılığı ile püskürtülür. Tasarlanan sistem yoğuşturucu ile çalışabildiği gibi tek olarak da kullanılabilir. Her ikisinin de etkisini görmek amacıyla beraber ve ayrı olarak deneyler yapılmıştır.

Sprey nem alma sistemi entegre edildiğinde kurutma hattı sıcaklığı düşmesi nedeniyle daha hızlı kurutma amacıyla ısıtıcı gücü artırılabilir.

## 5. DENEYSEL ÇALIŞMA ve METOT

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Teknoloji Merkezi Isı Bilimleri Laboratuvarında kurulan deney düzeneğinde spreyle nem alma sisteminde doğrudan temaslı yoğuşma prensibine etki eden parametreler incelenmiş ve optimum çalışma parametreleri belirlenmiştir.

Öncelikle kurulacak deney düzeneğinin tasarımı yapılmıştır. Şekil 5.1’de deney düzeneğinin katı modeli gösterilmektedir.



Şekil 5.1 Deney düzeneğinin katı modeli

Deneysel çalışmalar süresince incelenecek parametreler Tablo 5.1’de verilmiştir. Spreyle nem alma prosesine etki eden parametreler incelenerek nem alma performansını maksimum yapan çalışma parametrelerini belirlemek amaçlanmıştır.

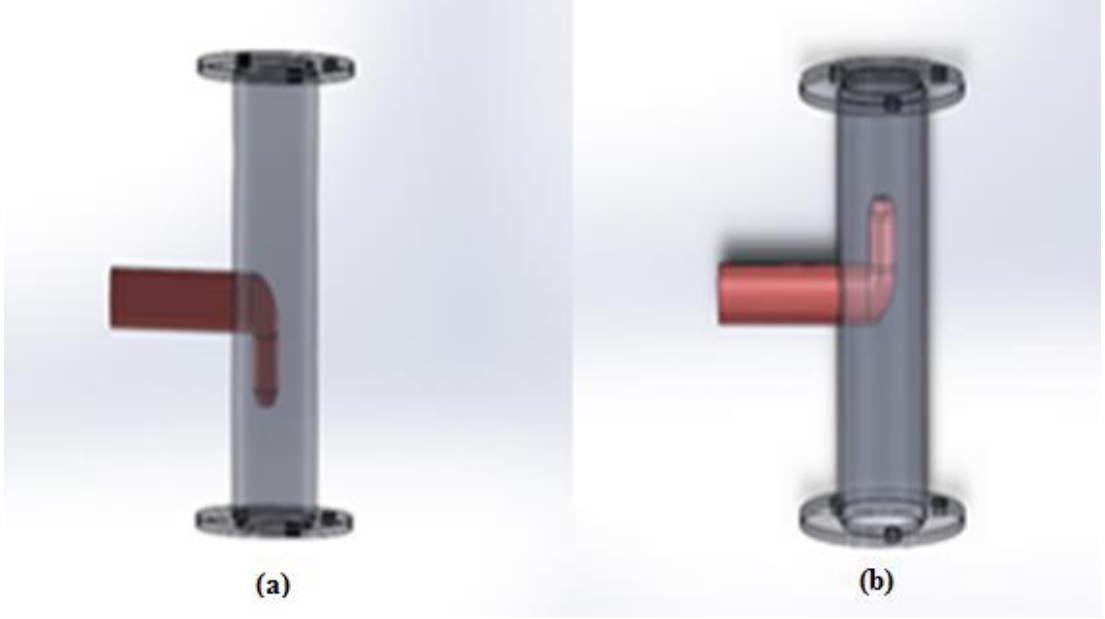
Tablo 5.1. Deney düzeneğinde değişken ve ölçülecek parametreler

Değişken Parametreler			Ölçülecek Parametreler
<i>Sprey su debisi</i>			Kuru termometre sıcaklığı
1 lt/h	5 lt/h	10 lt/h	
<i>Sprey enjeksiyon yönü</i>			Bağıl nem
Paralel akış		Karşıt akış	
<i>Sprey su sıcaklığı</i>			
10 °C	15 °C	25 °C	
<i>Nozul tipi</i>			
Hidrolik nozul		Hava atomizasyonlu nozul	
<i>Hava giriş koşulları</i>			
75 °C - % 80	65 °C - % 80	65 °C - % 50	

Sprey su debisi, spreyleme enjeksiyon yönü (karşıt ve paralel akış), nozul tipi ve spreyleme damlacığı parametreleri TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi bünyesinde incelenirken, enerji tüketimi ve kurutma süresi gibi değişkenler ARÇELİK tarafından Çayırova kampüsünde AR-GE bölümünde incelenmiştir.

Şekil 5.2’de spreyleme nozullarının akış kanalı içerisinde konumlandırılması verilmiştir. Spreyleme enjeksiyon yönünün hava akışıyla aynı yönde (paralel akış) ve hava akışına ters

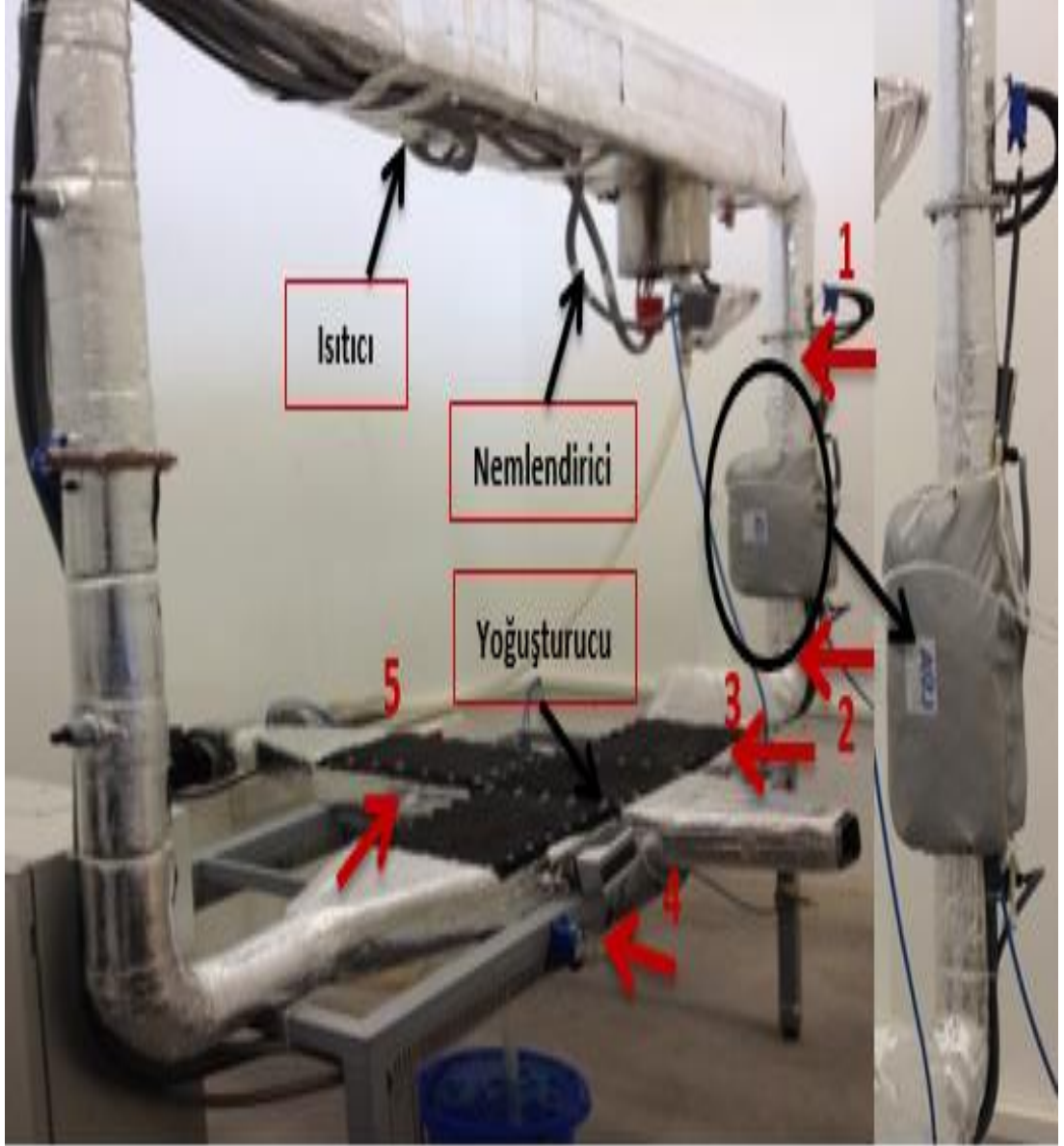
yönde (karşıt akış) olmak üzere deneyler yapılarak, maksimum nem alma performansını sağlayan sprey enjeksiyon yönü belirlenmiştir.



Şekil 5.2 Sprey nozullarının enjeksiyon yönü  
( a.Paralel Akış b.Karşıt akış )

Deney düzeneği ölçüm ekipmanları ile birlikte Şekil 5.3'te gösterilmektedir. Sistem temel olarak hava soğutmalı bir kondenser, ısıtıcı, nemlendirici ve iki fandan oluşmaktadır. Deney düzeneği paslanmaz çelikten üretilmiş ve yalıtılmıştır. Isıtıcı ve nemlendirici kullanılarak sistemin istenen sıcaklık ve bağıl nem değerlerinde havayı üretmesi sağlanmış ve otomasyon sistemi ile kontrol edilerek stabil halde deneyler yapılmıştır. Sistemdeki hava dolaşımı fan ile kontrol edilmiş ve debisi 20 lt/s olarak sabit tutulmuştur. Filtreden geçirilen su vana ile kontrollü olarak şebekeden sağlanmış ve özel bir debimetre ile sıcaklığı ve debisi ölçülmektedir. Sprey nozulu kondenserden önce yerleştirilmiş ve şebekeden sağlanan su ile atomizasyon sağlanmaktadır.

Deney düzeneğinde beş farklı noktaya yerleştirilen prob lar ile sıcaklık ve bağıl nem değerleri ölçülmektedir. Şekil 5.3'te prob konumları gösterilmiştir. Sırasıyla 1 hava girişi, 2 spre y çıkışı, 3 yoğ uşturucu girişi, 4 yoğ uşturucu çıkışı ve 5 yoğ uşturucunun soğ utma havasının sıcaklık ve bağı l nem değerlerini göstermektedir.



Şekil 5.3 Deney düzeneği

Düzenegin farklı noktalarındaki havanın sıcaklık ve bağıl nem değerlerini ölçmek amacıyla kullanılan prob ve trasmitter Şekil 5.4'te gösterilmektedir. Nozul ile püskürtülen suyun ölçümleri etkilememesi amacıyla problar üzerinde su geçirmez filtreler kullanılmıştır.



Şekil 5.4 Ölçüm probu

Şekil 5.5'te görüldüğü gibi spreyi farklı enjeksiyon yönlerinde (paralel ve karşıt akış) kullanabilmek amacıyla bir nozul aparatı kullanılmıştır.





Şekil 5.5 Hidrolik nozul ve nozul aparatı

Doğrudan temaslı spreyle nem alma performansı üzerinde damlacık çapının etkisini görmek amacıyla farklı tipte nozullar kullanılmıştır. Hidrolik atomizasyonlu nozullarda suyun atomizasyonu doğrudan su basıncı ile sağlanmaktadır (Şekil 5.6). Piyasada bulunan ve en küçük damlacık çapını ürettiği bilinen hava parçamalı nozullar ile suyun atomizasyonu basınçlı hava kullanılarak sağlanmaktadır (Şekil 5.7). Spraying Systems'den satın alınan '1/4 J SU1A' tip nozulun kullanılması amacıyla kurulan basınçlı hava sistemi Şekil 5.8'de gösterilmiştir. Basınçlı hava sisteminde hat üzerinde regülatör ve filtre konumlandırılmıştır.



Şekil 5.6 Hidrolik atomizasyonlu nozullar



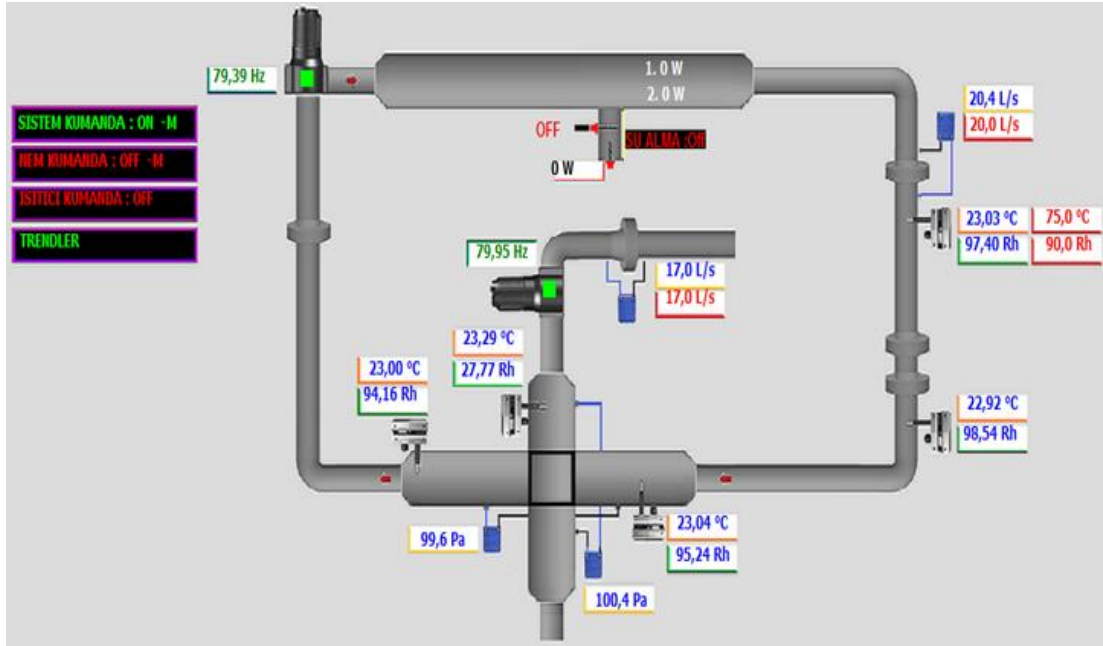
Şekil 5.7 Hava parçalamalı nozul



Şekil 5.8 Hava parçalamalı nozul için basınçlı hava sistemi

Çalışmada spray soğutma ve nem alma sistemi incelenmiş ve bu sisteme etki eden çalışma parametreleri araştırılmıştır. Sistem otomasyonla kontrol edildiğinden istenilen set değerleri için deney yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

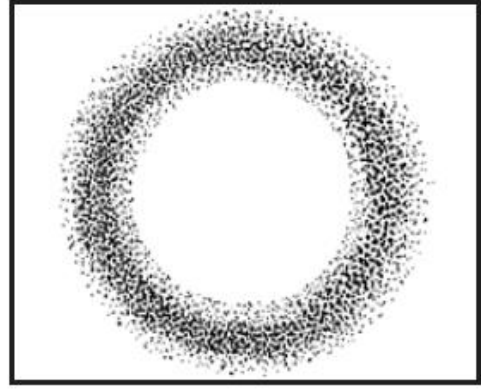
Sprey öncesine yerleştirilen prob havanın nem ve sıcaklık değerini ölçerek otomasyon programına göndermekte, program bu değerlere göre ısıtıcı ve nemlendiriciyi açıp kapayarak istenilen set değerlerine sistemi ulaştırmakta ve bu değerlerde sistemin sabit kalmasını sağlamaktadır. İstenilen set değerleri program arayüzünü kullanarak sisteme tanımlanabilmektedir (Şekil 5.9).



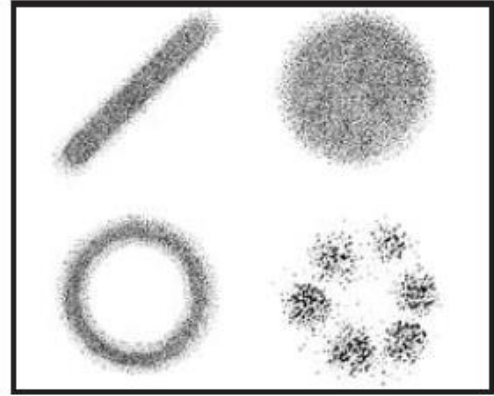
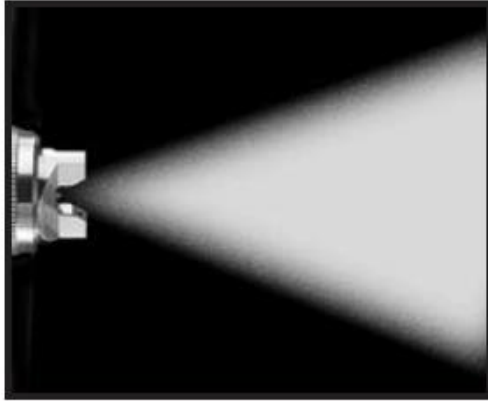
Şekil 5.9 Otomasyon programı arayüzü

Şekil 5.10 ve Şekil 5.11’de Spraying Systems firmasından alınan hidrolik ve hava atomizasyonlu nozullarda sprej dağılımı görülmektedir. Satın alınan hidrolik nozul içi boş yuvarlak şeklinde sprej modeli sergilerken hava atomizasyonlu nozul dolu yuvarlak bir iz bırakmaktadır. Spraying Systems firması tarafından sağlanan katalogta basınca ve debiye bağlı olarak farklı olmakla beraber hidrolik nozullar ve hava parçalama nozulları için yaklaşık damlacık boyutları verilmiştir. Deneylerde hidrolik nozullar için kullanılan 5 lt/h ve 10 lt/h debide su sprej için damlacık çaplarının yaklaşık 100 µ mertebesinde olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.10). Hava parçalama nozul için 1 lt/h debide yaklaşık olarak 15 µ çapında damlacık ürettiği bilgisi firma katalogundan elde edilmiştir (Şekil 5.11).

Şekil 5.12’de damlacıkların % 5000 yakınlığındaki boyutları gösterilmektedir [15].



Şekil 5.10 Hidrolik atomizasyonlu nozul [15]



Şekil 5.11 Hava atomizasyonlu nozul [15]



15 mikron



100 mikron

Şekil 5.12 Damlacık boyutları (% 5000 yakınlaştırılmış )

Hava parçalamalı nozullara göre daha büyük çapta damlacık üreten hidrolik nozullara su beslemesi ilk olarak şebekeden sağlanmış, suyun atomizasyonu ise şebeke basıncıyla sağlanmıştır. Şebeke hat çıkışına yerleştirilen özel yapım bir debimetre ile şebeke suyunun sıcaklık, basınç ve debisi görülebilmektedir. Ancak şebeke su sıcaklığının mevsime ve günlere göre değişiklik göstermesi parametrelerin tek olarak incelenmesine engel olmuştur. Bu amaçla bir dozaj pompası temin edilmiş ve istenilen sıcaklıkta su kullanılarak, su sıcaklığının spreyle nem alma performansı üzerine etkisi incelenmiştir. Kullanılan debimetre ve dozaj pompası Şekil 5.13 ve Şekil 5.14’te gösterilmiştir.



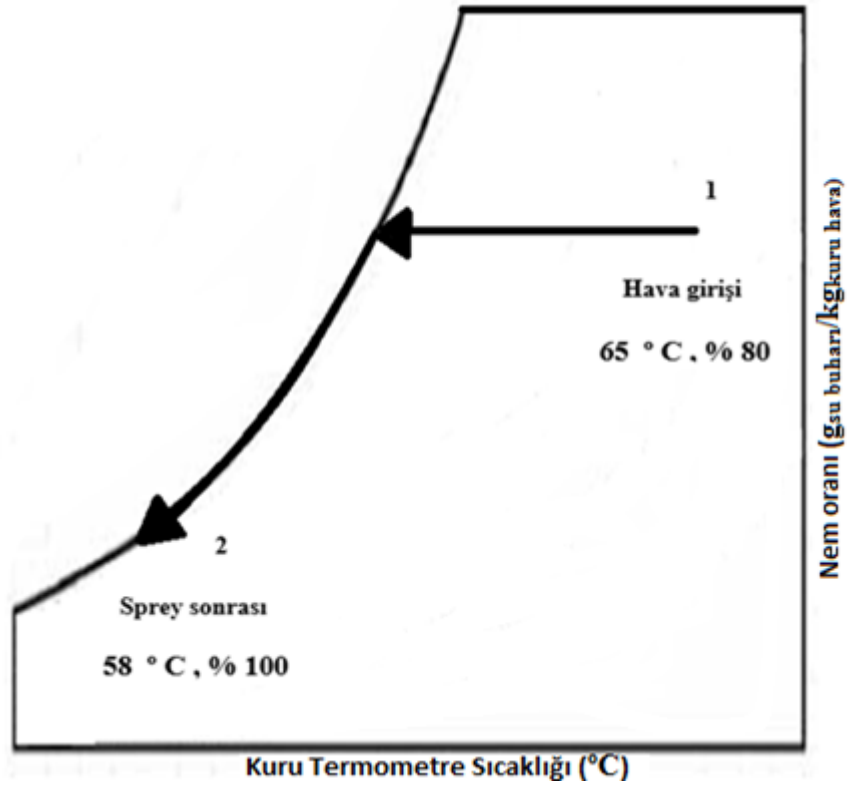
Şekil 5.13 Debimetre



Şekil 5.14 Dozaj pompası

## 6. DENEY SONUÇLARI ve ANALİZ

Spreyle nem alma sistemi doğrudan temaslı yoğuşma prensibine göre çalışmaktadır. Hava üzerine çiy nokta sıcaklığından daha düşük sıcaklıktaki su püskürtüldüğünde hava sıcaklığı hızla düşmeye başlar ve bu esada havanın bağıl nemi artar. Çiy nokta sıcaklığı buharın küçük damlacıklar şeklinde yoğuşmaya başladığı sıcaklıktır [1]. Hava sıcaklığı çiy nokta sıcaklığına ulaştığında havanın bağıl nemi % 100 olmaktadır. Bu noktadan sonra hava soğumaya devam ettikçe içerisindeki buhar, püskürtülen su damlacıkları üzerinde yoğuştuğundan havanın nem oranı azalmaya başlar. Bu koşullarda havanın gerçek nem içeriğini gösteren değer özgül nem ( nem oranı ) dir. Doğrudan temaslı yoğuşma adı verilen bu proses Şekil 6.1’de psikrometrik diyagram üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 6.1 Doğrudan temaslı yoğuşmanın psikrometrik diyagramda gösterimi

Deneylere başlamadan önce ilk aşamada deney düzeneğinin set değerine ulaşması ve farklı parametrelerin incelenmesi esasında istenilen değerlerde kalma durumu test edilmiştir.

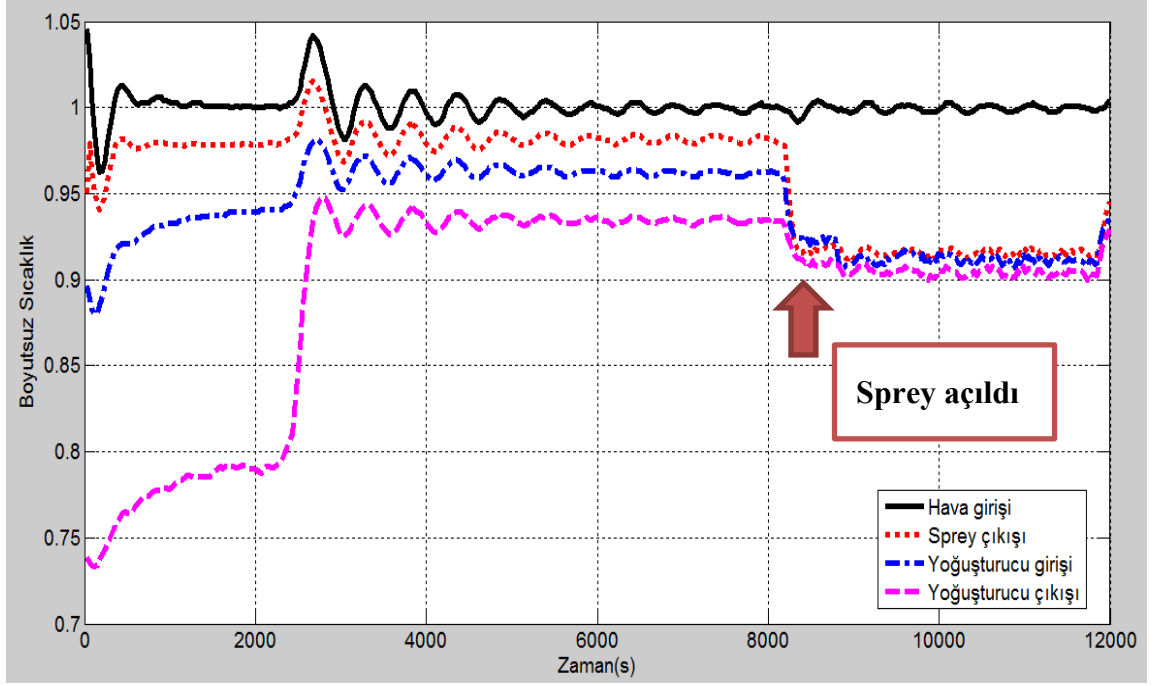
Örnek bir deneyin sonuçları Şekil 6.2 ve Şekil 6.3'te gösterilmiştir. Deney düzeneği ilk açıldığında sistemdeki problemler ile yapılan ölçümlerin doğruluğunu artırmak amacıyla öncelikle sistemde sadece ısıtıcı ve fan açılarak kurutma işlemi sağlanır. Daha sonra yaklaşık olarak bir saat süre ile sistemin istenilen sıcaklık değerinde stabil hale gelmesi için beklenir. Sıcaklık set değerinde stabil kaldığı anda nemlendirici açılarak düzeneğin istenilen bağıl nem değerlerine ulaşması beklenir. Sistem istenilen değerlere ulaştığında ve kabul edilebilir sapmalar ile stabil halde kalması sağlandıktan sonra ölçümler yapılmıştır.

Şekil 6.2'de deney düzeneğinin ilk açıldığı andan itibaren sistemdeki havanın boyutsuz sıcaklık değerleri gösterilmektedir. Boyutsuz sıcaklık değerleri düzeneğin farklı ölçüm noktalarından alınan sıcaklık değerlerinin, havanın sisteme giriş sıcaklığına bölünmesi ile elde edilmiştir.

$$\text{Boyutsuz sıcaklık} = \frac{T}{T_{\text{Giriş}}} \quad (6.1)$$

Belirli bir süre sonunda sıcaklık değerinin set değerine oturduğu ve stabil kaldığı görülmektedir.

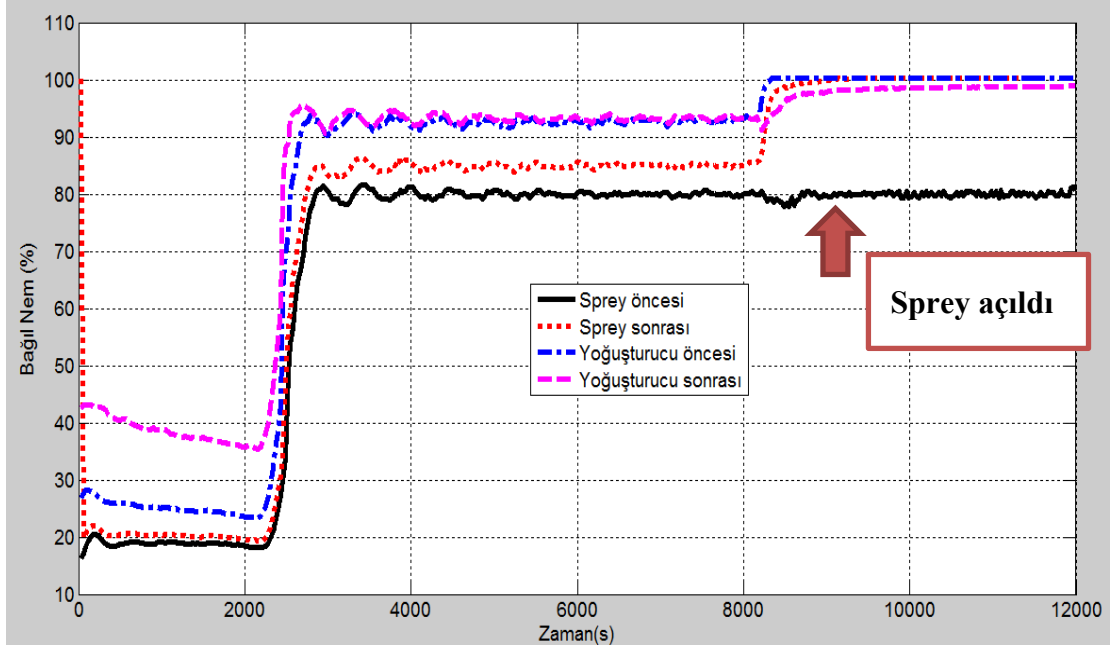




Şekil 6.2 Sıcaklığın zamana bağlı değişimi

Şekil 6.3'te havanın bağıl neminin sistem açıldığından deney sonuna kadar değişimi görülmektedir. Bağıl nem değerlerinin zamanla istenilen değerlere ulaşmasıyla sistem stabil hale gelmektedir.

İlk olarak sprej enjeksiyon yönünün nem alma performansı üzerine etkisi araştırılmıştır. Daha sonra spreyle nem alma sisteminin farklı bağıl nem değerlerine sahip hava üzerindeki performansı incelenmiştir. Sprej nozuluyla ilgili damlacık çapı, koniklik açısı, sprej su debisi ve sıcaklığı gibi parametrelerin etkisi gözlemlenmiştir.



Şekil 6.3 Bağıl nemin zamana bağlı değişimi

Deney sırasında ölçülen sıcaklık ve bağıl nem değerlerinden yararlanılarak nem oranı aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanır.

$$\omega = 0,622 * \frac{P_w}{P_B - P_w} \quad (6.2)$$

$$P_{ws} = 6.11 \times 10^{\left(\frac{7.5 \times T}{237.3 + T}\right)} \quad [17] \quad (6.3)$$

$$RH = \frac{P_w}{P_{ws}} \times 100 \quad (6.4)$$

$$P_w = \frac{P_{ws} \times RH}{100} \quad (6.5)$$

Bu denklemdede;

$\omega$  = nem oranı (kg/kg)

$P_w$  = Su buharı basıncı (hPa)

$P_{ws}$  = Doymuş su buharı basıncı (hPa)

$P_B$ =Atmosferik basınç (hPa)

T= Sıcaklık (°C)

RH=Bağıl nem (%)

Nem oranı su buharı kütesinin kuru hava kütesine oranını, bağıl nem ise belirli bir sıcaklıkta kuru hava içerisindeki su buharının, o sıcaklıkta havanın taşıyabileceği maksimum su buharına oranını göstermektedir [1].

Tablo 6.1’de gösterilen deney 1 ve 2 ile deney 3 ve 4 aynı değişken parametreler ile farklı günlerde yapılan deneylerdir. Yapılan deneylerde aynı tip nozul kullanılmış ve spray su debisi 10 lt/h olarak sabit tutulmuştur. Deney 1 ve 2 ile deney 3 ve 4 kendi içerisinde karşılaştırıldıklarında yüzde standart sapma değerleri deneylerin tekrar edilebilirlik açısından kabul edilebilir olduğu görülmektedir (Tablo 6.2).

Tablo 6.1 Deney tekrar edilebilirlik sonuçları

Deney No	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Akış Türü	Su Sıcaklığı (°C)	ORTALAMA NEM ORANI (g/kg)				
					Sprey öncesi	Sprey sonrası	Yoğuşturucu sonrası	Fark (sprey)	Fark (sprey+yoğuş)
1	65	80	KARŞIT	15	152,7	146,9	134,5	5,8	18,2
2	65	80	KARŞIT	15	153,2	148,2	135,2	5,0	18,0
3	65	80	KARŞIT	10	153,2	140,8	129,8	12,4	23,4
4	65	80	KARŞIT	10	153,0	141,1	130,7	11,9	22,3

Tablo 6.2 Deney tekrar edilebilirlik sonuçları standart sapma değerleri

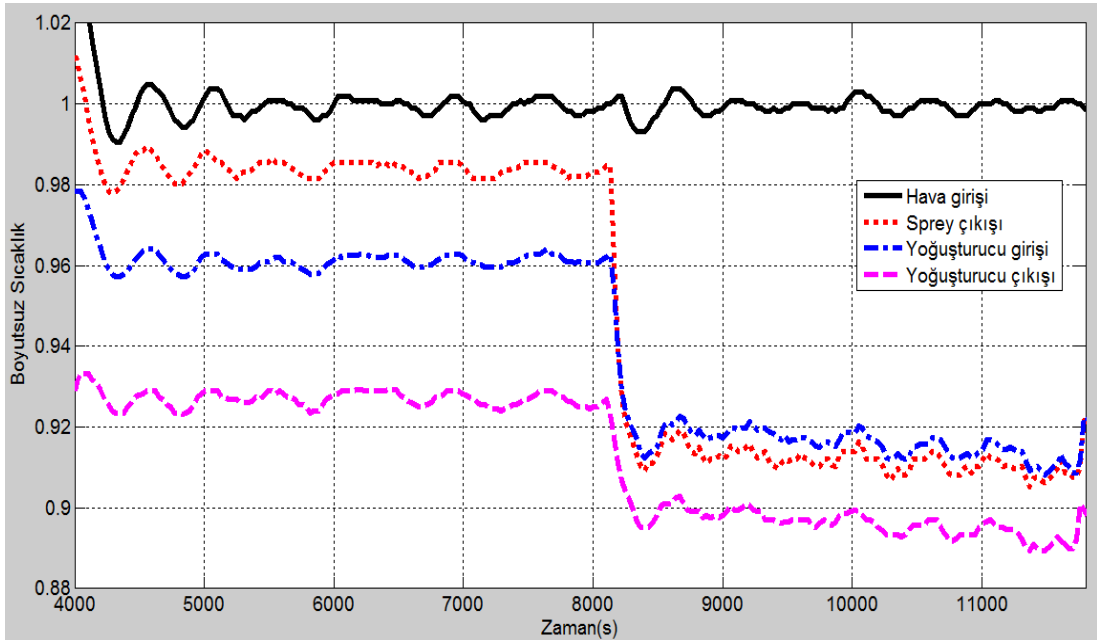
Deney No	STANDART SAPMA (%)		
	Sprey öncesi	Sprey sonrası	Yoğuşturucu sonrası
1 & 2	0,2	0,6	0,4
3 & 4	0,1	0,2	0,5

## 6.1. Sprey Enjeksiyon Yönünün Nem Alma Performansı Üzerine Etkisi

Sprey enjeksiyon yönünün nem alma üzerine etkisini incelemek amacıyla aynı sıcaklık ve bağıl nemdeki hava kullanılmış ve sprej su debisi 10 lt/h olarak sabit tutulmuştur. Düzeneğin farklı konumlarına yerleştiren özel yapıdaki problemler ile havanın sıcaklık ve nem değerleri ölçülmüştür. Sprej öncesindeki prob havanın sisteme giriş sıcaklık ve bağıl nem değerini göstermektedir. Sistem bir saat süreyle sprej kullanılmadan çalıştırılarak set değerine ulaşması beklenmiştir. Set değerine ulaştıktan sonra bir saat süre ile sprej nozulu aktif hale getirilerek deneyler gerçekleştirilmiştir.

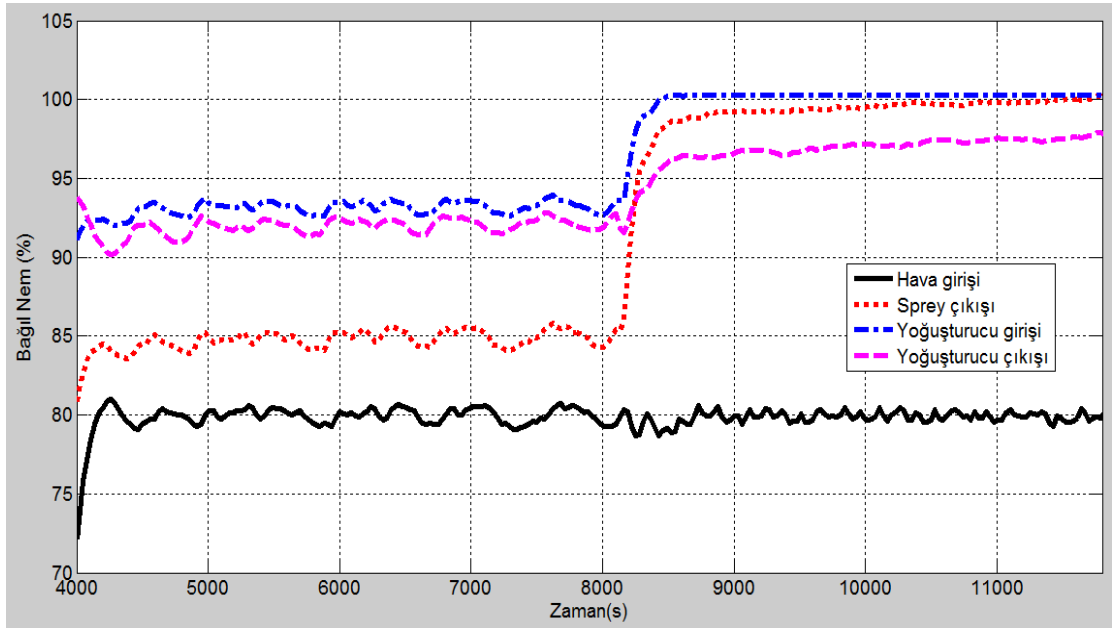
Şekil 6.4'te karşıt akış için kurutma havasının düzeneğin farklı konumlarındaki zamana bağlı boyutsuz sıcaklık değerleri gösterilmiştir.

Boyutsuz sıcaklık, düzeneğin farklı konumlarındaki havanın sıcaklık değerinin, havanın sisteme giriş sıcaklığına bölünmesi ile elde edilen değerdir.



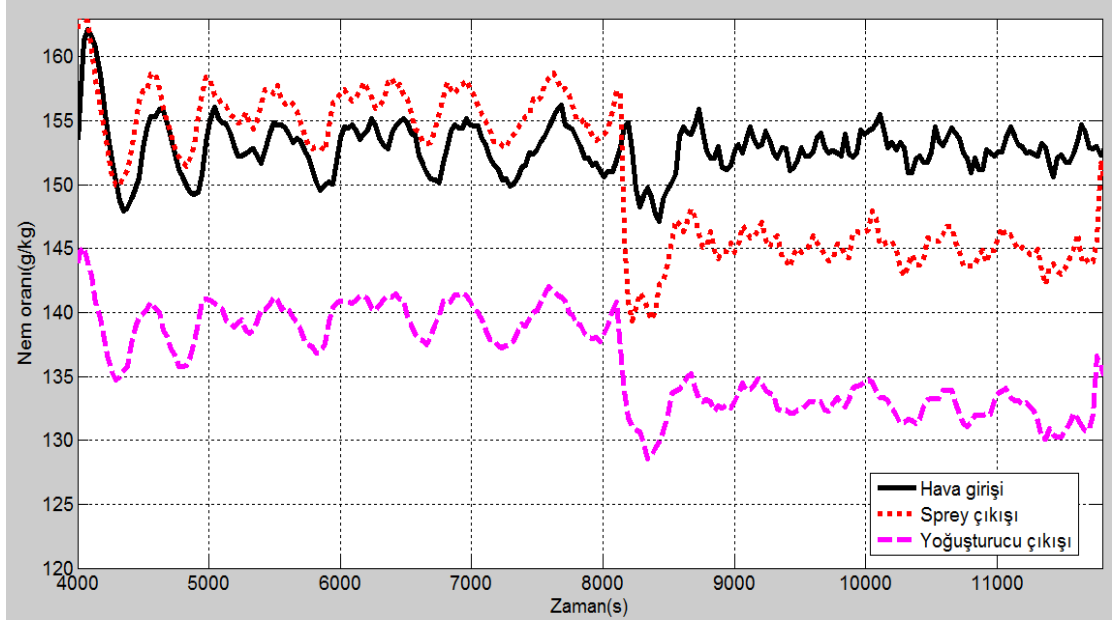
Şekil 6.4 Karşıt akışta kurutma havası sıcaklığının zamana bağlı değişimi

Sprey açıldıktan sonra hava sıcaklığı hızla düşmeye başlamakta ve bir süre sonra çiy nokta sıcaklığının altına düşmektedir. Sıcaklığı azalan hava çiy nokta sıcaklığına ulaştığı anda bağıl nemi % 100'e çıkmaktadır (Şekil 6.5). Havanın nem içeriğini gösteren nem oranı değerleri bağıl nem ve sıcaklık verilerini kullanarak hesaplanmıştır.



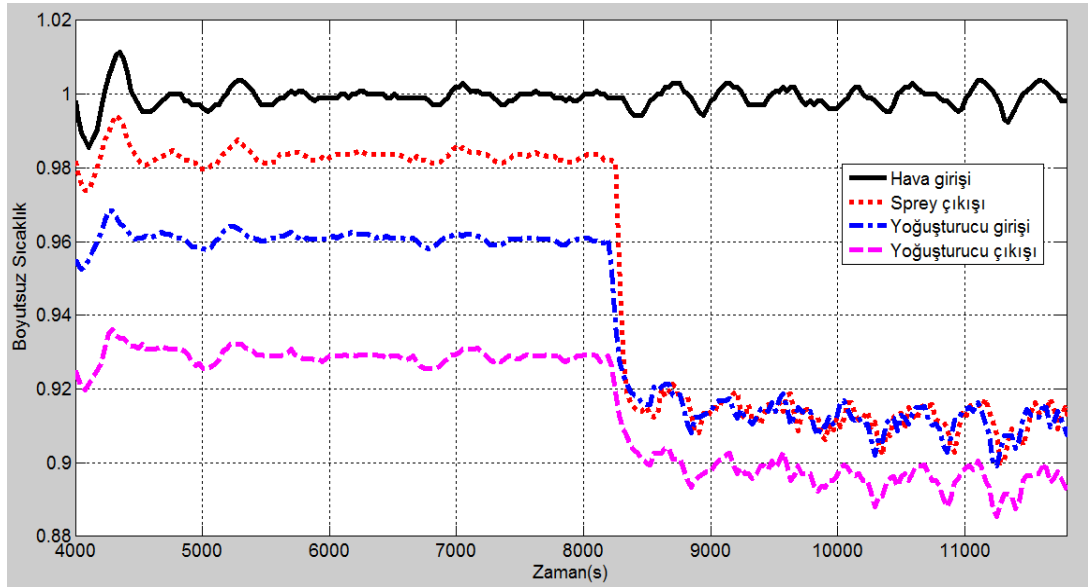
Şekil 6.5 Karşıt akışta kurutma havası bağıl neminin zamana bağlı değişimi

Şekil 6.6'da spreyn püskürtülmesinden önce hava nem oranı yaklaşık olarak 153 g/kg iken, spreyden sonra bu değer yaklaşık olarak 145 g/kg değerine düşmektedir. Sprey ve yoğuşturucunun etkisini bir arada incelemek için sprey öncesi ve yoğuşturucu sonrası değerleri karşılaştırmak gerekmektedir. Yoğuşturucu sonrasındaki nem oranı ise 132 g/kg değerine düştüğü gözlenmektedir. Yapılan deneyler spreyn tek başına nem alma konusunda etkili olduğunu, sprey ve yoğuşturucunun bir arada kullanılmasıyla daha iyi nem alma performansı sağlandığını göstermiştir.

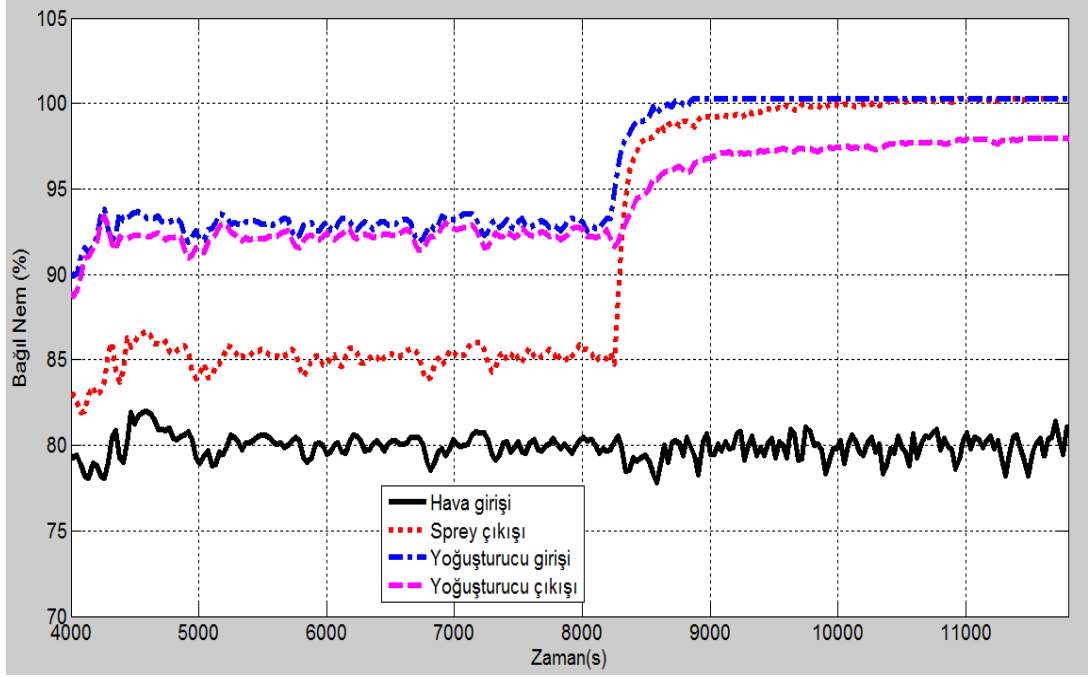


Şekil 6.6 Karşıt akışta kurutma havası nem oranının zamana bağlı değişimi

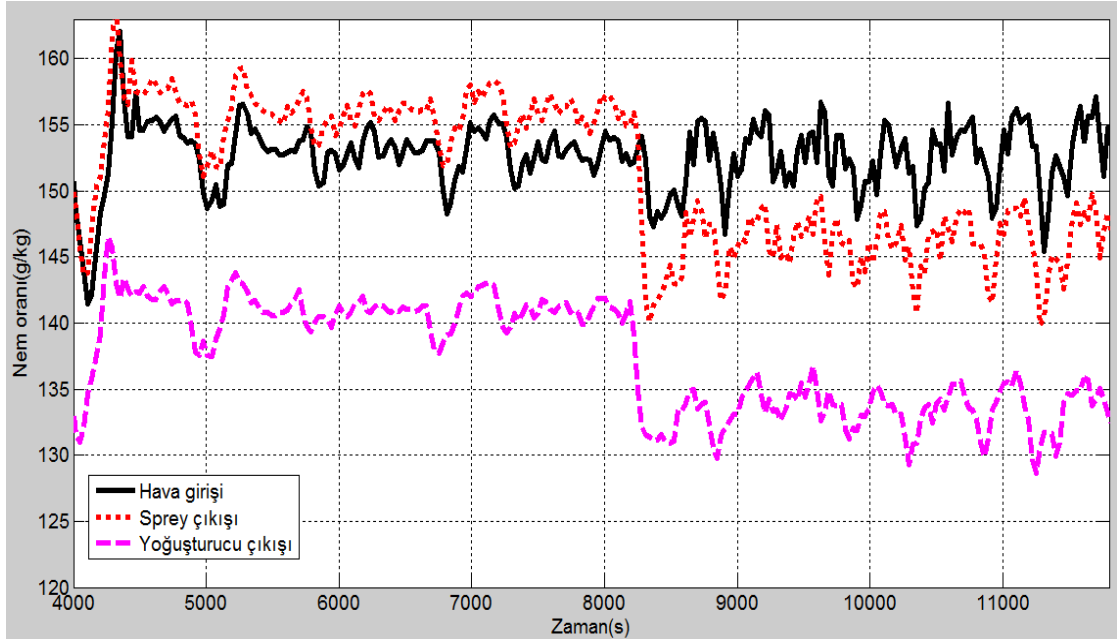
Şekil 6.7, Şekil 6.8 ve Şekil 6.9' da sırasıyla boyutsuz sıcaklığın, bağıl nemin ve nem oranının paralel akış için zamana bağlı değişimi gösterilmektedir.



Şekil 6.7 Paralel akışta kurutma havası sıcaklığının zamana bağlı değişimi



Şekil 6.8 Paralel akışta kurutma havası bağıl neminin zamana bağlı değişimi



Şekil 6.9 Paralel akışta kurutma havası nem oranının zamana bağlı değişimi

Tablo 6.3'te test sonuçları karşıt akış ve paralel akış için hesaplanan ortalama nem oranı değerlerini göstermektedir. Sprey ve yoğuşturucu beraber ve ayrı olarak kullanıldığında elde edilen sıcaklık ve bağıl nem değerlerinden yararlanılarak nem oranı ( özgül nem) değerleri hesaplanmıştır. Sadece sprey kullanılan deneylerde karşıt akışta nem oranındaki fark 7,7 g/kg iken paralel akışta bu değer 6,6 g/kg olmaktadır.

Tablo 6.3 Sprey enjeksiyon yönünün deney düzeneğinin farklı noktalarında havanın ortalama nem oranı üzerine etkisi

ORTALAMA NEM ORANI (g/kg)								
Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Akış Türü	Su Sıcaklığı (°C)	Sprey önce	Sprey sonra	Yoğuşturucu sonrası	FARK (sprey)	FARK (sprey+yoğuş)
65	80	KARŞIT	21,64	152,9	145,1	132,9	7,7	20,0
65	80	PARALEL	22,70	152,7	146,2	133,5	6,6	19,3

Çamaşır kurutma makinelerinde nemi alınmış hava tekrar başlangıç sıcaklığına ısıtılarak çamaşırlar üzerine gönderilmektedir. Yapılan deneylerde spreyle nemi alınmış havanın sıcaklığı sanal olarak tekrar giriş sıcaklığına yükseltildiğinde elde edilecek bağıl nem değerleri aşağıdaki eşitliklerle hesaplanmıştır. Bu ısıtma sırasında gereken güç miktarı eşitlik 6.9 ile elde edilmiştir.

$$\omega = 0,622 * \frac{P_w}{P_B - P_w} \quad (6.6)$$

$$c_{pm} = c_{pa} + \omega * c_{p\omega} \quad [20] \quad (6.7)$$

$$m_m = \dot{V} * \rho_m \quad (6.8)$$

$$Q = m_m * c_{pm} * \Delta T \quad (6.9)$$

$$\rho_{da} = P / (R_a * T) \quad (6.10)$$

$$\rho_m = \rho_{da} * (1 + \omega) / (1 + 1.609 * \omega) \quad [21] \quad (6.11)$$



Bu denklemlerde;

$$P_B = \text{Atmosfer basıncı, (101325 Pa)}$$

$$P_w = \text{Buhar basıncı (Pa)}$$

$$c_{pm} = \text{Buhar-hava karışımının sabit basınçta özgül ısısı (kJ/kg. °C)}$$

$$c_{pa} = \text{Kuru havanın sabit basınçta özgül ısısı, 1.00 (kJ/kg. °C)}$$

$$c_{p\omega} = \text{Su buharının sabit basınçta özgül ısısı, 1.86 (kJ/kg. °C)}$$

$$R_a = \text{Gaz sabiti, 287 (J/kg °K)}$$

$$\omega = \text{Nem oranı (kg/kg)}$$

$$m_m = \text{Buhar -hava Karışım kütlesi, 20 lt/s=0.02 m³/s = 0.0193 kg/m³}$$

$$\Delta T = \text{Sıcaklık farkı (°C)}$$

$$\rho_m = \text{Buhar-hava karışımının yoğunluğu, kg/m³}$$

$$\rho_{da} = \text{Kuru havanın yoğunluğu, kg/m³}$$

$$\dot{V} = \text{Buhar-hava karışımının hacimsel debisi, m³ /s}$$

Sprey enjeksiyon yönünün deney düzeneğinin farklı noktalarında ölçülen hava sıcaklık değerlerine etkisi Tablo 6.4'te gösterilmiştir.

Tablo 6.4 Sprey enjeksiyon yönünün deney düzeneğinin farklı noktalarında havanın sıcaklık değeri üzerine etkisi

				ORTALAMA SICAKLIK (°C)	
Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Akış Türü	Su Sıcaklığı (°C)	Sprey sonra	Yoğuşturucu sonrası
65	80	KARŞIT	21,64	59,24	58,23
65	80	PARALEL	22,70	59,29	58,25

Nemi alınan havanın tambur giriş sıcaklığına sanal olarak ısıtılması sonrası elde edilen bağıl nem değerleri Tablo 6.5’te gösterilmektedir. Karşıt akış durumunda sprey öncesi ve sprey sonrası arasındaki bağıl nem farkı 3,4 birim iken, paralel akış kullanıldığında bu değer 3 olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlar karşıt akışta spreyle nem alma sisteminin daha verimli olduğunu göstermiştir.

Tablo 6.5 Sprey enjeksiyon yönünün ortalama bağıl nem değerleri üzerine etkisi (nemi alınmış havanın yeniden başlangıç sıcaklığına ısıtılması sonrası)

65 °C’ de BAĞIL NEM (%)							
Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Akış Türü	Su Sıcaklığı (°C)	Sprey sonrası	Yoğuşturucu sonrası	FARK (sprey)	FARK (sprey+yoğuşt)
65	80	KARŞIT	21,64	76,6	71,2	3,4	8,8
65	80	PARALEL	22,70	77,0	71,5	3	8,5

Spreyle ya da sprey ve yoğuşturucu bir arada kullanılarak nemi alınmış havayı sanal olarak başlangıç sıcaklığına ısıtmak için gerekli güç miktarı aşağıdaki denklemler ile hesaplanmıştır.

$$\omega = 0,622 * \frac{P_w}{P_B - P_w} = 0.153 \text{ kg/kg}$$

$$c_{pa} = 1.006 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$$

$$c_{p\omega} = 1.86 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$$

$$c_{pm} = c_{pa} + \omega * c_{p\omega} = 1.29 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$$

$$R_a = 287 \text{ J/kgK}$$

$$P = 101325 \text{ Pa}$$

$$\rho_{da} = P / (R_a * T) = 1.044 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_m = \rho_{da} * (1 + \omega) / (1 + 1.609 * \omega) = 0.9659 \text{ kg/m}^3$$

$$\dot{V} = 0.02 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$m_m = \dot{V} * \rho_m = 0.0193 \text{ kg/m}^3$$

Karşıt akışta, yoğuşturucu ve spreyn etkisiyle nemi alınan havayı yeniden ısıtmak için gerekli güç;

$$Q = m_m * c_{pm} * \Delta T = 0.0193 * 1.29 * (65 - 58.23) = \underline{169 \text{ Watt}}$$

Karşıt akışta, spreyn etkisiyle nemi alınan havayı yeniden ısıtmak için gerekli güç ;

$$Q = m_m * c_{pm} * \Delta T = 0.0193 * 1.29 * (65 - 59.24) = \underline{143 \text{ Watt}}$$

Karşıt akışta spreyn ve yoğuşturucu birlikte kullanılırken yoğuşturucu sonrası havanın nem oranında daha fazla düşme olmaktadır. Nemi alınmış havanın yeniden başlangıç sıcaklığına ısıtılması için gerekli güç miktarının yalnızca spreyn kullanıldığında gerekli güç miktarından fazla olduğu görülmektedir.

## 6.2. Spreyle Nem Alma Sisteminin Farklı Nem Değerlerine Sahip Hava Kullanıldığında Nem Alma Performansı

Spreyle nem alma sisteminin farklı nem değerine sahip hava üzerindeki etkisini incelemek amacıyla sabit spreylere debisi, aynı akış koşulları için yapılan deneylerde havanın giriş sıcaklığı sabit ancak farklı bağıl nemdeki hava kullanılmıştır. Deneyler sonucu elde edilen ortalama nem oranı, ortalama sıcaklık ve ortalama bağıl nem değerleri Tablo 6.6 , Tablo 6.7 ve Tablo 6.8’de verilmiştir.

Tablo 6.6 Spreyle nem alma sisteminde farklı nem oranına sahip hava kullanıldığında nem alma performansının değişimi (ortalama nem oranı değerleri)

ORTALAMA NEM ORANI (g/kg)									
Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Akış Türü	Su Sıcaklığı (°C)	Su Debisi (lt/h)	Sprey öncesi	Sprey sonrası	Yoğuşturucu sonrası	Fark (sprey)	Fark (sprey yoğuştu)
65	80	KARŞIT	18	10,9	153,2	143,2	132,7	10	20,5
65	50	KARŞIT	20	10,3	87,4	85,6	77,7	1,8	9,7
65	80	PARALEL	23	9,6	153,0	148,7	135,4	4,3	17,6
65	50	PARALEL	23	9,3	87,7	87,5	82,6	0.2	5.1

Karşıt akış türü için sabit sıcaklıkta % 80 ve % 50 bağıl neme sahip hava giriş koşullarındaki deneyler karşılaştırılmıştır. Sabit sıcaklıkta yüksek bağıl neme sahip hava kullanıldığında spreylere öncesi ve sonrası arasında ortalama nem oranındaki fark 10 g/kg iken, düşük bağıl neme sahip hava kullanıldığında bu fark 1,8 g/kg olmaktadır.

Deneyler paralel akış için de yapılmış ve elde edilen sonuçlar sabit sıcaklıktaki hava giriş koşullarında yüksek bağıl neme sahip havanın spreyle nem alma sistemi kullanıldığında nem oranında daha fazla düşüşe sebep olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Hava sıcaklığı sabit tutulurken bağıl nemin artırılması hava içerisindeki buhar basıncını artırır ve bunun sonucu olarak da havadan suya olan kütle transferi artmaktadır.

Farklı nem oranına sahip hava kullanıldığında havanın sıcaklık değerlerinin düzeneğin farklı noktalarındaki değerleri Tablo 6.7’de gösterilmektedir.

Tablo 6.7 Spreyle nem alma sisteminde farklı nem oranına sahip hava kullanıldığında nem alma performansının değişimi (ortalama sıcaklık değerleri)

					<b>ORTALAMA SICAKLIK (°C)</b>	
<b>Sıcaklık (°C)</b>	<b>Bağıl Nem (%)</b>	<b>Akış Türü</b>	<b>Su Sıcaklığı (°C)</b>	<b>Su Debisi (lt/h)</b>	<b>Sprey sonrası</b>	<b>Yoğuşturucu sonrası</b>
65	80	KARŞIT	18	10,9	58,9	57,9
65	50	KARŞIT	20	10,3	50,6	50,2
65	80	PARALEL	23	9,6	59,6	58,8
65	50	PARALEL	23	9,3	63,4	55,9

Tablo 6.8’de nemli havanın tekrar tambur giriş sıcaklığına sanal olarak ısıtılmasıyla elde edilen ortalama bağıl nem değerleri verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde karşıt akış için yüksek bağıl neme sahip hava kullanıldığında bağıl nemdeki azalış 4,3 birim iken, aynı sıcaklıkta düşük bağıl nemde hava kullanıldığında bağıl nemdeki azalış 1,1 birim olmaktadır.

Tablo 6.8 incelendiğinde % 80 bağıl nem set değerlerinde spreyle kullanıldığında bağıl nemdeki düşüş 4,3 birim iken, spreyle ve yoğuşturucu bir arada kullanıldığında 8,8 birim olmaktadır. Bu durum spreyle tek başına havanın nemini alma konusunda etkili olduğunu, spreyle ve yoğuşturucu bir arada kullanıldığında daha etkin nem alma performansı gerçekleştiği görülmektedir.

Tablo 6.8 Spreyle nem alma sisteminde farklı nem oranına sahip hava kullanıldığında nem alma performansının değişimi (nemi alınmış havanın yeniden başlangıç sıcaklığına ısıtılması sonrası)

65 °C' de BAĞIL NEM (%)								
Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Akış Türü	Su Sıcaklığı (°C)	Su Debisi (lt/h)	Sprey sonrası	Yoğuşturucu sonrası	Fark (sprey)	Fark (sprey+yoğuş)
65	80	KARŞIT	18	10,90	75,7	71,2	4,3	8,8
65	50	KARŞIT	20	10,3	48,9	44,9	1,1	5,1
65	80	PARALEL	23	9,6	78,1	72,3	1,9	7,7
65	50	PARALEL	23	9,3	50,0	47,4	0,0	2,6

Karşit akışta ve yüksek bağıl neme sahip hava ile yapılan deneyde yoğuşturucu ve spreyin etkisiyle nemi alınan havayı yeniden ısıtmak için gerekli güç;

$$Q = m_m * c_{pm} * \Delta T = 0.0193 * 1.29 * (65 - 57.9) = \underline{177 \text{ Watt}}$$

Karşit akışta ve yüksek bağıl neme sahip hava ile yapılan deneyde spreyin etkisiyle nemi alınan havayı yeniden ısıtmak için gerekli güç ;

$$Q = m_m * c_{pm} * \Delta T = 0.0193 * 1.29 * (65 - 58.9) = \underline{152 \text{ Watt}}$$

olarak elde edilmiştir.

### 6.3. Sprey Karakterinin Nem Alma Performansı Üzerine Etkisi

#### 6.3.1. Koniklik Açısının Nem Alma Performansı Üzerine Etkisi

Nozul koniklik açısının nem alma performansı üzerine etkisi incelenmiş ve sonuçlar Tablo 6.9, Tablo 6.10 ve Tablo 6.11’de gösterilmiştir. Koniklik açısı 105 ° ve 65 ° olan iki farklı nozul kullanılmış ve sprej su debisi 10 lt/h olarak sabit tutulmuştur.

Tablo 6.9 Nozul koniklik açısının deney düzeneğinin farklı noktalarında havanın ortalama nem oranı değeri üzerine etkisi

ORTALAMA NEM ORANI (g/kg)									
Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Akış Türü	Su Sıcaklığı (°C)	Koni açısı (°)	Sprej önce	Sprej sonra	Yoğuşturucu sonrası	Fark (sprej)	Fark (sprej+yoğuş)
65	80	KARŞIT	22	105	152,9	145,1	132,9	7,7	20
65	80	KARŞIT	22	65	152,9	146,7	133,2	6,2	19,7

Tablo 6.10 Nozul koniklik açısının deney düzeneğinin farklı noktalarında havanın ortalama nem sıcaklık üzerine etkisi

ORTALAMA SICAKLIK (°C)						
Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Akış Türü	Su Sıcaklığı (°C)	Koni açısı (°)	Sprej sonrası	Yoğuşturucu sonrası
65	80	KARŞIT	22	105	59.2	58.2
65	80	KARŞIT	22	65	59.3	58.3

Tablo 6.11’de nemi alınan havanın tambur giriş sıcaklığına sanal olarak ısıtılması sonrası elde edilen bağıl nem değerleri gösterilmektedir.

Tablo 6.11 Nozul koniklik açısının ortalama bağıl nem değerleri üzerine etkisi  
(nemi alınmış havanın yeniden başlangıç sıcaklığına ısıtılması sonrası)

65 °C' de BAĞIL NEM (%)								
Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Akış Türü	Su Sıcaklığı (°C)	Koniklik açısı (°)	Sprey sonrası	Yoğuşturucu sonrası	Fark (sprey)	Fark (sprey+yoğuşt)
65	80	KARŞIT	21,6	105	76,6	71,2	3,3	8,6
65	80	KARŞIT	22	65	77,2	71,4	2,6	8,5

Elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında diğer değişkenler sabitken, yüksek konik açılı nozul ile sprey öncesi ve sonrası ortalama nem oranı arasındaki fark 7,7 g/kg iken, konik açısı azaltıldığında bu farkın 6,2 g/kg olduğu görülmektedir (Tablo 6.9). Koniklik açısının artırılmasıyla hava ile su damlacıklarının daha geniş alanda temas etmeleri sağlanmakta, bu durumda ısı ve kütle transferi artırılmaktadır. Sonuç olarak yüksek koniklik açılarındaki havanın nem oranındaki azalma daha fazla olmaktadır.

Karşı akışta ve yüksek konik açılı nozul ile yapılan deneyde yoğuşturucu ve spreyin etkisiyle nemi alınan havayı yeniden ısıtmak için gerekli güç;

$$Q = m_m * c_{pm} * \Delta T = 0.0193 * 1.29 * (65 - 58.2) = \underline{169 \text{ Watt}}$$

Karşı akışta ve yüksek konik açılı nozul ile yapılan deneyde spreyin etkisiyle nemi alınan havayı yeniden ısıtmak için gerekli güç ;

$$Q = m_m * c_{pm} * \Delta T = 0.0193 * 1.29 * (65 - 59.2) = \underline{144 \text{ Watt}}$$

olarak elde edilmiştir.



### 6.3.2. Sprey Su Debisinin Nem Alma Performansı Üzerine Etkisi

Sprey su debisinin nem alma performansı üzerine etkisini incelemek amacıyla 10 lt/h ve 5 lt/h su debisi için deneyler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 6.12, Tablo 6.13 ve Tablo 6.14’te gösterilmiştir.

Tablo 6.12 Sprey su debisinin deney düzeneğinin farklı noktalarında havanın ortalama nem oranı değeri üzerine etkisi

ORTALAMA NEM ORANI (g/kg)									
Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Akış Türü	Su Sıcaklığı (°C)	Su Debisi (lt/h)	Sprey öncesi	Sprey sonrası	Yoğuşturucu sonrası	Fark (sprey)	Fark (sprey + yoğuşt)
65	80	KARŞIT	22	10	152,9	146,7	133,2	6,2	19,7
65	80	KARŞIT	23	5	153,0	150,9	137,1	2,1	15,9
65	80	PARALEL	23	10	153,2	149,0	135,5	4,2	17,7
65	80	PARALEL	22	5	153,2	152,9	137,3	0,3	15,9

Tablo 6.12’de karşıt akışta 10 lt/h debi için ortalama nem oranındaki azalma sadece sprey kullanıldığında 6,2 g/kg iken, aynı deney 5 lt/h debi ile yapıldığında bu fark 4,2 g/kg olmaktadır. Sonuçlar su debisi artırıldığında nem oranında daha fazla azalma olduğunu göstermektedir. Aynı deneyler paralel akış için yapıldığında 10 lt/h debi için nem oranındaki azalma 4.2 g/kg iken, düşük debi için bu azalma 0.3 g/kg olduğu görülmektedir.

Tablo 6.13’te sprej su debisinin havanın sıcaklık değerleri üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Yüksek su debilerinde hava sıcaklığının daha fazla düştüğü görülmektedir.

Tablo 6.13 Sprey su debisinin deney düzeneğinin farklı noktalarında havanın ortalama sıcaklık değerleri üzerine etkisi

					ORTALAMA SICAKLIK (°C)	
Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Akış Türü	Su Sıcaklığı (°C)	Su Debisi (lt/h)	Sprey sonrası	Yoğuşturucu sonrası
65	80	KARŞIT	22	10	59,3	58,3
65	80	KARŞIT	23	5	59,8	59,5
65	80	PARALEL	23	10	59,6	58,8
65	80	PARALEL	22	5	60,0	59,6

Nemi alınmış havanın yeniden tambur giriş sıcaklığına sanal olarak ısıtıldığı zaman elde edilen bağıl nem değerleri karşılaştırılmıştır (Tablo 6.14).

Tablo 6.14 Sprey su debisinin ortalama bağıl nem değerleri üzerine etkisi  
(nemi alınmış havanın yeniden başlangıç sıcaklığına ısıtılması sonrası)

65 °C' de BAĞIL NEM (%)								
Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Akış Türü	Su Sıcaklığı (°C)	Su Debisi (lt/h)	Sprey sonrası	Yoğuşturucu sonrası	Fark (sprey)	Fark (sprey+yoğuşt)
65	80	KARŞIT	22	10	77,2	71,4	2,6	8,5
65	80	KARŞIT	23	5	79,0	73,1	0,9	6,8
65	80	PARALEL	23	10	78,2	72,4	1,8	7,6
65	80	PARALEL	22	5	79,8	73,2	0,1	6,8

Karşit akışta 10 lt/h debide su kullanıldığında yalnızca spreyin etkisiyle bağıl nemde 2.6 birim azalma olurken 5 lt/h debi kullanıldığında bu azalma 0.9 birim olmaktadır.

Karşıt akışta ve yüksek su debisi kullanılarak yapılan deneyde yoğuşturucu ve spreyn etkisiyle nemi alınan havayı yeniden ısıtmak için gerekli güç;

$$Q = m_m * c_{pm} * \Delta T = 0.0193 * 1.29 * (65 - 58.3) = \underline{167 \text{ Watt}}$$

Karşıt akışta ve yüksek su debisi kullanılarak yapılan deneyde spreyn etkisiyle nemi alınan havayı yeniden ısıtmak için gerekli güç ;

$$Q = m_m * c_{pm} * \Delta T = 0.0193 * 1.29 * (65 - 59.3) = \underline{142 \text{ Watt}}$$

olarak elde edilmiştir.

Farnoud ve Aktaş nemli havanın spreyle nem alma sisteminin sayısal analizini gerçekleştirmiştir. Yapılan bu çalışmada farklı parametrelerin spreyle nem alma sistemi üzerine etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada havanın giriş koşulları 75 ° C ve %90 olarak alınarak incelemeler yapılmıştır. Sprey su debisinin hava sıcaklığı üzerine etkisi sayısal olarak incelendiğinde artan su debisiyle sıcaklığın düştüğü görülmektedir [15].

### **6.3.3. Sprey Su Sıcaklığının Nem Alma Performansı Üzerine Etkisi**

Sprey su sıcaklığının nem alma üzerine etkisini incelemek amacıyla farklı su sıcaklıklarında deneyler yapılmıştır. Deneyler esnasında su sıcaklığının doğrudan etkisini görmek amacıyla nozul konumu, su debisi (10 lt/h), nozul tipi gibi parametreler sabit tutulmuştur. Deney sonuçları Tablo 6.15, Tablo 6.16 ve Tablo 6.17’de gösterilmiştir. Tablo 6.15’te sadece sprey kullanıldığında elde edilen ortalama nem oranı değerleri incelendiğinde 10 °C su kullanıldığında nem oranında 11,9 g/kg azalma meydana gelirken, su sıcaklığı 25 °C olduğunda nem oranındaki azalma 6.6 g/kg olmaktadır.

Tablo 6.15 Sprey su sıcaklığının deney düzeneğinin farklı noktalarında havanın ortalama nem oranı değeri üzerine etkisi

Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Akış Türü	Su Sıcaklığı (°C)	ORTALAMA NEM ORANI (g/kg)				
				Sprey öncesi	Sprey sonrası	Yoğuşturucu sonrası	Fark (sprey)	Fark (sprey + yoğuştu)
65	80	KARŞIT	10	153,0	141,1	130,7	11,9	22,3
65	80	KARŞIT	25	153,1	146,4	134,2	6,6	18,9

Su spreyi sıcaklığının azalmasıyla havanın sıcaklığında daha fazla düşüş olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 6.16).

Tablo 6.16 Sprey su sıcaklığının deney düzeneğinin farklı noktalarında havanın ortalama sıcaklık üzerine etkisi

Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Akış Türü	Su Sıcaklığı (°C)	ORTALAMA SICAKLIK (°C)	
				Sprey sonrası	Yoğuşturucu sonrası
65	80	KARŞIT	10	59,1	58,1
65	80	KARŞIT	25	59,3	58,6

Tablo 6.17’de nemi alınmış havanın yeniden tambur giriş sıcaklığına sanal olarak ısıtıldığı zaman elde edilen bağıl nem değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Su sıcaklığı 10 °C için deneyler yapıldığında bağıl nem değerinde 6,5 birim düşüş olurken, su sıcaklığı 25 °C için bağıl nem değerinde 3,6 birim azalma olmaktadır.

Tablo 6.17 Sprey su sıcaklığının ortalama bağıl nem değerleri üzerine etkisi  
(nemi alınmış havanın yeniden başlangıç sıcaklığına ısıtılması sonrası)

65 °C' de BAĞIL NEM (%)							
Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Akış Türü	Su Sıcaklığı (°C)	Sprey sonrası	Yoğuşturucu sonrası	Fark (sprey)	Fark (sprey+yoğuş)
65	80	KARŞIT	10	74,8	70,3	6,5	12,2
65	80	KARŞIT	25	77,1	71,8	3,6	10,3

Karşit akışta ve düşük sıcaklıkta su kullanılarak yapılan deneyde yoğuşturucu ve spreyin etkisiyle nemi alınan havayı yeniden ısıtmak için gerekli güç;

$$Q = m_m * c_{pm} * \Delta T = 0.0193 * 1.29 * (65 - 58.1) = \underline{172 \text{ Watt}}$$

Karşit akışta ve düşük sıcaklıkta su kullanılarak yapılan deneyde spreyin etkisiyle nemi alınan havayı yeniden ısıtmak için gerekli güç ;

$$Q = m_m * c_{pm} * \Delta T = 0.0193 * 1.29 * (65 - 59.1) = \underline{147 \text{ Watt}}$$

olarak elde edilmiştir.

Tablo 6.18, Tablo 6.19 ve Tablo 6.20'de farklı su sıcaklıklarında hava atomizasyonlu nozul ile yapılan deney sonuçları gösterilmiştir.

Kullanılan nozulun düşük debide daha küçük damlacık çapı ürettiği bilgisi nozul üreticisi firma tarafından sağlanmıştır. Bu nedenle en düşük debide çalışan nozullardan seçilmiştir.

Tablo 6.18 incelendiğinde sprej öncesi ve sprej sonrası nem oranı arasındaki fark 10° C, 15 ° C ve 25 ° C sıcaklığında sprej kullanıldığında sırasıyla 6,6, 4 ve 3,3 g/kg olduğu görülmüştür.

Hava atomizasyonlu nozulda su debisi 1 lt/h iken diğer deneylerde kullanılan hidrolik nozullarda su debisi 10 lt/h dir. İki farklı nozul için deney sonuçları karşılaştırıldığında hava atomizasyonlu nozulun 10 kat düşük debide bile nem alma performansının iyi olduğu görülmektedir.

Elde edilen sonuçlara göre hava atomizasyonlu nozulun debisinin artırılmasıyla hidrolik nozullara göre havanın neminin alınması konusunda daha etkin olacağı sonucuna varılmıştır.

Tablo 6.18 Sprej su sıcaklığının deney düzeneğinin farklı noktalarında havanın ortalama nem oranı değeri üzerine etkisi (hava atomizasyonlu nozul)

ORTALAMA NEM ORANI (g/kg)								
Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Akış Türü	Su Sıcaklığı (°C)	Sprej öncesi	Sprej sonrası	Yoğuşturucu sonrası	Fark (sprej)	Fark (sprej + yoğuş)
75	80	KARŞIT	10	271,9	265,3	245,9	6,6	26,0
75	80	KARŞIT	15	271,3	267,3	244,8	4,0	26,4
75	80	KARŞIT	25	271,5	268,2	245,3	3,3	26,2

Tablo 6.19’da sprej su sıcaklığının deney düzeneğinin farklı noktalarındaki ortalama hava sıcaklığı üzerine etkisi gösterilmektedir. Su spreji sıcaklığı azaltıldığında, havada daha fazla soğuma olduğu sonucuna varılmıştır.

Nemi alınmış havanın yeniden tambur giriş sıcaklığına sanal olarak ısıtıldığı zaman elde edilen bağıl nem değerleri Tablo 6.20’de verilmiştir.

Tablo 6.19 Sprey su sıcaklığının deney düzeneğinin farklı noktalarında havanın ortalama sıcaklık değerleri üzerine etkisi (hava atomizasyonlu nozul)

ORTALAMA SICAKLIK (°C)					
Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Akış Türü	Su Sıcaklığı (°C)	Sprey sonrası	Yoğuşturucu sonrası
75	80	KARŞIT	10	69,3	68,6
75	80	KARŞIT	15	69,5	68,5
75	80	KARŞIT	25	69,8	68,8

Tablo 6.20 Sprey su sıcaklığının ortalama bağıl nem değerleri üzerine etkisi (hava atomizasyonlu nozul ile nemi alınmış havanın yeniden başlangıç sıcaklığına ısıtılması sonrası)

65 °C' de BAĞIL NEM (%)							
Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Akış Türü	Su Sıcaklığı (°C)	Sprey sonrası	Yoğuşturucu sonrası	Fark (sprey)	Fark (sprey+yoğuş)
75	80	KARŞIT	10	78,4	74,3	1,4	5,5
75	80	KARŞIT	15	78,8	74,0	0,8	5,6
75	80	KARŞIT	25	79,0	74,1	0,7	5,5

Karşıt akışta ve 10 °C’de su kullanılarak hava parçamalı nozulla yapılan deneyde yoğuşturucu ve spreyn etkisiyle nemi alınan havayı yeniden ısıtmak için gerekli güç;

$$Q = m_m * c_{pm} * \Delta T = 0.0193 * 1.29 * (75-69.5) = \underline{137 \text{ Watt}}$$

Karşıt akışta ve 10 °C’de su kullanılarak hava parçamalı nozulla yapılan deneyde spreyn etkisiyle nemi alınan havayı yeniden ısıtmak için gerekli güç ;

$$Q = m_m * c_{pm} * \Delta T = 0.0193 * 1.29 * (75-69.3) = \underline{142 \text{ Watt}}$$

olarak elde edilmiştir.

Su spreyi nemli ve sıcak havanın üzerine püskürtüldüğünde soğumaya başlayan hava çiy nokta sıcaklığına ulaştığında hava içerisindeki buhar su damlacıkları şeklinde yoğuşmaya başlamaktadır. Hava sıcaklığı çiy nokta sıcaklığının altına indikçe yoğuşma artmaktadır. Yapılan deneylerde hava üzerine püskürtülen su sıcaklığı azaldıkça hava hızla soğumakta ve çiy nokta sıcaklığının çok altında sıcaklıklara düşmektedir. Bu sebeple havanın daha kısa sürede ve daha fazla oranda kurutulması sağlanmaktadır.

Farnoud ve Aktas tarafından yapılan sayısal çalışmada spreyle nem alma sistemi üzerine spreyn su sıcaklığının etkisi incelenmiştir. Sonuçlar spreyn su sıcaklığının azalmasıyla havanın sıcaklığında ve nem oranındaki düşüşün arttığını göstermiştir [15].



## 7. BELİRSİZLİK ANALİZİ

Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçların doğruluğunu belirlemek amacıyla belirsizlik analizi yapılmıştır [18].

n adet bağımsız değişkeni olan bir ölçümede;

- R : Ölçülecek boyut
- $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  : ölçümü etkileyen değişkenler
- $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$  : bağımsız değişkenle ilgili hata oranı ise
- Toplam hata oranı  $W_R$  ;

$$W_R = \left[ \left( \frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \left( \frac{\partial R}{\partial x_3} w_3 \right)^2 + \dots + \left( \frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (7.1)$$

### 7.1.Sıcaklık Ölçümünde Yapılan Hatalar

Sıcaklık ölçümünde kullanılan hatalar ROTRONIC'ten sağlanan ölçüm transmitterdeki hatalardan kaynaklanmaktadır.

Transmitterden kaynaklanan hata  $\pm 0.1$  °C,

$$\omega_1 = 0.1 \text{ °C}$$

### 7.2.Bağıl Nem Ölçümünde Yapılan Hatalar

Bağıl nem ölçümünde kullanılan hatalar ROTRONIC'ten sağlanan ölçüm transmitterdeki hatalardan kaynaklanmaktadır.

Transmitterden kaynaklanan hata  $\pm 0.5$  RH

$$\omega_2 = 0.5 \text{ RH}$$

### 7.3.Deneysel Hesaplamalarda Toplam Hata

Sıcaklık ve bağıl nem değerleri kullanılarak hesaplanan nem oranı değerinde toplam hata, sıcaklık ve bağıl nemdeki hata hesaplarının toplam etkisi alınarak hesaplanabilmektedir.

Örnek hesaplama:

65 °C sıcaklık ve %80 bağıl nemdeki havanın nem oranı ve belirsizliği hesapları aşağıda gösterilmiştir.

$$\omega = 0,622 * \frac{P_w}{P_B - P_w}$$

$$P_{ws} = 6.11 \times 10^{\left(\frac{7.5xT}{237.3+T}\right)}$$

$$P_w = \frac{P_{ws} \times RH}{100}$$

$$\omega = 0.153 \text{ kg/kg}$$

$$W_\omega = \left[ \left( \frac{d\omega}{dT} \times \omega_1 \right)^2 + \left( \frac{d\omega}{dR} \times \omega_2 \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$\omega_1 = 0.1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\omega_2 = 0.5 \text{ RH}$$

$$\frac{\partial}{\partial T} \left( \frac{a \left( b \times 10^{\frac{cT}{d+T}} R \right)}{P - b \times 10^{\frac{cT}{d+T}} R} \right) = \frac{a b^2 R^2 \log(10) 10^{\frac{2cT}{d+T}} \left( \frac{c}{d+T} - \frac{cT}{(d+T)^2} \right)}{\left( P - b R 10^{\frac{cT}{d+T}} \right)^2} + \frac{a b R \log(10) 10^{\frac{cT}{d+T}} \left( \frac{c}{d+T} - \frac{cT}{(d+T)^2} \right)}{P - b R 10^{\frac{cT}{d+T}}}$$

$$\frac{\partial}{\partial R} \left( \frac{a \left( b \times 10^{\frac{cT}{d+T}} R \right)}{P - b \times 10^{\frac{cT}{d+T}} R} \right) = \frac{a b P 10^{\frac{cT}{d+T}}}{\left( P - b R 10^{\frac{cT}{d+T}} \right)^2}$$

Bu denklemde,

$$a= 0.622$$

$$b=6.11$$

$$c=7.5$$

$$d=237.3$$

$$P= 101325 \text{ Pa}$$

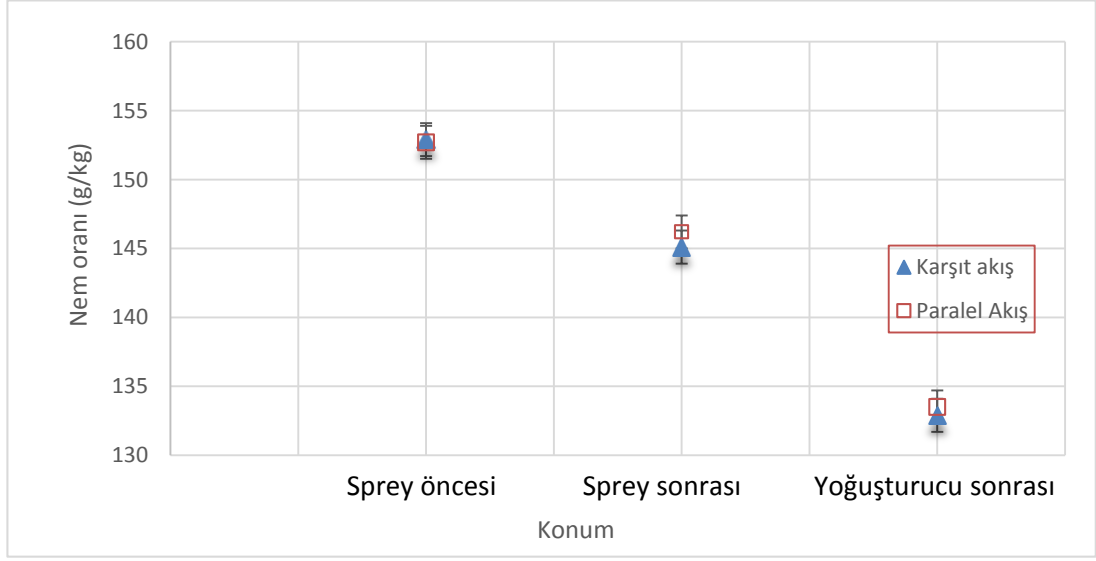
R=Bağıl nem

T=Sıcaklık

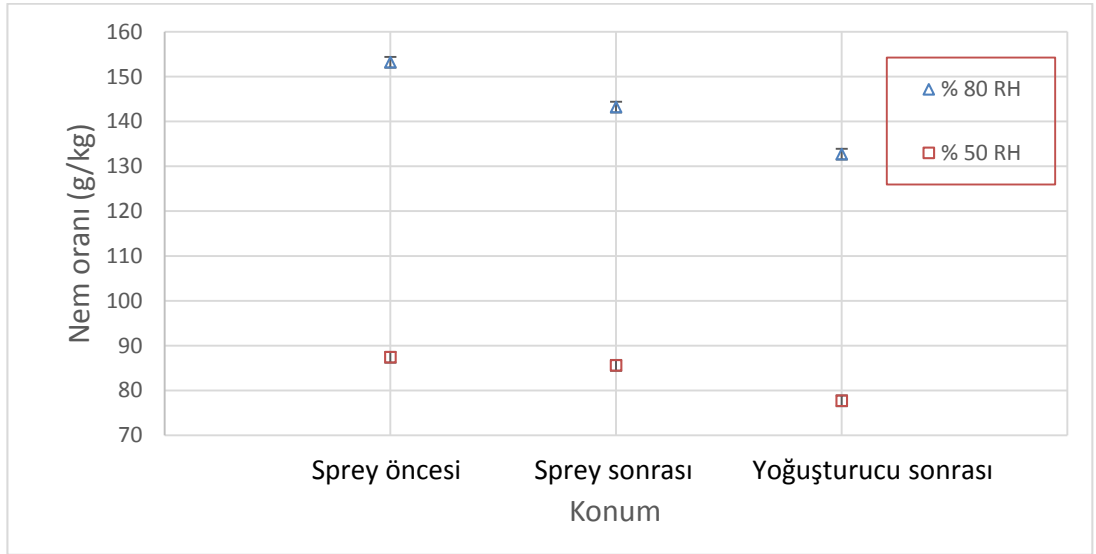
$$W_{\omega} = [(0,0037 * 0.1)^2 + (0,0024 * 0.5)^2]^{1/2}$$

$$W_{\omega} = 1.2 \times 10^{-3} \text{ kg/kg veya } \% 0.78 \text{ belirsizlik.}$$

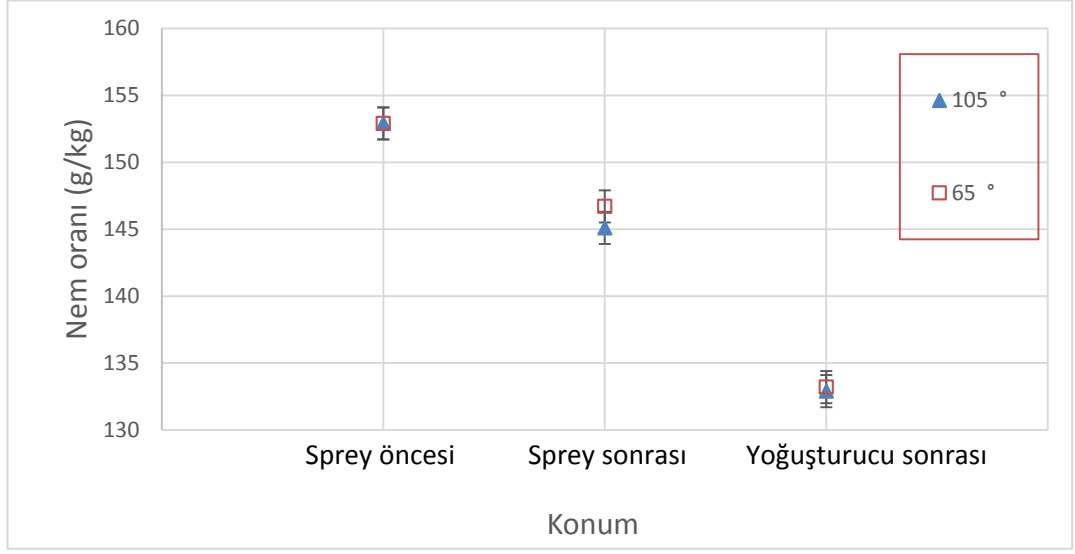
Hesaplanan belirsizliğin farklı parametreler kullanılarak elde edilen deney sonuçlarına etkisi Şekil 7.1, Şekil 7.2, Şekil 7.3, Şekil 7.4, Şekil 7.5 ve Şekil 7.6'da gösterilmiştir.



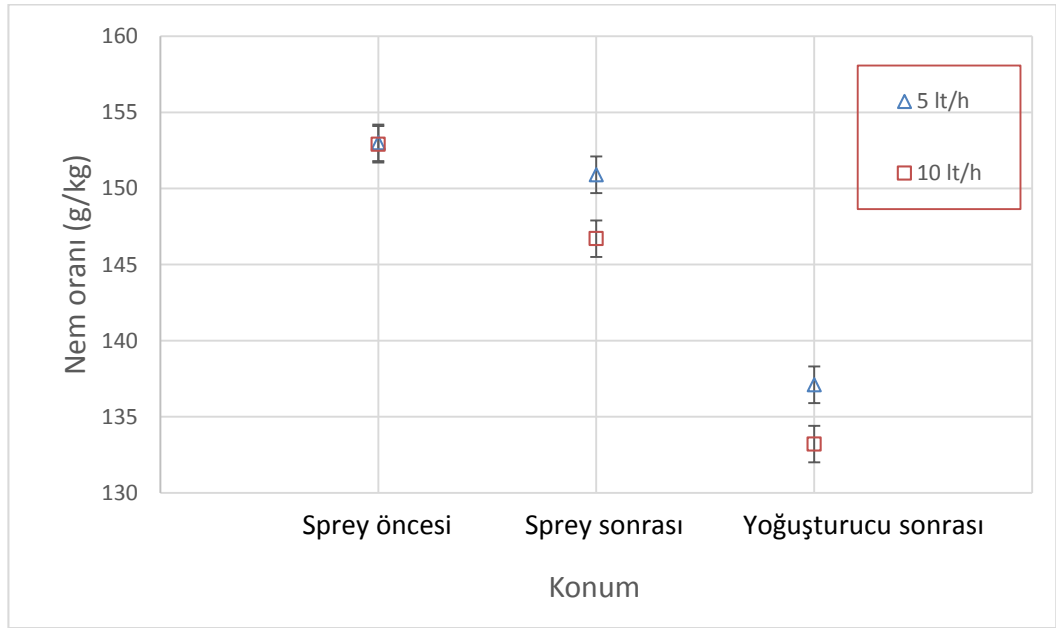
Şekil 7.1 Farklı sprej enjeksiyon yönleri için elde edilen nem oranı değerlerine belirsizliğin etkisi



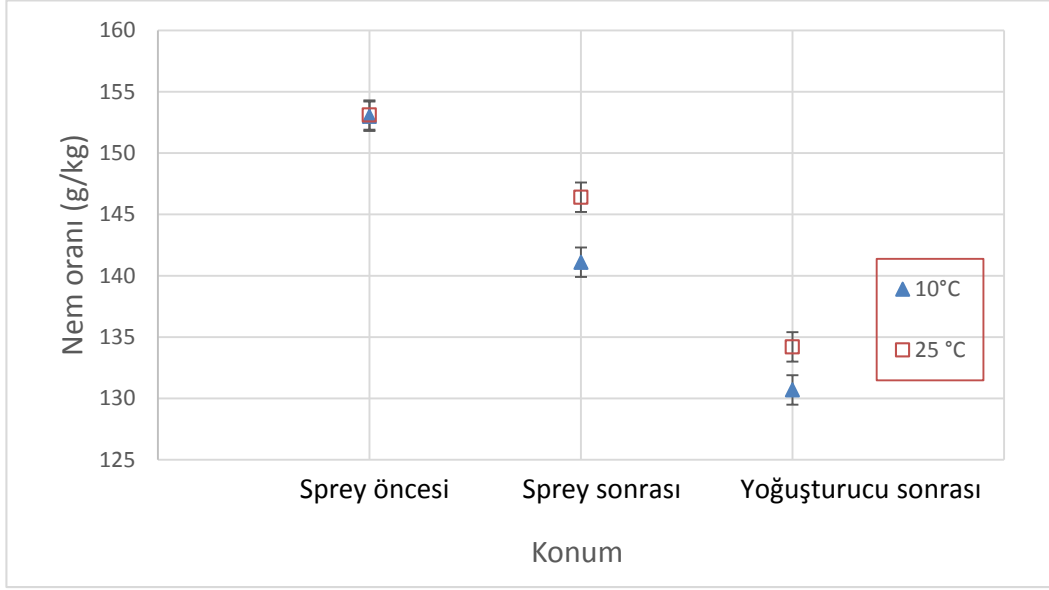
Şekil 7.2 Spreyle nem alma sisteminin farklı nem oranlarına sahip hava üzerindeki performansına belirsizliğin etkisi



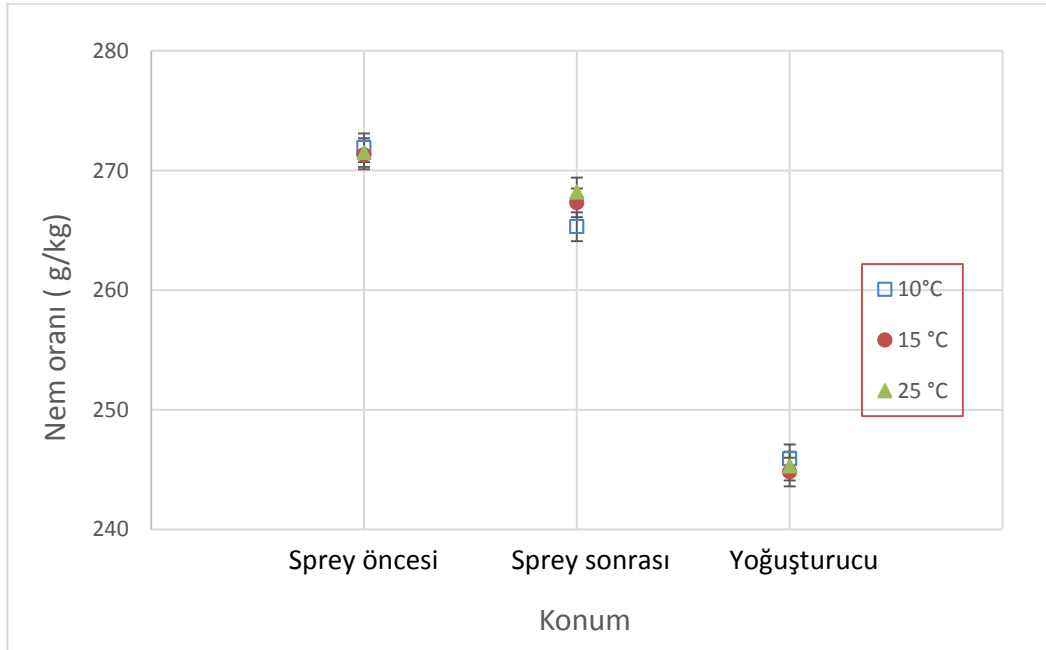
Şekil 7.3 Farklı sprej koniklik açıları için elde edilen nem oranı değerlerine belirsizliğin etkisi



Şekil 7.4 Farklı sprej su debileri için elde edilen nem oranı değerlerine belirsizliğin etkisi



Şekil 7.5 Farklı spray su sıcaklıkları için elde edilen nem oranı değerlerine belirsizliğin etkisi

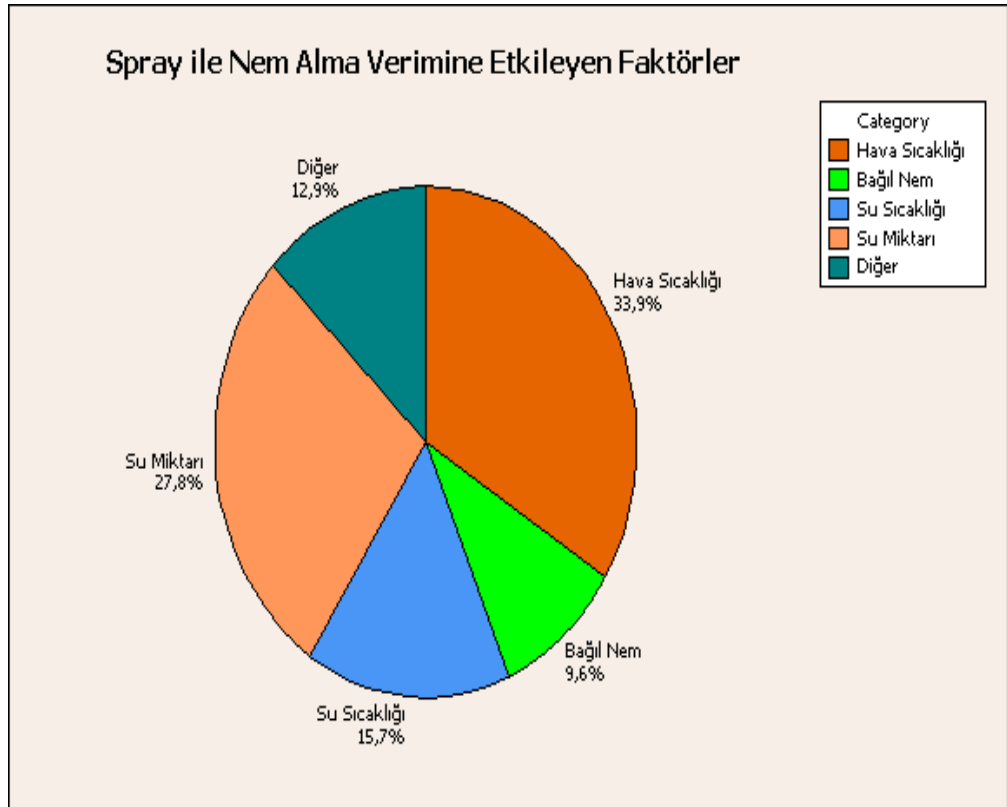


Şekil 7.6 Farklı spray su sıcaklıkları için elde edilen nem oranı değerlerine belirsizliğin etkisi (Hava atomizasyonlu nozul)

## 8. TARTIŞMA ve SONUÇ

Çamaşır yıkama-kurutma makinelerinde kurutma sistemine alternatif olarak tasarlanan spreyle nem alma sisteminin enerji tüketim analizleri ve farklı parametrelerin sistem üzerindeki etkilerinin dağılımını belirleyen istatistiksel analiz ARÇELİK tarafından İstanbul Çayırova kampüsünde AR-GE bölümünde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar spreyle nem alma sistemi kullanıldığında kurutma programı süresinin kısaltıldığını ve buna bağlı olarak da enerji kazancı sağlandığını ortaya çıkarmıştır.

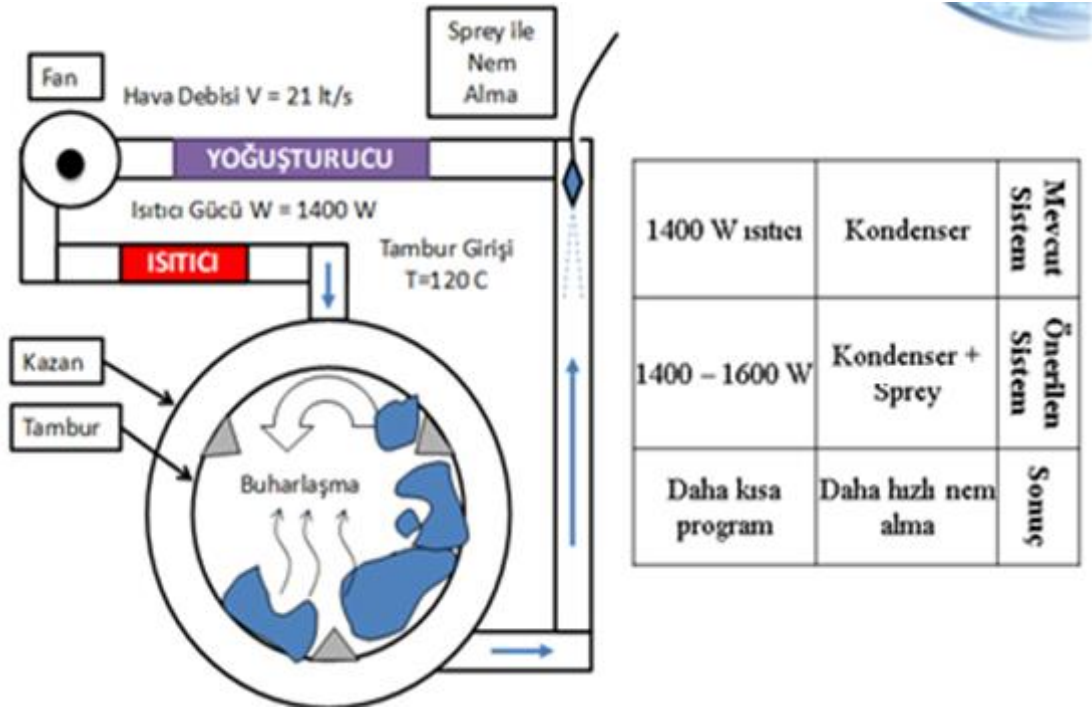
Spreyle nem alma sistemi üzerine etkileyen parametrelerin etki ağırlıklarına göre yüzdeleri Minitab programı ile ARÇELİK tarafından elde edilmiş ve sonuçlar Şekil 8.1’de dairesel grafik ile gösterilmiştir.



Şekil 8.1 Spreyle nem alma sistemi üzerine etkileyen parametrelerin grafiksel dağılımı

- i. Yapılan deney sonuçları spreyle nem alma sisteminin tek başına yoğuşturucuya oranla nem alma konusunda daha etkin olduğunu göstermiştir.
- ii. Nem alma performansı üzerine etkiyen parametreler araştırıldığında en fazla etkinin spray su debisi olduğu sonucuna varılmıştır.
- iii. Havanın giriş koşulları değiştirilerek yapılan deney sonuçları yüksek nem oranına sahip hava kullanıldığında yoğuşma miktarının daha fazla olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Şekil 8.2’de mevcut kurutma sistemiyle spreyle nem alma sisteminin ısıtıcı gücü yönünden karşılaştırılması verilmiştir. Yoğuşturuculu sistemde 1400 W’lık ısıtıcı gücü kullanılırken, spray ve yoğuşturuculu sistemde 1400 ile 1600 W arasında ısıtıcı gücü kullanılabilir. Bu da çamaşırların daha hızlı sürede kurutulmasını sağlamaktadır.



Şekil 8.2 Mevcut sistem ve spreyle nem alma sisteminin karşılaştırılması



Spreyle nem alma sistemiyle çamaşırları kurutma için gerekli enerjiden sağlanan kazanç ve kurutma süresi değerleri Tablo 8.1’de gösterilmiştir. Kurutma süresindeki 20 dk kısalma ve buna bağlı olarak da 240 Wh’lık enerji tasarrufu sağlanmıştır. Çamaşır kurutma makinesinde kullanılan nem alma sistemiyle enerji indeksi A-%4 seviyesine çıkartılmıştır

Tablo 8.1 Pamuklu kurutma programında hibrit nem alma sonuçları

Mevcut Durum	
<input type="checkbox"/> Kurutma Enerjisi: 5060 Wh	
<input type="checkbox"/> Kurutma Enerjisi: 562 Wh/kg	
<input type="checkbox"/> Kurutma Süresi: 282 dk.	
<input type="checkbox"/> Enerji İndeksi: A	✓ ~ 20 dk. kısalma
Gelen durum	✓ ~ 240 Wh kazanç
<input type="checkbox"/> Kurutma Enerjisi: 4820 Wh	
<input type="checkbox"/> Kurutma Enerjisi: 536 Wh/kg	
<input type="checkbox"/> Kurutma Süresi: 261 dk.	
<input type="checkbox"/> Enerji İndeksi: A-%4	

## **9. GELECEK ÇALIŞMALAR**

Yapılan deneylerde spreyle nem alma sisteminde bir nozul kullanılmıştır. İlerde yapılacak çalışmalarda nozul sayısı artırılarak ve farklı konumlarda yerleştirilerek spreyin havayla temas süresini uzatmaya bağlı nem alma sürecindeki iyileşme araştırılabilir.

Spreyle nem alma sisteminde kullanılan su yerine sıvı nem tutucu kimyasallar kullanılarak havanın nem alma işlemi sağlanabilir.

## **KAYNAKLAR**

[1] James E.Brumbaugh, Hvac Fundamentals, Air Conditioning, Heat Pumps and Distribution Systems, 4 th edition, Wiley ,2004.

[2] Mayinger, F. ve Chávez A., Measurement of direct-contact condensation of pure saturated vapour on an injection spray by applying pulsed laser holography, Int. J. Heat Mass Transfer, 35, 691 – 702, 1992

[3] Celata, C.P. ve Cumo, M..and Farello, G. E. and Focardi, G. A comprehensive analysis of direct contact condensation of saturated steam on subcooled liquid jets, Int. J. Heat Mass Transfer, 32, 639 – 654,1990

[4] Brown, G. Heat transmission by condensation of steam on a spray of water drops, Inst. Mech. Engrs. Proc. Discussion on Heat Transfer, 49–52, 1951

[5] Ford, J.D. ve Lekic, A. Rate of Growth of drops during condensation, Int. J. Heat Mass Transfer, 16, 61 – 64, 1972.

[6] Hasson D., Luss D., Navon, V., An experimental study of steam condensing on a laminar water Sheet, International Journal of Heat and Mass Transfer, 7, 983-1001, 1964

[7] Malet, J., Lemaitre P. Water spray interaction with air-steam mixtures under containment spray conditions: comparison of heat and mass transfer model with the tosqa spray tests, The 11 th international topical meeting on nuclear reactor thermal-Hydraulics, Avignon, France, 2005.

- [8] El-Morsi, M.S., Optimization of Direct Contact Spray Coolers, Ph.D. thesis, University of Wisconsin- Madison, 2002.
- [9] Sundarajan, T., ve Ayyaswamy P.S., Hydrodynamics and Heat Transfer Associated with Condensation on a Moving Drop: Solutions for Intermediate Reynolds Numbers, Journal of Fluid Mechanics, 149,33-58, 1984.
- [10] Akira, M., Fiji, H., Takamoto, S., Prediction of Heat Transfer by Direct Contact Condensation at a Steam-Subcooled Water Interface, International Journal Of Heat and Mass Transfer, 35 (1), 101-109,1992
- [11] Takahashi, M. Nayak K.A. Heat Transfer ind Direct Contact Condensation of Steam to Subcooled Water Spray, Journal of Heat Transfer, 123, 703-710, 2001
- [12] Ford, JD Direct contact condensation of vapor on a spray of subcooled liquid droplets. Int.J Heat and Mass Transfer, 23, 1531-1537, 1980
- [13] Lee, S.Y. Tankin, RS. Study of liquid spray (water) in a non—condensable environment (air), Int. J. Heat and Mass Transfer, 27,331-363,1983
- [14] Kulic, E. ve Rhodes, E. Direct Contact Condensation from Air-Steam Mixtures of a Single Droplet, The Canadian Journal of Chemical Engineering, 55, 131 – 137, 1977
- [15] Spraying Systems, Spray Technology Reference Guide Understanding Drop Size
- [16] Farnoud, A., ve Aktas, M. K, Numerical Investigation of Spray Dehumidification Process of Moist Air, Yüksek Lisans Tezi, TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, 2014

[17] <http://www.srh.noaa.gov/images/epz/wxcalc/vaporPressure.pdf>

[18] Holman J.P., *Experimental Methods for Engineers*, McGraw-Hill Book Company, 37-52, 1971

[19] Kuehn, T.H., *Thermal Environmental Engineering*, Prentice-Hall, 186, 1998.

[20] [http://www.engineeringtoolbox.com/density-air-d\\_680.html](http://www.engineeringtoolbox.com/density-air-d_680.html)

**EK A**

<b>ÖRNEK DENEY</b>				
<b>Akış türü</b>	<b>Nozul Türü</b>	<b>Su Debisi (lt/h)</b>	<b>Su Sıcaklığı (°C)</b>	<b>Hava giriş koşulları</b>
Karşıt akış	Hidrolik nozul	11	21	75 °C , % 80

**DENEYSEL ÖLÇÜMLER**

Veri No	SPREY ÖNCESİ		SPREY SONRASI		YOĞUŞTURUCU ÖNCESİ		YOĞUŞTURUCU SONRASI	
	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)	Sıcaklık (°C)	Bağıl Nem (%)
1	78,44	16,31	71,25	19,76	67,25	26,94	55,41	42,59
2	75,44	18,16	72,25	20,69	66,19	28,13	55,03	43,19
3	72,69	20,14	70,75	21,88	66,06	28,05	55,06	43,03
4	72,25	20,47	70,81	21,91	66,81	27,36	55,56	42,56
5	73,5	19,7	71,81	21,14	67,75	26,53	55,97	42,69
6	74,88	18,78	72,88	20,48	68,5	26,09	56,53	42,25
7	75,81	18,38	73,56	20,22	68,94	25,95	57	41,06
8	75,94	18,42	73,63	20,2	69,06	25,97	57,31	40,63
9	75,69	18,7	73,5	20,44	69,06	25,91	57,34	40,53
10	75,31	18,91	73,25	20,55	69,13	26	57,41	40,63
11	75,13	19,16	73,25	20,69	69,31	25,84	57,78	39,94
12	75,19	19,09	73,25	20,63	69,44	25,63	58	39,44
13	75,19	19	73,38	20,44	69,63	25,31	58,09	39,16
14	75,38	18,84	73,5	20,33	69,81	25,13	58,28	38,66
15	75,44	18,77	73,5	20,2	69,88	25,11	58,31	38,69
16	75,31	18,86	73,5	20,44	69,88	25,3	58,44	38,84
17	75,25	19,09	73,38	20,45	69,94	25,06	58,38	38,81
18	75,19	18,98	73,38	20,44	69,94	25,27	58,59	38,69
19	75,13	19,2	73,38	20,5	70,06	25,02	58,78	38
20	75,06	19,06	73,31	20,33	70,06	24,92	58,88	37,88
21	75,13	18,98	73,44	20,25	70,19	24,69	58,94	37,5
22	75,19	18,86	73,44	20,14	70,19	24,59	58,88	37,63
23	75,19	18,84	73,38	20,17	70,19	24,59	58,91	37,34
24	75,06	18,86	73,38	20,13	70,25	24,5	58,91	37,22

25	75,06	18,84	73,38	19,98	70,31	24,48	58,91	37,31
26	75,06	18,84	73,38	20,17	70,31	24,61	59,16	37,22
27	75,06	18,97	73,38	20,28	70,31	24,55	59,34	37
28	75,06	18,97	73,38	20,13	70,31	24,38	59,34	36,72
29	75	18,86	73,38	20,08	70,44	24,48	59,38	36,78
30	75,06	18,97	73,44	20	70,44	24,14	59,31	36,47
31	75	18,72	73,38	19,84	70,44	24,03	59,38	36,34
32	75,06	18,63	73,44	19,84	70,44	23,98	59,34	36,16
33	75,06	18,63	73,38	19,7	70,44	23,77	59,28	35,91
34	75	18,48	73,38	19,52	70,44	23,52	59,19	35,75
35	75	18,27	73,38	19,42	70,56	23,5	59,06	36,09
36	75,06	18,25	73,5	19,45	70,56	23,47	59,34	35,56
37	75,06	18,22	73,5	19,23	70,56	23,59	59,31	35,75
38	75,06	18,34	73,38	19,92	70,56	25,41	59,41	38,22
39	75	19,73	73,44	21,8	70,56	29,22	59,63	42,91
40	75,06	22,58	73,56	25,59	70,69	35,16	60,13	50,16
41	75,19	27,19	73,69	30,88	70,88	43,03	60,78	59,88
42	75,44	33,69	73,94	46,53	71,38	69,44	63,22	88
43	76,38	53,75	74,88	59,19	72,31	80,31	66,06	93,5
44	77,5	62,13	75,75	68,38	73,06	85,06	68,31	94,44
45	78,13	66,69	76,13	73,44	73,5	90,56	70	95,31
46	77,88	72,56	75,88	79,75	73,63	92,38	70,81	95,38
47	77,13	77,13	75,38	82,63	73,38	93,63	71,06	94,88
48	76,13	80,13	74,56	84,69	72,81	92,75	70,81	93,56
49	75,06	80,88	73,69	84,94	72,19	92,06	70,31	92,19
50	74,19	81	73	84,13	71,56	90,5	69,75	90,63
51	73,63	79,69	72,63	82,94	71,44	90,88	69,38	91,5
52	73,88	79,06	72,94	83,31	71,81	91,5	69,56	92,88
53	74,75	78,38	73,63	83,56	72,38	92,06	70	93,63
54	75,63	78,13	74,19	83,5	72,75	92,94	70,38	94,25
55	75,94	78,75	74,38	84,5	72,88	93,88	70,69	94,69
56	75,81	80,44	74,31	85,94	72,81	94,06	70,75	94,31
57	75,38	81,44	73,94	86,31	72,44	93,63	70,5	93,5
58	74,88	81,69	73,5	85,88	72,06	92,38	70,06	92,38
59	74,31	80,94	73,06	85,19	71,75	91,75	69,69	91,94
60	74,13	80,19	72,88	84,19	71,69	91,31	69,44	92,06
61	74,25	79,38	73,13	84	71,94	91,94	69,56	93,19
62	74,75	79,06	73,63	84,06	72,25	92,38	69,94	93,88
63	75,38	78,88	74	84,25	72,63	93,63	70,31	94,56
64	75,69	79,94	74,25	84,94	72,81	93,94	70,56	94,69
65	75,69	80,69	74,19	85,75	72,69	92,94	70,5	93,63
66	75,31	80,5	73,88	85,94	72,44	93,25	70,38	93,38
67	74,88	81,31	73,5	85,88	72,13	91,94	70,06	92,44

68	74,5	80,56	73,19	84,75	71,88	91,13	69,69	92
69	74,25	79,56	73,06	84,06	71,88	91,25	69,56	92,13
70	74,44	79,13	73,31	84,44	72,06	92,13	69,69	93,31
71	74,94	79,38	73,69	84,19	72,38	92,31	69,94	93,56
72	75,31	79,13	73,94	84,81	72,63	93,06	70,25	94,25
73	75,56	79,81	74,13	85,06	72,75	93,13	70,44	94,13
74	75,5	80,38	74	85,75	72,56	93,44	70,44	93,88
75	75,19	80,94	73,75	85,5	72,31	92,06	70,25	92,56
76	74,69	80,44	73,38	84,94	72	92,13	69,94	92,38
77	74,44	80,5	73,19	84,94	71,94	91,5	69,75	92,13
78	74,44	79,75	73,25	84,13	72	91,88	69,75	92,94
79	74,69	79,5	73,5	84,63	72,19	92,5	70,06	93,69
80	75,06	79,63	73,81	84,81	72,38	92,63	70,19	93,63
81	75,31	79,63	73,94	84,31	72,5	92,63	70,31	93,81
82	75,31	79,75	73,94	85,38	72,5	92,88	70,31	93,38
83	75,19	80,25	73,81	85,38	72,38	92,94	70,31	93,5
84	75	80,69	73,63	85,5	72,25	92,38	70,19	92,94
85	74,75	80,5	73,5	84,75	72,13	91,75	69,94	92,31
86	74,56	79,94	73,38	84,81	72,06	92,13	69,88	92,88
87	74,69	80	73,5	84,25	72,13	91,63	69,94	92,75
88	74,81	79,06	73,56	83,81	72,19	92,75	70,06	93,81
89	75,06	79,88	73,75	84,88	72,38	93,13	70,19	93,81
90	75,25	80,06	73,88	85,06	72,38	92,06	70,19	93,31
91	75,25	79,38	73,88	84,81	72,38	92,94	70,25	93,5
92	75,13	80,25	73,75	85,63	72,25	93,06	70,25	93,31
93	74,94	80,63	73,63	85,25	72,13	92	70,06	92,63
94	74,81	79,94	73,44	84,88	72	92,69	69,94	92,88
95	74,69	80,31	73,38	84,94	72	92,31	69,94	93,13
96	74,75	80,06	73,5	84,69	72,13	92,69	69,94	93,13
97	74,94	79,88	73,63	84,56	72,19	92,56	70	93,44
98	75,06	79,69	73,75	84,88	72,25	92,5	70,13	93,44
99	75,19	79,75	73,75	84,81	72,25	92,31	70,13	93,06
100	75,13	79,56	73,75	84,88	72,25	93,13	70,19	93,75
101	75,06	80,56	73,69	85,56	72,25	92,56	70,19	93,06
102	74,94	80,13	73,63	85,06	72,19	92,69	70,06	93
103	74,88	80,31	73,56	85,13	72,06	91,69	69,94	92,75
104	74,75	79,5	73,38	84,25	72	92,38	69,94	92,94
105	74,75	79,81	73,5	84,94	72,13	92,81	70	93,56
106	75	79,88	73,63	84,56	72,25	93,38	70,06	93,69
107	75,19	80	73,75	85	72,31	93,31	70,25	94,13
108	75,19	80,25	73,81	85,06	72,31	92,94	70,25	93,5
109	75,19	80,19	73,75	84,81	72,25	92,56	70,19	93
110	74,94	80	73,56	84,75	72,06	92,25	70,06	92,75



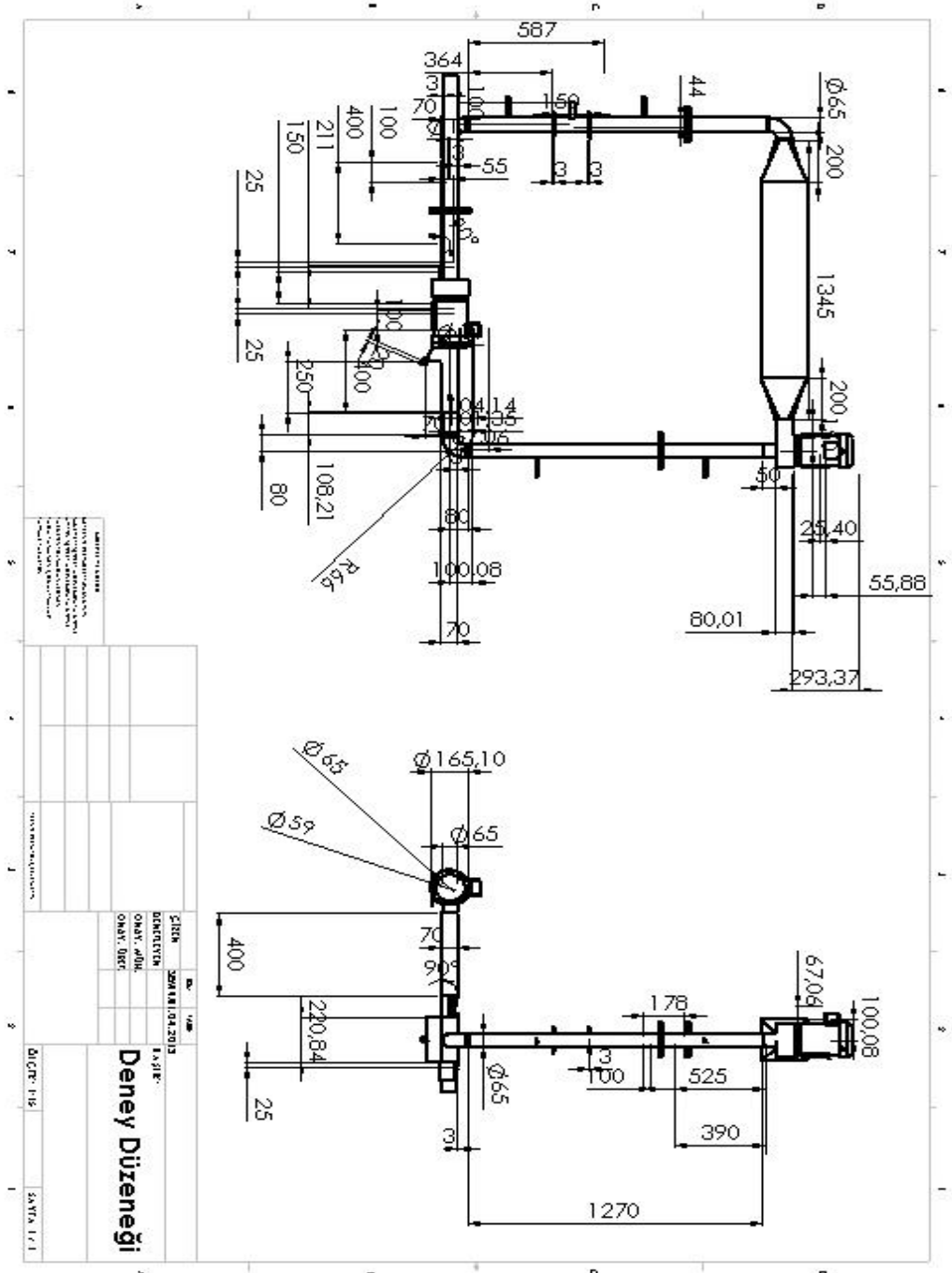
111	74,81	79,88	73,5	84,94	72	92,75	70	92,94
112	74,75	80,13	73,5	85,13	72,06	92,69	69,94	93,19
113	74,88	80	73,56	85,06	72,13	93	70,06	93,69
114	75,06	80,13	73,69	85,19	72,25	93	70,13	93,5
115	75,13	80,13	73,75	85,13	72,25	92,88	70,19	93,19
116	75,06	79,94	73,75	85,13	72,19	92,44	70,13	93,13
117	75	79,75	73,63	85,06	72,13	92,88	70,06	93,13
118	74,88	80,19	73,5	85,31	72,06	92,5	70	93
119	74,81	79,94	73,5	84,31	72	92,19	69,88	92,38
120	74,75	79,44	73,5	84,63	72	93,19	69,94	93,75
121	74,94	80,13	73,63	85	72,13	92,63	70,06	93,38
122	75,06	79,63	73,69	84,63	72,25	92,56	70,06	93,25
123	75,13	79,5	73,75	85	72,25	93,44	70,19	93,69
124	75,13	80,25	73,75	85,38	72,25	92,81	70,19	93,31
125	75,06	79,88	73,69	85	72,19	93,56	70,25	93,56
126	75	80,75	73,63	85,75	72,13	92,63	70,19	93,25
127	74,94	80,19	73,56	85,06	72,06	92,69	70,06	92,81
128	74,81	80,06	73,5	85	72	92,5	69,94	92,69
129	74,75	79,88	73,44	84,88	72	92,88	69,94	93,31
130	74,81	80,06	73,5	84,94	72,13	93,13	70,06	93,63
131	75	80,13	73,63	84,94	72,19	92,81	70,06	93,5
132	75,13	79,56	73,75	85	72,19	92,63	70,13	93,31
133	75,06	79,44	73,69	84,75	72,13	93,19	70,13	93,19
134	75,06	80,13	73,63	85,19	72,19	93,25	70,13	93,5
135	75	80,13	73,56	85,5	72,19	93,25	70,06	93,31
136	75	80,13	73,44	85,38	72,13	92,94	70,06	93,19
137	74,88	80	73,31	85,94	71,75	94	69,88	92
138	74,81	79,63	70,69	90,94	69,94	98,56	69,13	92
139	74,5	79,13	69,13	95,75	69,38	99,75	68,56	92,94
140	74,44	78,63	68,69	97,63	69,31	100,31	68,44	94,06
141	74,69	78,69	68,75	98,13	69,13	100,31	68,25	94,81
142	75,06	77,81	68,69	98,69	69	100,31	68,13	95,88
143	75,19	77,81	68,81	99,13	69,13	100,31	68,13	96,56
144	75,25	78,06	68,75	99,13	69,19	100,31	68,19	97,06
145	75,13	79,13	68,94	99,5	69,13	100,31	68,13	97,19
146	75,06	79,75	68,94	99,56	69,31	100,31	68,38	97,63
147	74,94	80,56	68,88	99,5	69,25	100,31	68,19	97,56
148	74,94	80,31	68,81	99,56	68,06	100,31	67,94	97,44
149	74,88	79,25	68,44	99,69	68,13	100,31	67,81	97,63
150	74,75	79,88	68,56	99,94	68,13	100,31	67,75	97,69
151	74,88	79,44	68,5	99,94	68,38	100,31	67,94	98
152	75,06	80,06	68,81	100,13	68,5	100,31	68,06	98,13
153	75,19	80,13	68,94	100,19	68,5	100,31	68,19	98,19

154	75,19	79,88	68,75	100,06	68,31	100,31	67,94	98,25
155	75	80,31	68,63	100,13	68,13	100,31	67,75	98,13
156	74,81	79,88	68,56	100,19	68,25	100,31	67,75	98,19
157	74,75	79,94	68,5	100,25	68,44	100,31	67,81	98,25
158	74,88	80,31	68,56	100,25	68,5	100,31	67,94	98,38
159	75,06	80,13	68,69	100,31	68,5	100,31	67,88	98,44
160	75,13	79,5	68,75	100,31	68,69	100,31	67,94	98,44
161	75,13	80,06	68,88	100,31	68,63	100,31	67,94	98,44
162	75,06	80,25	68,81	100,31	68,69	100,31	67,94	98,5
163	74,94	80,44	68,75	100,31	68,44	100,31	67,88	98,5
164	74,81	79,63	68,5	100,31	68,63	100,31	67,75	98,5
165	74,81	80,56	68,5	100,31	68,13	100,31	67,5	98,38
166	74,81	79,38	68,44	100,31	68,25	100,31	67,56	98,5
167	74,88	79,38	68,5	100,31	68,63	100,31	67,94	98,56
168	75,06	80,31	68,75	100,31	68,5	100,31	67,88	98,63
169	75,19	79,31	68,81	100,31	68,63	100,31	68	98,56
170	75,13	79,69	68,81	100,31	68,44	100,31	67,88	98,63
171	75	79,75	68,69	100,31	68,25	100,31	67,69	98,56
172	74,81	79,75	68,44	100,31	68,31	100,31	67,56	98,63
173	74,75	80,25	68,5	100,31	68,31	100,31	67,75	98,63
174	74,88	80,44	68,56	100,31	68,38	100,31	67,88	98,63
175	75,06	79,56	68,56	100,31	68,38	100,31	67,88	98,63
176	75,06	79,69	68,81	100,31	68,38	100,31	67,94	98,69
177	75,13	79,69	68,81	100,31	68,38	100,31	67,88	98,69
178	75,06	79,81	68,81	100,31	68,31	100,31	67,94	98,69
179	74,94	80,38	68,81	100,31	68,31	100,31	67,88	98,63
180	74,88	80,25	68,5	100,31	68,25	100,31	67,69	98,69
181	74,81	80,38	68,5	100,31	68,31	100,31	67,75	98,69
182	74,88	80,13	68,44	100,31	68,06	100,31	67,63	98,63
183	74,94	79,63	68,69	100,31	68,25	100,31	67,75	98,69
184	75,06	79,63	68,81	100,31	68,25	100,31	67,81	98,75
185	75,13	79,31	68,88	100,31	68,38	100,31	68	98,75
186	75,13	79,56	68,81	100,31	68,19	100,31	67,75	98,69
187	75	79,63	68,75	100,31	68,44	100,31	67,94	98,75
188	74,94	80,38	68,56	100,31	68,31	100,31	67,75	98,69
189	74,81	80,31	68,5	100,31	68,31	100,31	67,75	98,69
190	74,81	80,31	68,5	100,31	68,31	100,31	67,75	98,69
191	74,94	79,81	68,75	100,31	68,38	100,31	67,88	98,81
192	75,06	79,63	68,56	100,31	68,31	100,31	67,75	98,75
193	75,06	79,63	68,75	100,31	68,31	100,31	67,88	98,81
194	75,06	79,75	68,69	100,31	68,38	100,31	67,88	98,75
195	75	80,38	68,81	100,31	68,31	100,31	67,88	98,75
196	74,94	80,31	68,69	100,31	68,06	100,31	67,5	98,69

197	74,88	79,69	68,69	100,31	68,31	100,31	67,75	98,75
198	74,88	80	68,56	100,31	68,25	100,31	67,69	98,75
199	74,94	79,81	69,19	100,31	69,69	100,31	69	98,88
200	75,19	81,25	70,63	100,31	70	100,31	69,44	98,94

## EK B

### KURUTMA SİSTEMİNİN TEKNİK ÇİZİMLERİ



Şekil B.1. Deney Düzeneğinin Teknik Resmi

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : GÜMRÜK, Semra  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 24.10.1990 Samsun  
Medeni hali : Bekar  
Telefon : +90 (539) 253 57 98  
Faks : -  
e-mail : semragumruk@gmail.com

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Ondokuz Mayıs Üni./ Makine Müh.	2012

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2013-2015	TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi	Burslu Yüksek Lisans Öğrencisi
08.2011 -08.2011	FNSS Savunma Sistemleri A.Ş	Stajyer
07.2011-08.2011	TAI – TUSAŞ Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş.	Stajyer
07.2010-08.2010	MKE Kurumu –Maske Fabrikası	Stajyer

### Yabancı Dil

İngilizce

## **Yayınlar**

1. Experimental investigation of spray dehumidification process for commercial hybrid washing-drying machine, Semra Gumruk, Murat K. Aktas, Fatih Kasap, Internatioanl Journal of Heat and Mass Transfer, (Hazırlanıyor)
2. Experimental study of direct contact condensation of steam on water droplets, Semra Gumruk, Murat K. Aktas, The International Conference of Mechanical Engineering, ICME 1-3 Temmuz 2015, Londra, İngiltere
3. Doğrudan temaslı su spreyi ile nem alma sisteminin deneysel incelenmesi, Semra Gumruk, Murat K. Aktas, 20. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi ULIBTK'15, 2-5 Eylül 2015, Balıkesir, Türkiye
4. Cfd simulation of spray dehumidification process in moist air, Ali Farnoud, Semra Gumruk, Murat K. Aktas, Int. Symp. on Convective Heat and Mass Transfer, CONV-14, 8-13 Haziran 2014, Kuşadası, Aydın, Türkiye
5. Literatür incelemesi: Nanoakışkanlarda taşınım süreçlerinin moleküler dinamik simülasyonlarıyla analizi, Semra Gumruk, Murat K. Aktas, 20. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi ,ULIBTK'13, 9-12 Eylül 2013, Samsun, Türkiye