

**HAVA DESTEKLİ FLAT FAN
NOZULDA SPREY KARAKTERİSTİKLERİNİN
BELİRLENMESİ**

Sahar AMJADI

**Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Enerji Bilim Dalı
Prof. Dr. Kenan YAKUT
2014**

Her hakkı saklıdır

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**HAVA DESTEKLİ FLAT FAN NOZULDA SPREY
KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Sahar AMJADI

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Enerji Bilim Dalı**

**ERZURUM
2014**

Her Hakkı Saklıdır



T. C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

HAVA DESTEKLİ FLAT FAN NOZULDA SPREY KARAKTERİSTİKLERİNİN
BELİRLENMESİ

Prof. Dr. Kenan YAKUT danışmanlığında, **Sahar AMJADI** tarafından hazırlanan bu çalışma 01/12/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **Makine Mühendisliği** Anabilim Dalı **Enerji Bilim Dalı**'nda **Yüksek Lisans** tezi olarak **oybirliği/oy çokluğu (.../...)** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Kenan YAKUT

İmza :

Üye : Doç. Dr. Kemal ÇOMAKLI

İmza :

Üye : Doç. Dr. Süleyman KARSLI

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu...04 / ...12 / 2014 tarih ve...48 / ...1612 nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. İhsan EFEOĞLU
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HAVA DESTEKLİ FLAT FAN NOZULDA SPREY KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Sahar AMJADI

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Enerji Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Kenan YAKUT

Atomizasyon; akışkan kütesinin değişik yöntemlerle damlacıklara dönüştürülmesi işlemidir. Sprey ise atomizasyon sonucu oluşan damlacıklı yapı toplamıdır. Sprey soğutma, yüksek ısı transfer kapasitesi gereken uygulamalarda en etkin yöntemlerden biridir. Sprey, kontrollü bir soğutma sağlar. Sprey soğutma birçok bağımsız parametreye bağlıdır. Bu nedenle öngörü imkanları oldukça sınırlıdır. Bu çalışma tam olarak aydınlatılmamış olan sprej soğutmaya önemli deneysel bilgiler eklemek için yapılmıştır. Akış analizi çalışmalarında hava destekli nozul sprej karakteristikleri CCD kamera ve korelasyonlarla elde edilmiştir. Jet çapı ve sprej açısı görüntü işleme ile bozulma mesafesi ve Sauter Ortalama Çap (SMD) korelasyonlarla elde edilmiştir. Akış analizi sonuçlarına göre hava/sıvı kütsel debi oranı (ALR) arttıkça SMD, damla çapı artmakta ve jet kalınlığı, Θ azalmaktadır. Ayrıca Jet hızı arttıkça Jet kalınlığı azalmaktadır. Hava/su basınç oranı arttıkça hava/su hacimsel debileri oranı artmaktadır. Isı geçişi analizlerinde ise silindirik kanatçıklı ısı alıcının kaynama olmayan rejimde ve sabit yüzey sıcaklığında sprej soğutma karakteristikleri incelenmiştir. Nozul-yüzey mesafesi, kanat yüksekliği, kanat genişliği, kanatlar arası yatay ve düşey mesafeler, hava/su debileri oranı ve spreyleme zamanının ısı transferine etkileri incelenmiştir. ALR-Nu değişiminde En yüksek Nu sayısı 0.09 ALR , 36 mm kanat genişliğinde ve 20mm kanat yüksekliğinde bulunmuştur. Optimize edilmiş ısı alıcılarla yapılan deneyler sonucunda Nu sayısı, jet kalınlığı ve sprej açısı için korelasyonlar elde edilmiştir.

2014, 104 sayfa

Anahtar Kelimeler: Sprej soğutma, atomizasyon, hava destekli nozul, CCD kamera, görüntü işleme

ABSTRACT

DETERMINATION OF THE SPRAY CHARACTERISTICS FOR AIR ASSISTED FLAT FAN NOZZLE

Sahar AMJADI

Atatürk University
Natural Sciences Institute
Mechanical Engineering Department
Department of Energy

Advisor: Prof. Dr. Kenan YAKUT

Atomization is the process of transforming liquid mass into droplets by various methods. Spray is, on the other side, the total of the droplet structure that occurs due to the atomization. Spray cooling is one of the most efficient method among the applications which require high temperature transfer capacity. Spray enables a controlled cooling. Spray cooling is depend on many independent parameters. Therefore, the opportunity for prediction is pretty limited. This study is performed in order to add significant experimental information to spray cooling which is not yet enough elucidated. Air-assisted nozzle spray characteristics were acquired by CCD camera and correlations in flow analysis. Jet diameter and spray angle via image processing and breake up length and Sauter Mean Diameter (SMD) are acquired by correlations. According to the flow analysis results, as the air/liquid mass volumetric flow rates (ALR) increase, the droplet diameter (SMD) increases and the jet thickness (Θ) decreases. Besides, as the Jet velocity increases, Jet thickness decreases. In addition to these air/water pressure rates increase, air/water volumetric flow rates increase. According to the heat transfer analysis, the spray cooling characteristics of the cylindrical finned heat sink was investigated in a non-boiling regime for constant surface temperature. The experiments were carried out for the nozzle-surface distance, fin height, fin width, the horizontal and vertical distances between the fins, air/water flow rates and spraying times. For the ALR-Nu variations, the highest Nu number has been obtained for the air/liquid ratio of 0.09, width of fin 36 mm and height of fin 20mm. The correlations for the Nu number, jet thickness and spray angle have been acquired for the optimized heat sinks.

2014, 104 pages

Keywords: Spray cooling, atomization, air-assisted nozzle, CCD camera, image processing.

TEŐEKKÖR

Yüksek lisans tezimin belirlenmesi ve tamamlanması aşamalarında, öncelikle tezimi değerlendiren değerli görüş ve eleştirileriyle her türlü ilgi ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Kenan YAKUT'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam esnasında bana destek olan Sayın Yrd. Doç. Dr. Faruk YEŞİLDAL'a, çok değerli bölüm arkadaşlarıma ve gönül dostlarıma teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Son olarak, yalnızca yüksek lisans tezimin hazırlanması aşamasında değil başarıyla sonuçlandırabildiğim her işte sınırsız manevi desteğini yanımda hissettiğim sevgili aileme şükran duygularımı sunarım.

Sahar AMJADI

Kasım, 2014

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	17
2.1. Genel Isı Transferi Kavramları.....	17
2.1.1. İletim ile ısı transferi	19
2.1.2. Taşınım ile ısı transferi (Konveksiyon).....	19
2.1.3. Işınım ile ısı transferi.....	21
2.2. Spreyde Isı Transferi Mekanizmaları	22
2.2.1. Sprey ısı transferi parametreleri	23
2.3. Sprey Teorik Hızı ve Hacimsel Akı	28
2.4. Nozul Tahliye Katsayısı	29
2.5. Weber ve Ohnesorge Sayısı	29
2.6. Jet Bozulma (Dağılma) Uzunluğu.....	30
2.7. Sprey Bozulma Mesafesi ve Damlacık Çapı	32
2.8. Sprey Karakteristikleri	35
2.9. Sprey Karakteristik Çapları ve SMD Korelasyonları.....	39
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	43
3.1. Sprey Deney Seti ve Ölçümler	43
3.2. Yöntem	48
3.3. Diğer Sprey Görüntüleme Yöntemleri	48
3.3.1. Suya duyarlı kağıt yöntemi.....	48
3.3.2. Magnezyum oksit yöntemi	49
3.3.3. Silikon yüzey yöntemi.....	49
3.4. Optik Sprey Görüntüleme Yöntemleri	49

3.4.1. Yüksek hızda fotoğraflama	49
3.4.2. Schlieren tekniği.....	50
3.4.3. Shadowgraphy tekniği.....	50
3.4.4. Elektriksel sprej görüntüleme yöntemleri	50
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	51
4.1. Sprej Görüntüleri	51
4.2. Termal Görüntüler ve Sıcaklık Analizi	59
4.3. Grafikler	88
4.4. Akış ve Isı Analiz Kolerasyonları	91
5. SONUÇLAR.....	96
5.1. Akış Analizi Sonuçları	96
5.2. Akış ve Isı Analiz Korelasyon Sonuçları	97
5.3. Öneriler.....	98
KAYNAKLAR	99
ÖZGEÇMİŞ	99

SİMGELER DİZİNİ

a	Termal yayılma, m^2/s
A	Alan, m^2
ALR	Hava-sıvı kütle oranı, \dot{m}_A/\dot{m}_L
C_D	Sürüklenme katsayısı
C_p	Özgül ısı, J/kgK
D	Sprey çapı, m
d	Nozul çapı, m
D^*	Boyutsuz damla çapı
d_{32}	Sauter Ortalama Çap (SMD)
d_J	Jet çapı, m
Ja	Jakob sayısı
\dot{m}	Kütlesel debi, kg/s
Nu	Nusselt sayısı
\dot{N}''	Damlacık akısı
Oh	Ohnesorge sayısı
U	Hız, m/s
U_R	Bağıl hız, m/s
P	Basınç, Pa
P_a	Hava basıncı, Pa
P_l	Sıvı basıncı, Pa
Pr	Prandtl sayısı
Re	Reynolds sayısı
T	Sıcaklık, $^{\circ}C$
T_d	Doyma sıcaklığı, $^{\circ}C$
T_y	Yüzey sıcaklığı, $^{\circ}C$
We	Weber sayısı
Γ	Gama fonksiyonu
ΔP	Nozul boyunca basınç kaybı, Pa

Λ	Spreyin boyun yaptığı yerdeki dalga boyu,m
λ_{opt}	Optimum dalga boyu,m
Σ	Yüzey gerilmesi, N/m
\dot{q}''	Isı akısı, W/m ²
ν	Kinematik viskozite, m ² /s
\dot{V}''	Hacimsel akı, m ³ /m ² s
\dot{V}	Hacimsel debi, m ³ /s
μ	Dinamik viskozite, Ns/m ²

Alt indisler

Doy	Doymuş
K	Kanat
Konv	Konveksiyon
Mean	Ortalama
Ort	Ortalama
R	Bağıl
Rad	Radyasyon
Sat	Doymuş
Sp	Sprey
Top	Toplam
Y	Yüzey

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Sprey soğutmda basınçlı ve hava destekli atomizasyonun karşılaştırılması ..	23
Şekil 2.2. Bozulma tiplerinin sınıflandırılması	30
Şekil 2.3. Spreyin gelişme evreleri	38
Şekil 2.4. Sprey bozulma açısı	38
Şekil 2.5. Jet bozulma mesafesi ile jet hızı arasındaki ilişki.....	39
Şekil 3.1. Sprey deney seti şematik resim	44
Şekil 3.2. Spray deney seti fotoğrafı	44
Şekil 3.3. Basınçlı su tankı.....	45
Şekil 3.4. DXF-HS1 hava destekli nozul ve bağlantıları.....	45
Şekil 3.5. IMPERX ICL B0620 CCD kamera ve framelink.....	46
Şekil 3.6. LZT sıvı ve hava akışölçerleri	46
Şekil 3.7. Termal kamera	47
Şekil 3.8. DXF-HSI Nozul.....	47
Şekil 4.1. $Q_a=1 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=250 \text{ ml/dk}$ için sprej görüntüsü	51
Şekil 4.2. $Q_a=1 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300 \text{ ml/dk}$ için sprej görüntüsü	51
Şekil 4.3. $Q_a=1 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=350 \text{ ml/dk}$ için sprej görüntüsü.....	52
Şekil 4.4. $Q_a=1 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=400\text{ml/dk}$ için sprej görüntüsü	52
Şekil 4.5. $Q_a=1 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=450\text{ml/dk}$ için sprej görüntüsü	52
Şekil 4.6. $Q_a=1 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=500\text{ml/dk}$ için sprej görüntüsü	53
Şekil 4.7. $Q_a=1.5 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=100\text{ml/dk}$ için sprej görüntüsü.....	53
Şekil 4.8. $Q_a=1.5 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=150\text{ml/dk}$ için sprej görüntüsü	53
Şekil 4.9. $Q_a=1.5 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200\text{ml/dk}$ için sprej görüntüsü.....	54
Şekil 4.10. $Q_a=1.5 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=250\text{ml/dk}$ için sprej görüntüsü.....	54
Şekil 4.11. $Q_a=1.5 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300\text{ml/dk}$ için sprej görüntüsü.....	54
Şekil 4.12. $Q_a=1.5 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=350\text{ml/dk}$ için sprej görüntüsü.....	55
Şekil 4.13. $Q_a=1.5 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=400\text{ml/dk}$ için sprej görüntüsü.....	55
Şekil 4.14. $Q_a=1.5 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=450\text{ml/dk}$ için sprej görüntüsü.....	55
Şekil 4.15. $Q_a=1.5 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=500\text{ml/dk}$ için sprej görüntüsü.....	56
Şekil 4.16. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=100\text{ml/dk}$ için sprej görüntüsü.....	56

Şekil 4.17. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=150\text{ml}/\text{dk}$ için sprej görüntüsü	56
Şekil 4.18. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200\text{ml}/\text{dk}$ için sprej görüntüsü.....	57
Şekil 4.19. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=250\text{ml}/\text{dk}$ için sprej görüntüsü.....	57
Şekil 4.20. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300\text{ml}/\text{dk}$ için sprej görüntüsü.....	57
Şekil 4.21. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=350\text{ml}/\text{dk}$ için sprej görüntüsü.....	58
Şekil 4.22. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=400\text{ml}/\text{dk}$ için sprej görüntüsü	58
Şekil 4.23. Silindirik ısı alıcılar	59
Şekil 4.24. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200\text{ml}/\text{dk}$, için (Sprej gönderilmeden önce) termal görüntü	60
Şekil 4.25. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200\text{ml}/\text{dk}$, için (Sprej gönderildikten sonra) termal görüntü	60
Şekil 4.26. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200\text{ml}/\text{dk}$, için sıcaklık değişimi.....	61
Şekil 4.27. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200\text{ml}/\text{dk}$, için sıcaklık değişimi.....	61
Şekil 4.28. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300\text{ml}/\text{dk}$, için (Sprej gönderilmeden önce) termal görüntü	62
Şekil 4.29. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300\text{ml}/\text{dk}$, için (Sprej gönderildikten sonra) termal görüntü	62
Şekil 4.30. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300\text{ml}/\text{dk}$ için sıcaklık değişimi.....	63
Şekil 4.31. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300\text{ml}/\text{dk}$ için sıcaklık değişimi.....	63
Şekil 4.32. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200 \text{ ml}/\text{dk}$, için (Sprej gönderilmeden önce) termal görüntü	64
Şekil 4.33. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200\text{ml}/\text{dk}$, için (Sprej gönderildikten sonra) termal görüntü	64
Şekil 4.34. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200\text{ml}/\text{dk}$, için sıcaklık değişimi.....	65
Şekil 4.35. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200\text{ml}/\text{dk}$, için sıcaklık değişimi.....	65
Şekil 4.36. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300 \text{ ml}/\text{dk}$, için (Sprej gönderilmeden önce) termal görüntü	66
Şekil 4.37. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300\text{ml}/\text{dk}$, için (Sprej gönderildikten sonra) termal görüntü	66
Şekil 4.38. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300\text{ml}/\text{dk}$, için sıcaklık değişimi.....	67
Şekil 4.39. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300\text{ml}/\text{dk}$, için sıcaklık değişimi.....	67

Şekil 4.40. $Q_a=1 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_1=200 \text{ ml/dk}$, için (Sprey gönderilmeden önce) termal görüntü	68
Şekil 4.41. $Q_a=1 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_1=200 \text{ ml/dk}$, için (Sprey gönderildikten sonra) termal görüntü	68
Şekil 4.42. $Q_a=1 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_1=200 \text{ ml/dk}$, için sıcaklık değişimi.....	69
Şekil 4.43. $Q_a=1 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_1=200 \text{ ml/dk}$, için sıcaklık değişimi.....	69
Şekil 4.44. $Q_a=1 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_1=300 \text{ ml/dk}$, için (Sprey gönderilmeden önce) termal görüntü	70
Şekil 4.45. $Q_a=1 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_1=300 \text{ ml/dk}$, için (Sprey gönderildikten sonra) termal görüntü	70
Şekil 4.46. $Q_a=1 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_1=300 \text{ ml/dk}$, için sıcaklık değişimi.....	71
Şekil 4.47. $Q_a=1 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_1=300 \text{ ml/dk}$, için sıcaklık değişimi.....	71
Şekil 4.48. $Q_a=1.5 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_1=200 \text{ ml/dk}$, için (Sprey gönderilmeden önce) termal görüntü	72
Şekil 4.49. $Q_a=1.5 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_1=200 \text{ ml/dk}$, için (Sprey gönderildikten sonra) termal görüntü	72
Şekil 4.50. $Q_a=1.5 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_1=200 \text{ ml/dk}$, için sıcaklık değişimi.....	73
*Sprey gönderilmeden önce	73
Şekil 4.51. $Q_a=1.5 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_1=200 \text{ ml/dk}$, için sıcaklık değişimi.....	73
Şekil 4.52. $Q_a=1.5 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_1=300 \text{ ml/dk}$, için (Sprey gönderilmeden önce) termal görüntü	74
Şekil 4.53. $Q_a=1.5 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_1=300 \text{ ml/dk}$, için (Sprey gönderildikten sonra) termal görüntü	74
Şekil 4.54. $Q_a=1.5 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_1=300 \text{ ml/dk}$, için sıcaklık değişimi.....	75
Şekil 4.55. $Q_a=1.5 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_1=300 \text{ ml/dk}$, için sıcaklık değişimi.....	75
Şekil 4.56. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_1=200 \text{ ml/dk}$, için (Sprey gönderilmeden önce) termal görüntü	76
Şekil 4.57. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_1=200 \text{ ml/dk}$, için (Sprey gönderildikten sonra) termal görüntü	76
Şekil 4.58. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_1=200 \text{ ml/dk}$, için sıcaklık değişimi.....	77
Şekil 4.59. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_1=200 \text{ ml/dk}$, için sıcaklık değişimi.....	77

Şekil 4.60. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300 \text{ ml/dk}$, için (Sprey gönderilmeden önce) termal görüntü	78
Şekil 4.61. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300\text{ml/dk}$, için (Sprey gönderildikten sonra) termal görüntü	78
Şekil 4.62. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300\text{ml/dk}$, için sıcaklık değişimi.....	79
Şekil 4.63. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300\text{ml/dk}$, için sıcaklık değişimi.....	79
Şekil 4.64. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200 \text{ ml/dk}$, için (Sprey gönderilmeden önce) termal görüntü	80
Şekil 4.65. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200\text{ml/dk}$, için (Sprey gönderildikten sonra) termal görüntü	80
Şekil 4.66. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200\text{ml/dk}$, için sıcaklık değişimi.....	81
Şekil 4.67. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200\text{ml/dk}$, için sıcaklık değişimi.....	81
Şekil 4.68. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300 \text{ ml/dk}$, için (Sprey gönderilmeden önce) termal görüntü	82
Şekil 4.69. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300\text{ml/dk}$, için (Sprey gönderildikten sonra) termal görüntü	82
Şekil 4.70. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300\text{ml/dk}$, için sıcaklık değişimi.....	83
Şekil 4.71. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300\text{ml/dk}$, için sıcaklık değişimi.....	83
Şekil 4.72. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200 \text{ ml/dk}$, için (Sprey gönderilmeden önce) termal görüntü	84
Şekil 4.73. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200\text{ml/dk}$, için (Sprey gönderildikten sonra) termal görüntü	84
Şekil 4.74. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200\text{ml/dk}$, için sıcaklık değişimi.....	85
Şekil 4.75. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200\text{ml/dk}$, için sıcaklık değişimi.....	85
Şekil 4.76. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300 \text{ ml/dk}$, için (Sprey gönderilmeden önce) termal görüntü	86
Şekil 4.77. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300\text{ml/dk}$, için (Sprey gönderildikten sonra) termal görüntü	86
Şekil 4.78. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300\text{ml/dk}$, için sıcaklık değişimi.....	87
Şekil 4.79. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300\text{ml/dk}$, için sıcaklık değişimi.....	87
Şekil 4.80. ALR-jet kalınlığı değişimi.....	88
Şekil 4.81. ALR-Boyutsuz damla çapı (D^*) grafiği	88

Şekil 4.82. ALR-SMD grafiği.....	89
Şekil 4.83. ALR- Θ grafiği	89
Şekil 4.84. Jet kalınlığı ile jet hızının değişimi.....	90
Şekil 4.85. Basınç hacimsel debi oranlarının değişim grafiği	90
Şekil 4.86. Hava debisinin Nusselt sayısı üzerine etkisi.....	91
Şekil 4.87. Kanat genişliğinin Nusselt sayısı üzerine etkisi	92
Şekil 4.88. Kanat yüksekliğinin Nusselt sayısı üzerine etkisi	92
Şekil 4.89. Nu korelasyonu için frekans dağılımı.....	93
Şekil 4.90. θ korelasyonu için frekans dağılımı	94
Şekil 4.91. tjet korelasyonu için frekans dağılımı.....	95

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Literatürdeki bazı bozulma mesafesi korelasyonları	28
Çizelge 2.2. Jet bozulma rejimlerinin sınıflandırılması	39

1. GİRİŞ

Atomizasyon; akışkan kütlesinin değişik yöntemlerle damlacıklara dönüştürülmesi işlemidir. Sprey ise atomizasyon sonucu oluşan damlacıklı yapı toplamıdır. Sıvı atomizasyonu, sprey soğutma, sprey tutuşma, sprey kurutma ve zirai sprey gibi birçok uygulamada kullanımı yaygındır. Bu uygulamalarda partikül boyut kontrolü kritik öneme sahiptir.

Sprey soğutma; elektronik soğutma ve diğer yüksek ısı akıllı uygulamalar için araştırılan ve yüksek ısı transferi, ısı taşınım homojenliği, düşük damlacık çarpma hızı ile nitelenen bir teknolojidir.

Sprey çok sayıda damlacık içerdiğinde, sıvının hacimsel debisi artacağından sıcak yüzey üzerindeki buhar miktarı fazlalaşır ve sıvı ile buhar arasındaki ısı transferini hesaplamak daha zor hale gelir. Buna ek olarak, çekirdek kaynama koşulunda yüzey üzerinde oluşan sıvı filmi damlacık ile yüzey arasındaki etkileşimi değiştireceğinden tek damlacıklı model ile sprey arasında farklılıklar olacaktır. Böyle farklılıklara rağmen, prosesteki karmaşık noktaları göz ardı ederek ideale yakın koşullarda problemin önemli parametrelerini tanımlayabilmek adına, tek damlacık ile yapılan araştırmalar ciddi bir adım olmuştur.

Sprey sistemi modellemesi sıvı jetinin parçalanmasının peşinden damlacık çap dağılımının öğrenilmesiyle alakalıdır. Jetlerin bozulması, enjektör içindeki akış niteliklerine ve sıvı içindeki türbülans bozulmasına, jetin yüzey etrafındaki etkileşimine ve normal koşullar altında jetin yüzeyinden ayrılan damlacık gelişimine bağlıdır. Atomizasyon problemi, safhalar arasındaki etkileşim bilgisinin tam olarak çözülemediği türbülans analizindeki birçok sorunla uğraşmaktadır. Bu sorunların çözümü için spreyin elde edildiği nozul çapı, polarizasyon oranı, damlacık hızı, damla sıcaklığı, sprey soğutmada kullanılan sıvının cinsi, damlacık çapı, kritik ısı akışı gibi parametreler ve

etkileşimleri detaylı bir şekilde incelenmelidir. Optik görüntüleme ve analiz yöntemleri ile geometriye ve sisteme uygun şekilde ölçümler yapılmalıdır.

Son yıllarda zorlanmış hava jeti veya basınçlı nozullara göre hava destekli nozullarla sprey soğutma endüstride daha çok kullanılmaktadır. Hava destekli sprey, halihazırda hızlı soğutma gerektiren bazı uygulamalarda kullanılmaktadır. Bunlar; normal kalınlıkta plakaların soğutulması, sıcak haddelenmiş çeliklerin soğutulması, otomotiv endüstrisinde cam temperleme, elektronik çip soğutma gibi uygulamalardır. Ayrıca yiyecek işleme endüstrisinde de hava destekli nozullar yaygın olarak kullanılmaktadır.

Literatürde sprey oluşumu, spreyin mikro ve makro özellikleri, kanatçıklı yüzeyler, sprey soğutma, çalışma sıvısı, spreyin optik ve lazer görüntü işleme teknikleri ile analizi v. b. çalışmaların özetleri verilmiştir.

Ding *et al.* (2011); sprey yapısı ve gelişimini çok delikli enjeksiyon kullanarak incelediler. Deneyler sabit hacimli haznede yapıldı. Enjeksiyon basıncı, ortam basıncı ve sıcaklığın etkilerini incelediler. Yüksek hızlı CCD kamera (Phantom V12. 1) ile alınan görüntüler Matlab'da yapılan program ile işlendi. Sprey uç yayılması ve sprey koni açısı analiz edildi. Uç yayılmasına ortam sıcaklığı kısmen daha az etkiliyken, sırasıyla ortam basıncı ve enjeksiyon basıncının daha etkili olduğu sonucuna vardılar .

Lal *et al.* (2010); çift akışkanlı, içten karışımli püskürtücünün deneysel çalışmasını yaptılar. Damlacık çap dağılımını Malvern Particle Analyzer ile ölçtüler. Sprey karakteristikleri eşzamanlı olarak sıvı basıncı ve püskürtme havasına bağlı olarak ölçüldü. Kontrollü atomizasyon sonuçları özellikle yandın söndürme uygulamaları için sunuldu. Çeşitli koşullar için SMD korelasyonları verildi. Tahliye katsayısı, boyutsuz damlacık çapının ALR ile değişim grafikleri sunuldu. Momentum oranı hesaplandı. Bu çalışmada hava basıncı 2-7. 5 bar, sıvı basıncı 0.3-1.7 bar ve ALR 0.16-2.9 aralıklarında çalışıldı. ALR arttıkça CD'nin azaldığı, SMD'nin azaldığı görüldü. Damlacık boyut dağılım parametreleri verildi. Bu değerler SMD: 15-85 μm , Dv10: 8-42 μm , Dv90: 79-

283 μm , Dv50: 32-115 μm aralıklarında değişti. Sonuçlar ift fazlı atomizerlerin kontrollü spreyle elde etmek için uygun olduğunu gösterdi .

Chen *et al.* (2002); damlacığın çapı, akışı ve hızı gibi parametrelerin kritik ısı akışı ve ısı transfer üzerine etkilerini incelemişlerdir. Sadece bir parametreyi değistirirken diğerlerini sabit tutarak deneysel çalışma yürüttüler. Her bir parametrenin artışına bağlı olarak kritik ısı akışının ve ısı taşınım katsayısının arttığını ve en baskın parametrenin damlacık hızı olduğunu rapor etmişlerdir.

Chandra *et al.* (1996); saf suyun yüzey gerilmesini azaltmak için 100-1000 ppm oranlarında sodyum dodesil yüzey aktif maddesi (SDS) eklemişlerdir. alışmalarında damlacık çapı 2.05 mm ve yüzey sıcaklığı 60-110°C aralığındadır. Sonuç olarak yüzey aktif madde eklendiğinde damlacıkların yüzey üzerinde daha fazla yayılma eğilimi gösterdiğini ortaya koymuşlardır. Damlacık daha fazla yayıldığında, yüzey üzerinde daha ince bir sıvı filmi tabakası oluşmakta ve bunun sonucu olarak ısı transferi artmaktadır.

Chen *et al.* (2013); spreyle soğutmayla düz alüminyum mikro kanal ısı değiştiricinin (4 geçişli, paralel akışlı) ısı transferi performansını deneysel olarak incelediler. Spreyle oluşturmak için suyu depodan pompa ile nozula gönderdiler.

Deneyle tam koni spreyle nozul ile 19 cm uzaktan spreyle gönderilerek yapıldı. Gönderilen su debileri 4,9-5,34 kg/dk aralığında değişti. Su spreyle oranı, hava oranı ve bağlı nem etkilerini araştırdılar. Deneyle sonuçları ısı transferi performansının artan spreyle debisi ile arttığını gösterdiler .

Pasandideh *et al.* (1995); akışkana ilave edilen yüzey aktif maddenin, damlacık dinamiklerine etkileri üzerine bir çalışma yürüttüler. alışmalarında SDS'nin konsantrasyonu 0-1000 ppm aralığında, damlacık çapı ve çarpma hızı sırasıyla 2.05 mm ve 1.05 m/s'dir. Nozul ile yüzey arasındaki mesafe 50 mm'dir. Genelde, damlacıklar yüzey üzerinde biriktiği zaman radyal olarak yayılır ve sonar merkeze doğru geri sıar.

Araştırmalarında yüzey aktif maddenin eklenmesinin sadece damlacığın yüzeydeki yayılma çapını arttırmadığı, aynı zamanda geri sıçrama yüksekliğini de azalttığını rapor ettiler ve damlacık deformasyonu için bir numerik model geliştirdiler.

Cader *et al.* (2004); elektronik çiplerin soğutulması üzerine yaptıkları çalışmada, spre y soğutma sistemiyle hava soğutma sistemini karşılaştırdılar. Spre y soğutma ile çiplerin bağlantı noktasındaki sıcaklıkta 37°C'lik bir düşüş ve enerji tüketiminde ise %35'lik bir tasarruf sağlandığı araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir.

Schwardskopf *et al.* (2004); spre yin açısının soğutma prosesi üzerine etkisini inceledikleri çalışmalarında soğutulacak yüzey aşağı doğrudur ve nozul yukarı doğru Oden 600 m'ye kadar eğimle spre y pskrtmektedir. Akışkan olarak 101 kPa basınçta PF-5060 kullanılmaktadır. Araştırmacılar, nozulun eğim açısı 0 ile 400 m arasındayken ısı akışının 63 W/cm² olduğunu ve eğim açısı 400m'nin üzerine çıktığında kritik ısı akışının ani bir şekilde düştüğünü tespit etmişlerdir.

Issa and Yao (2005); damlacık ile yüzey arasındaki etkileşim dinamiklerinin ve çeşitli evre basıncı koşullarında ısı transferi mekanizmasının benzeşimini yapmak için, bir sayısal model geliştirdi. Araştırmacılar basınç arttıa Leidenfrost Sıcaklığının (Minimum ısı akışı geçişinin meydana geldiği sıcaklık) da arttığını tespit etmişlerdir. Buna bağlı olarak damlacığın çarpma esnasında yüzeyi ıslatma miktarı ve temas ısı transfer etkinliği de artmaktadır.

Xishi *et al.* (2004); yüzey sıcaklığı, damlacık çapı ve hızı gibi spre y karakteristiklerinin soğutma prosesi üzerine etkilerini incelemişlerdir. 0.2 MPa, 0.4 MPa ve 0.6 MPa değerlerindeki farklı çalışma basınçlarında ve 80°C, 100°C ve 120°C yüzey sıcaklıklarında yürüttükleri deneysel çalışmalarda, damlacığın soğutma etkinliğinin yüzey sıcaklığına ve spre y karakteristiklerinden özellikle Weber Sayısına bağlı olarak önemli değerim gösterdiğini saptamışlardır.

Lee *et al.* (2010); düşük hızlı çapraz akışlı dönen sıvı jetin sprej biçimlendirmesi ve bozulması deneysel olarak araştırıldı. Makro ve mikroskobik sprej parametrelerinde çapraz akışın etkileri jet Weber Sayısı ile sıvı-gaz momentum oranı bakımından optik olarak ölçüldü. Düşük jet Weber Sayıları'nda sıvı akışı Rayleigh jet bozulmasına maruz kalır. Yüksek momentum oranlarında bag bozulması meydana gelir ve sıvı kolonunun bozulmasına yol açar. Jet Weber Sayısı arttığında daha güçlü aerodinamik etkileşim ve ikincil akışlar çok modlu bozulmaya neden olur. Momentum oranını göz önüne almadan daha yüksek Jet Weber Sayıları'nda sprej profili hemen hemen hiç değişmedi. Çapraz akış jet bozulmasını artırır ve enjeksiyon hızlarının tüm aralıklarında ince spreje dönüştürür.

Çoğu endüstriyel uygulamada sprejler sıfırdan farklı bağıl hıza sahip bir çapraz akışta uygulandı. Sıvı ve gaz akışlar arasındaki kütle, momentum ve enerji transferinden dolayı aero dinamik etkileşim yüzey gerilmesini yener, sıvı-gaz ara yüzeyindeki sapmayı harekete geçirir ve sıvı jetin atomizasyonunu harekete geçiren kararsız dalgaları yükseltir. Mikroskobik sprej ile karakteristiklerinin artırılması başarılıdır. Bu konveksiyonla desteklenmiş sprej biçimi uygulaması endüstride turbo-jet, ramjet ve scramjetlerde yakıt enjeksiyonu uygulamalarında kullanıldı. Bu uygulamalarda yüksek atomizasyon kalitesi sağlandı. Deneysel çalışmalar çeşitli boyut ve geometrilerdeki enjeksiyon portlarında normalden yüksek Mach sayılı subsonic hava akışlarına kadar sıvı jetin bozulması ve yayılması için yapıldı. Jet yayılmasının korelasyonları gerekli enjeksiyon parametreleri ile önerildi. Sprej görüntüsü, yayılma yüksekliği, hız alanı ve sıvı özelliği de incelendi (2001). Hem subsonik hem de supersonik çapraz akışlar incelendi. Anlık shadowgraphy fotoğrafları durgun gazda savrulan küresel damlacığın ikincil bozulmasını andıran sıvı kolonu bozulmasını gösterdi (2004). Damlacıkların şok dalga etkileşimleri boyunca ikincil bozulması da araştırıldı. Şok dalga etkileşimiyle aerodinamik kuvvetler tarafından bozulan küresel damlacık seri damlacık fotoğrafları ile açığa çıkarıldı. Daha sonra jet Weber sayısı artarken bag, multimode (bag/plume) ve plume/shear (kırpma) şeklinde sıralı olarak parçalara ayrıldı. Türbülanslı olmayan sıvı jetin birincil bozulması darbeleri shadowgraphy ve holograf teknikleri kullanılarak gösterildi.

Rizk and Lefebvre (1985) bu doğrusal metodu geliştirdi. Teorik ve deneysel çalışmaları i ve dış spray karakteristikleri için yürüttüler. Film kalınlığı, bozulma mesafesi ve spray koni açısının parametrik (dağılıma bağımlı) araştırması akış şartları ve geometriyle bağlantılı olarak yapıldı.

Deney seti, basınç tankı, ayarlayıcı, optik görüntüleme ve veri toplama ünitelerinden oluşturuldu. Deney seti kk ölçekli subsonik rüzgar tüneli ile kuruldu. Veri toplama nitesi ile basınç ve kütlesel debi kaydedildi. Pilot tank basıncının değişimlerini sınırlamak için gelişmiş servo devresiyle hassas bir şekilde kütlesel debinin devamlılığı sağlandı. Dikdörtgen kesitli sesaltı rüzgar tüneli ile (150mmx150mm), 10 ile 40 m/s akış hızında hava gönderildi. Ani spray görüntülerini yakalamak için darbeleri shadow-graph tekniği kullanıldı. CCD kamera (Flow-Master 3S, LaVision inc.) stroboskoplara aydınlatılarak senkronize edildi. PTU (programlanabilir zaman nitesi) ardışıklığı kontrol eder ve poz süresini 15 nanosaniye ile sınırlar. Yüksek znrlkte ani görüntülerin yakalanması için A Questar QM100 uzun odaklı mikroskop lensi kullanıldı. 50 ardışık anlık görüntü alındıktan sonra diğer koordinata kaydırıldı ve yüksek güçlü object lens önceden belirlenmiş kafes noktasına yerleştirildi. Her görüntü tamamlanan görüntüleri analiz etmek için depolandı. Tek damlacıkların aritmetik ortalama çapı elde edildi ve SMD hesaplaması için depolandı. %95 güven aralığında yüksek kararlılıkta spray verileri sağlamak için SMD hesaplarırken 5000 örnek alındı. LISA (linear instability sheet atomization) yöntemine göre su enjeksiyonu 1.4...9.8 g/s debi, 3. 9.... 25.4 m/s hız aralıklarında ve yaklaşık olarak 3800'den 25300 Reynolds aralığında yapıldı. Artan Weber Sayısı ile basınçlı dönen jetde spray, 5 seçilmiş bozulma rejimine ayrıldı. Bunlar $We=203$ de damla evresi (dribble stage), $We=371$ 'de çarpılmış kalem evresi (distorted pencil), $We=657$ de soğan evresi (onion stage), $We=2020$ de lale evresi (tulip stage) ve $We=8834$ de tam gelişmiş spray olarak sınıflandırıldı. Her bozulma rejimi 3 ayrılma biçimiyle belirtildi. Bunlar Weber Sayısı ve yüzey gerilmesinin byklğine bağlı olan rim (kenar), wave (dalga) ve perforated sheet (delikli tabaka) biçimleridir.

Qi *et al.* (2006); LPG'li motorlarda yakıt enjeksiyonu kontrolü için LPG sprej karakteristiklerini anlamak gerekli ve önemlidir. Sunulan çalışmada sprej uç yayılması (tip penetration), sprej açısı, izdüşüm sprej alanı ve sprej hacmini içeren LPG sprej geometrisi schileren fotoğraflama ve dijital görüntü işleme tekniklerini kullanılarak araştırıldı. Aynı nozul çapına sahip iki tip nozul (double-hole split head) kullanıldı. Manuel ölçüm ve analizlerden daha etkili ve doğru olan sayısallaştırılmış görüntüleri direk analiz sonuçlarından elde etmek için kod geliştirildi. Sonuçlar daha yüksek enjeksiyon basıncında daha uzun sprej uç yayılması, daha geniş sprej izdüşüm alanı, sprej hacmi ve daha küçük sprej koni açısı olacağını gösterdi. Orta ve geç enjeksiyon zamanında çift delikli bölmeli nozul daha iyi atomizasyon ve daha kısa sprej uç yayılması üretmiştir. Fakat ilk aşamada daha uzun uç yayılması görülmüştür.

LPG yüksek doyma buhar basıncına sahiptir. Bu yüzden çevre şartlarında sıvı fazda LPG enjekte edildiğinde parlama olur. Schileren aksel ışık ışını görüntüsünün neden olduğu bozukluğu azaltmak için iki konkav aynadan oluşan Z tip optik dizilişine göre kuruldu. Xe lambadan gönderilen ışık ışınları 1. Konkav aynaya paralel yansıyacak şekilde gönderildi. Paralel ışık ışınları her iki yanı saydam kuvars cam olan sabit hacimli odanın içinden geçirildi. 2. konkav ayna ile düzlem ve teğet odakların keskin kenarları saptırılarak bir noktada birleştirildi. Keskin kenarlar yön değiştirildikten sonra ışık ışınları CCD kamera ile görüntülendi. 150 W gücünde Xenon lamba kullanıldı. Sprej 0,4 mm çaplı nozuldan 1 MP basınç ve 356 ml/dk'lık debi ile gönderildi.

İki enjektör tipi ve üç enjeksiyon basıncında sprej biçimleri (modes) 6 kombinasyon için yapıldı. Her biçim için ard arda 15 görüntü kaydedildi. Her sıra için 50 görüntü alındı. Toplamda 6 kombinasyon için 4500 görüntü alındı. Uzun bir zamanda alınan ölçümlerle sprej karakteristikleri tahmin edildi. Dijital görüntü işleme yardımıyla çalışma tamamlandı. Bu işlemde enjeksiyona başlamadan önce arka plan görüntüsü alındı. Görüntü işleme algoritmasını gerçekleştirmek için Matlab kodu geliştirildi. Kenar algılaması için 'Sobel' operatörü kullanıldı. Biçimsel işlemi tamamlamak için aşınma ve genişleme usülleri kullanıldı. Sprej karakteristiklerinin hesaplanmasını da içeren bir görüntü işlemi için geçen süre 0.8 s' dir.

Geometrik sprej karakteristikleri kısaca tanımlandı. Sprej uç yayılması (S), P (nozül enjektör çıkışının merkezi) ile B (sprej dış çizgisi (spray outline)) arasındaki maksimum mesafe olarak tanımlandı. Sprej uç yayılması;

$$S(t) = \max\{\sqrt{(B\{t\}_x - P_x)^2 + (B\{t\}_y - P_y)^2}\}$$

formülü ile hesaplandı.

Sprej açısı;

$$Q(t) = \frac{\sum_{i=i_{\min}(t)}^{i_{\max}(t)} (Q_l^i(t) + Q_r^i(t))}{i_{\max}(t) - i_{\min}(t)}$$

ile hesaplandı.

Sprej izdüşüm alanı sprej görüntülerinden bölünmüş sprej alanının piksel sayılarından elde edilerek aşağıdaki şekilde hesaplandı.

$$V(t) = \int_0^{S(t)} \pi \left(\frac{w_l^i(t) + w_r^i(t)}{2} \right)^2 dh$$

Sprej ana hatları çok pürüzlü ve değişken olduğundan, nozuldan çıkan sprej yüzeyi istatistiki açıdan dönen yüzey olarak düşünülmüştür.

Kodların doğruluğunu kanıtlamak için kod tarafından oluşturulan sprej uç yayılmaları elle yapılan deneylerle karşılaştırıldı. İlk önce seçilen bir görüntü çıktı alınarak sürgülü kumpas ve pergel yardımıyla ölçüldü. Başka biri de ölçümleri tekrarladı. Bu iki ölçümün ortalaması alınarak elle yapılan ölçümlerle karşılaştırıldı. Bu işlemler 2 Mpa enjeksiyon basıncı ve tek delikli nozul için yapıldı. İki yöntem arasındaki maksimum fark %5 olarak gözlendiği için kodun yeterince doğru olduğu sonucuna varıldı.

Sprey uç yayılması $S(\text{mm})$ -Zaman $t(\text{ms})$ grafikleri incelendiğinde tek delikli ve çift delikli enjektörle yapılan deneylerde uç yayılmasının geçen zamanla ve enjeksiyon basıncıyla arttığı görüldü. Tek delikli enjektör ile karşılaştırıldığında çift delikli enjektör sprej formunda daha hızlı buharlaşma ve böylece yüksek yoğunluk değişimine sahip olduğu görüldü. Sonuçta Schlieren tekniğiyle gözlemlere dayanarak çift delikli enjektör ilk aşamada daha uzun sprej uç yayılması sergiledi. Fakat sonuçta sprej uç yayılması çift delikli enjektörde gittikçe kısaldı. Çift delikli enjektör atomizasyonu da arttırdı. Enjeksiyon basıncının artmasıyla sprej uç yayılması, sprej izdüşüm alanı ve sprej hacmi artarken, sprej açısı azaldı.

Santolaya *et al.* (2010); konik sıvı tabakasının (sheet) bozulmasından kaynaklanan sprej yapısını deneysel olarak incelediler. Dağınık ve sürekli faz hızları ve damlacık boyutları PDPA ile ölçüldü. Veri işleme için genelleştirilmiş integral metodu uygulandı ve çeşitli damlacık boyutu sınıfları için sıvı hacimsel debisi geliştirmek için kullanıldı.

Ölçümler TSI-Aerometrics 3100 PDPA sistem ile alındı. Eş zamanlı damlacık çapı ve iki bileşenli hız ölçümleri alındı. CCD kamera ile 0,5 μs gecikme zamanlı stroboskop kullanıldı. Basınçlı döner nozul olarak Danfoss 0. 5 80°H modeli kullanıldı. 80° koni açısı, 0,2mm orifis çapı, 16 bar basınçta 95°C için deneyler yapıldı. Aerosol Sprej için $D_{10}=3.4 \mu\text{m}$ olan su-gliserin karışımı kullanıldı. Deneyler 340 mm^3 saydam sprej odasında yapıldı.

Chang *et al.* (2007); su damlacık akışı ve alevlenme arasındaki ilişki hakkında bilgi verir ve önleme etkinliği etkileşimini açıklar. Yangın önleyici olarak su damlacık akışları ve su sprej kullanıldı.

CCD kamera, makroskopik lens, video kayıt cihazı söndürme işlemi için uygun şekilde yerleştirildi. Basınç kaynağı ve titreşim frekansı damlacık akışına göre ayarlandı. Ani görüntüler 30 fps'lik kamera ile alındı. Alev ve damlacık boyutu Intellicam yazılımı ile hacimsel debi eşitliği kullanılarak doğrulandı. Söndürme için enjeksiyon başladıktan sonra zaman video fotoğraflarından hesaplandı.

Laryea and No. (2004) çalışmalarında Charge-inected elektrostatik basınçlı helezon nozul için sıvı bozulma mesafesi ve sprej koni açısı gibi sprej karakteristikleri araştırıldı. Çalışma; dizayn, elektrosprej nozul geliştirme ve yakıt yanma uygulaması için yapıldı. Nozulun sprej karakteristikleri araştırıldı. Sprej açısı, sağlanan voltaj ve enjeksiyon basıncı artarken sıvı bozulma mesafesi azaldı. Elektrostatik pressure-swirl nozulda bozulma mesafesini öngörmek için ampirik eşitlik önerildi. Deneysel sonuçlar ampirik eşitlik ile aynı aralıkta sonuçlar verdi.

Geliştirilen şarjlı, elektrostatik basınçlı helezon nozul için basınç aralığı 0. 7-0. 9 Mpa, debisi 69-77.6 ml/dak olarak belirlendi. Şarjlı sprej, sıvının viskozitesinde meydana gelebilecek değişimlerden dolayı tekrar kullanılmadı. Deney seti yakıt tankı, pompa, elektrometre, güç kaynağı, Faraday haznesi, CCD kamera ve stroboskop kullanılarak kuruldu. Bütün elektrik aksamı alüminyum ile yalıtıldı. Çoklu sprej görüntülerini yakalamak için A-3 CCD video kamera (SONY) kullanıldı. Stroboskop, koyu arka planda sprej alanını aydınlatmak için kullanıldı. 0 görüntü photoshop görüntü analiz yazılımı ile işlendi. Bozulma mesafesi iki kritere göre belirlenebilir. Bunlar perforation (delik) ve sprej yapısıdır. Birincisi nozul orifis çıkışı ile sıvı kolonunda delinmenin (perforation) görüldüğü yer olarak tanımlandı. İkincisi, damla şekillenmesi ile nozul orifisi arasındaki mesafe olarak belirlendi. Her görüntü için damla şekillenmesiyle bozulma mesafesi ve başlangıç sprej açısı 20'da ölçüldü. Bu deneyde sadece sıvı atomizasyonunun makro yapısı ele alındı.

Pavlova *et al.* (2008); kaynama olmayan rejimde su sprejde ve soğutma performansında sentetik (net kütle akışı sıfır) jetlerin etkisini deneysel olarak araştırdılar. Genel sprej karakteristiklerini akış kontrolü altında birkaç yolla değerlendirmek için PIV (Particle Image Velocimetry) ve Shadowgraphy kullandılar. Bakır ısıtıcıya yerleştirilen termoçiftlerle sıcaklık ölçümlerini yaptılar. Akış kontrolüyle soğutma artırımında önemli bir rol oynayan sıcak yüzey ve sprej arasındaki mesafenin (H) sprej özellikleriyle birlikte normal duruma kıyasla daha iyi sonuç verdiğini gördüler. Sprej soğutmada jet ve spreji (FC-72 sıvısıyla) karşılaştırdılar. Hava debisini LABVIEW programı ile kontrol ederek sisteme gönderdiler. Soğutma performansında sprej

soğutmada jetden daha yüksek CHF (kritik ısı akısı) elde ettiler. Soğutma karakteristiklerinin dağılıma bağlı çalışmasında her parametrenin çeşitli nozullar için diğerlerinden bağımsız olduğunu gördüler. Damlacık hızının CHF’de en büyük etkiye sahip olduğunu fakat ısı transfer katsayısında önemli bir etkisinin olmadığını tespit ettiler. Damlacık sayısı arttıkça CHF ve ısı transfer katsayısının arttığını gördüler. Bununla birlikte d32 (sauter mean diameter) azaldıkça ısı transfer katsayısının artarken, CHF’nin azaldığı sonucuna vardılar .

Li *et al.* (2006); ters (inverse) hesaplamalı metotla mikroelektroniklerin sprej soğutmasında sprej açısının soğutma performansına etkilerini incelediler. Ters (inverse) hesaplamalı ısı transferi algoritmasını saf silikon yüzey (die yüzey)’de ölçülen sıcaklık verilerini kullanarak bilinmeyen sprej soğutma ısı akılarını hesaplamak için geliştirdiler. Hesaplama planı sonlu elemanlar metodu ve kısaltılmış tek değer yöntemleri (tanımlanan sınır değeri için) ile yapıldı. Sonuçta die (kalıp)’da yanıl ısı iletimi arttı. Soğutucu akış oranı akış ölçer ile görüntülendi. Sabit basınçta çeşitli pompa hızlarında tekrar edildi. Soğutucu besleme basıncı ve akrilik hazne buhar basıncı basınç transdüserleriyle ölçüldü. Sauter Mean Diameter (SMD) 43µm kabul edildi (Mudawar and Estes 1996). Püskürtücü açısı 20°, 40°, 50° ve 60°’de çalışıldı. Soğutucu olarak PF5060 kullanıldı. Deneysel veriler ve ters (inverse) ısı transferi modeli 50°’den fazla sprej açılarında soğutma kapasitesinde önemli bir azalma olduğunu gösterdiler. Azalmanın bir başka önemli sebebinin de daha büyük sprej açılarında yüzeyden gönderilen sprej hacimsel akısındaki azalma olduğu belirttiler .

Visaria and Mudawar (2008); test yüzeyinde 3 tam koni sprej nozulda FC-77 kullanılarak CHF ve sprej aşırı soğutma performansı incelediler. CHF’deki artışın düşük aşırı soğutmaya nazaran yüksek aşırı soğutmada daha fark edilir seviyede olduğunu deneysel olarak gösterdiler. Fakat aşırı soğutmanın buharlaşma etkinliğinde kayda değer bir etkiye sahip olmadığı sonucuna varıldı. Test yüzeyinin dışını G-7 plastik ve fiberglas ile yalıttilar. FC-72 sıvısını yüksek direnç, termal stabilite, düşük akma noktası gibi özellikleri nedeniyle tercih ettiler .

Al-Ahamdi and Yao. (2008); yüksek sıcaklıktaki metallerin tam koni spreyle soğutmasının deneysel bir çalışmasını yaptı. Deneyleri 12,5 cm çapında, 2,5 cm kalınlığında, 900°C’de silindirik çelik plaka için yaptı. Direk ve ters iletimin sayısal tablosu yapılan 25 deneyd’den çıkardı. Lokal su kütleli debi aralığını 1,5-6,6 kg/s olarak belirledi. Isı transferinin öncelikle lokal kütleli debiye bağılı olduğunu gösterdi. Minimum film kaynama ısı akısı ve maksimum (kritik) ısı akısı kütleli debinin artmasıyla arttığı görüldü. Dikey olarak düşen spreyle kısmen daha yüksek ısı akısı olduğu analiz edildi. Akıntıya karşı birikip taşan suyun da kısmen daha yüksek ısı akıları, daha yüksek Leidenfrost ve kritik sıcaklıklara sebep olduğu görüldü. Sistemi yerçekimi etkileri ve spreyle açısı bakımından da incelediler. Dikey spreyle kısmen daha yüksek ısı akısı sağladığı tespit edildi .

Baillard *et al.* (2011); çelik yüzey soğutma uygulamasıyla spreyle dinamiğini deneysel ve nümerik olarak ele aldılar. Spreyle karakteristiklerini nozuldan 250-500 mm uzaktan detaylı olarak incelediler. Örnek verileri çap ve hız için PDF (Probability Density Function) yöntemi ile incelemek için bu ikisi arasındaki korelasyonu kapsayacak şekilde aldılar. Nümerik yaklaşım Eulerian-Lagrangian formülasyonunu esas aldı. Gaz fazında RANS k-ε modeli ile momentum ve türbülans eşitlikleriyle çözüm yaptılar. Nümerik ve deneysel sonuçları karşılaştırdılar. Bu karşılaştırmada bozulma modelini eklemek için ikincil atomizasyonun simülasyonuna ihtiyaç duydular. Bunun için de LES Eulerian-Lagrangian simülasyonunun gaz etrafındaki damlacıklarda daha iyi sonuç verdiğini saptadılar .

Wendelstorf *et al.* (2008); otomatikleştirilmiş soğutma test standında, temiz yüzey koşullarında (oksitlenmeyen) ısı transfer katsayısı ölçtüler. Ortak düşünceye göre, yüksek sıcaklık rejiminde fazladan sıcaklığa bağımlılık olduğunu gördüler. Malzemeden su spreyle olan ısı transferi miktarını iki fazlı akış alanının basit modelinde açıkladılar. Deneysel veriler, ısı transferi katsayısının(α) analitik korelasyonlara bağımlılığını V_s (su etki yoğunluğu) ve ΔT olarak öngördüler. Ortalama damla çapı ve damlacık hızı değerlerini korelasyonlardan elde ettiler .

Press *et al.* (2009); çift fazlı nozullarda su-yağ emülsiyonunun atomizasyona etkisi dijital mikrofotografi metodu ile incelediler. Dijital kamera ile alınan görüntüleri Image Pro-plus görüntü işleme programı ile analiz ettiler. Sprey açısı, sprey damlacık spektrumu ve SMD'yi hesapladılar. SMD değerini Rizk and Lefebvre'nin korelasyonu ile elde ettiler. Emülsiyon viskozitesi arttıkça SMD'nin arttığı sonucuna vardılar .

Santolaya *et al.* (2010); konik sıvı tabakasının (sheet) bozulmasından kaynaklanan spreynin yapısını deneysel olarak incelediler. Dağınık ve sürekli faz hızları ve damlacık boyutlarını PDPA ile ölçtüler. Veri işleme için geliştirilmiş integral metodunu uyguladılar ve çeşitli damlacık boyutu sınıfları için sıvı hacimsel debisini incelemek için kullandılar. Ölçümleri TSI-Aerometrics 3100 PDPA sistemi ile aldılar. damlacık çapı ve iki bileşenli hız ölçümlerini eş zamanlı olarak aldılar. CCD kamera ile stroboskop kullandılar. Basınçlı dönel nozul olarak Danfoss 0. 5 80°H modelini kullandılar. Deneyle 80° koni açısı, 0,2mm orifis çapı, 16 bar basınçta 95°C için yaptılar. Aerosol Sprey için D10=3.4 µm olan su-gliserin karışımı kullanıldı. Deneyle 340 mm³ saydam spreynin odasında yürüttüler .

Laryea and No. (2004); çalışmalarında Charge-injected elektrostatik basınçlı helezon nozul için sıvı bozulma mesafesi ve spreynin koni açısı gibi spreynin karakteristikleri araştırıldı,Çalışma; dizayn, elektrospreynin nozul geliştirme ve yakıt yanma uygulaması için yapıldı. Nozulun spreynin karakteristikleri araştırıldı. Spreynin açısı, sağlanan voltaj ve enjeksiyon basıncı artarken sıvı bozulma mesafesi azaldı. Elektrostatik pressure-swirl nozulda bozulma mesafesini öngörmek için ampirik eşitlik önerildi. Deneysel sonuçlar ampirik eşitlik ile aynı aralıkta sonuçlar verdi.

Liu *et al.* (2011); kaynama olmayan rejimde su ile spreynin soğutmada artırılmış yüzeylerde ısı transferi performansını araştırmak için deney yaptılar. Yüzey artırımı düz kanat (straight fin) ile yapıldı. Yüzeyler kesit alanı 10mm x 10mm olan bakır blokların üstüne yerleştirildi. Spreynin hacimsel akısı 0,044-0,053 m³/(m². s) olan Unijet tam koni nozul ile yüzeye gönderildi. Isı transferi düz kanatlı yüzeylerde düz yüzeye göre açık bir

şekilde artırıldı. Bununla birlikte kanat yüksekliği arttıkça artım miktarının azaldığını tespit ettiler .

Sridhara and Raghunandan (2010); sprej karakteristiklerinin analizinde kullanmak için akış görüntüleme tekniklerinin kapsamlı bir çalışmasını sundular ve farklı aydınlatma tekniklerinin deneysel uygulamasını yaptılar. Airblast (havalı) ve swirl (girdap) atomizerlerin sprej fotoğraflarını geriden aydınlatma (backlighting), aralıklı aydınlatma (slit), flaşlı aydınlatma (incident) ve yeni bir yöntem olan saçılan ışık görüntüsü (scattered light) yöntemleri ile tanıttılar. Bu yöntemlerle alınan fotoğrafların jet bozulma olayı, iç ayrıntılar ve sprejin dış görünüşünü çıkarmak için kullanışlı olduğunu gösterdiler. Farklı tekniklerin birleşiminin uygun tanımlamalar için gerekli olabileceği sonucuna vardılar .

Gadgil and Raghunandan (2011); nozul çıkışında sprej bozulmasını hava destekli nozulda düşük GLR (gaz/sıvı kütle oranı) oranlarında deneysel olarak araştırdılar. Sprej akış görüntülemesi için iki farklı kamera ve yüksek frekanslı görüntüyü dondurmak için stroboskop kullandılar. Sprej görüntülerini yakalamak için Shadowgraphy tekniğini kullandılar. Birbirini takip eden görüntülerden spreji analiz ettiler. Gözlemlerden orifis yakınında sprej yapılarını üç mod için sınıflandırdılar. Bunlar; kesikli habbe patlaması, sürekli habbe patlaması ve dairesel konik sprej olarak belirlendi. Parametrik çalışma ile ortalama habbe patlama mesafesinin hava debisi, jet çapı ve karışım hızına bağlı olduğunu gösterdiler. Diğer ikisiyle karşılaştırıldığında en baskın etkinin jet çapı olduğunu gözlediler. Bu parametrelerle boyutsuz iki fazlı akış sayısı ve habbe patlama mesafesi korelasyonunu verdiler .

Watanawanyoo *et al.* (2012); içten karışmalı hava destekli atomizer geliştirdiler ve sprej karakteristiklerini deneysel olarak incelediler. Geliştirdikleri bu hava destekli nozulu mikro gaz türbin yanma odasında kullandılar. Sprej karakteristiklerini elde etmek için nozul yakınında ve akış doğrultusunda akışı incelediler. Akışı görüntülemek için Shadowgraphy tekniğini uyguladılar. Nd-YAG lazer ve yüksek hızlı CMOS kamera ile görüntüleri aldılar. Kenar belirleme için görüntü işleme algoritmasını MATLAB'de

geliştirdiler. alışmaları 0.18-0.58 ALR aralığında yürüttüler. Sprey aırlarını 13-20° aralığında buldular .

Charalampous *et al.* (2010); havalı atomizerlerde sıvı jetin bozulma uzunluğunun ölçümünde üç farklı teknik denediler. Birincisi; yüksek hızda shadowgraphy yöntemiyle parçalanma mesafesi ve süresini belirlemek için yüksek çözünürlükle tek kare fotoğraf aldılar. İkinci teknik olan elektriksel iletkenlik metodunda jetteki elektriksel iletkenlik düşey yönde ölçüldü. Üçüncüsü optik bağlantı yöntemi jetin lazerle aydınlatılarak fotoğraflanmasına dayanır. Bu üç bozulma mesafesi ölçüm yönteminin avantajlarını ve kısıtlamalarını karşılaştırdılar. Bu yöntemlerin uygulanabilirliklerini tartıştılar .

Mzad and Tebbal. (2009); su jetlerinin çarpmasından dolayı düzlemde olan ısı transferi oranını ısı iletim eşitliklerinin sayısal çözümüyle araştırdılar. Simülasyon çeşitli akışkan enjeksiyon basınçlarında (1-3 bar) 8 farklı nozul için yürütüldü. Yüzey boyunca ısı transfer değişimleri 600°C yüzey sıcaklığında elik için hesaplandı. 300 W/cm² ısı akısında elik için sıcaklık-zaman grafikleri verildi. Daha düşük sıcaklıklar için tahmin edilen yerel ısı transfer katsayısının önemli ölçüde arttığını gözlediler . Bazı araştırmacılar yüzey pürüzlülüğünün etkisini de çalıştılar. Pürüzlülük arttığı ısı akısı ve konveksiyon katsayısının arttığını gördüler .

Yamamoto and Kuwahara (2011); yüksek ısı taşıma teknolojisi olarak ince taneli püskürtmeli soğutmayı yüksek sıcaklık çalışma malzemelerini soğutmak için uyguladılar. Çalışma materyalinin sıcaklığı ve su partiküllerinin davranışını incelemek için üç boyutlu nümerik simülasyon geliştirdiler. İnce taneli sis partiküllerinin %50'sinin analiz bölgesine çarparken %50'sinin ise bölgenin dışına aktığını gösterdiler. Çarpan partiküllerin %20-30'unun buharlaştığı ve bunların %70-80'inin de yüzeyde kaldığı sonucuna vardılar .

Sümer *et al.* (2012); bu çalışmada basınçlı girdap tipi nozul içindeki akışı yüksek hızlı görüntüleme tekniği ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği araçlarını kullanarak incelediler. Oyuk koni şeklindeki spreyn özelliklerini Faz Doppler Parçacık Analizcisi

ile buldular. Deneysel ve sayısal çalışmaların sonuçlarını karşılaştırdılar. ANSYS-FLUENT yazılımı ile üç boyutlu ve iki boyutlu simetrik model ile çözüm yaptılar. Elde edilen görüntüleri görüntü işleme programı ile nicel olarak incelediler. SMD çapının basınçla radyal olarak değişimini gösterdiler. Eksenden uzaklaştıkça damlacık çapının arttığı sonucuna vardılar .

Cheng *et al.* (2012); bu teorik çalışmada spreyde damlacık hızı, SMD dağılımı, damlacık sayısı çeşitlilikleri ile sıcak yüzeyde akışkan film hızı, ısıtma gücü ve yüzey sıcaklığı dağılımını incelediler. Yüzey sıcaklığını çeşitliliği kaynama olmayan ve çekirdek kaynama rejimlerinde korele ettiler. Sonuçta; sprey parametrelerinin çeşitliliği azaldıkça ısıtıcı yüzeydeki akışkan film kalınlığının daha üniform olduğu, sıvı film hızının arttığı ve böylece yüzey sıcaklığının daha üniform olduğu gördüler .

Ravikumar *et al.* (2014); 6 mm kalınlığında paslanmaz çelik plakada hava destekli sprey soğutmayı ve yüzey aktif madde ilavesini incelediler. Çelik yüzey sıcaklığı 900°C'de deneylere başladılar. Yüzey aktif madde olarak Tween 20 kullandılar. Çeşitli karışımlar için maksimum soğutma oranlarını hesapladılar. Etanol-su-yüzey aktif madde karışımı için bu değer 235°C/s olarak elde edildi. Bunu çok hızlı (ultrafast) soğutma rejimi olarak tanımladılar. Bu araştırmayı çok hızlı soğutma sürecini arttırmak için yürüttüler. Sonuç olarak çekirdek kaynama rejiminde (200°C) yüzey ısı transfer katsayısının etanol-su-yüzey aktif madde karışımında en çok artışı gösterdiğini buldular .

2. KURAMSAL TEMELLER

Teknoloji de yaşanan hızlı gelişmeler yüksek performansa sahip termal sistemlere olan ihtiyacı sürekli olarak gündemde tutmakta ve araştırmacıların ilgilerini ısı geçişinin artırılmasına yönelik çalışmalara yönlendirmektedir. Bugün dünyanın birçok üniversitesinde ve araştırma-geliştirme çalışmalarına önem veren büyük firmaların araştırma laboratuvarlarında ısı geçişi verimini yükseltmeye yönelik çalışmalar yapılmaktadır.

2.1. Genel Isı Transferi Kavramları

Isı geçişi, doğada ve güncel yaşantımızda kullandığımız türlü cihazların çalışmasında örneklerini gördüğümüz fiziksel bir olaydır. Son zamanlara kadar ısı geçişi konusunda sahip olunan bilgiler son derece az ve çoğunlukla deneysel temele dayanmakta iken, günümüzde gelişen analitik çözüm tekniklerinin ve süper hızlı bilgisayarların varlığı nedeniyle, ısı transferi teorisi de hızla gelişmektedir. Bu gelişimde, deneysel yöntemlerde sağlanan ilerlemeler ve teori-deney arasındaki farkın kapanması da önemli rol oynamaktadır.

Isı transferi sıcaklık potansiyelinden dolayı ortaya çıkan enerji biçimidir. Bir ortam içerisinde veya ortamlar arasında, bir sıcaklık farkının mevcut olduğu her durumda ısı geçişi mutlaka gerçekleşir. Bir katı veya durgun akışkan ortam içinde, sıcaklık farkı olması durumunda, ortam içinde gerçekleşen ısı geçişi için, iletim terimi kullanılır. Buna karşın, bir yüzey ile hareket halindeki bir akışkan farklı sıcaklıklarda ise, aralarında gerçekleşen ısı geçişi taşınım terimi ile anılır. Sonlu sıcaklığa sahip tüm yüzeyler elektromanyetik dalgalar halinde enerji yayarlar. Farklı sıcaklıktaki iki yüzey arasında, birbirlerini görmeye engel bir ortam yoksa meydana gelen ısı alışverişine ışıyım denir. Kanatçıklı bir ısı alıcı analizi yapılırken bu üç ısı transferi mekanizması göz önüne alınır.

Isı transferi mekanizması üç değişik şekilde olmakta ve bunlar:

- A. İletim (Kondüksüyon)
- B. Taşınım (Konveksiyon)
- C. Işınım (Radyasyon) olarak adlandırılmaktadırlar.

Taşınım ile ısı aktarımı, temel olarak moleküllerin kitleler halinde hareketinden kaynaklanır. İki farklı sıcaklıktaki yüzey arasında hareket halindeki akışkan bu hareketi sırasında ısı taşınımını sağlar.

İletimle ısı aktarımı, ise durgun bir ortamda gerçekleşir, birbirleriyle temas halindeki moleküllerin kafes yapısındaki titreşimler sayesinde ısı bir sonraki moleküle taşınır.

Işınım ile ısı aktarımında ise ısı aktarımı için bir ortama gerek duyulmaz. Birbirini gören yüzeyler arasında sıcaklık farkı olduğu sürece ışınım ile ısı aktarımı olduğunu söylemek mümkündür.

- **İletim**, madde veya cismin bir tarafından diğer tarafına ısının iletilmesi ile oluşan ısı transferinin bir çeşididir. Isı aktarımı daima yüksek sıcaklıktan, düşük sıcaklığa doğrudur. Yoğun maddeler genelde iyi iletkenlerdir; örneğin metaller çok iyi iletkenlerdir.
- **Taşınım**, katı yüzey ile akışkan arasında gerçekleşen ısı aktarımının bir çeşididir. Akışkan içindeki akımlar aracılığıyla ile ısı aktarılır. Akışkan içindeki veya akışkanla sınır yüzey arasındaki sıcaklık farklarından ve bu farkın yoğunluk üzerinde oluşturduğu etkiden doğabilmektedir.
- **Işınım** yolu ile ısı aktarımı, fotonlar (elektromanyetik ışınım) yolu ile olan ısı aktarımıdır.

2.1.1. İletim ile ısı transferi

İletim bir maddenin enerjisi daha fazla olan moleküllerinden yakındaki diğer moleküllere, moleküller arasındaki etkileşim sonucunda enerji geçidir. İletim katı, sıvı ve gaz ortamlarda gerçekleşebilir. Katılarda iletim ısı enerjisinin bir molekülden diğerine aktarılması ile, sıvılarda ve gazlarda ise iletim, moleküllerin rastgele hareketleri sırasında birbiriyle çarpışması sonucunda oluşur. Sıcak bir odadaki soğuk kola kutusu oda sıcaklığına gelirken havadan kola kutusu'nun alüminyum cidardan iletimle ısı geçişi olur.

Isı iletimi, Fourier Yasası ile tanımlanır. Sabit kesit alanına sahip bir cisimden bir boyutlu, kararlı ısı iletimi aşağıdaki denklemle ifade edilir:

$$q = -kA_c \frac{dT}{dx} \quad (2.1)$$

Buna göre ısının çeşitli malzemeler üzerinden iletirme oranı;

- 1) Malzeme kalınlığı
- 2) Kesit alanı
- 3) Malzemenin iki tarafındaki sıcaklık farkı
- 4) Malzeme ısı iletkenliği
- 5) Isı akışının süresi

gibi faktörlere bağlıdır.

2.1.2. Taşınım ile ısı transferi (Konveksiyon)

Taşınım , katı yüzey ile akışkan arasında gerçekleşen ısı transferinin bir çeşididir. Akışkan içindeki akımlar vasıtası ile ısı transfer edilir. Akışkan içindeki veya akışkanla sınır yüzey arasındaki sıcaklık farklarından ve bu farkın yoğunluk üzerinde oluşturduğu

etkiden doğabilmektedir. Yoğunluk değişimlerinin diğer kaynakları, değişken tuzluluk oranı veya dış kaynaklı zorlayıcı kuvvet uygulanması gibi sebepler de olabilir.

Doğal taşınım, akışkan içinde varolan sıcaklık farkları sebebi ile akışkanın hareket etmesi ile ortaya çıkan taşınımdır. Örneğin; ısınan sıcak havanın radyatör yüzeyinden yukarı doğru yükselmesi.

Doğal taşınımın temel dayanak noktası, ısınan akışkanın daha yukarı (yüzeye) çıkmaya yatkın hale gelmesi, yani yükselmesi ve daha soğuk akışkanın aşağı (dibe) hareket etmesidir. Yerçekimi veya santrifüj gibi ivme alanları içinde çeşitli sıcaklıklarda , sıcaklık değişimleri nedeni ile gaz veya sıvı genişleme veya kısılmaya uğradığında doğal taşınım oluşur. Yerçekimi olmadığında, yükselme faktörü olmayacağından, doğal taşınım oluşmaz.

Zorlanmış taşınım ise akışkan hareketi dıştan gelen bir etki ile (bir pompa veya fan gibi) olduğunda oluşur. Örneğin; fanlı ısıtıcılar, fan soğuk havayı ısıtma elemanına üfler ve hava ısınır yine benzer şekilde bir insan yemeğini soğutmak için üflediğinde, zorlanmış taşınım kullanmış olur.

Zorlanmış ya da doğal taşınım olsun her ikisinde de, mühendislik yaklaşım genelde sıcak ısı kaynağı olan yüzeyden akışkan ortama olan ısı transfer oranı ile ilgilenmektedir.

Bir yüzey üzerinden geçen akışkanın bölgesel taşınımsal ısı akısı şu şekilde ifade edilir;

$$q'' = h(T_s - T_\infty) \quad (2.2)$$

Burada:

q'' - bölgesel ısı akısı

h - bölgesel taşınım katsayısı

T_s - yüzey sıcaklığı

T_∞ - çevre sıcaklığı

Toplam ısı transferi, A yüzey alan üzerinden q'' 'nun integralinin alınması ile hesaplanır.

$$q = \int_A q'' dA \quad (2.3)$$

Bu ifade daha sonra *ortalama taşınım katsayısının*, \bar{h} , tanımlanmasında kullanılır.

$$q = \bar{h}(T_s - T_\infty) \quad (2.4)$$

2.1.3. Işınım ile ısı transferi

Işınım ile ısı transferi sonlu sıcaklıktaki malzeme tarafından yayılan ve elektromanyetik dalgalarla iletilen enerjidir. Enerji iletim ve taşınım ile transfer edilirken bir madde ortamına gerek duyar, fakat ışınım ile buna gerek yoktur. Sonlu sıcaklıktaki her bir cisim ya da nesne ışınım yaydığı gibi aynı zamanda bu cisim ya da nesnelere çevrelerindeki ışınım yayan cisimlerin yaydığı bu ışınım için alıcı konumundadır. Bu olay ışınım soğutulması olarak bilinir. Bu nedenle ışınım etkisinden bahsedilirken aşağıdaki eşitlikle verilen bir yüzey ve çevresi arasındaki net ışınım ısı değişim miktarını dikkate almak gerekmektedir;

$$Q_{rad} = \varepsilon A_s \sigma (T_y^4 - T_\infty^4) \quad (2.5)$$

Radyant ısı, koyu renkli veya donuk cisimler tarafından kolayca soğurulur. Oysa açık renkli yüzeyler, ışık ışınlarını olduğu gibi, radyant ısı dalgalarını da yansıtırlar. Bu nedenle buzdolapları açık renkte imal edilirler.

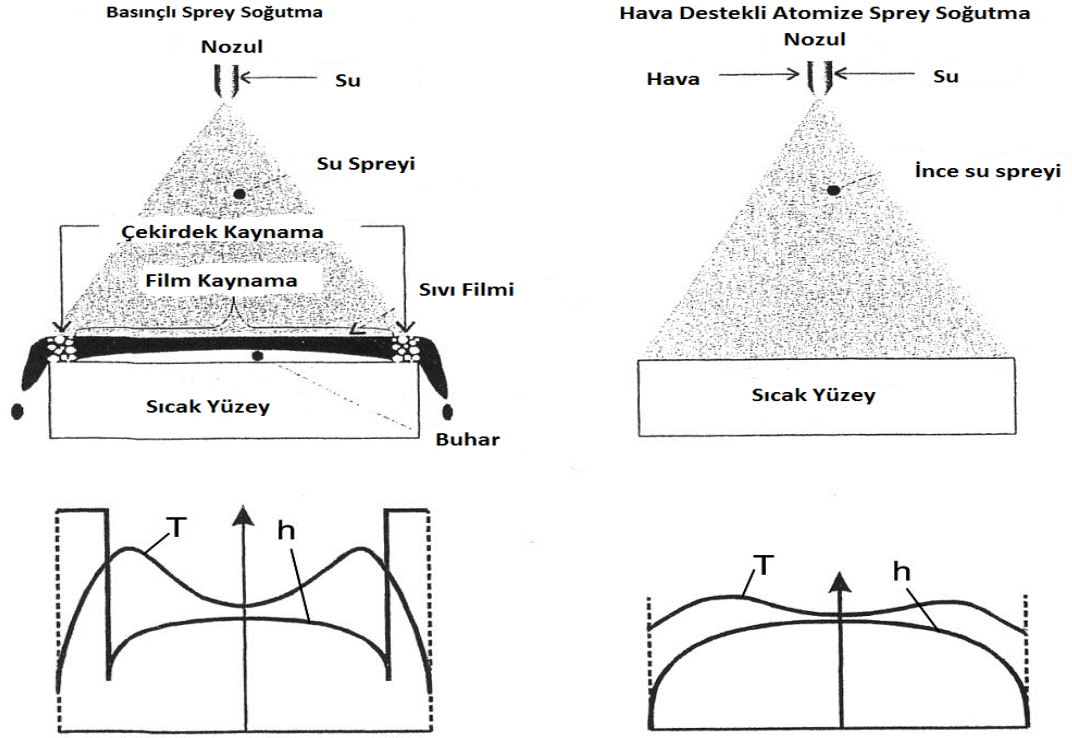
2.2. Spreyde Isı Transferi Mekanizmaları

Kaynama olmayan rejimde yüzey sıcaklığı soğutucunun kaynama sıcaklığından daha düşüktür. Sprey esnasında damlacıklar ısıtıcı yüzeyinde hareketli sıvı film formunda bir araya gelir. Kaynama olmayan rejimde ısı transferi mekanizması zorlanmış konveksiyon ve sıvı film buharlaşmasından ibarettir. Yüzey sıcaklığı soğutucunun kaynama noktasına doğru artarken faz değişikliği ısı akışının önemli oranda artışıyla son bulur. Kaynama olmayan rejimde sprej soğutma özellikle elektronik soğutmada yüksek ısı atan kontrollü bir soğutma sağlar.

Metal soğutmasında sıvı damlacıklarla yüzey temasını fazlalaştırdığı için sprej soğutma en etkili metottür. Hava destekli sprejde buna avantaj sağlar (Issa 2009).

Kaynama rejiminde ısı transferi mekanizması 4 anahtar mekanizmadan oluşur.

- Konvektif ısı transferi
- Sıvı buharlaşması
- Çekirdek kaynama (Yüzeyde sabit çekirdekten kaynaklanan çekirdek kaynama)
- Çekirdek kaynama (Sıvı filmle ikincil çekirdekten dolayı çekirdek kaynama)



Şekil 2.1. Sprey soğutma basınçlı ve hava destekli atomizasyonun karşılaştırılması

2.2.1. Sprey ısı transferi parametreleri

Sonuç parametresi olarak incelenecek Nusselt sayısını hesaplamak için;

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (2.6)$$

Damlacık çapı (D) bazı uygulamalarda hidrolik çap olarak da alınabilir.

Isı transfer katsayısı;

$$h = \frac{q''}{(T_y - T_w)} \quad (2.7)$$

Sprey ısı akısı literatürdeki bazı çalışmalarda aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\dot{q} = \dot{m}(C_p \Delta T_{sub} + h_{fg}) \dots (\text{W}) \quad (2.8)$$

$$\dot{q}'' = \rho_l \dot{V}'' (C_p \Delta T_{sub} + h_{fg}) \dots (\text{W/m}^2) \quad (2.9)$$

$$\Delta T_{sub} = (T_y - T_w) \quad (2.10)$$

$$Nu = \frac{hd_h}{k} \quad (2.11)$$

$$Nu = \frac{\dot{q}''}{(T_y - T_w)} \left(\frac{d_h}{k} \right) \quad (2.12)$$

Burada d_h hidrolik çapı $2A_{\text{Alan}}/\text{Çevre}$ ile hesaplanacaktır. Prandtl sayısı ise;

$$Pr = \frac{c_p \mu}{k} \quad (2.13)$$

Sıvı-buhar faz değişimi esnasında duyulur ısının gizli ısıya oranı olan Jakob sayısı;

$$Ja = \frac{c_p \Delta T_{sat}}{h_{fg}} \quad (2.14)$$

$$\Delta T_{sat} = (T_d - T_w) \quad (2.15)$$

$$Ja_{aug} = \frac{c_p \Delta T_{sub}}{h_{fg}} \quad (2.16)$$

Düzeltilmiş Ja sayısında sıcaklık farkındaki doyma sıcaklığı yerine yüzey sıcaklığı kullanılmıştır.

Nusselt sayısı böylece;

$$Nu = \left(\frac{\rho_l \dot{V}'' d_n}{\mu}\right) \left(\frac{\mu C_p}{k}\right) \left(\frac{h_{fg}}{C_p(T_y - T_w)}\right) (Ja + 1) \quad (2.17)$$

Değerler boyutsuz sayılar cinsinden yazılırsa;

$$Nu = Re * Pr \left(\frac{1}{Ja_{aug}}\right) (Ja + 1) \quad (2.18)$$

Bunun yanında Nu sayısını hesaplamak için literatürde bazı korelasyonlar verilmiştir.

Metalik yüzeyler için (Mudawar and Valentine 1989);

$$Nu_{32} = 2,512 Re_{32}^{0,76} Pr_f^{0,56} \quad (2.19)$$

(Moreira *et al.* 2007)'a göre Nu ifadesi ise;

$$Nu = 3,4 * 10^{-5} \frac{Re^{1,51}}{Ja^{0,254}} \quad (2.20)$$

Tam koni nozul için (Rybicki and Mudawar 2006)'ın korelasyonu;

$$Nu_{d_{32}} = 4.70 Re_{d_{32}}^{0.61} Pr_f^{0.3} \quad (2.21)$$

Kaynama olmayan ısı transferi rejimi için (Cheng *et al.* 2011)'in korelasyonu;

$$Nu = 0,036 Re^{1,04} We^{0,28} Pr^{0,51} (3,02 + \epsilon^{1,53}) \quad (2.22)$$

Bu korelasyonda ϵ değeri $\epsilon = \frac{(T_y - T_f)}{T_{sat}}$ ifadesi ile tanımlanmıştır.

(Ranz and Marshall 1952)'in Nu korelasyonu;

$$Nu = \frac{h_0 d}{k_g} = 2 + 0.6 Re_d^{1/2} Pr_d^{1/3} \quad (2.23)$$

Damlacık Pr sayısı ise;

$$Pr_d = \frac{c_{pg} \mu_g}{k_g} \quad (2.24)$$

$$q'' = 1,87 * 10^{-5} (T_y - T_w)^{5,55} \quad (2.25)$$

$$h = 0,098 T_{y_0} + 2,8 \quad (2.26)$$

Burada T_{y_0} (K) başlangıçtaki yüzey sıcaklığıdır.

Film buharlaşma için ısı akısı ifadesi;

$$q'' = 976 T_s - 45392 \quad (2.27)$$

Çekirdek kaynamada;

$$q'' = 6800 T_s - 638890 \quad (2.28)$$

İlişkileri verilmiştir.

Sprey soğutmada CHF'yi tahmin etmek için (Estes and Mudawar 1995) aşağıdaki korelasyonu geliştirdiler.

$$\dot{q}''_{CHF} = \left(\frac{\pi}{4}\right) 2.3 \rho_v h_{fg} \dot{V}'' \left(\frac{\rho_l}{\rho_v}\right)^{0.3} \left(\frac{\rho_l \dot{V}'' d_{32}}{\sigma}\right)^{-0.35} \left(1 + 0.0019 \frac{\rho_l c_p \Delta T_{sub}}{\rho_v h_{fg}}\right) \quad (2.29)$$

Bu çalışmada sabit yüzey sıcaklığında, kaynama olmayan rejimde, altıgen kanatçıklı alüminyum yüzey için Bi sayısı çok düşük bulunmuş ve toplam kütle yaklaşımının kullanılmasına karar verilmiştir. Buna göre alüminyum yüzeyde üretilen ısı miktarı;

$$Q = m_{Al}C_p\Delta T \quad (2.30)$$

ile hesaplanmıştır. Burada ΔT , yüzeyin spreiden önceki ve sonraki ortalama yüzey sıcaklıklarıdır. Hava destekli nozul ile gönderilen spreay için ısı transferi katsayısı ise spreay ısı transferi katsayısı olarak şu şekilde tanımlanmıştır:

$$h_{sp} = \frac{(Q - Q_{rad} - Q_{buh.})}{A_y(T_{y,ilk} - T_{sprey})} \quad (2.31)$$

Buradan Nu sayısı ise;

$$Nu = \frac{h_{sp}D_h}{k} \quad (2.32)$$

ile hesaplanmıştır.

Işınım ile ısı transferinin etkisi yüzeyin spreyleme süresindeki ortalama sıcaklığına göre hesaplanmıştır. Buharlaştırma ile atılan ısı ise yüzeydeki bağıl nemin değişimine göre çeşitli spreyleme zamanları için hesaplanmıştır.

$$C_D = \frac{\dot{m}_W}{A_0(2\rho_W)^{0.5}} \quad (2.33)$$

Ayrıca bu katsayı ALR'nin fonksiyonu olarak aşağıdaki şekilde de hesaplanabilir.

$$C_D = -0.01 \ln(ALR) + 0.29 \quad (2.34)$$

Çizelge 2.1. Literatürdeki bazı bozulma mesafesi korelasyonları

Yazar	Bozulma mesafesi korelasyonu
Sirotkin (2012)	$\frac{L_b}{d_0} = 13\sqrt{We}(1 + 30h)$
Eroğlu <i>et al.</i> (1991)	$\frac{L_c}{d_L} = 0.66We_R^{-0.4}Re_L^{0.8}$ $\frac{L}{2a} = 0.5We_L^{-0.4}Re_g^{0.6}$
Lasheras <i>et al.</i> (1998)	$\frac{L_{pc}}{d_L} = \frac{6}{\sqrt{M}}$
Porcheron <i>et al.</i> (2002)	$\frac{L_c}{d_L} = 2.85\left(\frac{\rho_G}{\rho_L}\right)^{-0.38}Oh^{0.34}M^{-0.13}$
Leroux <i>et al.</i> (2007)	$\frac{L_c}{d_L} = \frac{10}{M^{0.3}}$
(Shavit 2001), çift akışkanlı	$\frac{IL}{\Delta} = \left(\frac{3\mu_l d^2 U_T^3}{4(\rho_a U_T^2 - 2\frac{\sigma}{d})^2}\right)^{1/3}$

2.3. Sprey Teorik Hızı ve Hacimsel Akı

Jet hızı ifadesi (Soriano 2011)'e göre;

$$U_j = \frac{4\dot{m}}{\pi\rho d_j^2} \quad (2.35)$$

Damlacık hızı;

$$V_d = \left(V_j^2 - \frac{12\sigma}{\rho^* d_{32}}\right)^{1/2} \quad (2.36)$$

Kare ısıtıcı yüzeyler için hacimsel akı (Mudawar and Valentine 1989);

$$H \tan\left(\frac{Q}{2}\right) = L/2 \quad (2.37)$$

Burada $H \cdot \tan(Q/2)$, sprej etki alanı yarıçapıdır.

Hacimsel akı ise;

$$\bar{Q}'' = \frac{Q}{\left(\frac{\pi L^2}{4}\right)} \quad (2.38)$$

2.4. Nozul Tahliye Katsayısı

Hava destekli nozullar için nozul tahliye katsayısı (C_D) aşağıdaki eşitlikle hesaplanır. (Lal *et al.* 2010).

$$C_D = \frac{\dot{m}_W}{A_0(2\rho_W)^{0.5}} \quad (2.39)$$

Ayrıca bu katsayı ALR'nin fonksiyonu olarak aşağıdaki şekilde de hesaplanabilir.

$$C_D = -0.01 \ln(ALR) + 0.29 \quad (2.40)$$

2.5. Weber ve Ohnesorge Sayısı

We Sayısı, atalet kuvvetlerinin yüzey gerilme kuvvetlerine oranıdır. Spreyde atalet kuvvetleri hava sürtünmesinden doğan aerodinamik kuvvetlerdir. We Sayısı; damlacık kinetik enerjisi ve yüzey enerjisinin bağlı etkisinin bir ölçüsüdür. We Sayısı;

$$We = \frac{\rho V^2 d}{\sigma} \quad (2.41)$$

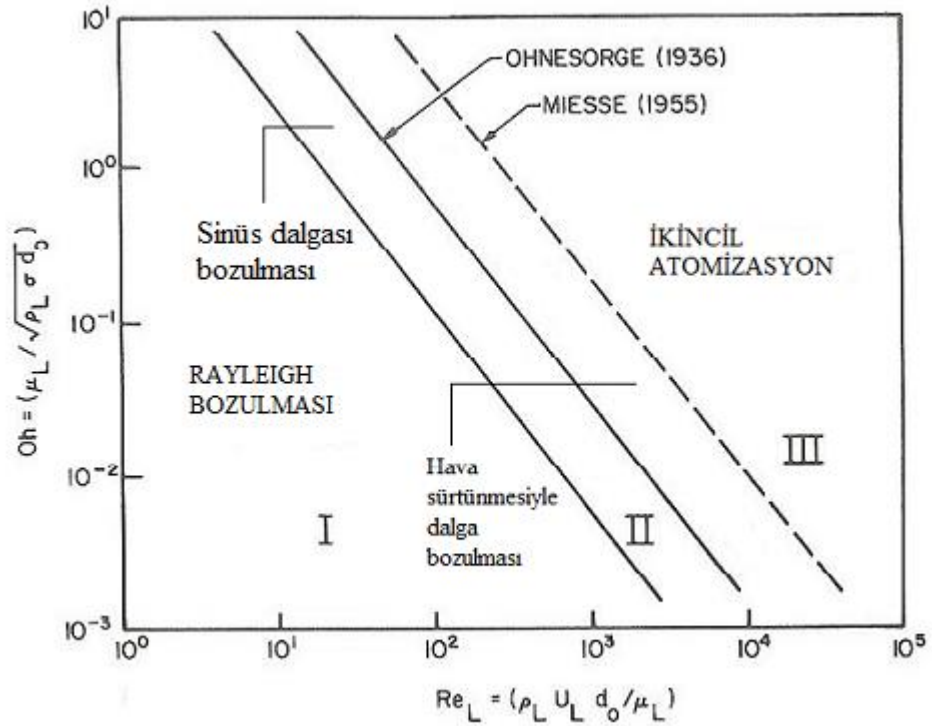
formülü ile hesaplanır.

Ohnesorge Sayısı, viskoz kuvvetlerin (viskoz kesme kuvveti) yüzey gerilme kuvvetlerine oranıdır. Oh Sayısı jet hızının fonksiyonudur. Ayrıca viskozitenin etkisini temsil eder. $Oh < 0.1$ ise viskozitenin etkisi düşük, yüzey gerilmesinin etkisi baskındır.

$$Oh = \left(\frac{\mu_l}{\sqrt{\rho_l \sigma d_0}} \right) \quad (2.42)$$

2.6. Jet Bozulma (Dağılma) Uzunluğu

Jet bozulma uzunluğu nozuldan çıktıktan sonra sprej yapısının oluşmaya başladığı mesafedir. Bu mesafe sıvı kolonunda delinmenin görüldüğü yer veya damla şekillenmesinin başladığı yer olarak tarif edilir.



Şekil 2.2. Bozulma tiplerinin sınıflandırılması

Şekil 2.2'de görüldüğü gibi (Ohnesorge 1936), çeşitli jet bozulma mekanizmalarını Oh ve We sayılarına bağlı olarak üç bölgede gösterdi. Bu mekanizmalar;

1. Düşük Re sayılarında jet, oldukça üniform boyutta büyük damlalara ayrılır. Bu Rayleigh bozulma mekanizmasıdır.

2. Normal Re sayılarında jet bozulması jet salınımları ile gerçekleşir. Bu salınımların büyüklüğü jet tamamen bozuluncaya kadar hava direnciyle artar. Bu mekanizmayla çok geniş boyut aralıklarında damla üretilir.
3. Yüksek Re sayılarında atomizasyon nozul çıkışında kısa bir mesafede tamamlanır.

(Grant and Middleman 1966)'a göre bozulma mesafesini belirlemek için genel bir korelasyon önerilmiştir. Buna göre;

Laminer akışta,

$$L = 19,5d_0We^{0,5}(1 + 3 Oh)^{0,85} \quad (2.43)$$

Türbülanslı akışta,

$$L = 8,51d_0We^{0,32} \quad (2.44)$$

İfadeleri geçerlidir.

Kritik Reynolds sayısında jet laminar den türbülansa geçer.

$$Re_{crit} = 12000\left(\frac{l_0}{d_0}\right)^{-0,3} \quad (2.45)$$

Aynı basınç, termal ve dış akış şartları için sadece nozul tipi değiştirilirse (üçgen, silindirik, dikdörtgen vb.) sprey içindeki partikül çap dağılımları ve hız dağılımları tüm şartlar aynı ise nozulun tipine bağlıdır.

Hava destekli atomizerler için Lefebvre'nin bozulma mesafesi korelasyonu;

$$\frac{BL}{d_j} = 0.5(We_a^{-0.4}Re_L^{0.6}) \quad (2.46)$$

Burada aerodinamik We Sayısı (We_a), $We_a = \frac{d_j \rho_a U_R^2}{2\sigma}$ ile hesaplanmıştır. Re_L ve We_L ise aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır. Aerodinamik We Sayısı damlacık bozulma rejimlerini ayırmak için kullanılır.

$$Re_L = \frac{d_L U_L}{\nu} \quad (2.47)$$

$$We_L = \frac{\rho_L d_L U_R^2}{\sigma} \quad (2.48)$$

Literatürdeki bazı bozulma mesafesi korelasyonları Çizelge 2.2’de verilmiştir.

2.7. Sprey Bozulma Mesafesi ve Damlacık Çapı

Viskoz olmayan sıvılar için (Bachalo *et al.* 2001) tarafından verilen bozulmada dalga boyu mesafesi;

$$\lambda = \sqrt{2}\pi d = 4,4d \quad (2.49)$$

$$D = 1,88d \quad (2.50)$$

$$\lambda_{min} = \pi d \quad (2.51)$$

Viskoz sıvılar için;

$$\lambda_{opt} = \sqrt{2}\pi d \left[1 + \frac{3\mu_L}{\sqrt{\rho_L \sigma d}} \right]^{0,5} \quad (2.52)$$

Burada λ , Spreyin boyun yaptığı yerdeki dalga boyu; d , Orifis çapı; D , Sprey damlacık çapı; σ , Yüzey gerilmesi; λ_{opt} , Optimum dalga boyu olarak tanımlanmıştır.

$$We_{crit} = \frac{\rho D^2 V^2}{\sigma D} = \frac{\rho V^2 D_{max}}{\sigma} \quad (2.53)$$

Parçalanmaya başlama noktası değerleri;

Hinze'ye göre;

$$We_{crit} = 1,18 \quad (2.54)$$

(Sevik and Park 1973)'a göre;

$$We_{crit} = 1,04 \quad (2.55)$$

Türbülans akış alanında damla bozulması;

$$We_{crit} = \frac{\rho A u^2 D_{max}}{\sigma} \quad (2.56)$$

Rayleigh Mekanizması için optimum dalga boyu (Strutt and Rayleigh 1878);

$$\lambda_{opt} = 4,51d \quad (2.57)$$

Dalga boyu 4,51d olduktan sonra küresel damla oluşur (Bachalo *et al.* 2001).

$$4,51d \left(\frac{\pi}{4}\right) d^2 = \left(\frac{\pi}{6}\right) D^3 \quad (2.58)$$

$$D = 1,89d \quad (2.59)$$

Damla Bozulması, aerodinamik sürüklenme olduğunda ve yüzey gerilme kuvvetleri eşitlendiğinde ortaya çıkar.

$$C_D \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) (0,5 \rho A U_R^2) = \pi D \rho \quad (2.60)$$

$$C_D = C_{D_{basınç}} + C_{D_{sürtünme}} \quad (2.61)$$

Düzenlenirse;

$$(\rho A U_R^2 D)_{krit} = \frac{8}{C_D} \quad (2.62)$$

veya kritik We sayısı;

$$We_{crit} = \frac{8}{C_D} \quad (2.63)$$

Maksimum kararlı damla çapı;

$$D = \frac{8\sigma}{C_D \rho A U_R^2} \quad (2.64)$$

Damla ayrılması için kritik bağıl hız:

$$U_{Rcrit} = \left(\frac{8\sigma}{C_D \rho A D} \right)^{0,5} \quad (2.65)$$

(Lane 1951)'e göre;

$$U_{Rcrit} = \left(\frac{\sigma}{D} \right)^{0,5} \quad (2.66)$$

Bu ifade su için düzenlenirse bu değer damlacık çapına (μm) bağlı olarak aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$U_{R_{crit}} = \frac{784}{\sqrt{D}} \quad (2.67)$$

2.8. Sprey Karakteristikleri

Sıvı atomizasyonu, sıvının damlacıklara dönüşmesi sürecidir. Başka bir deyişle atomizasyon süreci sıvının sahip olduğu kinetik enerjiyle veya yüksek hızlı hava akımına maruz kalmasıyla sıvı jetinin parçalanmasıdır.

Atomizasyonu sağlamak için nozullar kullanılabilir. Bu çalışmada hava destekli nozullar kullanılmıştır.

Hava destekli atomizasyonda akışkan nozuldan çıkarken yüksek hızlı bir hava akımı ile çevrelenir. Sıvı-hava arasındaki sürtünme akışı hızlandırır ve parçalayarak atomizasyona neden olur.

Sprey sisteminin modellenmesi sıvı jetinin parçalanmasının ardından damlacık çap dağılımının öğrenilmesiyle alakalıdır. Spreyin elde edildiği nozul çapı, damlacık hızı, damla sıcaklığı, sprej soğutmada kullanılan sıvının cinsi, damlacık çapı, kritik ısı akısı gibi parametreler ve etkileşimleri detaylı bir şekilde incelenmelidir. Sprej soğutmadaki temel sprej karakteristikleri aşağıdaki gibi gruplandırılmıştır.

- Spreyi karakterize eden parametreler:
- Debi (flow rate)
- Damlacık boyutu (droplet size)
- Damlacık akısı (droplet flux)
- Damlacık hızı (droplet velocity)

Sprej Kapasitesi:

$$Q_f = \frac{Q_w}{\sqrt{Sp_g}} \quad (2.68)$$

Q_f : Hacimsel debi, Q_w : Su kapasitesi.

Kapasite ve basınç arasındaki ilişki;

$$Q_2 = \frac{Q_1}{\sqrt{P_2/P_1}} \quad (2.69)$$

Q_1, P_1 basıncında bilinen kapasite; Q_2, P_2 basıncında belirlenen kapasitedir.

Sprey darbesi (çarpma):

Hedef yüzeye spreyin etkisi kuvvet/alan ile ifade edilir (N/m^2). Bu değer, sprej örnek dağılımına (pattern distribution) ve sprej açısına bağlıdır. Genellikle aralıksız nozullar veya dar sprej açılı düz fan (flat fan) nozullar yüksek etkili uygulamalarda istenir.

Sprej etkisi (F_i); hacimsel debi (Q) ve basınç düşüşüne (ΔP) bağlıdır.

$$F_i = CQ\sqrt{\Delta P} \quad (2.70)$$

C sabitini nozul tipi ve nozul-yüzey mesafesi etkiler.

Nüfuz etme (Penetrasyon):

Penetrasyon; sprejin durgun havaya enjekte edildiğinde ulaşabileceği maksimum mesafe olarak tanımlanabilir. İki bağıl büyüklükle kontrol edilir. Bunlar, başlangıçtaki sıvı jetin kinetik enerjisi ve çevre havasının aerodinamik direncidir.

Sprey açısı:

$$C = 2D \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (2.71)$$

Burada C, teorik kaplama alanıdır.

Sprey Deseni:

Atomizer tarafından üretilen sprej deseni çoğu pratik uygulamada önemli bir değişkendir. Örnek olarak sprej kurutmada simetrik olmayan desen yetersiz sıvı-gaz karışımına neden olabilir. Bu da işlemin etkinliğini ve ürün kalitesini azaltır. Desen; yanma, boyama ve kaplama uygulamalarında da önemlidir.

Damla Boyutu:

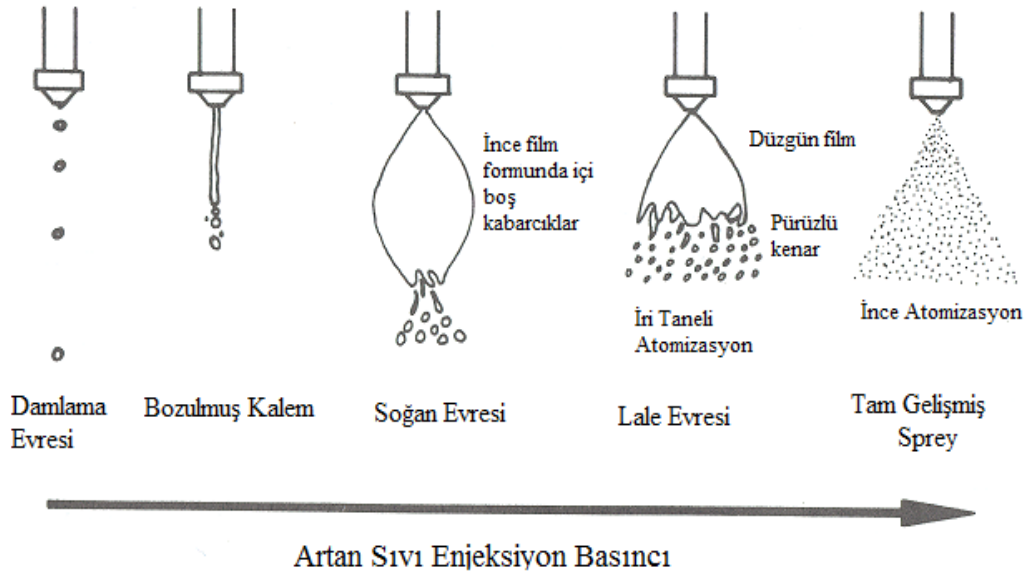
Spreyin inceliği, sprej tarafından üretilen yüzey alanı bakımından ifade edilir. Tüm damlaların hacim/yüzey alanı oranına göre bulunan çapına D_{32} denir. VMD ($D_{V0.5}$), hacim ortanca çap olarak ifade edilir. Damla boyutu sıvı sprej hacmine göre tanımlanır. Damla boyutu hacim boyutu (veya kütle) ile ölçülür. Kütle olursa MMD (kütle ortanca çap) ile ifade edilir. VMD toplam sıvı sprej hacminin %50'sidir. Toplam hacmin %50'sinden büyük olanlar alınır.

Bağıl span faktörü:

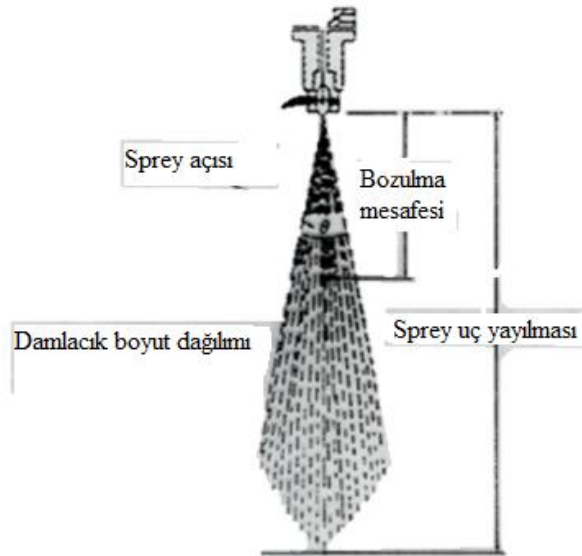
$$RSF = \frac{D_{V0.9} - D_{V0.1}}{D_{V0.5}} \quad (2.72)$$

Bu değer (parametre) damla çap dağılımının benzerliğini (uniformity) gösterir. Bu sayı 1'e yakınsa, daha üniform sprej elde edilebilir.

RSF; çeşitli damla boyutu dağılımlarını karşılaştırmak için pratik bir araç sağlar.

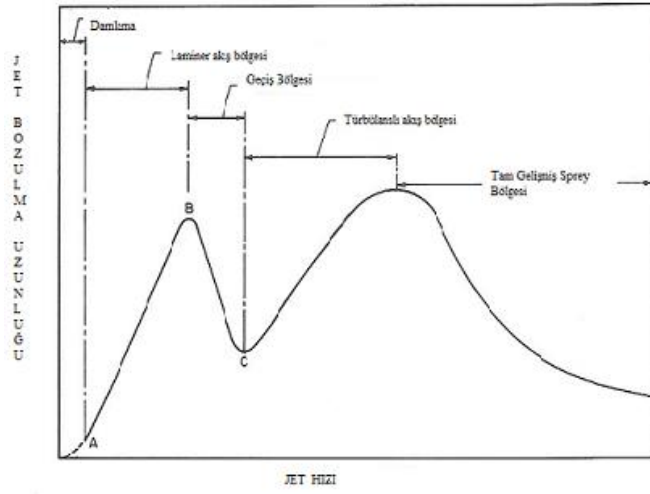


Şekil 2.3. Spreyin gelişme evreleri



Şekil 2.4. Sprey bozulma açısı

Düşük Jet Weber Sayılarında sıvı akışı Rayleigh jet bozulmasına maruz kalır. Yüksek momentum oranlarında bag bozulması meydana gelir ve sıvı kolonunun bozulmasına yol açar. Jet Weber Sayısı arttığında daha güçlü aerodinamik etkileşim ve ikincil akışlar çok modlu bozulmaya neden olur (Lefebvre 1989).



Şekil 2.5. Jet bozulma mesafesi ile jet hızı arasındaki ilişki

Çizelge 2.2. Jet bozulma rejimlerinin sınıflandırılması

Rejim	Tanımlama	Baskın Damla Yapısı Mekanizması	En yakın(sonraki) rejime geçiş kriteri
1	Rayleigh ayrılması	Yüzey gerilme kuvveti	$We_A > 0,4$ $We_A > 1,2 + 3,4(Oh)^{0,9}$
2	İlk ayrılma uyarması	Yüzey gerilme kuvveti Çevreleyen havanın dinamik basıncı	
3	İkinci ayrılma uyarması	Başlangıçtaki yüzey gerilme kuvvetine karşı havanın dinamik basıncı	$We_A > 40,3$ $We_A > 13$
4	Atomizasyon	Bilinmiyor	

2.9. Sprey Karakteristik Çapları ve SMD Korelasyonları

Sprey karakteristik çapları için genel ifade ($p > q$):

$$\overline{D}_{pq} = \left(\frac{\sum_{i=1}^n N_i D_i^p}{\sum_{i=1}^n N_i D_i^q} \right)^{1/(p-q)} \quad (2.73)$$

D_i : i. sınıfta bulunan ortalama damla çapı (μm)

N_i : i. sınıfta bulunan ortalama damla sayısı (adet)

i : Damla çap değerine ait sınıf numarası

n : Damla çapına ait toplam sınıf sayısı

Aritmetik Ortalama Çap (d_{10}): Bu çap buharlaşma oranını hesaplamak için çok uygundur.

Hacimsel Ortalama Çap (d_{30}): Hidroloji gibi hacim kontrol uygulamalarına uygundur.

Sauter Ortalama Çap (d_{32}): Kimyasal reaksiyonlarda kütle transfer oranı ve etkinliğini hesaplamak için uygundur. Toplam sprey hacminin toplam sprey alanına oranıdır.

SMD'nin aritmetik ortalama çaptan daha iyi olarak damlacıkların ısı ve kütle transferini karakterize ettiği bilinir (Lefebvre 1989).

Yüzey Ortalama Çap (d_{20}): Absorbsiyon gibi yüzey kontrolü uygulamalarına uygundur.

Hacimsel Ortanca Çap ($d_{v, 5}$): Damla boyutunun sıvı sprey hacmi bakımından ifadesidir. Bazı damlalar toplam sıvı hacminin (veya kütlelerinin) %50'sinden az, bazıları fazladır.

Herdan Çapı (d_{43}): Bu çap yanma çalışmaları için uygundur.

$d_{v, 1}$: Sıvı sprey hacminin %10'undan küçük olanları hesaplar. Zirai uygulamalar da nozul sapma potansiyeli ölçümü için uygundur.

$d_{v, 9}$: Sıvı sprey hacminin %90'ından daha küçük ve eşit damlacıkları kapsar. Spreyin tamamen buharlaşması durumu için gereklidir.

Homojenlik katsayısı (r):

$$r = \frac{d_{V,5}}{d_{N,5}} \quad (2.74)$$

Çap değerlerinin benzerlik göstermesi durumunda homojenlik katsayısı (r) 1'e yakın olur.

Su ve kerosen gibi düşük viskoziteli sıvılar için SMD'de baskın faktörler; sıvı yüzey gerilmesi, hava yoğunluğu ve hava hızıdır. Diğer taraftan yüksek viskoziteli sıvılar için hava özelliklerinin etkisi daha az önemlidir. SMD özellikle viskozite gibi sıvı özelliklerine daha bağlı olur (Semiao *et al.* 1996).

$SMD = SMD_1 + SMD_2$ olarak tanımlanmıştır. SMD_1 düşük viskoziteli sıvıların atomizasyonunda belirleyicidir.

Yüksek viskoziteli sıvılar SMD_2 ile temsil edilir ve farklı bir mekanizma ile açıklamak gerekir. Bu da Ohnesorge (Z) sayısıdır.

$$Oh = \frac{\sqrt{We}}{Re} \quad (2.75)$$

Burada We ve Re sayıları aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$Re = \frac{\rho_L V_R d_0}{\mu_L} \quad (2.76)$$

$$We = \frac{\rho_A V_A^2 d_0}{\sigma} \quad (2.77)$$

PDF (Probability distribution function), F(D), her D damla çapı aralığında damla ayrılmasını temsil eder. Tüm damla çap dağılımını bulmaktansa ortalama damla çapı

veya ortanca çapı bulmak daha elverişlidir. NMD (Number Median Drop Dia.) , VMD, MMD gibi çaplar bulunabilir (Reitz 1999).

Villermaux *et al.* (2004) ve Marmottent and Villermaux (2004) damlacık çap dağılımının Ligament Bozulmasıyla bağlantılı olduğunu gösterdiler. Bu, (gamma Γ) dağılımı ile temsil edildi (Eggers and Villermaux 2008).

$$P_B \left(x = \frac{D}{\langle D \rangle} \right) = \frac{n^n}{\Gamma(n)} x^{n-1} e^{-nx} \quad (2.78)$$

Bu ifade de $\langle D \rangle$: Ortalama damla çapı (D_{10}), $\Gamma(n)$: Gama fonksiyonudur. (n, hava hızı ile biraz artar)

3. MATERYAL ve YÖNTEM

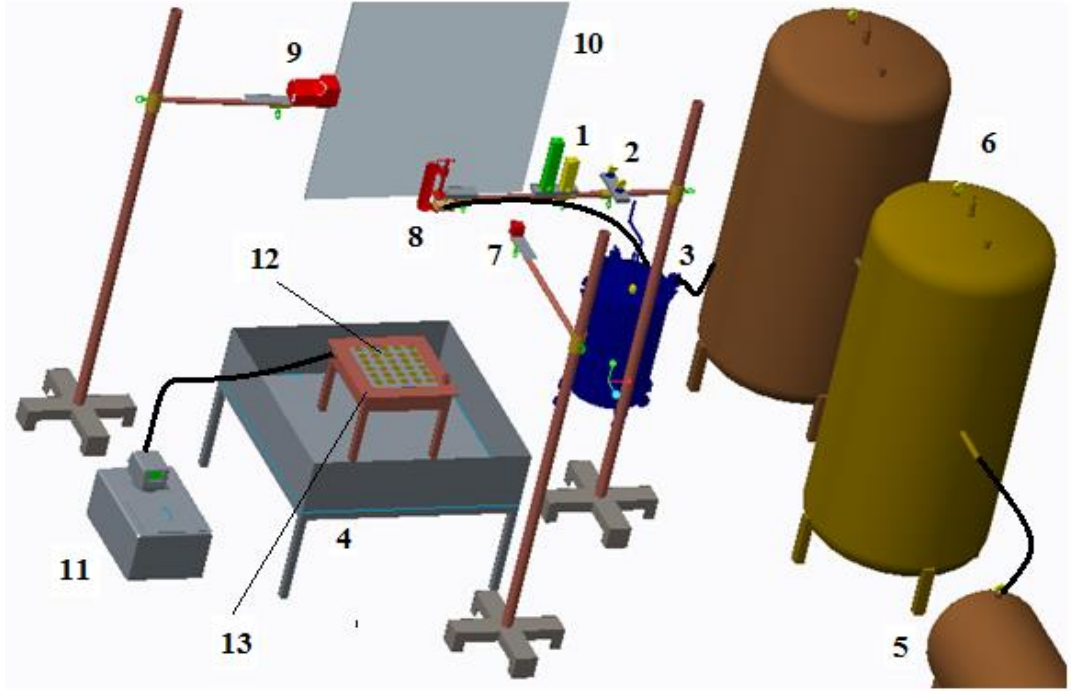
3.1. Sprey Deney Seti ve Ölçümler

Silindirik yüzeylerde hava destekli sprej soğutmanın hava (jet) soğutmaya ve basınçlı sprej soğutmaya göre avantajları nozul çapı, damlacık hızı, çalışma sıvısı, soğuma süresi ve ısı akısı etkilerinin birlikte incelenmesiyle araştırıldı.

İlk olarak kurulan deney seti ile sprejin nozuldaki çıkış hızı, damlacık çapı, d_{32} , sprej damlacıklarının test bölgesindeki dağılımı, yüzeye temas miktarı gibi parametreleri CCD kamera ve stroboskop yardımıyla, sıcaklık dağılımları ise termal kamerayla belirlendi. Elde edilen bu görüntüler image processing yardımıyla işlenerek sprej parametreleri belirlendi.

İkinci olarak kanatçık boyunun ve dağılımının, çalışma sıvısı ve nozul tipinin sprej soğutmaya etkileri elde edilen verilerle hesaplandı.

CCD kamera, stroboskop, hava destekli nozul, bilgisayar, basınç tankı ve kompresörden oluşan deney seti aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Sprey deney seti şematik resim

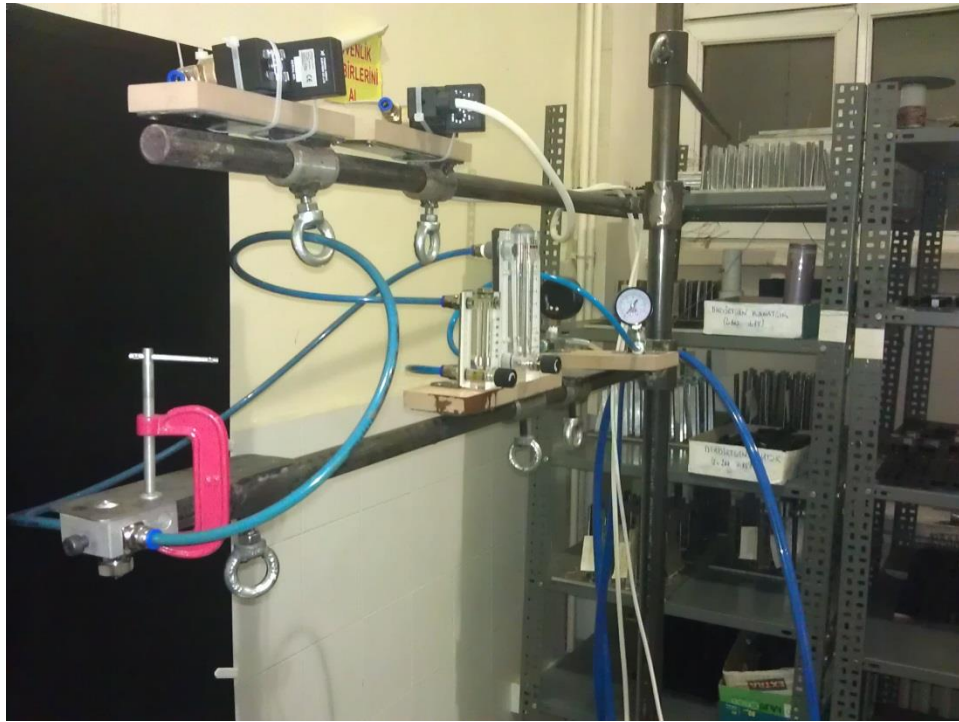
1: Akışölçer, 2: Manometre, 3: Basınçlı su tankı, 4: Rezervuar, 5: Kompresör, 6: Hava tankı, 7: CCD Kamera, 8: Nozul, 9: Stroboskop, 10. Arka plan, 11: Su/yağ banyosu, 12: Altıgen kanatçıklı ısı alıcı, 13: Reaktör, 14: Termal Kamera



Şekil 3.2. Sprey deney seti fotoğrafı



Şekil 3.3. Basınçlı su tankı



Şekil 3.4. DXF-HS1 hava destekli nozul ve bağlantıları



Şekil 3.5. IMPERX ICL B0620 CCD kamera ve framelink



Şekil 3.6. LVT sıvı ve hava akışölçerleri



Şekil 3.7. Termal kamera

NOZUL

Deneyleerde hava destekli tam koni, flat ve debi ayarlı boş koni nozullar kullanılmıştır.



Şekil 3.8. DXF-HSI Nozul

3.2. Yöntem

Sprey karakteristiklerinin soğutma üzerine, silindirik yüzeylerde etkileri belirlenmiştir. Parametrelerin incelenmesi için kullanılan metod şu aşamalardan oluşmaktadır;

1. Ölçümler CCD kamera, stroboskop, manometre, akışölçerler ile yapıldı.
2. Alınan sprej görüntüleri optik görüntü işleme yöntemleri ile analiz edildi.
3. Alınan görüntüler Imagej programı kullanılarak makroskobik olarak sprej karakteristikleri belirlendi.
4. Belirlenen ALR oranları için sprej açısı ve jet kalınlığı korelasyonları elde edildi.
5. Sıcaklık ölçümleri termal kamera ile alındı.

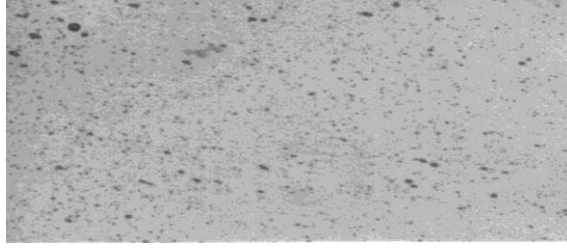
3.3. Diğer Sprej Görüntüleme Yöntemleri

3.3.1. Suya duyarlı kağıt yöntemi

Karakteristik çapların bulunması için başka bir yöntemde suya duyarlı kağıt yöntemidir. Bu yöntemde damlaları toplamak için suya duyarlı kartlar kullanılmaktadır. Kart üzerine düşen sprej damlacıkları sarı renkteki kağıtta mavi izler bırakır. Daha sonra tarayıcıda 600 dpi'de taranan görüntülerden elde edilen boyutlar yayılma katsayılarına bölünerek elde edilen gerçek boyutlar Matlab Image Processing ile işlenir. Elde edilen çaplar ile sprej karakteristik damla çapları tanımlayıcı istatistik ile bulunur.

Bu çalışmada suya duyarlı kağıtlar ile örnekler alınmış, kalibre edilen leke çapları Matlab Image Processing ile analiz edilmiştir. Analiz sonucunda Excel'de yazılan tanımlayıcı istatistik programı ile karakteristik çaplar belirlenmiştir.

Aşağıda suya duyarlı kağıt görüntülerinden elde edilen lekelerin tarayıcı görüntüleri verilmiştir.



3.3.2. Magnezyum oksit yöntemi

Bu yöntemde altında yakılan 3 mm genişliğindeki bantların cam yüzeye yapışmasıyla oluşan MgO tabakasına püskürtülen damlacıkların 3 boyutlu izlerinin mikroskopta incelenmesi ve alınan görüntülerin işlenmesi ile boyut ölçümü yapılmaktadır. Elde edilen çapın %86'sı damla çapını vermektedir.

3.3.3. Silikon yüzey yöntemi

Bu yöntemde silikon kaplı lamel cam yüzey üzerine damlalar püskürtülür. Elde edilen çapın %75'i damla çapını verir.

3.4. Optik Sprey Görüntüleme Yöntemleri

3.4.1. Yüksek hızda fotoğraflama

Yüksek hızda fotoğraflama sprej damlacık boyutu ve hız ölçümü için en doğru ve ucuz tekniklerden biridir. Genellikle yeterli yoğunlukta ışık ve yeterli etki süresi ile fotoğraflama yapılır. Çoğu araştırmacı çalışmalarında yüksek yoğunluklu ışık kaynağı oluşturmak için civa buharlı lambalar, flaş lambalar, led lambalar ve lazer ışınlarını kullandılar (Dombrowski and Fraser 1954; Mullinger and Chigier 1974).

3.4.2. Schlieren tekniği

Bu yöntem ince bir yarıktan çıkan ışının mercekler ile paralel hale getirilmesinden sonra bir ekrana yansıtılması ile uygulanır (Settles 2001).

3.4.3. Shadowgraphy tekniği

Bu teknik akış görüntüleme akışkan yoğunluğundaki değişiklikleri incelemek için kullanılan optik görüntüleme sistemidir. Sistem, ışık kaynağı kullanılarak yoğunluk değişiminin gölge görüntüsünü kaydeder (Merzkirch 1987).

3.4.4. Elektriksel sprej görüntüleme yöntemleri

Elektriksel yöntemler genellikle damlacık boyut dağılımını hesaplamak için sprej tarafından üretilen elektronik titreşimlerin belirlenmesi ve analizine dayanır. Elektriksel damlacık ölçüm yöntemleri şunlardır:

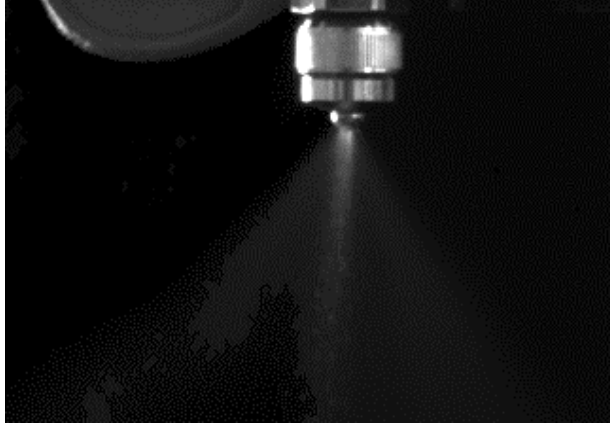
1. Wicks Duckler Yöntemi
2. Şarjlı Tel (Charged-Wire) Yöntemi
3. Sıcak Tel (Hot-Wire) Yöntemi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

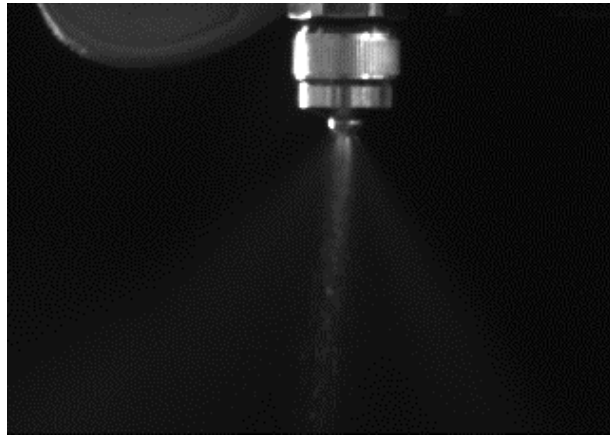
4.1. Sprey Görüntüleri

Sprey görüntüleri IMPERX Bobcat ICL-B0620 CCD kamera (256fps) ve FrameLink Grabber ile alınmıştır. Hava destekli nozulda akış analizi için sprej basıncı aralıkları, debi, ALR, nozul boyunca basıncı kaybı, sprej boyutsuz sayıları, bozulma mesafesi Sauter ortalama çap gibi parametreler hesaplanmıştır.

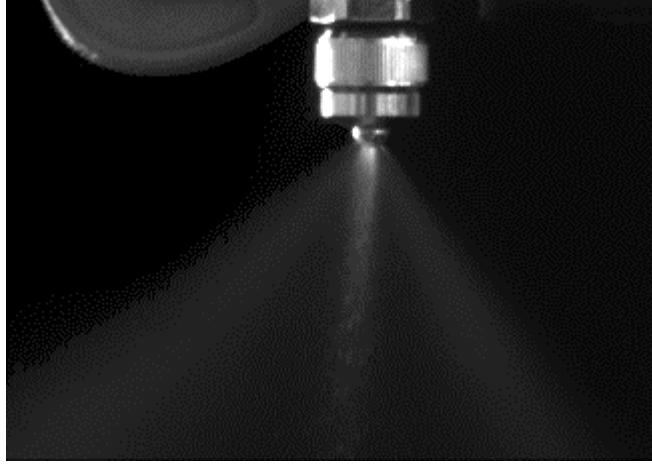
DXF- HSI hava destekli nozul ile yapılan akış deneyi sonuçları aşağıda verilmiştir.



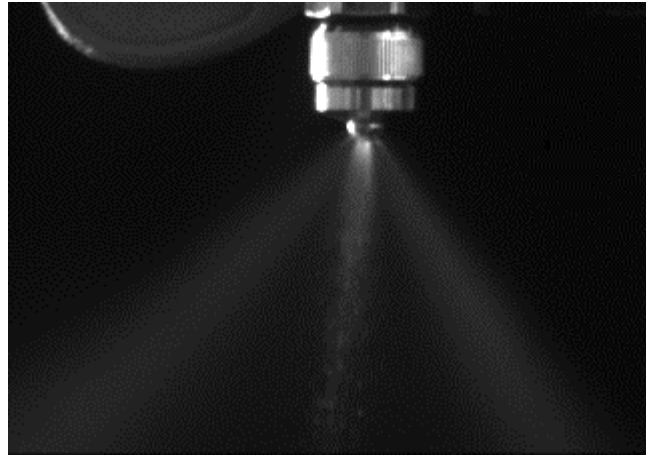
Şekil 4.1. $Q_a=1 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=250 \text{ ml/dk}$ iin sprej görüntüsü



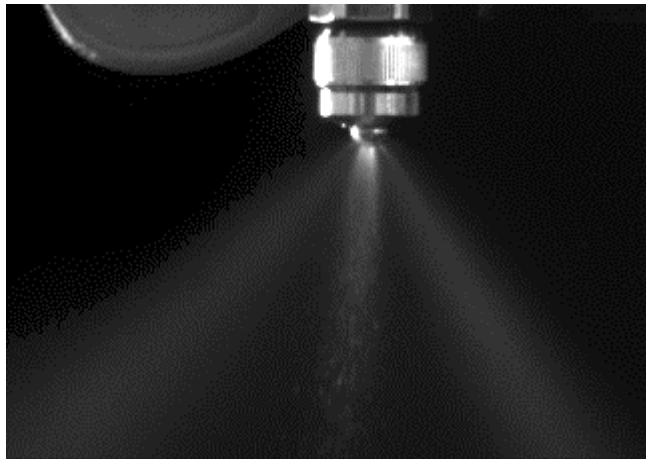
Şekil 4.2. $Q_a=1 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300 \text{ ml/dk}$ iin sprej görüntüsü



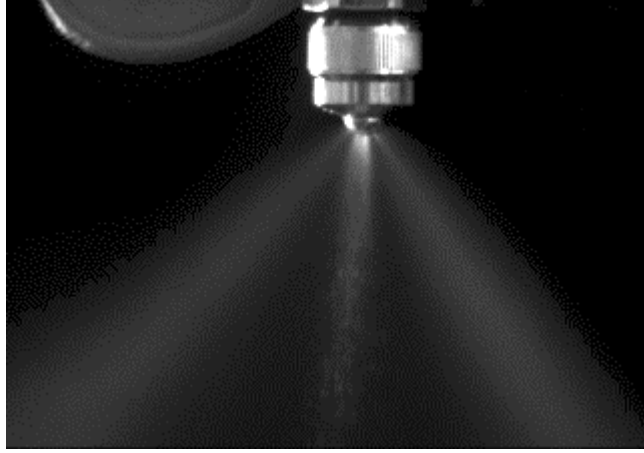
Şekil 4.3. $Q_a=1 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=350 \text{ ml/dk}$ için sprej görüntüsü



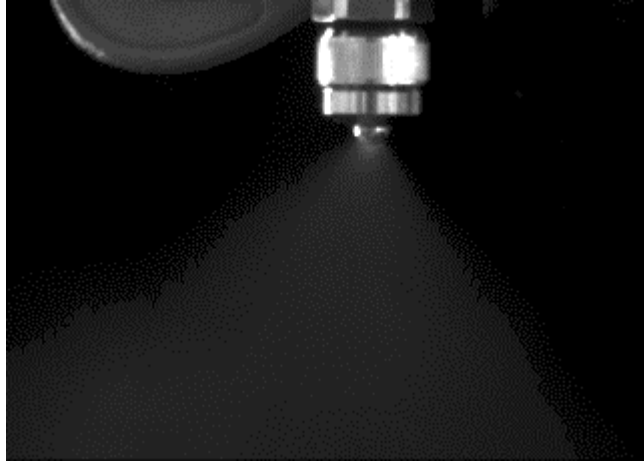
Şekil 4.4. $Q_a=1 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=400 \text{ ml/dk}$ için sprej görüntüsü



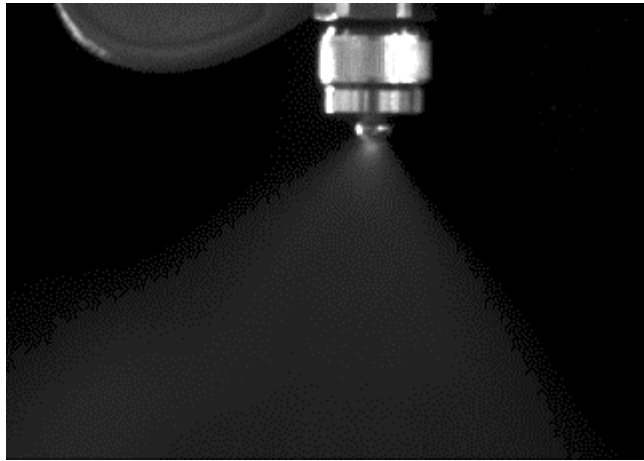
Şekil 4.5. $Q_a=1 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=450 \text{ ml/dk}$ için sprej görüntüsü



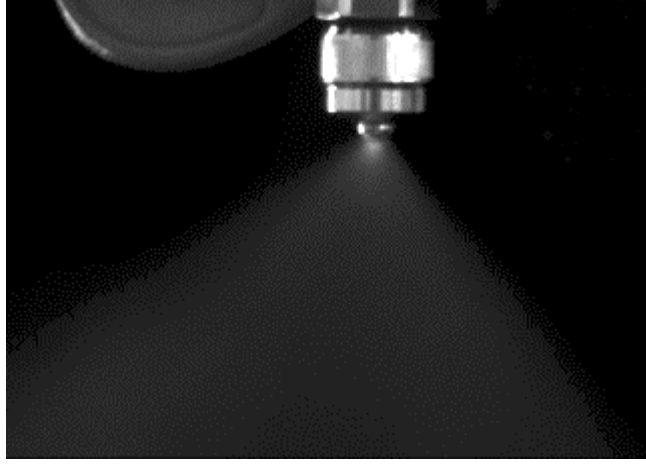
Şekil 4.6. $Q_a=1 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=500\text{ml/dk}$ için sprej görüntüsü



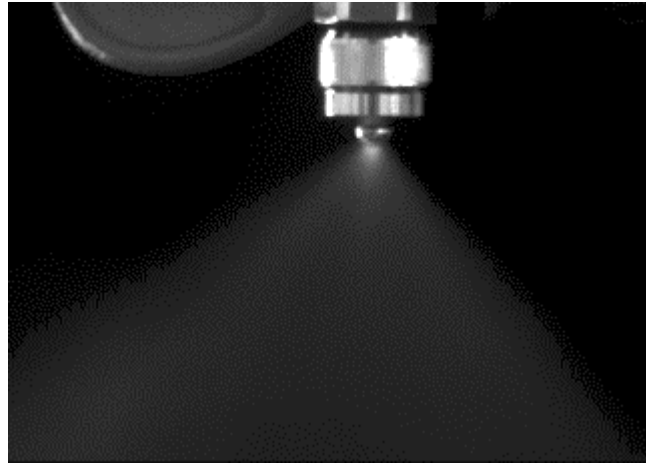
Şekil 4.7. $Q_a=1.5 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=100\text{ml/dk}$ için sprej görüntüsü



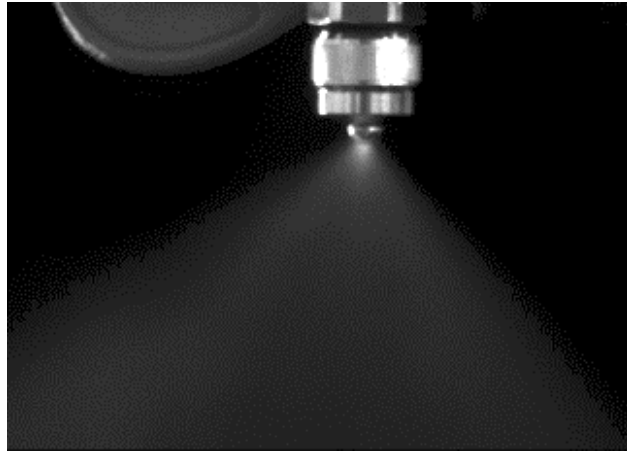
Şekil 4.8. $Q_a=1.5 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=150\text{ml/dk}$ için sprej görüntüsü



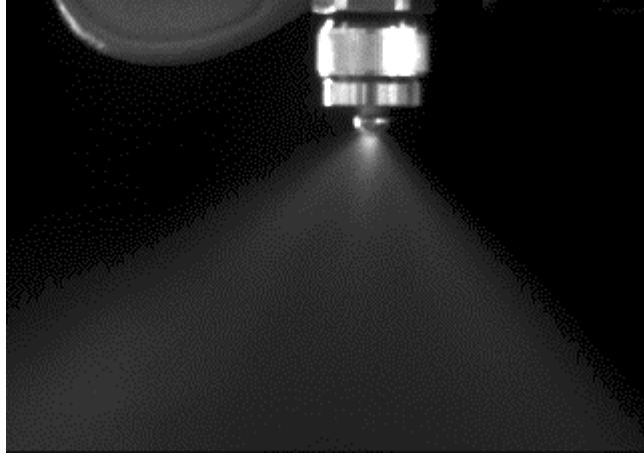
Şekil 4.9. $Q_a=1.5 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200\text{ml/dk}$ için sprej görüntüsü



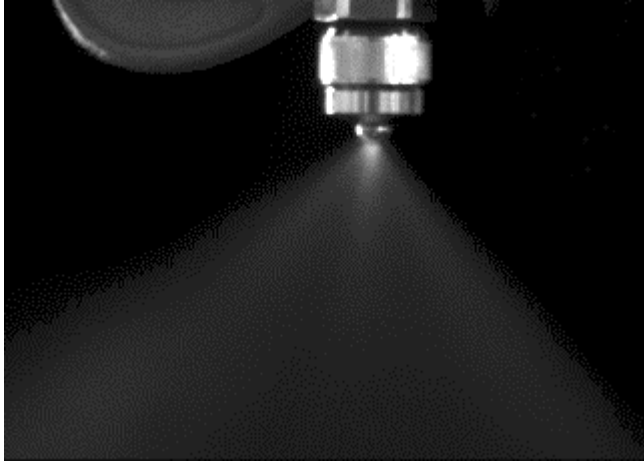
Şekil 4.10. $Q_a=1.5 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=250\text{ml/dk}$ için sprej görüntüsü



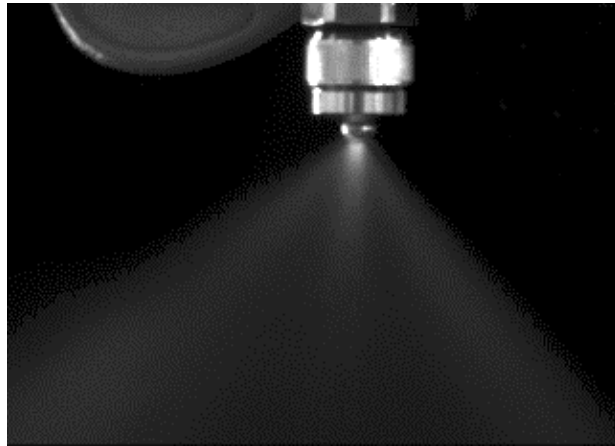
Şekil 4.11. $Q_a=1.5 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300\text{ml/dk}$ için sprej görüntüsü



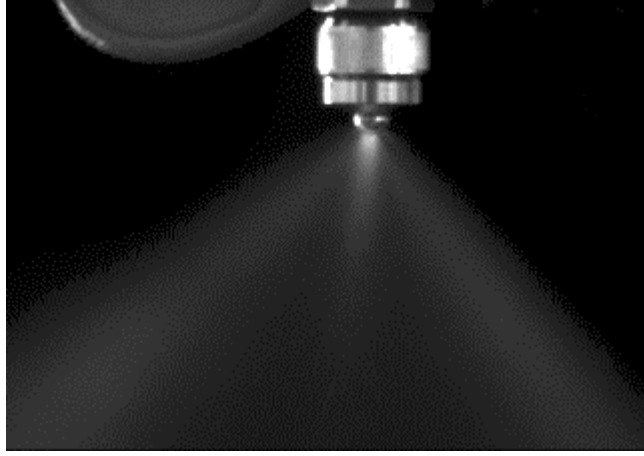
Şekil 4.12. $Q_a=1.5 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=350\text{ml/dk}$ için sprej görüntüsü



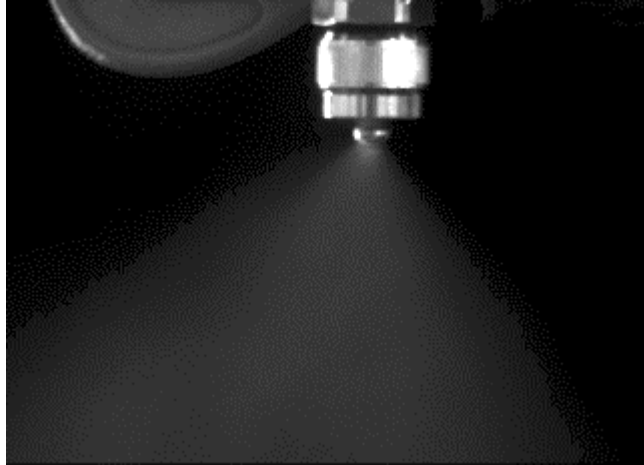
Şekil 4.13. $Q_a=1.5 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=400\text{ml/dk}$ için sprej görüntüsü



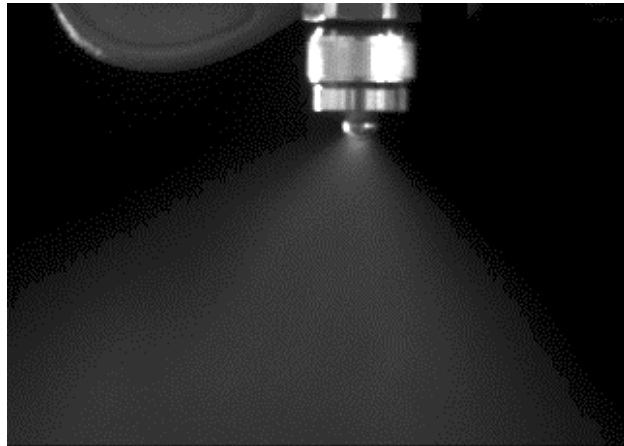
Şekil 4.14. $Q_a=1.5 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=450\text{ml/dk}$ için sprej görüntüsü



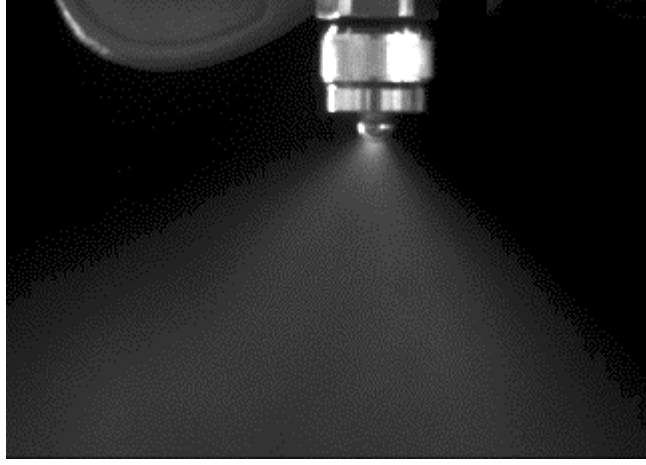
Şekil 4.15. $Q_a=1.5 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=500\text{ml}/\text{dk}$ için sprej görüntüsü



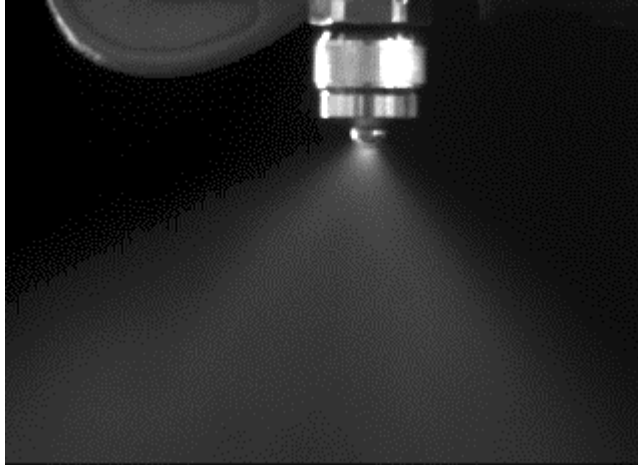
Şekil 4.16. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=100\text{ml}/\text{dk}$ için sprej görüntüsü



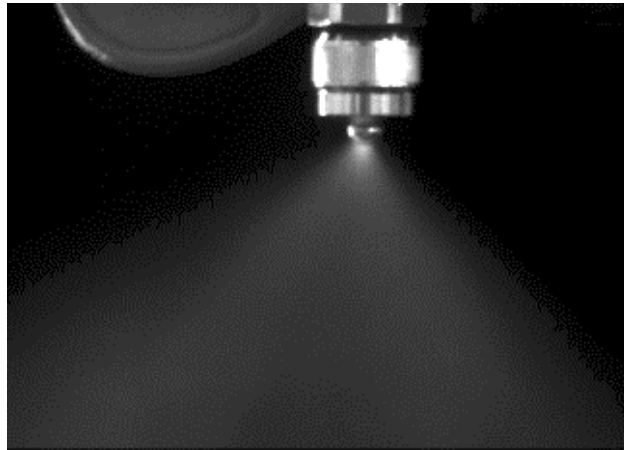
Şekil 4.17. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=150\text{ml}/\text{dk}$ için sprej görüntüsü



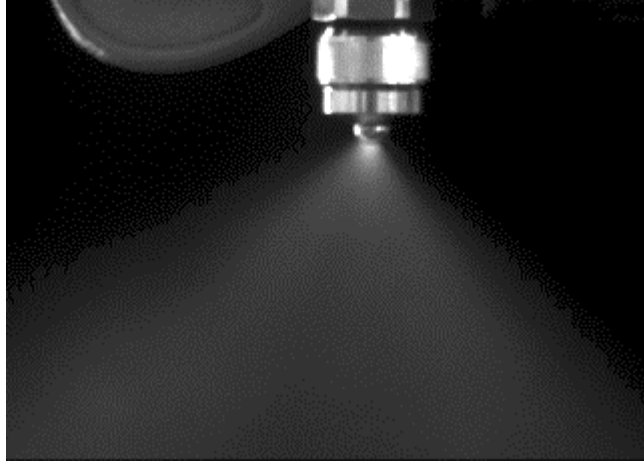
Şekil 4.18. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200\text{ml}/\text{dk}$ için sprej görüntüsü



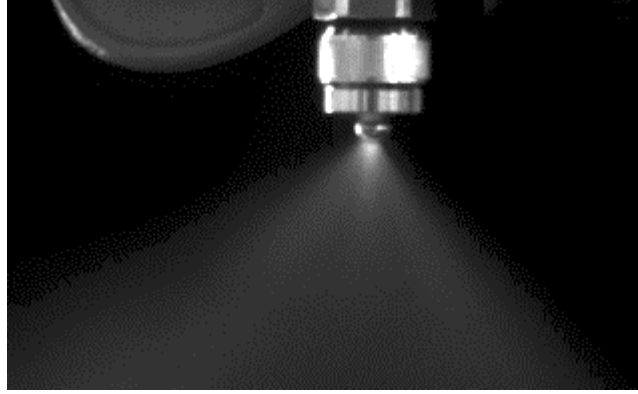
Şekil 4.19. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=250\text{ml}/\text{dk}$ için sprej görüntüsü



Şekil 4.20. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300\text{ml}/\text{dk}$ için sprej görüntüsü



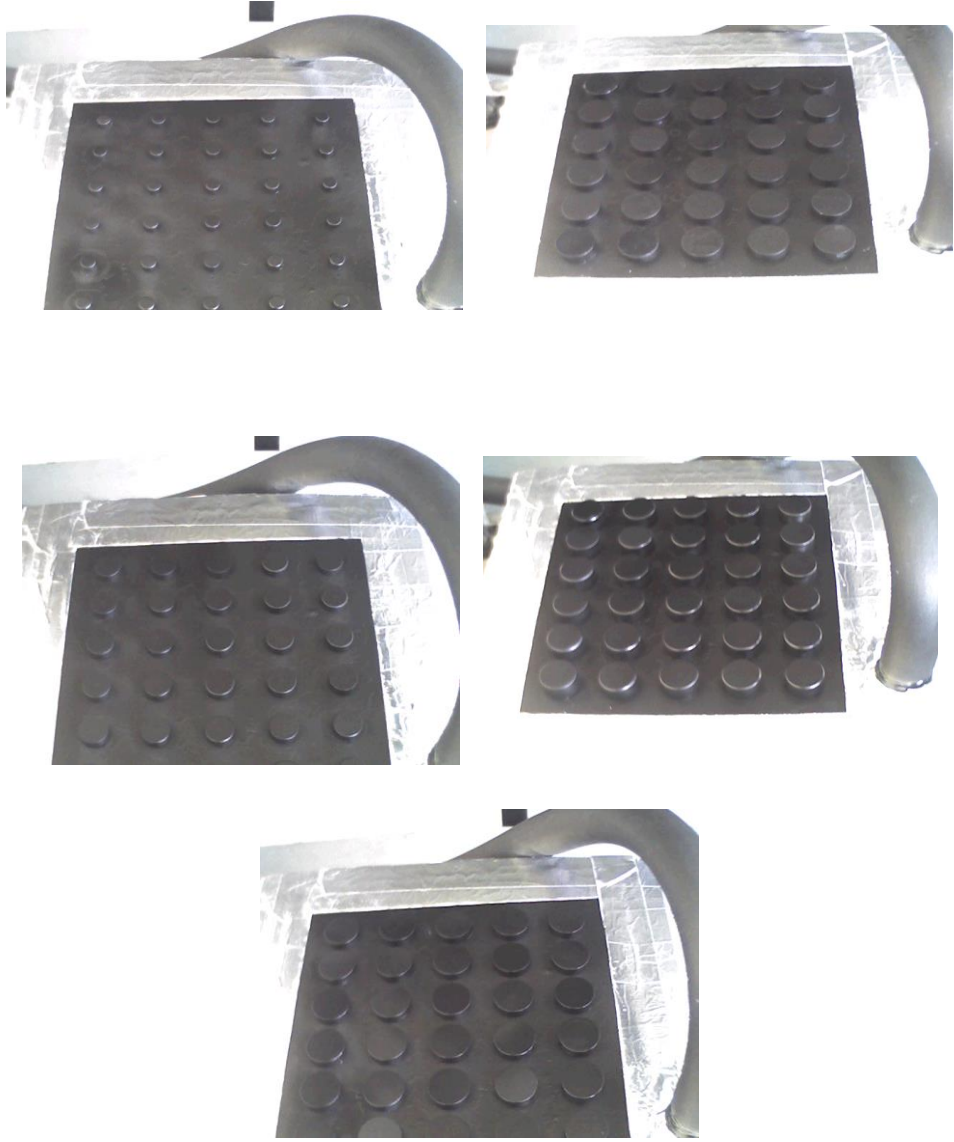
Şekil 4.21. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=350\text{ml}/\text{dk}$ için sprej görüntüsü



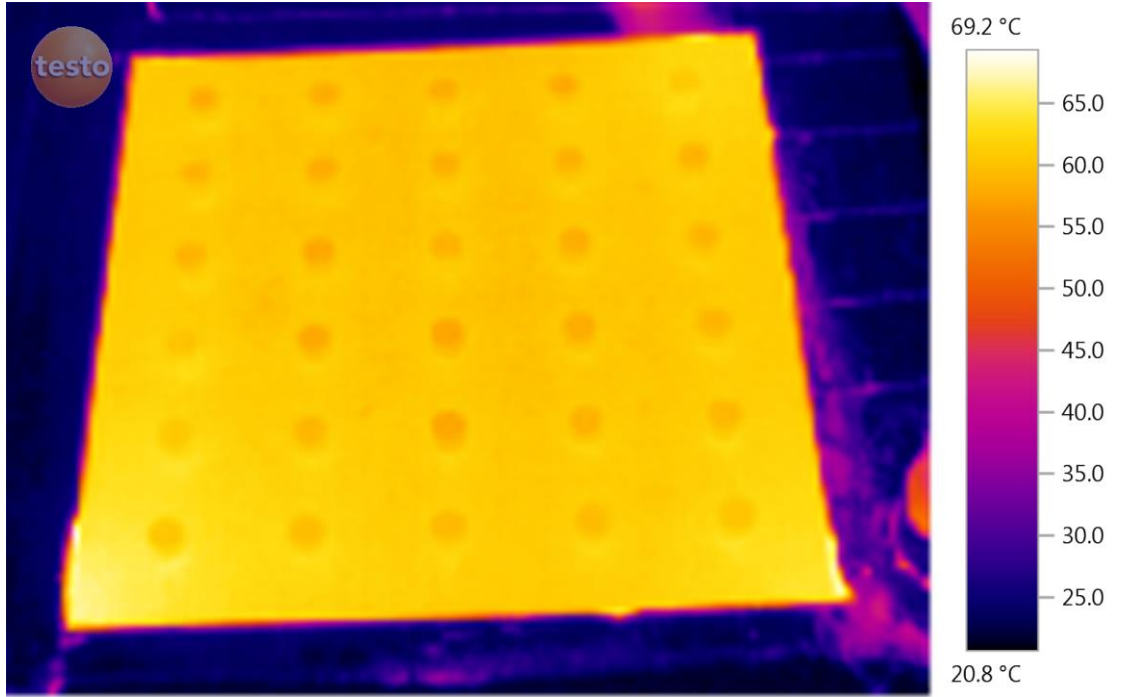
Şekil 4.22. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=400\text{ml}/\text{dk}$ için sprej görüntüsü

4.2. Termal Görüntüler ve Sıcaklık Analizi

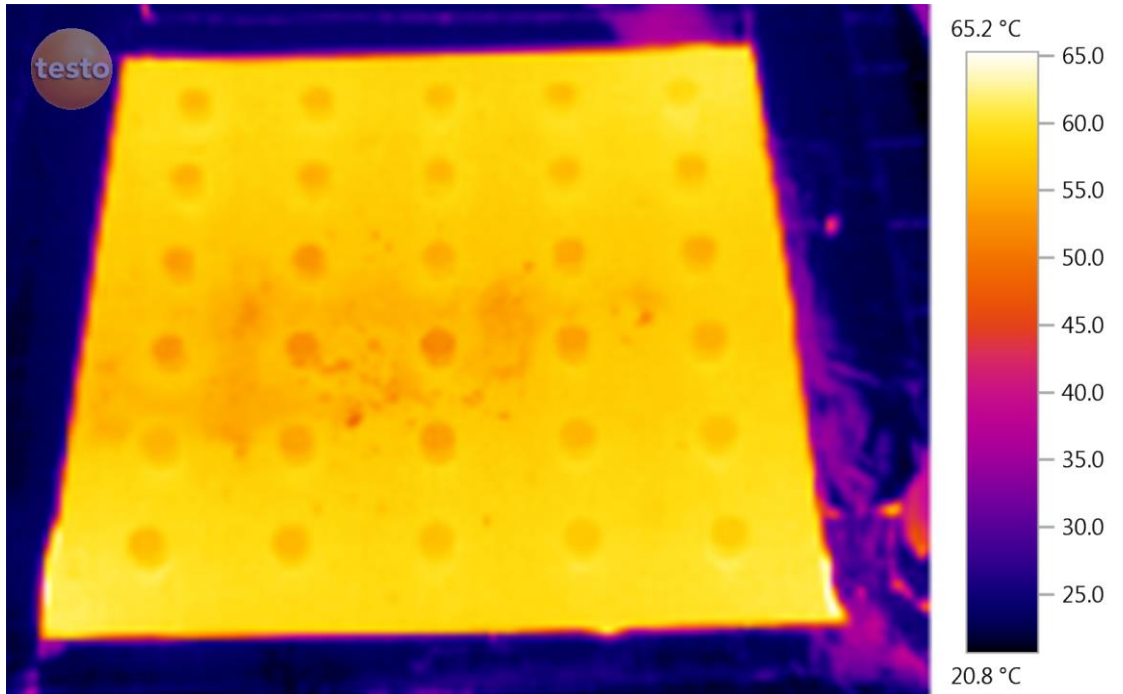
Termal görüntüler için yüzey mat siyah renge boyanarak emisivite değeri $\epsilon=0.98$ alınmıştır. Testo 875-2 model termal kamera ile sprej gönderilmeden önce ve hemen sonra görüntüler alınarak analiz edilmiştir. Termal kamera ile alınan görüntüler aşağıda verilmiştir.



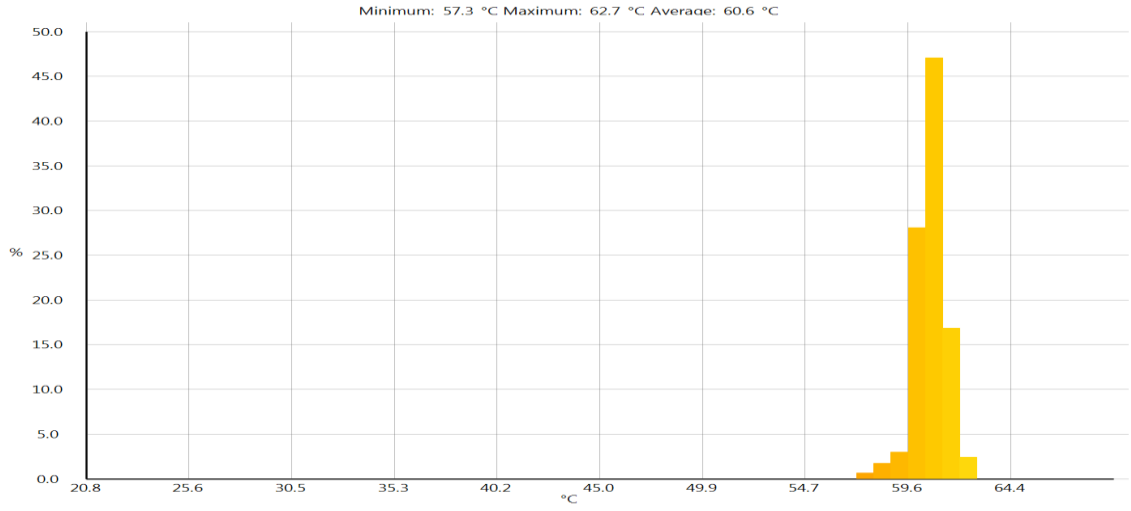
Şekil 4.23. Silindirik ısı alıcılar



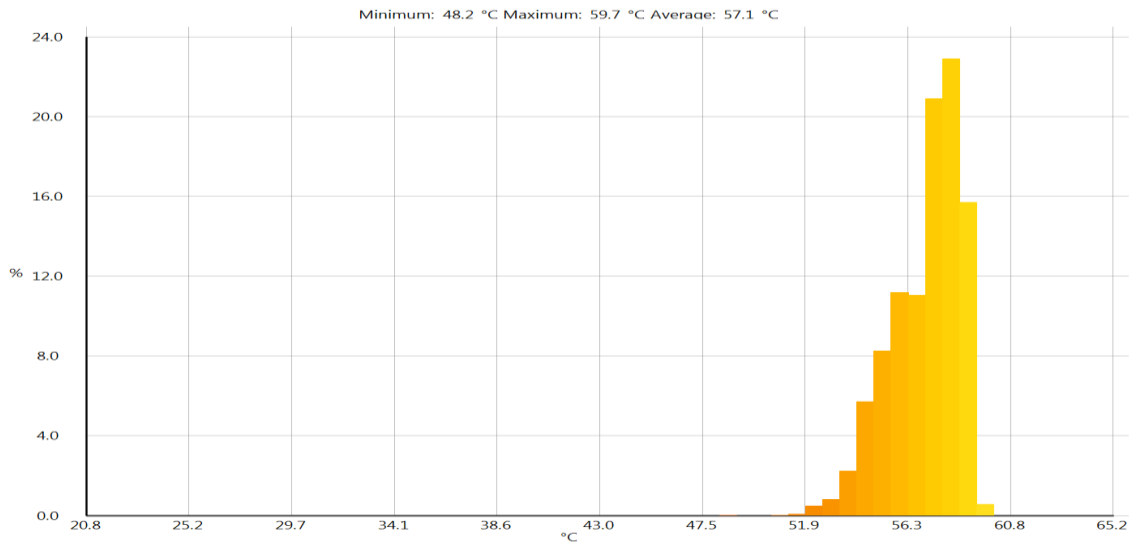
Şekil 4.24. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200\text{ml}/\text{dk}$, için (Sprey gönderilmeden önce) termal görüntü



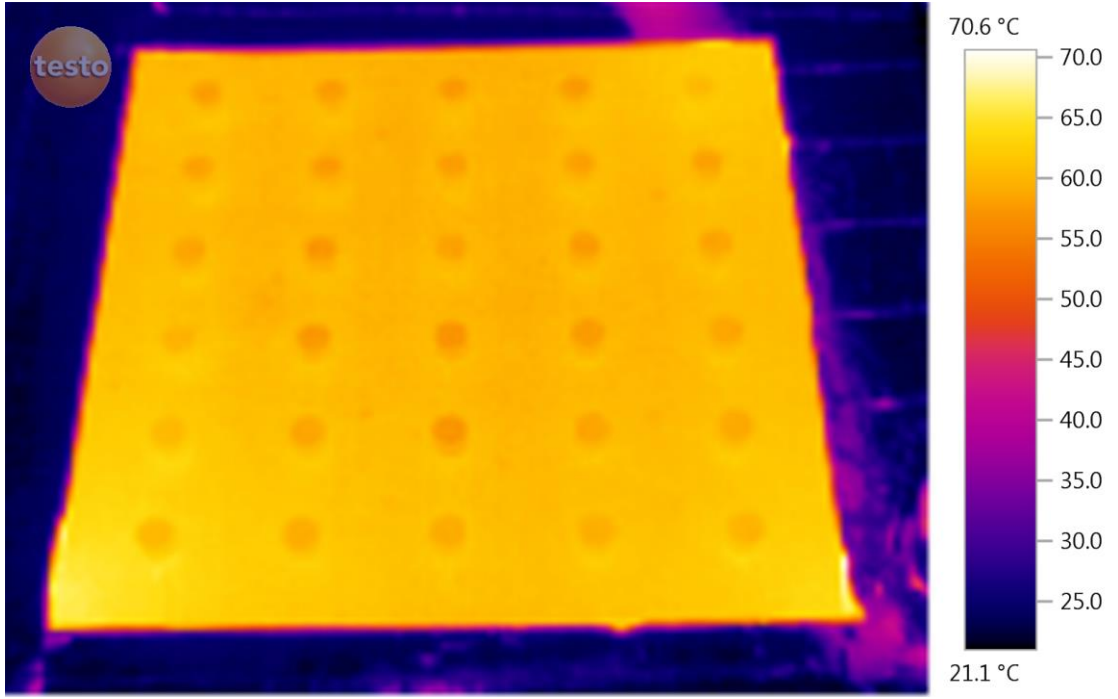
Şekil 4.25. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200\text{ml}/\text{dk}$, için (Sprey gönderildikten sonra) termal görüntü



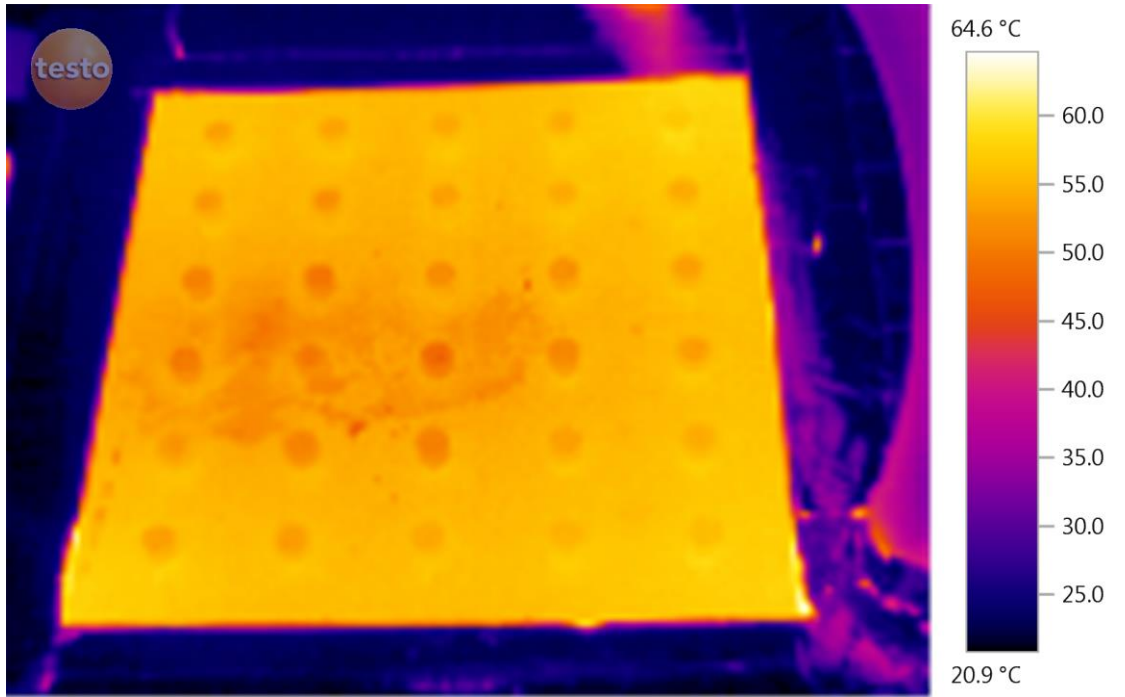
Şekil 4.26. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200\text{ml}/\text{dk}$, için sıcaklık değişimi
*Sprey gönderilmeden önce



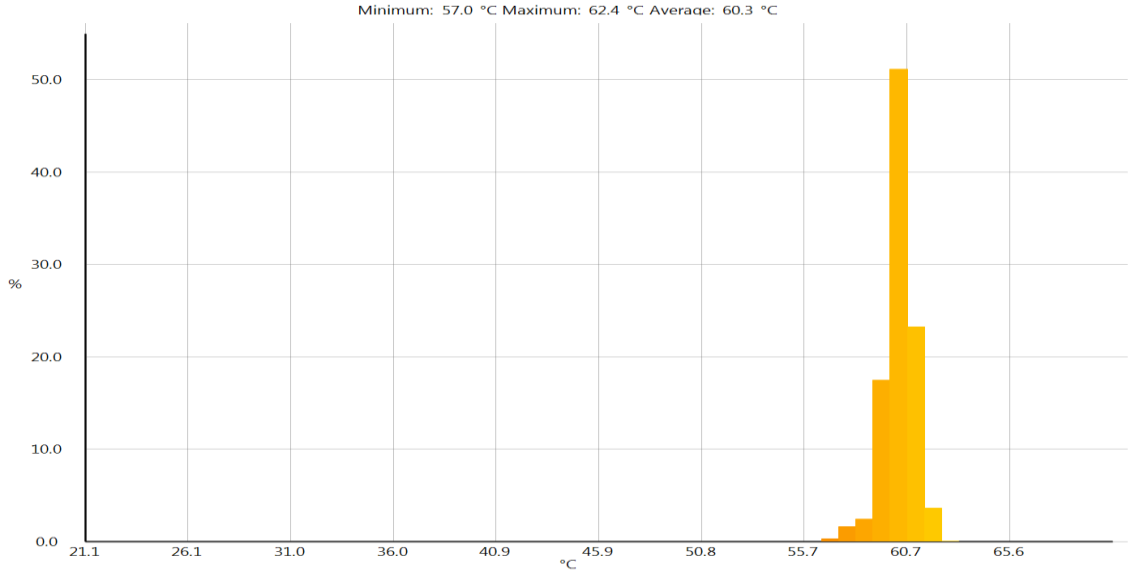
Şekil 4.27. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200\text{ml}/\text{dk}$, için sıcaklık değişimi
*Sprey gönderildikten sonra



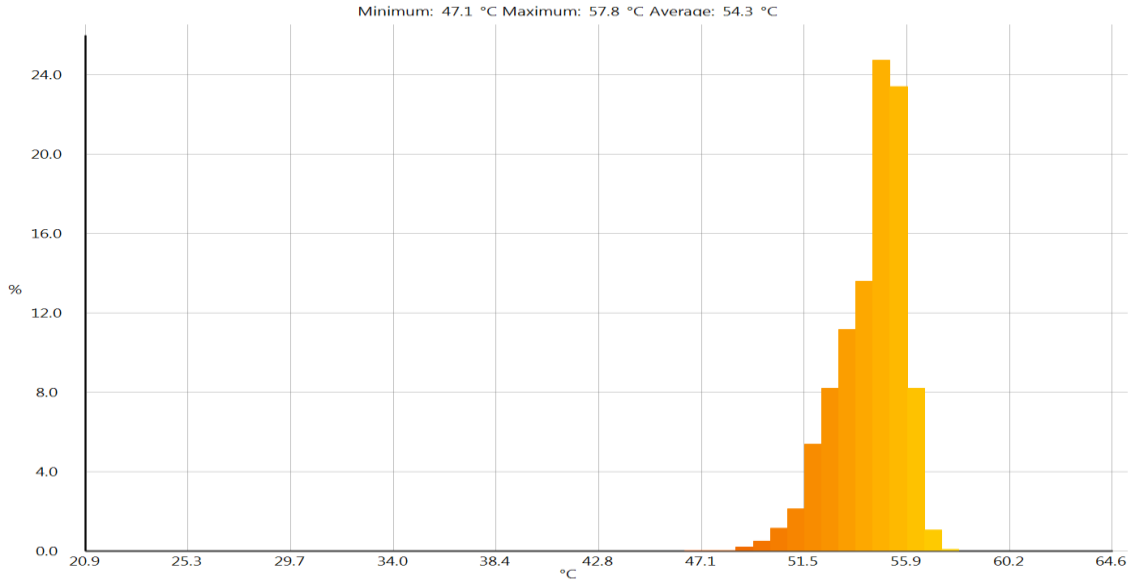
Şekil 4.28. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300\text{ml}/\text{dk}$, için (Sprey gönderilmeden önce) termal görüntü



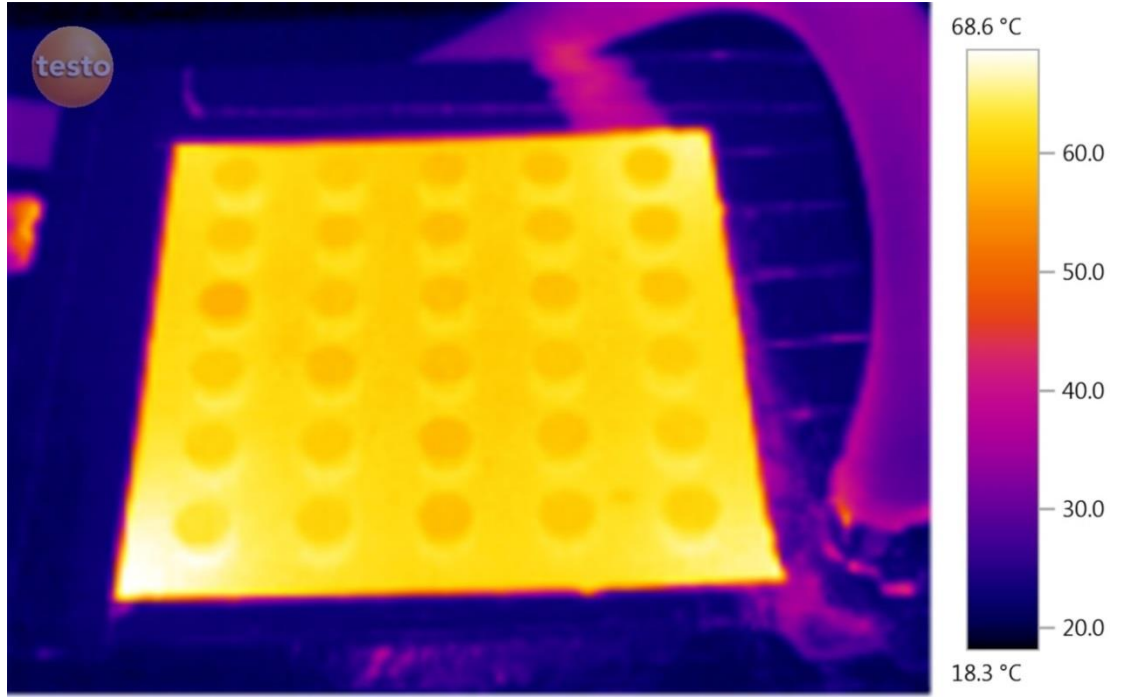
Şekil 4.29. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300\text{ml}/\text{dk}$, için (Sprey gönderildikten sonra) termal görüntü



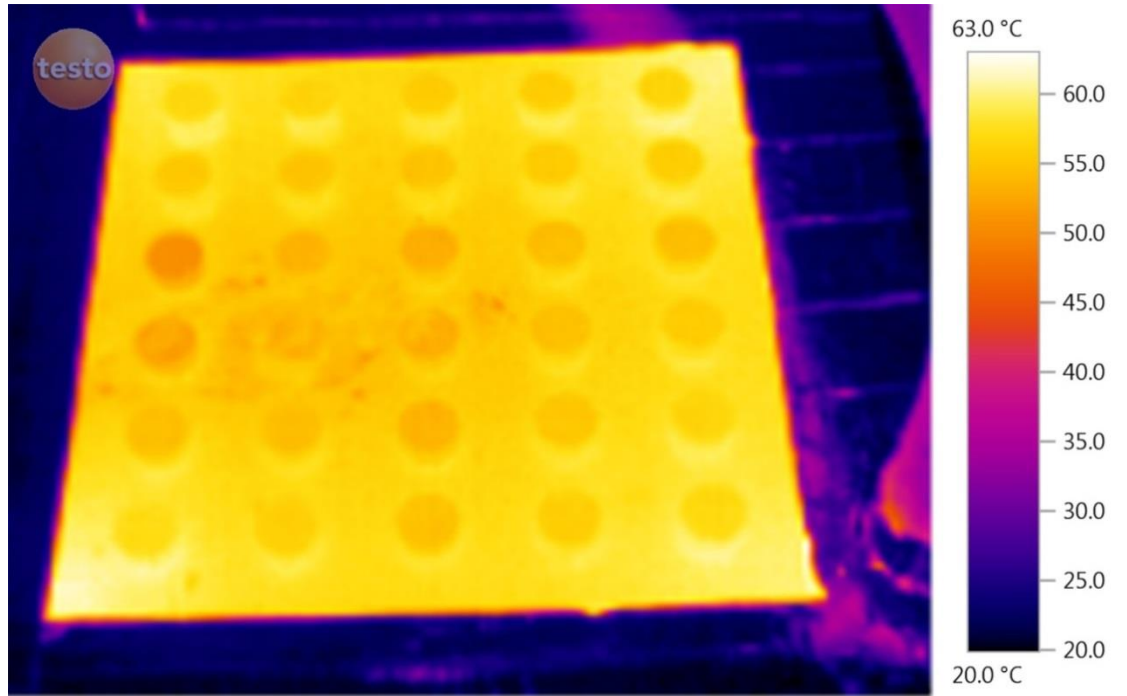
Şekil 4.30. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300\text{ml}/\text{dk}$ için sıcaklık değişimi
*Sprey gönderilmeden önce



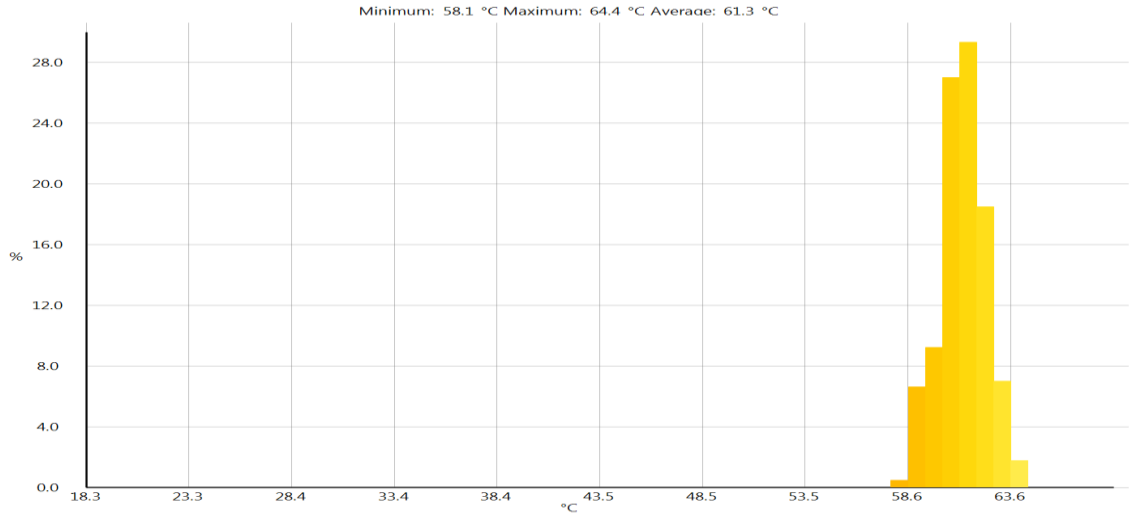
Şekil 4.31. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300\text{ml}/\text{dk}$ için sıcaklık değişimi
*Sprey gönderildikten sonra



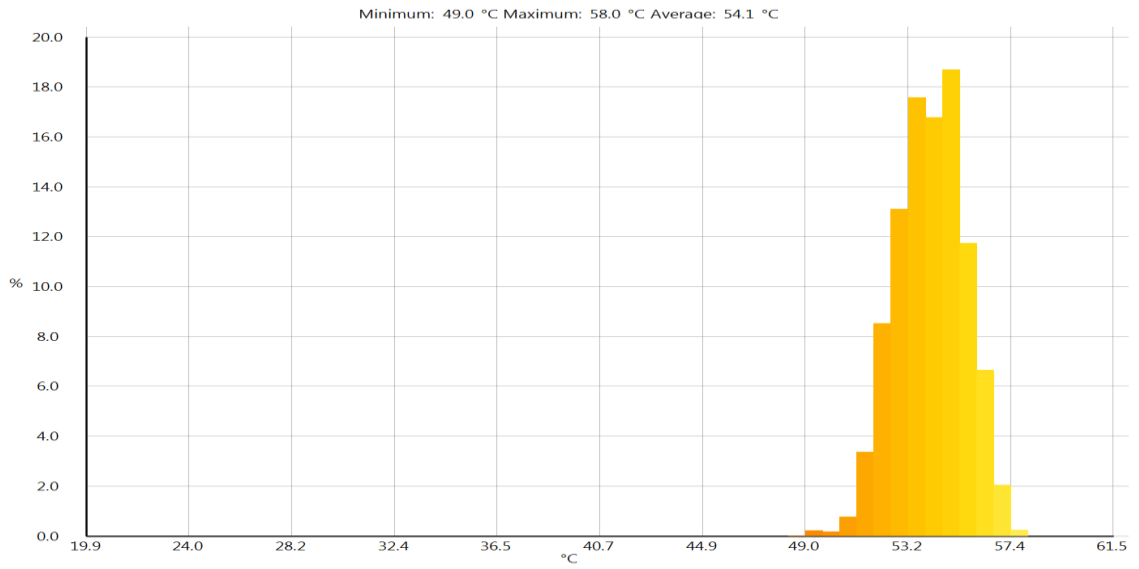
Şekil 4.32. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200 \text{ ml/dk}$, için (Sprey gönderilmeden önce) termal görüntü



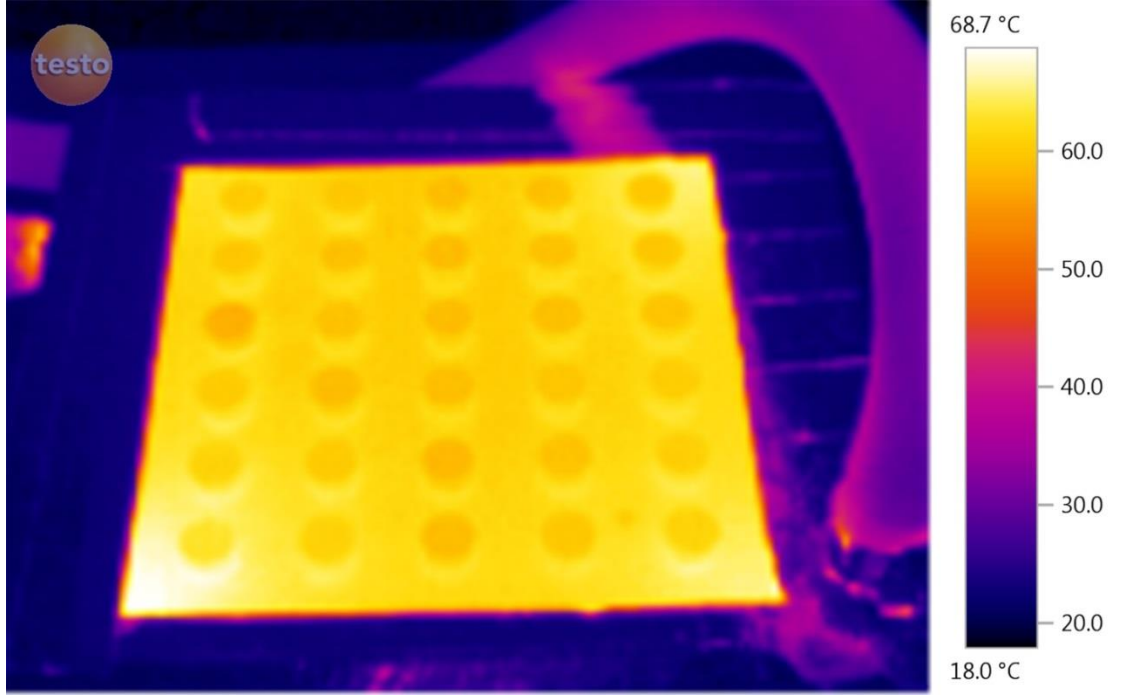
Şekil 4.33. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200 \text{ ml/dk}$, için (Sprey gönderildikten sonra) termal görüntü



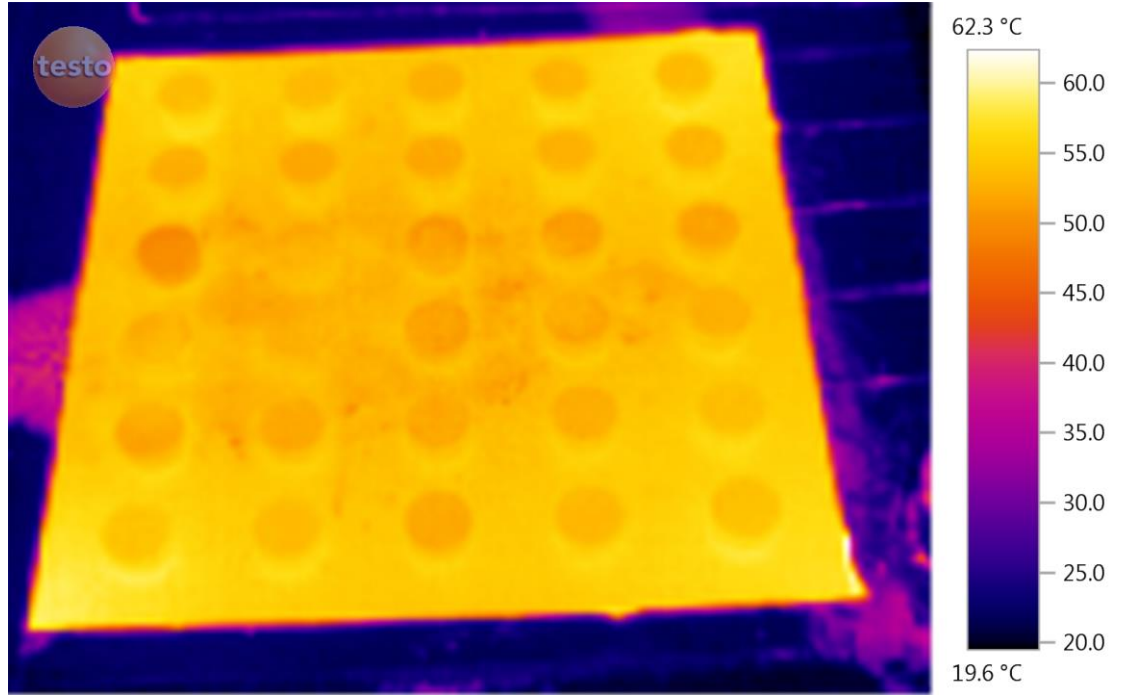
Şekil 4.34. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200\text{ml}/\text{dk}$, için sıcaklık değişimi
*Sprey gönderilmeden önce



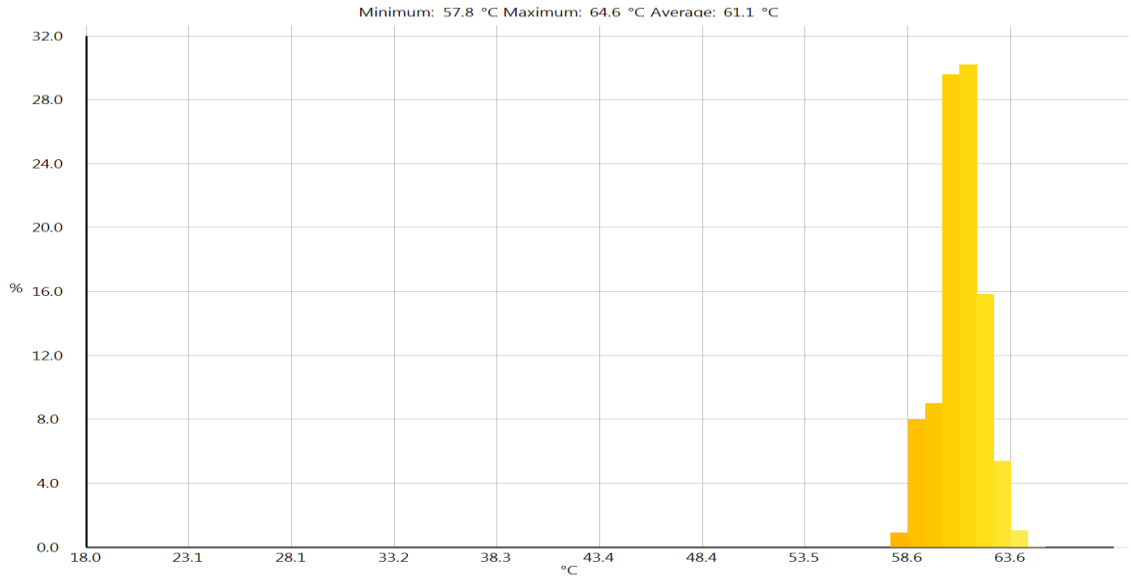
Şekil 4.35. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200\text{ml}/\text{dk}$, için sıcaklık değişimi
*Sprey gönderildikten sonra



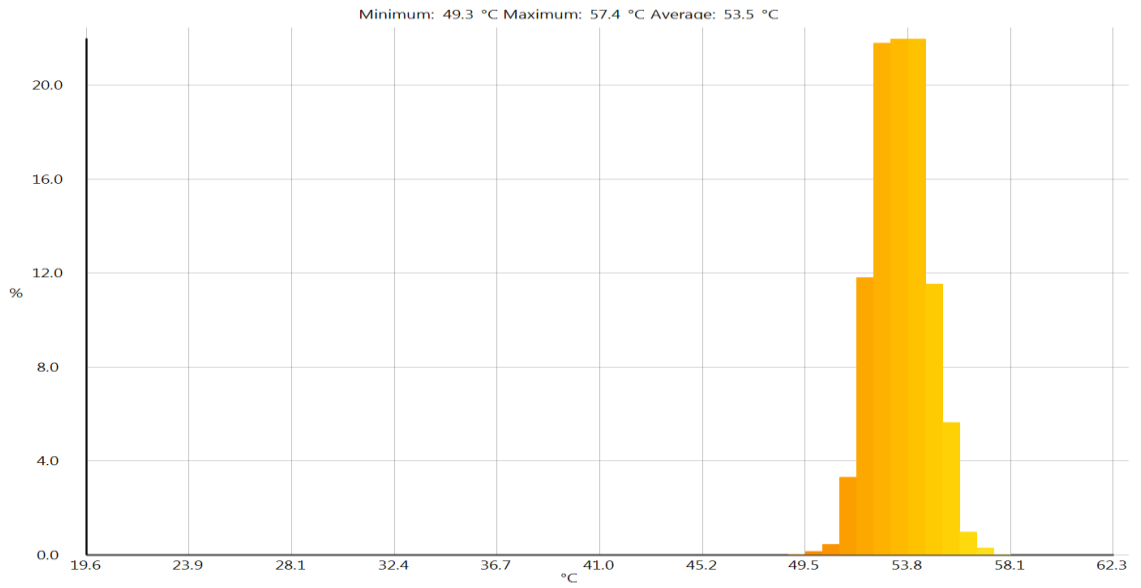
Şekil 4.36. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300 \text{ ml/dk}$, için (Sprey gönderilmeden önce) termal görüntü



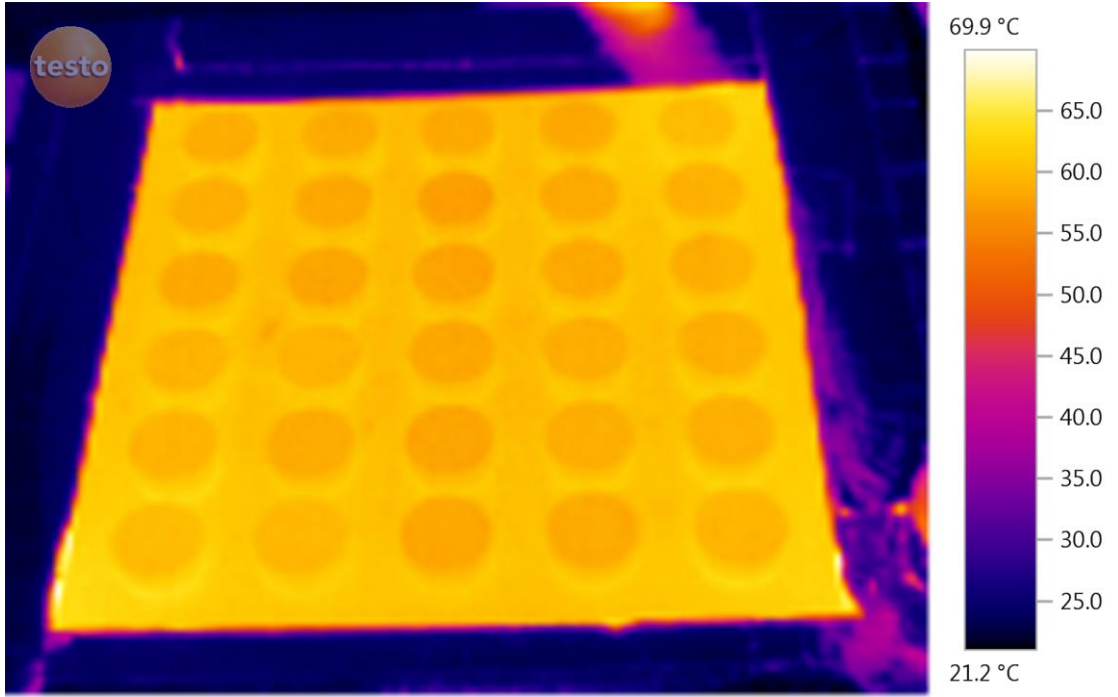
Şekil 4.37. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300 \text{ ml/dk}$, için (Sprey gönderildikten sonra) termal görüntü



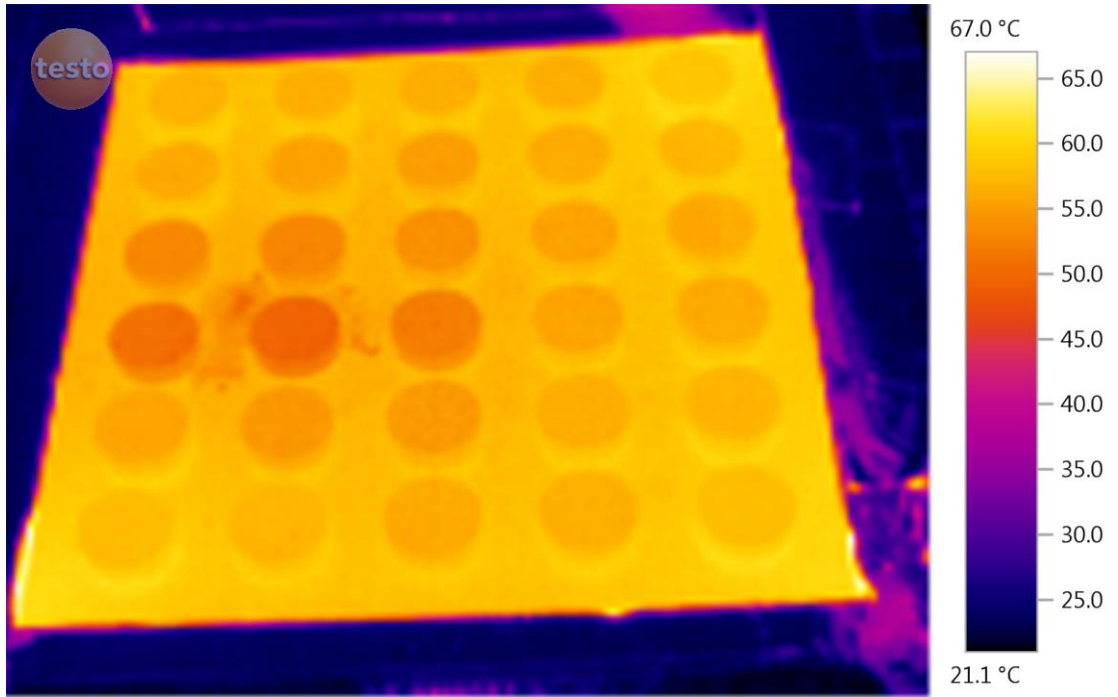
Şekil 4.38. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300\text{ml}/\text{dk}$, için sıcaklık değişimi
*Sprey gönderilmeden önce



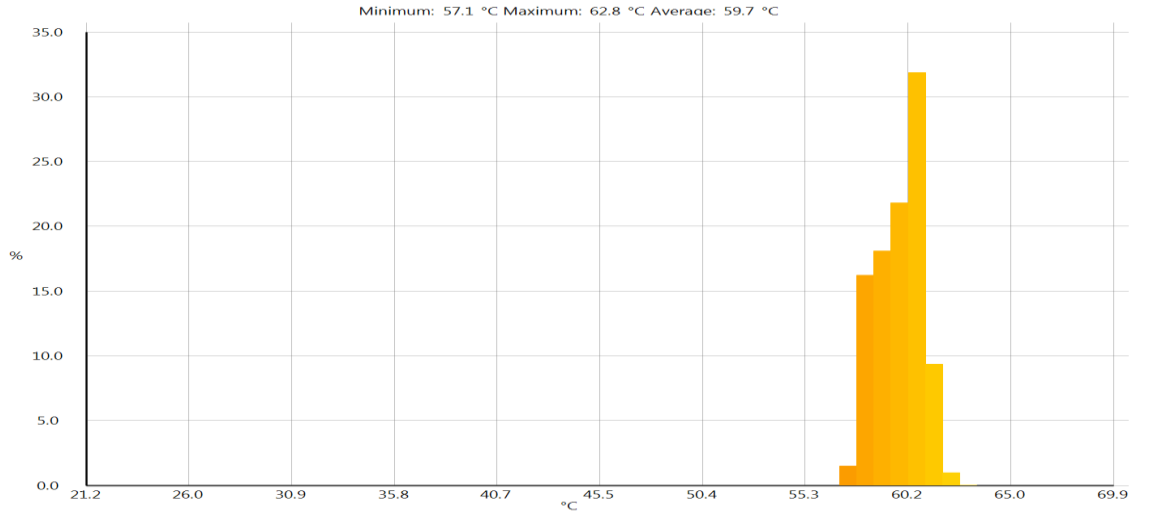
Şekil 4.39. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300\text{ml}/\text{dk}$, için sıcaklık değişimi
*Sprey gönderildikten sonra



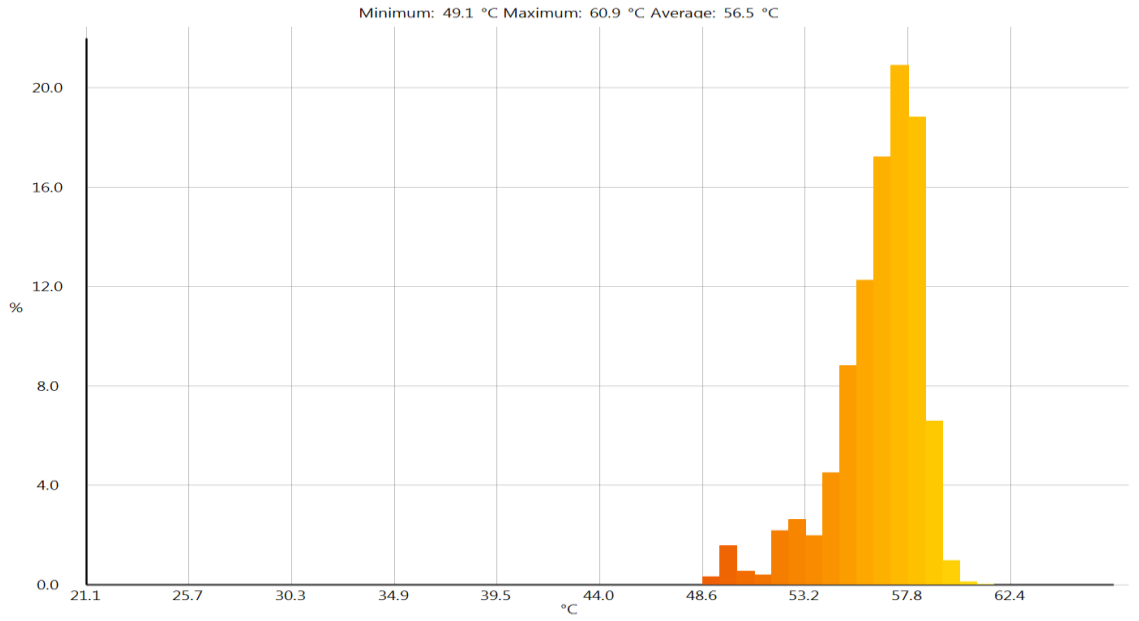
Şekil 4.40. $Q_a=1 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200 \text{ ml/dk}$, için (Sprey gönderilmeden önce) termal görüntü



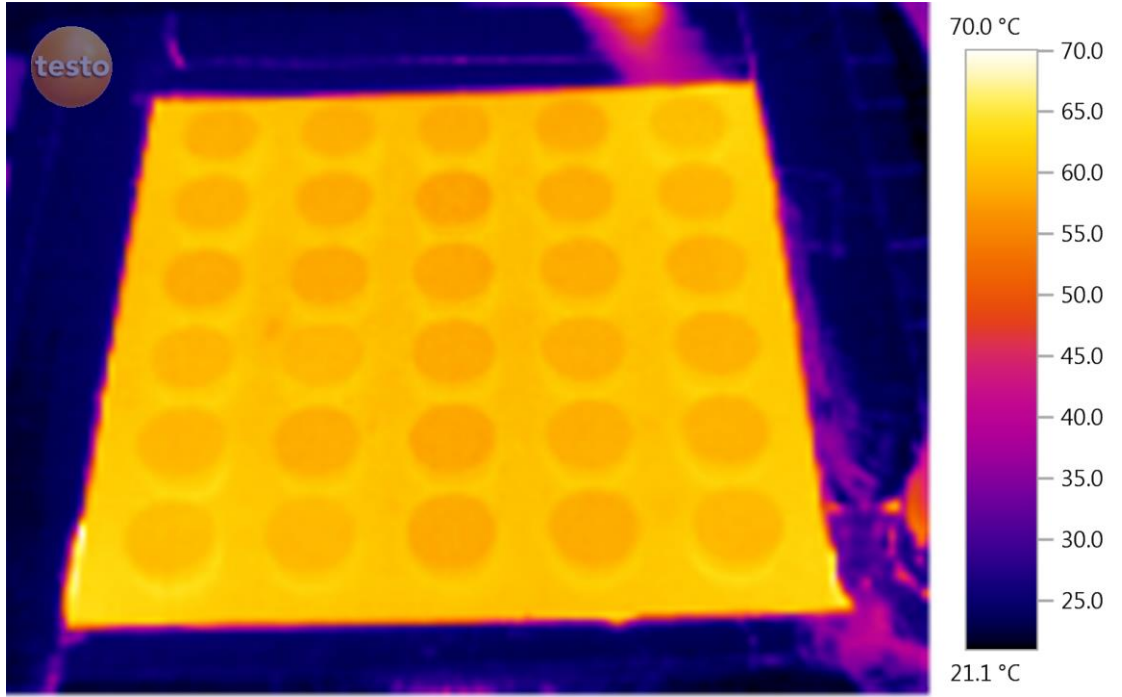
Şekil 4.41. $Q_a=1 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200 \text{ ml/dk}$, için (Sprey gönderildikten sonra) termal görüntü



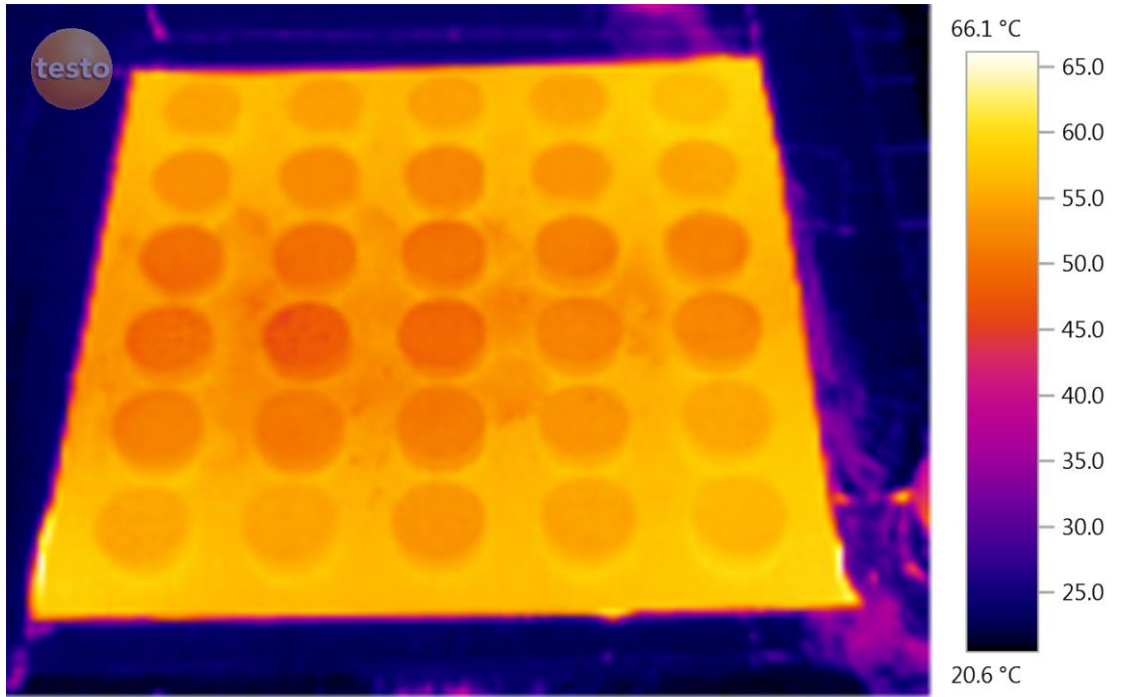
Şekil 4.42. $Q_a=1 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200\text{ml}/\text{dk}$, için sıcaklık değişimi
*Sprey gönderilmeden önce



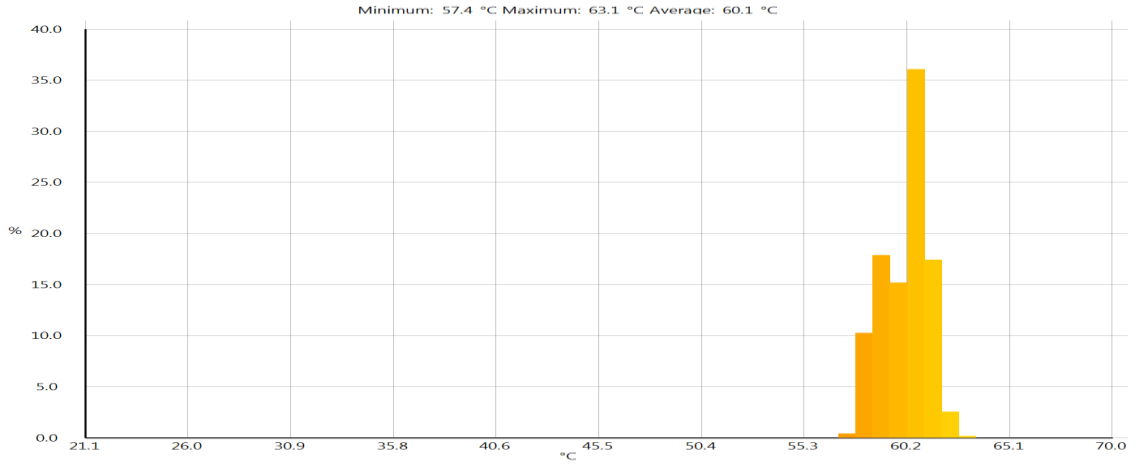
Şekil 4.43. $Q_a=1 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200\text{ml}/\text{dk}$, için sıcaklık değişimi
*Sprey gönderildikten sonra



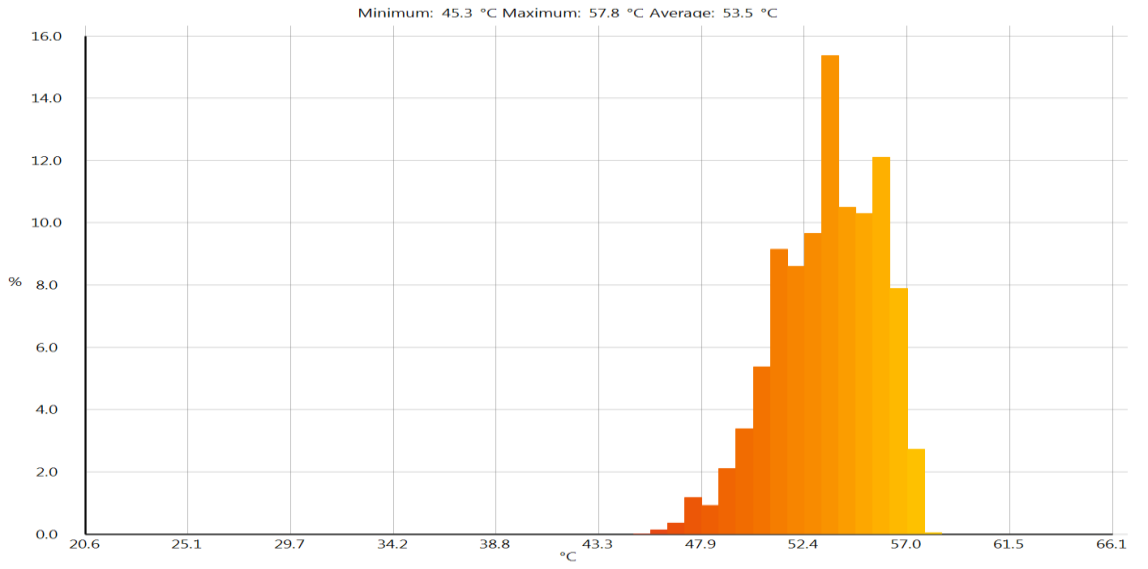
Şekil 4.44. $Q_a=1 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300 \text{ ml/dk}$, için (Sprey gönderilmeden önce) termal görüntü



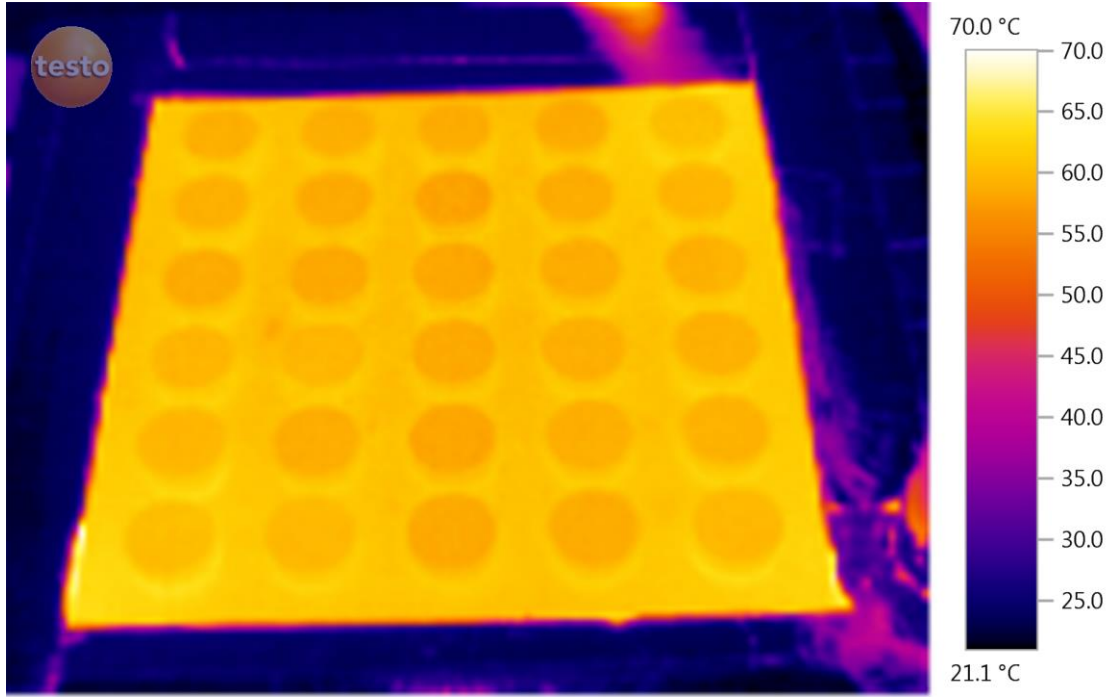
Şekil 4.45. $Q_a=1 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300 \text{ ml/dk}$, için (Sprey gönderildikten sonra) termal görüntü



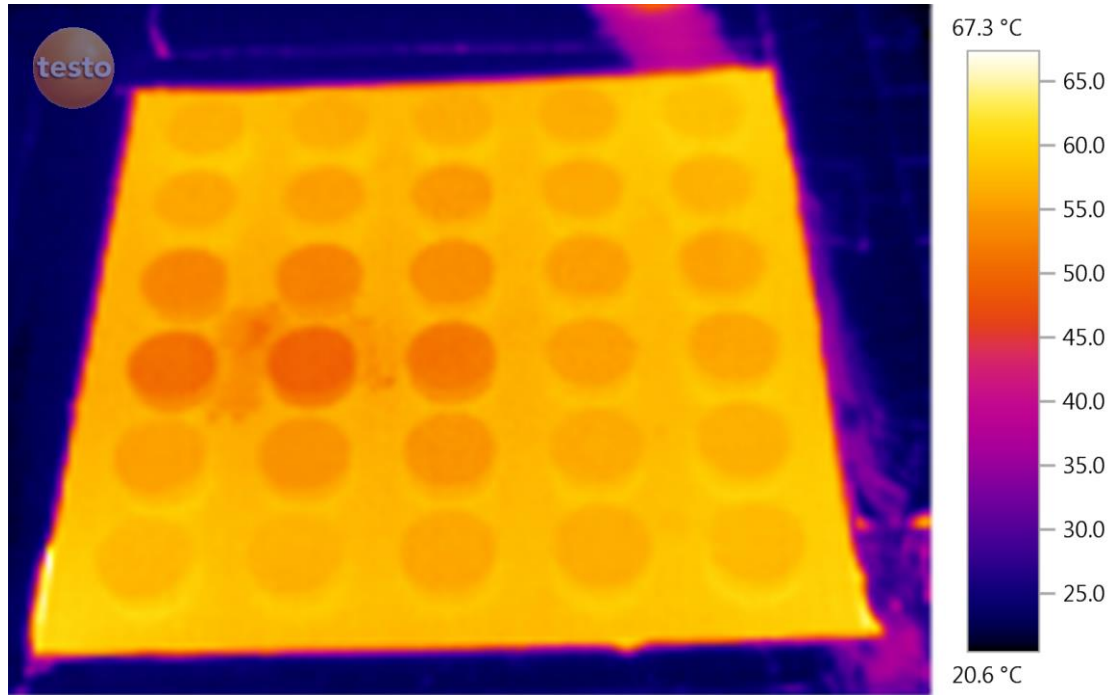
Şekil 4.46. $Q_a=1 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300\text{ml}/\text{dk}$, için sıcaklık değişimi
*Sprey gönderilmeden önce



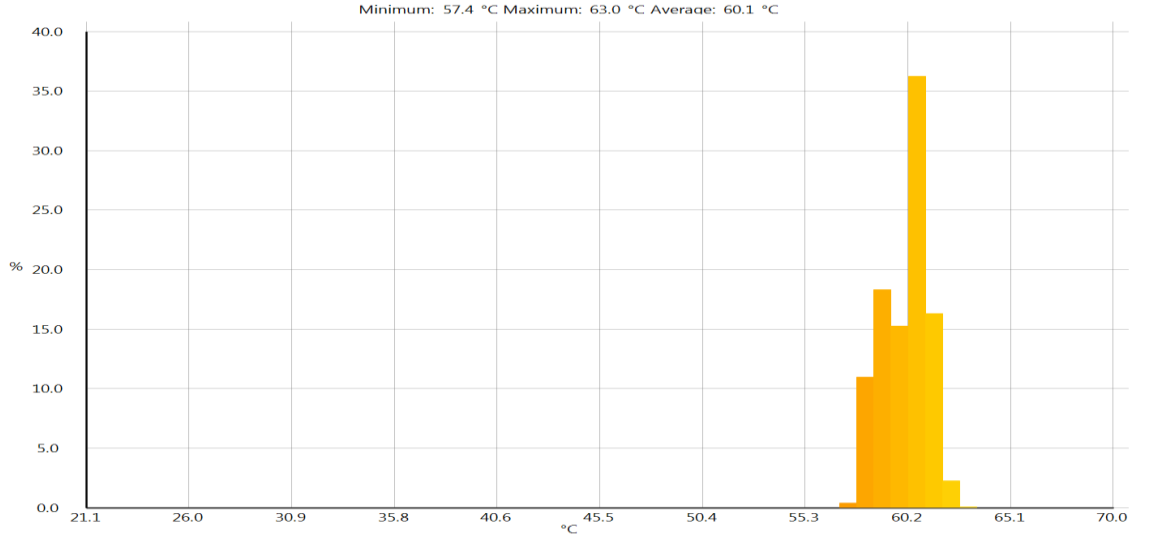
Şekil 4.47. $Q_a=1 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300\text{ml}/\text{dk}$, için sıcaklık değişimi
*Sprey gönderildikten sonra



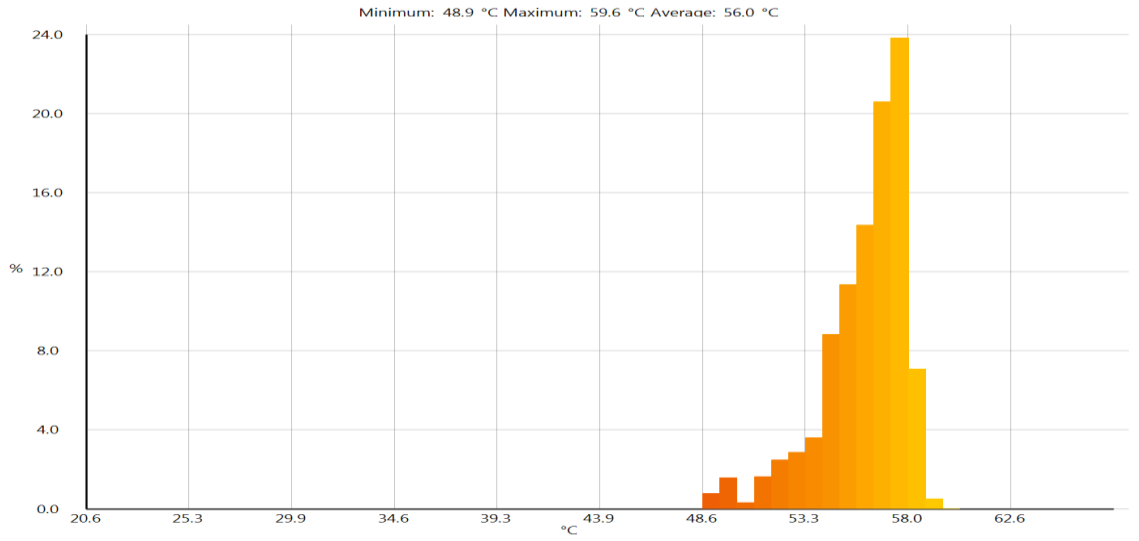
Şekil 4.48. $Q_a=1.5 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200 \text{ ml/dk}$, için (Sprey gönderilmeden önce) termal görüntü



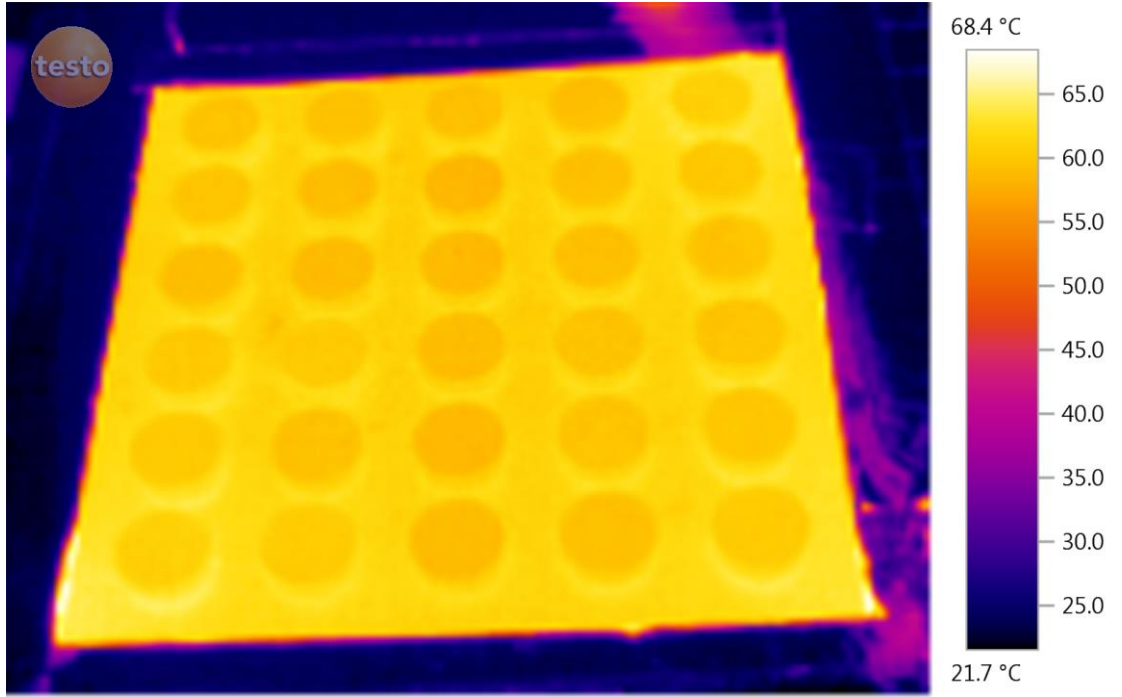
Şekil 4.49. $Q_a=1.5\text{m}^3/\text{h}$, $Q_l=200\text{ml/dk}$, için (Sprey gönderildikten sonra) termal görüntü



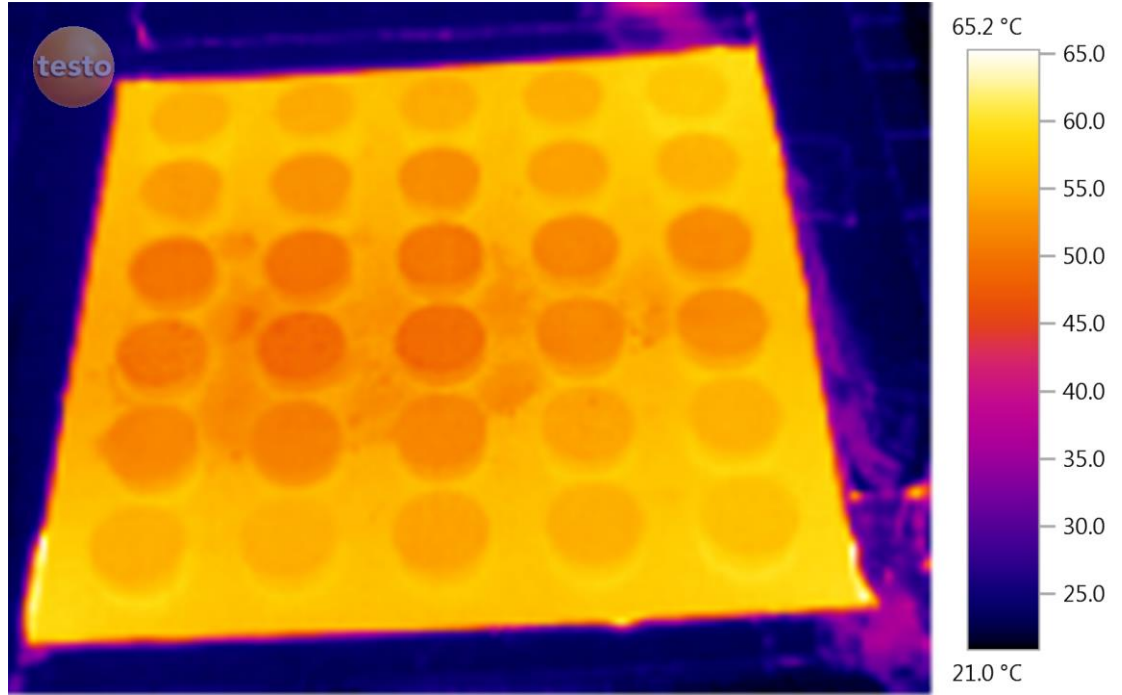
Şekil 4.50. $Q_a=1.5 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200\text{ml}/\text{dk}$, için sıcaklık değişimi
*Sprey gönderilmeden önce



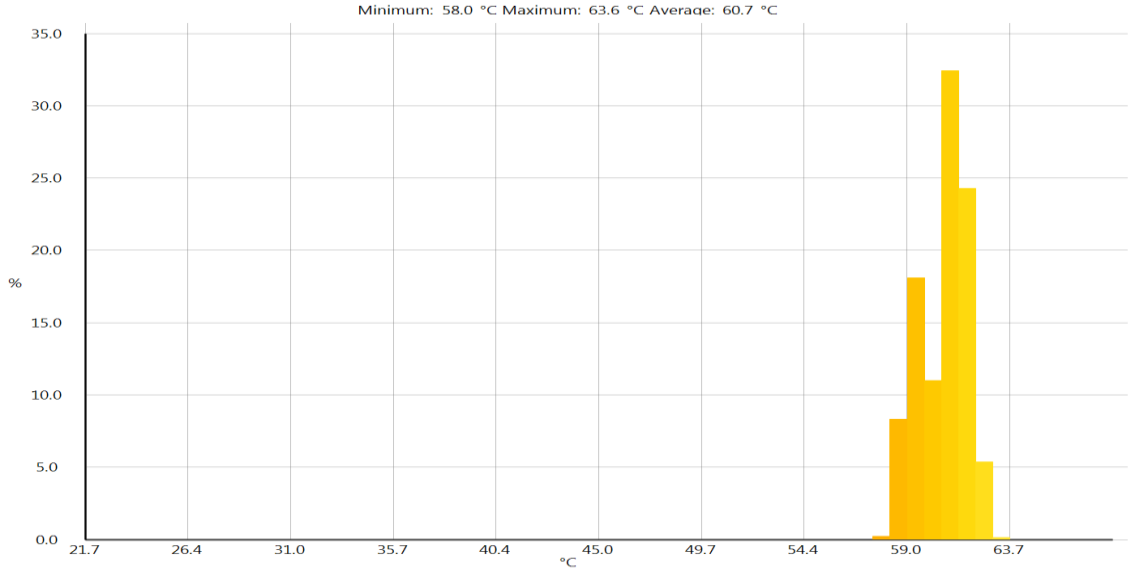
Şekil 4.51. $Q_a=1.5 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200\text{ml}/\text{dk}$, için sıcaklık değişimi
*Sprey gönderildikten sonra



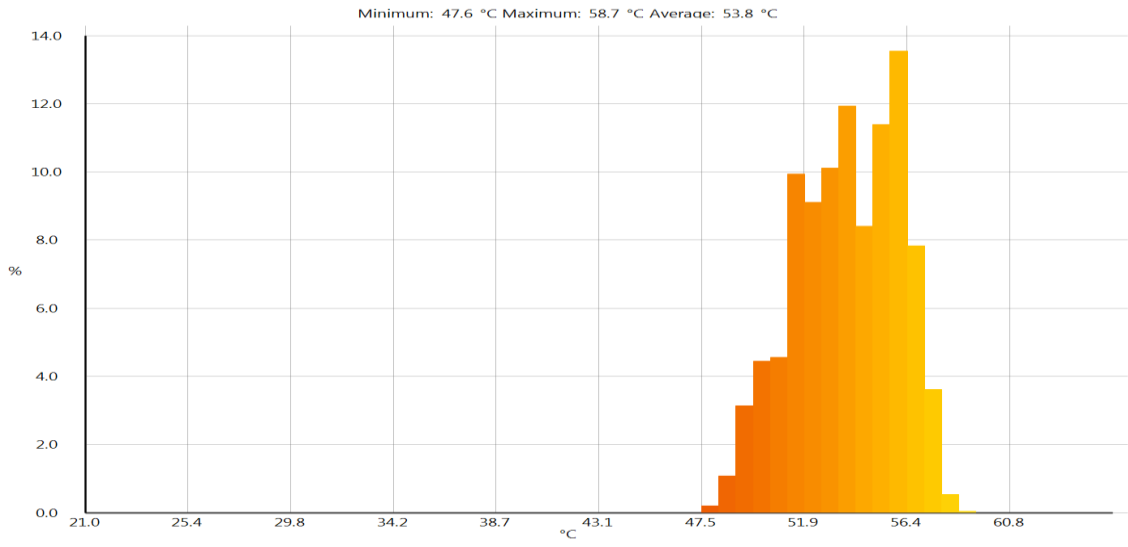
Şekil 4.52. $Q_a=1.5 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300 \text{ ml/dk}$, için (Sprey gönderilmeden önce) termal görüntü



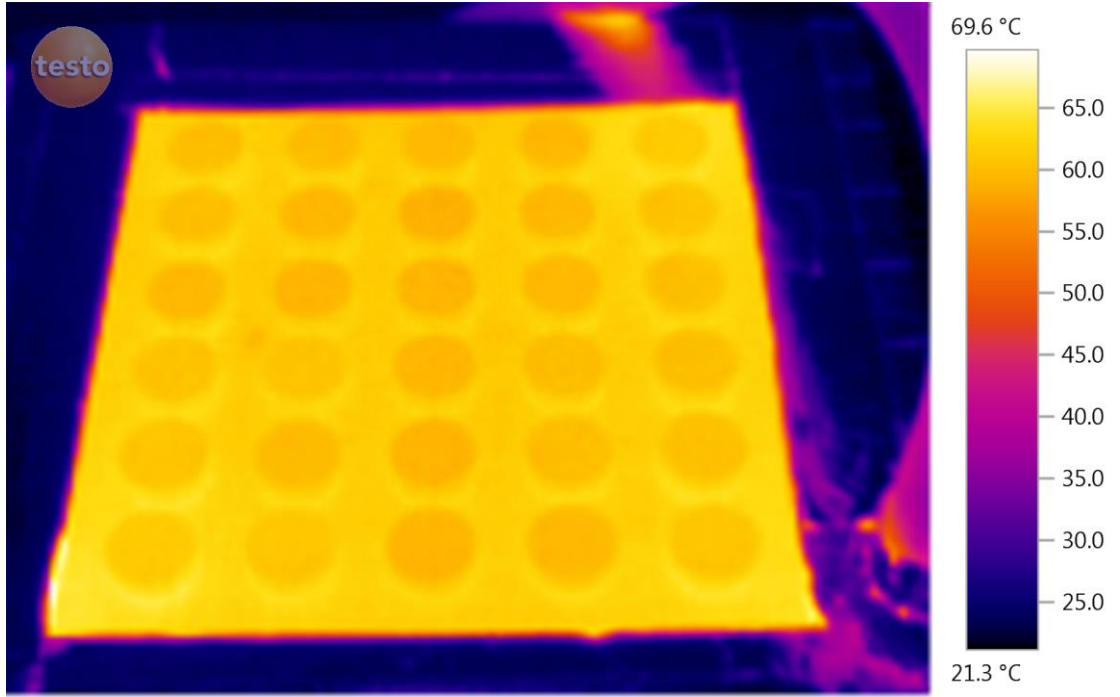
Şekil 4.53. $Q_a=1.5\text{m}^3/\text{h}$, $Q_l=300\text{ml/dk}$, için (Sprey gönderildikten sonra) termal görüntü



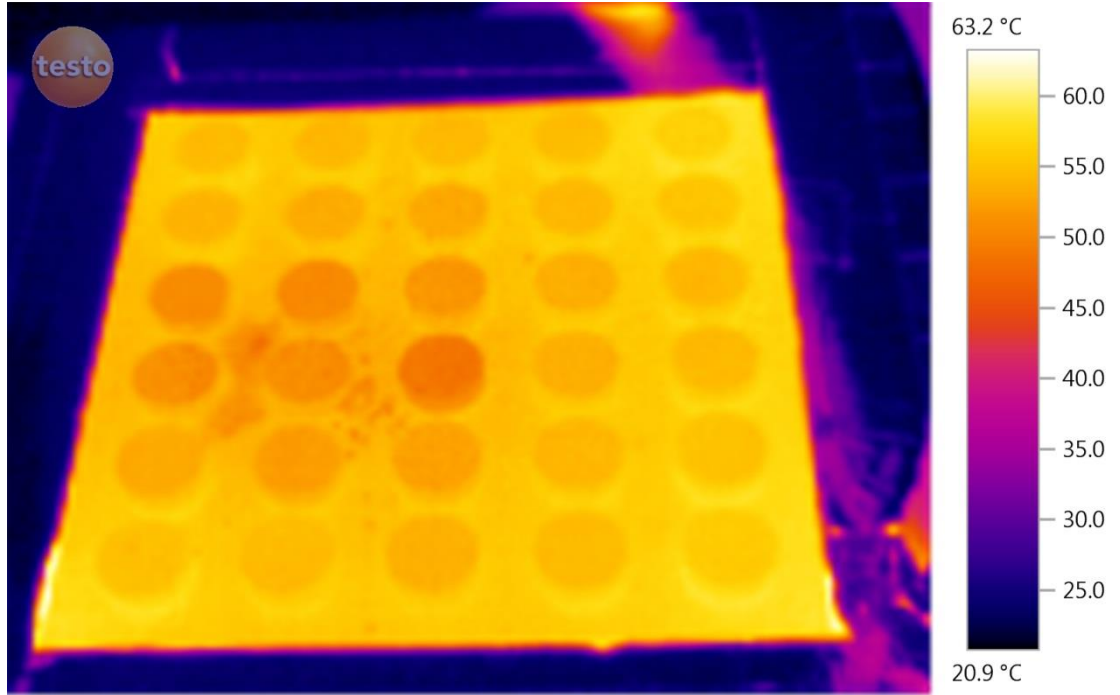
Şekil 4.54. $Q_a=1.5 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300\text{ml}/\text{dk}$, için sıcaklık değişimi
*Sprey gönderilmeden önce



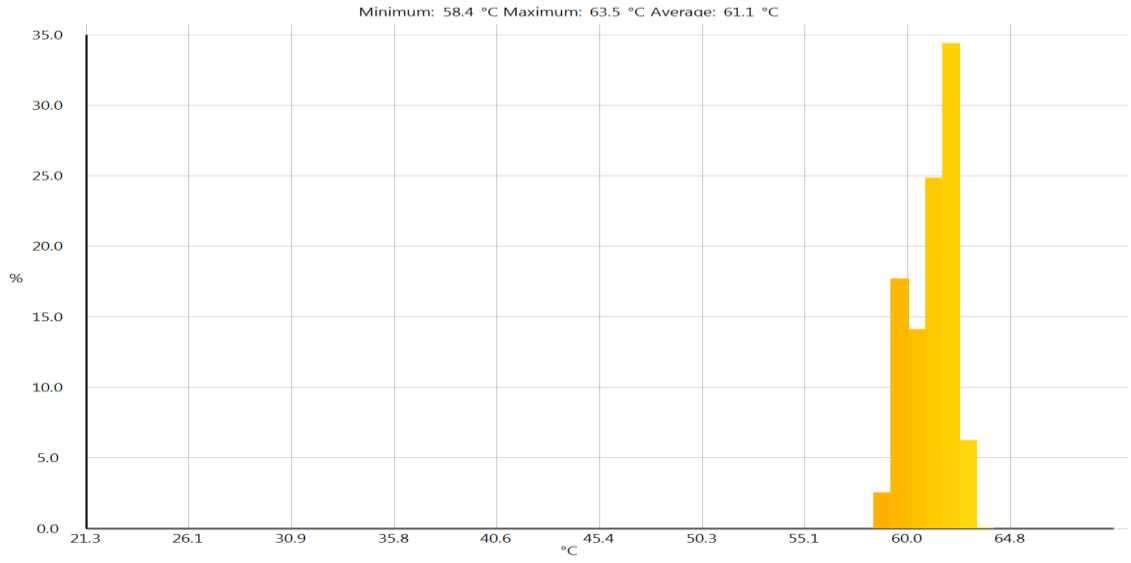
Şekil 4.55. $Q_a=1.5 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300\text{ml}/\text{dk}$, için sıcaklık değişimi
*Sprey gönderildikten sonra



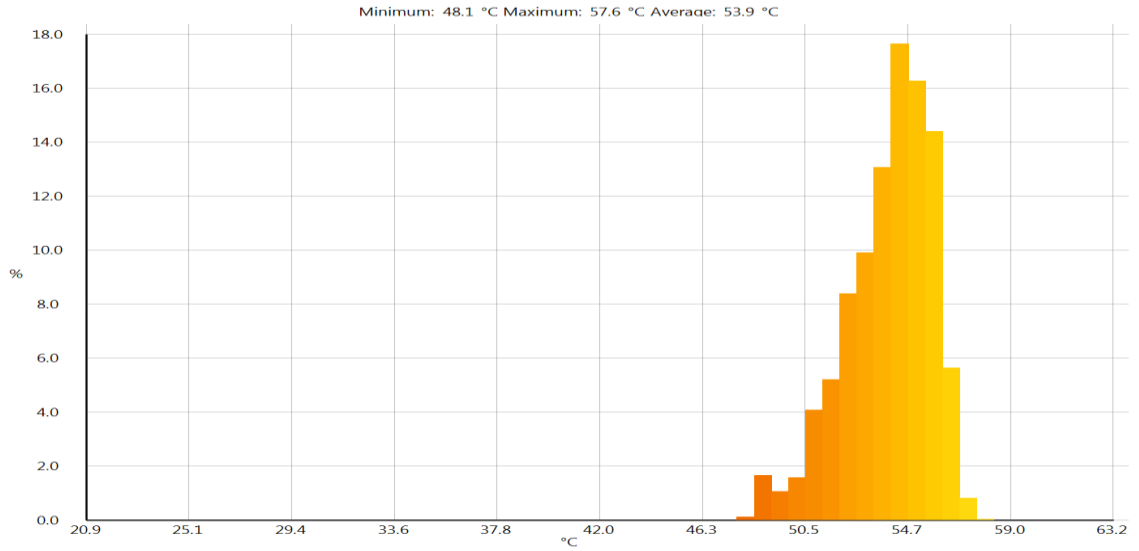
Şekil 4.56. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200 \text{ ml/dk}$, için (Sprey gönderilmeden önce) termal görüntü



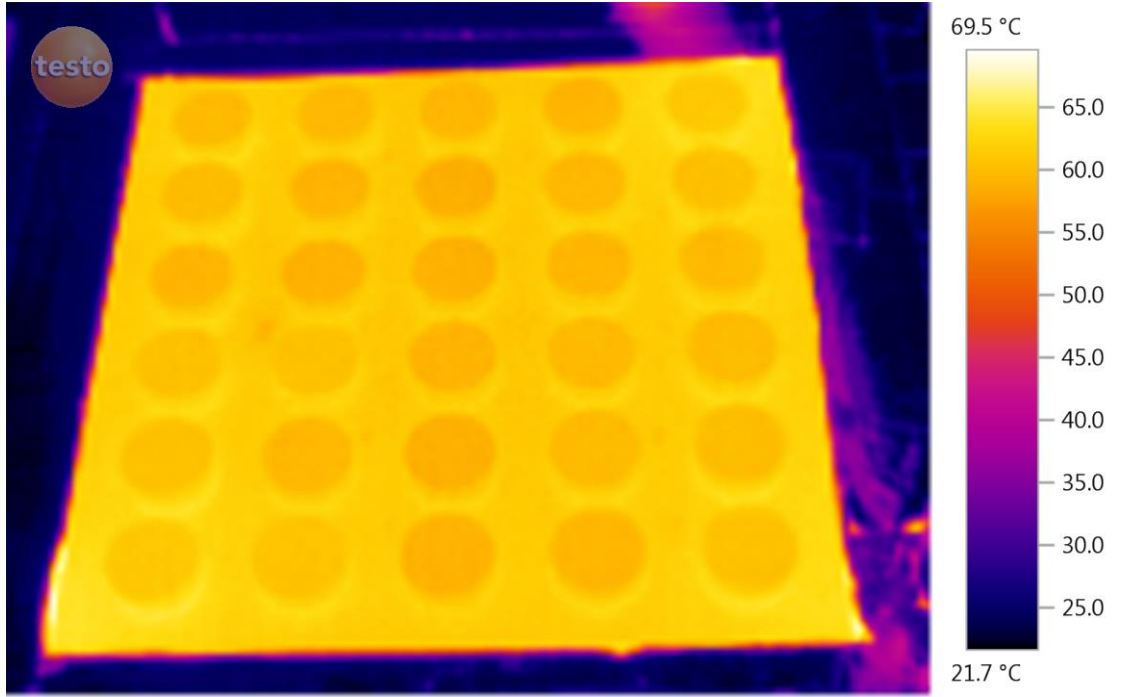
Şekil 4.57. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200\text{ml/dk}$, için (Sprey gönderildikten sonra) termal görüntü



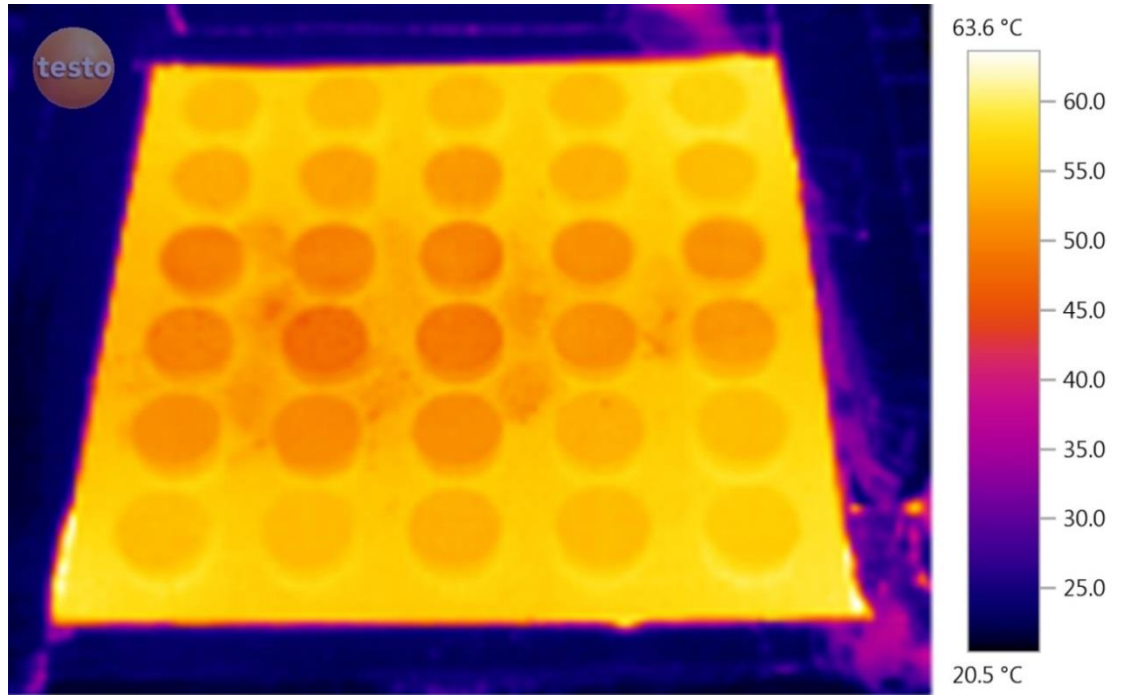
Şekil 4.58. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200\text{ml}/\text{dk}$, için sıcaklık değişimi
*Sprey gönderilmeden önce



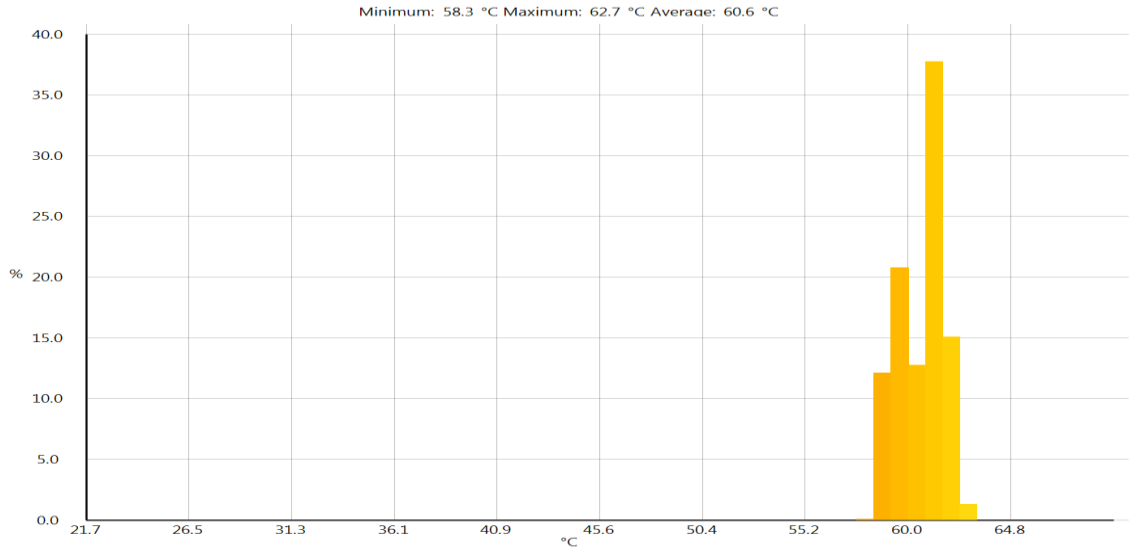
Şekil 4.59. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200\text{ml}/\text{dk}$, için sıcaklık değişimi
*Sprey gönderildikten sonra



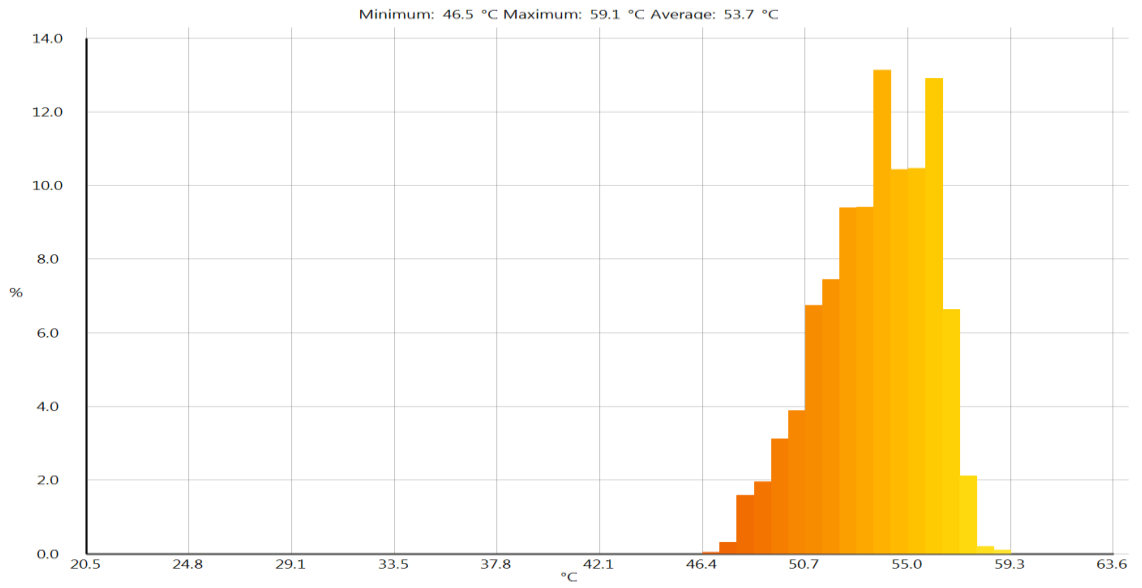
Şekil 4.60. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_I=300 \text{ ml/dk}$, için (Sprey gönderilmeden önce) termal görüntü



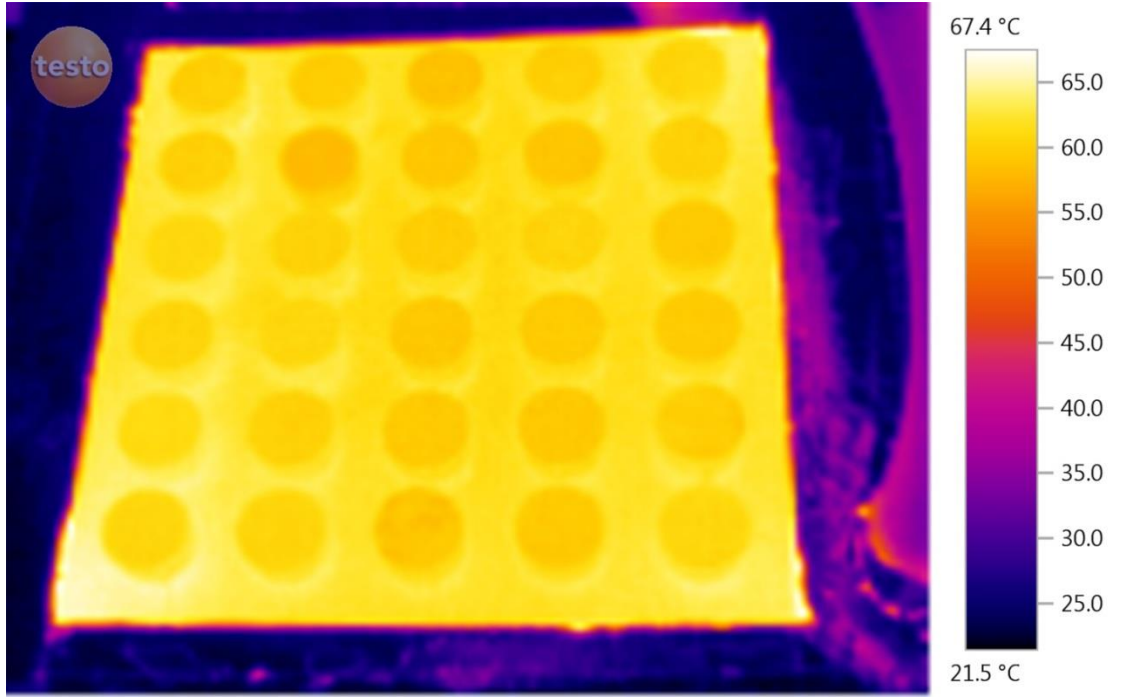
Şekil 4.61. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_I=300\text{ml/dk}$, için (Sprey gönderildikten sonra) termal görüntü



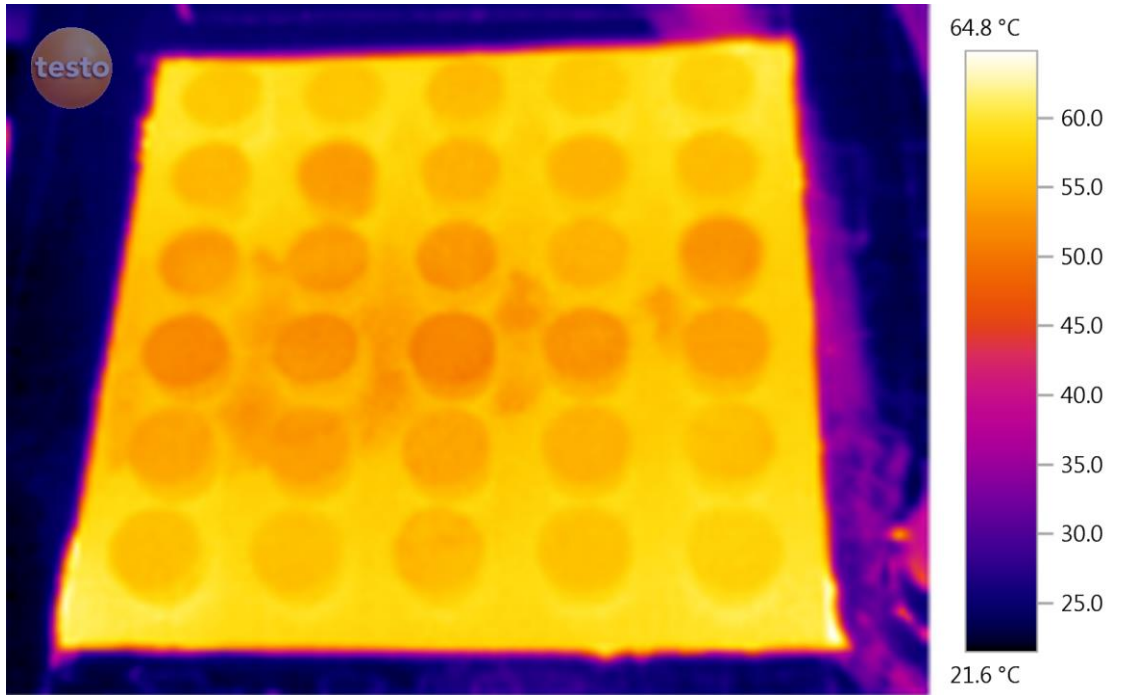
Şekil 4.62. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300\text{ml}/\text{dk}$, için sıcaklık değişimi
*Sprey gönderilmeden önce



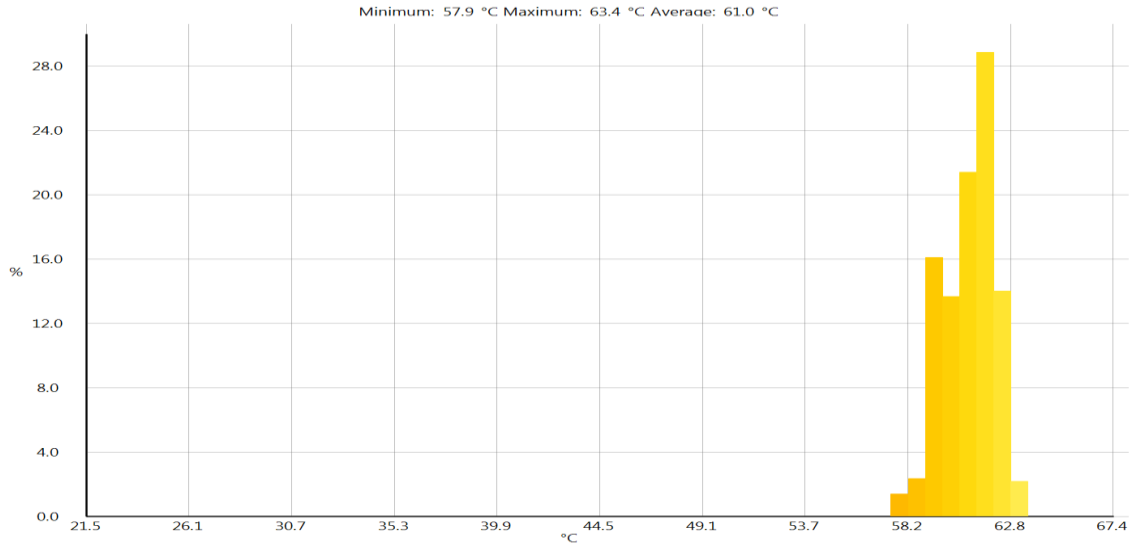
Şekil 4.63. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300\text{ml}/\text{dk}$, için sıcaklık değişimi
*Sprey gönderildikten sonra



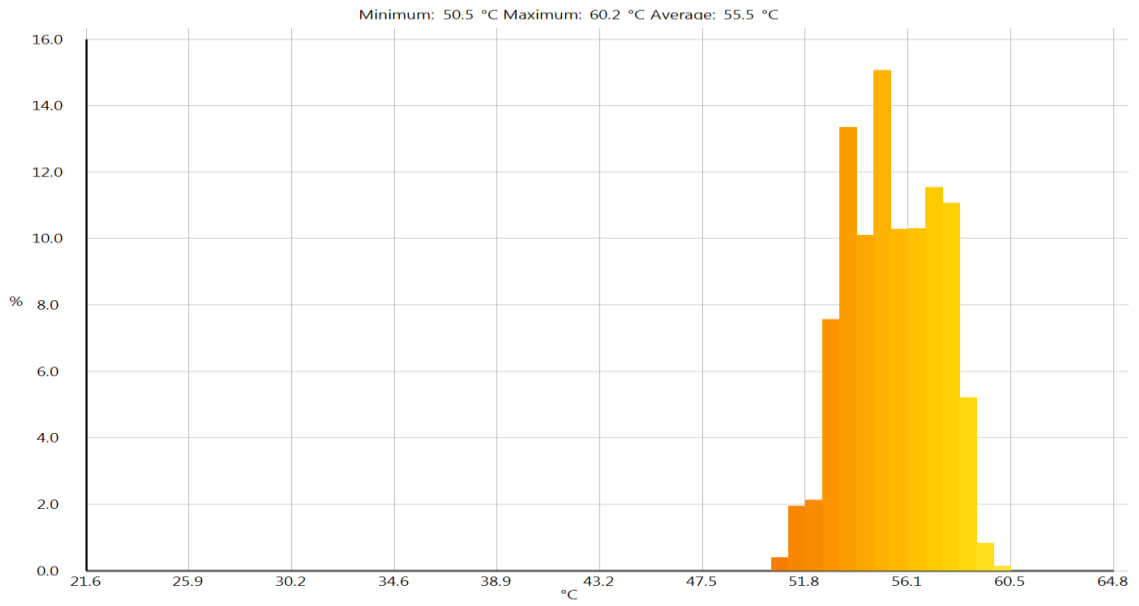
Şekil 4.64. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_I=200 \text{ ml/dk}$, için (Sprey gönderilmeden önce) termal görüntü



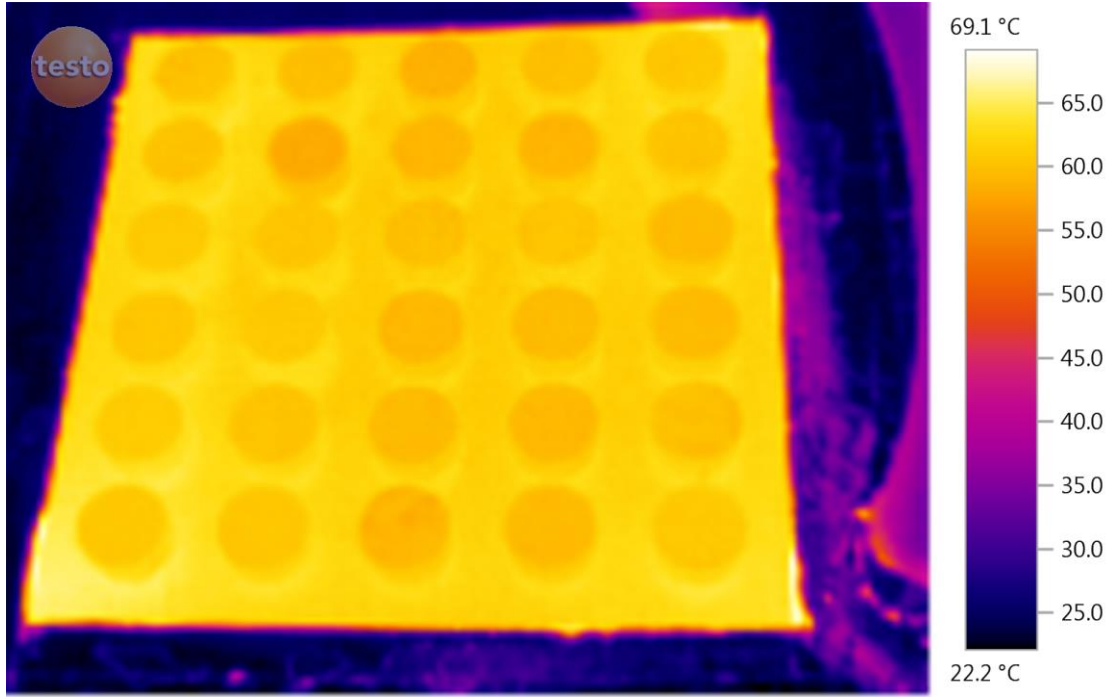
Şekil 4.65. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_I=200\text{ml/dk}$, için (Sprey gönderildikten sonra) termal görüntü



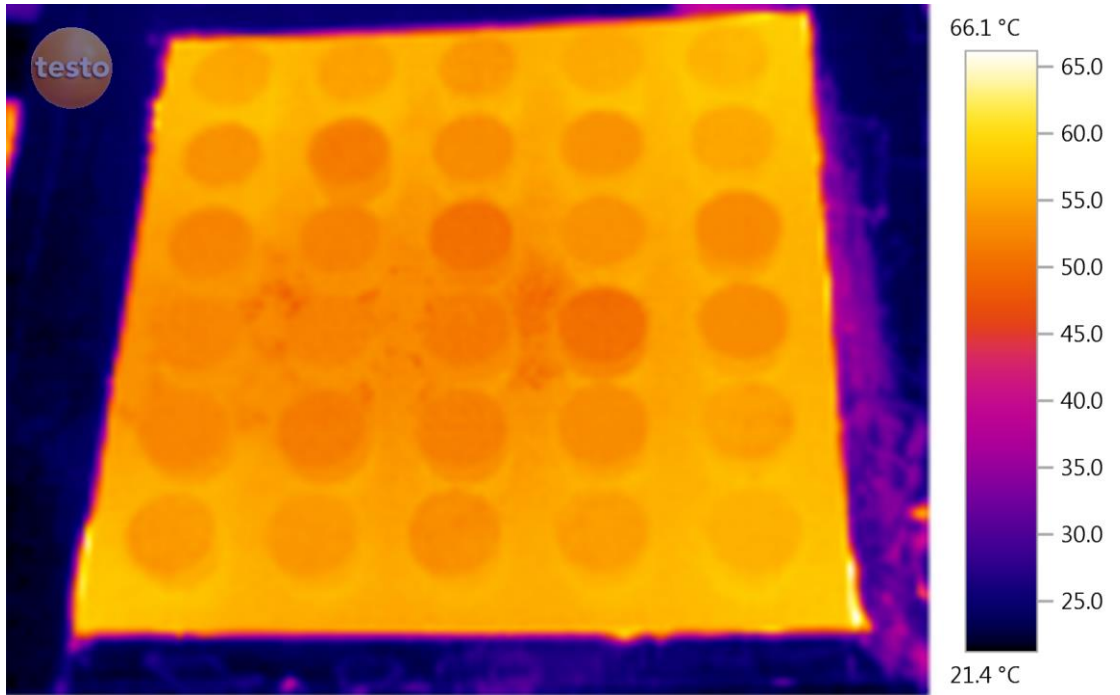
Şekil 4.66. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200\text{ml}/\text{dk}$, için sıcaklık değişimi
*Sprey gönderilmeden önce



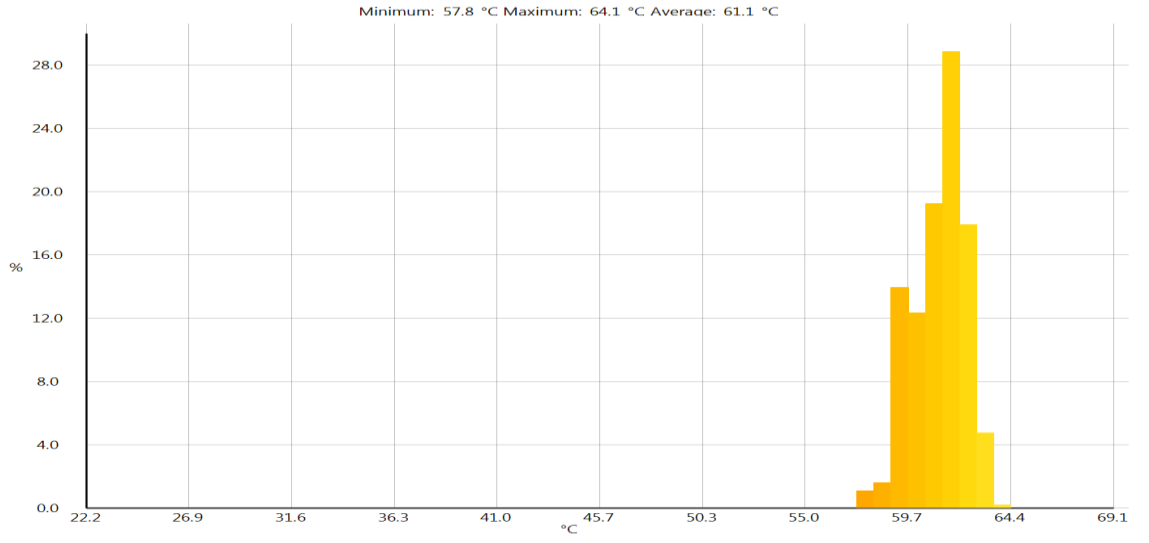
Şekil 4.67. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200\text{ml}/\text{dk}$, için sıcaklık değişimi
*Sprey gönderildikten sonra



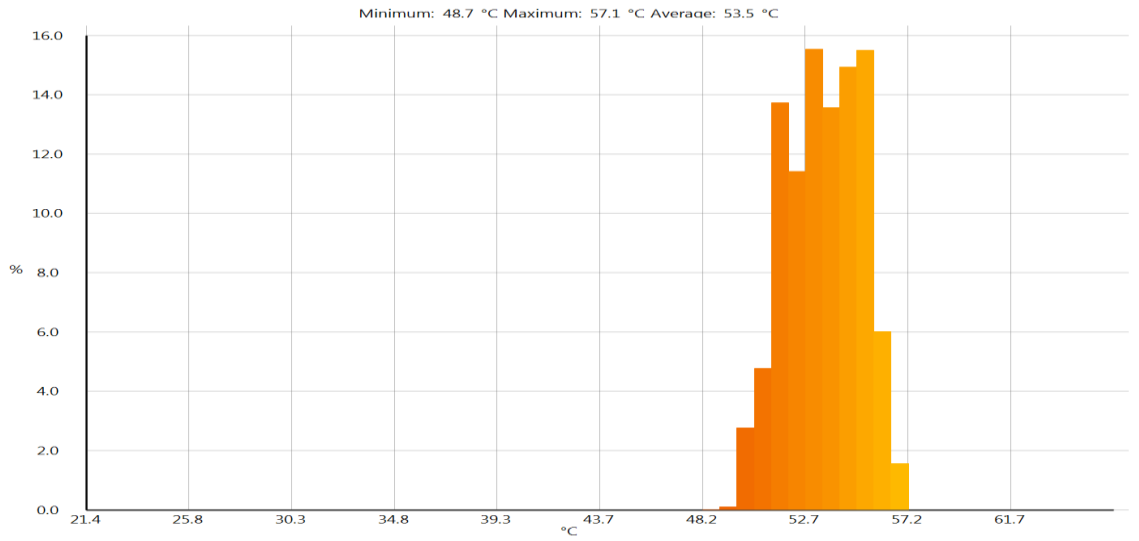
Şekil 4.68. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_I=300 \text{ ml/dk}$, için (Sprey gönderilmeden önce) termal görüntü



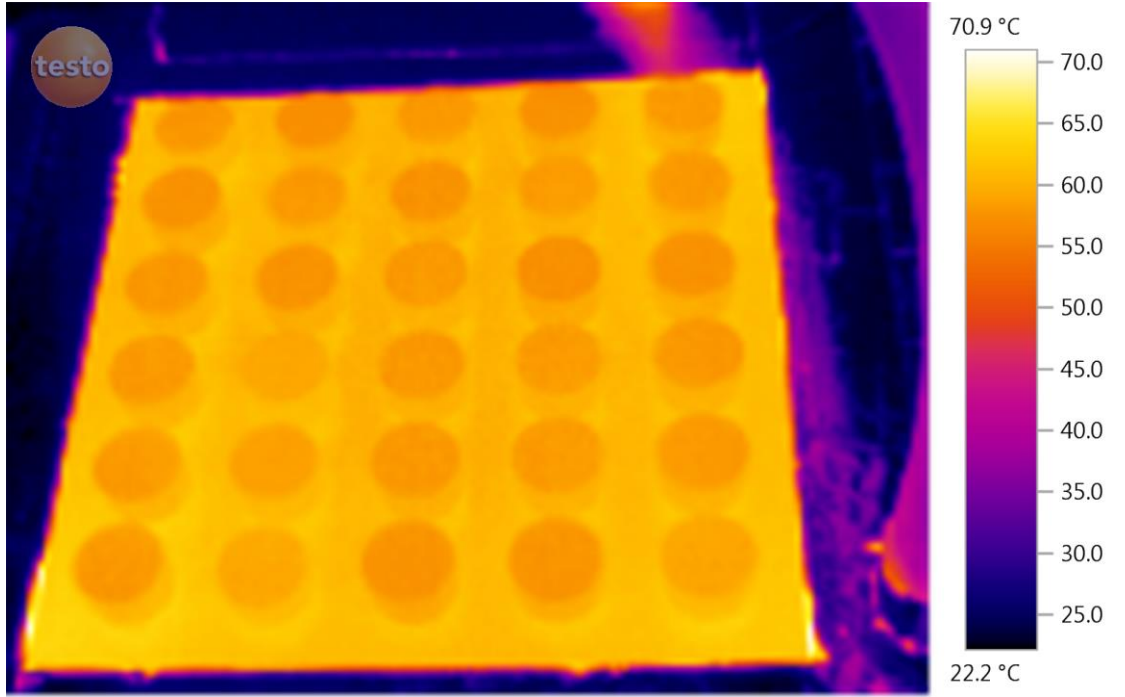
Şekil 4.69. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_I=300\text{ml/dk}$, için (Sprey gönderildikten sonra) termal görüntü



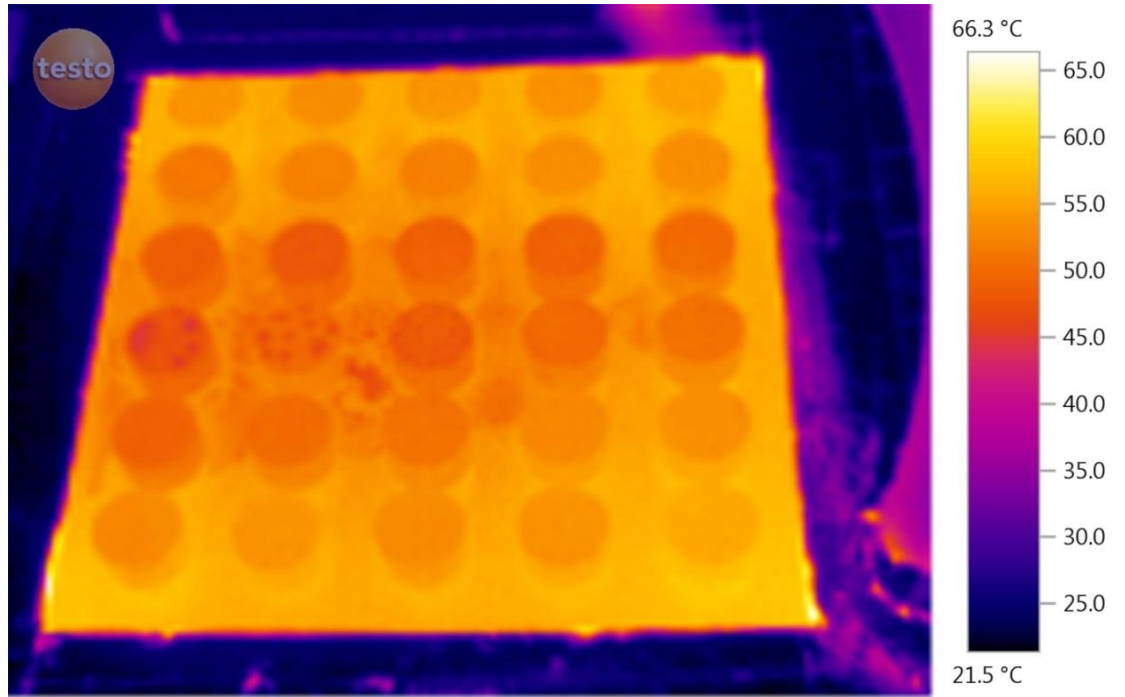
Şekil 4.70. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300\text{ml}/\text{dk}$, için sıcaklık değişimi
*Sprey gönderilmeden önce



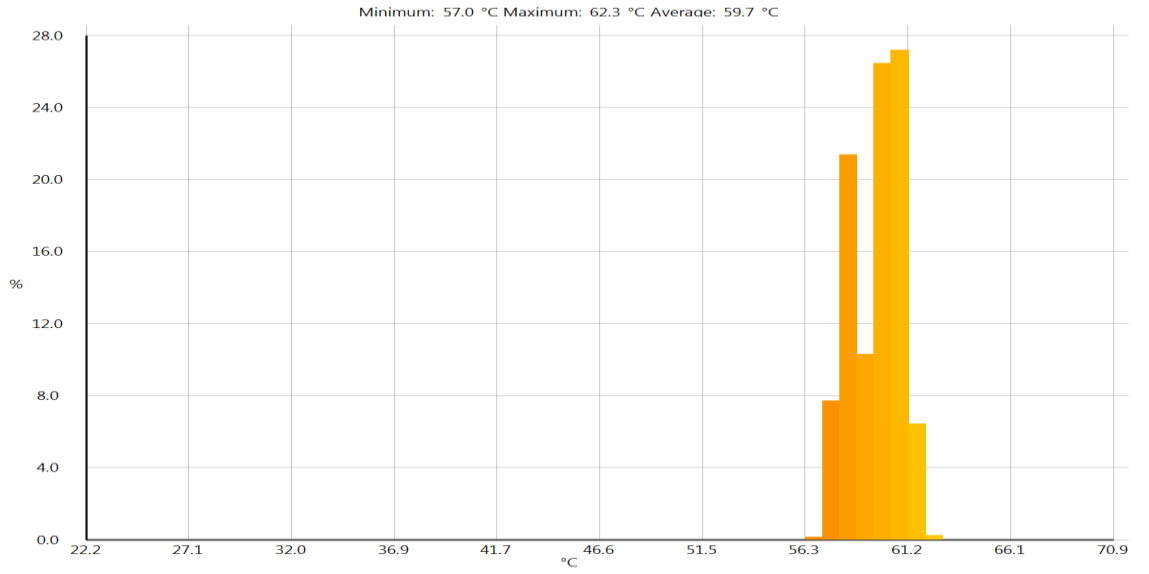
Şekil 4.71. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300\text{ml}/\text{dk}$, için sıcaklık değişimi
*Sprey gönderildikten sonra



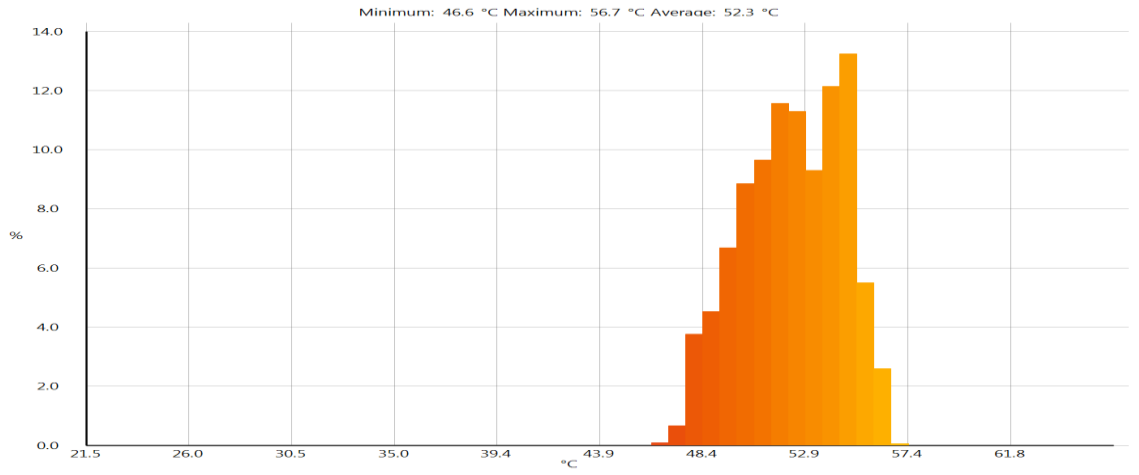
Şekil 4.72. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200 \text{ ml/dk}$, için (Sprey gönderilmeden önce) termal görüntü



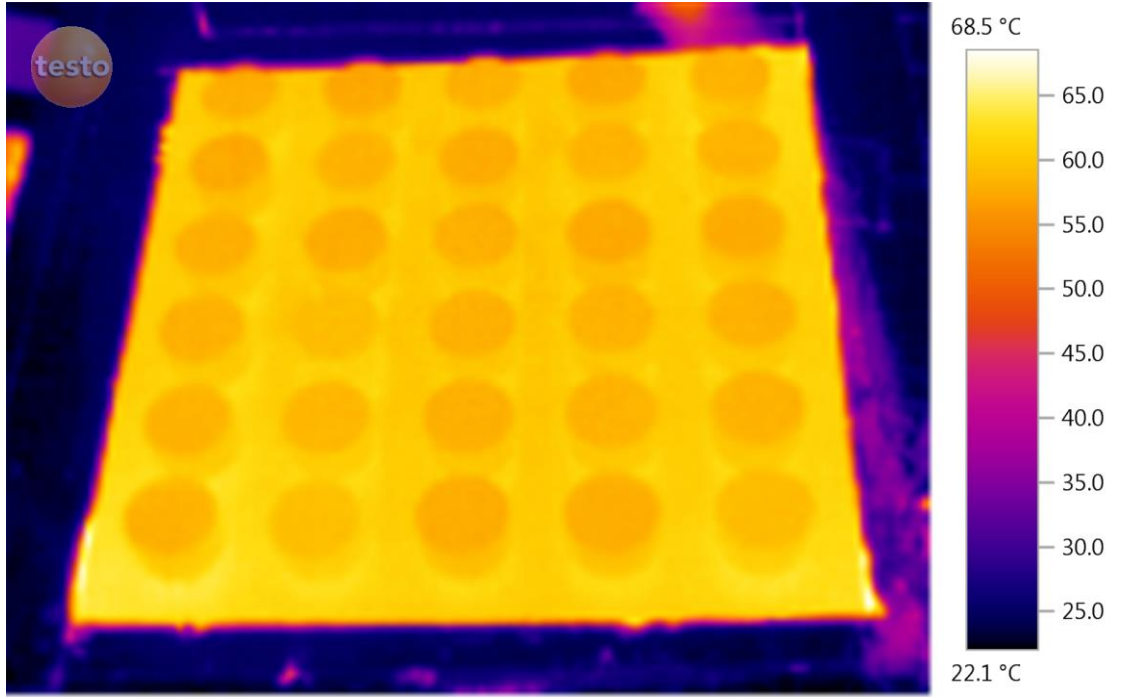
Şekil 4.73. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200 \text{ ml/dk}$, için (Sprey gönderildikten sonra) termal görüntü



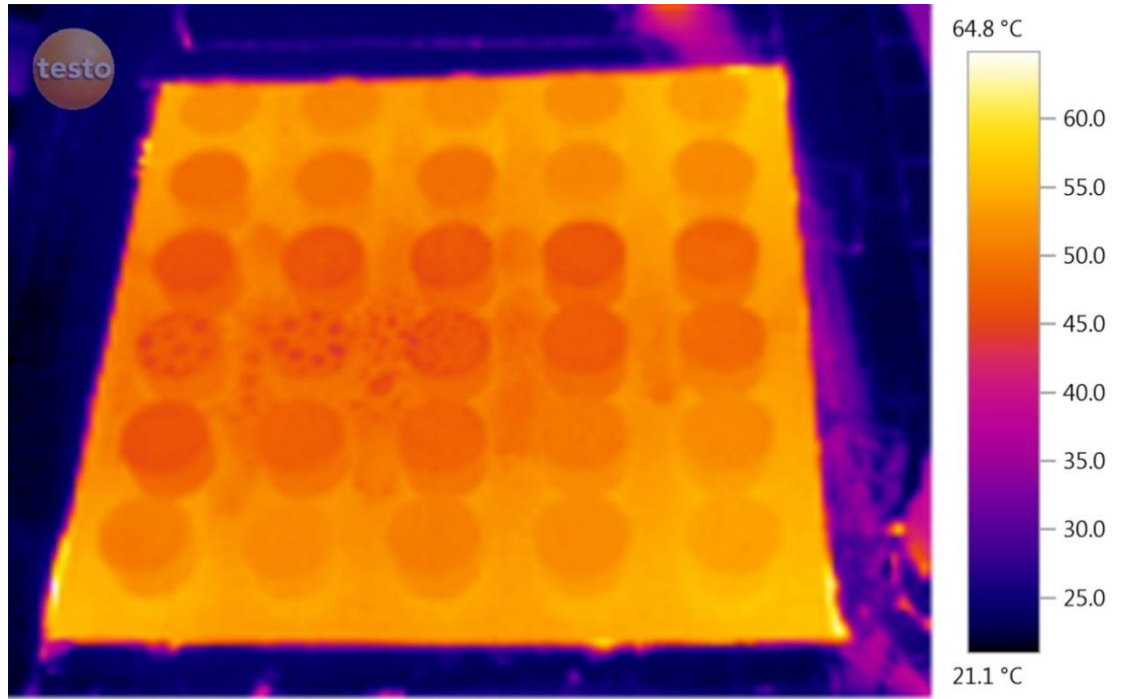
Şekil 4.74. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200\text{ml}/\text{dk}$, için sıcaklık değişimi
*Sprey gönderilmeden önce



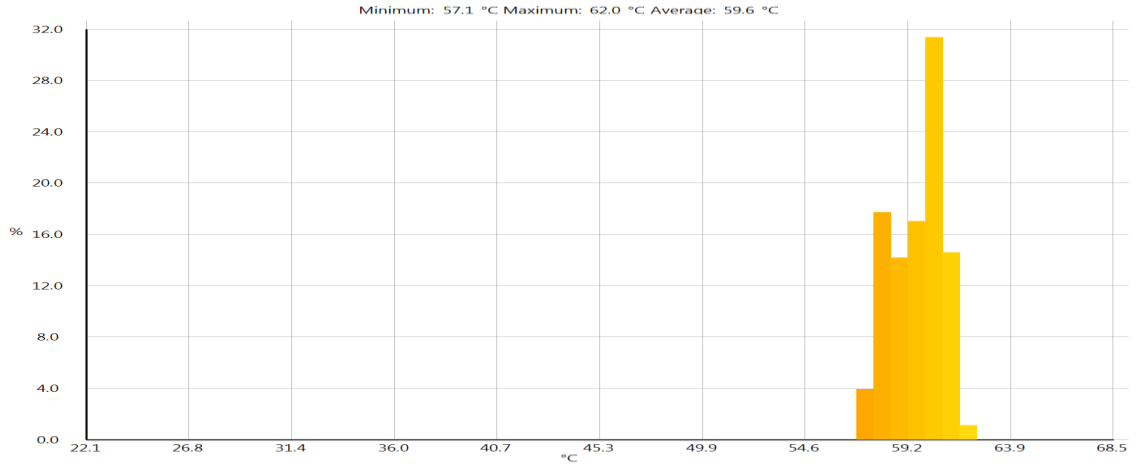
Şekil 4.75. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=200\text{ml}/\text{dk}$, için sıcaklık değişimi
*Sprey gönderildikten sonra



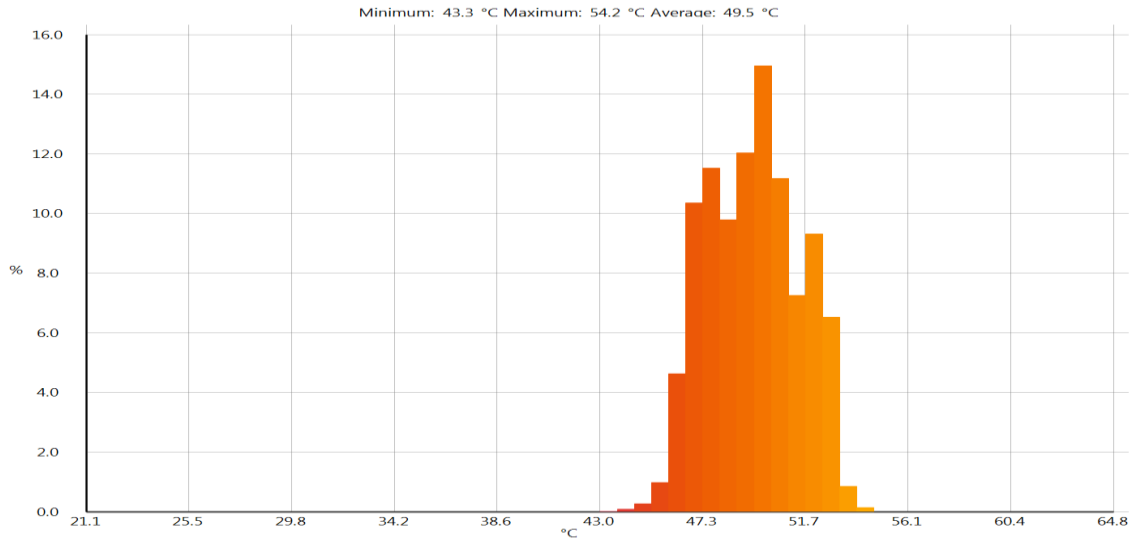
Şekil 4.76. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300 \text{ ml/dk}$, için (Sprey gönderilmeden önce) termal görüntü



Şekil 4.77. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300 \text{ ml/dk}$, için (Sprey gönderildikten sonra) termal görüntü



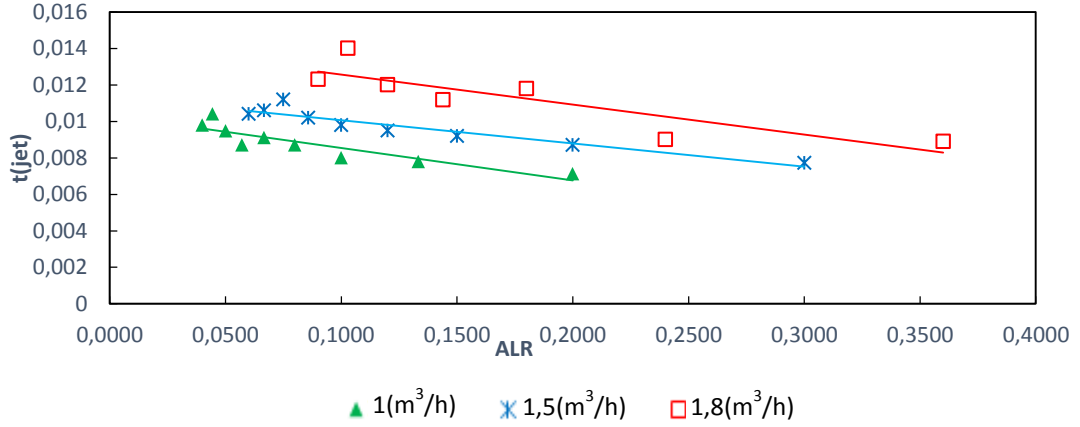
Şekil 4.78. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300\text{ml/dk}$, için sıcaklık değişimi
*Sprey gönderilmeden önce



Şekil 4.79. $Q_a=1.8 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q_l=300\text{ml/dk}$, için sıcaklık değişimi
*Sprey gönderildikten sonra

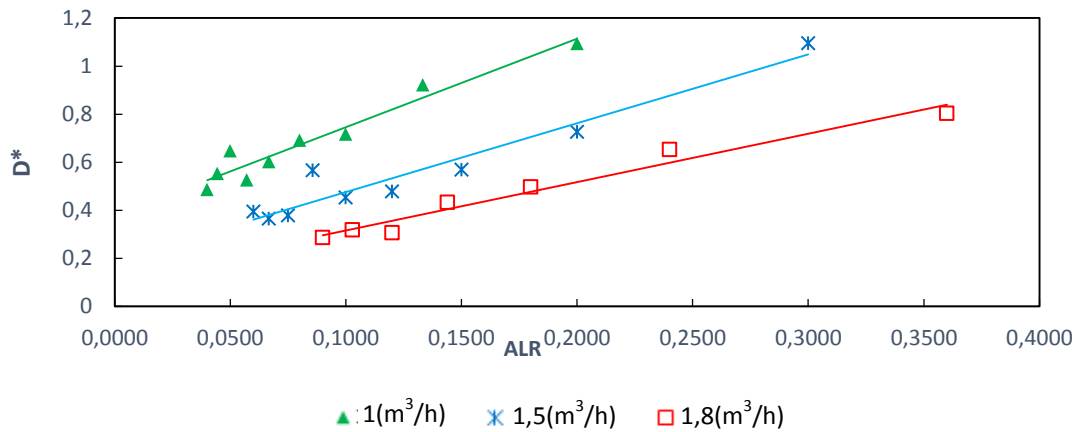
4.3. Grafikler

Deneylerde kullanılan $d_0 = 1.5$ mm çapında DXF-HSI hava destekli nozul için grafikler aşağıdadır:



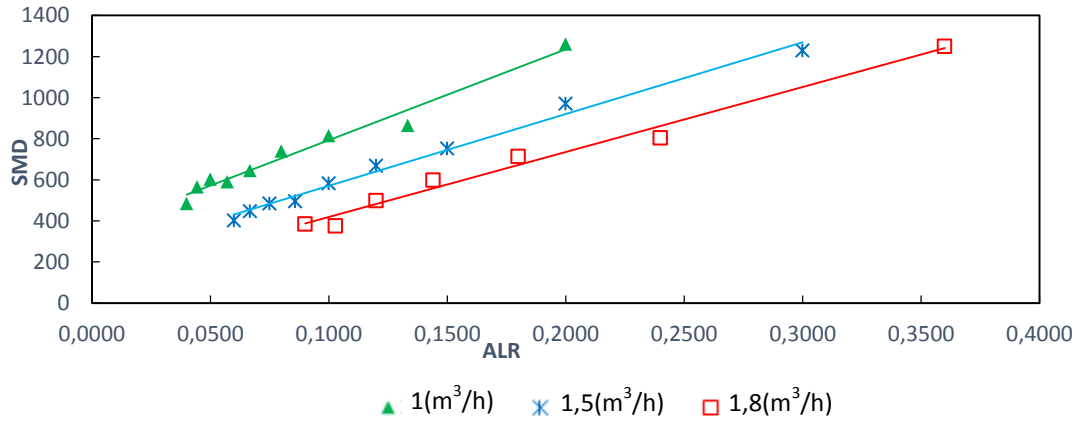
Şekil 4.80. ALR-jet kalınlığı değişimi

Şekil 4.80'de çizilen grafikte ALR ile jet kalınlığı değişimi 1-1,5-1,8 (m^3/h) hava debilerinde verilmiştir. Bütün hava debilerinde ALR arttıkça jet kalınlığının azaldığı görülmektedir. Hava debisi arttıkça jet kalınlığı artmaktadır. Bu azalma 1(m^3/h) hava debisinde %30 ve 1.5 (m^3/h) hava debisinde %27 ve 1.8 (m^3/h) hava debisinde %35 olarak gözlenmiştir.



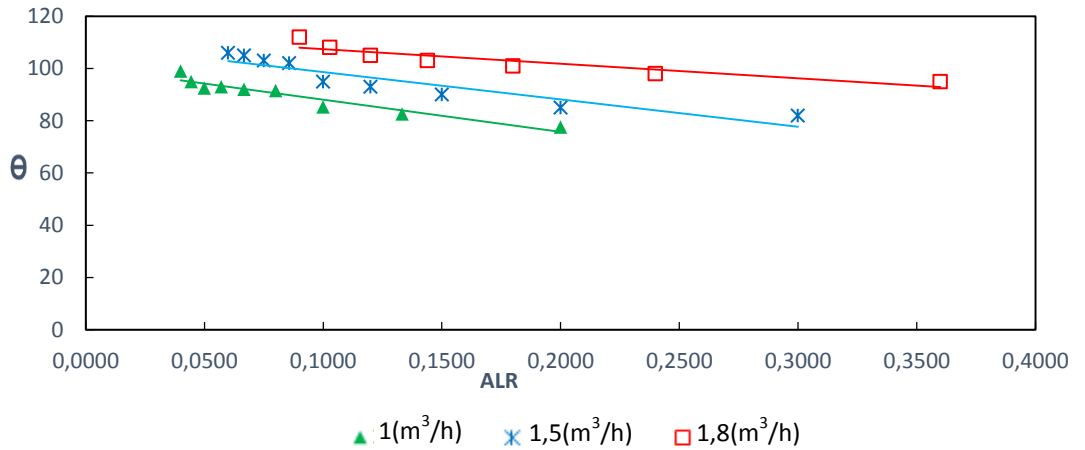
Şekil 4.81. ALR-Boyutsuz damla çapı (D^*) grafiği

Şekil 4.81’de çizilen grafikte ALR ile **Boyutsuz damla çapı (D^*)** değişimi 1-1,5-1,8 (m^3/h)hava debilerinde verilmiştir. Bütün hava debilerinde ALR arttıkça **Boyutsuz damla çapı artmaktadır**. Hava debisi arttıkça **Boyutsuz damla çapı azalmaktadır**. Bu artma 1(m^3/h) hava debisinde %45 ve 1.5 (m^3/h) hava debisinde %56 ve 1.8 (m^3/h) hava debisinde %47 olarak gözlenmiştir.



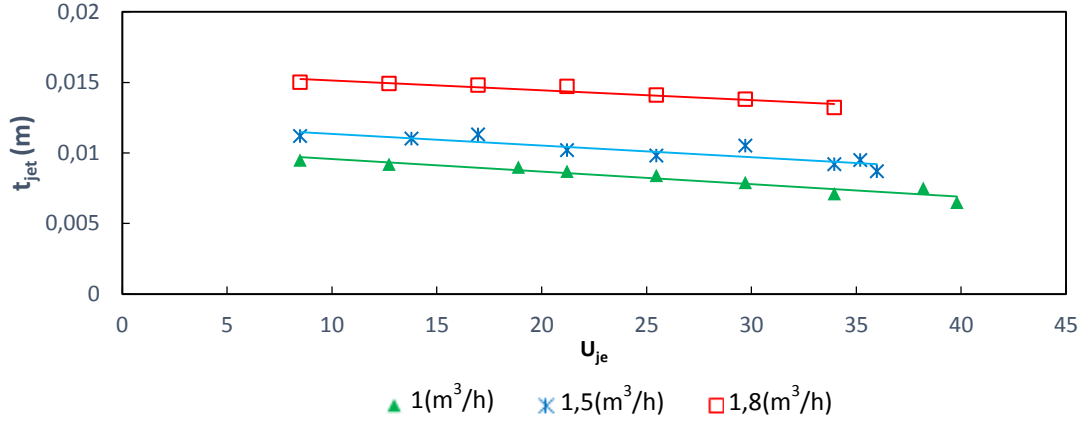
Şekil 4.82. ALR-SMD grafiği

Şekil 4.82’de çizilen grafikte ALR ile **SMD** değişimi 1-1,5-1,8 (m^3/h)hava debilerinde verilmiştir. Bütün hava debilerinde ALR arttıkça **SMD artmaktadır**. Hava debisi arttıkça **SMD azalmaktadır**. Bu artma 1(m^3/h) hava debisinde %50 ve 1.5 (m^3/h) hava debisinde %65 ve 1.8 (m^3/h) hava debisinde %68 olarak gözlenmiştir.



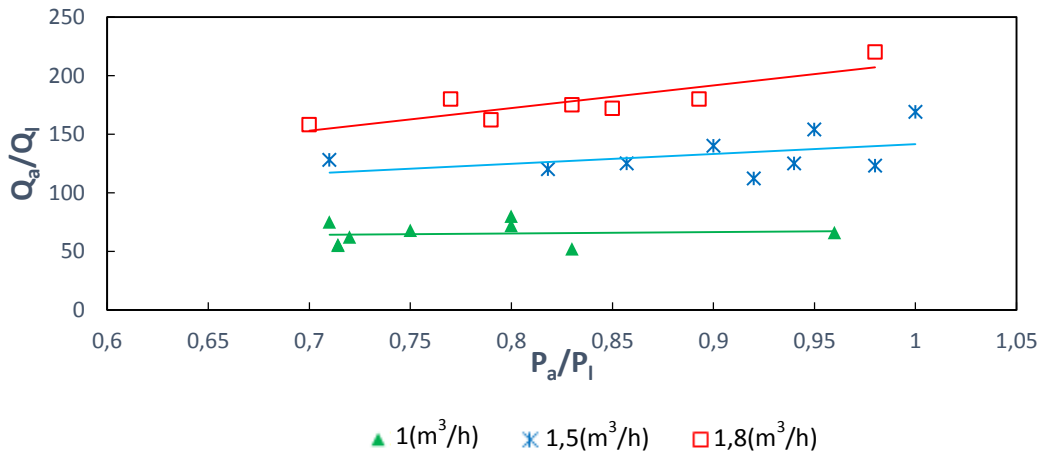
Şekil 4.83. ALR- Θ grafiği

Şekil 4.83'de çizilen grafikte ALR ile Θ değişimi 1-1,5-1,8 (m^3/h) hava debilerinde verilmiştir. Bütün hava debilerinde ALR arttıkça Θ azalmaktadır. Hava debisi arttıkça Θ artmaktadır. Bu azalma 1(m^3/h) hava debisinde %20 ve 1.5 (m^3/h) hava debisinde %27 ve 1.8 (m^3/h) hava debisinde %18 olarak gözlenmiştir.



Şekil 4.84. Jet kalınlığı ile jet hızının değişimi

Şekil 4.84'de çizilen grafikte Jet kalınlığı ile jet hızının değişimi 1-1,5-1,8 (m^3/h) hava debilerinde verilmiştir. Bütün hava debilerinde Jet hızı arttıkça Jet kalınlığı azalmaktadır. Hava debisi arttıkça jet kalınlığı artmaktadır. Bu azalma 1(m^3/h) hava debisinde %22 ve 1.5 (m^3/h) hava debisinde %18 ve 1.8 (m^3/h) hava debisinde %13 olarak gözlenmiştir.

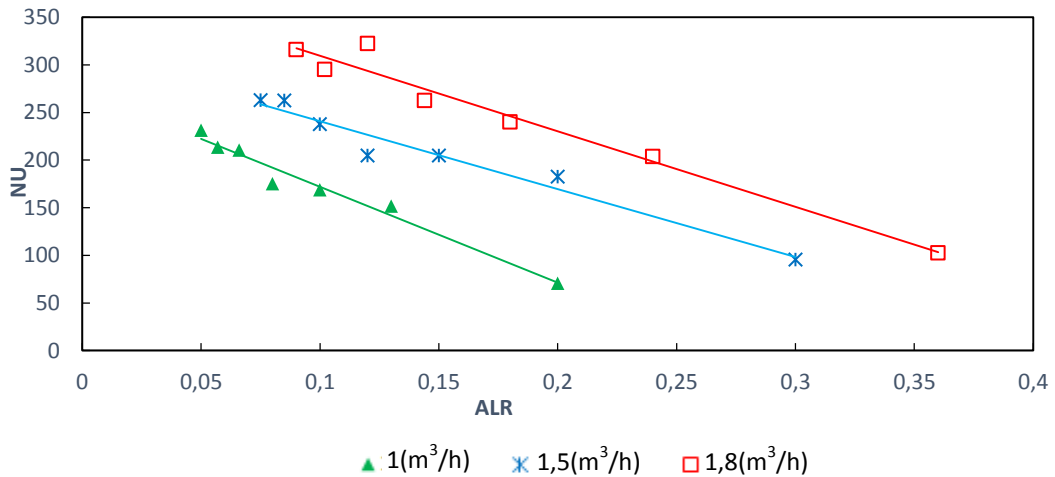


Şekil 4.85. Basınç hacimsel debi oranlarının değişim grafiği

Şekil 4.85’de çizilen grafikte Basınç hacimsel debi oranlarının değişimi 1-1,5-1,8 (m³/h) hava debilerinde verilmiştir. Bütün hava debilerinde **Hava/su basınç oranı** arttıkça hava/su hacimsel debileri **artmaktadır**. Hava debisi arttıkça hava/su hacimsel debileri artmaktadır. Bu artma 1(m³/h) hava debisinde %28 ve 1.5 (m³/h) hava debisinde %20 ve 1.8 (m³/h) hava debisinde %25 olarak gözlenmiştir.

4.4. Akış ve Isı Analiz Kolerasyonları

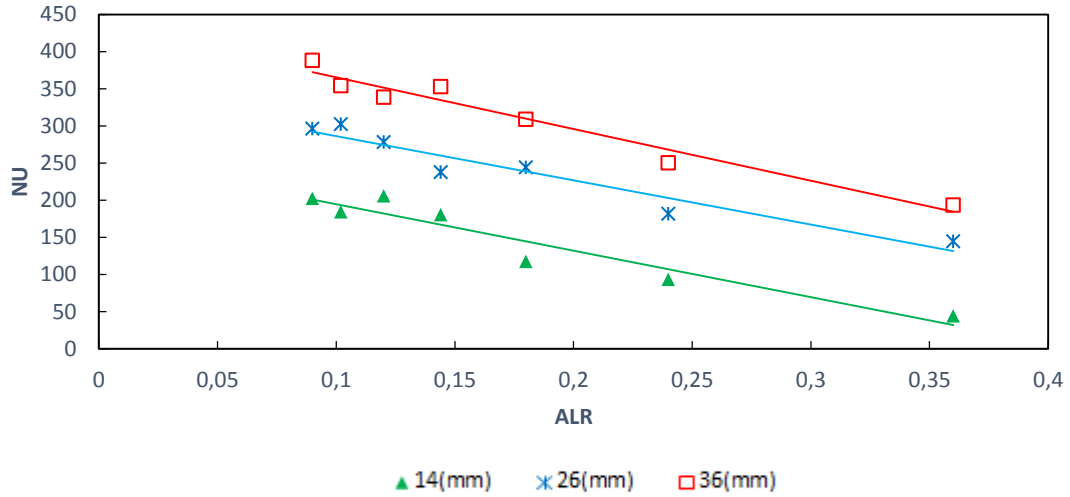
Silindirik kanatçıklı ısı alıcılar için yapılan analiz sonuçlarına göre Nusselt sayısı üzerine en etkin parametreler Hava debisi, Kanat yüksekliği ve Kanat genişliği olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre spreyn homojenliğini ve damlacık boyutunu etkileyen hava-sıvı debi oranı (ALR) için 7 farklı değer, diğer parametreler içinse 3 farklı değer belirlenmiştir. Bu değerler için toplam 49 deney yapılarak Nu korelasyonu *STATISTICA* programı kullanılarak elde edilmiştir. Şekil 4.86’de hava debisi, Şekil 4.87’de kanat yüksekliğinin, Şekil 4.88’de kanat genişliğinin ALR’ye bağlı olarak Nu sayısı üzerine etkisi gösterilmiştir.



Şekil 4.86. Hava debisinin Nusselt sayısı üzerine etkisi

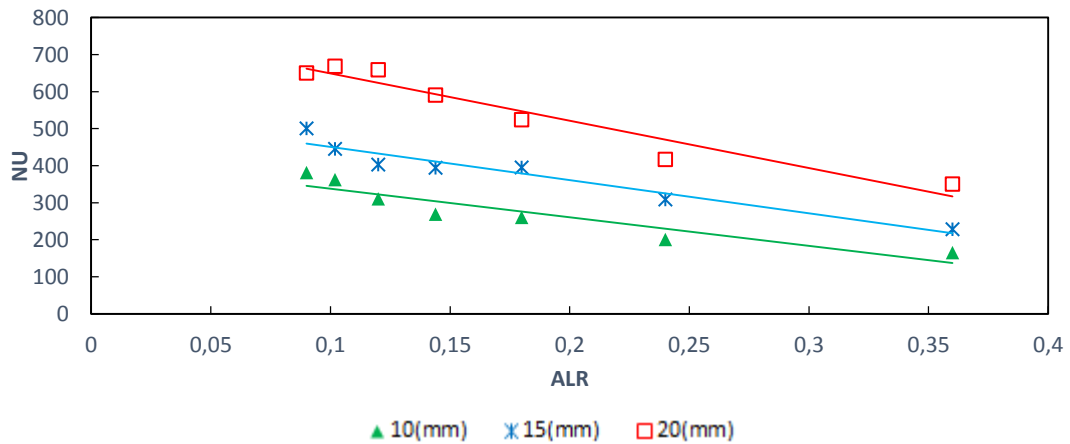
Şekil 4.86’de **ALR-Nu** değişimi 1-1,5-1,8 (m³/h) hava debilerinde ve 10mm kanat yüksekliğinde ve 36mm kanat genişliğinde verilmiştir. En yüksek Nu sayısı 1.8 (m³/h) hava debisinde bulunmuştur. Bütün hava debilerinde ALR arttıkça Nu azalmaktadır.

hava debisi arttıkça Nu artmaktadır. Bu azalma $1(\text{m}^3/\text{h})$ hava debisinde %58 ve $1.5(\text{m}^3/\text{h})$ hava debisinde %50 ve $1.8(\text{m}^3/\text{h})$ hava debisinde %62 olarak gözlenmiştir.



Şekil 4.87. Kanat genişliğinin Nusselt sayısı üzerine etkisi

Şekil 4.87’de **ALR-NU** değişimi kanat genişliğine göre $1,8(\text{m}^3/\text{h})$ hava debisinde ve 10mm kanat yüksekliğinde verilmiştir. En yüksek Nu sayısı 36mm kanat genişliğinde bulunmuştur. Bütün kanat genişliklerinde ALR arttıkça Nu sayısı azalmaktadır. Bu azalma 14mm kanat genişlikleri arasında %65, 26 ve 26mm kanat genişliklerinde %48 ve 36mm kanat genişliklerinde %36 olarak gözlenmiştir.

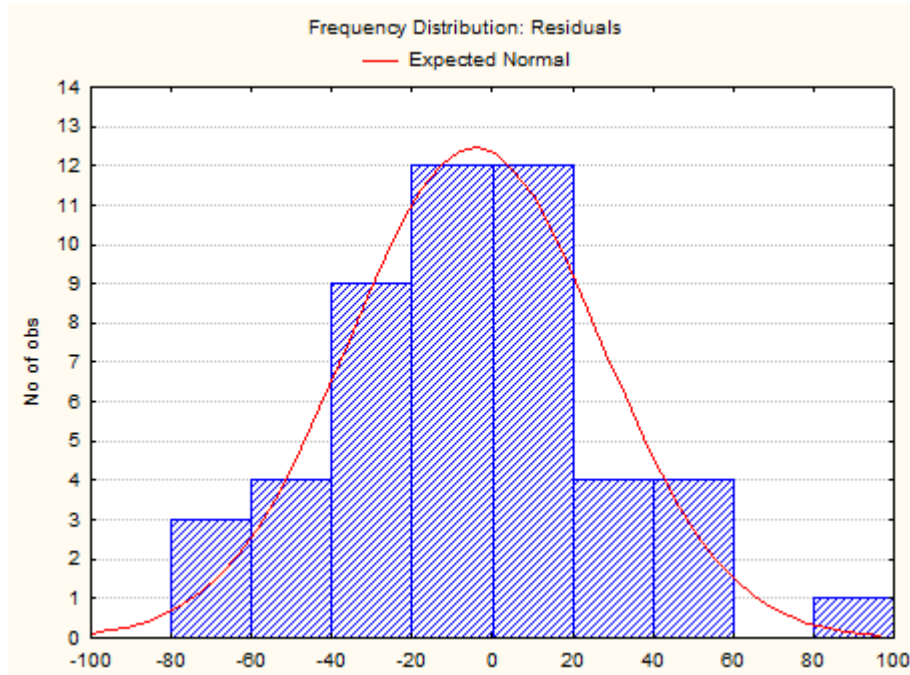


Şekil 4.88. Kanat yüksekliğinin Nusselt sayısı üzerine etkisi

Şekil 4.88’de **ALR-NU** değişimi kanat yüksekliğine göre 1,8 (m³/h) hava debisinde ve 36mm kanat genişliğind verilmiştir. En yüksek Nu sayısı 20mm kanat yüksekliğinde bulunmuştur. bütün kanat yüksekliklerinde ALR arttıkça Nu sayısı azalmaktadır. Bu azalma 10 mm kanat yüksekliğinde %47, 15 mm kanat yüksekliğinde %40 ve 20 mm kanat yüksekliğinde %38 olarak gözlenmiştir.

Silindirik ısı alıcılarda yapılan deneyler sonucunda Nusselt sayısı korelasyonu STATISTICA programında “Custom Loss” fonksiyonu ile hesaplanarak R=0.976 değerinde aşağıdaki gibi elde edildi. optimum değer -40 ve 20 arasında bulunmuştur.

$$Nu = 1.707ALR^{-0.475}T^{437,35}h_k^{1,402}s^{-2.701}a^{-32.658}b^{18.024}\left(\frac{H}{d}\right)^{-172\zeta731} \quad (4.1)$$

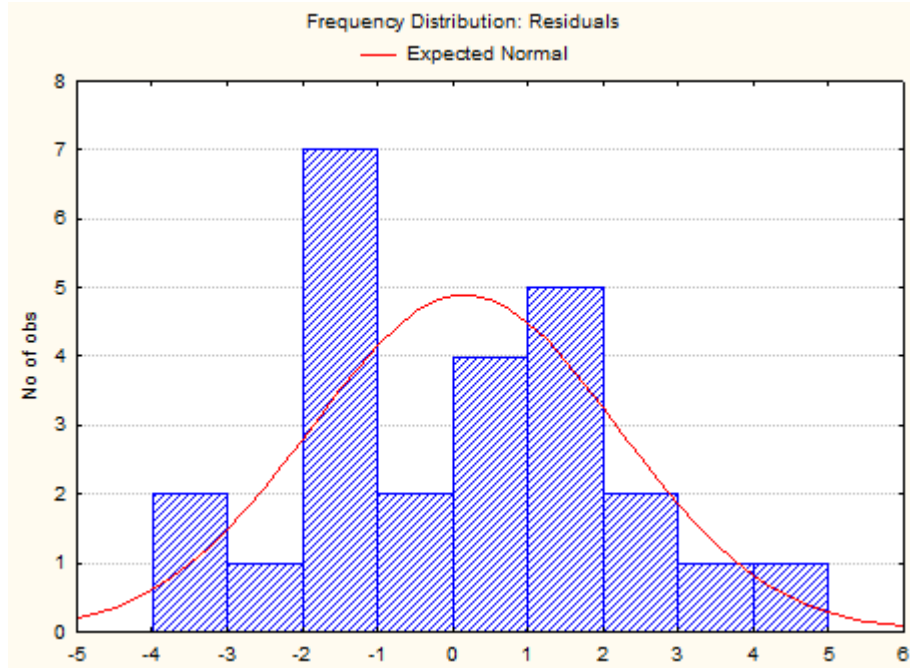


Şekil 4.89. Nu korelasyonu için frekans dağılımı

Ayrıca akış korelasyonları da çıkarılmıştır. DXF-HSI hava destekli nozulda çeşitli ALR oranlarında elde edilen deney bulgular ile spray açısı (Θ) ve jet kalınlığı için “Custom Loss” fonksiyonu ile korelasyonlar elde edilmiştir. optimum değer -2 ve 2 arasında bulunmuştur.

Sprey açısı için $R=0.970$ için aşağıdaki korelasyon elde edildi.

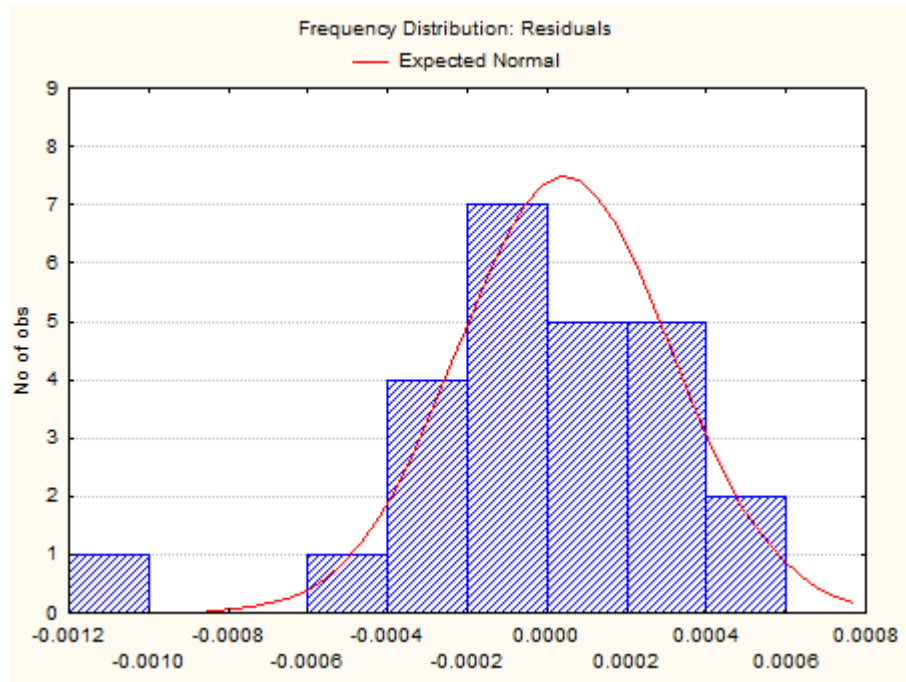
$$\theta = 6,903 * ALR^{0.269} We^{0.178} (P_a/P_l)^{-0.173} Pr^{1.568} \quad (4.2)$$



Şekil 4.90. θ korelasyonu için frekans dağılımı

Jet kalınlığı için elde edilen veriler ve CCD kamera ile alınan ölçümler sonucunda aşağıdaki korelasyon elde edildi ($R=0.967$). optimum değer $-0,0004$ ve $0,0004$ arasında bulunmuştur.

$$t_{jet} = 0.0283 * ALR^{0.408} We^{0.265} (P_a/P_l)^{-0.243} Pr^{-0.216} \quad (4.3)$$



Şekil 4.91. t_{jet} korelasyonu için frekans dağılımı

5. SONUÇLAR

5.1. Akış Analizi Sonuçları

Silindirik kanatçıklı ısı alıcılar için spreylere soğutma ile ısı transferi ve akış karakteristiklerini belirlemeye yönelik deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Akış deneyleri sonunda çizilen grafikler ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

- 1-1,5-1,8 (m³/h) hava debilerinde ALR arttıkça jet kalınlığı azalır. Hava debisi arttıkça jet kalınlığı artmaktadır. Bu azalma 1(m³/h) hava debisinde %30 ve 1.5 (m³/h) hava debisinde %27 ve 1.8 (m³/h) hava debisinde %35 olarak gözlenmiştir.
- 1-1,5-1,8 (m³/h) hava debilerinde ALR arttıkça **boyutsuz damla çapın artmaktadır**. Hava debisi arttıkça **boyutsuz damla çapı** azalmaktadır. Bu artma 1(m³/h) hava debisinde %45 ve 1.5 (m³/h) hava debisinde %56 ve 1.8 (m³/h) hava debisinde %47 olarak gözlenmiştir.
- 1-1,5-1,8 (m³/h) hava debilerinde ALR arttıkça **SMD artmaktadır**. Hava debisi arttıkça **SMD** azalmaktadır. Bu artma 1(m³/h) hava debisinde %50 ve 1.5 (m³/h) hava debisinde %65 ve 1.8 (m³/h) hava debisinde %68 olarak gözlenmiştir.
- 1-1,5-1,8 (m³/h) hava debilerinde ALR arttıkça Θ azalmaktadır. Hava debisi arttıkça Θ artmaktadır. Bu azalma 1(m³/h) hava debisinde %20 ve 1.5 (m³/h) hava debisinde %27 ve 1.8 (m³/h) hava debisinde %18 olarak gözlenmiştir.
- 1-1,5-1,8 (m³/h) hava debilerinde jet hızı arttıkça jet kalınlığı **azalmaktadır**. Hava debisi arttıkça jet kalınlığı artmaktadır. Bu azalma 1(m³/h) hava debisinde %22 ve 1.5 (m³/h) hava debisinde %18 ve 1.8 (m³/h) hava debisinde %13 olarak gözlenmiştir.
- 1-1,5-1,8 (m³/h) hava debilerinde **hava/su basınç oranı** arttıkça hava/su hacimsel debileri **artmaktadır**. Hava debisi arttıkça hava/su hacimsel debileri artmaktadır. Bu artma 1(m³/h) hava debisinde %28 ve 1.5 (m³/h) hava debisinde %20 ve 1.8 (m³/h) hava debisinde %25 olarak gözlenmiştir.

5.2. Akış ve Isı Analiz Korelasyon Sonuçları

- ALR-Nu değişimi 1-1,5-1,8 (m³/h) hava debilerinde ve 10mm kanat yüksekliğinde ve 36mm kanat genişliğinde verilmiştir. 1-1,5-1,8 (m³/h) hava debilerinde En yüksek Nu sayısı 1.8 (m³/h) hava debisinde bulunmuştur. Bütün hava debilerinde ALR arttıkça Nu azalmaktadır. hava debisi arttıkça Nu artmaktadır. Bu azalma 1(m³/h) hava debisinde %58 ve 1.5 (m³/h) hava debisinde %50 ve 1.8 (m³/h) hava debisinde %62 olarak gözlenmiştir.
- ALR-NU değişimi kanat genişliğine göre 1,8 (m³/h) hava debisinde ve 10mm kanat yüksekliğinde verilmiştir. En yüksek Nu sayısı 36 mm kanat genişliğinde bulunmuştur. Bütün kanat genişliklerinde ALR arttıkça Nu sayısı azalmaktadır. Bu azalma 14 mm kanat genişlikleri arasında %65, 26 ve 26 mm kanat genişliklerinde %48 ve 36 mm kanat genişliklerinde %36 olarak gözlenmiştir.
- ALR-NU değişimi kanat yüksekliğine göre 1,8 (m³/h) hava debisinde ve 36mm kanat genişliğinde verilmiştir. En yüksek Nu sayısı 20mm kanat yüksekliğinde bulunmuştur. Bütün kanat yüksekliklerinde ALR arttıkça Nu sayısı azalmaktadır. Bu azalma 10 mm kanat yüksekliğinde %47, 15 mm kanat yüksekliğinde %40 ve 20 mm kanat yüksekliğinde %38 olarak gözlenmiştir.
- Silindirik ısı alıcılarda yapılan deneyler sonucunda Nusselt sayısı korelasyonu STATISTICA programında “Custom Loss” fonksiyonu ile hesaplanarak R=0.976 değerinde elde edildi.
- DXF-HSI hava destekli nozulda çeşitli ALR oranlarında elde edilen deney bulgular ile sprej açısı (Θ) ve jet kalınlığı için “Custom Loss” fonksiyonu ile korelasyonlar elde edilmiştir.
- Sprej açısı için R=0.970 korelasyon elde edildi.
- Jet kalınlığı için elde edilen veriler ve CCD kamera ile alınan ölçümler sonucunda korelasyon elde edildi (R=0.967).

5.3. Öneriler

- Sprey akış karakteristiklerini belirlemeye yönelik çalışmalar oldukça kompleks çalışmalardır. Bu nedenle sprey akış yapısının detaylı analizine imkan veren lazerle ölçüm yapmak gerekmektedir.
- Sprey soğutmada çalışma sıvısı olarak FC-72 ve FC-87 gibi florinert sıvılar kullanılabilir. Yüzey aktif maddeler de eklenerek ısı transferi süreci incelenmelidir.
- Bu çalışma kaynama sıcaklığının altında yürütülmüştür. Bundan sonraki çalışmalar, kaynama sıcaklığının üzerinde ve Leidenfrost sıcaklığında da yürütülebilir.
- Bu çalışma sonunda elde edilen parametrelerin optimum değerlerinin arasında en fazla etkili olanlarının tam faktöriyel deney metotlarıyla tekrar incelenmesi gerekmektedir.
- Bu çalışmada da kullanılan hava destekli nozullar için farklı nozul geometrileri tasarlamaya yönelik araştırmalar yapılmalıdır.
- ANSYS-FLUENT gibi yazılımlar kullanılarak ısı transferi ve akış süreci matematiksel olarak irdelenebilir.

KAYNAKLAR

- Al-Ahamdi, H. and Yao, S., 2008. Experimental Study on the Spray Cooling of High Temperature Metal Using Full Cone Industrial Sprays. *Experimental Heat Transfer* (21), 38–54.
- Arcoumanis, C. and Chang, J., 1993. Heat transfer between a heated plate and an impinging transient diesel spray. *Exp. Fluid*(16), 105–119.
- Ashgriz, N., 2011. *Handbook of Atomization and Sprays*. Springer. doi:10.1007/978-1-4419-7264-4.
- Ayres, D., Caldas, M., Semiao, V. and Carvalho, M., 2001. Prediction of the droplet size and velocity joint distribution for sprays. *Fuel*(80), 383±394.
- Babinsky, E. and Sojka, P., 2002. Modeling drop size distributions. *Progress in Energy and Combustion Science*(28), 303-329.
- Bachalo, W., Chigier, N. and Reitz, R., 2001. *Spray Technology Short Course Notes*. Pittsburg, USA.
- Baillard, C., Labergue, A., Caballina, O. and Borean, J., 2011. Experimental and numerical investigations of spray dynamics with an application in cooling of steel plate – How to improve the method of simulation. Estoril, Portugal: ILASS Europe, 24th European Conference on Liquid Atomization and Spray Systems.
- Batarseh, F. Z., 2008. *Spray generated by an airblast atomizer: atomization, propagation and aerodynamic instability*. Darmstadt, Germany: Technische Universität Darmstadt.
- Bernardin, J. and Mudawar, I., 1997. Film boiling heat transfer of droplet streams and sprays. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 40(2), 2579-2593.
- Cader, T., Westra, L. J. and Eden, R. C., 2004. Spray cooling thermal management for increased device reliability, *IEEE Transactions on Device and Materials Reliability*, 4, 4, pp. 605-613.
- Chan, Y., Charbel, F., Zhang, Y., Ray, S. and Yarin, A., 2011. Hydrodynamics of Drop Impact and Spray Cooling through Nanofiber Maths. *Journal of Undergraduate Research*, 4(43).
- Chandra, S., Di Marzo, M., Qiao, Y. M. and Terterin, P., 1996. Effect of liquid-solid contact angle on droplet evaporation, *Fire Safety Journal*, 27, pp. 141-148.
- Chang, J., Lin, C. and Huang, S., 2007. Experimental study on the extinction of liquid pool fire by water droplet streams and sprays. *Fire Safety Journal*(42), 295-309.
- Charalampous, G., Hadjiyiannis, C., Hardalupas, Y. and Taylor, A., 2010. Measurement of continuous liquid jet in atomizers with optical connectivity, electrical conductivity and high-speed photography techniques. Brno, Czech Republic: ILASS-Europe.
- Chen, R.-H., Chow, L. and Navedo, J., 2002. Effects of spray characteristics on critical heat flux in subcooled water spray cooling. *International Journal of Heat and Mass Transfer*(45), 4033–4043.
- Chen, C., Yang, C. and Hu, Y., 2013. Heat Transfer Enhancement of Spray Cooling on Flat Aluminum Tube Heat Exchanger. *Heat Transfer Engineering*, 34(1), 29-36.

- Cheng, W., Han, F., Liu, Q. and Zhao, R., 2012. Theoretical investigation on the mechanism of surface temperature non-uniformity formation in spray cooling. *International Journal of Heat and Mass Transfer*(55), 5357–5366.
- Choi, K. and Yao, S., 1987. Mechanisms of Film Boiling Heat Transfer of Normally Impacting Spray. *International Journal Heat Mass Transfer*, 30(2).
- Chung, I. and Presser, C., 2001. Fluid Property effects on sheet disintegration of simplex pressure swirl atomizer. *J.Propul.Power*, 17(1), 212-216.
- Ding, H., Huang, D., Huang, R. and Wang, Z., 2011. Experiment Study On Spray Structure Of A Multi-Hole GDI Injector. doi:978-1-4244-8039-5/11.
- Dombrowski, N. and Fraser, R., 1954. A Photographic Investigation into the Disintegration of Liquid Sheets. *Philos. Trans. R. Soc. London Ser. A*, 247(924), 101-130.
- El-Shanawany, M. and Lefebvre, A., 1980. Airblast Atomization: The Effect of Linear Scale on Mean Drop Size. *J. Energy*, 4(4), 184-189.
- Fuller, R. and Wu, P., 2000. Effects of injection angle on atomization of liquid jets in transverse airflow. *AIAA Journal*, 38(1), 64-72.
- Gadgil, H. and Raghunandan, B., 2011. Some features of spray breakup in effervescent atomizers. *Exp Fluids*(50), 329-358.
- Ingebo, R. and Foster, H., 1957. *Drop-Size Distribution for Crosscurrent Breakup of Liquid Jets in Airstreams*. Washington, USA: Lewis Flights Propulsion Laboratory.
- Issa, R. J. and Yao, S. C., 2005. a numerical model for the mist dynamics and heat transfer at various ambient pressures, *ASME Journal of Fluid Engineering*, 127, pp. 631-639.
- Jones, A., 1977. A Review of Drop Size Measurement-The Application of Techniques to Dense Fuel Sprays. *Prog. Energy Combust. Sci.*(3), 225-234.
- Kacker, R., 1985. Off-line quality control, parameter design and Taguchi methods. *J. Qual. Tech.*(17), 176-209.
- Karwa, N., Kale, S. and Subbarao, P., 2007. Experimental study of non-boiling heat transfer from a horizontal surface by water sprays. *Experimental Thermal and Fluid Science*(32), 571–579.
- Kim, D., 2007. Effects of ambient gas density on spray characteristics of swirling liquid sheets. *J.Propul.Power*, 23(3), 603-611.
- Kim, J., 2007. Spray cooling heat transfer: The state of the art. *International Journal of Heat and Fluid Flow*(28), 753–767.
- Kline, S. and McClintock, F., 1953. Describing uncertainties in single-sample experiments. *Mech. Eng.*(75).
- Kohnen, B. T., Musemic, E., Straßburger, F., Küpper, B. and Walzel, P., 2010. Measurement of the droplet size distribution of a full cone nozzle. *23rd Annual Conference on Liquid Atomization and Spray Systems*. Brno, Czech Republic: ILASS – Europe 2010.
- Kyriopoulos, O., Roisman, I., Roisman, T., Stephan, P. and Tropea, C., 2008. Dynamics of a Liquid Film Produced by Spray Impact onto a Heated Target. (pp. 13-15). Como Lake, Italy: ILASS-08.
- Lal, S., Kushari, A., Gupta, M., Kapoor, J. and Maji, S., 2010. Experimental study of an air assisted mist generator. *Experimental Thermal and Fluid Science*(34), 1029–1035.

- Laryea, G. and No, S., 2004. Spray angle and breakup length of charge-injected electrostatic pressure-swirl nozzle. *Journal of Electrostatics*(60), 37-47.
- Lee, S., Kim, W. and Yoon, W., 2010. Spray Formation by a swirl spray jet in low speed cross-flow. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 24(2), 559-568.
- Li, B., Cader, T., Schwarzkopf, J., Okamoto, K. and Ramaprian, B., 2006. Spray angle effect during spray cooling of microelectronics: Experimental measurements and comparison with inverse calculations. *Applied Thermal Engineering*(26), 1788–1795.
- Li, X. and Tankin, R., 1992. On the Prediction of Droplet Size and Velocity distributions in sprays through maximum entropy principle. *Particle & Particle Systems Characterization*(9), 195-201.
- Li, Z., Wu, Y., Cai, C., Zhang, H. and Gong, Y., 2012. Mixing and atomization characteristics in an internal-mixing twin-fluid atomizer. *Fuel*(97), 306-314.
- Liu, H., Gong, X., Li, W., Wang, F. and Yu, Z., 2006. Prediction of droplet size distribution in sprays of prefilming air-blast atomizers. *Chemical Engineering Science*(61), 1741 – 1747.
- Liu, M., Wang, Y., Liu, D., Xu, K. and Chen, Y., 2011. Experimental study of the effects of structured surface geometry on water spray cooling performance in non-boiling regime. *Front. Energy*, 5(1), 75-82. doi:DOI 10.1007/s11708-010-0014-0.
- Liu, Z. and Reitz, R., 1997. An Analysis of the Distortion and Breakup Mechanisms of High Speed Liquid Drops. *Int. J. Multiphase Flow*, 23(4), 631-65.
- Lorenzetto, G. and Lefebvre, A., 1977. Measurements on Drop Size on a Plain jet Air Blast Atomizer. *AIAA J.*, 15(7), 1001-1010.
- Moreira, A., Carvalho, J. and Pano, M., 2007. An experimental methodology to quantify the spray cooling event at intermittent spray impact. *International Journal of Heat and Fluid Flow*(28), 191-202.
- Mudawar, I. and Valentine, W., 1989. Determination of the Local Quench Curve for Spray-Cooled Metallic Surfaces. *J. Heat Treat. (1989) 7:107-121*(7), 107-121.
- Mulhem, B., Schulte, G. and Fritsching, U., 2006. Solid-Liquid Separation in Suspension Atomization. *Chemical Engineering Science*(61), 2582–2589.
- Mullinger, P. and Chigier, N., 1974. The Design and Performance of Internal Mixing Multi-Jet Twin-Fluid Atomizers. *J. Inst. Fuel*(47), 251-261.
- Murakami, T. and Ishikawa, M., 1978. Laser Holographic Study on Atomization Processes. *Proceedings of 1 st International Conference on Liquid Atomization and Spray Systems*, (s. 317-324). Tokyo.
- Mzad, H. and Tebbal, M., 2009. Thermal diagnostics of highly heated surfaces using water-spray cooling. *Heat Mass Transfer*(45), 287–295.
- Ohnesorge, W., 1936. Formation of Drops by Nozzles and the Breakup of Liquid Jets. *Z. Angew. Math. Mech.*(16), 355-358.
- Oliphant, K., Webb, B. and McQuay, M., 1998. An experimental comparison of liquid jet array and spray impingement cooling in the non-boiling regime. *Experimental Thermal and Fluid Science*(18), 1-10.
- Pano, M. and Moreira, A., 2004. Experimental study of the flow regimes resulting from the impact of an intermittent gasoline spray. *Experiments in Fluids*(37), 834-855.

- Panao, M. and Moreira, A., 2005a . Flow characteristics of spray-impingement in PFI injection systems. *Experiment in Fluids*(39), 364-374.
- Panao, M. and Moreira, A., 2005b. Thermo-and fluid dynamics characterization of spray cooling with multiple-intermittent sprays. *Experimental Thermal and Fluid Science*(30), 79-96.
- Panao, M. and Moreira, A., 2009. Heat transfer correlation for intermittent spray impingement: A dynamic approach. *International Journal of Thermal Sciences*(48), 1853–1862.
- Pasandideh-Fard, M., Qiao, Y. M., Chandra, S. and Mostaghimi, J., 1995. Capillary effects during droplet impact on a solid surface, *Physics of Fluids*, 8, 2, pp. 650-659.
- Pavlova, A., Otani, K. and Amitay, M., 2008. Active control of sprays using a single synthetic jet actuator. *International Journal of Heat and Fluid Flow*(29), 131–148.
- Press, L., Ochowiak, M., Rozanski, J. and Woziwodzki, S., 2009. The atomization of water–oil emulsions. *Experimental Thermal and Fluid Science*(33), 955–962.
- Qi, Y., Xu, B. and Cai, S., 2006. An application of digital image processing techniques to the characterization of liquid petroleum gas (LPG) spray. *Meas. Sci. Technol.*(17), 3229–3236.
- Qian, L., Lin, J. and Xiong, H., 2009. A Fitting Formula for Predicting Droplet Mean Diameter for Various Liquid in Effervescent Atomization Spray. *Journal of Thermal Spray Technology*(19), 586–601. doi:10.1007/s11666-009-9457-4.
- Ranz, W. and Marshall, W., 1952. Evaporation from drops (parts I and II). *Chemical Engineering Program*(48), 141–146, 173–180.
- Ravikumar, S., Jha, J., Sarkar, I., Pal, S. and Chakraborty, S., 2014. Enhancement of heat transfer rate in air-atomized spray cooling of a hot steel plate by using an aqueous solution of non-ionic surfactant and ethanol. *Applied Thermal Engineering*(64), 64-75.
- Reitz, R. D., 1999. Liquid Atomization and Spraying. In F. Kreith, & S. Berger, *Fluid Mechanics* (p. 177). Boca Raton: CRC Press LLC.
- Rini, D., Chen, R. and Chow, L., 2002. Bubble Behavior and Nucleate Boiling Heat Transfer in Saturated FC-72 Spray Cooling. *Journal of Heat Transfer*(124), 63-72.
- Rizk, N. and Lefebvre, A., 1985. Internal flow characteristics of simplex swirl atomizer. *J.Propul.Power*, 1(3), 193-199.
- Sahin, B., 2004. Daralan-genişleyen geometride dizilmiş dikdörtgen kanatçıklı ısı değiştiricilerinde ısı ve akış karakteristiklerinin incelenmesi. Doktora Tezi. Fen bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Sallam, K., Aalburg, C. and Faeth, G., 2004. Breakup of Round Nonturbulent Liquid Jets in Gaseous Crossflow. *AIAA Journal*, 42(12), 2529-2540.
- Santolaya, J., Aísa, L., Calvo, E., García, I. and García, J., 2010. Analysis by droplet size classes of the liquid flow structure in a pressure swirl hollow cone spray. *Chemical Engineering and Processing*(49), 125–131.
- Schwardskopf, J., Sovar, G., Cader, T., Okamoto, K., Li, Bq. and Ramaprian, B., 2004. Effect of spray angle in spray cooling thermal management, ASME Heat Transfer/Fluid Engineering Summer.

- Sellens, R. W. and Brzustowski, T. A., 1985. A prediction of the drop size distribution in a spray from first principles. *Atomisation and Spray Technology*, 2(1), 89-102.
- Semiao, V., Andrade, P. and Carvalho, M., 1996. Spray characterization: numerical prediction of Sauter mean diameter and droplet size distribution. *Fuel*, 15(75), 1707-1711.
- Sevik, M. and Park, S., 1973. The splitting of drops and bubbles by turbulent fluid flow. *Trans. ASME J. Fluid Eng.*(95), 53.
- Shao, J., Yan, Y., Greeves, G. and Smith, S., 2003. Quantitative characterization of diesel sprays using digital imaging techniques. *Meas. Sci. Technol.*(14), 1110-1116.
- Simmons, H., 1979. The Prediction of Sauter Mean Diameter for Gas Turbine Fuel Nozzles of Different Types. *ASME Paper*, 79-WA/GT-5.
- Sirotkin, F. and Yoh, J., 2012. A new particle method for simulating breakup of liquid jets. *Journal of Computational Physics*, 1650-1674.
- Sivadas, V. and Moreira, A. L., 2006. Surface Waves on Liquid Sheets Emerging from Air-assist Atomizers. Kyoto, Japan: ICLASS-06.
- Sivathanu, Y. and Gore, J., 1993. A Discrete Probability Function Method for the Equation of Radiative Transfer. *J.Quant.Spectrosc.Radiat.Transfer*, 49(3), 269-280.
- Sovani, S., Sojka, P. and Sivathanu, Y., 1999. Prediction of Drop Size Distributions from First Principles: The Influence of Fluctuations in Relative Velocity and Liquid Physical Properties. *Atomization and Sprays*(9), 113-152.
- Sovani, S., Sojka, P. and Sivathanu, Y., 2000. Prediction of Drop Size Distributions from First Principles: Joint-PDF Effects. *Atomization and Sprays*(10), 587-602.
- Sridhara, S. and Raghunandan, B., 2010. Photographic Investigations of Jet Disintegration in Airblast Sprays. *Journal of Applied Fluid Mechanics*, 3(2), 111-123.
- Sümer, B., Erkan, N., Uzol, O. and Tuncer, İ., 2012. Basıncılı Girdap Tipi Bir Püskürtécin Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi. *IV. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı*. İstanbul: Hava Harp Okulu.
- Tao, Y., Huai, X., Wang, L. and Guo, Z., 2011. Experimental characterization of heat transfer in non-boiling spray cooling with two nozzles. *Applied Thermal Engineering*(31), 1790-1797.
- Taylor, G., 1950. The boundary layer in converging nozzle of a swirl atomizer. *Q. J. Mech. Appl. Math*, 3(2), 129-139.
- Visaria, M. and Mudawar, I., 2008. Effects of high subcooling on two-phase spray cooling and critical heat flux. *International Journal of Heat and Mass Transfer*(51), 5269-5278.
- Watanawanyoo, P., Mochida, H., Furukawa, T., Nakamura, M. and Hiraharab, H., 2012. Experimental Study on the Spray Characteristics of an Air Assisted Atomizer with Internal Mixing Chamber. *European Journal of Scientific Research*, 84(4), 507-521.
- Webb, B., Queiroz, M., Oliphant, K. and Bonin, M., 1992. Onset of Dry-Wall Heat Transfer in Low Mass Flux Spray Cooling. *Journal of Experimental Heat Transfer*(5), 33-50.

- Wendelstorf, J., Spitzer, K.-H. and Wendelstorf, R., 2008. Spray water cooling heat transfer at high temperatures and liquid mass fluxes. *International Journal of Heat and Mass Transfer*(51), 4902–4910.
- Xishi, W., Guangxuan, L., Weiching, F. and Dobashi, R., 2004. Experimental study on cooling a hot solid surface with water mist, *Journal of Fire Science*, 22, 5, pp. 355-366.
- Yamamoto, T. and Kuwahara, T., 2011. Numerical Simulation of Fine Mist Cooling for High Temperature Work Material. Delft, The Netherlands: 22nd International Symposium on Transport Phenomena.
- Yeşildal, F., 2014. spray soğutmada ısı ve akış karakteristiklerin belirlenmesi. Doktora Tezi, Fen bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında İran'da doğdu. İlk, Orta ve Lise Öğrenimini İran'da tamamladı. 2005 yılında Urmia Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2012 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Enerji Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimine başladı.