



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARAÇ AYDINLATMA SİSTEMLERİNDEKİ YOĞUŞMA PROBLEMİ
ANALİZİ VE TASARIM AÇISINDAN İNCELENMESİ

Bayram Ali GÖRÜR

Prof. Dr. Recep YAMANKARADENİZ
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA -2013

TEZ ONAYI

Bayram Ali GÖRÜR tarafından hazırlanan “Araç Aydınlatma Sistemlerindeki Yoğuşma Problemi Analizi Ve Tasarım Açısından İncelenmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Recep YAMANKARADENİZ

İMZA

Başkan: Prof. Dr. Recep YAMANKARADENİZ
Uludağ Ü. Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Prof.. Dr. İhsan KARAMANGİL
Uludağ Ü. Mühendislik Fakültesi,
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Yrd. Doç. Dr. Erhan PULAT
Uludağ Ü. Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ali Osman DEMİR
Enstitü Müdürü
.././....(Tarih)

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

.././.....

İmza

Bayram Ali GÖRÜR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ARAÇ AYDINLATMA SİSTEMLERİNDEKİ YOĞUŞMA PROBLEMİ ANALİZİ VE TASARIM AÇISINDAN İNCELENMESİ

Bayram Ali GÖRÜR

Uludağ Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Recep YAMANKARADENİZ

Doğal bir olay olan yoğuşma araç dış aydınlatma ürünleri gibi yüksek sıcaklığın ve düşük hava sirkülasyonunun olduğu kapalı hacimlerde büyük risk oluşturmaktadır. Yağışlı ve nemli havalarda lens yüzey sıcaklığının far içindeki havanın doyma sıcaklığının altına düşmesi ile birlikte iç ortamdaki su buharı lens üzerinde yoğuşmaya başlamaktadır. Hava sirkülasyonunun az olduğu bölgelerde yoğuşan su buharı tekrar buharlaştırılmadığı takdirde oluşan yoğuşma far içinde kalıcı olmakta ve kalite problemi olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle tasarım aşamasında yoğuşma olayı için yapılacak CFD analizleri büyük önem arz etmektedir. Bu hedefler doğrultusunda ANSYS CFX 12.1 kullanılarak Magneti Marelli Mako A.Ş. Ar&Ge merkezinde yoğuşma problemi için uygun nümerik metot geliştirilmiştir. Geliştirilen nümerik metot Automotive Lighting Rearlamp Italy (ALRI) fabrikasında prototip üzerinde yapılan testlerin sonuçları ile karşılaştırılmıştır ve uyumluluk gözlenmiştir. Çalışmanın son basamağı olarak da stop lambası üzerinde yoğuşma simülasyonu gerçekleştirilmiştir ve test sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Otomotiv aydınlatma, Yoğuşma, Bilgisayar destekli analiz, Tasarım

2013, xii + 81 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

ANALYSIS OF CONDENSATION PROBLEM IN LIGHTING SYSTEM OF VEHICLES AND INVESTIGATING BY THE SIDE OF DESIGN

Bayram Ali GÖRÜR

Uludağ University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Recep YAMANKARADENİZ

Natural condensation event poses a risk in closed enclosures which have high temperatures and low air flow. Water vapour starts to condensate on the lens surface when the surface temperature is lower than dew point temperature of internal air. Condensated film thickness could be permanent unless the water on the surface is not evaporated. For this reason CFD analysis made for the condensation at the design phase has a significant role. On the ground of that purposes by using ANSYS CFX 12.1 a feasible analysis model is developed in Magneti Marelli Mako A.Ş R&D center for the condensation problem. The method developed is compared with the results of the test that is made on a prototype in Automotive Lighting Rearlamp Italy (ALRI) and match between the results is observed. As a final step, condensation simulation is made for the rearlamp.

Key words: Automotive lighting, computer aided analysis, condensation, moisture, design

2013, xii + 81 pages.

ÖNSÖZ VE/VEYA TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması 00771-STZ.2011-1 kodlu San-Tez projesi olarak desteklenmiştir. Bu tez çalışmasını destekleyen Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'na, danışmanım Sn. Prof. Dr. Recep YAMANKARADENİZ'e, Magneti Marelli Mako Elektrik Ticaret A.Ş'ye ve tez çalışması esnasında bilgi, tecrübe ve görüşlerini benden esirgemeyen Sn. Yrd. Doç. Dr. Erhan PULAT'a çok teşekkür ederim. Ayrıca bu çalışma esnasında benden manevi desteklerini esirgemeyen çok sevdiğim aileme ve hayat arkadaşım Filiz YILMAZ'a çok teşekkür ederim.

Bayram Ali GÖRÜR

.../.../....

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ VE/VEYA TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
1 GİRİŞ.....	1
1.1 Araç Aydınlatma Sistemleri.....	1
1.1.1 Farlar.....	2
1.1.2 Kısa Far Devresi.....	2
1.1.3 Uzun Far Devresi.....	4
1.1.4 Sis Far Devresi.....	5
1.1.5 Sinyal Devresi.....	5
1.1.6 Geri Vites Devresi.....	6
1.1.7 Fren Devresi.....	6
1.2 Far Ve Arka Lambasının Genel Yapısı.....	7
1.2.1 Gövde.....	7
1.2.2 Dış Lens.....	7
1.2.3 Reflektör (Yansıtıcı).....	7
1.2.4 Estetik Çerçeve.....	8
1.2.5 Ampul tutucu.....	8
1.2.6 PCB.....	8
1.3 Far ve Stop Lambasında Yoğuşma Problemi.....	9
2 KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	11

3	MATERYAL VE YÖNTEM	14
3.1	Hesaplama Akışkanlar Dinamiğine Giriş.....	14
3.2	Hesaplama Akışkanlar Dinamiği Metodolojisi	14
3.3	Akışkan Hareketinin Temel Denklemleri.....	15
3.3.1	Süreklilik Denklemi	15
3.3.2	Momentum Denklemi	16
3.3.3	Enerji Denklemi	16
3.4	Sonlu Hacim Metoduna Giriş.....	16
3.4.1	Çözüm Alanının Ayrıklaştırılması	17
3.5	Isı ve Kütle Transferi.....	18
3.5.1	Boyutsuz Sayılar	18
3.5.2	Isı Transfer Çeşitleri.....	21
3.5.3	Kütle Geçişi.....	32
3.5.4	Isı ve Kütle Taşımında Benzeşim	36
3.5.5	Doğal Taşımında Kütle Geçişi	37
3.6	İklimlermenin Temel Prensipleri.....	38
3.6.1	Temel Kavramlar	38
4	BULGULAR VE TARTIŞMA	42
4.1	Bulgular	42
4.1.1	Test Düzenegi:	43
4.1.2	Prototipin 3D modelinin oluşturulması	43
4.1.3	Şartlandırma Safhası Sonuçlarının Karşılaştırılması	44
4.1.4	Zamana Bağımlı (transient) Analiz Sonuçları.....	45
4.1.5	Çözüm Ağının Yapısı.....	48
4.1.6	Prizma ve Prizmasız Sonuçlar.....	48
4.2	Yoğuşma Simülasyon Validasyonu.....	49

4.2.1	Su ile Soğutma Safhasının Modellenmesi.....	50
4.2.2	Yağmurlama için Isı Taşınım Katsayısının Tespiti.....	51
4.2.3	Prototip Üzerinde Yoğuşma Validasyon Testi.....	52
4.2.4	Yoğuşma Olayının ANSYS CFX’de modellenmesi	54
4.2.5	Yoğuşmanın sayısal çözümü ve çözümün validasyonu	55
4.2.6	Problemin ANSYS CFX 12.1 ile çözümü	56
4.2.7	Yoğuşma Modelinin Test çalışması ile Validasyonu.....	63
4.2.8	Stop Lambasında Yoğuşma Simülasyonu.....	69
5	SONUÇ	77
	KAYNAKLAR	78
	ÖZGEÇMİŞ	81

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

Açıklama

A	Alan, m ²
C	Su buharı derişikliği, kgsb/m ³
c _p	Sabit basınçta özgül ısı, J/kg. K
C _{by}	Yüzeydeki su buharı konsantrasyonu, kg/m ³
C _{b∞}	Havadaki su buharı konsantrasyonu, kg/m ³
D	Difüzyon katsayısı, m ² /s
D _d	Doyma Derecesi
E	Işınım Akısı, W/m ²
Gr	Grashof sayısı
Gr _L	L uzunluğu için Grashof sayısı
g	Yer çekimi ivmesi, m/s ²
h	Isı taşınım katsayısı, W/m ² . K
h _m	Kütle geçiş katsayısı, m/s
i _{sb}	Suyun buharlaşma gizli ısısı, kJ/kg
k	Isı iletim katsayısı W/m. K
L	Karakteristik uzunluk, m
L _c	Kritik uzunluk
Le	Lewis sayısı
m	Kütle, kg
m _b	Kütlesel debi, kg/s
Nu	Nusselt sayısı
P	Basınç, Pa, N/m ²
P _{bw}	T _w sıcaklığında doymuş hava içindeki su buharının basıncı, kPa
P _{b∞}	Su buharının kısmi basıncı, kPa
Pr	Prandtl sayısı
Q	Birim zamanda transfer edilen ısı miktarı, kW
Q _g	Faz değiştirme gizli ısısı, kW
Q _T	Taşınım ile transfer edilen ısı miktarı, kW
Q _{KT}	Kütle transferi ile transfer edilen kütle miktarı, kW
R _b	Su buharının gaz sabiti, kJ/kg. K
R _h	Kuru havanın gaz sabiti, kJ/kg. K
Ra	Rayleigh sayısı
Re	Reynold sayısı
Sc	Schmidt sayısı
Sh	Sherwood sayısı
T	Sıcaklık, K
t	Zaman, s
T _w	Su sıcaklığı, °C
T _∞	Hava akımı sıcaklığı, °C
U	Akışkan hızı, m/s
α	Isıl yayılım katsayısı, m ² /s; yutma katsayısı
β	Isıl genleşme katsayısı, 1/K
δ	Kalınlık, sınır tabaka kalınlığı, m
ε	Işıma katsayısı (emissivity)

τ	Işınım geçirme katsayısı
ν	Kinematik viskozite, m ² /s
μ	Dinamik viskozite, kg/m. S
ϕ	İzafi (Bağıl) Nem
ΔT	Sıcaklık fark, K
σ	Stefan-Boltzmann katsayısı
ω	Su buharı özgül nemi, kgsb/kgkh
ρ	Yoğunluk, kg/m ³

Kısaltmalar

Açıklama

ALIT	Automotive Lighting Italy
ALRI	Automotive Lighting Rearlamp Italy
CFD	Computational Fluid Dynamic
ECU	Elektronik Kontrol Ünitesi
HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
LED	Light Emitted Diode
PCB	Printed Circuit Board

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Yeni nesil araç dış aydınlatma sistemi (Anonim 2006).....	1
Şekil 1.2. Aydınlatma sistemlerinin sınıflandırılması (Anonim 2006).....	2
Şekil 1.3. Prizmatik mercek yüzeyine sahip far camının ışık dağılımı (Anonim 2006) ...	3
Şekil 1.4. Kısa far ışık dağılımı (Anonim 2006).....	3
Şekil 1.5. Xenon far ve ampulün yapısı (Anonim 2006)	4
Şekil 1.6. Uzun far ışık dağılımı (Anonim 2006)	4
Şekil 1.7. Örnek sis farı (Anonim 2006).....	5
Şekil 1.8. Örnek sinyal lambası (Anonim 2006).....	6
Şekil 1.9. Örnek stop lambası (Anonim 2006).....	6
Şekil 1.10. Far lambası gövdesi	7
Şekil 1.11. Far (sol) ve stop lambası (sağ) dış lensleri.....	7
Şekil 1.12. Reflektör (yansıtıcı) parçası genel görünüşü	8
Şekil 1.13. Estetik çerçeve	8
Şekil 1.14. Ampul tutucu devresi genel görünüşü	8
Şekil 1.15. Stop lambası PCB devresi ve LED dizilişi	8
Şekil 1.16. Far ve stop lambasında meydana gelen yoğuşma	9
Şekil 1.17. Yarı saydam cam (sol) ve saydam plastik dış lens (sağ)	9
Şekil 1.18. ALIT yoğuşma test laboratuvarı (Deponti 2009).....	10
Şekil 3.1. Sayısal ağ üretiminde kullanılan eleman tipleri (Anonim 2009).....	17
Şekil 3.2. Yapısal sayısal ağ geometrisi (2D ve 3D) (Anonim 2009).....	17
Şekil 3.3. Hibrid sayısal ağ geometrisi (Anonim 2009).....	18
Şekil 3.4. Bir Boyutta Fourier Kanununun uygulanması (Kılıç 2008)	22
Şekil 3.5. Kartezyen koordinat sisteminde kontrol hacmi (Kılıç 2008).....	22
Şekil 3.6. Polar silindirik koordinat sisteminde kontrol hacmi (Kılıç 2008)	23
Şekil 3.7. Küresel koordinat sisteminde kontrol hacmi (Kılıç 2008).....	23
Şekil 3.8. Hidrodinamik ve ısı sınır tabakalar (Kılıç 2008)	25
Şekil 3.9. Sıcak ve soğuk dik duvarda doğal ısı taşınımı (Kılıç 2008)	27
Şekil 3.10. Elektromanyetik dalga spektrumu (Bodur 2010).....	29
Şekil 3.11. Yarı saydam malzeme üzerindeki ışınım enerjisi (Bodur 2010)	31
Şekil 3.12. Emici ortamdaki geçen radyasyonun azalması (Bodur 2010)	31
Şekil 3.13. Sürekli rejimde kütle yayılım (Yamankaradeniz 2012)	32

Şekil 3.14. Düz levha üzerinde derişiklik sınır tabakanın gelişimi.....	34
Şekil 3.15. Su yüzeyi üzerinden hava akışı (Yamankaradeniz 2012).....	35
Şekil 3.16. Su yüzeyi üzerinden hava akışında sıcaklık ve basınç gradyanı (Yamankaradeniz 2012).....	35
Şekil 3.17. Çiğ noktası sıcaklığının T-s diyagramında gösterilişi	39
Şekil 4.1. Zamana bağımlı simülasyon validasyonu için kullanılan prototip	42
Şekil 4.2. Termokupl ölçüm noktaları.....	43
Şekil 4.3. Prototipin 3D modeli	43
Şekil 4.4. Lambaların geometrik basitleştirilmesi.....	44
Şekil 4.5. Ortam Havaasının Modellenmesi	44
Şekil 4.6. Zamandan bağımsız simulasyon sıcaklık dağılımı	45
Şekil 4.7. Zamana bağlı simülasyonda zaman dilimi etkisi (Anonim 2009)	46
Şekil 4.8. Zaman diliminin alt iterasyonlarla yakınsaması (Anonim 2009)	46
Şekil 4.9. Simülasyon sıcaklığının zamana göre değişimi ve test ölçüm sonuçları.....	47
Şekil 4.10. Sayısal çözümde kullanılan eleman yapısı (Anonim 2009).....	48
Şekil 4.11. Prizma ile prizmasız ağ yapısının karşılaştırılması (Venchiarutti 2012).....	48
Şekil 4.12. ALRI validasyon test düzeneği (Venchiarutti 2012)	49
Şekil 4.13. Testte kullanılan hassas terazi (Venchiarutti 2012).....	49
Şekil 4.14. Lens üzerinden su akışının modellenmesi (Venchiarutti 2012).....	51
Şekil 4.15. Isı taşınım katsayısına göre sıcaklığın değişimi (Venchiarutti 2012).....	52
Şekil 4.16. 2 dakika sonunda ölçülen su kütlesi miktarı (Venchiarutti 2012)	52
Şekil 4.17. Test esnasında yoğuşmanın zamana göre değişimi (Venchiarutti 2012).....	53
Şekil 4.18. Çözüm esnasında su kütlesinin değişimi	54
Şekil 4.19. Nümerik çalışma validasyon modeli.....	56
Şekil 4.20. Kütle geçiş katsayısının zamana göre değişimi	57
Şekil 4.21. Sherwood sayısının zamana göre değişimi	58
Şekil 4.22. Birim zamanda birim alana transfer olan kütle miktarı	58
Şekil 4.23. Taşınım katsayısının zamana göre değişimi	59
Şekil 4.24. Birim zamanda birim alana transfer olan kütle miktarı	60
Şekil 4.25. Sherwood sayısının zamana göre değişimi	60
Şekil 4.26. Taşınım katsayısının zamana göre değişimi (Churchill-Chu korelasyonu) ..	61
Şekil 4.27. Birim zamanda yüzeye kütle akısı (Churchill-Chu korelasyonu).....	61

Şekil 4.28. Sherwood zamana göre değişimi (Churchill-Chu korelasyonu).....	62
Şekil 4.29. Yoğuşma testlerinde kullanılan basit model (Venchiarutti 2012)	63
Şekil 4.30. Prototipin 3D modeli ve sınır şartları	64
Şekil 4.31. Yüzeğe yoğuşan kütle miktarı	65
Şekil 4.32. Isı taşınım katsayısının zamana göre değişimi.....	65
Şekil 4.33. Yoğuşma gözlem yüzeyindeki minimum sıcaklığın zamana göre değişimi.	65
Şekil 4.34. Sherwood sayısının zamana göre değişimi	66
Şekil 4.35. Psikometrik diyagramda çığ noktası sıcaklığı	67
Şekil 4.36. Churchill-Chu korelasyonuna göre prototipte yoğuşan kütle miktarı.....	68
Şekil 4.37. Churchill-Chu korelasyonuna göre Sherwood sayısı.....	68
Şekil 4.38. Stop lambasının genel özellikleri.....	69
Şekil 4.39. Havalandırma deliklerinin konumları	69
Şekil 4.40. Çözüm ağında elemanlar arası boşluk hatası	70
Şekil 4.41. Optik yüzeyde oluşturulmuş çözüm ağı.....	70
Şekil 4.42. Oluşturulan ağ yapısı	71
Şekil 4.43. Oluşturan çözüm ağının kalite dağılımı	71
Şekil 4.44. Koşullandırma fazı sıcaklık dağılımı ve test sonuçları.....	72
Şekil 4.45. Stop lambasında 5°C su için taşınım katsayısı	73
Şekil 4.46. Yoğuşma dağılımının test sonucu ile karşılaştırılması	74
Şekil 4.47 Stop lambasında ısı taşınım katsayısının zamana göre değişimi	74
Şekil 4.48. Lens yüzeyinde yoğuşan su buharı miktarı.....	75
Şekil 4.49. Ortalama ve maksimum Sherwood sayısı değerleri.....	75
Şekil 4.50. Stop lambasında simülasyon ve test sonuçlarının karşılaştırılması	76

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Bazı akışkanlar için ortalama ısı taşınım katsayı değerleri (Kılıç 2008)	26
Çizelge 3.2. McAdams korelasyonu sabitleri (Kılıç 2008).....	28
Çizelge 3.3. Bazı gazlara ait yayılım katsayıları (Yamankaradeniz 2012)	33
Çizelge 3.4. Hava içindeki su buharına ait yayılım katsayıları (Yamankaradeniz 2012)	33
Çizelge 4.1. Zamandan bağımsız simülasyon ve test sonuçları	45
Çizelge 4.2. Simülasyon ile sayısal hesap sonuçlarının karşılaştırılması	59
Çizelge 4.3. Simülasyon ile sayısal hesap sonuçlarının karşılaştırılması	60
Çizelge 4.4. Churchill-Chu korelasyonu sonuçlarının sayısal hesapla karşılaştırılması.	62
Çizelge 4.5 McAdams ve Churchill-Chu korelasyonlarının karşılaştırılması	62
Çizelge 4.6. Zamana göre kütle transferi miktarı ve sıcaklık değerleri	66
Çizelge 4.7. Stop lambası yoğuşma analizi sınır şartları	72

1 GİRİŞ

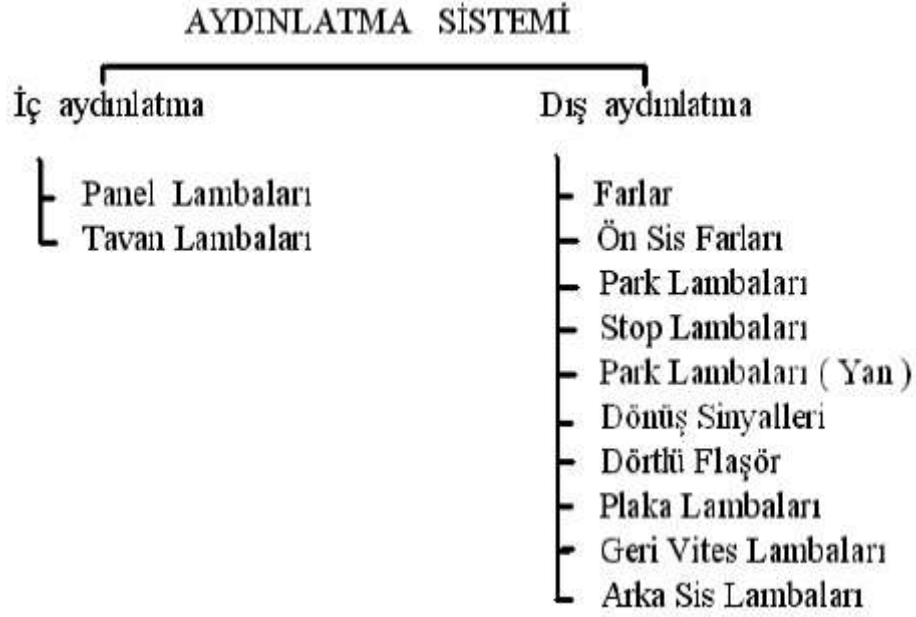
Araç dış aydınlatma sistemleri, otomotiv ana sanayisinin stil açısından önem verdiği parçalar arasında başta gelmektedir. Estetik açısından önemli olan far ve stop lambalarının kusursuz tasarımı büyük önem arz etmektedir. Araç dış aydınlatma sistemlerinin tasarımında en sık karşılaşılan problemler yüksek sıcaklıktan dolayı deformasyon ve ürün içindeki havanın lens yüzeyinde yoğuşması ve yoğuşan buğunun atılamamasıdır. Bu çalışmada öncelikle araç dış aydınlatma sistemleri tanıtılmış ve sonraki bölümlerde yoğuşma problemi detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Tasarım aşamasında yoğuşma probleminin çözümü için ANSYS CFX’te yoğuşma problemi için sayısal model oluşturulmuştur.

1.1 Araç Aydınlatma Sistemleri

Aydınlatma sistemleri özellikle gece görüş kullanımı için gereklidir (Şekil 1.1). Dış aydınlatmalar ve iç aydınlatmalar olmak üzere ikiye ayrılır. Şekil 1.2 gösterilen ışıklandırma sistemlerinde kullanılan lambalar aracın içinde veya dışında kullanılır. Motorlu araçların dış aydınlatma sistemleri, aracın önüne arkasına, sağ ve sol tarafına bazen de aracın üst tarafına konumlandırılan sinyal ve aydınlatma ürünlerinden oluşmaktadır. Bu sistemlerin amacı karanlıkta sürücünün güvenli bir şekilde aracını sürmesini sağlamak, aracın konumunu diğer araçlara göstermek ve sinyal ve geri vites fonksiyonu ile sürücünün niyetini diğer sürücülere fark ettirmektir. (Anonim 2006)



Şekil 1.1. Yeni nesil araç dış aydınlatma sistemi (Anonim 2006)



Şekil 1.2. Aydınlatma sistemlerinin sınıflandırılması (Anonim 2006)

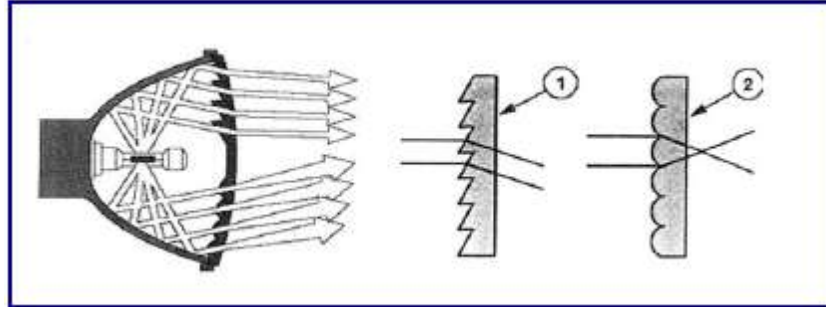
1.1.1 Farlar

Far sistemi aracın önünde kalan yolu aydınlatan bir aydınlatma sistemidir. Genellikle uzun huzme, kısa huzme, sinyal gündüz sürüş (day-time running light) fonksiyonları vardır.

1.1.2 Kısa Far Devresi

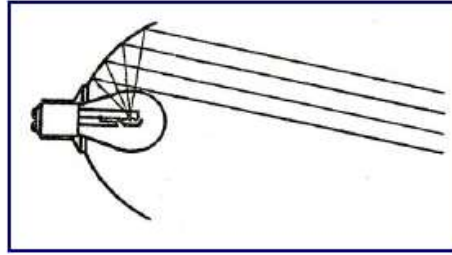
Farlar aydınlatma sisteminin en önemli parçasıdır. İlk zamanlarda aracın hareket ettiği yolun aydınlatılması yetersiz olmakta idi. Zamanla, batarya ve şarj sisteminin gelişmesi, sökülebilir farları ve atom farları yaygın olarak kullanılmasına başlanmıştır. Sökülebilir farlarda bütün parçaların sökülmesi ve tamirati yapılabilmektedir. Atom farlar da bu sistem, ampul, reflektör ve mercekle tek bir parça halindedir. Kısa farlar uzun farlar ve sis farlardan ibaret modern aydınlatma sisteminin araçlarda kullanılması yaygınlaşmıştır. Kısa farın yapısını incelediğimizde kısa farlar, tek başlarına yapılabildikleri gibi yaygın olarak kullanılan parabolik bir reflektör üzerine yerleştirilmiş çift filamanlı far ampulleri olarak da imal edilmektedirler. Kısa far filamanı reflektör de ileriye yerleştirildiği için odaktan uzaklaşmış olur. Bu durumda ışınlar reflektörden meyilli olarak yansır, aracın ön ve yanlarını aydınlatırlar. Ön tarafa konan far camı, reflektör ve ampulü dış etkilerden koruyarak sistemin emniyetini sağlamaktadır. Bazı far camlarının iç yüzeyleri, prizmatik mercek şeklinde yapılmıştır (Şekil 1.3). Bu sayede, reflektörden

yansıyan ışık huzmelerinin dağılması önlediği gibi istenilen doğrultuya da kolayca yönlendirilmektedir. Far ampullerinin, güçleri genelde 55-100 W olarak imal edilmektedir. Farlardaki kısa huzmeler, virajlarda, arızalı yollarda, yokuş iniş ve çıkışlarda, kalkış ve duruşlarda veya araçların karşılaşmaları hallerinde kullanılır. Araç tasarımındaki ve aerodinamikteki sürekli değişen talepler, far tasarımlarında da sürekli değişimler ve gelişmeler yaratmaya devam etmektedir. İlk başlarda basit bir ışık kaynağı olarak görülen farlar, şimdi aracın tasarımının tümleşik bir parçasını oluşturmaktadırlar.



Şekil 1.3. Prizmatik mercek yüzeyine sahip far camının ışık dağılımı (Anonim 2006)

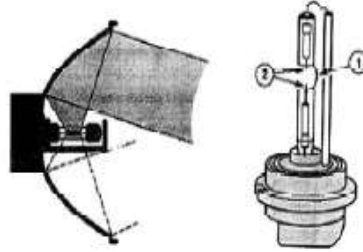
Parabolik farlarda (Şekil 1.4) ampulün kısa far teli, yansıtıcının odak noktasının önünde yer alır. Bu sebepten, farı terk eden ışık paralel değil, az bir açıda yukarı ve aşağı doğru yansıtılmıştır. Karşıdan gelen sürücülerin gözlerinin kamaşmasını önlemek için bu alan, ampul camının içinden veya dışından bir kapakla maskelenmiştir. Bu maskeleye aynı zamanda aydınlık/karanlık sınırları da belirler. Ancak, bu kapak yüzünden üretilen ışığın bir kısmı kullanılmaz.



Şekil 1.4. Kısa far ışık dağılımı (Anonim 2006)

Şekil 1.5’de xenon far ve ampulün yapısı gösterilmiştir. Xenon farlara ait lambanın cam ampülü xenon gazla (1. gazla doldurulmuş cam tüp) ve metal haloid tuz karışımı ile doludur. İki elektrot arasına yüksek bir gerilim uygulayarak, gaz yaklaşık 30 kV ile ateşlenir. Bu noktada % 50 civarında bir ışık kazancı sağlanır. Sonrasında ise 3 saniye içinde % 100’e yükselir. Işık arkının dengelendiği kısa bir fazla akım safhasından sonra, elektronikler lamba gücünü yaklaşık 80 voltta 35 W da düzenler. Lamba aşınması o

kadar düşüktür ki xenon lamba aracın tüm servis ömrü boyunca dayanacak şekilde tasarlanmıştır. Bununla birlikte xenon farın tek olan parçaları (kumanda birimi ve xenon lamba) ayrı ayrı değiştirilebilir. Voltaj düşüşü meydana gelirse, ampulle beraber akünün güç beslemesini veya şarj durumunu kontrol etmek gerekir.

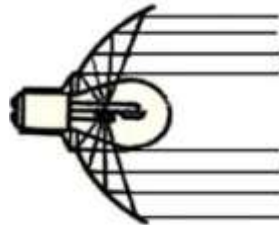


Şekil 1.5. Xenon far ve ampulün yapısı (Anonim 2006)

Otomatik aydınlatma kumandası takılan araçların, yağmur algılayıcısında aracın etrafındaki ışık yoğunluğunu ölçen bir elektronik devresi vardır. Algılayıcı karanlık tespit ederse, kısa farlar otomatik olarak açılır.

1.1.3 Uzun Far Devresi

Uzun huzme filamanı, reflektörün tam odak noktasına yerleştirilmiştir (Şekil 1.6). Dolayısıyla filamandan çıkan ışık demetleri, reflektör tarafından yer düzlemine paralel bir doğrultuda yansıtılır. Yalnız, filaman boyutu büyük olduğu için bütünüyle odağa getirmek imkânsızdır. Bu durumda da reflektörün her noktasından yansıyan ışık, bir koni şeklinde dağılacaktır. Tek hat şeklindeki kuvvetli bir ışık huzmesine nazaran, genişleyerek yayılan ışığın aydınlatma özelliği daha iyidir. Dağılma çok fazla olduğu takdirde, uzak mesafelerdeki ışık şiddeti de azalacak görüşü zayıflatacaktır. Bu yüzden filaman, odağın etrafında bir yay çizecek şekilde yerleştirilir ve merceğin de yardımıyla ışık dağılması normal değerde tutulmuş olur. Uzun huzme filamanı, aracın açık ve düz yoldaki hareketi esnasında kullanılır. 100-200 metrelik bir hareket sahasını görececek şekilde aydınlatır.



Şekil 1.6. Uzun far ışık dağılımı (Anonim 2006)

Uzun farın filamanı doğrudan parabolik yansıtıcının odak noktasındadır. Işık, yansıtıcının eksenini ile tamamen paralel olarak oluşur. Işığın paralel oluşması, daha uzun mesafeleri aydınlatacağı anlamına gelir. Ancak bu gözlerin kamaşmasına neden olabilir. Uzun farda, yansıtıcının gücü iyi olduğu için ampulün tüm aydınlatma gücü kullanılabilir. Uzun far açıldığı zaman, kısa far kapanır. Selektör kullanıldığı zaman, kısa far ve uzun far filamanları aynı anda aydınlanır. Parabolik yansıtıcı prensibi, arka lambalarda da kullanılır.

1.1.4 Sis Far Devresi

Sis lambaları, hem ön hem de arka dış aydınlatma sistemlerinde kullanılır ve yere çok yakın olarak monte edilirler (Şekil 1.7). Sis lambalarında kullanılan ampul güçleri 65-100 W civarındadır. Farlarda olduğu gibi, yansıtıcı reflektörleri vardır. Sisli, yağmurlu hava koşullarında yolu, şerit çizgilerini, işaretleri daha iyi görmeyi sağlar. Yeri aydınlatması gerektiği için otomobilde yere daha yakın bir noktaya monte edilir. Kısa ya da uzun far ışıkları yağmur veya sisteki yoğunlaşma nedeni ile parlak yansımalar oluşturduğundan verimli bir aydınlatma sağlanamaz.



Şekil 1.7. Örnek sis farı (Anonim 2006)

Sis farları gerçekten gerektiğinde kullanmalıdır. Yüksekliği doğru ayarlanmamış sis farları karşıdan gelen sürücülerini zor durumda bırakabilir. Yapısı itibariyle yere çok yakın ışık dağıtan bu farların ışığı yerdeki su birikintilerinden yansıtılarak da karşıdan gelen sürücülerini rahatsız edebilmektedir.

1.1.5 Sinyal Devresi

Sinyal lambaları, sağa veya sola dönüşte, etraftaki diğer araçları ikaz etmek amacıyla kullanılan sistemlerdir (Şekil 1.8). Sistemin normal gün ışığında 30 metreden görünecek şekilde ışık vermesi gerekir. Bu yüzden, diğer ikaz sistemleri de dahil, ampul güçleri 15 W'ın altında olamaz ve genelde 21W'tır. Dikkati daha fazla çekebilmesi için çalışmalarını

aralıklı yanıp sönme şeklinde düzenlenmiştir. Sisteme bu özelliği, devreye seri olarak sokulmuş bir sinyal otomatı (flaşör) kazandırmaktadır.



Şekil 1.8. Örnek sinyal lambası (Anonim 2006)

1.1.6 Geri Vites Devresi

Araçların normal kullanılış şekli, ileri yöndeki hareketidir. Bazı hallerde, geri vites takılarak kullanılacak olursa, arkada bulunan diğer araçların durumdan haberdar edilmesi gerekir. Ayrıca geri vites lambaları geceleyin geri manevra hareketi esnasında, aracın geri tarafını bir miktar daha aydınlatılmasını sağlayacaktır. Geri vites lambaları da diğer ikaz sistemlerinde olduğu gibi normal gün ışığında 30 metreden görünebilecek şiddette ışık vermelidir. Dolayısıyla ampul güçleri en az 15 Watt olacak şekilde sınırlanmıştır. Beyaz cam ile muhafaza edilirler. Araç motoru çalışırken kullanıldıkları için kontak çıkışından akım alırlar.

1.1.7 Fren Devresi

Fren yapılarak aracın yavaşlaması ve durması hallerinde, diğer araçları ikaz etmek amacıyla kullanılır. (Şekil 1.9) Fren ikaz lambaları çoğunlukla arkadaki park lambalarıyla birleştirilerek müşterek bir muhafaza içerisine yerleştirilirler. Ampul güçleri 21-32 Watt arasında değişir. Muhafaza camları kırmızı renktedir. Sinyal lambalarında olduğu gibi normal olarak kontak anahtarı çıkışından akım alarak çalışırlar.



Şekil 1.9. Örnek stop lambası (Anonim 2006)

1.2 Far Ve Arka Lambasının Genel Yapısı

Otomotiv dış aydınlatma ürünlerinde kullanılan ana bileşenler; gövde, dış lens, iç lens, estetik çerçeve, reflektör (yansıtıcı), PCB, LED, ampul ve ampul tutucu olarak sayılabilmektedir.

1.2.1 Gövde

Alt bileşenlerin üzerine sabitlendiği taşıyıcı görevi üstlenen, dış lens ile birleştirilerek sızdırmazlığın sağlandığı ve iç elemanları dış etkilerden koruyan elemandır. Çoğunlukla farlarda PP TD 40, arka lambalarda ABS veya PC-ABS tercih edilmektedir (Şekil 1.10)



Şekil 1.10. Far lambası gövdesi

1.2.2 Dış Lens

Gövde ile birleştirilerek iç hacmi dış hacimden ayıran saydam komponenttir. Farlarda bütünüyle renksiz olarak stop lambalarında ise fonksiyona göre kırmızı ve renksiz olarak üretilmektedir. Ülkelerin yasal düzenlemelerine göre sinyal fonksiyonu için lens rengi turuncu, renksiz ya da kırmızı olabilmektedir.



Şekil 1.11. Far (sol) ve stop lambası (sağ) dış lensleri

1.2.3 Reflektör (Yansıtıcı)

Ampulden gelen ışığı istenilen yönde ve istenilen fotometrik özelliklerde yansıtmaya yarayan komponenttir. Üzerinde ışığı yönlendiren optik yüzeyler mevcuttur. Bazı durumlarda reflektörü estetik çerçeve veya gövde ile birleştirilerek tek bir parça elde etmek mümkündür.



Şekil 1.12. Reflektör (yansıtıcı) parçası genel görünüşü

1.2.4 Estetik Çerçeve

Ürün içindeki estetik açıdan görünüşü iyileştirmek ve kablo grubu, PCB gibi diğer elemanların ve dışarıdan görünmesini engellemek için kullanılan elemandır.



Şekil 1.13. Estetik çerçeve

1.2.5 Ampul tutucu

Stop lambalarında kullanılmaktadır. Aydınlatma eleman gruplarının (lamba, baskı devresi vs.) hepsinin konumlandırıldığı parçadır.



Şekil 1.14. Ampul tutucu devresi genel görünüşü

1.2.6 PCB

Gelişen teknoloji ile aydınlatma ürünlerinde yaygın olarak kullanılan LED'lerin ve bu LED'lerin çalışması için gerekli diğer elektronik komponentlerin konumlandırıldığı elemandır (Şekil 1.15).



Şekil 1.15. Stop lambası PCB devresi ve LED dizilişi

1.3 Far ve Stop Lambasında Yoğuşma Problemi

Araç dış aydınlatma sistemleri çevresiyle ısı alışverişinin yüksek olduğu ancak hava giriş çıkışının az olduğu kapalı sayılabilecek hacimlerdir. Otomobil aydınlatma sisteminin açılarak devreye alınması, motor ve radyatör ısısının etkisi ve benzeri nedenler, farın içindeki sıcaklığı artırır. Dış ortam sıcaklığının azalması ve yağışlı hava şartları yüzünden far lensinin iç yüzey sıcaklığının far içindeki havanın doyma sıcaklığına düşmesi sonucu, nem lensin üzerinde yoğuşarak lens yüzeyinde buğu oluşmasına neden olur. Şekil 1.16'da far ve stop lambasında meydana gelen yoğuşma örnekleri görülebilir.



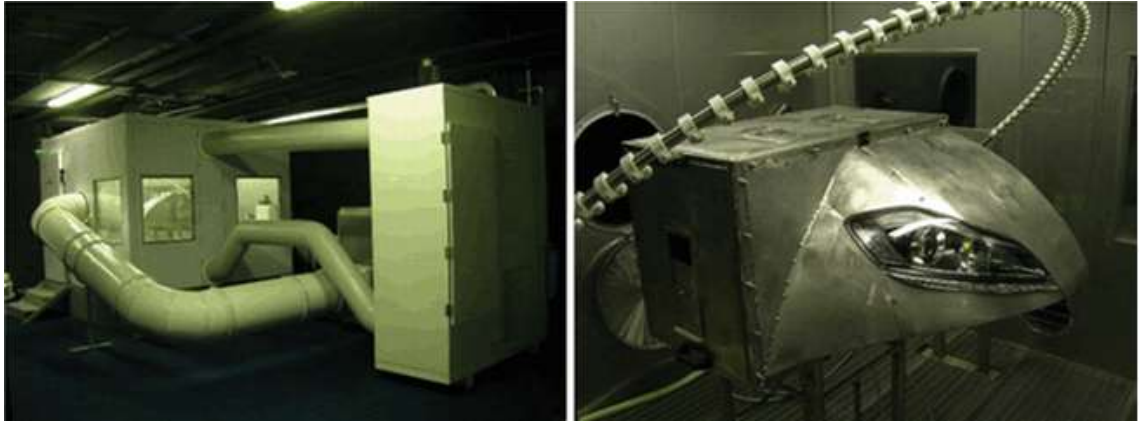
Şekil 1.16. Far ve stop lambasında meydana gelen yoğuşma

Gerek far gerekse stop lambalarındaki yoğuşma farın aydınlatma fonksiyonu üzerinde olumsuz etkiye sahip olduğu gibi müşteri açısından da bir kalite problemi olarak algılanabilmekte ve tasarım kusuru olarak değerlendirilmektedir. Otomotiv aydınlatma sistemlerinin üretiminde optik prizmalar ve camlar yerine plastik malzeme kullanımının artması ve kalıp teknolojisinin gelişmesiyle birlikte yekpare büyük saydam plastik lensler önem kazanmıştır (Şekil 1.17). Plastik malzemeler ve kalıp teknolojisindeki bu gelişmeye paralel olarak daha karmaşık ve kavisli yüzeyler üretilebilmekte, far tasarımı ve stil kavramı yeni bir anlayışla ele alınmaktadır. Ancak saydam lensler sayesinde farı inceleyen bir kişi farın iç yüzeyini detaylarıyla görebilmekte ve en küçük optik kusuru, ısıl deformasyonu ve yoğuşma olayını fark edebilmektedir. Ayrıca, müşterinin gözünde lensin iç yüzeyindeki bu yoğuşma bir doğa olayı olmaktan çıkıp firmanın kusuru olarak algılanabilmektedir.



Şekil 1.17. Yarı saydam cam (sol) ve saydam plastik dış lens (sağ)

Yoğuşma problemin temel nedenleri olarak farların ve stop lambalarının küçük boşluklar (dar hacimler) olması, yüksek sıcaklık farklılıkları ve bu dar hacimlerdeki yetersiz hava sirkülasyonu sayılabilir. Günümüzde far ve stop lambası tasarımında yoğuşmayı engellemek amacıyla uygulanan yöntemler ürüne havalandırma deliklerinin açılması, membran, nem önleyici kaplama ve silika jel uygulamaları olarak sayılabilir. Bu metotlardan son üçü maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle kısıtlı bir uygulama alanına sahiptir. Böylece en yaygın kullanım alanına sahip uygulama olarak, araç başına maliyeti en az olan havalandırma deliklerinin açılması yöntemi kalmaktadır. Bu yöntemde en önemli unsur, açılan havalandırma deliklerinin konumunun belirlenmesidir. Bu yöntemde izlenen yol, önceki deneyimlerden faydalanılarak gövdesine havalandırma delikleri açılmış ürünü test edip deneme yanılma yoluyla uygun delik konumlarının bulunmasıdır. Tasarım sürecinde yoğuşma olayının kontrolü test esaslı çalışmalar dayanmaktadır. Testlerdeki yüksek maliyet ve zaman kaybı açısından testlerin tekrar edilebilirliği zordur (Şekil 1.18).



Şekil 1.18. ALIT yoğuşma test laboratuvarı (Deponti 2009)

Ayrıca testler sonucunda yapılacak olan modifikasyonlar da prototip ve kalıp maliyetlerini arttırmaktadır. Artan maliyet ise firmaların rekabet gücünü azaltmaktadır. Deneme sayısının bilgisayar destekli analizler yardımıyla en aza indirilmesi zaman ve maliyet açısından önemli bir avantaj sağlayacaktır.

2 KAYNAK ARAŞTIRMASI

Yoğuşma alanındaki öncü çalışmaların başında Nusselt (1914) gelmektedir. Nusselt basit teorik analizlerle dik levha ile durgun yoğuşmuş su buharı arasındaki ısı transferini hesaplama üzerine çalışmıştır. Nusselt'in teorik çözümünün geliştirilmesi üzerinde bir çok araştırmacı çalışmıştır. Örneğin Bromley (1952) yoğuşmuş su tabakasında lineer sıcaklık dağılımı kabul etmiştir. Daha sonra Rohsenow ve ark. (1973) ve diğerleri yoğuşan su buharı akışında ara yüzey kayma gerilmelerini hesaba katmıştır. Su buharının yoğuşmasının analizini ısı ve kütle transferi arasındaki benzeşimle bir çok araştırmacı tanımlamıştır. Colburn ve Hougen (1934) yoğuşmayan tabaka boyunca kütle konsantrasyon gradiyentine bağlı olan ilk yoğuşma kütle transfer teorisini geliştirmişlerdir ve ısı transferini duyulur ısının ve gizli ısının toplamı olarak tanımlamışlardır. Dehbi ve ark. (1997) buhar ve yoğuşmayan gaz karışımından oluşan dikey yoğuşturucu tüpünde ısı ve kütle transferinin oranının teorik tahminini üretmiştir. Film tabaka kalınlığı için cebri denklem türetildi ve ısı ve kütle transferi analojisi yoğuşma oranını anlayabilmek için incelendi. Che ve ark. (2005) Colburn ve Hougen (1934)'in metodolojisini kullanarak tüpteki nemli havanın su buharının yoğuşma sürecince ısı ve kütle transferinin analiz etmiştir.

Nemin yoğuşmasını ölçen bir çok temassız metot geliştirilmiştir (Kuba ve ark. 1997), fakat bunun için karmaşık aparatlar ve yetenekli kullanıcılara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle yoğuşma problemlerinin çözümü için kabul edilir doğrulukta hesaplamalı simülasyon aracı faydalı olacaktır. Fakat simülasyonla yoğuşma konusu çalışılırken not edilmesi gereken iki önemli nokta vardır. Bunlardan birincisi bir çok araştırmacı nem alakalı problemleri çözmek için çok bölgesel modeli kullanmakta (Ikeda ve ark. 1995, TenWolds 1993) ve yoğuşmanın nerde olacağını araştırmada önemli olan nem ve sıcaklık dağılımını dikkate almamaktadır. İkincisi yoğuşmanın ne zaman ve nerde olacağını tahmin ederken bir çok uygulamada zamana bağlı yoğuşma hesabı gerekmektedir ve bu nedenle rejim hali sonuçları yerine zamana bağlı değişim gereklidir (Jing ve ark. 2003).

Doğrudan otomobil ön lambalarıyla ilgili olarak ise teorik ve deneysel bir çalışma Preihs (2006) tarafından yapılmıştır. Preihs (2006)'in çalışması çiğ noktası sıcaklık alanının tahmini ve hava sıcaklığıyla karşılaştırılmasına dayanan Preihs (2006)'in çalışmasında, tahminlerin ölçümlerle iki boyutlu bir geometri için yeterince uyumlu

olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca otomobil farlarının yoğuşma açısından daha gcl (robust) tasarımı için u boyutlu ve radyasyon etkilerinin dikkate alındığı bilgisayar analizlerinin önemini de vurgulamıştır.

Jing (2003) yaptığı çalışmada ticari Japon CFD yazılımı olan STREAM 4.0 kullanarak kp yüzeyi üzerindeki yoğuşmayı sayısal ve deneysel olarak incelemiştir. İlk önce yoğuşma modeli geliştirilmiş ve deneysel olarak doğrulanmış ve arkasından da havalandırmanın yoğuşma üzerindeki etkisi araştırmışlardır. Kontrol hacmine hava girişi ekleyerek ve havalandırma deliklerinin uygun konumlandırarak yoğuşmanın önemli ölçüde azaldığını gözlemlemişlerdir.

Deponti ve ark. (2009) ANSYS CFX yazılımı kullanarak n lambalarda yoğuşma olayını u boyutlu olarak simüle etmişler ve sonuçları test sonuçlarıyla karşılaştırarak uyumlu sonuçlar elde etmişlerdir. Ancak lens üzerinde yoğuşan su miktarının ölçülebilmesi son derece zor olduğundan karşılaştırmalarını niteleyici olarak yapabilişlerdir. Ayrıca gerçekçi analizlerin gcl bilgisayarlar gerektirmesine rağmen simülasyonlarla test sonuçlarının birlikte kullanılmasının aydınlatma sistemlerinin tasarım aşamasında prototip sayısını azaltarak maliyetleri düşürmek için önemli bir potansiyele sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Kitada ve ark. (2002) hesaplamalı akışkanlar dinamiği kullanarak geçici rejimde yoğuşma giderilme olayını tahmin etmeye çalışmışlardır. alışmalarında n camda meydana gelen yoğuşmanın film yoğuşma değil damlacık yoğuşma olduğunu mikroskop kamera yardımıyla gözlemlemişlerdir. Bu nedenle yeni bir damlacık yoğuşma-buharlaşma modeli geliştirmişlerdir. Geliştirilen modelle CFD kod kullanılarak zamana bağlı buharlaşma simülasyonu yapılmış ve sonuçlar basitleştirilmiş bölme ve gerçek araçta yapılan çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılmıştır. alışmaları sonucunda damlacık yoğuşma ve buharlaşmaya dayanan modelin yoğuşma esnasında oluşan buğunun atılması fazının hesaplanabilmesi için uygun olduğunu ayrıca bu modelle damlacık yarıçapının zamana bağlı olarak değişimini sıcaklık, akışın hız ve bağlı nem dağılımları yardımı ile tahmin edilebileceğini belirtmişlerdir.

Yoğuşma konusu üzerine çok sayıda hesaplamalı yöntemler kullanılarak çalışmalar yapılmıştır (Kitada 2002, Ikeda 1997). Ancak bu araştırmalardan çoğu oluşan buğunun karakteristiğinin n camdaki hız profillerinden yola çıkararak tahmini temeline

dayanmaktadır. Hassan, M.B (1999) ön camın buğudan atılması sürecini zamana bağlı olarak film tabaka kabulü ile tahmin etmiştir.

Araç dış aydınlatma sistemlerinde olduğu gibi otomotiv elektronik kontrol ünitelerinde de yoğuşma problemi görülebilmektedir. ECU'larda meydana gelen yoğuşma elektrik kaçaklarına neden olmaktadır. Bu problemi çözebilmek için DENSO tarafından yoğuşma simülasyon metodu geliştirilmiştir (Aoki 2005). Tek fazlı akış için yazılmış yazılımın zamana bağımlı termohidrodinamik hesaplama özelliği ile gaz-sıvı faz değişim simülasyonunun özellikleri birleştirilerek oluşturulmuş modelle küçük alanlarda meydana gelen yoğuşma olayını anlamak ve görselleştirmek mümkün olmaktadır.

Gulawani ve ark. (2006,2009) çalışmalarında ANSYS CFX 5.7 kullanmışlardır ve bu çalışmalar sayısal akışkanlar dinamiğinin yoğuşma analizlerinde kullanılması açısından dikkat çekicidirler. Otomotiv uygulaması açısından ise Croce ve ark. (2007) çalışmaları iç kabin camlarındaki yoğuşmanın sayısal analiziyle ilgilidir. Shozawa ve ark. (2005) çalışması ise araç aydınlatma sistemlerindeki yoğuşmayla doğrudan ilgili olması açısından önemlidir ve bu konuda sayısal bir hesaplama yöntemi geliştirerek daha sonra bunu ön fardaki yoğuşma analizine uygulamışlardır. Ayrıca bu tür analizlerde dikkat edilmesi gereken noktalar hakkında da ilgilileri uyarılmışlardır. Doğrudan yoğuşmayla ilgili diğer bir çalışma ön lambalar için Bensler (2007) ve Preihs (2006) arka lambalar içinse Kleimeier ve Leefken (2007) tarafından yapılmıştır. Bu konudaki yeni fakat pahalı bir yöntem olan “yoğuşma önleyici malzeme” ile kaplama tekniği ise (23) de sunulmuştur. Takagi ve ark.(2001) ise bu yöntemi araç aynalarındaki yoğuşmayı önlemek için uygulamışlardır.

3 MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiğine Giriş

Mühendislik problemleri deneysel ya da sayısal yöntemlerle ile çözümlenebilir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği akışkan hareketini tanımlayan temel kütle, momentum ve enerji denklemlerinin tanımlanan sınır şartları içerisinde bilgisayar teknolojisi yardımıyla çözülmesi esasına dayanan sayısal bir yöntemdir. Bu çalışmada stop lambası üzerinde oluşan yoğunlaşma ANSYS CFX 12.1 kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar test sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

3.2 Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Metodolojisi

Çalışmada ticari bir HAD yazılımı olan ANSYS CFX 12.1 kullanılmıştır. ANSYS CFX' de kullanılan çözüm araçları:

- Ön işlem aracı (Pre processor)
- Çözücü (Solver)
- Son işlem aracı (Post processor)

Şeklinde sıralanmaktadır. Ön işlem aracında, ANSYS ICEM CFD yazılımı ile oluşturulmuş çözüm ağının üzerinde problemin sınır şartları, akışkan ve malzeme özellikleri girilerek çözülecek problem modellenir. ANSYS CFX yazılımı sonlu hacim metodunu kullanmaktadır. Sonlu hacim metodu tanımlanan geometrinin kontrol hacimlerine bölünerek (mesh) bu kontrol hacimleri içinde akışı tanımlayan denklemlerinin çözülmesi esasına dayanır. Sayısal çözümün doğru sonuç verecek şekilde oluşturulması önemlidir. Bu çalışmada çözüm ağı oluşturmak için ANSYS ICEM CFD yazılımı kullanılmıştır. Tanımlanan model yazılımın çözücü (solver) aracında sayısal yöntemlerle çözülür. Sayısal çözümün elde edilmesinden sonra kullanılan araç, sonuçların yorumlandığı son işlem aracı (post processor)'dır. Bu alanda sonuçlar görselleştirilerek yorumlanmaktadır.

3.3 Akışkan Hareketinin Temel Denklemleri

Akışkanlar mekaniğinin temel denklemleri kütle, enerji ve momentumun korunum kanunlarını esas alır. Momentum denklemleri ise Newton'un 2. Hareket Kanunu'nun akışkanlar mekaniğine uyarlanmasıdır. Benzer şekilde enerjinin denklemi de termodinamiğin birinci yasasına dayanır. Kontrol hacmi yaklaşımı akışkanlar mekaniği denklemlerinin çıkartılmasında izlenen genel bir yöntemdir. Kontrol hacmi akışkanın hareketli olduğu kontrol yüzeyleri ile sınırlanmış bir çözüm alanını ifade eder ve bu hacim içerisinde kütle ve enerji korunur. Momentumun x, y ve z bileşenlerinin zamana bağlı olarak değişimi hacimsel kuvvetler ile cisme etkiyen yüzey kuvvetlerinin toplamına eşittir. Süreklilik denklemi tek bir denklemle ifade edilirken momentum denklemi x, y ve z bileşenleri için ayrı-ayrı ifade edilen vektörel formda bir denklemdir. Enerji denklemi ise skaler formda ifade edilir. Sonuç olarak akışkanlar mekaniğinin temel denklemleri kütle, x-y-z momentum, enerji ve hal denklemlerinden oluşur.

3.3.1 Süreklilik Denklemi

Kütle korunumu kontrol hacminin sınırlarından giren ve çıkan net kütle akışının kütle değişim hızına eşit olduğunu belirtmektedir. Buna göre kütle korunumu

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{U}) = 0 \quad (3.1)$$

olarak tanımlanır. Burada \mathbf{U} akış hız alanını göstermektedir.

Nemli havada faz durumunu değiştirmiş su kütlesinin miktarı korunum denklemi için bir dışardan kaynak terimidir. Bu durum için korunum denklemi

$$\partial \frac{(r_v \rho_v)}{\partial t} + \nabla \cdot (r_v \rho_v \mathbf{U}) = S_c \quad (3.2)$$

şeklindedir. Burada $r_v \rho_v$ hava içindeki su buharının yoğunluğu ve hacim oranlarıdır. S_c kütle transferinden dolayı meydana gelen korunum denklemindeki kaynak terimidir ve

$$S_c = -\dot{m} \cdot A \quad (3.3)$$

ile ifade edilir.

3.3.2 Momentum Denklemi

Newton'un ikinci hareket kanunu sonsuz küçük sabit kontrol hacmine uygulandığında lineer momentumun zaman bağılı olarak değişiminin kontrol hacmine etki eden dış kuvvetlerin toplamına eşit olduğu söylenebilir. Bu koşul aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\frac{\partial(\rho.\mathbf{U})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho\mathbf{U} \otimes \mathbf{U}) = -\nabla p + \nabla\tau + S_{M,g} \quad (3.4)$$

Burada $S_{M,g}$ doğal taşınımında yoğunluk farkından dolayı ortaya çıkan kaynak terimidir ve $S_{M,g} = g(\rho - \rho_{ref})$ şeklinde ifade edilir. Kaldırma kuvvetinin etkileri hesaplanırken "full bouyancy" opsiyonu kullanılmıştır. Ayrıca çalışmada yoğunluğun sıcaklıkla değişimi dikkate alınmıştır.

3.3.3 Enerji Denklemi

Termodinamiğin birinci yasasına uygun olarak kontrol hacmi için enerji denklemi yazılırsa

$$\frac{\partial(\rho.E)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho\mathbf{U}E) = \nabla \cdot (\lambda\nabla T) + \nabla(\mathbf{U} \cdot \tau) + S_E \quad (3.5)$$

elde edilir. Burada S_E faz geçişinden kaynaklanan enerjidir ve

$$S_E = -\dot{m} \cdot i_{sb} \quad (3.6)$$

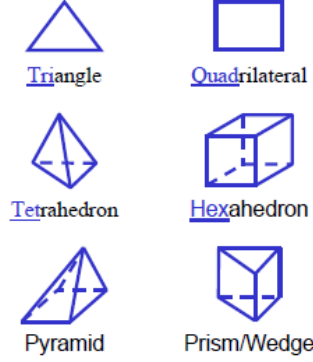
ifadesi ile tanımlanır.

3.4 Sonlu Hacim Metoduna Giriş

Bu çalışmada ANSYS CFX ile sonlu hacim yöntemini kullanarak Navier-Stokes denklemleri çözülmüştür. Sonlu hacim metodu akış hacmi ayrıklaştırılırken yapısal elemanlara (structured mesh) ihtiyaç duymamaktadır. Her ne kadar bu özellik sonlu elemanlar yönteminde de mevcut olsa da sonlu hacim metodu kötü ayrıklaştırılmış ve üniform olmayan sayısal çözüm ağı geometrilerinde bile diğer metotlara nazaran daha iyi sonuç vermektedir. Ayrıca hibrid (melez) çözüm ağı yaklaşımları (yapısal ve yapısal olmayan elemanların birlikte kullanımı) sonlu hacim metoduna fazladan bir esneklik sağlamaktadır. Tüm sayısal çözüm yöntemleri temelde akış denklemlerinin tanımlanan sınır şartları için çözümlenmesini amaçlar. Ancak sonlu hacim metodu temel korunum denklemlerinin direkt olarak ayrıklaştırılması prensibine dayandığı için yukarıda belirtildiği gibi modellemenin kötü yapıldığı durumlarda dahi daha iyi sonuç verir.

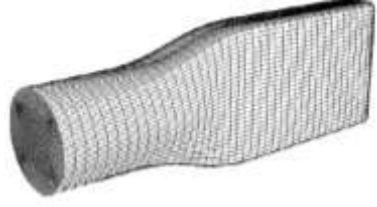
3.4.1 Çözüm Alanının Ayrıklaştırılması

Çözüm alanının ayrıklaştırılmasının anlamı akış hacminin tanımlanan sınır şartları içerisinde akışı tanımlayan denklemlerinin çözüleceği parçalara bölünmesidir. İki veya üç boyutlu çözüm alanları için sayısal ağ üretiminde genel olarak kullanılan elemanlar Şekil 3.1’de örneklenmiştir.



Şekil 3.1. Sayısal ağ üretiminde kullanılan eleman tipleri (Anonim 2009)

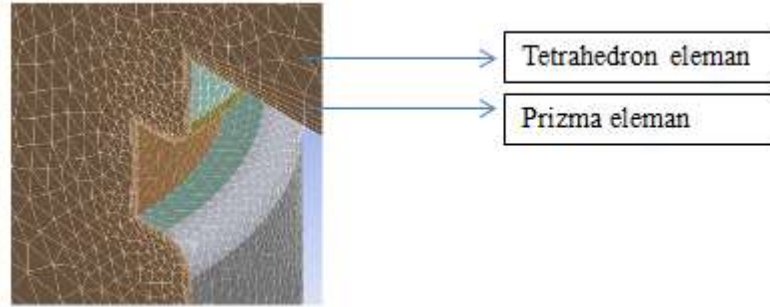
Sayısal çözüm ağının kalitesi çözümlerin kalitesine de etki eder. Pek çok uygulamada elde edilen sonuçlardaki sapmanın sebebi oluşturulan sayısal çözüm ağının yetersizliğidir. Yapısal ağ elemanları daima dörtgen (2D) ya da prizmatik (3D) elemanlardan (mesh) oluşur (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Yapısal sayısal ağ geometrisi (2D ve 3D) (Anonim 2009)

Kompleks geometriler için yapısal olmayan ağ üretimi nispeten daha kolaydır. Nasıl bir sayısal ağ şeması seçileceği tamamen geometri ve problemin karakteri ile ilgilidir. Eski yapısal HAD kodları genelde daha hızlı yakınsamakta ve daha doğru çözüm vermektedir ancak bugün yapısal ve yapısal olmayan ağ kullanımı HAD kodları için çok büyük bir problem teşkil etmemektedir. Örneğin sınır tabakaların modellenmesinde duvara yakın bölgelerde akışa paralel yapısal ağ kullanımı yapısal olmayan ağ kullanımına nazaran daha iyi sonuç verir. Yapısal ve yapısal olmayan sayısal ağ üretim yaklaşımlarının her ikisinin birden avantajlarından yararlanmak için hibrid (melez) çözüm şemaları geliştirilmiştir (Şekil 3.3). Yine sınır tabaka örneğini ele alırsak hibrid sayısal ağ üretim şeması ile sınır tabakada yapısal elemanlar kullanılırken sınır tabaka

dışında yapısal olmayan elemanlar kullanılarak optimizasyon yapılmış olur. Genel olarak sayısal ağın sıklığının çözümün hassasiyetini arttırdığı söylenebilir ancak buna paralel olarak çözüm süresi de uzayacaktır. Hibrid ve uniform olmayan sayısal ağ üretimi özellikle çözüm alanı içerisindeki eleman sayısının optimize edilmesine yardımcı olur.



Şekil 3.3. Hibrid sayısal ağ geometrisi (Anonim 2009)

3.5 Isı ve Kütle Transferi

3.5.1 Boyutsuz Sayılar

Herhangi bir fiziksel olayda etkili olan parametrelerle boyut analizi yapılarak parametrelere bağlı boyutsuz sayılar elde edilebilir. Boyutsuz parametreler, akış olayının ve deneysel verilerin derinlemesine anlaşılmasında büyük kolaylık sağlar. Çoğu zaman akış olayının deneysel olarak incelenmesinin çok zor olduğu durumlarda, boyutsuz parametrelere ve benzerlik yöntemlerine başvurulmaktadır. Mühendislikte bir çok boyutsuz sayı bulunmakla beraber bu çalışmada ısı ve kütle transferinde kullanılan boyutsuz sayılar üzerinde durulmuştur.

Reynold Sayısı (Re): Reynold sayısı bir akışta, akışın laminer ya da türbülanslı olduğunu belirleyen sayıdır. Akışta atalet kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranı olarak

$$Re = \frac{uL}{\nu} = \frac{u\rho L}{\mu} \quad (3.7)$$

şeklinde ifade edilir.

Burada

u: Akışkan hızı [m/s]

L: Karakteristik uzunluk [m]

ν : Kinematik Viskozite [m²/s]

μ : Dinamik Viskozite [kg/(ms)]

Reynold sayısının büyük değerlerinde atalet kuvvetleri, küçük değerlerinde viskoz kuvvetler etkilidir. Viskoz kuvvetler akış içinde vorteks oluşumunu engellemektedir. Büyük reynold değerlerinde atalet kuvvetlerinin etkisiyle vorteks hareketi oluşarak akışın laminer karakteri bozulur, türbülans başlar ve akış türbülanslı akış olur.

Prandtl Sayısı (Pr): Prandtl sayısı, hız ve ısı sınır tabakalar içinde momentum yayılımının ısı yayılımına oranıdır. Bu sayı, hız ve ısı tabakaların hangisinin önce geliştiğini belirler.

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{c_p \mu}{k} \quad (3.8)$$

Burada

ν : kinematik viskozite [m²/s]

α : ısı yayılım katsayısı [m²/s]

Gazlarda, momentum ile ısı yayılımı yaklaşık olarak birbirine eşittir (Pr≈1), başka bir deyişle hız ve ısı sınır tabaka birlikte gelişir. Yağlarda momentum yayılımı ısı yayılımından daha büyüktür (Pr>>1). Bu nedenle hız sınır tabaka ısı sınır tabakadan önce gelişir. Sıvı metallerde durum yağların tam tersidir.

Nusselt Sayısı (Nu): Nusselt sayısı yüzeydeki boyutsuz sıcaklık gradyanıdır ve taşınım ile ısı transferinin iletimle ısı transferine oranıdır.

$$Nu = \frac{hL_c}{k} \quad (3.9)$$

Nusselt sayısının birine eşit olması durumunda taşınım ile ısı transferi iletimle ısı transferine eşit olur. Nusselt sayısının büyümesi ısı transferinde taşınımın etkisinin arttığını gösterir. Çok büyük Nusselt değerlerinde iletimin etkisi tamamen ihmal edilebilir.

Grashof Sayısı (Gr): Zorlanmış taşınımında Reynold sayısının yerini doğal taşınımında Grashof sayısı alır. Doğal taşınımında akışın laminer ya da türbülanslı olduğunu belirleyen sayıdır. Grashof sayısı kaldırma kuvvetlerinin viskoz kuvvetlere oranıdır.

$$Gr = \frac{g \beta (T_y - T_\infty) L_c^3}{\nu^2} \quad (3.10)$$

Taşınım problemlerinde doğal veya zorlanmış taşınımdan hangisinin etkili olduğunu belirleyen parametre Gr/Re^2 terimidir.

$Gr/Re^2=1$ ise doğal ve zorlanmış taşınım aynı oranda etkili olmaktadır.

$Gr/Re^2 \ll 1$ ise zorlanmış taşınım etkilidir ve doğal taşınım ihmal edilebilecek düzeydedir.

$Gr/Re^2 \gg 1$ ise doğal taşınım etkilidir.

Rayleigh sayısı (Ra): doğal taşınım için boyutsuz sayıdır. Rayleigh sayısı kritik değerin altında ise ısı iletim yoluyla transfer edilmektedir. Kritik değerin üzerinde ise doğal taşınım etkin olmaktadır. Altıgen şeklindeki hücrelerde yapılan çalışma ile Benard tarafından kritik Rayleigh sayısı 1708 olarak verilmiştir. [Kılıç 2008]

$$Ra = Gr.Pr \quad (3.11)$$

Schmidt Sayısı (Sc): Kütle transferindeki Pr sayısına benzer olarak tanımlanan Sc sayısı, hız ve derişiklik sınır tabakalarında momentum yayılımının kütle yayılımına oranıdır.

$$Sc = \frac{\nu}{D} \quad (3.12)$$

Burada

D : Kütle yayılım (difüzyon) katsayısı [m^2/s]

ν : Momentum yayılım katsayısı [m^2/s]dır.

Sherwood Sayısı (Sh): Isı transferindeki Nusselt sayısına benzer olarak tanımlanan Sherwood sayısı, yüzeydeki boyutsuz derişiklik gradyanıdır. Taşınımla kütle transferinin yayılımla kütle transferine oranıdır.

$$Sh = \frac{h_m L}{D} \quad (3.13)$$

Burada h_m [m/s] kütle transfer katsayısıdır.

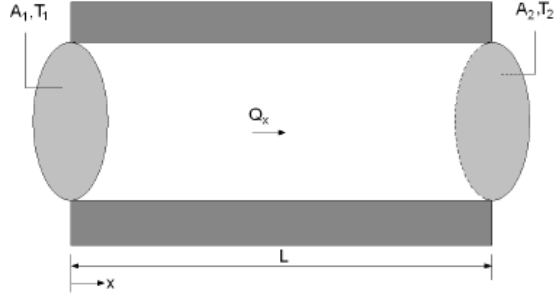
3.5.2 Isı Transfer Çeşitleri

Bir ortamda ya da ortamlar arasında sıcaklık farkı mevcutsa ısı geçişi olacaktır. Isı geçişi olayı gerçekleştiği fiziksel durumuna göre farklı mekanizma ya da modlarda incelenir. Bir katı ya da durgun akışkan ortamında sıcaklık farkı mevcutsa bu durumdaki ısı geçişini tanımlamak için iletim terimi kullanılır. Bir yüzey ile hareketli bir akışkan arasında sıcaklık farkı söz konusu ise bu iki ortam arasında ısı geçişini tanımlamak için taşınım terimi kullanılır. Sonlu sıcaklıktaki bütün yüzeyler elektromanyetik dalga formunda enerji yayarlar. Bu nedenle farklı sıcaklıklarda bulunan ve aralarında engelleyici bir ortam olmadan birbirini gören iki yüzey arasında ısınımla ısı transferi vardır.

3.5.2.1 İletimle Isı Transferi

Isı transferinin bu türü atomik ya da moleküler seviyedeki aktiviteler ile ilişkilidir. İletim bir maddenin partikülleri arasındaki ilişki esnasında daha fazla enerjiye sahip partiküllerden daha az enerjiye sahip partiküllere enerji transferi olarak görülebilir. Sıcaklık gradyanı olan hareketsiz bir gaz kütleğinde gaz farklı sıcaklıkta bulunan iki yüzey arasındaki hacmi dolduracaktır. Bu hacim içinde seçilen belli bir noktadaki sıcaklık bu noktadaki gaz moleküllerinin enerjisi ile ilişkilidir. Sürekli olarak komşu moleküllerin birbirleri ile çarpışması enerjisi fazla olan moleküllerden düşük enerjili moleküllere enerji transferine sebep olmaktadır. Sıcaklık gradyanının olması ile iletimle olan ısı transferi azalan sıcaklık yönünde gerçekleşir. Moleküllerin rastgele hareketleri dolayısıyla gerçekleşen net enerji transferi, enerjinin difüzyonu (yayılmı) olarak adlandırılabilir. Sıvılarda da fiziksel mekanizma aynıdır, fakat moleküller birbirlerine daha yakın olarak buldukları için moleküller arası ilişkiler daha kuvvetli ve daha yüksek frekanslarda gerçekleşir. Benzer olarak katılarda iletim kafes yapılarında ortaya çıkan titreşimler ile ilişkilendirilebilir. İletken olmayan katılarda enerji transferi atomik kafes yapısında ortaya çıkan titreşimler ile olur. İletken katılarda ise buna ilave olarak serbest elektronların hareketleri de enerji transferinde etkilidirler. Isı iletiminin temel denklemi Fourier ısı iletimi kanunu ile ifade edilir. Fourier ısı iletim kanunu yapılan gözlemler ve deneyler sonucu elde edilmiştir.

$$Q_x = -kA \frac{dT}{dx} \quad (3.14)$$



Şekil 3.4. Bir Boyutta Fourier Kanununun uygulanması (Kılıç 2008)

Şekil 3.5'te kartezyen koordinatlarda üç boyutlu kontrol hacmi görülmektedir. Kontrol hacmine enerji dengesi ifadesi uygulandığında (3.15) eşitliği elde edilir. Bu eşitlik, kartezyen koordinatlarda genel ısı iletim denklemi olarak nitelendirilmektedir.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot{q}}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3.15)$$

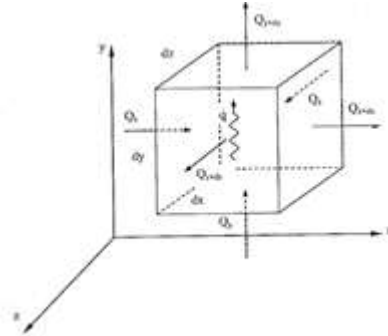
Burada

k: Isı iletim katsayısı [W/m.K]

\dot{q} : Geometri içindeki ısı üretimi [W/m³]

α : Isıl yayılım katsayısı [m²/s]

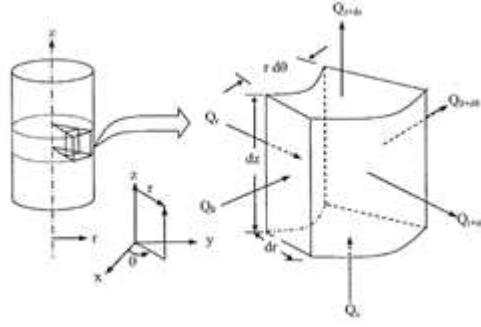
dir.



Şekil 3.5. Kartezyen koordinat sisteminde kontrol hacmi (Kılıç 2008)

Şekil 3.6'da polar silindirik koordinatlar ve boyutları $r d\theta$, dr ve dz olan kontrol hacmi şematik olarak görülmektedir. Kontrol hacmine enerji dengesi uygulandığında (3.16) eşitliği elde edilir ve polar silindirik koordinatlarda ısı iletimi genel denklemi olarak isimlendirilir.

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot{q}}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3.16)$$



Şekil 3.6. Polar silindirik koordinat sisteminde kontrol hacmi (Kılıç 2008)

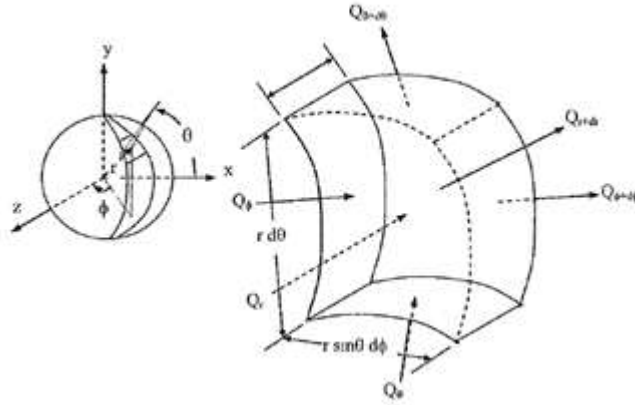
Kartezyen koordinatlar ile silindirik koordinatlar arasındaki dönüşüm denklemleri

$$\begin{aligned} x &= r \cos \theta \\ y &= r \sin \theta \\ z &= z \\ \theta &= \tan^{-1}(y/x) \end{aligned}$$

şeklindedir.

Şekil 3.7'de küresel koordinatlar ve boyutları $r d\theta$, dr ve dz olan kontrol hacmi şematik olarak görülmektedir. Enerji dengesi eşitliği kontrol hacmine uygulandığında (3.17) eşitliği elde edilir ve küresel koordinat sisteminde ısı iletimi genel denklemini olarak isimlendirilir.

$$\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(k r^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} \left(k \sin \theta \frac{\partial T}{\partial \theta} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \cdot \frac{\partial}{\partial \Phi} \left(k \frac{\partial T}{\partial \Phi} \right) + \dot{q} = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3.17)$$



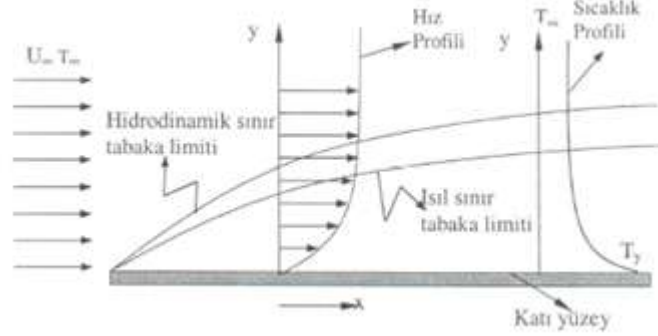
Şekil 3.7. Küresel koordinat sisteminde kontrol hacmi (Kılıç 2008)

3.5.2.2 Taşınım İle Isı Transferi

Isı taşınımı (konveksiyon), farklı sıcaklıktaki hareketli akışkan ile katı yüzey arasındaki ısı transferidir. Hareketli bir akışkan olması durumunda ısı taşınımı söz konusudur. Akışkan durgun olduğunda ısı transferi iletimle olmakta ve iletimle ısı transferi bağıntıları kullanılarak ısı transferi bulunmaktadır. Taşınım ile ısı transferinde akışkan hareketinin ne şekilde ve ne tarafından sağlandığı önemli değildir. Bilinmesi gereken önemli nokta, hareketli akışkan olması durumunda ısı taşınımının meydana geldiğidir.

Taşınım ile ısı transferinde sıcaklık dağılımının bulunabilmesi için hız dağılımının da bulunması gereklidir. Çünkü akıştaki hız dağılımı sıcaklık dağılımını etkileyecektir. Herhangi bir akışkan bir katı yüzey üzerinden akarken yüzey ile temas eden molekülleri sürtünme ya da viskoz etkiler nedeniyle yüzeye yapışırlar. Yüzeye yapışan (yüzeyi ıslatan) bu moleküllerin yüzey üzerinde kaymadığı kabul edilirse burada akışkanın hızı sıfır olacaktır. Dolayısıyla katı bir yüzey üzerinden akan akışkanın hızı yüzeyde sıfır iken yüzeyden uzaklaştıkça artacak ve yüzeyden etkilenmeyen yeterince uzaktaki akışkan moleküllerinin serbest akış bölgesindeki hızına kadar çıkacaktır. Yüzey üzerinde akışkan hızının değiştiği bu bölge taşınım ile ısı transferinde önemli rol oynamaktadır. Şematik olarak Şekil 3.8’de gösterilen akışkan hızının değiştiği bu bölge, hidrodinamik sınır tabaka olarak isimlendirilir. Hidrodinamik sınır tabakanın kalınlığı; akışkan hızının serbest bölgedeki akışkan hızına oranının %99 olduğu yüzeye normal mesafe olarak alınır ve yüzeye paralel doğrultuda kalınlığı artar. Hidrodinamik sınır tabaka içinde viskoz akış laminer veya türbülanslı olabilir. Laminer akış durumunda, akışın birbirleri üzerinde kayan yüzeye paralel katmanlar halinde olduğu ve katmanlar arasında akışkan alışverişinin olmadığı düşünülebilir. Fakat gerçekte yüzeye normal doğrultuda da bir akışkan hareketi vardır ve bundan dolayı yüzeye paralel doğrultuda ilerledikçe sınır tabaka kalınlığı artar. Akışkan katmanları arasında akışkan alışverişinin az olması nedeniyle yüzeye normal doğrultuda ısı transferinin bir bölümü de iletimle gerçekleşir. Türbülanslı akışta ise; ortalama akış hareketi yüzeye paralel olmasına rağmen sınır tabaka içindeki akışkan hareketinde hem yüzeye paralel hem de normal doğrultuda dalgalanmalar ve bir karışıklık söz konusudur. Bu da bu akışkanın karışmasına neden olur. Dolayısıyla türbülanslı akışta yüzeye paralel doğrultunun

yanında normal doğrultuda da enerji akışkan moleküllerince taşınır. Bu nedenle türbülanslı akışta laminer akışa göre daha fazla ısı transferi gerçekleşir.



Şekil 3.8. Hidrodinamik ve ısı sınır tabakalar (Kılıç 2008)

Katı yüzey sıcaklığının serbest akış bölgesindeki akışkanın sıcaklığından büyük olduğunu kabul edilsin. Bu durumda, sürekli rejim halinde, yüzeydeki akışkan moleküllerinin sıcaklığı yüzey sıcaklığına eşit olacaktır. Yüzeyden normal doğrultuda uzaklaştıkça akışkanın sıcaklığı azalacak ve yeterince yüzeyden uzak bir mesafede akışkanın sıcaklığı serbest bölgedeki akışkan sıcaklığına eşit olacaktır. Yüzey üzerindeki sıcaklığın değiştiği bu bölge, hidrodinamik sınır tabaka benzeri (fakat aynı değil) bir tabaka oluşturacaktır. Bu tabaka ısı sınır tabaka olarak isimlendirilir. Isıl sınır tabaka, hidrodinamik sınır tabakadan daha ince veya daha kalın olabilir. Birim zamandaki taşınımın ısı transferini hesaplayabilmek için akışkanlar mekaniği, ısı iletimi ve sınır tabaka teorilerini bilmek gerekmektedir. Ancak bu kompleks durum tek bir parametrenin üzerine indirgenip işlemler yapılabilir. Taşınımın transfer edilen ısıya sıcaklık farkı ile orantılı olduğu bulunmuştur. Bu durumda

$$\frac{Q_t}{A} \propto T_y - T_\infty \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (3.18)$$

yazılabilir. Bir orantı sabiti tanımlarsak (3.18) eşitliği;

$$q_{tas} = \frac{Q_t}{A} = h_m (T_y - T_\infty) \quad \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (3.19)$$

şeklinde yeniden düzenlenebilir. (3.19) Eşitliği Newton'un Soğuma Kanunu olarak bilinmektedir. Burada h_m ortalama ısı taşınım katsayısı olarak tanımlanır. (3.19) eşitliğinden ısı taşınım katsayısının birimi W/m^2K olarak bulunabilir. Bazı durumlarda ısı taşınım katsayısının değeri analitik olarak bulunabilir, fakat çoğunlukla ölçümler sonucu tespit edilir. Isı taşınım katsayısı, akış türü (laminer ya da türbülanslı), akışkan hızı, akışkan özellikleri (viskozite, yoğunluk, ısı iletim katsayısı vb), sıcaklık, geometri

gibi birçok etkene bağılı olarak değişir. Isı taşınım katsayısının tayini için yapılan analitik ve deneysel çalışmalar sonucu, akış karakteristiklerine ve geometriye bağılı olarak ampirik bağıntılar geliştirilmiştir. Çizelge 3.1’de bazı akışkanlar için ortalama ısı taşınım katsayısının alabileceği değerler görölmektedir.

Çizelge 3.1. Bazı akışkanlar için ortalama ısı taşınım katsayı değerleri (Kılıç 2008)

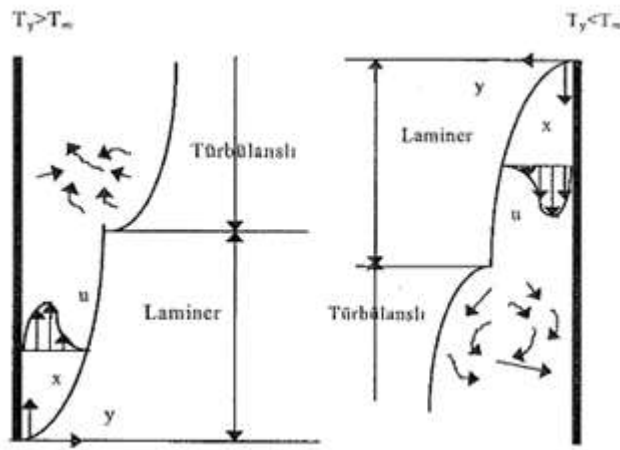
Akışkan ve taşınım modu	h [W/m ² K]
Doğal Taşınım	
Hava	5-25
Su	30 – 600
Yağlar	5-300
Zorlanmış Taşınım	
Hava	10 – 300
Su	300- 15000
Yağlar	60- 1800
Kaynayan Su	2500 - 60000
Yoğuşan Buhar	5000- 120000

Taşınım ile ısı transferi problemleri sonuç olarak ısı taşınım katsayısının tayinine indirgenebilmektedir. Eğer ısı taşınım katsayısı belirlenebiliyorsa birim zamandaki ısı transferi (3.19) eşitliği yardımıyla hesaplanabilir. Taşınım ile ısı transferi, sık sık, ısı iletimi problemlerinde sınır şartı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu problemlerde, genelde, ısı taşınım katsayısının önceden bilindiği veya verildiği varsayılır.

Doğal taşınım, akışkan içinde var olan sıcaklık farkları sebebi ile akışkanın hareket etmesi ile ortaya çıkan taşınımdır. Örnek olarak ısınan sıcak havanın radyatör yüzeyinden yukarı doğru yükselmesi verilebilir.

Doğal taşınımın temel dayanak noktası, ısınan akışkanın daha yukarı (yüze) çıkmaya yatkın hale gelmesi, yani yükselmesi ve daha soğuk akışkanın aşağı (dibe) hareket etmesidir. Yerçekimi veya merkezkaç 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.

Şekil 3.9'dan da görüleceği üzere, sıcak dik yüzeyle temas eden akışkan ısınarak yukarı doğru harekete başlar ve duvar yüzeyinde bir akış oluşur. Bu akış incelendiğinde ince bir sınır tabaka akışı olduğu görülür. Bu sınır tabaka deneylerle incelendiğinde levha alt yüzeyinden itibaren belirli bir yüksekliğe kadar laminar sınır tabaka oluşmakta, bunun yukarısında ise laminar akış bozulmakta türbülanslı sınır tabaka oluşmaktadır. Dik bir yüzeyden doğal taşınımda, Şekil 3.9'a göre levha yüzeyinde cidar şartından dolayı hız sıfır olmaktadır. Tam sınır tabaka üzerinde de yine hız sıfır olmaktadır. Yani sadece sınır tabaka içinde akış olduğu görülmektedir.



Şekil 3.9. Sıcak ve soğuk dik duvarda doğal ısı taşınımı (Kılıç 2008)

Doğal taşınımda akışkanın hareket edebilmesi için yoğunluk farkından dolayı oluşan kaldırma kuvvetinin yerçekimi kuvvetini yenmesi gerekir (sıcak yüzey). Soğuk dik levha üzerinde doğal taşınımda ise akışkanın hareketi daha kolaydır. Çünkü yoğunluk farkından dolayı ortaya çıkan kuvvet ile yerçekimi kuvveti aynı yönde olacaktır.

Sabit yüzey sıcaklığına sahip dik bir levhadan doğal taşınım için en basit bağıntı McAdams tarafından aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$Nu_L = C(Gr_L Pr)^n = C (Ra_L)^n \quad (3.20)$$

Bu eşitlikteki C ve n katsayıları Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. McAdams korelasyonu sabitleri (Kılıç 2008)

Akış Tipi	Ra_L	C	n
Laminer	10^4-10^9	0.59	1/4
Türbülanslı	10^9-10^{13}	0.1	1/3

Ayrıca Churchill ve Chu tarafından izotermal şartlarda dikey yüzeyler üzerinde doğal taşınım için iki bağıntı verilmiştir. Bu bağlantılardan birincisi sadece laminer akış için, ikincisi ise hem laminer hem de türbülanslı akışı içine alan çok daha geniş aralık için verilmiştir. Bu bağıntılar şu şekildedir.

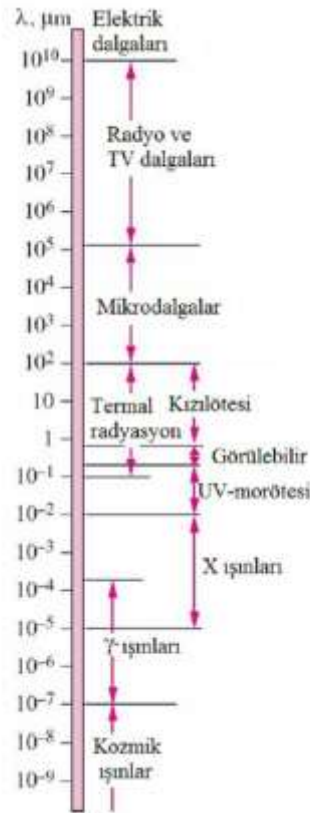
$$Nu_L = 0,68 + \frac{0,67Ra_L^{1/4}}{(1+(0,492/Pr)^{16})^{4/9}} \quad 10^{-1} < Ra_L < 10^9 \quad (3.21)$$

$$Nu_L^{1/2} = 0,825 + \frac{0,387Ra_L^{1/6}}{(1+(0,492/Pr)^{16})^{8/27}} \quad 10^{-1} < Ra_L < 10^{12} \quad (3.22)$$

Bu eşitliklerde akışkan özellikleri film sıcaklığında alınmalıdır.

3.5.2.3 Işınım ile Isı Transferi

Atomların veya moleküllerin elektronik yapılandırılmalarındaki değişimlerinin bir sonucu olarak maddenin etrafına elektromanyetik dalga (ya da foton) formunda yaydığı enerjiye ışınım denir. Taşınım ve iletimden farklı olarak ışınım herhangi bir ara ortam gerektirmemektedir. Gerçekte, ışınım ile transfer olan ısı enerjisi en hızlı (ışık hızında) olanıdır ve vakumda herhangi bir sönümlenme oluşmamaktadır. Güneş enerjisi de dünyamıza ışınım ile ulaşmaktadır. Isı transferi konularında cisimlerin sıcaklıklarından dolayı yaydığı termal radyasyon dikkate alınmaktadır. Termal radyasyon x – ışınları, gamma ışınları, mikrodalgalar, radyo dalgaları gibi diğer formdaki elektromanyetik dalgalara (Şekil 3.10) göre farklılık göstermektedir ki termal radyasyon sıcaklığa bağlı iken diğerleri sıcaklık ile ilişkili değildirler. (Çengel 2003)



Şekil 3.10. Elektromanyetik dalga spektrumu (Bodur 2010)

Mutlak sıcaklık 0 °K üzerindeki her cisim çevresine elektromanyetik dalgalar şeklinde termal radyasyon yaymaktadır. Bu elektromanyetik dalgalar cismin sıcaklığıyla doğru orantılı olacak şekilde enerji içermektedirler ve dalga boyu kısaldıkça içerdiği enerji artmaktadır. Yüksek sıcaklıktaki ürün daha fazla enerji içeren dalgalar dolayısıyla

etrafına daha kısa dalga boylarında foton yaymaktadır. Siyah cismin birim sıcaklıkta, birim zamanda, birim yüzey alanında ve birim dalga boyunda yaydığı enerjiyi yani *spektral siyah cisim yayma enerjisini* veren eşitlik *Planck kanunu* olarak tanımlanmıştır. (Çengel 2003)

$$E_{b\lambda}(\lambda, T) = C_1 / [\lambda^5 (\exp(C_2/\lambda T) - 1)] \quad (3.23)$$

Burada

$$C_1 = 3,742 \times 10^8 \text{ W} \cdot \mu\text{m}^4 / \text{m}^2$$

$$C_2 = 1,439 \times 10^4 \mu\text{m} \cdot \text{K}$$

T_s sıcaklığındaki bir yüzeyden yayılabilecek maksimum ışıınım miktarı *Stefan-Boltzmann kanunu* ile verilmektedir.

$$Q_{\text{ışıınım maks.}} = \sigma A_s T_s^4 \quad (3.24)$$

Burada σ , *Stefan – Boltzmann sabiti* olmak üzere değeri $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{K}^4$ dır.

Maksimum oranda ışıınım yapan ideal yüzeye *siyah cisim* denilmektedir ve siyah cisim tarafından yayılan ışıınıma da *siyah cisim radyasyonu* denilmektedir. Bütün gerçek yüzeylerden yayılan radyasyon enerjileri aynı sıcaklıkta siyah cisim tarafından yayılandan daha düşüktür ve

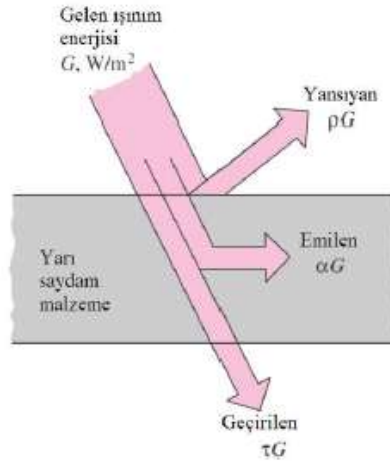
$$Q_{\text{ışıınım maks.}} = \epsilon \sigma A_s T_s^4 \quad (3.25)$$

şeklinde ifade edilir. Burada ϵ yüzeyin *yayma katsayısı*dır. $0 \leq \epsilon \leq 1$ aralığında olan yayma katsayısı o yüzeyin $\epsilon = 1$ olan siyah cisme ne kadar yakınsadığının bir göstergesidir. Diğer bir önemli radyasyon özelliği de yüzeye gelen radyasyon enerjisinin yüzey tarafından ne kadar emildiğinin göstergesi olan α emme katsayısıdır. Yayma katsayısına benzer $0 \leq \alpha \leq 1$ aralığında olan emme katsayısı üzerine gelen tüm radyasyon enerjisini yutan siyah cisim için $\alpha = 1$ değerindedir. (Çengel 2003)

Çevremizdeki her cisim daimi olarak etrafına ışıınım yayarlar (E) ve diğer cisimlerden ışıınım alırlar (G). Cisim üzerine gelen bu ışıınım enerjisinin bir kısmı cisim tarafından yutulur, bir kısmı geri yansıtılır ve eğer geriye kalıyorsa bir kısmı da karşıya geçirilir. (Şekil 3.11) Cismin bu özelliklerine *emme* (α), *yansıtma* (ρ), *geçirme* (τ) *katsayıları* denir ve

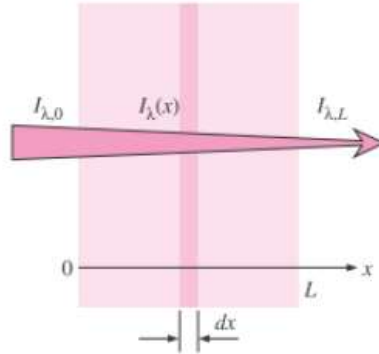
$$\alpha(T, \lambda) + \tau(T, \lambda) + \rho(T, \lambda) = 1 \quad (3.26)$$

şeklinde eşitliğe sahiptirler.



Şekil 3.11. Yarı saydam malzeme üzerindeki ışıma enerjisi (Bodur 2010)

Yarı saydam ortamlardan geçen termal radyasyonda ortam tarafından bir kısmının emilmesi neticesinde azalma olur. (Şekil 3.12) Bu azalma ise o ortamın özelliğine göre değişkenlik gösterir. Ortamdan geçen radyasyonun azalma miktarı kendi yoğunluğu ile ve ortamda kat ettiği yol ile doğru orantılıdır.

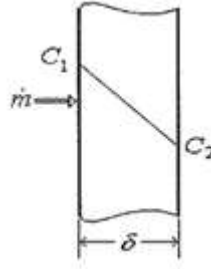


Şekil 3.12. Emici ortamdan geçen radyasyonun azalması (Bodur 2010)

3.5.3 Kütle Geçişi

3.5.3.1 Kütleli Yayılım (Difüzyon)

Kütleli yayılımın (akışkan moleküllerinin geliş güzel hareketinin) esas mekanizması, yoğunluk (derişiklik) gradyanının sonucunda oluşan moleküler yayılımdır. İkili gaz (örnek olarak kuru hava ile su buharı) karışımlarında derişiklik gradyanının varlığı, moleküler yayılımla madde taşınmasına neden olur. Düzensiz molekül hareketleri yüzünden su buharı, derişikliğin azaldığı yönde nemli hava karışımı içine doğru yayılır. Kütleli yayılım, ısı iletimindeki Fourier Kanunu'na benzer aşağıdaki gibi ifade edilir.



Şekil 3.13. Sürekli rejimde kütleli yayılım (Yamankaradeniz 2012)

$$\dot{m}_b = -D \frac{C_2 - C_1}{\delta} \text{ [kg/m}^2 \cdot \text{s]} \quad (3.27)$$

Burada

\dot{m}_b : Birim yüzeyden birim zamanda geçen kütle miktarı $[\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}]$

D: Difüzyon katsayısı $[\text{m}^2/\text{s}]$

C: Konsantrasyon (derişiklik) $[\text{kg/m}^3]$

δ : Kütle geçişi doğrultusunda ölçülen uzaklık $[\text{m}]$

İklimlendirme uygulamalarında kütle genellikle su buharıdır ve bu tip problemlerde su buharı mükemmel gaz olarak kabul edilebilir. Bu nedenle su buharının derişikliği

$$C = \frac{P}{R_b} T \text{ [kg/m}^3] \quad (3.28)$$

ile bulunabilir. Bu denklemde, P su buharı kısmi basıncı (kPa), R_b su buharının gaz sabiti (kJ/kgK) ve T sıcaklık (K)'tır. İki bileşenden meydana gelmiş bir karışımda yayılım katsayısı (D) sıcaklık, basınç ve karışımın bir fonksiyonudur. Hava içindeki bazı gazlara ait yayılım katsayıları Çizelge 3.3'de (25°C sıcaklık ve 101,325 kPa için) verilmiştir.

Çizelge 3.3. Bazı gazlara ait yayılım katsayıları (Yamankaradeniz 2012)

Gaz Cinsi	D (mm ² /s)
Amonyak	27,9
Karbondioksit	16,5
Oksijen	20,9
Su buharı	25,5

Literatürde 1366 K sıcaklığa kadar su buharının hava içindeki yayılım katsayısı ampirik olarak

$$D = \left(\frac{0,926}{P} \right) \left(\frac{T^{2,5}}{T+245} \right) \quad (3.29)$$

denklemlerle de verilmektedir. Bu bağıntıda D (mm²/s), P (kPa) ve T (K)'dir. Su buharının hava içerisindeki yayılım katsayısı sıcaklığa bağlı olarak Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Hava içindeki su buharına ait yayılım katsayıları (Yamankaradeniz 2012)

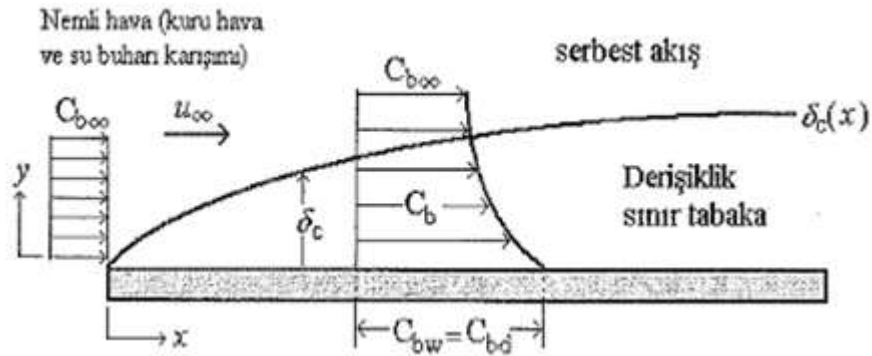
T (°C)	D (mm ² /s)
0	21,6
20	24,4
50	29,1
100	38,0

3.5.3.2 Kütlesel Taşınım

Kütlesel taşınım, moleküler yayılım ile akışkanın yığınsal hareketinin toplamından oluşur. Bu olaylarda kütle geçişinin olduğu yüzeye yakın kısımda, akış şartlarına ve geometriye bağlı olarak, laminar veya türbülanslı akımlar ile karşılaşılabılır. Hız ve sınır tabakaları yüzeydeki sürtünme ve taşınım ile ısı geçişini çözümlemeye kullanılır. Derişiklik sınır tabaka ise taşınım ile kütle geçişini çözümler. Şekil 3.14’de verilen nemli hava (kuru hava + su buharı karışımı) bir yüzey üzerinde akıyorsa ve bu su buharının bir yüzey üzerindeki yoğunluğu (derişikliği, C_{bw}), serbest akış derişikliğinden ($C_{b\infty}$) farklı ise bir derişiklik sınır tabaka meydana gelecektir. Sınır tabaka, akışkan içinde derişiklik gradyanının olduğu bölgedir ve kalınlığı (δ_c)

$$[(C_b - C_{bw}) / (C_{b\infty} - C_{bw})] = 0.99$$

eşitliğini sağlayan y değeri olarak tanımlanır.



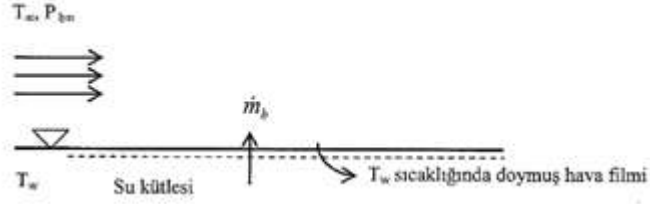
Şekil 3.14. Düz levha üzerinde derişiklik sınır tabakanın gelişimi

(Yamankaradeniz 2012)

Hız sınır tabakasında hız gradyanı ve kayma gerilmeleri, ısı sınır tabakada ise sıcaklık gradyanı ve ısı aktarımı vardır. Derişiklik sınır tabakada ise derişiklik gradyanı ve kütle geçişi vardır. Herhangi bir yüzey üzerinde akış için, bir hız sınır tabakası ve sonucunda yüzey sürtünmesi her zaman olacaktır. Ancak, bir ısı sınır tabaka ve sonucunda taşınım ile ısı transferi yalnızca yüzey ve serbest akış sıcaklıkları farklıysa söz konusudur. Benzer şekilde derişiklik sınır tabaka ve taşınım ile kütle geçişi yalnızca bir maddenin kütle derişikliği, serbest akışın derişikliğinden farklıysa vardır.

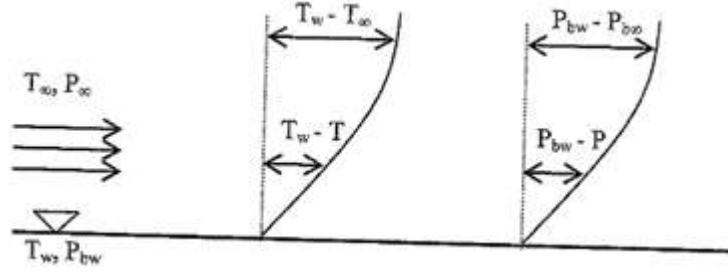
3.5.3.3 Isı ve Kütle Geçişinin Bir Arada Olduğu Durumlar

Bir yüzey üzerinden hava akışı Şekil 3.15’de gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Su yüzeyi üzerinden hava akışı (Yamankaradeniz 2012)

Su yüzeyi üzerinden akan hava akımında, sınır tabaka içinde sıcaklığa ve su buharının kısmi basıncına ait değişim Şekil 3.16’de verilmiştir.



Şekil 3.16. Su yüzeyi üzerinden hava akışında sıcaklık ve basınç gradyanı (Yamankaradeniz 2012)

Bu sistemde sıcaklık farkı nedeniyle ısı geçişi, derişiklik farkı nedeniyle kütle geçişi söz konusudur. Taşınım ile olan ısı geçişi (3.30) eşitliği ile ifade edilir.

$$Q_T = A.h.(T_w - T_\infty) \quad (3.30)$$

Bu eşitlik Newton’un soğuma kanunu olarak bilinir. Gerçekte olan toplam ısı geçişi ise taşınım ve kütle transferi yoluyla meydana gelen geçişlerinin toplamıdır ve (3.31) ile ifade edilir.

$$Q_T = Q_T + Q_{KT} = A.h.(T_w - T_\infty) + \dot{m}_b A i_{sb} \quad (3.31)$$

Burada

h : Isı taşınım katsayısı [W/m^2K]

\dot{m}_b : Birim zamanda birim yüzeye geçen kütle miktarı [$kg/(m^2s)$]

i_{sb} : Suyun buharlaşma gizli ısı [kJ/kg]

Kütle geçişinde, Newton'un soğuma kanununa benzer olarak h_m kütle geçiş katsayısı olmak üzere Eşitlik 3'teki ifade kullanılabilir.

$$\dot{m}_b = h_m(C_{by} - C_{b\infty})[kg/m^2s] \quad (3.32)$$

Burada

h_m : kütle geçiş katsayısı [m/s]

C_{by} : Yüzey su buharı konsantrasyonu [kg/m^3]

$C_{b\infty}$: Hava su buharı konsantrasyonu [kg/m^3]

3.5.4 Isı ve Kütle Taşımında Benzeşim

Pratikte birçok durumda, ısı ve kütle geçişindeki benzeşimden yararlanarak kütle geçiş katsayısı (h_m), ısı taşınım katsayısı (h) cinsinden hesaplanabilir. Bu benzeşim hem laminer hem de türbülanslı akışlarda uygulanabilir. $Re < Re_{kr}$ ise akış laminer, $Re > Re_{kr}$ ise akış türbülanslıdır. Benzeşimden yararlanarak kütle geçişinde, Nusselt sayısı (Nu) yerini Sherwood (Sh) ve Prandtl sayısı (Pr) yerini Schmidt (Sc) alır. Isı transferinden bilindiği gibi Nu, taşınım ile ısı geçişinin iletimle ısı geçişine oranı ve Pr, momentum yayılımının ısı yayılımına oranıdır.

Lewis sayısı (Le), sistem içindeki enerji (ısı) geçişinin kütle geçişine oranını ve aşağıda verilen eşitlik ile hesaplanır.

$$Le = \frac{Sc}{Pr} = \frac{\vartheta}{D} \quad (3.33)$$

Chilton-Colburn benzeşimi ile ısı taşınım katsayısı ile kütle geçiş katsayısı arasındaki benzeşimi

$$h_m = \frac{h}{\rho C_p Le^{2/3}} \quad (3.34)$$

eşitliği ile verilir. Atmosferik hava içindeki su buharı oranı az olduğundan nemli havanın ısı yayılım katsayısı için kuru havanınki kullanılabilir ve 25°C'de hava-su buharı karışımı için ısı ve kütle yayılım katsayıları $\alpha = 21,8 \times 10^{-6} m^2/s$ ve $D = 25 \times 10^{-6} m^2/s$ 'dir. Bu durumda Lewis sayısı $Le = \alpha/D = 0,872$ olur. Denklemden ise $Le^{2/3} = 0,913$ değerini alır ki bu değer 1'e çok yakındır. Bu nedenle, hava-su buharı karışımları için ısı ve kütle transfer katsayıları arasındaki ilişki (3.35) ile kolaylıkla ve iyi bir doğrulukla elde edilir.

$$h_m \cong \frac{h}{\rho c_p} \quad (3.35)$$

Bu bağıntı ilk defa W.K Lewis tarafından çıkarıldığından Lewis bağıntısı olarak adlandırılır ve Le sayısının 1'den farklı olduğu durumlarda geçerli değildir. Isı taşınım katsayısı (h) hesaplandığında Lewis bağıntısı kullanılarak kütle geçiş katsayısı (h_m) bulunabilir. Kütle geçişinin küçük olduğu durumlarda Le sayısı yaklaşık olarak 1'dir ve bu bağıntı kullanılabilir. Türbülanslı akışlarda her zaman Lewis bağıntısı geçerlidir.

3.5.5 Doğal Taşınımında Kütle Geçişi

Isı geçişinde olduğu gibi kütle geçişinde de doğal taşınım söz konusudur. Rüzgârsız havada ıslak yüzeyin kurumması bu duruma örnek olarak verilebilir. Kaldırma kuvvetlerinin viskoz kuvvetler oranı olarak tarif edilen Grashof sayısı zorlanmış taşınımında Reynold sayısının oynadığı rolü oynar ve ısı transferi problemlerinde

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_y - T_\infty) \cdot L_c^3}{\nu^2} \quad (3.36)$$

eşitliğinden hesaplanır.

Kütle geçişinde ise Gr sayısı aşağıda verilen bağıntıyla hesaplanabilir.

$$Gr = \frac{g \cdot (\rho_y - \rho_\infty) \cdot L_c^3}{\rho_f \cdot \nu^2} \quad (3.37)$$

3.6 İklimlendirmenin Temel Prensipleri

Nemli havanın, kuru hava ile su buharının karışımı olarak iki bileşenden meydana geldiği kabul edilir. Hava içinde su buharının maksimum olma durumu doymuş hava olarak adlandırılır. Nemli havayı meydana getiren bileşenlerden kuru hava mükemmel gazdır. Diğer bileşen su buharı saf madde olmasına karşın, karışım içinde çok küçük kısmi basınçlarda olduğundan mükemmel gaz olarak kabul edilmesi yapılan hesaplamalarda önemli bir hataya yol açmaz. Nemli hava, kuru hava ile su buharının mükemmel gaz karışımı olarak ele alınıp, hesaplamalarda mükemmel gaz karışımları için geçerli olan tüm esaslar kullanılabilir. Nemli havanın kütlesi (m), kuru havanın kütlesi (m_h) ile su buharının kütlesinin (m_b) toplamına eşittir.

$$m=m_h+m_b \quad (3.38)$$

Kısmi Basınç: Bir gaz karışımını oluşturan her bir bileşenin kısmi basıncı, aynı hacim ve sıcaklıkta meydana getirdikleri basınca kısmi basınç denir.

Dalton Kanunu: Bir ideal gaz karışımının kısmi basıncı, karışımı oluşturan gazların kısmi basınçlarının toplamına eşittir. Nemli havanın basıncı P , kuru havanın kısmi basıncı P_h ve su buharının kısmi basıncı P_b olmak üzere Dalton Kanunu'na göre

$$P=P_h+P_b \quad (3.39)$$

ile hesaplanır. Mükemmel gaz karışımlarındaki kısmi basınç tarifi göz önüne alındığında kuru havanın ve su buharının basınçları aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned} P_h V &= m_h R_h T \\ P_b V &= m_b R_b T \end{aligned} \quad (3.40)$$

3.6.1 Temel Kavramlar

Doymuş Hava: Nemli hava içindeki su buharı, doyma basıncı ve doyma sıcaklığında bulunuyorsa, böyle havaya doymuş hava denir.

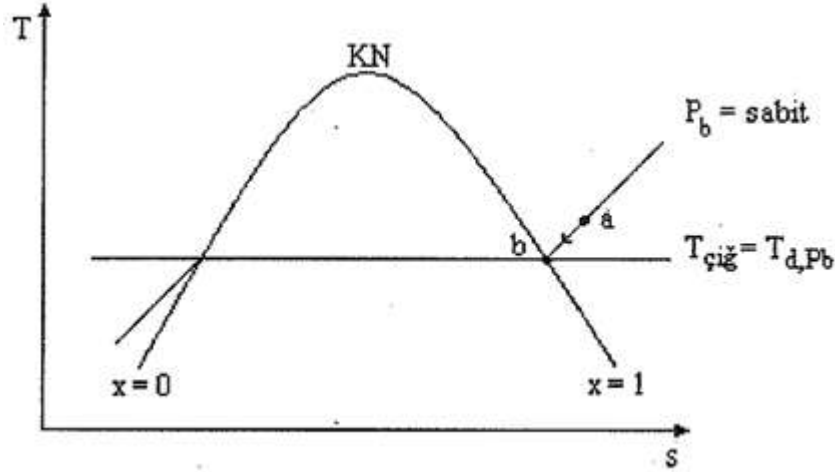
Doymamış Hava: İçerisindeki su buharının kızgın buhar halinde bulunduğu nemli havaya denir. Başka bir deyişle, doymamış hava bulunduğu şartlarda içine doymuş hale gelinceye kadar su buharı alabilen hava demektir.

Sisli Hava: Doymuş hava ile çok küçük zerrecikleri halinde su taneciklerinin karışımıdır.

Kuru Termometre Sıcaklığı: Nem ve güneş radyasyonu etkisi olmaksızın herhangi bir termometre, termo eleman veya bir sıcaklık ölçme elemanı ile ölçülen sıcaklıktır.

Yaş Termometre Sıcaklığı: Termometre haznesi etrafına ıslak pamuk veya keçe sarılmak suretiyle ölçülen sıcaklıktır.

Çiğ Noktası Sıcaklığı: Nemli hava sabit basınçta soğutulduğunda, içindeki su buharının yoğuşmaya başladığı andaki sıcaklığa denir. Nemli hava sabit basınçta soğutulduğunda, nemli hava içindeki su buharının kısmi basıncı sabit kalır. Su buharı sabit kısmi basınçta soğutulurak doymuş buhar haline getirildiği andaki sıcaklık çığ noktası sıcaklığıdır.



Şekil 3.17. Çiğ noktası sıcaklığının T-s diyagramında gösterilişi
(Yamankaradeniz 2012)

Su buharının sabit kısmi basınçta soğutulması T-s diyagramında (Şekil 3.17) gösterilmiştir. Hava çığ noktasının altındaki bir sıcaklığa içindeki su buharı miktarının bir kısmı yoğuşarak su haline dönüşür. Hava çığ noktası sıcaklığının altındaki sıcaklığa sahip yüzeylerle temas ederse, içindeki su buharı miktarının bir kısmı bu yüzeyler üzerinde yoğuşur.

İzafi (Bağıl) Nem (Ø): İzafi nem, havanın içerisindeki su buharı kütlesinin, havanın aynı sıcaklıkta alacağı maksimum su buharı kütlesine oranıdır. Doyma durumundan uzaklaşmayı ya da yaklaşmayı belirten boyutsuz sayıdır.

$$\varnothing = \frac{m_b}{m_{b,d}} \quad (3.41)$$

Burada m_b ve $m_{b,d}$ sırasıyla, T sıcaklığında, nemli hava ve doymuş hava içindeki su buharı kütleleridir.

$$\begin{aligned} M_b &= P_b V / (R_b T) \\ M_{b,d} &= P_{b,T} V / (R_b T) \end{aligned} \quad (3.42)$$

eşitlikler yerine yazıldığında

$$\phi = \frac{P_b}{P_{dT}} \quad (3.43)$$

elde edilir. Dolayısıyla izafi nem kısmi basınçlar cinsinden de ifade edilebilir. Havanın izafi nemi higrometre ile ölçülür.

Havanın sıcaklığı belli ise buna karşılık gelen su buharının kısmi basıncı, su buharı için sıcaklığa göre düzenlenmiş doymuş haller tablosundan bulunur. Böylece (3.44) eşitliğinden verilen şartlardaki nemli hava içindeki su buharının kısmi basıncı hesaplanabilir.

$$P_b = \phi \cdot P_{dT} \quad (3.44)$$

Kuru havanın kısmi basıncı (P_h) ise havanın basıncı (P) barometre ile ölçüldükten sonra Eşitlikten hesaplanabilir.

$$P_h = P - P_b \quad (3.45)$$

İzafi nem, sayısal değer olarak 0 ile 1 arasında değişir ve bu aralıkta alacağı değere bağlı olarak hava farklı şekillerde adlandırılır.

$\phi = 0$ ise kuru hava (içinde hiç su buharı olmadığı hava)

$0 < \phi < 1$ ise doymamış hava (nemli hava)

$\phi = 1$ ise doymuş hava olarak ifade edilebilir.

Özgül Nem (w): Hava içerisindeki su buharı kütesinin kuru hava kütesine oranına denir. Hava içindeki su buharı kütesi m_b , kuru hava miktarı m_h olmak üzere özgül nem eşitlikten hesaplanabilir.

$$w = \frac{m_b}{m_h} \quad (3.46)$$

(3.42)'den m_b ve m_h çekilerek (3.46)'da yerine yazıldığında

$$w = \frac{m_b}{m_h} = \frac{P_b V / (R_b T)}{P_h V / (R_h T)} = \frac{R_h P_b}{R_b P_h} \quad (3.47)$$

elde edilir. Burada su buharı ve havanın gaz sabitleri sırasıyla $R_b = 0,46152$ kJ/kgK ve $R_h = 0,287$ kJ/kgK'dır. Bu değerler de eşitlikte yerine yazıldığında özgül nem için

$$w = 0,622 \frac{P_b}{P_h} \quad (3.48)$$

elde edilir.

Su buharı ve havanın kısmi basınçlarını veren ifadeler de eşitlikte yerine yazıldığında

$$w = 0,622 \frac{\phi P_{dT}}{P - \phi P_{dT}} \quad (3.49)$$

elde edilir.

Doyma Derecesi (D_d): Verilen şartlarda nemli havanın özgül nemi w , aynı sıcaklıkta doymuş havanın özgül nemi w_d ise doyma derecesi

$$D_d = \frac{w}{w_d} \quad (3.50)$$

şeklinde ifade edilir. Doymuş hava için $\phi=1$ olduğu hatırlanarak w_d aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$w_d = 0,622 \frac{P_{dT}}{P - P_{dT}} \quad (3.51)$$

w ve w_d değerleri D_d denkleminde yerine yazılırsa

$$D_d = \phi \left(\frac{P - P_{dT}}{P - \phi P_{dT}} \right) \cong \phi \quad (3.52)$$

elde edilir. Doyma derecesi yaklaşık olarak izafi neme eşit alınabilir.

Mutlak Nem (Derişik veya Konsantrasyon): 1 m³ nemli havanın içerdiği su buharı kütlesine denir. Nemli havanın hacmi V , içindeki su buharı miktarı m_b ise mutlak nem

$$e_b = \frac{m_b}{V} = \frac{P_b}{R_b T} = \frac{1}{\vartheta_b} = \rho_b \quad (3.53)$$

Şeklinde ifade edilir. Mutlak nem, nemli hava içindeki su buharının yoğunluğuna eşittir. Mutlak nem kavramı özellikle su buharının kütle transferi ile hava karışması ve meteoroloji ile ilgili problemlerde sık kullanılır.

Gizli Isı (Q_g): Bir maddenin sıcaklığını değiştirmeksizin faz durumunu değiştirmek için alınması veya verilmesi gereken ısı miktarına denir.

$$Q_g = m i_{sb} \quad (3.54)$$

Gizli buharlaşma entalpisi (i_{sb}) su buharının doymuş sıvı ve doymuş buhar entalpileri arasındaki farktır.

Tüm bu bilgiler ışığında yapılan simülasyonlarda yoğuşan kütle miktarını hesaplamak için

$$\dot{m}_b = h_m (w_y - w_\infty) \quad (3.55)$$

eşitliği kullanılmıştır. Burada w_y değişkeni doyma anı mutlak nem değeridir ve hesaplamak için su buharının doyma mutlak nem değerinin sıcaklığa göre fonksiyonu kullanılmıştır.

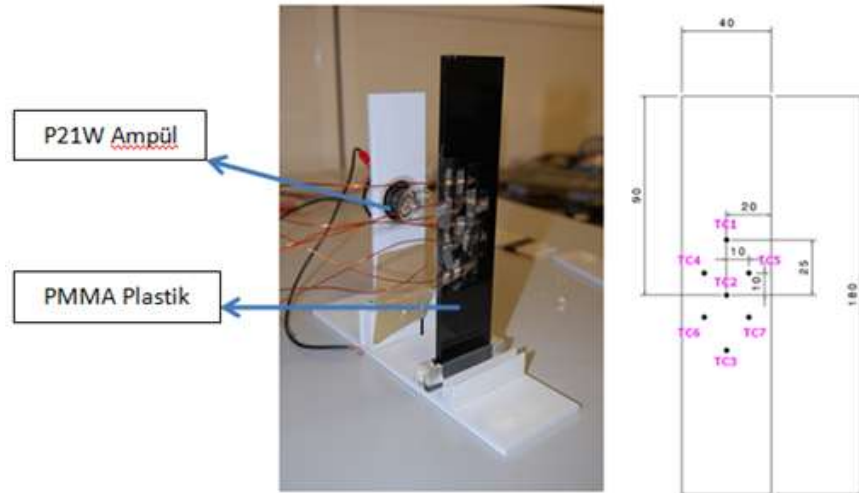
4 BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Bulgular

Yoğuşma simülasyonlarında aydınlatma ürününün içindeki sıcaklık, basınç, bağıl nem, hız değişkenlerinin doğru hesaplanmış olması önemli yer tutar. Müşteri şartnamelerinde yoğuşma testlerinden önce şartlandırma fazı bulunmaktadır ve bu şartlandırma fazı 2 saatten 24 saate çıkabilmektedir. Ürün içinde fonksiyon lambalarının çalışmaması durumunda homojen bir dağılım elde edileceği için yoğuşma analizi için başlangıç koşulu hatasız bir şekilde tanımlanabilmektedir. Ancak testlerde ürün belirlenmiş nem ve sıcaklık şartlarında koşullandırıldığı esnada müşteri isteklerine göre bazı fonksiyon lambalarının çalıştırılması istenebilmektedir. Bu durumda zamandan bağımsız simülasyon ile koşullandırma fazı analiz edilmeli ve ürün içerisindeki sıcaklık hız bağıl nem basınç vs. dağılımı elde edilmelidir. Yoğuşma simülasyonlarının sonuçlarının doğru olabilmesi için başlangıç koşullarının ve zamana bağlı çözümün doğrulanması gerekmektedir.

- 1- Zamana bağımlı analizin doğrulanması
- 2- Yoğuşma simülasyonu ile yoğuşan kütle miktarının doğrulanması
- 3- Stop lambasında yoğuşma simülasyonu ve sonuçlarının karşılaştırılması

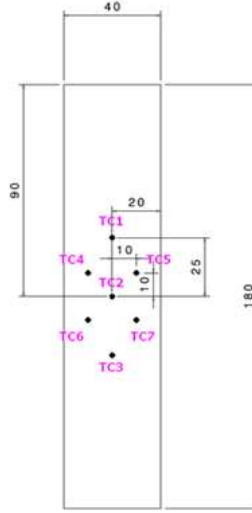
Yapılan zamana bağımlı analizlerin sonuçlarının doğruluğundan emin olmak için yapılan doğrulama çalışmasında Şekil 4.1'de gösterilen test prototipi kullanılmış ve prototip üzerinden termokupllar ile ölçülen sıcaklıklar, simülasyon sıcaklıkları ile karşılaştırılmıştır. (Venchiarutti 2012)



Şekil 4.1. Zamana bağımlı simülasyon validasyonu için kullanılan prototip

4.1.1 Test Düzeneği:

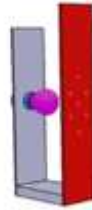
23 °C ortam sıcaklığında prototip üzerindeki P21W tipindeki lamba 1 saat boyunca çalıştırılarak plastik malzemenin üzerindeki sıcaklık dağılımının rejim haline gelmesi sağlanmıştır.1 saatin sonunda lamba kapatılarak plastik parça 3 dakika boyunca soğumaya bırakılmıştır. Soğuma esnasında parça üzerinde 7 noktadan termokupllar ile ölçümler alınarak (Şekil 4.2) sonuçlar simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Plastik parçanın lamba filamanına uzaklığı 30 mm'dir.



Şekil 4.2. Termokupl ölçüm noktaları

4.1.2 Prototipin 3D modelinin oluşturulması

Prototipin katı modeli CATIA yazılımı ile oluşturulmuştur. Şekil 4.3'te 3D model gösterilmektedir.



Şekil 4.3. Prototipin 3D modeli

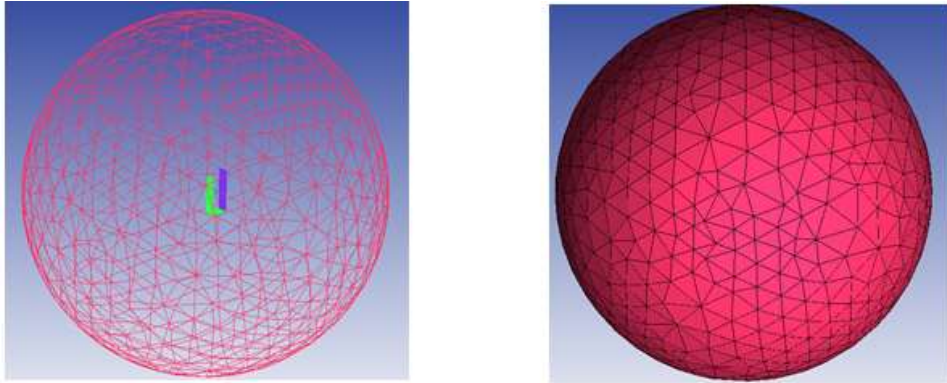
Modelleme yapılırken lambanın güç kabloları ihmal edilmiştir ve direk olarak lamba filamanına güç (24,5W) verilmiştir. Isıl analiz için katı model hazırlanırken çözüm ağ yapısının istenilen kalitede olabilmesi için geometrik basitleştirmenin yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada özellikle lambalarda geometrik basitleştirmeye gidilmiştir.

Şekil 4.4’de lambaların günlük hayattaki şekli ve simülasyon için basitleştirilmiş hali mevcuttur.



(a) Gerçek ürün (b) basitleştirilmiş data
Şekil 4.4. Lambaların geometrik basitleştirilmesi

Üç dakikalık soğuma safhasının simülasyonda çözdürülmesinden önce bir saatlik şartlandırma safhasının simüle edilmesi gerekmektedir. Şartlandırma safhası için hesaplanan sonuçlar üç dakikalık soğuma safhasının başlangıç koşulunu oluşturmaktadır. Ortam havasının modellenmesi için prototip geometrisini çevreleyen küre şeklinde yeterince geniş yüzey oluşturulmuştur (Şekil 4.5) ve bu yüzeye *opening* sınır şartı verilmiştir.



Şekil 4.5. Ortam Havasının Modellenmesi

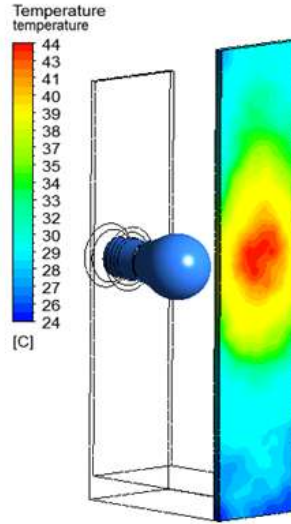
4.1.3 Şartlandırma Safhası Sonuçlarının Karşılaştırılması

Şartlandırma safhasını simüle etmek için zamandan bağımsız analiz yapılmıştır. Çözüm aşaması 423 iterasyona kadar devam etmiştir ve yakınsama sağlanmıştır. Çizelge 4.1’de sonuçların karşılaştırılması gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. Zamandan bağımsız simülasyon ve test sonuçları

ZAMANDAN BAĞIMSIZ ANALİZ SONUÇLARI						
	x (m)	y (m)	z (m)	TEST (°C)	SİMULASYON (°C)	HATA (%)
TC1	2,956719	0,605	0,571507	38,5	39,9	-3,57
TC2	2,956719	0,605	0,546507	38,75	40,6	-4,82
TC3	2,956719	0,605	0,521507	33,2	34,7	-4,59
TC4	2,956719	0,595	0,556507	37,8	40,3	-6,58
TC5	2,956719	0,615	0,556507	38,5	39,4	-2,34
TC6	2,956719	0,595	0,536507	37	37,4	-1,09
TC7	2,956719	0,615	0,536507	37,6	36,5	2,98

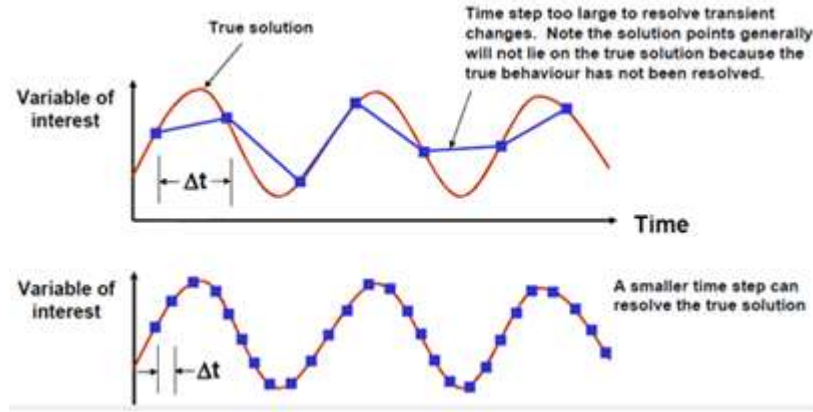
“TC” olarak isimlendirilen numaralar termokupl numaralarını (Şekil 4.2) ve x,y,z sütunları ise noktaların koordinatlarını göstermektedir. Simülasyon ile test sonuçlarının uygun şekilde elde edilmesinin ardından yapılan zamandan bağımsız analiz sonuçları zamana bağlı analiz için başlangıç şartı değerleri olarak alınmıştır ve ANSYS CFX yazılımına aktarılmıştır.



Şekil 4.6. Zamandan bağımsız simülasyon sıcaklık dağılımı

4.1.4 Zamana Bağımlı (transient) Analiz Sonuçları

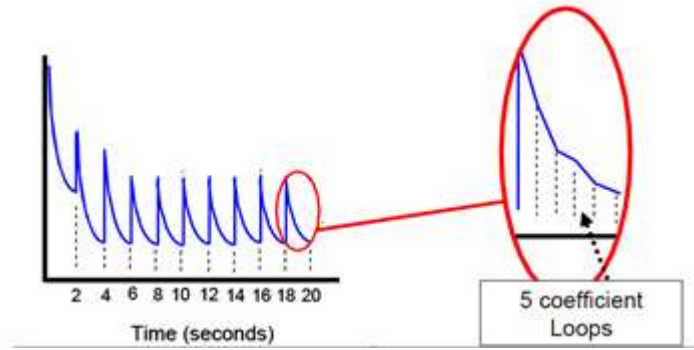
Zamana bağlı analizlerde sayısal çözüm belirlenen zaman dilimlerinde yapılmaktadır. Belirlenen zaman diliminin seçimi önemlidir. Çok küçük zaman dilimlerinde bölmek simülasyon süresini arttırır büyük zaman dilimlerinde seçmek ise hatayı arttırır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Zamana bağlı simülasyonda zaman dilimi etkisi (Anonim 2009)

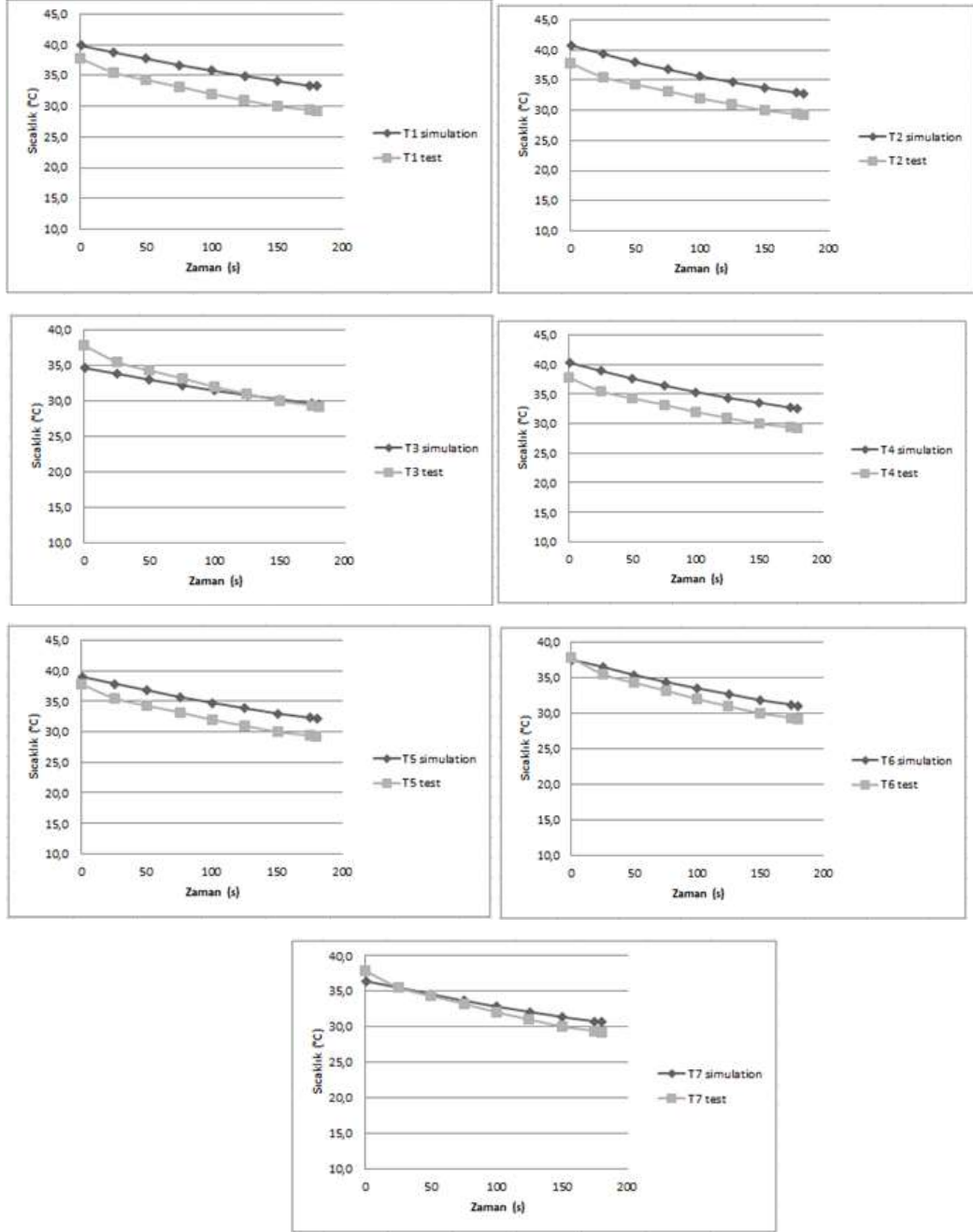
Bu nedenle çözüm için gerekli zaman dilimi de yoğunlaşma analizi öncesinde doğrulanmıştır. İlk 2 saniye 0,125 saniye 2 ile 5. Saniye arasında 0,25 saniye ve 5. Saniyeden sonra 0,5 saniye olarak değerler belirlenmiştir. Zamandan bağımsız analizlerde yakınsama iterasyon sayısı arttıkça sağlanmaktadır. Analizde sıcaklığın zamana göre değişimi olmadığı için yakınsaması gereken tek bir çözüm dilimi vardır. Ancak zamana bağımlı analizlerde yakınsama her bir zaman diliminde ayrı ayrı sağlanmalıdır. Bu nedenle her bir zaman dilimi (time step) alt iterasyonlara bölünmelidir.

Şekil 4.8’de alt iterasyonlarla zaman dilimi gösterilmektedir.



Şekil 4.8. Zaman diliminin alt iterasyonlarla yakınsaması (Anonim 2009)

Yapılan çalışmalar sonucunda her bir zaman dilimi için alt iterasyonlar en az 3 en fazla 6 olacak şekilde belirlenmiştir. Radyasyon hesabı çözüm süresini uzattığı için her bir zaman diliminde sadece bir iterasyonda radyasyon hesaba katılmıştır. Üç dakikalık soğuma safhasının sonuçları Şekil 4.9’da gösterilmiştir.

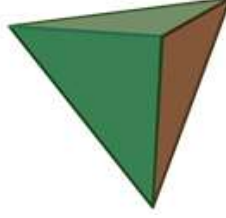


Şekil 4.9. Simülasyon sıcaklığının zamana göre değişimi ve test ölçüm sonuçları

Yapılan ölçüm sonucu ile yoğunlaşma hesaplanmadan yapılan zamana bağlı (transient) simülasyonun doğrulaması yapılmıştır.

4.1.5 Çözüm Ağının Yapısı

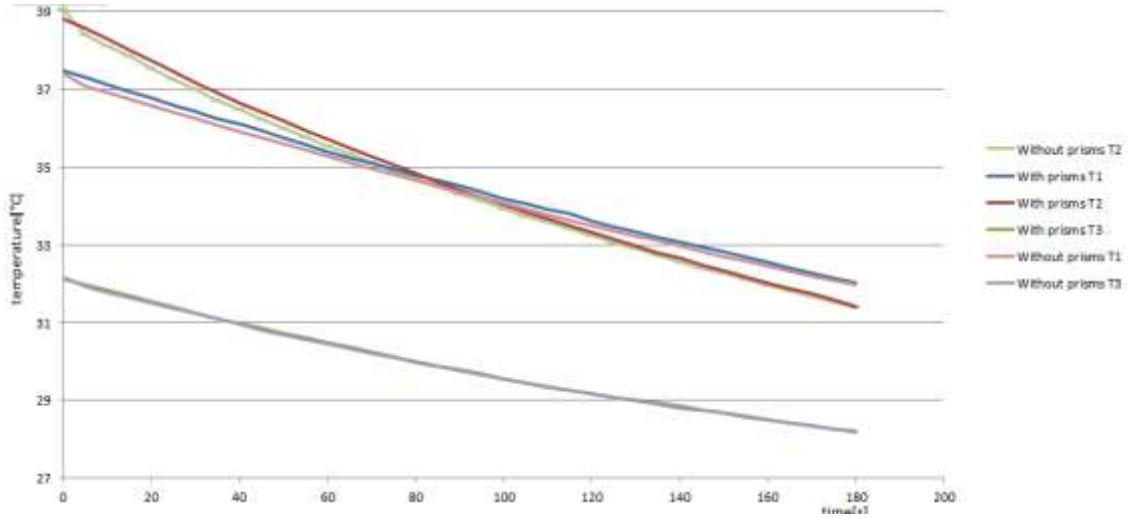
Bu çalışmada problemin çözümü için dört yüzlü olarak bilinen tetrahedron çözüm ağı oluşturulmuştur. Geometride tetrahedron veya dörtyüzlü, dört üçgen yüzden oluşan bir çokyüzlüdür (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Sayısal çözümde kullanılan eleman yapısı (Anonim 2009)

4.1.6 Prizma ve Prizmasız Sonuçlar

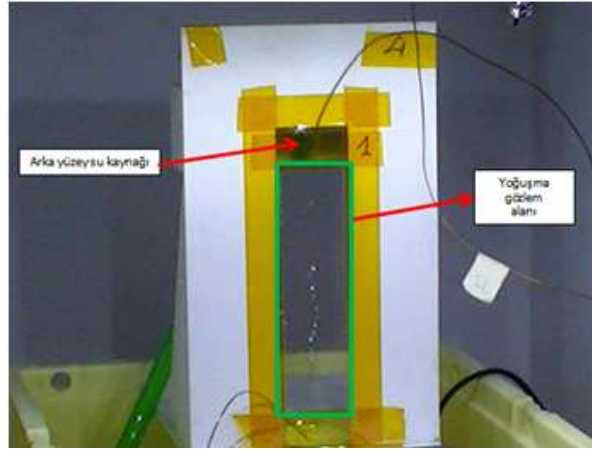
Oluşturulacak prizma çözüm ağının kalınlığının sınır tabaka kalınlığından az olmaması gerekmektedir. Kompleks geometrilere ağ yapısı oluştururken her zaman bu kalınlığı yakalamak mümkün olmamaktadır. ALRI tarafından yapılan çalışmada prizma eleman yapısının sıcaklık üzerine etkisi karşılaştırılmıştır ve laminer akış için prizmalı ve prizmasız eleman yapısının sonuçlarının farklı olmadığı görülmüştür (Şekil 4.11). Araç aydınlatma ürünlerinde daha çok laminer akış görüldüğü için prizma eleman ağ yapısının etkisi önemli ölçüde değildir.



Şekil 4.11. Prizma ile prizmasız ağ yapısının karşılaştırılması (Venchiarutti 2012)

4.2 Yoğuşma Simülasyon Validasyonu

Yoğuşma simülasyonlarının zamana bağlı olarak çözdürülmesinden dolayı çözüm süresi uzun sürmekte ve oluşturulan nod sayısı, radyasyon modellemesi gibi nedenlere bağlı olarak günlerce sürebilmektedir. Bu nedenle yoğuşma simülasyonu validasyonu için basit model üzerinden gidilmesi tekrarlı analizler için daha yararlı olacaktır. Bu nedenle bu çalışmada ALRI Ar-Ge merkezinde yapılan validasyon çalışması referans alınmıştır. Referans çalışmada (Venchiarutti 2012) Şekil 4.12’de gösterilen test düzeneği kullanılmıştır.



Şekil 4.12. ALRI validasyon test düzeneği (Venchiarutti 2012)

Yeşil çizgi ile gösterilen yüzey test sırasında oluşacak yoğuşmanın gözlemlendiği yüzeydir. Bu yüzeyin diğer tarafı, saydam plastik parçanın (yeşil çizgi ile gösterilen alan) yüzey sıcaklığını ortam çığ noktası sıcaklığının altına düşürmek amacıyla 3 dakika boyunca 5°C’lik soğuk ile soğutulmuştur. Oluşan yoğuşma kamera ile kaydedilmiştir. Oluşan yoğuşma Şekil’de gösterilen hassas terazi ile ölçülmüştür (Şekil 4.13). Ölçüm suya duyarlı bezin ilk ağırlığı ile yoğuşma yüzeyindeki suyun silinmesinden sonraki ağırlığının farkının alınması esasına dayanmaktadır.



Şekil 4.13. Testte kullanılan hassas terazi (Venchiarutti 2012)

4.2.1 Su ile Soğutma Safhasının Modellenmesi

Bir önceki sayfada belirtildiği gibi yüzey üç dakika boyunca soğuk su ile soğutulmaktadır. Bu süre zamana bağlı analizde çözdürüleceği zaman soğuk suyun yüzeye olan etkisinin de modellenmesi gerekmektedir. Bunun için üç farklı muhtemel çözüm yolu vardır. Bunlar:

- Su spreyleneşinin Ansys CFX’de modellenmesi
- Yüzeyde ince bir tabakada giriş ve çıkış sınır şartları kullanılarak su akışı modellemek.
- Suyun ıslattığı yüzeye ısı taşınım katsayısı girmek.

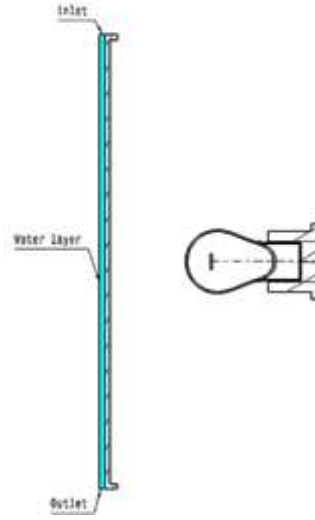
4.2.1.1 Su Spreyleneşinin ANSYS CFX’de modellenmesi

Bu yöntemde spreyleneşen su parçacık transfer modeli ile modellenmektedir. İlk bakışta yöntem bu çalışma için uygun gözükse de aşağıda belirtilen dezavantajlarından ötürü bu çalışma için uygun değildir.

- Hesaplama zamanının uzun sürmesi,
- Laminer akıştan ziyade türbülanslı akış modelleri ile çözülebilmesi,
- Su damlacıklarının ortalama çaplarının analizin başında girilmesinin gerekmesi ve bu değerin bilinmeyip deneysel olarak belirlenmesi gerekmesi

4.2.1.2 Yüzeyde su akışı modellemek

Şekil 4.14’den de görüleceği üzere, suyun uygulandığı yüzey küçük miktarda kalınlık yönünde ötelenerek suyun akışı için hacim modellenmiş olur. Bu yöntemin dezavantajı, oluşturulan hacmin ince bir tabaka olması ve modellenmesi için küçük boyutlarda çözüm elemanlarının oluşturulmasının gerekmesidir.



Şekil 4.14. Lens üzerinden su akışının modellenmesi (Venchiarutti 2012)

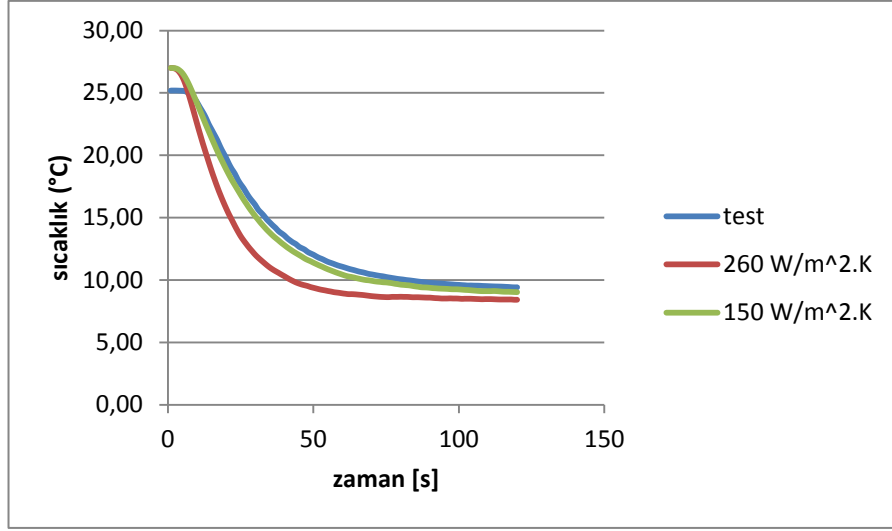
Oluşturulan çözüm ağ sayısının artacak olmasından dolayı özellikle stop lambası ve far gibi büyük hacimli parçaların yoğuşma analizi için uygun gözükmemektedir.

4.2.1.3 Suyun ıslattığı yüzeye ısı taşınım katsayısı girmek.

Parça üzerine soğuk su uygulandığında, yüzeyden suya ısı geçişi olacak ve yüzey sıcaklığı düşecektir. Yüzeye, meydana gelen ısı transferine uygun değerlerde taşınım katsayısı tanımlandığı takdirde çözüm ağ sayısını arttırılmadan kolay bir şekilde soğutma safhası modellenmiş olunur.

4.2.2 Yağmurlama için Isı Taşınım Katsayısının Tespiti

Şekilde gösterilen test numunesi ortam koşullarında lamba açık olacak şekilde şartlandırılmış ve sıcaklıkların rejim durumuna ulaşmasının ardından numunenin arka yüzeyine 5°C su tutulmuştur. Gözlem yüzeyine yerleştirilen termokupllar ile sıcaklığın değişimi gözlemlenmiştir. Daha sonra ANSYS CFX'de suyun temas ettiği yüzeye ısı taşınım katsayısı girilerek sıcaklık sonuçları karşılaştırılmıştır. Termokupllarla ölçülen sıcaklıklara en yakın sonucu veren ısı taşınım katsayısı belirlenmiştir. ALRI'deki Ar-Ge merkezinde yapılan çalışmada bu değer 150 W/m²K olarak belirlenmiştir (Şekil 4.15)



Şekil 4.15. Isı taşınım katsayısına göre sıcaklığın değişimi (Venchiarutti 2012)

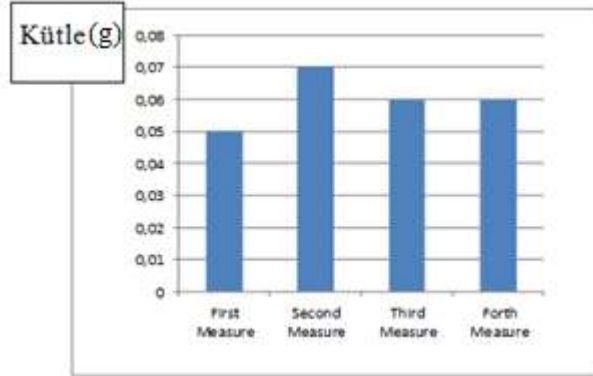
4.2.3 Prototip Üzerinde Yoğuşma Validasyon Testi

Test prensibi, belirli ortam sıcaklığı ve neminde koşullandırılan test numunesinin gözlem yüzeyinin (Şekil 4.12) arka yüzeyinden soğuk su akıtılarak gözlem yüzeyi sıcaklığının çığ noktası sıcaklığının altına düşmesinin sağlanması ve meydana gelecek yoğuşmanın ölçülmesine dayanmaktadır.

Test Adımları:

- 60 °C, % 40 bağıl nemde koşullandırma
- 2 dakika boyunca 5 °C suyun uygulanması
- 2 dakika sonunda meydana gelen yoğuşmanın ölçülmesi şeklindedir.

ALRI Ar-Ge Merkezi yaptığı çalışmada 2 dakikalık soğutma safhasından sonra gözlem yüzeyinde yoğuşan su kütlesi miktarını ölçmüş ve Şekil 4.16'deki sonuçları elde etmiştir.



Şekil 4.16. 2 dakika sonunda ölçülen su kütlesi miktarı (Venchiarutti 2012)

Test esnasında meydana gelen yoğuşma kamera ile kaydedilmiştir. (Şekil 4.17)

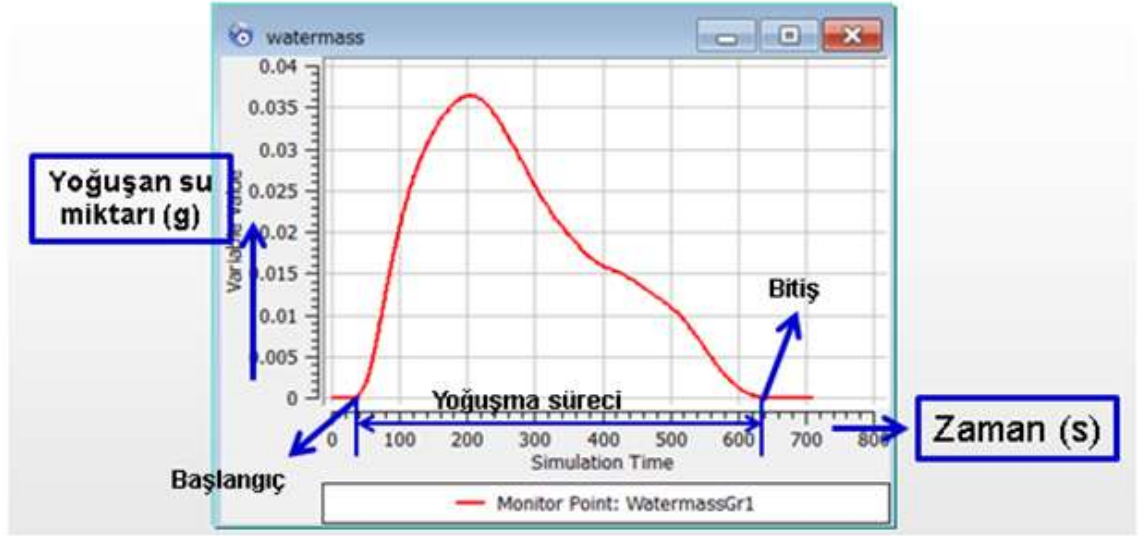


Şekil 4.17. Test esnasında yoğuşmanın zamana göre değişimi (Venchiarutti 2012)

Validasyon için yapılan test çalışmasının sonuçları yukarıda bahsedildiği gibidir. İleriki sayfalarda bahsedilen çözüm metotlarının sonuçları bu test sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

4.2.4 Yoğuşma Olayının ANSYS CFX’de modellenmesi

Bu çalışmada ANSYS CFX 12.1 kullanılmıştır. ANSYS’in bu versiyonunda yoğuşma olayı kullanıcı denklemleri ile çözülmektedir. Yoğuşmanın hesabında çözülmesi gereken değişkenler denklemleri ile beraber programa yazılarak çözdürülür. Yoğuşma simülasyonları zamana bağlıdır. Şekil 4.18’de örnek bir yoğuşma simülasyonunun yoğuşan su kütlesi-zaman grafiği gösterilmektedir.



Şekil 4.18. Çözüm esnasında su kütlesinin değişimi

Şekil 4.18’den de görüleceği üzere, su buharı simülasyonun *başlangıç* olarak isimlendirilen zamanında lens yüzeyi üzerinde yoğuşmaya başlamış ve yoğuşan su kütlesi *bitiş* olarak isimlendirilen noktada tamamıyla buharlaşmıştır. *Başlangıç* ve *bitiş* zaman dilimi aralığında su kütlesinin miktarı önce artmış ve sonra azalmaya başlamıştır. Tasarım aşamasında yapılan simülasyonlar müşteri şartnamelerine göre yapılmaktadır. Müşteri şartnamelerinin koşulları ağırdır ve yoğuşmanın oluşmamasından ziyade oluşup tekrar atılması üzerine odaklanmıştır. Oluşan buğulanmanın müşterinin istediği sürede tümüyle atılması gerekmektedir.

4.2.5 Yoğuşmanın sayısal çözümü ve çözümün validasyonu

4.2.5.1 Nümerik Çalışma ile Doğrulama

Problem

%30 izafi nemde ve 60 °C sıcaklıkta bulunan bir ortam içerisinde bulunan 50x50cm² boyutlarındaki alanında bir düşey duvar 20°C’de sabit kalmaktadır. Bu duvar üzerinde yoğuşan su miktarı ne kadardır? (Yamankaradeniz 2012)

Doğal Taşınım için;

$$\text{Gr.Pr} < 10^9 \text{ ise laminar } \quad \text{Nu} = 0.59 \times (\text{Gr.Pr})^{1/4}$$

$$\text{Gr.Pr} > 10^9 \text{ ise turbülanslı } \quad \text{Nu} = 0.13 \times (\text{Gr.Pr})^{1/3}$$

Çözüm 1:

Karakteristik uzunluk (L), akış doğrultusundaki uzunluktur (düşey doğrultudaki) uzunluktur. Bu durumda L=0,5 m’dir.

$$T_f = (T_\infty + T_w)/2 = (60+20)/2 = 40 \text{ °C için havanın özellikleri;}$$

$$\nu = 16.97 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \quad (\text{havanın kinematik viskozitesi})$$

$$D = 23.9 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \quad (\text{su buharının hava içindeki difüzyon katsayısı})$$

$T_w = 20^\circ\text{C}$ için, $P_d = 2.337 \text{ kPa}$, $P_{bw} = \Phi * P_d = 1 \times 2.337 = 2.337 \text{ kPa}$ (yüzeyde yoğuşma olduğu için bağıl nem (Φ)=1)

$$T_\infty = 60^\circ\text{C için, } P_d = 19.92 \text{ kPa, } P_{b\infty} = \Phi * P_d = 0.3 \times 19.92 = 5.976 \text{ kPa}$$

$$C_w = P_{bw} / (R_b \times T_w) = 2.337 / (0.46152 \times 293) = 0.0173 \text{ kg/m}^3$$

$$C_\infty = P_{b\infty} / (R_b \times T_\infty) = 5.976 / (0.46152 \times 333) = 0.039 \text{ kg/m}^3$$

Kütle transferinde $\text{Nu} \rightarrow \text{Sh}$; $\text{Pr} \rightarrow \text{Sc}$ olur.

$$\text{Gr} = \frac{g * (\rho_y - \rho_\infty) * L_c^3}{\rho_f * \nu^2}$$

$$20 \text{ °C} \rightarrow \rho = 1,2045 \text{ kg/m}^3$$

$$60 \text{ °C} \rightarrow \rho = 1,0595 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Gr} = 7,2 \times 10^8$$

$$\text{Sc} = \nu / D = 0,49$$

$\text{Gr.Sc} = (7,2 \times 10^8)(0,49) = 3,51 \times 10^8 < 10^9$ olduğu için akış laminar

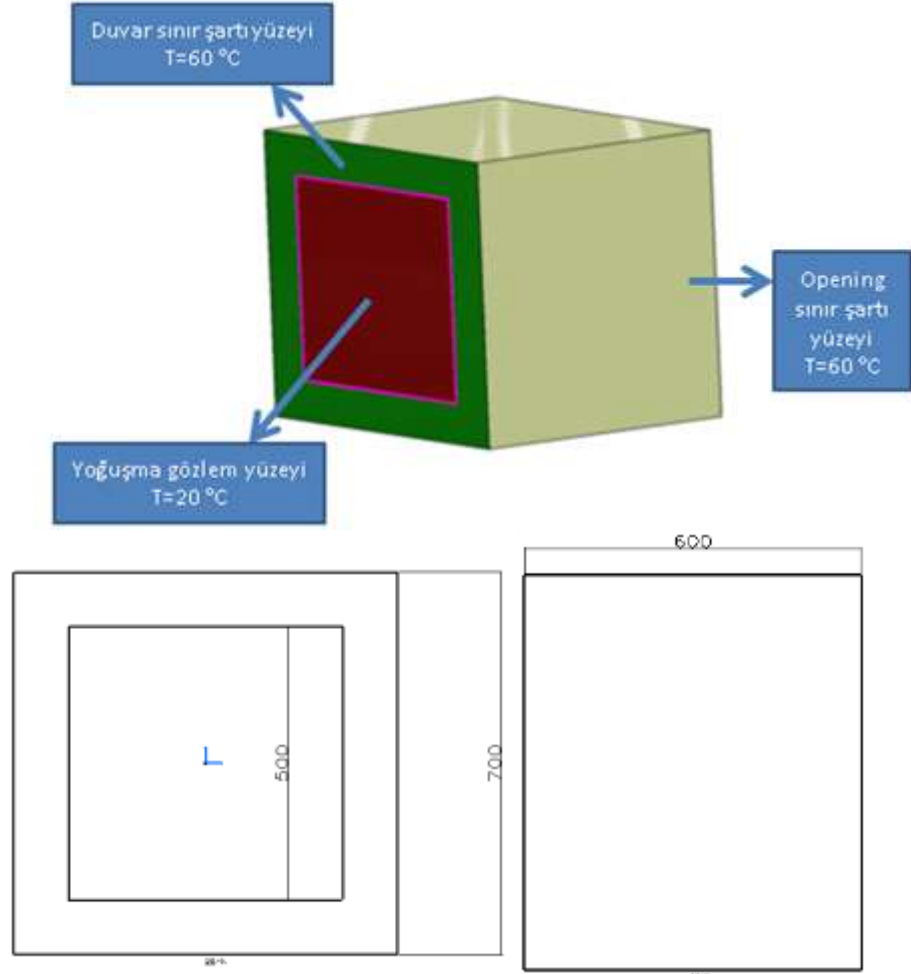
$$\text{Sh} = 0,59(\text{Gr.Sc})^{0,25} = 81 \rightarrow h_m = (\text{Sh.D})/L \rightarrow h_m = 0,00498 \text{ m/s}$$

$$m_b = h_m(C_w - C_\infty) = 0,00498(0,0173 - 0,039) \rightarrow m_b = 0,000107 \text{ kg/m}^2\text{s}$$

4.2.6 Problemin ANSYS CFX 12.1 ile çözümü

4.2.6.1 Problemin CATIA'da modellenmesi

Problemin çözümü için CATIA V5'de oluşturulan 3D model Şekil 4.19'da gösterilmektedir. Kırmızı yüzey yoğuşmanın gözlemlendiği $50 \times 50 \text{ cm}^2$ ölçülerindeki yüzeydir.



Şekil 4.19. Nümerik çalışma validasyon modeli

(3.55) Eşitliğindeki h_m (kütle geçiş katsayısı) değişkeni iki yolla hesaplanabilmektedir. Bunlar:

- Sherwood sayısının hesaplanmasıyla kütle geçiş katsayısının tespiti ($Sh=h_mL/D$)
- Lewis Bağıntısı yardımıyla ısı transferi ile kütle transferi arasında benzeşim yaparak kütle geçiş katsayısının tespiti.

Kütle transferinde Sherwood sayısı için Grashof hesaplanır

$$Gr = \frac{g*(\rho_y - \rho_\infty)*L_c^3}{\rho_f*\nu^2} \quad (4.1)$$

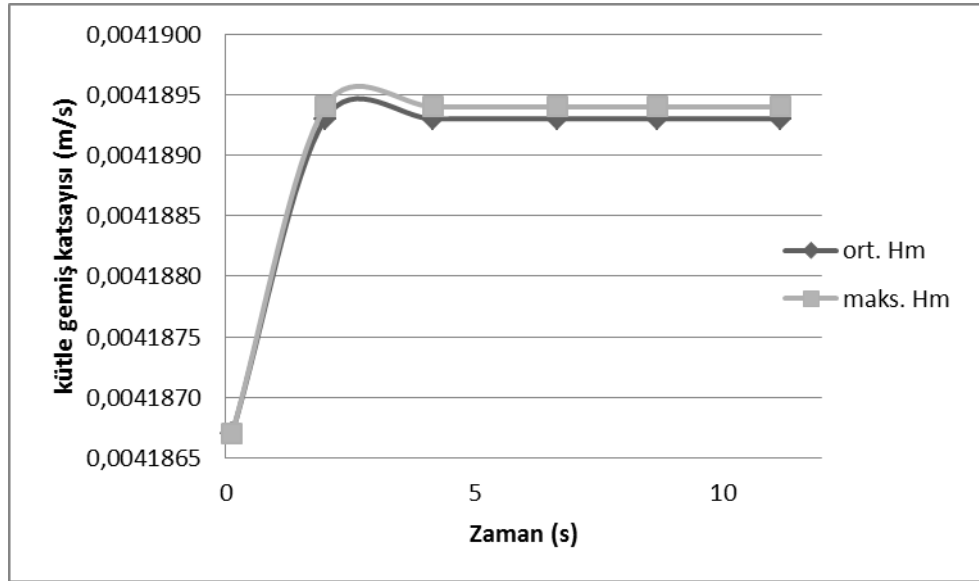
eşitliği kullanılırken Lewis bağıntısı için taşınım katsayısı (h) hesaplamasında Nusselt sayısı için

$$Gr = \frac{g*\beta*(T_y - T_\infty)*L_c^3}{\nu^2} \quad (4.2)$$

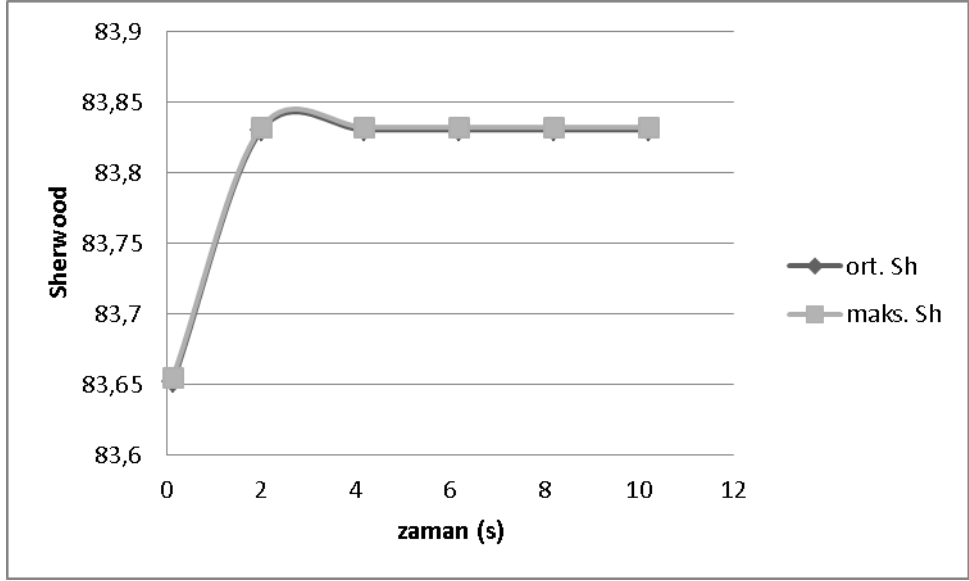
eşitliği kullanılmaktadır.

4.2.6.2 Kütle Transferi Parametreleri ile Çözümü

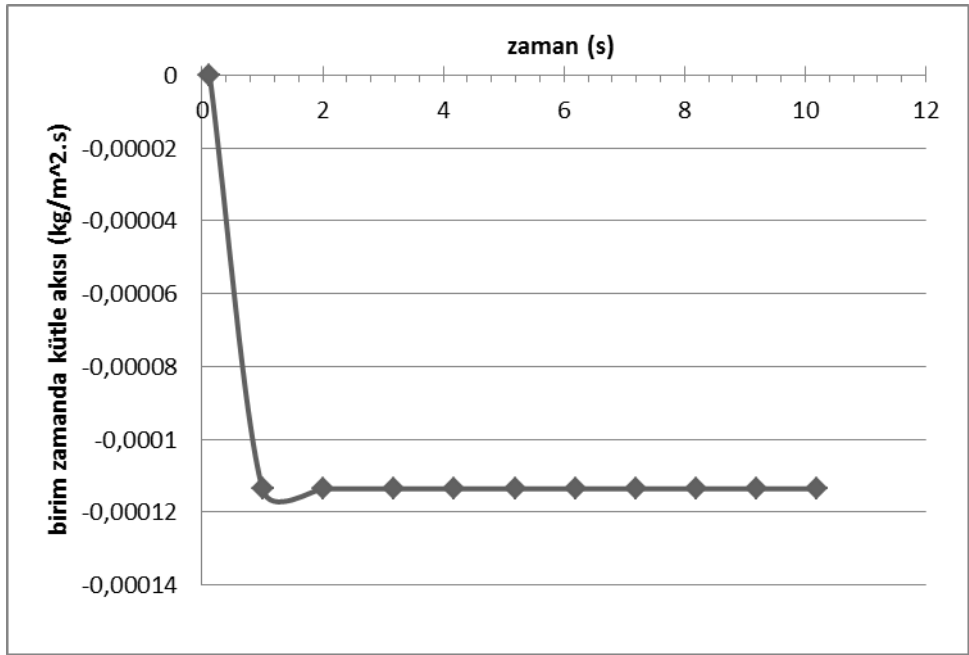
Problemin ANSYS yazılımında çözdürülmesiyle elde edilen sonuçlar:



Şekil 4.20. Kütle geçiş katsayısının zamana göre değişimi



Şekil 4.21. Sherwood sayısının zamana göre değişimi



Şekil 4.22. Birim zamanda birim alana transfer olan kütle miktarı

Çizelge 4.2’de de gösterildiği gibi ANSYS CFX ile elde edilen sonuçlar örnek problemden elde edilen sonuçlarla uyumludur. Simülasyon süresince ikinci saniyeden sonra değişkenlerin zamana göre değişmemesi simülasyonun zamandan bağımsız değerlere ulaştığını göstermektedir.

Çizelge 4.2. Simülasyon ile sayısal hesap sonuçlarının karşılaştırılması

	problem	ANSYS CFX
h_m	0,00498	0,00419
Sh	81	83,8
m	0,000107	0,000112

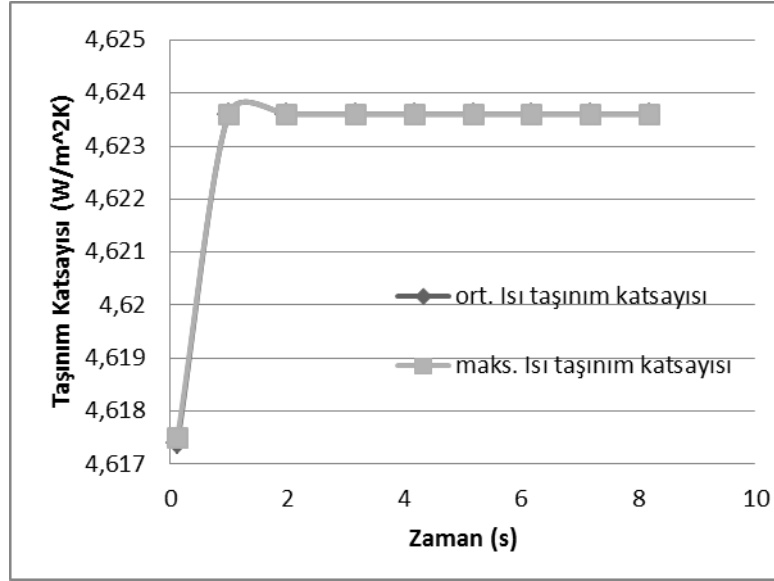
4.2.6.3 Isı transferi benzeşimi ile çözüm

Isı transferi ile benzeşimde çözüm için iki farklı Nusselt korelasyonuna göre taşınım katsayısı hesaplanmıştır ve simülasyon sonuçları sayısal çözüm ile karşılaştırılmıştır.

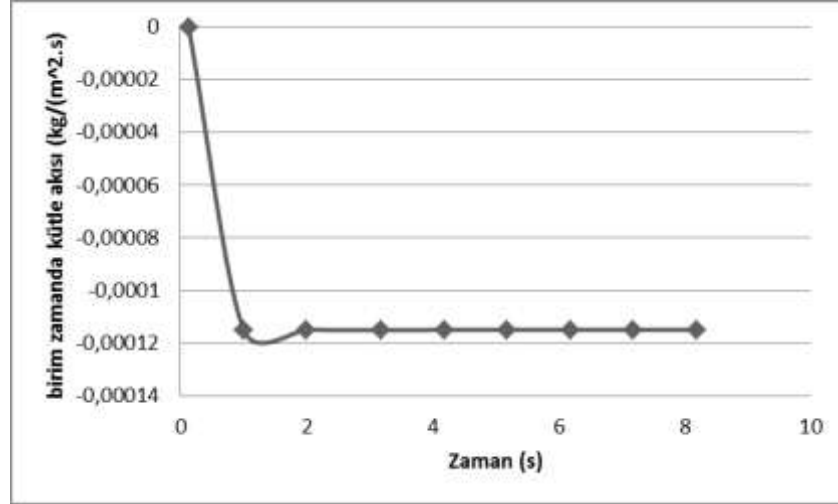
Kullanılan Nusselt korelasyonları;

- Sabit yüzey sıcaklığı dik levhada doğal taşınım ile ısı transferi McAdams Korelasyonu
- Sabit yüzey sıcaklığı dik levhada doğal taşınım ile ısı transferi Churchill ve Chu Korelasyonu

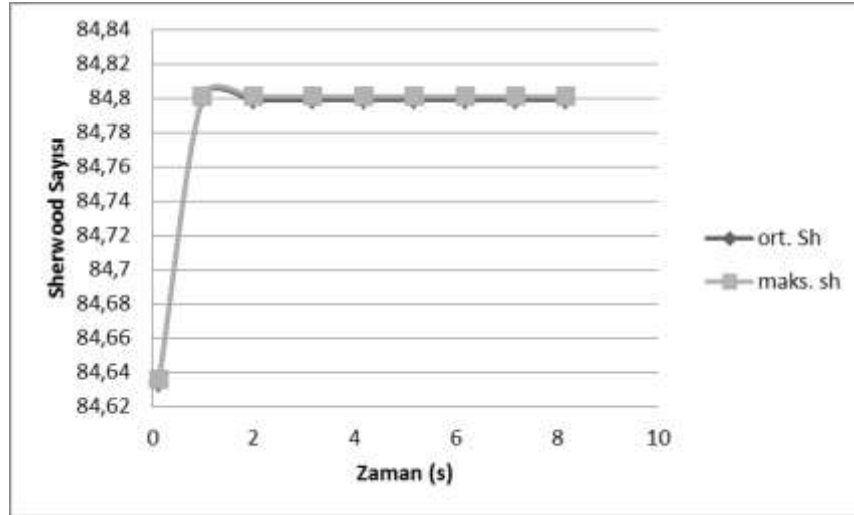
McAdams korelasyonuna göre yapılan simülasyon sonuçları aşağıda gösterilmektedir.



Şekil 4.23. Taşınım katsayısının zamana göre değişimi



Şekil 4.24. Birim zamanda birim alana transfer olan kütle miktarı



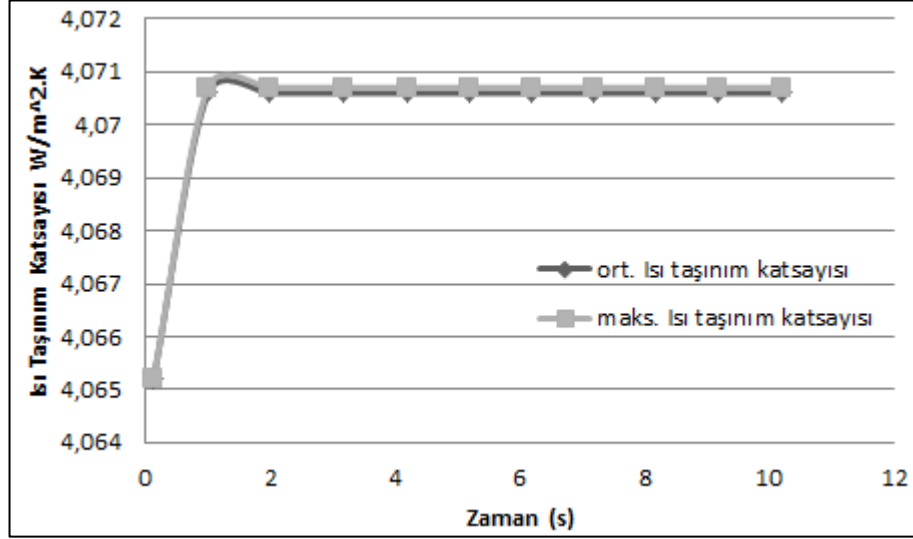
Şekil 4.25. Sherwood sayısının zamana göre değişimi

Nusselt sayısı için McAdams korelasyonu ile ısı ve kütle transferi benzeşimi yapılarak hesaplanan değerler problemde hesaplanan değerlere uyumlu çıkmıştır. Çizelge 4.3’de sonuçların karşılaştırılması gösterilmiştir.

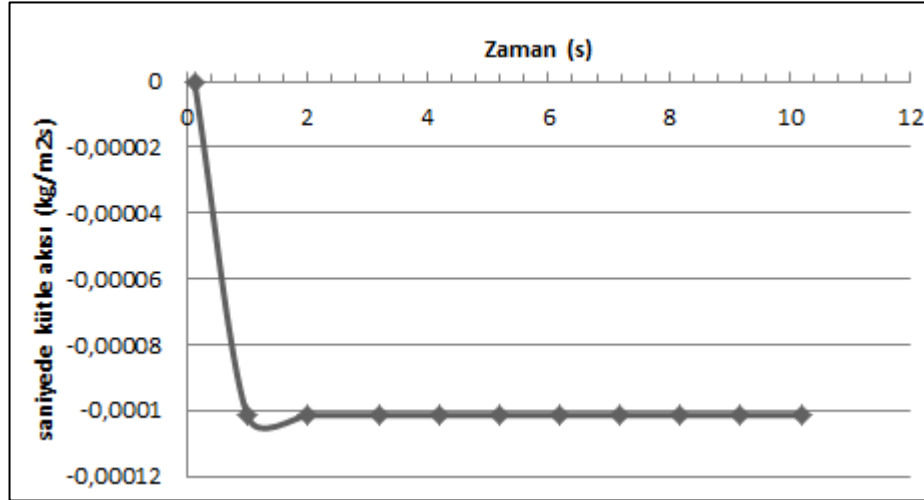
Çizelge 4.3. Simülasyon ile sayısal hesap sonuçlarının karşılaştırılması

	problem	McAdams Kor. (ANSYS CFX)
h	5,02	4,6
Sh	81	84
m	0,000107	0,000114

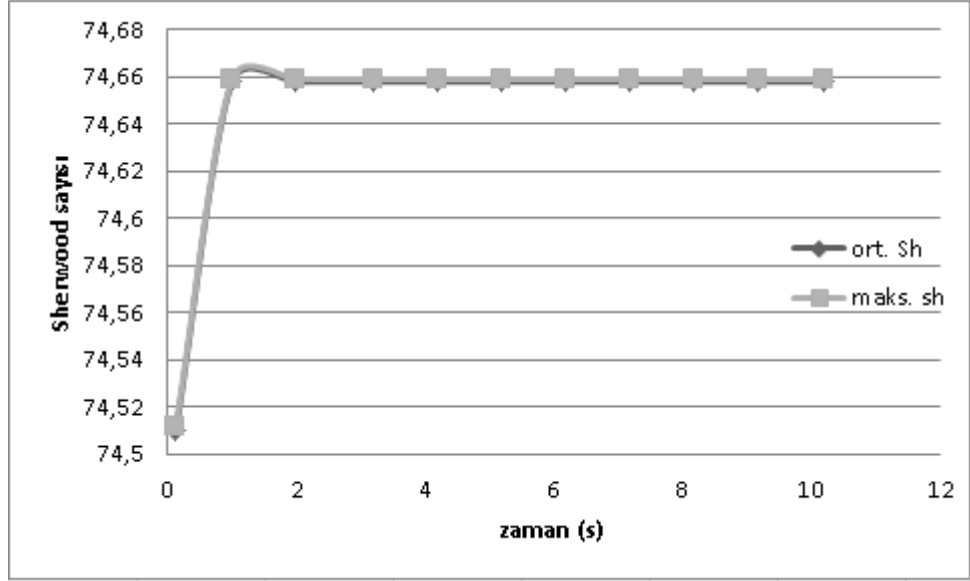
Bir diğerkorelasyonolanChurchillveChukorelasyonunagöreyapılmışolananalizin sonuçlarıdaMcAdamskorelasyonununsonuçlarıgibihesaplanandeğerlerleuyumlu çıkmıştır.



Şekil 4.26. Taşınım katsayısının zamana göre değişimi (Churchill-Chu korelasyonu)



Şekil 4.27. Birim zamanda yüzeye kütle akısı (Churchill-Chu korelasyonu)



Şekil 4.28. Sherwood zamana göre değişimi (Churchill-Chu korelasyonu)

Çizelge 4.4’de ANSYS CFX’ten elde edilen Churchill-Chu korelasyonunun sonuçlarının örnek problemin sayısal sonuçları ile karşılaştırılması gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Churchill-Chu korelasyonu sonuçlarının sayısal hesapla karşılaştırılması

	problem	Churchill-Chu kor. (ANSYS CFX)
h	5,02	4,02
Sh	81	74,6
m	0,000107	0,0001015

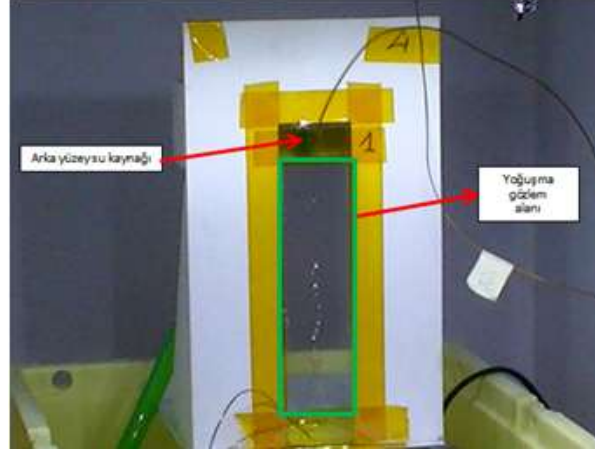
Çizelge 4.5’de McAdams ve Churchill-Chu korelasyonlarının karşılaştırılması gösterilmektedir.

Çizelge 4.5 McAdams ve Churchill-Chu korelasyonlarının karşılaştırılması

	problem	Churchill-Chu kor. (ANSYS CFX)	McAdams Kor. (ANSYS CFX)
h	5,02	4,02	4,6
Sh	81	74,6	84
m	0,000107	0,0001015	0,000114

4.2.7 Yoğuşma Modelinin Test çalışması ile Validasyonu

Yoğuşma modelinin deneysel olarak valide edilebilmesi için Şekil 4.29'da gösterilmiş olan deneysel çalışma kullanılmıştır.



Şekil 4.29. Yoğuşma testlerinde kullanılan basit model (Venchiarutti 2012)

Test prensibi, belirli ortam sıcaklığı ve neminde koşullandırılan test numunesinin gözlem yüzeyinin (yeşil bölge) arka yüzeyinden soğuk su akıtılarak gözlem yüzeyi sıcaklığının çiy noktası sıcaklığının altına düşmesinin sağlanması ve meydana gelecek yoğuşmanın ölçülmesine dayanmaktadır.

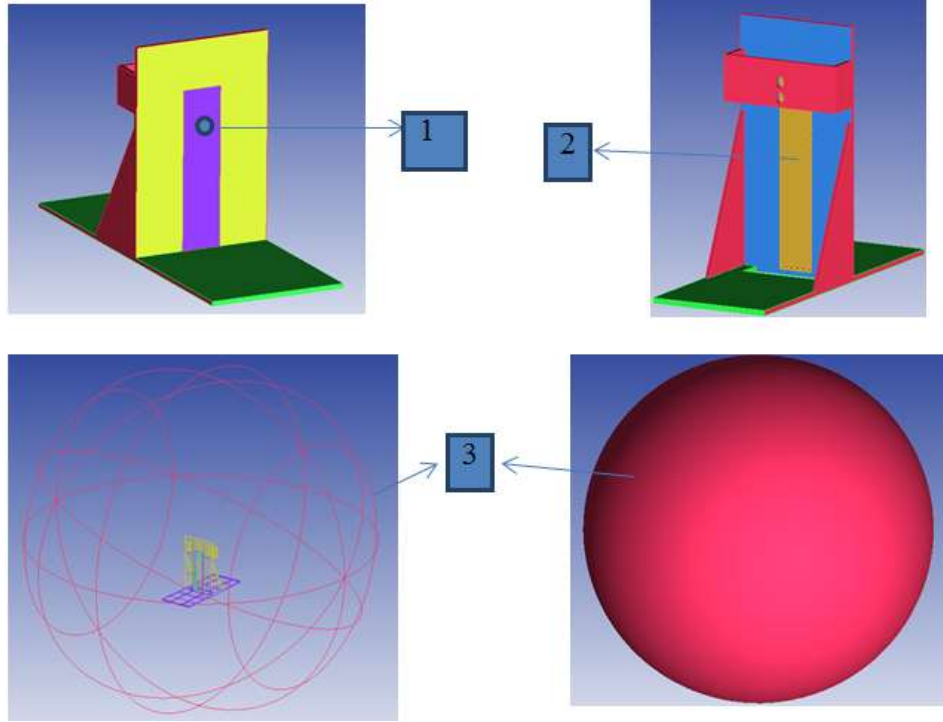
Test Adımları:

- 60 °C, % 40 bağıl nemde koşullandırma
- 2 dakika boyunca 5 °C suyun uygulanması
- 2 dakika sonunda meydana gelen yoğuşmanın ölçülmesi

şeklindedir.

4.2.7.1 Bilgisayar Ortamında Prototipin Modellenmesi ve Sınır Şartları

Deneysel çalışmada kullanılmış olan prototipin ANSYS CFX için hazırlanmış 3D modeli ve model üzerindeki sınır şartları Şekil 4.30'da gösterilmiştir. Katı modelleme için CATIA, çözüm ağı için ANSYS ICEM CFD ve sınır şartlarının tanımlanması ve çözüm için ANSYS CFX kullanılmıştır.



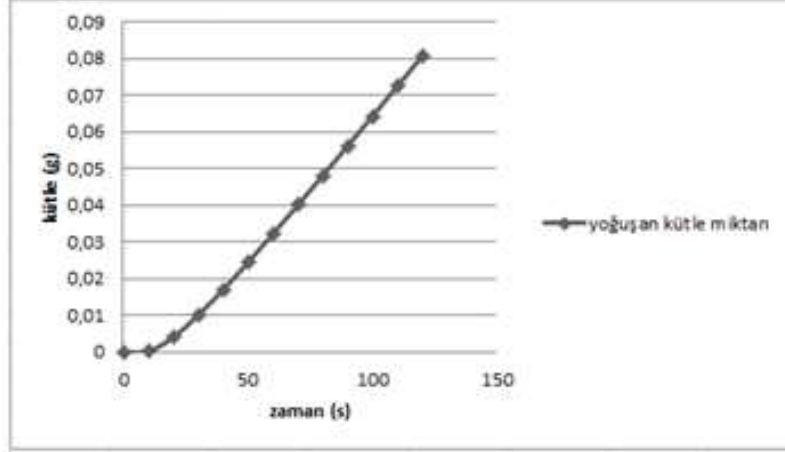
Yüzey Numarası	Açıklama
1	Yoğuşma gözlem yüzeyi
2	5 °C su ile su soğutması için Isı taşınım katsayısı (150 W/m ² K)
3	Ortam koşullarının tanımlanması için opening sınır şartı (60 °C %40 nem)

Şekil 4.30. Prototipin 3D modeli ve sınır şartları

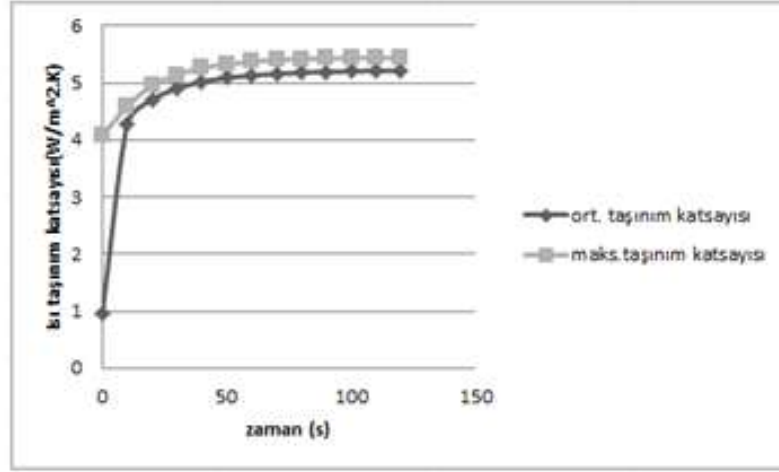
Şekil 4.15’de gösterildiği gibi yapılmış olan deneysel çalışmada soğutma suyunun etkisini modellemek için taşınım katsayısı değeri 150 W/m²K olarak belirlenmiştir.

4.2.7.2 Deneysel Çalışmanın ANSYS CFX’de Çözümü

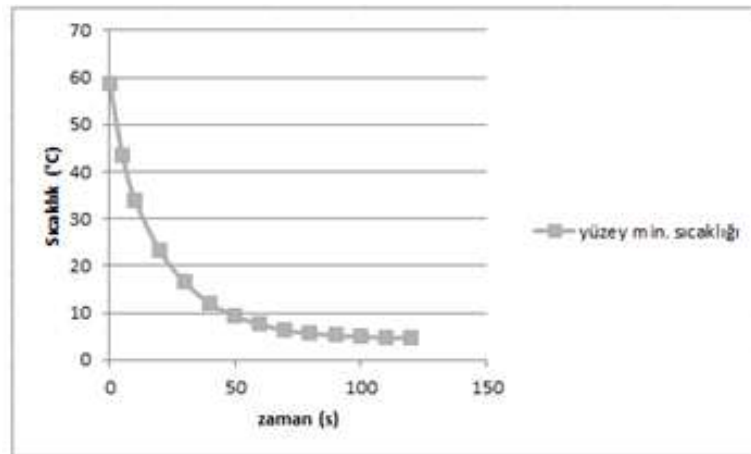
ANSYS CFX’e bağıl nem yerine özgül nem değeri başlangıç şartı olarak girilebilmektedir. Bunun nedenle yoğuşma simülasyonu modellenirken sıcaklık ve bağıl nem değerine karşılık gelen özgül nem psikometrik diyagramdan okunur. Ölçümler sonucunda ortalama kütle değeri 0,06 g olarak belirlenmişti. (Şekil 4.16). Prototipin bilgisayar ortamındaki modeli ile yoğuşma analizi yapılmış ve iki dakika sonunda yoğuşan su kütlesi miktarı 0,08 g olarak hesaplanmıştır. (Şekil 4.31). Üç boyutlu modelin McAdams korelasyonuna göre çözülmesi durumunda elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir.



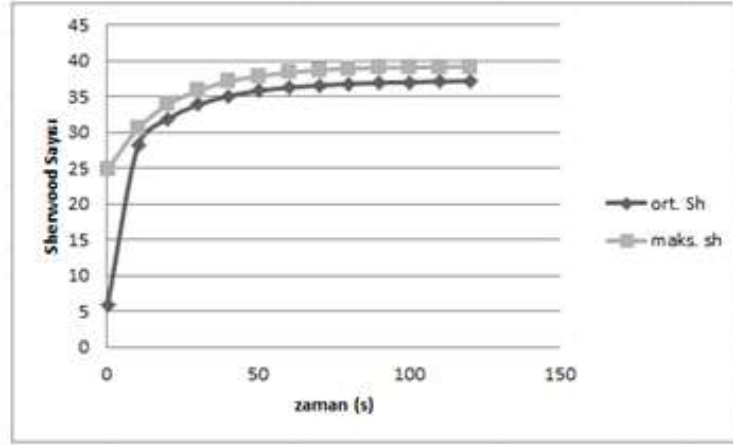
Şekil 4.31. Yüzeğe yoğuşan kütle miktarı



Şekil 4.32. Isı taşınım katsayısının zamana göre değişimi



Şekil 4.33. Yoğuşma gözlem yüzeyindeki minimum sıcaklığın zamana göre değişimi



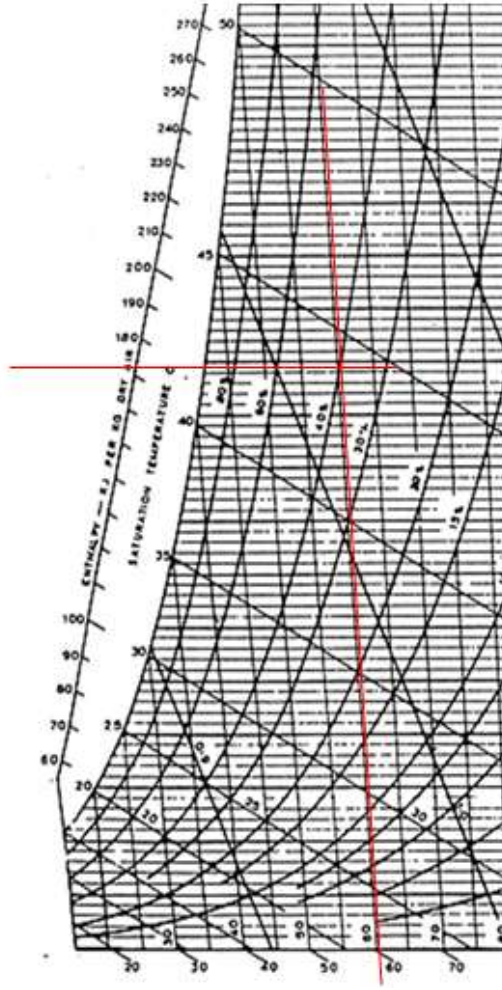
Şekil 4.34. Sherwood sayısının zamana göre değişimi

Çizelge 4.6'dan görüleceği üzere yüzeye su buharı geçişi altıncı saniyeden itibaren başlamaktadır ve altıncı saniyede yüzey üzerindeki minimum sıcaklık 41,1°C olarak hesaplanmaktadır.

Çizelge 4.6. Zamana göre kütle transferi miktarı ve sıcaklık değerleri

zaman	kütle transferi	sıcaklık
4,9375	0	43,8
5,1875	0	43,2
5,6875	0	42,2
6,1875	-1,43E-05	41,1
6,6875	-2,61E-05	40,0
7,1875	-3,66E-05	39,0
7,6875	-4,49E-05	38,0

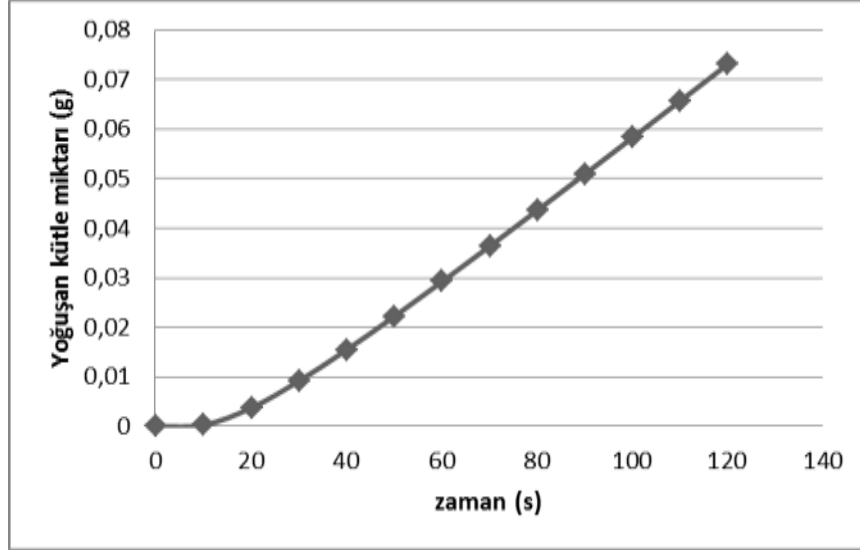
Çiğ noktası sıcaklığı psikometrik diyagram ile kontrol edildiğinde yaklaşık olarak 42°C olarak okunmaktadır. (Şekil 4.35)



Şekil 4.35. Psikometrik diyagramda çığ noktası sıcaklığı

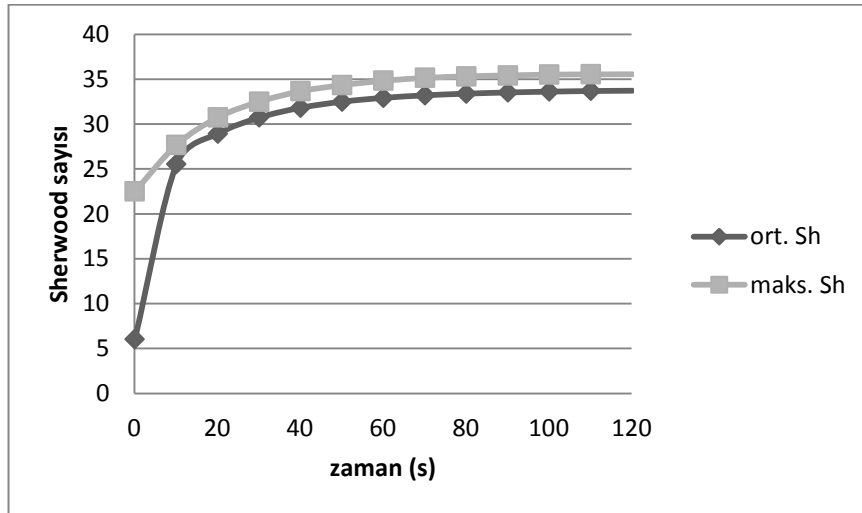
Bu sonuçlara göre oluşturulan modelde, yoğuşmanın başladığı sıcaklık, psikometrik diyagramdan okunan doyma sıcaklığı ile aynıdır.

Isı transfer katsayısının hesaplanmasında bir diğer ifade olan Churchill-Chu korelasyonuna göre de validasyon yapılmıştır ve iki dakikanın sonunda yoğuşan kütle miktarı 0,074 g bulunmuştur.



Şekil 4.36. Churchill-Chu korelasyonuna göre prototipte yoğuşan kütle miktarı

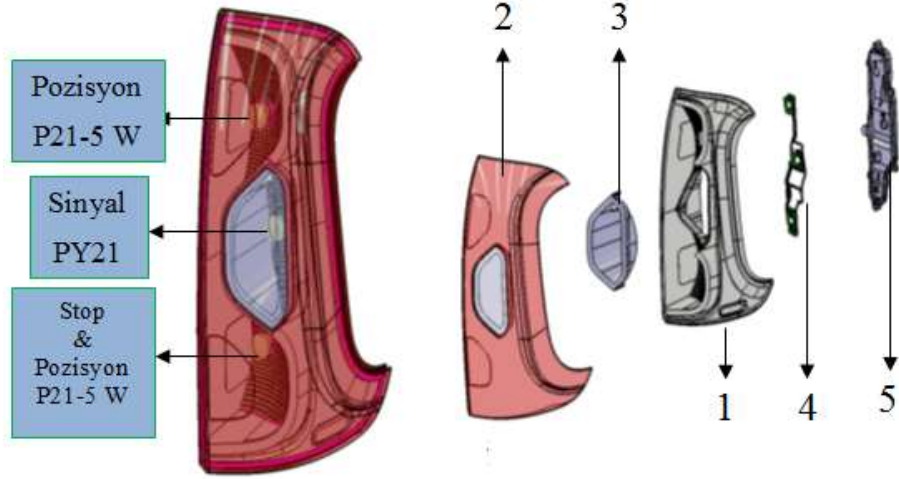
McAdams korelasyonunda yoğuşan kütle miktarı 0,08 g olarak hesaplanmıştır. Churchill-Chu korelasyonu 0,074g değeriyle test sonucuna Mc.Adams korelasyonundan daha yakın sonuç vermiştir. Aynı şekilde McAdams korelasyonunda hesaplanan maksimum sherwood sayısı 38 iken Churchill korelasyonuna göre 35 hesaplanmıştır (Şekil 4.37).



Şekil 4.37. Churchill-Chu korelasyonuna göre Sherwood sayısı

4.2.8 Stop Lambasında Yoğuşma Simülasyonu

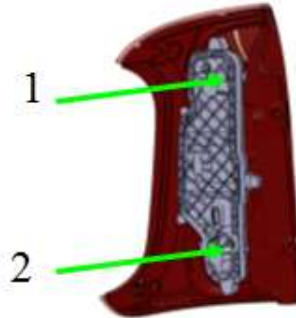
Yoğuşma analizi ve testi yapılan stop lambasının genel özellikleri Şekil 10'da gösterilmiştir.



Komponent	Malzeme
1-Gövde	PC/ABS
2-Dış Lens	PMMA
3-Reflektör	PC
4-Baskı devresi	Galvanize Çelik
5-Ampul Tutucu	PP GF 30
Stop&Park Fonksiyonu	P21-5W
Sinyal Fonksiyonu	PY21W

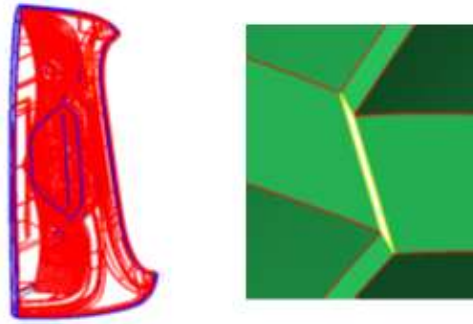
Şekil 4.38. Stop lambasının genel özellikleri

Stop lambası üzerinde 2 adet havalandırma tapası bulunmaktadır. Havalandırma deliklerinin konumları Şekil 4.39' de gösterilmektedir.



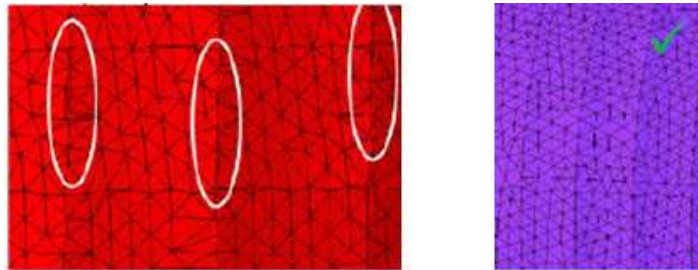
Şekil 4.39. Havalandırma deliklerinin konumları

Tasarım programında (CATIA) tasarlanan geometrinin ANSYS ICEM CFD yazılıma aktarılmasında yüzeylerin bir kısmı birleşmemiş olarak gözükebilir. Sağlıklı çözüm ağı için transfer edilen geometrinin gözden geçirilmesi gerekmektedir. ANSYS yazılımının “topology” araç çubuğu model transferi sırasında oluşan hataların giderilmesinde kullanılmaktadır. Yazılım kullanıcıya renklerle yardımcı olmaktadır. Aşağıdaki şekilde modelin aktarıldıktan sonra yüzey kontrollerinin yapılmış hali gözükmektedir. Burada kırmızı çizgiler açık olmayan yani yüzeylerin kayıp meydana getirmeden transfer edildiğini, mavi çizgiler kapalı ancak üç yüzeyin bir kenarı paylaştığını ve sarı çizgiler de model aktarıldıktan sonra veri kaybının olduğu bölgeleri göstermektedir (Şekil 4.40).



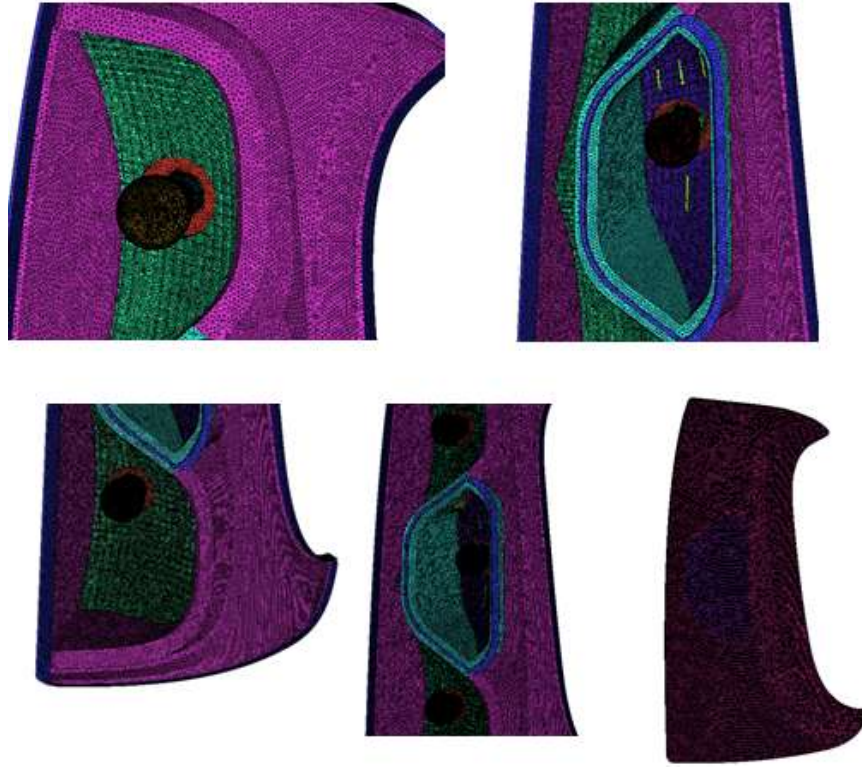
Şekil 4.40. Çözüm ağındaki elemanlar arası boşluk hatası

Model transferi esnasında oluşan veri kayıplarının yazılımın ilgili komutları ile tamir edilmesi gerekmektedir. Çünkü sayısal çözümün doğru olması için oluşturulan elemanların kalitesinin yüksek olması gerekmektedir. Araç dış aydınlatma sistemlerinde çözüm ağı oluşturulmasında en çok problem yaşanan bölge optik yüzeylerdir. Optik yüzeylerdeki dar kesitler ve küçük yüzeyler nedeniyle çözüm ağı oluşturulurken daha küçük elemanlar kullanılmalıdır. (Şekil 4.41).



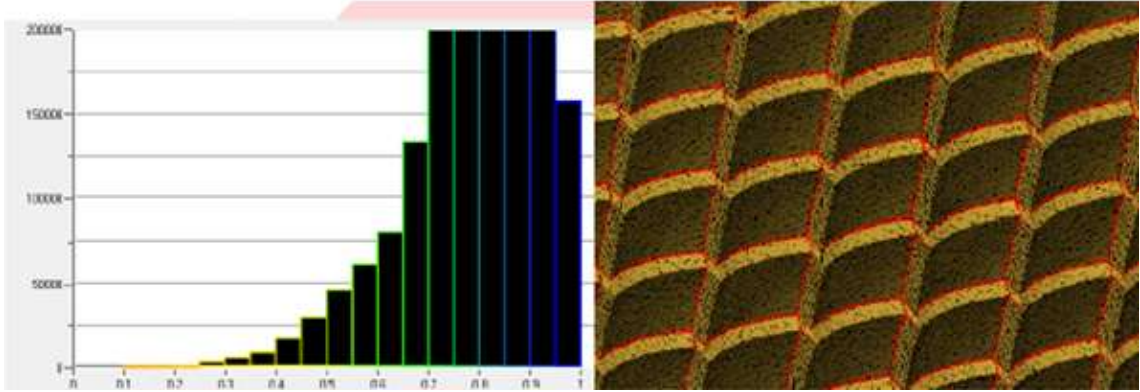
(a) Kötü (b) İyi
Şekil 4.41. Optik yüzeyde oluşturulmuş çözüm ağı

Yoğuşma simülasyonu için stop lambasında oluşturulmuş çözüm ağından görüntüler Şekil 4.42’de gösterilmektedir.



Şekil 4.42. Oluşturulan ağ yapısı

Belirlenen çözüm ağı parametreleri ile istenilen yüksek kalitede çözüm ağı oluşturulmuştur. Elemanların kalite dağılımları 0'dan 1'e yaklaştıkça kalite artar, Şekil 4.43' de optik yüzey için oluşturulmuş çözüm ağı gösterilmektedir.



Şekil 4.43. Oluşturan çözüm ağının kalite dağılımı

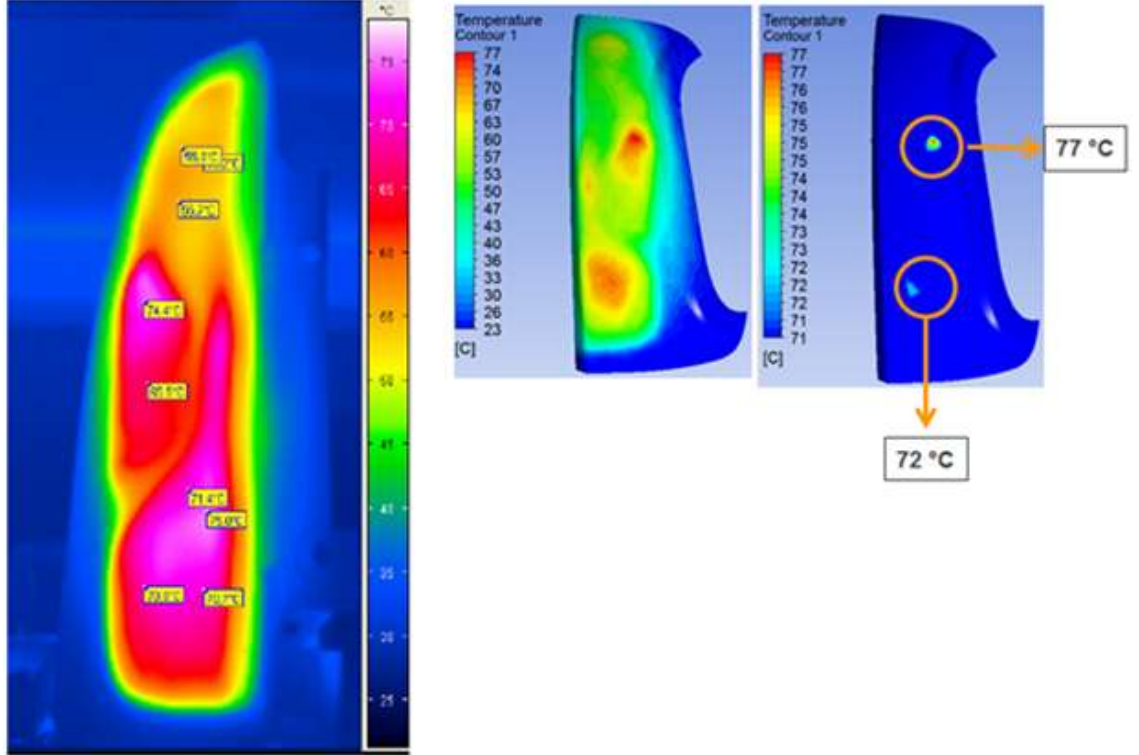
Stop lambasının yoğuşma analizi için uygulanan sınır şartları Çizelge 4.7'de verilmiştir. Stop lambası 23 °C %70 bağıl nemde 8 saat şartlandırıldıktan sonra lens yüzeyine 3 dakika boyunca 5 °C'de soğuk su tutulmuştur. Suyun etkisi ile lensin iç yüzey sıcaklığının stop lambası içindeki nemli havanın çığ noktası sıcaklığının altına düşmesi ile lens iç yüzeyinde yoğuşma oluşmaya başlamıştır. 3 dakikalık su tutma fazından 90 saniye buğunun atılması beklenmiş ve 270 saniye sonundaki yoğuşma dağılımı test

sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Test süresince sinyal ve pozisyon fonksiyonları çalıştırılmıştır.

Çizelge 4.7. Stop lambası yoğuşma analizi sınır şartları

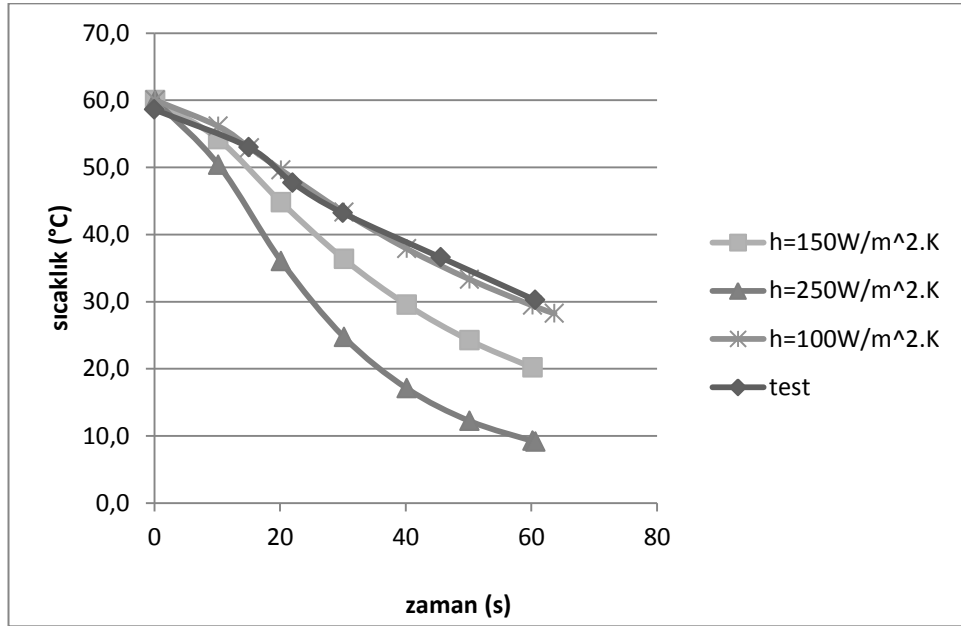
	Ortam sıcaklığı	Bağıl Nem (%)	Süre	Lamba
Koşullandırma	23°C	70	8 saat	Açık
Soğuma	23°C	70	3 dakika	Açık
Buğunun atılması	23°C	70	90 saniye	Açık

Sekiz saatlik süre boyunca fonksiyonların açık olmasından ötürü stop lambası içindeki sıcaklık, basınç ve hız değerleri farklılık gösterecek ve homojen bir dağılım olmayacaktır. Bu nedenle zamandan bağımsız analiz yapılmıştır. Koşullandırma fazı sonrasında stop lambası üzerindeki sıcaklık dağılımının, test sonuçları ile karşılaştırılması Şekil 4.44'te gösterilmiştir. Şekil 4.44'ten de görüleceği üzere sinyal bölgesinde maksimum sıcaklık 74 °C, stop bölgesinde ise 75 °C çıkmıştır. Bu sonuçlara göre test ve simülasyon sıcaklıklarında %4 hata mevcuttur.



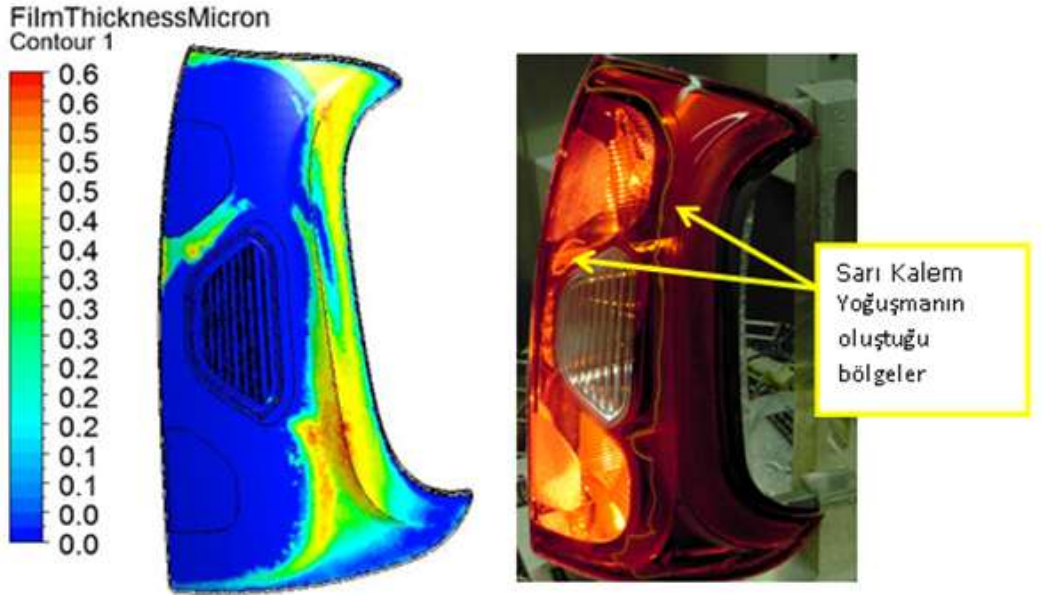
Şekil 4.44. Koşullandırma fazı sıcaklık dağılımı ve test sonuçları

Araç aydınlatma sistemlerindeki yoğuşma problemini çözmek için oluşturulmuş modelin doğrulama çalışmaları önceki bölümlerde gösterilmişti. Validasyon çalışmaları ile doğruluğu arttırılan model ile stop lambasında yoğuşma simülasyonu yapılmıştır. Bir önceki bölümde koşullandırma fazı için yapılan çalışmalar başlangıç şartlarını oluşturmuştur. Stop lambasında yapılan bu simülasyonunda ilk olarak üç dakikalık su tutma ve sonrasında doksan saniye bekleme safhaları sonucunda oluşan yoğuşma hesaplanmıştır. Lens yüzeyinde bir çok noktada sıcaklık ölçümü yapılarak 5 °C'lik soğutma suyunun modellenmesi için uygulanacak ısı taşınım katsayısı stop lambası için 100 W/m²K olarak belirlenmiştir. Şekilde soğutma esnasında termokupl ile ölçülen sıcaklığı en uygun şekilde yakalayan ısı taşınım katsayısı değeri ve diğer taşınım katsayısı değerlerinin karşılaştırılması gösterilmektedir.



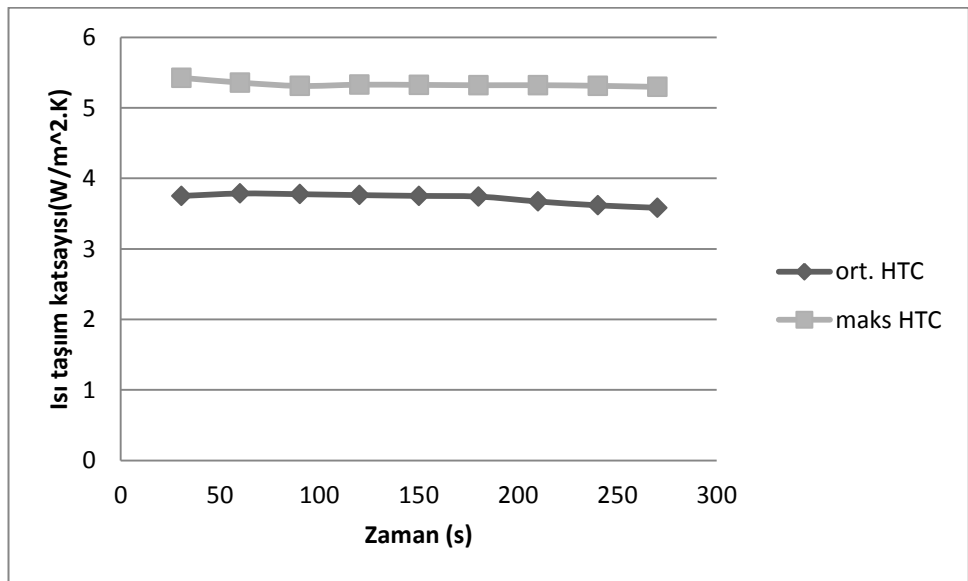
Şekil 4.45. Stop lambasında 5°C su için taşınım katsayısı

Çizelge 4.7’de gösterilmiş olan koşullar ile yapılmış olan deneysel çalışma ile simülasyon sonuçları karşılaştırıldığında hesaplanan yoğuşma dağılımının test sonucu ile benzer konumlarda çıktığı görülmektedir. Şekil 4.46’da sonuçların karşılaştırması gösterilmektedir.



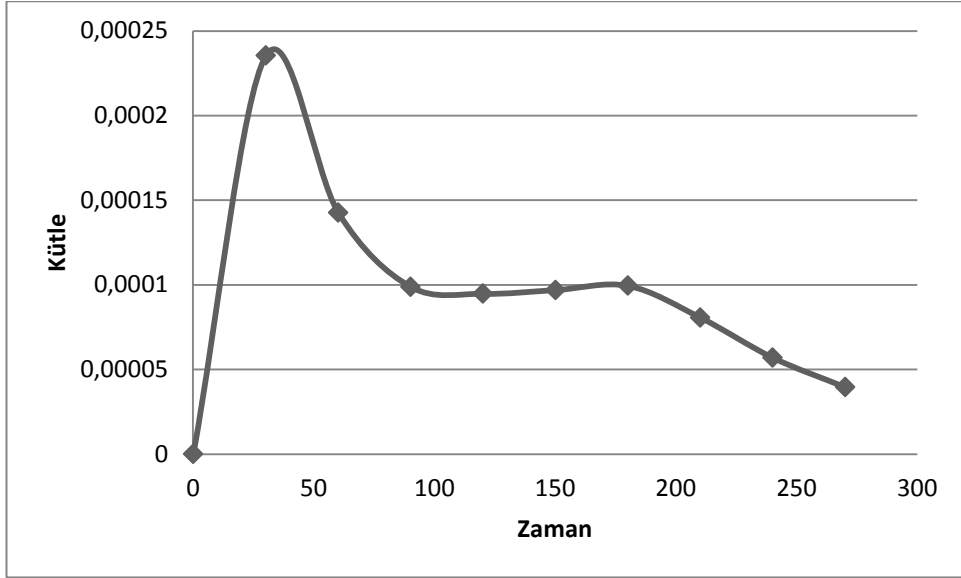
Şekil 4.46. Yoğuşma dağılımının test sonucu ile karşılaştırılması

Şekil 4.46'daki sol taraftaki resim simülasyon sonucunu göstermektedir. Resimde kabaca film tabaka kalınlığı gösterilmektedir. Film tabaka kalınlığı birim yüzeye yoğuşan su kütesinin yoğunluğa bölünmesi ile hesaplanmıştır. Mavi bölgeler yoğuşmanın oluşmadığı ve kırmızıya doğru giden renklerle yoğuşan su buharının oluşturduğu film tabakanın kalınlığına göre yoğuşma bölgelerini göstermektedir. Test sonucu resminde ise yoğuşma bölgeleri sarı kalem ile belirlenerek sonuçların karşılaştırılmasında kullanılmıştır. Şekil 4.47'de ısı taşınım katsayısının analiz süresince zamana göre değişimi gösterilmiştir.



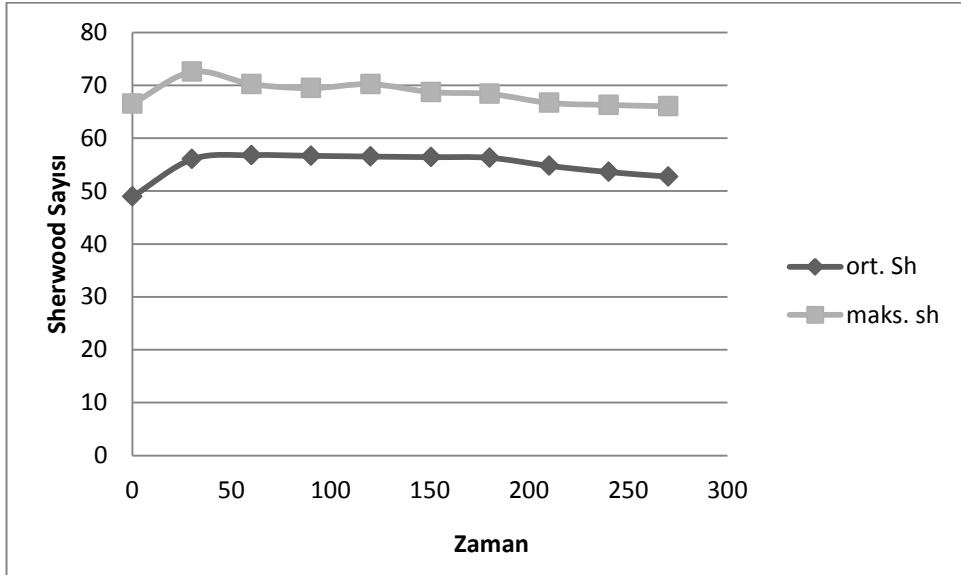
Şekil 4.47 Stop lambasında ısı taşınım katsayısının zamana göre değişimi

Simülasyon süresince lens yüzeyi üzerinde yoğuşan su buharı miktarının zamana göre değişimi Şekil 4.48’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.48. Lens yüzeyinde yoğuşan su buharı miktarı

Maksimum ve ortalama sherwood sayısının zamana göre değişimi Şekil 4.49’deki gibidir.



Şekil 4.49. Ortalama ve maksimum Sherwood sayısı değerleri

Magneti Marelli Mako A.Ş Ar&Ge merkezinde geliştirilmiş olan bu yoğuşma modeli tasarım aşamasında Fiat Doblo, Fiat Jeep, Fiat Ducato aydınlatma projelerinde yoğuşma riskinin hesap edilebilmesi için uygulanmıştır. Yapılan simülasyon sonuçları ile projeler yoğuşma problemine karşı daha sağlıklı yürütülmüştür ve değişikliklerin kalıplarda yapılmasının ve proje maliyetinin artmasının önüne geçilmiştir. Seri öncesi tasarım süreci devam eden stop lambasının prototipinde simülasyon ve test sonuçları karşılaştırılmış ve simülasyondaki riskli bölgeler ile test sonucunda prototipteki yoğuşma bölgeleri benzer çıkmıştır (Şekil 4.50).



Şekil 4.50. Stop lambasında simülasyon ve test sonuçlarının karşılaştırılması

5 SONUÇ

Bu çalışmayla araç dış aydınlatma sistemlerinin tasarımında önemli problem olan yoğuşma problemi için HAD kullanılarak çözüm modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model tasarım aşamasındaki projelerde uygulanmış ve projelerdeki yoğuşma problemleri tespit edilmiş ve ürün henüz bilgisayar ortamında iken değişiklik yapılmış ve yoğuşma problemi kaynaklı kalıp maliyetlerinin önüne geçilmiştir.

Geliştirilen modelin temeli ısı ve kütle transferine dayanmaktadır. Su buharının mutlak nemi, doyma mutlak nemle karşılaştırılmıştır ve doyma mutlak neminden büyük olması durumunda yüzeyde yoğuşma olduğu kabul edilmiştir. Yüzeğe yoğuşan su kütlesinin hesaplanabilmesi için yüzeydeki kütle geçiş katsayısının hesaplanması gerekmektedir. Yapılan çalışmalarda kütle geçiş katsayısı hem kütle transferi bağıntıları ile hem de Lewis bağıntısı kullanılarak ısı transferi benzeşimi ile hesaplanmıştır. Isı transferi benzeşimi yapılırken yüzeydeki ısı taşınım katsayısı için sabit yüzey sıcaklığındaki dikey levhada laminer doğal taşınım korelasyonlarından McAdams ile Churchill ve Chu bağıntıları kullanılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Her iki korelasyon da test sonuçlarına yakın değerler vermesine rağmen Churchill ve Chu'nun bağıntısının daha yakın sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Özellikle türbülanslı akışlarda yüzeye yakın bölgelerdeki hız profillerinin doğru hesaplanması için kullanılan prizma elemanların laminer akış için çok da etkili olmadığı ve prizmasız yeteri kadar küçük elemanlarla oluşturulmuş çözüm ağı ile de kabul edilebilir sonuçlar elde edilmiştir.

Yoğuşma simülasyonunun doğruluğunu arttırmak için ısı taşınım katsayısının hesaplanması için ampirik ifadeler yerine sınır tabaka akışına bağılı bir katsayı belirlenerek ya da taşınım, ışıınım ve iletim eşitlikleri kullanılıp taşınım katsayısı hesaplanarak sonucun doğruluğu artırılabilir.

Bu çalışmanın tasarım aşamasındaki projelere uygulanmasıyla bilgisayar destekli mühendisliğin maliyetlerin azaltılması üzerinde önemli etkisinin olduğu bir kez daha görülmüştür.

KAYNAKLAR

Anonim, 2006. Motorlu Araçlar Teknolojisi Aydınlatma ve Uyarı Sistemleri. MEGEP Dökümanları, T.C. MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI, 2006, Ankara

Anonim, 2009. ANSYS CFX Intro 12 Training Lectures, Heat Transfer, Chapter 1,8,10, USA

Anonim, 2010. ANSYS CFX 12.1 Solver Modeling Guide.

Anonim, 2010. ANSYS CFX 12.1 Solver Theory Guide.

Aoki, T., Okamoto, S., INA, O., Sugiura, A., Narita, R. 2005. Condensation Simulation for ECU Package. Denso Technical Review, Vol 10 No.2. Japan

Başyazıcı, İ.U. 2007. İki Fazlı Akışlara Sayısal Yöntemlerin Uygulanması. *Yüksek Lisans Tezi*, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Bensler, H. P. 2007. Investigation of Heat Transfer and Evaporation Processes in Automotive Headlights. Proceedings of the IMechE Vehicle Thermal Management System, IMechE's VTMS8.

Boduroğlu, S. 2010. Bir Dış Aydınlatma Farının Nümerik Isıl Performans İncelemesi. *Yüksek Lisans Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.

Bromley, L. R. A. 1952. Heat transfer in condensation - Effect of heat capacity of condensate, Industrial & Engineering Chemistry, 44, pp. 2966-2969.

Brunberg, J, Aspelin, M. 2011. CFD Modeling of Headlamp Condensation. Master's Thesis Chalmers University of Technology, Division of Vehicle Engineering and Autonomous Systems Göteborg, Sweden.

Çengel, Y.A. 2003. Heat Transfer: A Practical Approach, 2nd ed. McGraw-Hill. U.S.A.

Che, D., Da, Y. & Zhuang, Z. 2005. Heat and mass transfer characteristics of simulated high moisture flue gases. Heat and Mass Transfer/Wärme- und Stoffübertragung, 41, pp.250-256.

Colburn, A. P. & Hougen, O. A. 1934. Design of Cooler Condensers for Mixtures of Vapors with Noncondensing Gases. Industrial & Engineering Chemistry, pp 1178–1182

Croce, G., D'Agaro, P., De Angelis, A., Mattiello, F. 2007. Numerical Simulation of Windshield Defogging Process. IMechE Part D Journal of Automobile Engineering, Vol. 221, pp. 1241-1250.

Dehbi, A. & Guentay, S. A. 1997. Model for the Performance of a Vertical Tube Condenser in the Presence of Non-Condensable Gases. Nuclear Engineering and Design, 177 (1-3), pp. 41-52.

Deponti, A., Damiani, F., Brugali, L., Bucchieri, L., Zattoni, S., Alaimo, J. 2009. Modelling of condensate formation and disposal inside an automotive headlamp. EnginSoft Newsletter, Year 6, no.2, Italy.

Gulawani, S.S., Dahikara, S.K., Mathpatia, C.S., Joshi, J.B., Shah, M.S., RamaPrasad C.S, Shukla, D.S. 2009. Analysis of Flow Pattern and Heat Transfer in Direct Contact Condensation. Chemical Engineering Science. Vol. 64, pp. 1719-1738.

Gulawani, S.S., Joshi, J.B., Shah, M.S., RamaPrasad C.S., Shukla, D.S. 2006. CFD Analysis of Flow Pattern and Heat Transfer in Direct Contact Steam Condensation. Chemical Engineering Science. Vol. 61, pp. 5202-5220.

Hassan, M.B., Petitjean, C., Deffieux, J.C., Gilotte, P. 1999. Windshield Defogging Simulation with Comparison to Test Data. SAE paper 1999-01-1202

Ikeda, T., Imanaka, M. 1995. Properties of Condensation and Effects of Hygroscopic Materials in a Dwelling House under Door Open and/or Close conditions, Nol.473, pp15-24.

Ikeda, Y., Katoh, N., Ishii, N., Kuriyama, T. 1997. Numerical Analysis of the Airflow on Windows from Defroster Nozzles, JSAE paper 924076.

Kaynaklı, F. 2009. Kapalı Hacimlerde Işınım İle Isı Transferinin Simülasyonu. *Yüksek Lisans Tezi*, UÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.

Kılıç M., Yiğit A. 2008. Isı Transferi, Alfa Aktüel, Bursa.

Kitada, M., Asona, H., Kataoka, T., Hirayama, S., Maruta, Y. 2002. Prediction Technology of Transient Defogging Pattern by CFD. Proc. JSAE Annual Congress, 9-12, Japan.

Kleimeyer, M., Leefken, A. 2007. Suppression of condensate formation in a rear lamp by optimising internal flow using CFD. Proceedings of the IMechE Vehicle Thermal Management System, IMechE's VTMS8.

Kuba, T., Miyamura, H., Tarumi, H., Okazaki, T. 1997. Measurement of Surface Condensation Using Multi-spectral Scanner, The 6th International Symposium on Building and Urban Environment Engineering and Management, pp.53-59.

Liu, J., Aizawa, Y., Yoshino, H. 2003. Experimental And Cfd Studies On Surface Condensation. 8th International IBPSA Conference August 11-14, Eindhoven, Netherlands

Nasr, K.J., Abdulnour, B.S., Wiklund, G.C. 1998. State of Knowledge and Current Challenges in Defrosting Automotive Windshields. SAE paper 980293

Nusselt, W. 1916. Des Oberflächenkondensation des Wasserdampfes. Z.Vereines Deutsch. Ing., 60, pp. 541-564, 569-575.

Preihs, E. 2006. Analytic Solution and Measurements of Condensation inside a Headlamp, Proc. Nordic COMSOL Conference, Copenhagen.

Rohsenow, W.J. 1973. Condensation in Handbook of Heat Transfer, McGraw-Hill New York.

Shiozawa, T., Ohishi, M., Yoneyama, M., Sakakibara, K., Goto, S., Tsuda, N. ve Kobayashi, T. 2005. Analysis of Moisture and Natural Convection Inside An Automotive Headlamp By Using CFD SAE World Congress and Exhibition, Detroit, MI, USA, (Session: Automotive Lighting Technology (Part 3 of 4) - Automotive Lighting Engineering Analysis I: Modeling SP-1932).

Takagi, K., Makimoto, T., Hiraiwa, h. Ve Negishi, T. 2001. Photocatalytic Antifogging Mirror, Journal of Vacuum Science and Technology A, Vol. 19, pp. 2931-2935.

TenWolde, A. 1993. Ventilation, Humidity, and Condensation in Manufactured Houses During Winter. ASHRAE Transactions 99(1), pp.103-115.

Venchiarutti M., Cavalletti M. 2012. Automotive Lighting R&D Center Condensation Simulation Studies. ALRI, Italy.

Yamankaradeniz, R., Horuz, İ., Kaynaklı, Ö., Coşkun, S., Yamankaradeniz, N. 2012. İklimlendirme Esasları ve Uygulamaları, Dora Yayıncılık, Bursa.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	:Bayram Ali GÖRÜR
Doğum Yeri ve Tarihi	:Aksaray 01.10.1985
Yabancı Dili	:İngilizce
Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)	:Lisans- Uludağ Üniversitesi 2010
Lise	:Hazım Kulak Anadolu Lisesi- Aksaray
Lisans	:Uludağ Üniversitesi 2010
Yüksek Lisans	:Uludağ Üniversitesi 2013
Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl	:Magnetik Marelli Mako AŞ. – 3 yıl -
İletişim (e-posta)	: bayramaligorur@gmail.com
Yayımları	