İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GEMİLERDE ÇOK ODALI İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNİN KONTROLÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tarık KOÇAL

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Mekatronik Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GEMİLERDE ÇOK ODALI İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNİN KONTROLÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tarık KOÇAL
518091071

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Mekatronik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ata MUĞAN

HAZİRAN 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 518091071 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi **Tarık KOÇAL**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"GEMİLERDE ÇOK ODALI İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNİN KONTROLÜ"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Prof.Dr. Ata MUĞAN** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Doç.Dr. Fuat ALARÇİN** Yıldız Teknik Üniversitesi	.....
	Yrd.Doç.Dr. Pınar BOYRAZ İstanbul Teknik Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : **03 Mayıs 2012**
Savunma Tarihi : **07 Haziran 2012**

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans çalışması, ticari olarak çalışmakta olan bir kuru yük gemisinin iklimlendirme sisteminin Matlab-Simulink modelini ve simülasyonunu, dış ortam havasının sıcaklık ve nemine bağlı olmaksızın gemideki mahallerin koşullarının istenen şartlara kontrollü bir şekilde ulaşmasını sağlayan PID kontrolcülü sistemi içermektedir. Bu sistemle gemi hızının ve dış ortam sıcaklığının değişimine bağlı olarak istenen mahal şartlarının eldesi için gerekli ısı yükü hesabı yapılmıştır.

Tezimin her aşamasında desteğini benden esirgemeyen, yüksek bilgi ve tecrübelerinden istifade ettiğim saygıdeğer hocam Sayın Prof.Dr. Ata MUĞAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tezime zaman ayırmama müsamma gösteren ve yardımlarını eksik etmeyen YTÜ Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi'ndeki hocalarıma, desteklerini benden esirgemeyen değerli arkadaşlarım Ahmet YURTSEVEN, Kaan ÜNLÜGENÇOĞLU, Kemal KINACI, Burak YILDIZ ve Gökay ATASOY'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca maddi destek vererek beni teşvik eden Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca olduğu gibi, bu çalışmamda da bana maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme ve akrabalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2012

Tarık KOÇAL
(Makine Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **v**
İÇİNDEKİLER ..... **vii**
KISALTMALAR ..... **ix**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xv**
SEMBOL LİSTESİ ..... **xvii**
ÖZET ..... **xxi**
SUMMARY ..... **xxiii**
1. GİRİŞ **27**
1.1 Tezin Amacı 27
1.2 Literatür Araştırması 28
2. İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİ **31**
2.1 Giriş 31
2.2 Tam Havalı Sistemler 31
2.2.1 Tek kanallı sistemler 32
2.2.1.1 Sabit hava debili sistemler 32
Tek bölgeli sistemler 32
Çok bölgeli tekrar ısıtmalı sistemler 33
Geçiş sistemler 34
2.2.1.2 Değişken hava debili (VAV) sistemler 34
Tekrar ısıtmalı VAV sistemleri 34
İndüksiyonlu VAV sistemleri 34
Fan güçlü VAV sistemleri 35
2.2.2 Çift kanallı sistemler 35
2.2.2.1 Çift kanallı sabit debili sistemler 35
2.2.2.2 Çift kanallı değişken debili (VAV) sistemler 36
2.2.3 Çok bölgeli sistemler 36
2.2.4 Tam havalı sistemlerin avantajları 37
2.2.5 Tam havalı sistemlerin dezavantajları 37
2.3 Havalı-Sulu Sistemler 37
2.4 Sulu Sistemler 38
3. HAVANIN TERMODİNAMİK ÖZELLİKLERİ **39**
3.1 Giriş 39
3.1.1 Kuru hava ve su buharı karışımının özellikleri 39
3.1.2 Özgül nem 40
3.1.3 Bağıl nem 41
3.1.4 Kuru ve nemli havanın yoğunlukları 42
3.1.4.1 Kuru havanın yoğunluğu 42
3.1.4.2 Nemli havanın yoğunluğu 42
3.1.5 Kuru ve nemli havanın entalpisi 43
3.1.6 Nemlendiricideki suyun entalpisi 44
4. SİSTEMİN MATEMATİK MODELİNİN ÇIKARILMASI **45**

4.1 Giriş 45
4.2 Matematik Modelde Yapılan Kabuller 45
4.3 Sistem Denklemlerinin Bulunması 46
4.3.1 Nem dengesi 46
4.3.2 Enerji dengesi 47
4.3.3 Hız dengesi 48
4.3.4 Kontrol odasının çevre ile olan ısı transferi 49
4.3.4.1 İç bölmelerde meydana gelen ısı transferi 50
4.3.4.2 Tavan, döşeme ve dış bölmede meydana gelen ısı transferi 53
4.4 Karışım Olması Halinde Sistem Denklemleri 56
4.4.1 Karışım bölgesinin analizi 56
4.4.2 Sistem giriş değişkenlerinin karışım denklemlerinden bulunması 58
4.4.3 Sistem denklemleri 59
4.4.3.1 Karışım olması halinde nem dengesi 59
4.4.3.2 Karışım olması halinde enerji dengesi 59
4.4.3.3 Karışım olması halinde hız dengesi 59
5. İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNDE OTOMATİK KONTROL 61
5.1 İklimlendirme Sistemlerinde Kontrolün Önemi 61
5.2 Kontrol Sistemleri 62
5.2.1 Oransal kontrol (P) 64
5.2.2 Oransal + integral (PI) etkili kontrol 64
5.2.3 Oransal + türev (PD) etkili kontrol 65
5.2.4 Oransal + türev+integral (PID) etkili kontrol 66
5.2.4.1 PID Kontrol edici tasarımında izlenecek temel basamaklar 67
6. SİSTEMİN SİMÜLASYONU 69
6.1 Giriş 69
6.2 Simulink Modelinin Oluşturulması 69
6.3 Kontrolcülü Modelin Kurulması 72
6.4 Simülasyon Sonunda Elde Edilen Sonuçlar 73
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 79
KAYNAKLAR 81
EKLER 83
ÖZGEÇMİŞ 137

KISALTMALAR

P	: Oransal
I	: İntegral
D	: Türev
PI	: Oransal+İntegral
PD	: Oransal+Türev
PID	: Oransal+İntegral+Türev
HVAC	: Heating Ventilating and Air Conditioning
VAV	: Variable Air Volume
ASHRAE	: American Society of Heating Refrigerating and Air conditioning Engineers
CAT	: Computer-Aided Tuning
DWT	: Dead Weight Tonnage

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 5.1 : P, I ve D'nin karakteristikleri…….……..…….68

Çizelge A.1 : Seperatör odasının iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları…….....84

Çizelge A.2 : Makine dairesinin tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları…….…..…84

Çizelge A.3 : Makine kontrol odasının tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları…….....84

Çizelge A.4 : Soğuk hava deposunun iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları…….……..…….……..84

Çizelge A.5 : Soğuk hava deposunun tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..……85

Çizelge A.6 : Kamara 1'in iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarla…..……..……..……..…..…..85

Çizelge A.7 : Kamara 1'in tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..……..…..85

Çizelge A.8 : Kamara 2'nin iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..……..……..……..…...85

Çizelge A.9 : Kamara 2'nin tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..……..……..85

Çizelge A.10 : Kamara 3'ün iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..……..……..……..…....85

Çizelge A.11 : Kamara 3'ün tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..…….....85

Çizelge A.12 : CO_2 odasının iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..……..…..……..……...86

Çizelge A.13 : CO_2 odasının tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..……..….....86

Çizelge A.14 : Kamara 4'ün iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..……..……..….....86

Çizelge A.15 : Kamara 4'ün tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..……...86

Çizelge A.16 : Kamara 5'in iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..……..……..…..86

Çizelge A.17 : Kamara 5'in tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..……..…..…86

Çizelge A.18 : Kamara 6'nın iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..……..…….....87

Çizelge A.19 : Kamara 6'nın tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..…….……...87

Çizelge A.20 : Kamara 7'nin iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları…..……..…….……87
Çizelge A.21 : Kamara 7'nin tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları…….……87
Çizelge A.22 : Kamara 8'in iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları…….……..…….....…….87
Çizelge A.23 : Kamara 8'in tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..…....…..…….87
Çizelge A.24 : Yedek parça deposunun iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..…….……..…...88
Çizelge A.25 : Yedek parça deposunun tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarlar…...……88
Çizelge A.26 : Çamaşırhanenin iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..……..……....….88
Çizelge A.27 : Çamaşırhanenin tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……....…..88
Çizelge A.28 : Gemi dümen odasının iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..…….……88
Çizelge A.29 : Gemi dümen odasının tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..…..…..88
Çizelge A.30 : Mutfağın iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..……..……..……..…….……88
Çizelge A.31 : Mutfağın tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..……88
Çizelge A.32 : Personel dinlenme odasının iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..……...……..…….89
Çizelge A.33 : Personel dinlenme odasının tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..…89
Çizelge A.34 : Zabitan dinlenme odasının iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..……..89
Çizelge A.35 : Zabitan dinlenme odasının tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları….....89
Çizelge A.36 : Güverte ofisinin iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..……..…..……....……...89
Çizelge A.37 : Güverte ofisinin tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..…….…89
Çizelge A.38 : Kilerin iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..……..……..……..…….……90
Çizelge A.39 : Kilerin tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..……...…....……90
Çizelge A.40 : Dinlenme ve yemek odasının iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..…..……..…….....90
Çizelge A.41 : Dinlenme ve yemek odasının tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları…...…...90
Çizelge A.42 : UPS dairesinin iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..……..……..….....…...90
Çizelge A.43 : UPS dairesinin tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..…..……90
Çizelge A.44 : Jeneratör dairesinin iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları…..……..……...……90

Çizelge A.45 : Jeneratör dairesinin tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..…….....91
Çizelge A.46 : Revirin iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları…..……...……..…….……...…….91
Çizelge A.47 : Revirin tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..…….…….....91
Çizelge A.48 : 3. mühendis odasının iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..…….…..…....91
Çizelge A.49 : 3. mühendis odasının tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.....91
Çizelge A.50 : 2. Mühendis odasının iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..…..…….….....91
Çizelge A.51 : 2. Mühendis odasının tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları….....91
Çizelge A.52 : 2. kaptan odasının iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..…….....92
Çizelge A.53 : 2. kaptan odasının tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..…….....92
Çizelge A.54 : İklimlendirme dairesinin iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..……..….....…92
Çizelge A.55 : İklimlendirme dairesinin tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları…….....92
Çizelge A.56 : Kamara 10'un iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..……..……..…….....…..92
Çizelge A.57 : Kamara 10'un tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……...……..…….92
Çizelge A.58 : Baş mühendis odasının iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları ……..……..……....…..93
Çizelge A.59 : Baş mühendis odasının tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları….....93
Çizelge A.60 : Armatör odasının iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..…….....93
Çizelge A.61 : Armatör odasının tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları…….....93
Çizelge A.62 : Süvari odasının iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……...……..…..…….…93
Çizelge A.63 : Süvari odasının tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları…….....93
Çizelge A.64 : Kamara 9'un iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..……..…….....93
Çizelge A.65 : Kamara 9'un tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları…….....94
Çizelge A.66 : Köprüüstünün iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..……..……..…….....94
Çizelge A.67 : Koridorun iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..……..……..…….....94
Çizelge A.68 : Koridorun tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..……..…...94
Çizelge A.69 : Koridor 2'nin iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..……..…..…….…..95

Çizelge A.70 : Koridor 2'nin tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..……..…….....95
Çizelge A.71 : Koridor 3'ün iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..……..…….....95
Çizelge A.72 : Koridor 3'ün tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..……...95
Çizelge A.73 : Koridor 4'ün iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..……..……..……...95
Çizelge A.74 : Koridor 4'ün tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..……...96
Çizelge A.75 : Erzak deposunun iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları…..…….....…….....96
Çizelge A.76 : Erzak deposunun tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları……..…..……96

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Sabit havalı tek bölgeli sistem [13]. 32
Şekil 2.2 : Sabit havalı bölgelerde tekrar ısıtmalı sistem [13]. 33
Şekil 2.3 : İndükleme VAV kutusu [13]. 35
Şekil 2.4 : Çok bölgeli iklimlendirme sistemi [13]. 36
Şekil 4.1 : İç duvar kesiti. 50
Şekil 4.2 : Dış duvar kesiti. 54
Şekil 4.3 : Karışım bölgesi. 56
Şekil 5.1 : Isıl konfor şartları [20]. 62
Şekil 5.2 : İklimlendirme sistemlerinde geleneksel kontrol çevrimi [22]. 63
Şekil 5.3 : Oransal kontrolcülü sistemin şematik yapısı [22]. 64
Şekil 5.4 : PI etkili kontrol sisteminin şematik yapısı [22]. 65
Şekil 5.5 : PD etkili kontrol sisteminin şematik yapısı [22]. 66
Şekil 5.6 : PID etkili kontrol sisteminin şematik yapısı [22]. 67
Şekil 5.7 : Oransal kontrol tiplerinin karşılaştırılması [23]. 67
Şekil 6.1 : İklimlendirilmesi yapılan gemiden bir görüntü. 69
Şekil 6.2 : Kamara 2'nin Matlab-Simulink modeli. 70
Şekil 6.3 : Karışım havası alt sistemi. 71
Şekil 6.4 : Isı transferi alt sistemi. 71
Şekil 6.5 : Kamara 2'nin sıcaklık ve özgül nem kontrolcülü Simulink modeli. 72
Şekil 6.6 : Kamara 2'nin sıcaklık ve bağıl nem kontrolcülü Simulink modeli. 72
Şekil 6.7 : Mahalin zamana bağlı sıcaklık değişimi. 73
Şekil 6.8 : Mahalin zamana bağlı mutlak özgül nem değişimi. 74
Şekil 6.9 : Mahalin zamana bağlı mutlak bağıl nem değişimi. 74
Şekil 6.10 : Mahalin bozucu etkili sıcaklık zaman grafiği. 75
Şekil 6.11 : Mahalin bozucu etkili bağıl nem zaman grafiği. 76
Şekil 6.12 : Gemi hızı ve dış hava sıcaklığına bağlı sistemin ısı yükü. 76
Şekil B.1 : Su buharının entalpisi. 97
Şekil B.2 : Su buharının doyma basıncı. 97
Şekil E.1 : Köprüüstünün planı. 121
Şekil E.2 : 4. güverte planı. 121
Şekil E.3 : 3.güverte planı. 122
Şekil E.4 : 2. güverte planı. 122
Şekil E.5 : 1.güverte planı. 123
Şekil E.6 : Makine dairesi planı. 123
Şekil F.1 : Mahallerin zamana bağlı sıcaklık değişimi. 125
Şekil F.1 (devam) : Mahallerin zamana bağlı sıcaklık değişimi. 126
Şekil F.1 (devam) : Mahallerin zamana bağlı sıcaklık değişimi. 127
Şekil F.1 (devam) : Mahallerin zamana bağlı sıcaklık değişimi. 128
Şekil F.1 (devam) : Mahallerin zamana bağlı sıcaklık değişimi. 129
Şekil G.1 : Mahallerin zamana bağlı bağıl nem değişimi. 131
Şekil G.1 (devam) : Mahallerin zamana bağlı bağıl nem değişimi. 132

Şekil G.1 (devam) : Mahallerin zamana bağlı bağıl nem değişimi..... 133
Şekil G.1 (devam) : Mahallerin zamana bağlı bağıl nem değişimi..... 134
Şekil G.1 (devam) : Mahallerin zamana bağlı bağıl nem değişimi..... 135

SEMBOL LİSTESİ

N_2 : Azot gazı
CO_2 : Karbondioksit gazı
O_2 : Oksijen gazı
A : Kesit alanı
m_a : Kuru hava kütlesi
m_v : Su buharı kütlesi
m : Toplam hava kütlesi
V : Toplam gaz hacmi
V_a : Kuru havanın kapladığı hacim
V_v : Su buharının kapladığı hacim
R_a : Kuru havanın gaz sabiti
R_v : Su buharının gaz sabiti
ϕ : Bağıl nem
P : Toplam gaz basıncı
P_g : Havanın doyma basıncı
P_v : Su buharının kısmi basıncı
P_a : Kuru havanın kısmi basıncı
α , β : Sabit katsayılar
m : Hava karışımının kütlesi
$\dot{m}$: Havanın kütlesel debisi
m_s : Nemlendirici su kütlesi
v : Havanın hızı
S_d : Duvar yüzey alanı
L_m : Çelik sac malzemenin kalınlığı
L_i : İzolasyon malzemesinin kalınlığı
L_{mi} : Mika malzemenin kalınlığı
k_i : İzolasyon malzemesinin ısı iletim katsayısı
k_m : Çelik sac malzemenin ısı iletim katsayısı
k_{mi} : Mika malzemenin ısı iletim katsayısı
C_m : Çelik sac malzemenin ısı kapasitansı
C_a : Kuru havanın özgül ısısı
C_S : Suyun özgül ısısı
C_V : Su buharının özgül ısısı
T : İklimlendirilen mahalin sıcaklığı

T_1 : İç duvar yüzey sıcaklığı

T_2, T_5 : Mika ile cam yünü arasındaki sıcaklık

T_3, T_4 : Cam yünü ile çelik sac arasındaki sıcaklık

T_6 : Dış duvar yüzey sıcaklığı

T_a : Taze havanın sıcaklığı

T_k : Karışım havası sıcaklığı

T_m : Çelik sac sıcaklığı

T_s : Nemlendirici su sıcaklığı

T_g : Doyma basıncı sıcaklığı

$\overline{T}$: İklimlendirilen mahalin mutlak sıcaklığı

$\overline{T}_a$: Taze havanın mutlak sıcaklığı

$\overline{T}_v$: Su buharının mutlak sıcaklığı

$\overline{T}_k$: Karışım havasının mutlak sıcaklığı

Q : Mahale verilen ısı

Q_k : Mahalden kaçan ısı miktarı

$\dot{Q}_k, \dot{Q}_{k2}$: İç duvardan kaçan ısı miktarı

$\dot{Q}_{k3}, \dot{Q}_{k4}$: Dış duvar, tavan ve zeminden kaçan ısı miktarı

$\dot{Q}_m$: Çelik sac malzemede sönümlenen ısı miktarı

q_v : Su buharının doyma sıcaklığındaki entalpi değeri

R_{d1}, R_{d2} : İç duvar ısıl direnç

R_{d3}, R_{d4} : Dış duvar, tavan ve zemin ısıl direnç

f_r : Resirküle havanın hacimsel debisi

r : Karışım oranı

f_a : Taze havanın hacimsel debisi

f : Egzoz havasının hacimsel debisi

f_k : Hava karışımının hacimsel debisi

ρ : Kuru havanın yoğunluğu

ρ_v : Su buharının yoğunluğu

ρ_a : Taze kuru havanın yoğunluğu

ρ_m : Çelik sac malzemenin yoğunluğu

ρ_k : Kuru karışım havasının yoğunluğu

ρ' : Nemli havanın yoğunluğu

ρ'_k : Nemli karışım havasının yoğunluğu

w : Özgül nem

w_k : Karışım havasının özgül nemi

$\overline{W}$: Mahal havasının mutlak özgül nemi

$\overline{W}_a$: Taze havanın mutlak özgül nemi

$\overline{W}_k$: Karışım havasının mutlak özgül nemi

h : Özgül nem entalpisi

h_a : Kuru havanın özgül entalpisi

h_v : Su buharının özgül entalpisi

h_i : İç duvar ısı taşınım katsayısı

h_d : Dış duvar ısı taşınım katsayısı

h_k : Karışım havasının entalpisi

H : Gazların toplam entalpisi

H_s : Nemlendirici suyun entalpisi

GEMİLERDE ÇOK ODALI İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNİN KONTROLÜ

ÖZET

Bu tez çalışması "Gemilerde Çok Odalı İklimlendirme Sistemlerinin Kontrolü" üzerine yapılmıştır.

Bu amaçla tez; "Giriş", "İklimlendirme Sistemleri", "Havanın Termodinamik Özellikleri", "Sistemin Matematik Modelinin Çıkarılması", "İklimlendirme Sistemlerinde Otomatik Kontrol", "Sistemin Simülasyonu ve Sonuçları" ve "Kaynaklar" konu başlıkları altında incelenmiştir.

"Giriş" bölümünde iklimlendirme sistemine duyulan ihtiyaçtan, gemilerdeki iklimlendirme sistemlerinde kontrolün öneminden, tezin hangi amaçla yapıldığından bahsedilmiştir. Konuya ilişkin literatürdeki çalışmalar da bu bölümde verilmiştir.

"İklimlendirme Sistemleri" bölümünde bu sistemlerin çeşitlerinden, avantajlarından, dezavantajlarından ve kullanılma alanlarından bahsedilmiştir.

"Havanın Termodinamik Özellikleri" bölümünde sistemin matematik modeli çıkarılmadan önce gerekli olacak havanın özellikleriyle ilgili genel bağıntılar verilmiştir.

"Sistemin Matematik Modelinin Çıkarılması" bölümünde öncelikle denklemlerin karmaşıklaşmasını önleyecek kabullerden bahsedilmiştir. Kontrol odasının tavan, zemin ve yan duvarlarında olan ısı transferlerinin iletim ve taşınım vasıtasıyla olduğu kabulü yapılarak ve çeperlerin kapasitif özellikleri de göz önünde bulundurularak sistemin ısı kayıp denklemleri çıkarılmıştır. Sisteme verilen nemin, enerjinin ve dış ortamdan alınan taze hava ile sistemden dönen hava (resirküle hava) karışımının dengesini içeren matematik model kurulmuştur.

"İklimlendirme Sistemlerinde Otomatik Kontrol" bölümünde bu sistemlerde otomatik kontrol sistemlerinin tarihteki uygulamalarına ve iklimlendirmeye sağladığı faydalara ve önemine değinilmiş; P, I, D, PI, PD ve PID tip kontrol yöntemlerinden bahsedilmiştir.

"Sistemin Simülasyonu" ve "Sonuçlar ve Öneriler" bölümünde iklimlendirilmesi yapılacak geminin özellikleri kısaca açıklanmış, çıkarılmış olan nem, hız ve enerji dengesi denklemleri kullanılarak, Matlab-Simulink programıyla ilk etapta tek bir mahalin modeli oluşturulmuştur. Tüm geminin iklimlendirme sisteminin simülasyonu için bütün mahallerin birbirleriyle ve dış ortamla olan ısı transferleri de hesaba katılmıştır. Bütün mahaller için ayrı olarak Simulink ortamında oluşturulan modeller birbirleriyle entegre edilmiş ve tüm geminin iklimlendirme sisteminin modeli oluşturulmuştur. Bu modele PID kontrolcü eklenerek mahal için istenen sıcaklık ve nem şartlarının eldesi sağlanmıştır.

Gemiler farklı iklim koşullarında dünyanın her yerinde işletildikleri için, gemilerde mevcut iklimlendirme sistemleri de dış ortam sıcaklığı ve nemine göre uç sınır

şartlarında doğru ve yeterli çalışacak şekilde seçilmelidir. Bu yeterlilik gemi ısı yükünün bilinmesini gerektirir ve hesaplar bu doğrultuda yapılır. Bu yüzden değişen hava şartlarında ve gemi hızlarında istenen ısıl şartların eldesi için gerekli ısı yükü de sonuç bölümünde hesaplanmıştır.

MULTI ZONES HVAC SYSTEMS' CONTROL IN SHIPS

SUMMARY

This thesis was conducted on "multi zones HVAC systems' control in ships".

In this context, the thesis comprises of the following chapters;"Introduction", "HVAC Systems", "Air's Thermodynamics Characteristics", "Creation of Mathematical Model for System", "Automatic Control in HVAC Systems" , "Simulation and Results of System", "References".

In the "Introduction'' part; necessity of HVAC systems, importance of control for HVAC systems in ships and thesis's main aim are presented. In addition, studies in the literature about the subject of thesis was given in this chapter.

In the "HVAC Systems" part; types of HVAC systems, advantages and disadvantages of these systems and areas of usage of these systems are elaborated.

In the "Air's Thermodynamics Characteristics" part; general correlations about necessary air characteristics before developing mathematical model for the system were examined.

At the beginning of "Building Mathematical Model for System" part; assumptions to simplify equations are given. Heat transfer processes on the ground, cap and side walls of the control zone were assumed to be convection and conduction. Considering the capacitive properties of boundary, heat transfer equation for the inner walls is the following:

$$\frac{d\dot{Q}_k}{dt} = \frac{1}{R_{d1}}\frac{d\overline{T}}{dt} + \frac{T - T_a}{R_{d1}C_m R_{d2}} - \dot{Q}_k \frac{\left(1 + \frac{R_{d1}}{R_{d2}}\right)}{C_m R_{d1}}$$

Heat transfer equation of ground, cap and side walls is as follows:

$$\frac{d\dot{Q}_{k2}}{dt} = \frac{1}{R_{d3}}\frac{d\overline{T}}{dt} + \frac{T - T_a}{R_{d3}C_m R_{d4}} - \dot{Q}_{k2} \frac{\left(1 + \frac{R_{d3}}{R_{d4}}\right)}{C_m R_{d3}}$$

In a view of reduce the energy consumption, a part of the circulating air is fed back to the chamber. For the chamber where fresh and circulating air are mixed, enthalpy and absolute humidity of the air are as follows:

$$w_k = \frac{(1-r)\rho_a w_a + r\rho w}{(1-r)\rho_a + r\rho}$$

$$h_k = \frac{(1-r)\rho'_a h_a + r\rho' h}{(1-r)\rho'_a - r\rho'}$$

Considering the changes in the system conditions as related to the region's input-output values, the balance of humidity is given below:

$$\begin{bmatrix}\text{Difference of}\\ \text{humidity in the}\\ \text{chamber}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}\text{supplied water}\\ \text{vapor}\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}\text{Humidity of}\\ \text{entering air}\end{bmatrix} - \begin{bmatrix}\text{Humidity of}\\ \text{exiting air}\end{bmatrix}$$

Mathematically speaking, equation of humidty is represented by

$$\frac{dw}{dt} = \frac{1}{V}\left[\left(K_1\dot{m} + (1-r)\frac{w_a}{\overline{T}_a\overline{W}_a}f_k\right)\overline{T}\overline{W} + \left(rf_k - Av\right)\left(\overline{W} - 0,622\right)\right]$$

This yields to equation **(4.82)**.

Balance of energy is expressed as

$$\begin{bmatrix}\text{Difference of}\\ \text{enthalpy in the}\\ \text{space}\end{bmatrix} = \left\{\begin{array}{c}\begin{bmatrix}\text{Supplied}\\ \text{energy}\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}\text{Enthalpy of}\\ \text{water vapor}\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}\text{Enthalpy of}\\ \text{entering air}\end{bmatrix}\\ \\ -\begin{bmatrix}\text{Enthalpy of}\\ \text{exiting air}\end{bmatrix} - \begin{bmatrix}\text{Leakage}\\ \text{energy}\end{bmatrix}\end{array}\right\}$$

If the temperature is mathematically obtained from this expression, then we get

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{(C_a + C_V w)V}\left[\begin{array}{l}\left[\left(Q - Q_k + m_S C_S T_S\right)K_1 + (1-r)\left(\frac{1+w_a}{\overline{T}_a\overline{W}_a}\right)h_a f_k\right]\frac{\overline{T}\overline{W}}{\overline{W} + 0,378}\\ \\ +C_a(rf_k - Av)(\overline{T} - 273,15) - (K_1\dot{m} + (1-r)\frac{w_a}{\overline{T}_a\overline{W}_a}f_k)(C_V T + q_V)\overline{T}\overline{W}\end{array}\right]$$

which yields to equation **(4.83)**.

Using the inbound and outbound amount of mass, the balance of velocity is expressed as

$$\begin{bmatrix}\text{Difference of}\\ \text{mass in the space}\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}\text{Mass of}\\ \text{entering air}\end{bmatrix} - \begin{bmatrix}\text{Mass of}\\ \text{exiting air}\end{bmatrix}$$

or:

$$\rho_k f_k = \rho f + \frac{dm}{dt}$$

The mathematical approach obtained from this expression by extracting the velocity and making the simplifications yields the equation:

$$v = \frac{(1-r) f_k}{\bar{T}_a \bar{W}_a A} \bar{T}\bar{W} + r\frac{f_k}{A} + \frac{V}{A}\frac{1}{\bar{T}\bar{W}}\left(\bar{W}\frac{d\bar{T}}{dt} + \bar{T}\frac{d\bar{W}}{dt} \right)$$

that gives **(4.84)**.

In the "Automatic Control in HVAC Systems" part; automatic control systems in the past were examined, their importance and benefits were emphasized. P, I, D, PI, PD and PID control methods were examined.

In the "Simulation of System" and "Conculisions and Suggestions" parts; the ship's characteristics having the HVAC system are studied. In Chapter 4, moisture, velocity and energy equations were derived. By using of these equations, firstly simulink model are created for one location by Matlab-Simulink Programme. For the entire ship's HVAC system simulation, heat transfers of the locations' with each other and outer climate's are also considered. All locations' simulation with each other and the outer climate are integrated and the HVAC system model of the ship was created. Desirable temperature and moisture conditions for locations are derived by adding a PID controller to the model.

Ships are operated at all weather conditions around the world. Therefore HVAC systems for ships are very significant and these systems have to work in limit conditions of outer climate temperature and moisture. To this end, ship heat load should be known. Therefore necessary heat load are calculated for varying air conditions and ship speed.

1. GİRİŞ

İnsanlar daha rahat bir yaşam sürebilmek adına bulunduğu ortamlarda, toz ve diğer etkilerden arındırılmış, belirli standartlarda sıcaklık ve nem miktarına sahip yeterli temiz havaya ihtiyaç duymaktadır [1]. Bu ihtiyacı karşılamak için iklimlendirme sistemleri kullanılmaktadır. İklimlendirme; kapalı hacimlerde sıcaklığın, nemin, temizliğin ve hava hareketinin insan sağlığına ve konforuna uygun olacak şekilde şartlandırılmasıdır. Bu tip sistemler, "HVAC (Heating Ventilating and Air Conditioning) Systems", "Air Conditioned Room" ya da "Enviromental Space" olarak adlandırılmaktadır [2]. Sistemlerde iklimlendirme süreci genel olarak üç şekilde meydana gelir [2].

a. İklimlendirme sisteminin sadece dış hava ile çalışması durumu: Genellikle hastane, ameliyat salonu vb. gibi geri dönüş havası tekrar sisteme verilecek kadar temiz olmayan sistemlerde uygulanır.

b. İklimlendirme sistemi mahalinden çıkan geri dönüş havasının bir kısmı ile dış ortamdan alınan havanın karıştırılarak çalışması durumu: Genellikle ekonomik kazanç elde etmek için sinema, tiyatro vb. gibi mahallerde uygulanır.

c. İklimlendirme sisteminin geçiş düzenine sahip karışık çalışma durumu: Genellikle endüstriyel tesislerde uygulanır.

Gemilerde; genellikle yukarıdaki iklimlendirme sistemlerinden, "b" şıkkındaki süreç kullanılmaktadır.

1.1 Tezin Amacı

Gemilerde çalışma şartlarının zorluğundan dolayı, iklimlendirme ve havalandırma sistemleri diğer ortamlara göre daha fazla önem arz etmektedir. Gemiler sürekli hareket halinde olduğu için dış ortamdaki hava şartları da o denli değişmektedir. Bu da iklimlendirme uygulamalarında kontrol sistemlerinin önemini artırmaktadır. Gemilerde dış hava şartlarının ve gemi hızının değişimine bağlı olarak sistemin

ısıtma veya soğutma yükü değişmektedir. Bu tez çalışmasında; hava şartlarının bu değişimlerine bağlı olarak istenen ısıl şartları elde edecek iklimlendirme sisteminin belirlenmesi için; mahallerin matematik modelleri kurulup sistemin PID kontrolcülü simülasyonunun yapılması amaçlanmıştır. Sistemin sıcaklık ve nem cevaplarının doyuma ulaşması, bozucu etkileri ve dinamik cevabı her bir oda için ayrı ayrı modellenmiş ve kontrol edilmiştir. Böylece, entegre edilmiş olarak bir geminin HVAC sistem performansı değerlendirilmiştir.

1.2 Literatür Araştırması

Son yirmi yılda HVAC sistemlerinin modellenmesi ve kontrolüne ilişkin çalışmalar aşağıda sunulmaktadır.

Cherchas[3]; bir iklimlendirme odası sıcaklığının kontrolü için sistemin transfer fonksiyonunu kullanarak on-off kontrol yöntemi ile simülasyonlar gerçekleştirmiştir.

Zhang[4]; çiftlik hayvanlarının yaşadığı bir ortamın transfer fonksiyonunu bularak, normalde nonlineer olan sistemin, kendi çalışmasında lineer olduğunu kabul ederek ısıtma ve havalandırma kontrolüne ait simülasyon sonuçlarını elde etmiştir.

House[5]; herhangi bir iklimlendirme sisteminde sıcaklığın kontrolü için ayrık zamanlı optimal denetim yöntemini uygulamış ve diğer bir kontrol yöntemi olan aç-kapa denetimine göre enerji tasarrufu sağlamıştır.

Dexter[6]; iklimlendirme sistemleri uygulamalarında öz ayarlı kontrolör tasarlamıştır.

Kamimura[7]; herhangi bir iklimlendirme sistemi için en uygun PID katsayılarını tespit eden ‘’bilgisayar destekli ayarlama’’ (CAT) yazılımını kullanarak tasarladığı PID kontrolör ile transfer fonksiyonu belli olan bir odanın sıcaklığını kontrol etmiştir.

William[8]; mikroişlemci tabanlı elektronik kontrolörlerin binaların sıcaklık kontrolünde kullanılmasının enerji verimliliği açısından iyi olacağı düşüncesinden yola çıkarak iklimlendirme sistemindeki karışım havası damperlerinin kontrolünde PID kontrolörün kullanılmasını önermiştir.

Atkinson ve Martino[9]; iklimlendirilmesi yapılan bir fabrikada nem, basınç, sıcaklık ve hava temizliğinin kontrolü için analog devre elemanlarıyla tasarladığı bir PID kontrolör kullanmştır.

Krakow[10,11]; PID kontrolör ile bir kompresör ve soğutucu fanının hızını kontrol ederek bir odanın sıcaklık ve nemini kontrol etmiş ve sonrasında da PID katsayılarının analitik olarak belirlenmesi çalışmasını yapmıştır.

Kaya[12]; işyeri ve binalar gibi kompleks sistemlerin iklimlendirilmesindeki kontrol problemini çözmek için analitik tekniklerden faydalanan bir model sunmuştur.

Bu çalışmada da literatürde yaygın şekilde kullanılan ve başarılı sonuçlar veren PID kontrolcü kullanılmıştır. Öte yandan, elde edilen matematik modeller ve Simulink bloklar geneldir ve her türlü kontrolcü uygulanarak sistem performansının değerlendirilmesine imkan vermektedir.

2. İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİ

Bu bölümde iklimlendirme sistemleri hakkında genel bilgi, sınıflandırılmaları hakkında ise detaylı bilgi aktarılmıştır [13].

2.1 Giriş

İklimlendirme sistemleri genel olarak;

- havalı sistemler,
- sulu sistemler ve
- hem havalı hem sulu sistemler

şeklinde sınıflandırılabilir. Havalı sistemlerde, iklimlendirme yapılırken istenilen sıcaklık şartlarının eldesi için mahale şartlandırılmış hava gönderilir. Gemilerde genellikle tam havalı sistemler kullanılmaktadır. O yüzden bu çalışma kapsamında tam havalı sistemler ayrıntılı ele alınıp diğer sistemler yüzeysel anlatılacakır.

2.2 Tam Havalı Sistemler

Tam havalı iklimlendirme sistemleri, mahalde istenilen nem ve sıcaklık değerine ulaşmak üzere gerekli tüm duyulur ve gizli ısı yüklerini, nemlendirme ve nem alma işlemlerini hava ile karşılayarak çalışırlar. Bu sisteme ek olarak zonlarda herhangi bir soğutma, nemlendirme yapılmasına gerek yoktur. Isıtmada ise merkezi veya belirli bölgelerde yapılabilir.

Bölge tabiriyle, bağımsız bir kontrol elemanı bulunan sistemler kast edilmektedir. Tam havalı sistemler;

- tek kanallı sistemler
- çift kanallı sistemler

olmak üzere iki ana başlık altında toplanabilirler.

2.2.1 Tek kanallı sistemler

Bu sistemlerde birer adet ısıtma ve soğutma serpantinleri bulunmaktadır. Hava dağıtımı, bir ana kanal vasıtasıyla yapılır. Tek kanallı sistemler; sabit hacim, değişken sıcaklıktaki veya sabit sıcaklık, değişken hacimdeki havayı (VAV) iç hacimlere taşır. Tek kanallı sistemler havanın akış miktarındaki değişime göre, sabit ve değişken hava debili sistemler olmak üzere ikiye ayrılır.

2.2.1.1 Sabit hava debili sistemler

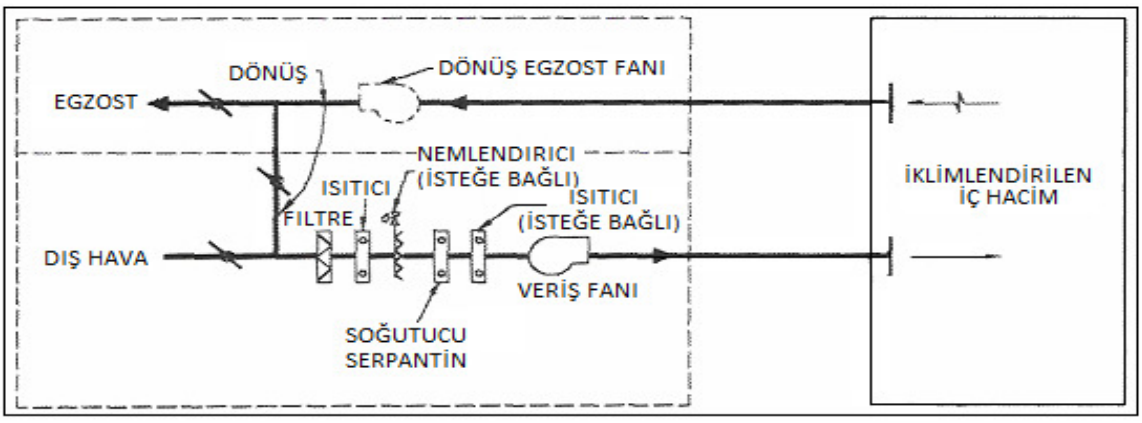
Sabit hava debili sistemler, iklimlendirme yapılacak mahallerin yük değişimlerine içeriye verdikleri havanın sıcaklığını değiştirerek uyum sağlarlar. Sabit hava debili sistemler;

- tek bölgeli sistemler,
- çok bölgeli ve tekrar ısıtmalı sistemler ile
- Geçişli sistemler

olmak üzere üç şekilde incelenebilirler.

Tek bölgeli sistemler

Tek bir bölgeye hitap eden, sıcaklık kontrollü bir sistemdir. Yapılan tasarımın doğruluğuna göre sistemin hitap ettiği mahalin sıcaklık ve nem kontrolü tek bölgeli sistemlerle çok iyi bir şekilde yapılabilmektedir. Sistemde bir sorun oluştuğunda başka komşu sistemlere zarar vermemesi açısından veya başka herhangi bir sebebin varlığı durumunda isteğe bağlı olarak durdurulabilir. Sistemin çalışma prensibi Şekil 2.1'de gösterilmektedir. Sisteme dönüş-egzost fanı eklenmesiyle uygun dış sıcaklıklarda, dış hava ile soğutma yapmak mümkündür.



Şekil 2.1 : Sabit havalı tek bölgeli sistem [13].

Sabit havalı tek bölgeli sistemlerin sıcaklık kontrolü birçok şekilde yapılmaktadır. Bunlardan bazıları şu şekilde listelenebilir:

- Mahale gönderilen hava sıcaklıklarının değiştirilmesi ile.
- Yaz mevsiminde, iklimlendirme yükü azaldığında karışım havasını soğutucu üzerinden geçirmeden soğutucu serpantin üzerindeki geçiş damperinden geçirilmesi ile.

Tek bölgeli sistemler, ameliyathanelerde, küçük mağaza katlarında, sınıflarda, toplantı ve sinema salonlarında uygulanabilirler.

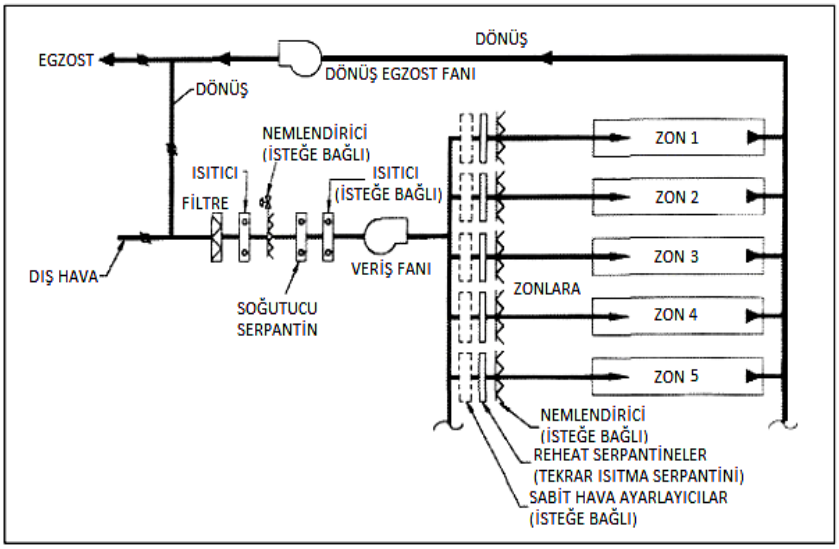
Çok bölgeli tekrar ısıtmalı sistemler

Tek bölgeli sistemlerin değişik bir şeklidir. Bu sistem;

- değişik yüklere sahip mahallerin kontrollü bir şekilde iklimlendirilmesini ve
- değişik yönlerdeki mahallerin bazılarının ısıtılıp bazılarının da soğutulmasını

sağlar. Bu sistemler hassas kontrol isteyen konfor veya proses işlemlerinde uygulanırlar.

Tekrar ısıtmalı sistemlerdeki amaç, nemini almak için soğutulan havayı tekrar istenilen sıcaklık değerine getirmektir. Sistemin çalışma prensibi Şekil 2.2'de gösterilmektedir.



Şekil 2.2 : Sabit havalı bölgelerde tekrar ısıtmalı sistem [13].

Tekrar ısıtmalı sistemlerde diğer sistemlerden üstün olarak oda şartları, hassas bir şekilde sağlanabilir. Bu yüzden ameliyathane gibi çok hassas sıcaklıklar istenen

mahallerin iklimlendirilmesinde kullanılırlar.İşletme masraflarının çok pahalı olması ve enerji açısından verimli olmaması bu sistemin dezavantajıdır.

Geçiş sistemler

Sabit havalı tekrar ısıtmalı sistemlerin başka bir türüdür. Sistemin çalışma prensibi; primer devrede sabit debili, sekonder devrede ise değişken debili hava ile çalışma üzerine kuruludur. Mahale gönderilen havanın bir kısmı, oda yüküne ve sıcaklığın durumuna bağlı olarak başka bir bölgeye (örneğin asma tavan içerisine) verilmektedir. Bu yöntemde görüldüğü gibi enerji kaybı çoktur. Enerji tasarrufuna dikkat edilmeyen, küçük sistemlerde kullanılmaktadır.

2.2.1.2 Değişken hava debili (VAV) sistemler

Değişken hava debili sistemler; istenen mahal içi şartlarının eldesi için, mahale gönderilen havanın sıcaklığını veya havanın debisini değiştirirler. Hava miktarının azalmasıyla fan enerji ihtiyacı azalacağı için enerji tasarrufu sağlanacaktır. Değişken hava debili sistemler, çevre ve iç bölgelere yardımcı, ek ısıtıcılı ve ısıtıcısız olarak uygulanırlar.VAV sistemlerinde nem kontrolü sorun olmaktadır. Bu yüzden nemin hasas olarak ayarlanması gereken ameliyathane gibi mahallerde sabit hava debili iklimlendirme sistemleri kullanılması önerilir. VAV sisteminin en belirgin özelliği, soğutmada çalışmasıdır. Isıtmada ise VAV sistemine ekstra düzenler gerekmektedir. Bu ekstra düzenlerin bazı çeşitleri mevcuttur. Bunlar:

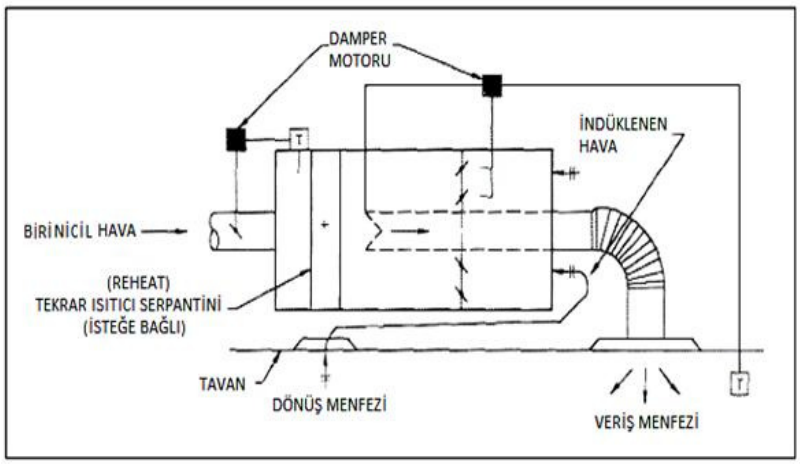
Tekrar ısıtmalı VAV sistemleri

Bu sistemde ısıtma işlemi yapılırken üflenen hava, önce kutuda hesap edilen alt sıcaklık değerine düşürülür; bundan sonra sistem sabit miktarda hava üflerken, hava sıcaklığı, ısıtıcı serpantin ile gerekli değere yükseltilir. Normalde yaz mevsiminde tekrar ısıtma sistemi kullanılmamaktadır. Fakat kontrol edilen mahalde yükün çok azaldığı ve nemin çok yükseldiği bazı durumlarda tekrar ısıtma düşünülebilir.

İndüksiyonlu VAV sistemleri

İndüksiyonlu VAV kutusunda, iklimlendirilen mahaldeki ısı yükünün azalması durumunda, kutuya giren primer hava kısılıp, asma tavan içindeki havanın kutuya giriş damperi açılarak, kutuya giren dolaşım havası miktarı arttırılır. Böylece birincil havanın azalmasına karşın mahale giren hava sabit kalacaktır. İndüksiyonlu VAV sistemi sabit hacimli geçiş sisteminin tersi şeklinde çalışmaktadır. Sabit hacimli geçiş sisteminde düşük yüklerde havanın bir kısmı asma tavana verilmesine karşın

indüksiyonlu VAV sisteminde asma tavandan indükleme ile hava emilmektedir. Sistemin çalışma prensibi Şekil 2.3'te gösterilmektedir.



Şekil 2.3 : İndükleme VAV kutusu [13].

Fan güçlü VAV sistemleri

Fanlı VAV sistemleri, paralel veya seri konumlu olmaktadır. Paralel akışlı ünitelerde fan primer hava akım devresi dışında olup, aralıklı olarak çalıştırılma imkanına sahiptir. Seri konumlu sistemlerde ise fan; primer hava akış devresi üzerinde devamlı çalışır durumdadır. Her iki sistem de kısmi yüklerde, iç mahal içindeki hava hareketini istenilen düzeyde tuttukları ve VAV sisteminin enerji tasarrufunu sağladıkları için sıkça seçilmektedir.

2.2.2 Çift kanallı sistemler

Çift kanallı sistemlerde merkezi bir iklimlendirme sistemi, şartlandırılacak alanlara paralel iki adet kanaldan meydana gelir. Kanalın bir tanesi ılık, bir tanesi soğuk hava taşımaktadır. Her bir bölgeye, içerideki yükü karşılayacağı oranlarda sıcak ve soğuk hava karıştırılarak verilir.

Genellikle iki kanallı sistemler, tek kanallı sistemlere nazaran daha çok enerji harcarlar. Ayrıca ara mevsimlerde, nem kontrolüne dikkat etmek gerekir. Tek kanallı sistemlere göre diğer bir dezavantajı daha fazla yere gereksinim duymasıdır. Avantajı ise hem kış, hem de yaz aylarında zon kontrolünün kolaylıkla yapılabilmesidir.

2.2.2.1 Çift kanallı sabit debili sistemler

Bu yöntemin geleneksel terminal kutulu sistemlerden iki temel farkı vardır. Bunlardan birincisi tekrar ısıtmanın ana santralde sağlanmasıdır. İkincisi ise mahale

gönderilen havanın bir kısmı soğutulup, diğer kısmının ısıtılmasıdır. Bu şekilde geleneksel sisteme göre daha az enerji kaybı olmaktadır.

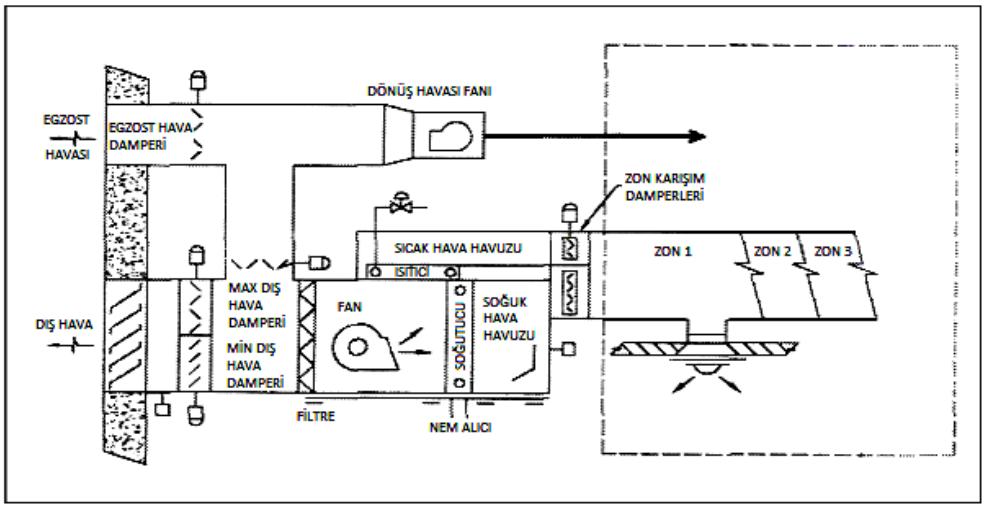
2.2.2.2 Çift kanallı değişken debili (VAV) sistemler

İki kanallı VAV sistemleri, soğuk ve ılık havayı değişik oranlarda karıştırarak mahale gönderilen havanın oluşturulmasını sağlar. İç bölgelerde sadece havanın debisi değiştirilerek kontrol yapılır. Bu da enerji tasarrufu sağlar. Çevre zonlarda ise, çift girişli VAV kutuları kullanılmaktadır. Bu kutuların, hem ılık hem soğuk havayı taşıyan kanallar ile bağlantısı vardır. Mahaldeki soğutma yükünün azalması durumunda soğuk hava kanalı kısılır. Sonrasında ise ılık hava kanalından hava çekilip, istenen hava şartlarının eldesi farklı sıcaklık değerlerinde hava mahale gönderilerek sağlanır. Bu sistemde ısıtma, soğutma ve fan enerjisinden tasarruf sağlanmaktadır.

2.2.3 Çok bölgeli sistemler

Çok bölgeli sistemlerde tüm mahallere tek bir iklimlendirme merkezinden hava gönderilmektedir. Gönderilen bölgelerin ayrı damperleri olup mahallerdeki termostatlar vasıtasıyla kontrollü bir şekilde damperlerin açıklıkları ayarlanarak istenilen hava şartları elde edilmiş olur. Tüm bölgelerin dönüş kanalından çıkan hava birleşerek tek bir kanaldan tekrar iklimlendirme sistemine geri döner. Sistemin çalışma prensibi Şekil 2.4'te gösterilmektedir.

Çok bölgeli sistemler çift kanallı sistemlerin üstünlüklerinin büyük bir kısmını daha az maliyetli bir şekilde karşılarlar.



Şekil 2.4 : Çok bölgeli iklimlendirme sistemi [13].

2.2.4 Tam havalı sistemlerin avantajları

- Isıtma işleminden soğutma işlemine geçiş yapılması çok kolay olup otomatik kontrole uygulanması rahattır.
- Soğutma yapılırken, dış hava sıcaklığının oda sıcaklığından düşük olduğu zamanlarda iklimlendirme sisteminde herhangi bir yük harcanmadan dışarıdan çekilen hava doğrudan mahale gönderilerek havalandırma ile soğutma yapılması mümkündür.
- Tüm ekipmanların iklimlendirilen mahalin dışında olması, bakım açısından kolaylık sağladığı gibi hasar görmelerini de engeller.
- Filtrasyon, ses, ısı ve nem kontrollerinin istenilen şekilde ve rahat olması kolaylığını sağlar.
- İyi hava dağılımının gerçekleşmesini sağlar.
- İklimlendirilen mahalin sürekli hava değişiminin gerektiği durumlarda, çok rahat şekilde gereken havayı dışarıdan temin edebilir.
- Kışın nemlendirme yapabilme imkanı vardır.

2.2.5 Tam havalı sistemlerin dezavantajları

- Havanın mahallere taşınması kanallar vasıtasıyla olduğu için ek bir yükseklik farkına ihtiyaç olması, mahalin yüksekliğinin ona göre ayarlanmasını gerektirir.
- Kanallarında hava dengesinin yapılması işlemi zordur.
- Soğutma veya ısıtma yükünün büyüklüğüne göre kanallar, ayrıntılı bir şekilde düşünülüp hesaplamalar yapılarak ayarlanmalıdır.
- Uç elemanlara ulaşmak için müdahale kapakları bırakılır. Bu kapaklar mimari ve dekorasyon açısından sorun teşkil eder.

2.3 Havalı-Sulu Sistemler

Havalı-sulu sistemlerde; mahallerin iklimlendirilmesi, mahallerdeki uç ünitelere hava ve su dağıtımı ile sağlanır. Hava ve su, makine dairesinde merkezi olarak ısıtılır veya

soğutulur. Mahallere primer hava ile sekonder su devresi şeklinde gönderilerek iklimlendirme yapılır.

2.4 Sulu Sistemler

Sulu sistemlerde; iklimlendirilecek mahalin tüm duyulur ve gizli ısı yüklerinin tamamı su devresi tarafından karşılanır. Havalı-sulu sistemlerden farklı olarak gizli ısı yükleri de soğuk su devresinden karşılanmaktadır. Her ne kadar sadece sulu sistem de olsa genel olarak bu mahallerin de temiz hava ihtiyacının karşılanması için havalandırma yapılması şarttır.

3. HAVANIN TERMODİNAMİK ÖZELLİKLERİ

Bu bölümde matematik model kurulumunda kullanılacak havanın termodinamik özellikleri ve ifadeleri çıkarılacaktır [14-16]. Bir sonraki bölümde de bu ifadeler yardımıyla sistemin matematik modeli oluşturulacaktır.

3.1 Giriş

Dünyayı çevreleyen atmosferde bulunan hava, kabaca oksijen (O_2) ve azot (N_2) gazlarının fiziksel karışımından meydana gelmektedir. Bunlara ilaveten az da olsa su buharı, karbondioksit (CO_2), argon gibi gazlar içermektedir. Birçok element ve molekülden oluşan hava, iklimlendirme açısından sadece iki maddelik bir karışımdır. Hava atmosferde her nerede olursa olsun bir miktar su buharı (nem) ile karışmış halde bulunur. Bunlara ek olarak hava kirletici birçok madde içermektedir. Fakat bu maddeler filtre edilerek iklimlendirme hesaplarının dışında tutulmaktadır.

İçinde nem ihtiva etmeyen havaya kuru hava denilmektedir.

Nemli Hava = Kuru Hava + Su Buharı

3.1.1 Kuru hava ve su buharı karışımının özellikleri

Hem hava, hem de düşük basınçlardaki su buharı ideal gaz gibi davrandıklarından dolayı Dalton'un ideal gazlar kanununa uymaktadırlar. Bu kanuna göre karışımı oluşturan gazlar ile ilgili olarak formüller üretilebilmektedir. Bu formüllerden bir kısmını gösterecek olursak:

- Gaz karışımının toplam ağırlığı, kuru hava ile su buharı ağırlıklarının toplamına eşittir:

$$m = m_a + m_v \tag{3.1}$$

- Karışımdaki her bir gazın hacmi toplam hacime eşittir:

$$V = V_a + V_v \tag{3.2}$$

- Karışımı oluşturan gazların sıcaklıkları Dalton-Gibbs Kanununa göre karışımın sıcaklığına eşittir:

$$\overline{T} = \overline{T}_a = \overline{T}_v \tag{3.3}$$

- Karışımın toplam basıncı, karışımı oluşturan gazların kısmi basınçlarının toplamına eşittir:

$$P = P_a + P_v \tag{3.4}$$

- Karışımdaki gazların entalpilerinin toplamı karışımın entalpisine eşittir:

$$H = m_a h_a + m_v h_v \tag{3.5}$$

3.1.2 Özgül nem

Nemli hava içindeki su buharı kütlesinin kuru hava kütlesine oranı özgül nem olarak ifade edilir. Değeri gr/kg olarak verilmektedir.

$$w = \frac{m_v}{m_a} = \frac{\rho_v}{\rho} \qquad \rho_v = w\rho \tag{3.6}$$

İdeal gaz denklemleri su buharı ve kuru hava için yazılacak olursa;

$$P_v V_v = m_v R_v \overline{T}_v \quad \Rightarrow \quad m_v = \frac{P_v V_v}{R_v \overline{T}_v} \tag{3.7}$$

$$P_a V_a = m_a R_a \overline{T}_a \quad \Rightarrow \quad m_a = \frac{P_a V_a}{R_a \overline{T}_a} \tag{3.8}$$

elde edilir. Kuru hava ve su buharının sıcaklıkları aynı olduğundan ve Dalton-Gibbs kanununa göre kapladıkları hacmin de eşit olduğu kabul edilebileceğinden, **(3.7)** denklemindeki m_v ile **(3.8)** denklemindeki m_a **(3.6)** denkleminde yerine konulup sadeleştirme yapılırsa;

$$w = \frac{m_v}{m_a} = \frac{P_v V_v / (R_v \overline{T}_v)}{P_a V_a / (R_a \overline{T}_a)} = \frac{R_a}{R_v} \frac{P_v}{P_a} \tag{3.9}$$

bulunur. Buradan kuru hava ve su buharı gaz sabitleri değerleri **(3.9)** denkleminde yerine konacak olunursa;

$$R_a = 0,287\,kj/kgK, \qquad R_v = 0,46152 kj/kgK \quad ve \quad \frac{R_a}{R_v} = 0,622$$

$$w = 0,622\frac{P_v}{P_a} \tag{3.10}$$

elde edilir. Daha önceden de açıkladığımız gibi karışımı oluşturan gazların kısmi basınçları toplamı karışımın basıncını vereceğinden, nemli havanın basıncı;

$$P = P_a + P_v$$

denkleminde P_a yalnız bırakılarak **(3.10)** denkleminde yerine konulursa özgül nem;

$$w = 0,622\frac{P_v}{P - P_v} \tag{3.11}$$

olarak ifade edilir.

3.1.3 Bağıl nem

Su buharının kısmi basıncının, o sıcaklıktaki doyma basıncına oranına bağıl nem adı verilir. Başka bir deyişle bağıl nem havanın herhangi bir sıcaklıktaki doygunluk derecesini veya yüzdesini göstermektedir.

$$\phi = \frac{P_v}{P_g}$$

Doyma basıncının sıcaklığa göre değişiminin 0 ile 50 ^oC arasındaki değerlerinden bir grafik oluşturarak elde edilen en yakın eğrinin denklemi, Ek B'de eksponansiyel bir yaklaşımla elde edilecektir. Bu denklem formül olarak $P_g = \alpha e^{\beta.T}$ şeklindedir.

$$P_v = \phi P_g = \phi\alpha e^{\beta.T} \tag{3.12}$$

olarak bulunur. Bu değer **(3.11)** denkleminde yerine konulursa,

$$w = 0,622\frac{\phi\alpha e^{\beta T}}{P - \phi\alpha e^{\beta T}}$$

elde edilir. Denklemde ϕ çekilerek, denklem **(3.13)** elde edilir.

$$\phi = \frac{Pw}{(w + 0,622)\alpha e^{\beta T}} \tag{3.13}$$

3.1.4 Kuru ve nemli havanın yoğunlukları

3.1.4.1 Kuru havanın yoğunluğu

İdeal gaz denklemi tekrar yazılıp,

$$P_a V_a = m_a R_a \bar{T}$$

olarak düzenlenirse kuru havanın yoğunluğu denklemi elde edilir:

$$\rho = \frac{m_a}{V} = \frac{P_a}{R_a \bar{T}} \qquad \textbf{(3.14)}$$

$P = P_a + P_v$ denkleminden P_a yalnız bırakılıp denklem **(3.14)**'te yerinde yazılırsa kuru havanın yoğunluğu denklem **(3.15)**'teki gibi olmaktadır.

$$\rho = \frac{P - P_v}{R_a \bar{T}} \qquad \textbf{(3.15)}$$

Denklem **(3.11)**'den $P - P_v$ çekilerek düzenlenip denklem **(3.15)**'te yerine konursa kuru havanın yoğunluğu,

$$\rho = \frac{0,622P}{R_a \bar{T} \bar{W}} \qquad \textbf{(3.16)}$$

şeklinde ifade edilir. Bu denklemdeki $\bar{W}$ mutlak nem olup,

$$\bar{W} = 0,622 + w \qquad \textbf{(3.17)}$$

şeklinde kabul edilmektedir.

3.1.4.2 Nemli havanın yoğunluğu

Nemli havanın yoğunluğu denklemini çıkarırken Dalton kanununa göre "*Gaz karışımlarında, her bir gaz kendi kısmi basınçlarında eşit hacime sahiptirler.*" kabulünü de göz önünde bulundurarak,

$$m = m_a + m_v$$

$$\rho' = \frac{m}{V} = \frac{m_a + m_v}{V} = \rho_v + \rho \qquad \textbf{(3.18)}$$

ifadesi bulunur ve bu denklemdeki ρ yerine denklem **(3.6)** konulduğunda,

$$\rho' = (1+w)\rho = \left(\bar{W} + 0,378\right)\rho \qquad \textbf{(3.19)}$$

nemli havanın yoğunluğu denklemi elde edilir.

3.1.5 Kuru ve nemli havanın entalpisi

Kuru hava ve su buharı karışımının (kısaca nemli hava olarak da adlandırılabilir) entalpisi, karışımdaki her iki maddenin entalpilerinin toplamına eşittir. Bu tanıma göre yazılmış olan denklem **(3.5)**'te denklemin her iki tarafı m_a'ya bölünerek,

$$h = h_a + wh_v \qquad \textbf{(3.20)}$$

özgül nem entalpisi bulunur. Burada sıcaklık referans noktası $0^o C$ seçilerek formüle edilecektir. Denklem **(3.20)**'de

$$h_a = C_a T \qquad \textbf{(3.21)}$$

kuru havanın entalpisini;

$$h_v = C_s T_g + h_g + C_V (T - T_g) \qquad \textbf{(3.22)}$$

ise nemli havanın entalpisini göstermektedir.

$$C_s = 4,1868 kj/kgK \;\; , \;\; C_v = 1,8723 kj/kgK \;\; , \;\; C_a = 1,0035 kj/kgK$$

Yukarda verilmiş olan C_s, C_v ve C_a sabit değerleri ve $T_g = 0^o C$ için $q_v = 2501,3 kj/kg$ kabulü, denklem **(3.22)**'de yerlerine yazılarak denklem **(3.23)** elde edilir. h_v sıcaklıkla ters orantılı olarak her $1^o C$ sıcaklık artışında yaklaşık 2,4 kj/kg azalmaktadır.

$$h_v = q_V + C_V T$$

$$h_v = 2501,3 + 1,8723T \qquad \textbf{(3.23)}$$

(3.21) ve **(3.23)** denklemlerini, denklem **(3.20)**'de yerine yazarak daha yaklaşık bir sonuç olan denklem **(3.24)** elde edilmektedir.

$$h = C_a T + w(q_V + C_V T) \qquad \textbf{(3.24)}$$

Farklı bir şekilde Ek B'de kuru havanın entalpisinin sıcaklığa bağlı değişiminin denklemi çıkarılmıştır.

3.1.6 Nemlendiricideki suyun entalpisi

İklimlendirme odasını nemlendirmede su kullanılmaktadır. Bu nedenle enerji dengesini kurarken bu suyun entalpisi de göz önünde bulundurulmaktadır. Nemlendirici suyunun entalpisi,

$$H_s = m_s h_s \tag{3.25}$$

olarak elde edilmektedir. $h_s = C_s T_s$ ifadesini denklem **(3.25)**'te yerine yazarak elimizdeki verilere uygun olarak nemlendiricideki suyun entalpisi

$$H_s = m_s C_s T_s \tag{3.26}$$

olarak bulunur.

4. SİSTEMİN MATEMATİK MODELİNİN ÇIKARILMASI

4.1 Giriş

Bu bölümde bir önceki bölümde bulunan havanın termodinamik özellikleri yardımıyla gemideki herhangi bir odayı kontrol hacmi olarak ele alıp matematik modeli kurulacaktır. Kurulacak matematik model; sisteme verilen enerjinin, nemin ve dışarıdan alınan taze hava ile sistemden dönen hava karışımının dengesini içermektedir.

Kontrol odasının tavan, zemin ve yan duvarlarında olan ısı kaybı denklemi; iletim ve taşınım vasıtasıyla olduğu kabulü yapılarak ve çeperlerin kapasitif özellikleri göz önünde bulundurularak çıkarılacaktır.

4.2 Matematik Modelde Yapılan Kabuller

Sistemin matematik modeli bulunurken birtakım kabuller yapılması gerekmektedir. Bu kabullerle denklemlerin gereksiz karmaşıklaşması önlenmeye çalışılacaktır.

- Köprüüstündeki pencereler ve kamaralardaki lumbuzlar normal duvar olarak kabul edilmektedir.
- Sistemde hava çıkış boruları haricinde hava kaçağının olmadığı kabul edilmektedir.
- Geminin dış kısmındaki hava akımı geminin hızına bağlı olarak sabit kabul edilmektedir.
- Gemi içindeki hava hareketleri sabit kabul edilmektedir.
- Kontrol hacmi içinde nem ve ısı veren veya absorblayan sistemler ile insan faktörü ihmal edilmektedir.
- Gemi mahal duvarlarındaki ısı geçişlerinin lineer olduğu kabulü yapılmıştır.
- Mika kaplamanın ve izolasyon malzemesinin kapasitif özellikleri ihmal edilmiştir.

4.3 Sistem Denklemlerinin Bulunması

Sistemimizin denklemleri iki biçimde oluşturulacaktır. İlk olarak oda havasının taze hava ile karışımı göz önüne alınmayarak kontrol hacminin girişi ile çıkışı arasındaki denklemler bulunacak, sonrasında da oda çıkış havasıyla karışım yaptığı düşünülerek sistemin denklemleri oluşturulacaktır. Bu denklemler bir oda için üretilecek ve sonrasındaysa Matlab-Simulink programı vasıtasıyla tüm gemi için çözüm yapılması sağlanacaktır. İklimlendirme odası için nem, enerji, hız ve ısı transferi denklemleri çıkarılacaktır.

4.3.1 Nem dengesi

Sisteme giren havadaki nem miktarı ile sisteme verilen su buharı miktarının toplamı, sistemden çıkan havadaki nem miktarı ile kontrol hacmindeki nem değişimi miktarının toplamına eşittir. Matematiksel olarak denklem **(4.1)**'deki gibi ifade edilmektedir.

$$\dot{m} + w_k \rho_k f_k = w \rho f + V \rho \frac{dw}{dt} \qquad \textbf{(4.1)}$$

Bu denklemdeki f hacimsel debiyi simgelemektedir. $f = Av$'dir. Bu ifadeyi denklem **(4.1)**'de yerine yazıp $\frac{dw}{dt}$ çekilerek,

$$\frac{dw}{dt} = \frac{1}{\rho V}\dot{m} + \frac{\rho_k}{\rho V} w_k f_k - \frac{A}{V} vw \qquad \textbf{(4.2)}$$

elde edilir. Denklemleri basitleştirmek adına,

$$K_1 = \frac{R_a}{0,622\,P} \quad , \quad K_2 = \frac{w_k}{\bar{T}_k \bar{W}_k}$$

kısaltmaları yapılır. Denklem **(3.16)**'da K_1 kısaltması yapılarak yoğunluk çekilirse

$$\rho = \frac{1}{K_1 \bar{T} \bar{W}} \qquad \textbf{(4.3)}$$

denklemi elde edilir. Denklem **(4.3)**'teki ifade giriş havası için tekrar düzenlenirse denklem **(4.4)**'deki gibi olur.

$$\rho_k = \frac{1}{K_1 \bar{T}_k \bar{W}_k} \qquad \textbf{(4.4)}$$

Denklem **(4.4)** ile denklem **(4.3)** oranlanırsa denklem **(4.2)**'nin içinde yer alan yoğunluklar oranı elde edilir.

$$\frac{\rho_k}{\rho} = \frac{\bar{T}\bar{W}}{\bar{T}_k\bar{W}_k} \tag{4.5}$$

K_1, K_2, denklem **(4.5)** ve denklem **(3.17)** ifadeleri denklem **(4.2)**'de uygun bir şekilde konulup basitleştirme yapılırsa,

$$\frac{dw}{dt} = \frac{1}{V}\left[K_1\bar{T}\bar{W}\dot{m} + K_2 f_k\bar{T}\bar{W} - Av(\bar{W} - 0,622) \right] \tag{4.6}$$

nem dengesi denklemi bulunmuş olur.

4.3.2 Enerji dengesi

Yaptığımız kabuller dahilinde iklimlendirme odası kontrol hacmine giren enerjiyle hacimden çıkan enerji arasındaki fark enerji kazanımını veya kaybını göstermektedir. Enerji değişimi; ısıtıcıdan kontrol hacmine verilen ısı miktarı, kontrol hacmine verilen havanın entalpisi ve nemlendirmek için verilen su buharı entalpisinin toplamından, kontrol hacminden çıkan havanın entalpisi ile oda çeperlerinden kaçan ısı miktarı toplamının çıkarılması ile elde edilir:

$$V\rho'\frac{dh}{dt} = \left(Q + \rho'_k f_k h_k + m_S C_S T_S\right) - \left(\rho' hf + Q_k\right) \tag{4.7}$$

Denklem **(3.24)**'teki entalpi denkleminin her iki tarafının türevi alınıp denklem **(4.8)** şeklinde yazılabilir.

$$\frac{dh}{dt} = (C_a + C_V w)\frac{dT}{dt} + (C_V T + q_V)\frac{dw}{dt} \tag{4.8}$$

Denklem **(4.6)**'yı denklem **(4.8)**'de yerine koyup, sonrasında denklem **(4.8)**'i denklem **(3.19)**'u da gözeterek denklem **(4.7)**'de yerine yazılırsa enerji değişimine bağlı sıcaklık değişimi denklemi,

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{(C_a + C_V w)V}\left[\begin{array}{l} \dfrac{Q}{\rho'} + \dfrac{\rho_k}{\rho}\dfrac{(\bar{W}_k + 0,378)}{(\bar{W} + 0,378)} f_k h_k + \dfrac{mC_S T_S}{\rho'} - \dfrac{Q_k}{\rho'} Avh \\ \\ -(C_V T + q_V)V(K_1\dot{m}\bar{T}\bar{W} + K_2 f_k\bar{T}\bar{W} - Av(\bar{W} - 0,622)) \end{array}\right] \tag{4.9}$$

elde edilmiş olur. Denklemleri daha anlaşılır yapmak için

$$K_3 = \frac{\bar{W}_k + 0,378}{\bar{T}_k \bar{W}_k}$$

kısaltması yapılır.

Denklem **(4.9)**'u daha basit hale getirmek için denklem **(4.5)**, denklem **(3.16)** ile K_3 kısaltmasını kullanarak tekrar yazacak olursak,

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{(C_a + C_V w)V} \begin{bmatrix} (\dot{Q} + m_S C_S T_S - Q_k) K_1 \dfrac{\bar{T}\bar{W}}{\bar{W} + 0,378} + \dfrac{K_3 f_k h_k}{\bar{W} + 0,378} \bar{T}\bar{W} - AC_h (\bar{T} - 273,15) v \\ -q_V (K_1 \dot{m} + K_2 f_k) \bar{T}\bar{W} - C_V (K_1 \dot{m} + K_2 f_k)(\bar{T} - 273,15) \bar{T}\bar{W} \end{bmatrix} \quad \textbf{(4.10)}$$

sıcaklığın zamana bağlı ifadesi elde edilmiş olur.

4.3.3 Hız dengesi

Kontrol hacminin matematik modelinin çıkartılması sırasında "*kontrol hacmi içindeki basınç sabit ve atmosfer basıncına eşittir"* kabulü göz önünde bulundurulur. Kontrol hacmine giren kuru hava miktarı ile kontrol hacminden çıkan kuru hava miktarı arasındaki fark, kontrol hacminde sıcaklık ve nemin değişkenliği nedeniyle yoğunluğun değişimi sonucunda meydana gelen kütle değişimine eşittir. Bu denklemden hız ifadesi çekilerek kontrol hacmindeki havanın hızına ulaşılacaktır. Üstteki ifade denklem olarak yazılırsa,

$$\rho_k f_k = \rho f + \frac{dm}{dt} \quad \textbf{(4.11)}$$

elde edilir. Denklem **(4.11)**'deki $\frac{dm}{dt}$ ifadesi genişletilerek,

$$\frac{dm}{dt} = \frac{d}{dt}(V\rho) = V\frac{d\rho}{dt} \quad \textbf{(4.12)}$$

ve denklem **(4.11)**'de yerine yazılarak denklem **(4.13)** elde edilir.

$$\rho_k f_k = \rho f + V\frac{d\rho}{dt} \quad \textbf{(4.13)}$$

Bu denklemdeki f yerine, eşiti olan $A.v$'yi yerleştirip hız ifadesini denklemden çekilirse,

$$v = \frac{\rho_k f_k}{\rho A} - \frac{V}{\rho A}\frac{d\rho}{dt} \quad \textbf{(4.14)}$$

hız denklemini elde edilir. Bu denklem matematik modelde kullanılmak üzere genişletilecek olunursa, $\frac{d\rho}{dt}$ ifadesi; denklem **(4.3)**'ün türevini alarak denklem **(4.15)** 'teki gibi hesaplanabilir.

$$\frac{d\rho}{dt} = \frac{d(\frac{1}{K_1\bar{T}\bar{W}})}{dt} = \frac{-1}{K_1(\bar{T}\bar{W})^2}\frac{d(\bar{T}\bar{W})}{dt} \qquad \textbf{(4.15)}$$

Bu denklemdeki

$$\frac{d(\bar{T}\bar{W})}{dt}$$

türev ifadesi

$$\bar{W}\frac{d\bar{T}}{dt} + \bar{T}\frac{d\bar{W}}{dt}$$

şeklinde açılıp tekrar denklem **(4.15)**'te yerine yazılırsa,

$$\frac{d\rho}{dt} = -\frac{1}{K_1}\frac{1}{(\bar{T}\bar{W})^2}(\bar{W}\frac{d\bar{T}}{dt} + \bar{T}\frac{d\bar{W}}{dt}) \qquad \textbf{(4.16)}$$

yoğunluğun türevi ifadesi denklem **(4.16)**'daki gibi elde edilir. Son olarak denklem **(4.14)**'te, $\frac{\rho_k}{\rho}$ ifadesi yerine denklem **(4.5)**, ρ ifadesi yerine denklem **(4.3)**, son olarak da $\frac{d\rho}{dt}$ ifadesi yerine denklem **(4.16)** konarak kontrol hacminin hava hız dengesi denklemi elde edilir.

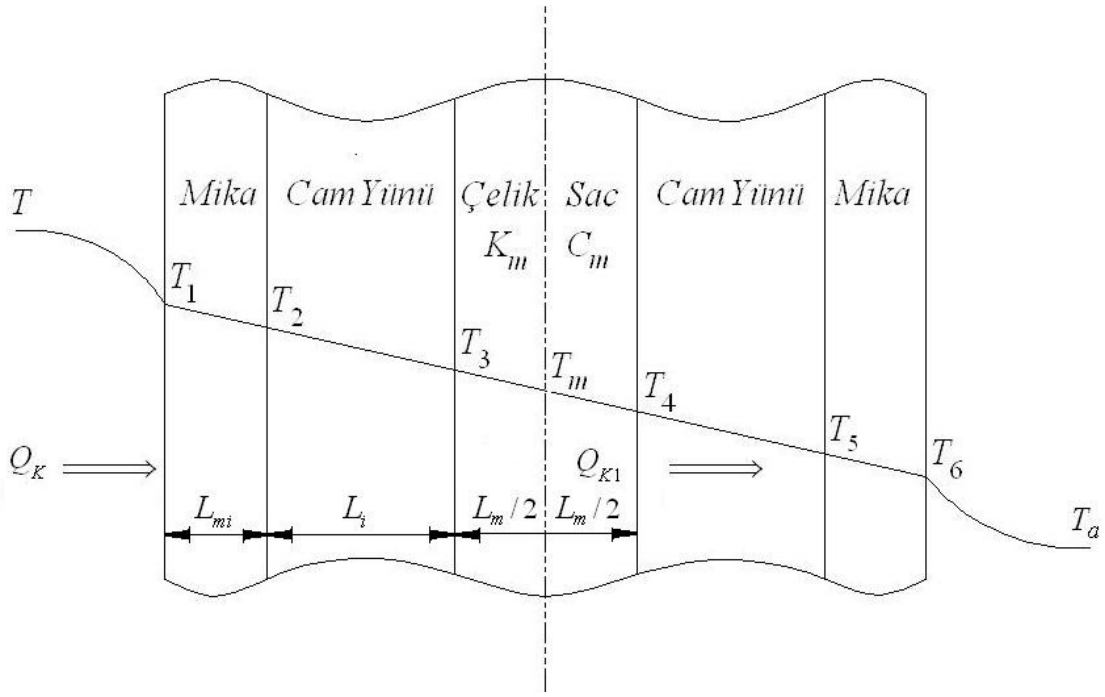
$$v = \frac{f_k}{A\bar{T}_k\bar{W}_k}\bar{T}\bar{W} + \frac{V}{A}\frac{1}{(\bar{T}\bar{W})^2}(\bar{W}\frac{d\bar{T}}{dt} + \bar{T}\frac{d\bar{W}}{dt}) \qquad \textbf{(4.17)}$$

4.3.4 Kontrol odasının çevre ile olan ısı transferi

İklimlendirmesi yapılacak geminin odaları aynı özelliğe sahip olmadığı için ilk olarak genel birkaç denklem oluşturulacaktır. Bu denklemler duvarların kapasitif özelliklerini göz önünde bulundurarak, iletimle ve taşınımla da ısı kaybı olduğu düşünülerek, zamana bağlı olarak incelenecektir. Denklemler sistemde bulunan iki tip duvar çeşidi için oluşturulacaktır. Bu denklemler oluşturulurken oda duvarlarının iç ve dış yüzey sıcaklıkları arasındaki fark nedeniyle duvar içindeki sıcaklık değerleri değişiminin doğrusal olduğu kabul edilecektir.

4.3.4.1 İç bölmelerde meydana gelen ısı transferi

Herhangi bir mahalde, dış duvar haricindeki iç duvarlar, Şekil 4.1'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1 : İç duvar kesiti.

Sistemimiz gemi olduğundan mahaller arası duvar iç kesiti; en içte metal plaka, üzerinde izolasyon malzemesi ve en dışta da mika kaplama olarak kabul edilmiştir. Bu özelliklere göre zamana bağlı ısı kaybı denklemi elde edilirken mika ve izolasyon malzemesinin ısı yutma özelliği olmadığı varsayılmıştır.

Mahalden dış ortama, taşınımla ve iletimle ısı geçişi meydana gelmektedir. Bu ısı geçişinin matematiksel ifadesi oluşturulurken dikkat edilmesi gereken husus, kapasitif etkinin yalnız çelik sac malzemede olduğu ve malzemenin tam orta bölgesinde bulunduğudur.

Denklem oluşturulurken kapasitif etkinin olduğu kısmın, ısı transferini iki bölgeye ayırdığı varsayılmıştır. İç duvar yüzeyinden taşınımla olan ısı transferi, mika malzemenin üzerinden iletimle olan ısı transferi, izolasyon malzemesi üzerinden iletimle olan ısı transferi ve sac malzemenin yarı genişliğinde iletimle olan ısı transferi ilk ısı transferi bloğunu oluşturmaktadır. Mahal içerisinde taşınımla ısı geçişi denklem **(4.18)**'deki gibi yazılmaktadır.

$$\dot{Q}_k = S_d h_i (T - T_1) \qquad \textbf{(4.18)}$$

Sonrasında duvarda ısının yutulduğu kabul edildiği için, referans yüzeye kadar iletimle ısı geçişi denklemleri mika, izolasyon malzemesi ve çelik sac için ayrı olarak denklem **(4.19)**, **(4.20)** ve **(4.21)**'deki şekilleriyle hesaplanır.

$$\dot{Q}_k = \frac{S_d k_{mi}}{L_{mi}} (T_1 - T_2) \qquad \textbf{(4.19)}$$

$$\dot{Q}_k = \frac{S_d k_i}{L_i} (T_2 - T_3) \qquad \textbf{(4.20)}$$

$$\dot{Q}_k = \frac{2S_d k_m}{L_m} (T_3 - T_m) \qquad \textbf{(4.21)}$$

Duvarda yutulan ısı, yapılan kabuller de göz önünde bulundurularak denklem **(4.22)**'de gösterilmektedir.

$$\dot{Q}_m = \rho_m S_d L_m C_m \frac{dT_m}{dt} = C_m \frac{dT_m}{dt} \qquad \textbf{(4.22)}$$

İkinci bölge ise kapasitif etkiden dış bölgeye doğru sırasıyla çelik sac malzeme yarı genişliğinde iletimle olan ısı transferi, izolasyon malzemesi üzerinde iletimle olan ısı transferi, mika malzeme üzerinde iletimle olan ısı transferi ve dış duvar üzerindeki taşınımla olan ısı transferi olarak tanımlanmaktadır.

Duvardan çevreye taşınım ve iletimle olan ısı transferi denklemleri

$$\dot{Q}_k - \dot{Q}_m = \dot{Q}_{k1} = \frac{2S_d k_m}{L_m} (T_m - T_4) \qquad \textbf{(4.23)}$$

$$\dot{Q}_k - \dot{Q}_m = \dot{Q}_{k1} = \frac{S_d k_i}{L_i} (T_4 - T_5) \qquad \textbf{(4.24)}$$

$$\dot{Q}_k - \dot{Q}_m = \dot{Q}_{k1} = \frac{S_d k_{mi}}{L_{mi}} (T_5 - T_6) \qquad \textbf{(4.25)}$$

$$\dot{Q}_k - \dot{Q}_m = \dot{Q}_{k1} = S_d h_d (T_6 - T_a) \qquad \textbf{(4.26)}$$

şeklinde ifade edilerek duvarın tüm kesitinde meydana gelen ısı transfer miktarı tespit edilmektedir. Bunu yaparken çeşitli sadeleştirmeler yapılarak ana denklemin parametreleri azaltılıp sonuca varılmaktadır.

İlk olarak denklem **(4.18)**, **(4.19)**, **(4.20)** ve **(4.21)**'de sıcaklık farkları çekilerek elde edilen;

$$T - T_1 = \frac{\dot{Q}_k}{S_d h_i} \tag{4.27}$$

$$T_1 - T_2 = \frac{\dot{Q}_k L_{mi}}{S_d k_{mi}} \tag{4.28}$$

$$T_2 - T_3 = \frac{\dot{Q}_k L_i}{S_d k_i} \tag{4.29}$$

$$T_3 - T_m = \frac{\dot{Q}_k L_m}{2 S_d k_m} \tag{4.30}$$

denklemleri taraf tarafa toplanırsa,

$$T - T_m = \dot{Q}_k \left(\frac{1}{S_d h_i} + \frac{L_{mi}}{S_d k_{mi}} + \frac{L_i}{S_d k_i} + \frac{L_m}{2 S_d k_m}\right) = \dot{Q}_k R_{d1} \tag{4.31}$$

denklemi elde edilir. Bu denklemde yapılacak ana matematiksel modeli sadeleştirmek adına ısı iletim ve taşınım katsayıları toplamında R_{d1} kısaltması yapılmıştır.

$$\dot{Q}_k = \frac{1}{R_{d1}} (T - T_m) \tag{4.32}$$

$$T_m = T - R_{d1} \dot{Q}_k \tag{4.33}$$

Daha sonra aynı şekilde denklem **(4.23)**, **(4.24)**, **(4.25)** ve **(4.26)**'da sıcaklık farkları çekilerek elde edilen;

$$T_m - T_4 = \frac{\dot{Q}_{k1} L_m}{2 S_d k_m} \tag{4.34}$$

$$T_4 - T_5 = \frac{\dot{Q}_{k1} L_i}{S_d k_i} \tag{4.35}$$

$$T_5 - T_6 = \frac{\dot{Q}_{k1} L_{mi}}{S_d k_{mi}} \tag{4.36}$$

$$T_6 - T_a = \frac{\dot{Q}_{k1}}{S_d h_d} \tag{4.37}$$

denklemleri de taraf tarafa toplanırsa,

$$T_m - T_a = \dot{Q}_{k1}\left(\frac{1}{S_d h_d} + \frac{L_{mi}}{S_d k_{mi}} + \frac{L_i}{S_d k_i} + \frac{L_m}{2 S_d k_m}\right) = \dot{Q}_{k1} R_{d2} \quad \textbf{(4.38)}$$

$$\dot{Q}_{k1} = \frac{1}{R_{d2}}(T_m - T_a) \quad \textbf{(4.39)}$$

denklemleri elde edilir. Son olarak duvar için ısı dengesi denklemi

$$\dot{Q}_k = \dot{Q}_{k1} + \dot{Q}_m \quad \textbf{(4.40)}$$

şeklinde yazılır. Denklem **(4.22)** ve **(4.39)**, denklem **(4.40)**'da yerine yazılarak denklem **(4.41)** elde edilir.

$$\dot{Q}_k = C_m \frac{dT_m}{dt} + \frac{T_m - T_a}{R_{d2}} \quad \textbf{(4.41)}$$

Denklem **(4.41)**'de T_m ifadeleri yerine denklem **(4.33)** konularak türev ifadeleri açılırsa denklem **(4.43)** elde edilir.

$$\dot{Q}_k = C_m \frac{d(T - R_{d1}\dot{Q}_k)}{dt} + \frac{T - R_{d1}\dot{Q}_k - T_a}{R_{d2}} \quad \textbf{(4.42)}$$

$$\dot{Q}_k = C_m \frac{dT}{dt} - C_m R_{d1} \frac{d\dot{Q}_k}{dt} + \frac{T - T_a}{R_{d2}} + \frac{R_{d1}}{R_{d2}} \dot{Q}_k \quad \textbf{(4.43)}$$

Denklem **(4.43)**'te ısı kaybının zamana bağlı değişimini çekerek

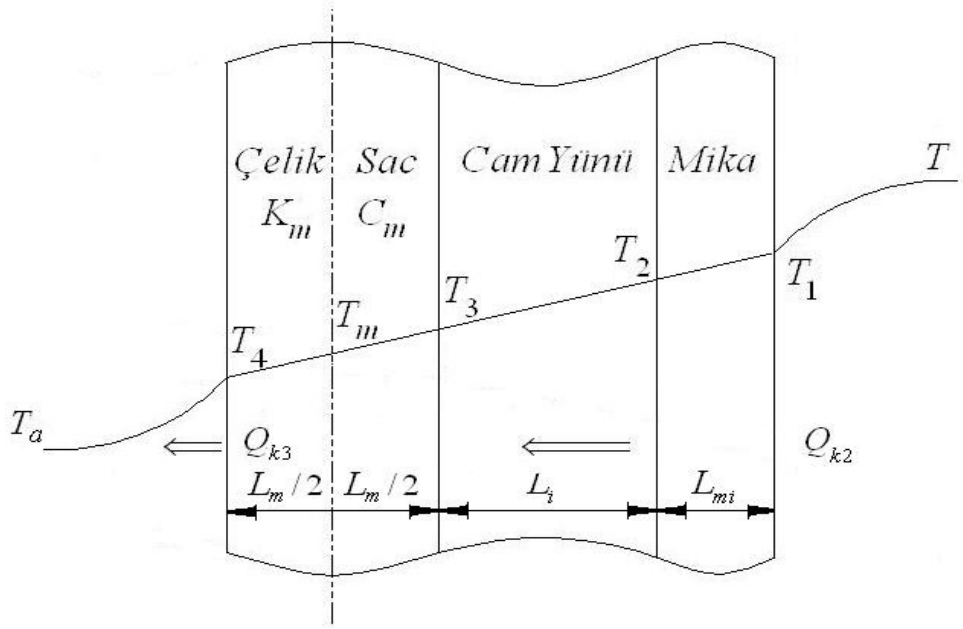
$$\frac{d\dot{Q}_k}{dt} = \frac{1}{R_{d1}} \frac{d\overline{T}}{dt} + \frac{T - T_a}{R_{d1} C_m R_{d2}} - \dot{Q}_k \frac{\left(1 + \frac{R_{d1}}{R_{d2}}\right)}{C_m R_{d1}} \quad \textbf{(4.44)}$$

bu duvar için kullanılacak ısı transferi denklemi elde edilmiş olur.

4.3.4.2 Tavan, döşeme ve dış bölmede meydana gelen ısı transferi

Denklem oluşturulurken iç ortam ile aynı şekilde kapasitif etkinin düşünüldüğü yerden öncesi ve sonrası iki blok olarak ayrılmaktadır.

İç duvar yüzeyinden taşınımla olan ısı transferi, mika malzemenin üzerinden iletimle olan ısı transferi, izolasyon malzemesi üzerinden iletimle olan ısı transferi ve sac malzemenin yarı genişliğinde iletimle olan ısı transferi ilk ısı transferi bloğunu oluşturmaktadır. Duvar kesiti Şekil 4.2'de gösterilmektedir.



Şekil 4.2 : Dış duvar kesiti.

Mahal içerisinde taşınımla ısı geçişi, denklem **(4.45)**'teki gibi yazılmaktadır.

$$\dot{Q}_{k2} = S_d h_i (T - T_1) \tag{4.45}$$

Sonrasında duvarda ısının yutulduğu kabul edilen referans yüzeye kadar iletimle ısı geçişi denklemleri denklem **(4.46)**, **(4.47)** ve **(4.48)**'deki şekliyle oluşturulur.

$$\dot{Q}_{k2} = \frac{S_d k_{mi}}{L_{mi}} (T_1 - T_2) \tag{4.46}$$

$$\dot{Q}_{k2} = \frac{S_d k_i}{L_i} (T_2 - T_3) \tag{4.47}$$

$$\dot{Q}_{k2} = \frac{2 S_d k_m}{L_m} (T_3 - T_m) \tag{4.48}$$

Duvarda yutulan ısı, yapılan kabuller de göz önünde bulundurularak denklem **(4.49)**'da gösterilmektedir.

$$\dot{Q}_m = \rho_m S_d L_m C_m \frac{dT_m}{dt} = C_m \frac{dT_m}{dt} \tag{4.49}$$

İkinci bölge ise kapasitif etkiden dış bölgeye doğru çelik sac malzeme yarı genişliğinde iletimle olan ısı transferi ve dış duvar üzerindeki taşınımla olan ısı transferi olarak tanımlanmaktadır.

Duvardan çevreye taşınım ve iletimle olan ısı transferi denklemleri,

$$\dot{Q}_{k2} - \dot{Q}_m = \dot{Q}_{k3} = \frac{2S_d k_m}{L_m}(T_m - T_4) \quad \textbf{(4.50)}$$

$$\dot{Q}_{k2} - \dot{Q}_m = \dot{Q}_{k3} = S_d h_d (T_4 - T_a) \quad \textbf{(4.51)}$$

şeklinde ifade edilerek duvarın tüm kesitinde meydana gelen ısı transfer miktarı tespit edilmektedir. Bu tespitler yapılırken çeşitli sadeleştirmeler yapılarak ana denklemin parametrelerinin azalması sağlanıp sonuca varılmaktadır.

İlk olarak denklem **(4.45)**, **(4.46)**, **(4.47)** ve **(4.48)**'de sıcaklık farkları çekilerek elde edilen denklemler taraf tarafa toplanırsa denklem **(4.52)** elde edilir.

$$T - T_m = \dot{Q}_{k2}\left(\frac{1}{S_d h_i} + \frac{L_{mi}}{S_d k_{mi}} + \frac{L_i}{S_d k_i} + \frac{L_m}{2S_d k_m}\right) = \dot{Q}_{k2} R_{d3} \quad \textbf{(4.52)}$$

Bu denklemde yapılacak ana matematiksel modeli sadeleştirmek için ısı iletim ve taşınım katsayıları toplamında R_{d3} kısaltması yapılır.

$$\dot{Q}_{k2} = \frac{1}{R_{d3}}(T - T_m) \quad \textbf{(4.53)}$$

$$T_m = T - R_{d3}\dot{Q}_{k2} \quad \textbf{(4.54)}$$

Duvardan çevreye taşınım ve iletimle olan ısı transferi denklemlerinde sıcaklık farkları çekilip taraf tarafa toplanarak iletim ve taşınım katsayıları yerine R_{d4} kısaltması yapılır.

$$T_m - T_a = \dot{Q}_{k3}\left(\frac{1}{S_d h_d} + \frac{L_m}{2S_d k_m}\right) = \dot{Q}_{k3} R_{d4} \quad \textbf{(4.55)}$$

Son olarak duvar için ısı dengesi denklemi

$$\dot{Q}_{k2} = \dot{Q}_{k3} + \dot{Q}_m \quad \textbf{(4.56)}$$

şeklinde yazılır. Denklem **(4.49)** ve **(4.53)** , denklem **(4.56)**'da yerine yazılarak denklem **(4.57)** elde edilir.

$$\dot{Q}_{k2} = C_m \frac{dT_m}{dt} + \frac{T_m - T_a}{R_{d4}} \quad \textbf{(4.57)}$$

Denklem (**4.57**)'de T_m ifadeleri yerine denklem **(4.54)** konularak türev ifadeleri açılarak ve ısı kaybının zamana bağlı değişimi çekilerek aşağıdaki denklemler elde edilir.

$$\dot{Q}_{k2} = C_m \frac{d(T - R_{d3}\dot{Q}_{k2})}{dt} + \frac{T - R_{d3}\dot{Q}_{k2} - T_a}{R_{d4}} \tag{4.58}$$

$$\dot{Q}_{k2} = C_m \frac{dT}{dt} - C_m R_{d3} \frac{d\dot{Q}_{k2}}{dt} + \frac{T - T_a}{R_{d4}} + \frac{R_{d3}}{R_{d4}} \dot{Q}_{k2} \tag{4.59}$$

$$\frac{d\dot{Q}_{k2}}{dt} = \frac{1}{R_{d3}} \frac{d\overline{T}}{dt} + \frac{T - T_a}{R_{d3} C_m R_{d4}} - \dot{Q}_{k2} \frac{\left(1 + \frac{R_{d3}}{R_{d4}}\right)}{C_m R_{d3}} \tag{4.60}$$

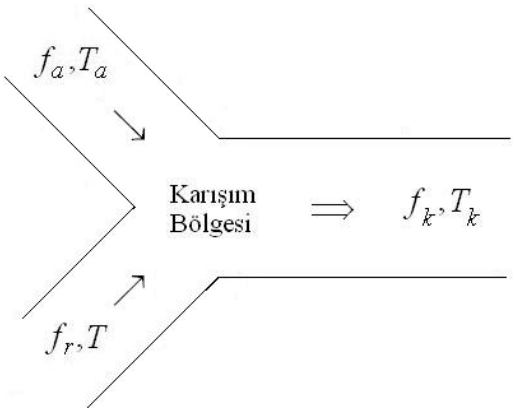
Böylelikle dış duvar, tavan ve zemin için kullanılacak ısı transferi denklemleri elde edilmiş olur.

4.4 Karışım Olması Halinde Sistem Denklemleri

İklimlendirme sisteminde karışım olması halinde mahale verilen hava, dış ortamdan alınan taze havanın sistem çıkış havası (resirküle hava) ile karışımıdır. Böylece ilk olarak sisteme giren hava karışımının özelliklerini belirleyerek ona göre denklemler kurulacaktır.

4.4.1 Karışım bölgesinin analizi

Kontrol hacmine giren hava; resirküle hava ile sisteme dışarıdan alınan taze hava karışımından meydana gelir. Şekil 4.3'te mahale giren havanın karışım bölgesi görülmektedir.



Şekil 4.3 : Karışım bölgesi.

Taze hava miktarıyla geri dönüş havası karışımının r oranında olduğu kabul edilirse, geri dönüş havasının debisi,

$$f_r = rf_k \tag{4.61}$$

taze havanın debisi ise,

$$f_a = (1-r)f_k \tag{4.62}$$

formülüyle ifade edilmektedir. Sistemin süreklilik denklemleri kuru havanın yoğunluğu için

$$\rho_k f_k = \rho_a f_a + \rho f_r \tag{4.63}$$

$$\rho_k = (1-r)\rho_a + r\rho \tag{4.64}$$

denklemleri verilir. Nemli havanın yoğunluğu ise denklem **(4.65)** ve **(4.66)**'daki gibidir.

$$\rho'_k f_k = \rho'_a f_a + \rho' f_r \tag{4.65}$$

$$\rho'_k = (1-r)\rho'_a + r\rho' \tag{4.66}$$

Karışım havasının entalpisi,

$$h_k \rho'_k f_k = h_a \rho'_a f_a + h\rho' f_r \tag{4.67}$$

şeklinde ifade edilerek düzenlenirse enerji dengesi denklem **(4.68)**'deki gibi elde edilir.

$$h_k \rho'_k = (1-r)h_a \rho'_a + rh\rho' \tag{4.68}$$

Karışım havasının nem dengesi

$$w_k \rho_k f_k = w_a \rho_a f_a + w\rho f_r \tag{4.69}$$

denklemini düzenleyerek

$$w_k \rho_k = (1-r)w_a f_a + r\rho w \tag{4.70}$$

şeklinde bulunur. Denklem **(4.64)**, denklem **(4.70)**'te; denklem **(4.66)**, denklem **(4.68)**'de yerine yazılarak nem ve entalpinin ifadesi denklem **(4.71)** ve **(4.72)**'deki gibi bulunacaktır.

$$w_k = \frac{(1-r)\rho_a w_a + r\rho w}{(1-r)\rho_a + r\rho} \tag{4.71}$$

$$h_k = \frac{(1-r)\rho'_a h_a + r\rho' h}{(1-r)\rho'_a - r\rho'} \tag{4.72}$$

4.4.2 Sistem giriş değişkenlerinin karışım denklemlerinden bulunması

Kuru havanın yoğunluğunu veren denklem **(3.16)**, denklem **(4.71)**'de yerine yazılarak düzenlenirse karışım havasının özgül nemini veren ifade elde edilir.

$$w_k = \frac{r\bar{T}_a\bar{W}_a\bar{W} + (1-r)\bar{T}\bar{W}\bar{W}_a}{r\bar{T}_a\bar{W}_a + (1-r)\bar{T}\bar{W}} \tag{4.73}$$

Kuru havanın yoğunluğunu veren denklem **(3.16)** ve nemli havanın yoğunluğunu veren denklem **(3.19)**, denklem **(4.72)**'de yerine yazılarak karışım havasının entalpisi

$$h_k = \frac{r(\bar{T}_a\bar{W}_a)(1+w)h + (1-r)(\bar{T}\bar{W})(1+w_a)h_a}{r(\bar{T}_a\bar{W}_a)(1+w) + (1-r)(\bar{T}\bar{W})(1+w_a)} \tag{4.74}$$

elde edilir. Karışım sıcaklığı, denklem **(3.24)**'ten sıcaklığı çekerek giriş şartları için düzenlendiğinde denklem **(4.75)**'in ifadesi bulunmuş olur.

$$T_k = \frac{h_k - q_V w_k}{C_a + C_V w_k} \tag{4.75}$$

Karışım havasının özgül nemini ve sıcaklığını veren ifadeleri kolaylaştırmak için bazı kısaltmalar yapılırsa,

$$P_1 = r\bar{T}_a\bar{W}_a w + (1-r)\bar{T}\bar{W}w_a \tag{4.76}$$

$$P_2 = r\bar{T}_a\bar{W}_a + (1-r)\bar{T}\bar{W} \tag{4.77}$$

$$P_3 = \left[rC_a T + (C_V T + q_V)w\right](1+w)\bar{T}_a\bar{W}_a \tag{4.78}$$

$$P_4 = (1-r)h_a\bar{T}\bar{W}(1+w_a) \tag{4.79}$$

karışım havasının özgül nemi ve sıcaklığı,

$$w_k = \frac{P_1}{P_2} \tag{4.80}$$

$$T_k = \frac{\left(P_3 + P_4\right) P_2 - q_V (P_1 + P_2) P_1}{(C_a P_2 + C_V P_1)(P_1 + P_2)} \tag{4.81}$$

şeklinde ifade edilir.

4.4.3 Sistem denklemleri

Sistemin denklemleri öncelikle karışımsız hava girişi olması durumu için çıkarılmıştı. Bu kısımda ise; sisteme giren karışım havasının değerlerinin, karışımsız hava için bulunan denklemlerde yerine konulmasıyla karışım havası için denklemler kolaylıkla elde edilecektir.

4.4.3.1 Karışım olması halinde nem dengesi

Karışımsız hava girişi durumu için bulunan nem dengesi ifadesi denklem **(4.6)**, karışımlı hava için nem dengesi ifadesi olan denklem **(4.70)**'de yerine yerleştirilirse karışımlı sistemin nem dengesi ifadesi denklem **(4.82)**'deki gibi ifade edilir.

$$\frac{dw}{dt} = \frac{1}{V}\left[\left(K_1 \dot{m} + (1-r)\frac{w_a}{\bar{T}_a \bar{W}_a} f_k\right)\bar{T}\bar{W} + \left(r f_k - Av\right)\left(\bar{W} - 0,622\right)\right] \tag{4.82}$$

4.4.3.2 Karışım olması halinde enerji dengesi

Karışımsız hava girişi durumu için bulunan enerji dengesi ifadesi denklem **(4.9)**, karışımlı hava için enerji dengesi ifadesi olan denklem **(4.68)**'de yerine yerleştirilirse karışımlı sistemin enerji dengesi ifadesi denklem **(4.83)**'teki gibi ifade edilir.

$$\frac{dT}{dt} = \frac{1}{(C_a + C_V w)V}\left[\begin{array}{l}\left[\left(Q - Q_k + m_S C_S T_S\right) K_1 + (1-r)\left(\frac{1+w_a}{\bar{T}_a \bar{W}_a}\right) h_a f_k\right]\frac{\bar{T}\bar{W}}{\bar{W} + 0,378} \\ \\ + C_a (r f_k - Av)(\bar{T} - 273,15) - (K_1 \dot{m} + (1-r)\frac{w_a}{\bar{T}_a \bar{W}_a} f_k)(C_V T + q_V)\bar{T}\bar{W}\end{array}\right] \tag{4.83}$$

4.4.3.3 Karışım olması halinde hız dengesi

Karışımsız hava girişi durumu için verilen hız dengesi ifadesi denklem **(4.14)**, denklem **(4.64)**'te yerine konulur ve denklem **(4.5)** eşitliği de kullanılarak düzenlenirse karışım olması halindeki hız dengesi denklemi,

$$v = \frac{(1-r) f_k}{\bar{T}_a \bar{W}_a A} \bar{T}\bar{W} + r\frac{f_k}{A} + \frac{V}{A}\frac{1}{\bar{T}\bar{W}}\left(\bar{W}\frac{d\bar{T}}{dt} + \bar{T}\frac{d\bar{W}}{dt}\right) \qquad \textbf{(4.84)}$$

elde edilir.

5. İKLİMLENDİRME SİSTEMLERİNDE OTOMATİK KONTROL

İklimlendirme sistemleri insanlık tarihinin eski zamanlarından bu yana süregelmektedir. Sıcak ve soğuktan korunmak için insanlar sürekli değişik tedbirler almışlardır. Orta çağ insanları evlerde havalandırma maksadıyla çeşitli mekanizmalar yapmış bunun yanında yiyecekleri sıcaktan korumak amacıyla çeşitli yöntemler geliştirmişlerdir. Yakın tarihe gelindiğinde Willis H. Carrier 1911 yılında iklimlendirme sistemlerinde hesaplamalar için önem arz eden havanın özellikleriyle ilgili bir takım formüller bulmuştur [17].

1920 yılından itibaren öncelikle Amerika'da sinema ve tiyatro salonlarında konforu arttırmak için iklimlendirme sistemleri kullanılmaya başlamıştır. İkinci dünya savaşı sonrasında bu tip iklimlendirme sistemlerinin gelişimi gün ve gün artmıştır. 1970'li yıllarda enerji krizinin patlamasıyla iklimlendirme sistemlerinde enerji verimliliğini arttırmaya yönelik çalışmalar ilerletilerek bu tip sistemlerde kontrol daha da önem kazanmıştır [17].

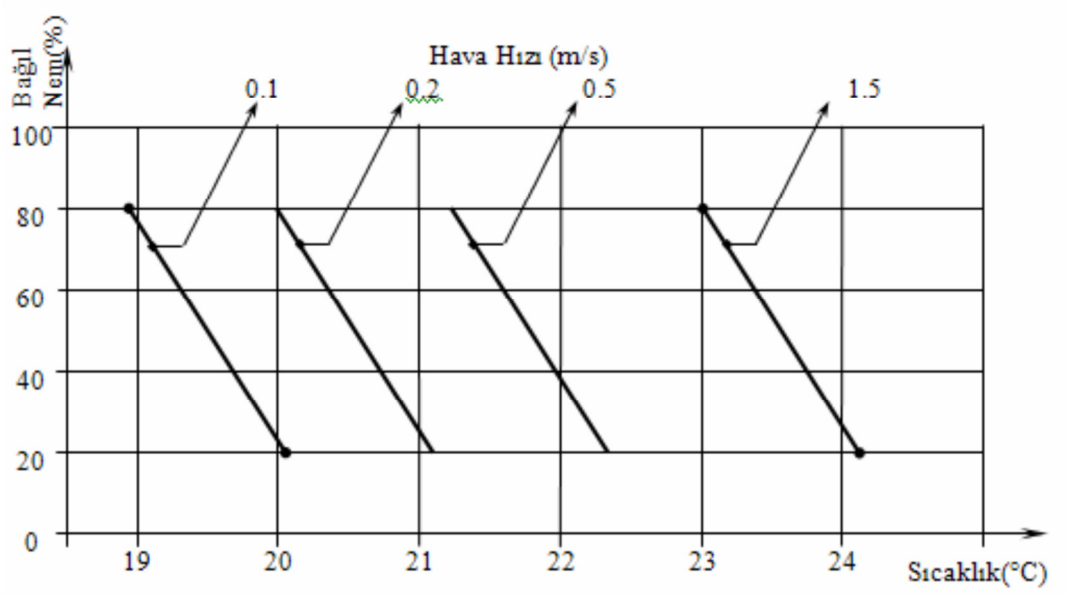
İklimlendirme sistemlerinin gelişimine benzer olarak kontrol sistemleri gelişmiştir. Tasarlanan iklimlendirme sistemlerinde kontrol ilk zamanlar elle manuel olarak yapılmaktaydı. 1885 yılında termostatın icadıyla iklimlendirme sistemlerinde otomatik kontrol uygulamaları yer almaya başlamıştır [17].

5.1 İklimlendirme Sistemlerinde Kontrolün Önemi

İklimlendirme sistemlerinde otomatik kontrol, çoğunlukla enerji verimliliğini ve ortam konforunu arttırmak amacıyla kullanılmaktadır. Isıl konfor, insan bünyesi için en ideal sıcaklık, nem ve hava hızı parametrelerinin sağlanmasıyla elde edilir. Isıl konfor şartlarında insan kendini ne fazla soğuk ne de fazla sıcak hisseder. Nemin de ideal olması insan sağlığı açısından önemli olup solunum yolları rahatsızlıklarından ve romatizmal hastalıklardan insanların korunmasını sağlar [18,19].

Sıcaklık, nem ve hava hızı ifadeleri ASHRAE tarafından belli standartlara bağlanıp insanlar için konfor bölgesi şartları tanımlanmıştır [19]. İklimlendirmede kontrol

sistemleri genellikle, ısı konfor şartlarını sağlayacak parametrelerin eldesi için kullanılmaktadır. Konfor şartları sıcaklık, nem ve hava hızına bağlı olarak Şekil 5.1'de gösterilmektedir.



Şekil 5.1 : Isıl konfor şartları [20].

Kontrol sistemi tasarımında göz önünde bulundurulması gereken faktörlerden bazıları şu şekilde sıralanabilir [20]:

- Sıcaklık ve nem kontrolü
- Enerji verimliliğinin artırılarak maliyetin en aza indirilmesi
- Ekipman ömrünün uzatılması
- Çevrim zamanlarının minimum yapılması

5.2 Kontrol Sistemleri

Bu bölüm sonuna kadar kontrol sistemleri hakkında genel bilgi verilerek tezde kullandığımız P, I, D, PI, PD ve PID kontrolcüler ayrıntılı olarak ele alınacaktır [21-23].

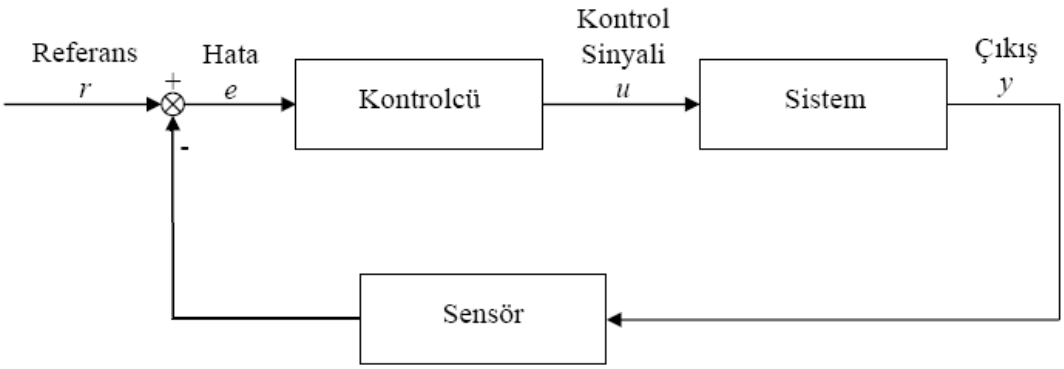
Sistemin önceden mevcut bir durumun devamlılığını sağlayabilmesi veya sistemin çıkışlarını istenen değerlere ulaştırabilmesi için sistem üzerinde yapılan işlemlerin tümü kontrol olarak adlandırılır. Bir sistemin çıkışlarını – bozucu etkilere rağmen – istenen değerlere ulaştırmak için, gerekli kontrol işlemlerini gerçekleştirmek üzere kurulan sistemlere "kontrol sistemleri" denir. Kontrol sisteminin amacı, giriş

bilgilerini kullanarak, sistem çıkışlarını istediğimiz değere ulaştırmak ve bu değerde sabit kalmasını sağlamaktır.

İklimlendirme sistemlerinde otomatik kontrol birimi sistem hareketlerini düzenler. Otomatik kontrol birimi sistemdeki değişkenler üzerinde ayarlamalar yaparak sistem üzerinde meydana gelebilecek değişiklik ve dengesizlikleri yeniden istenilen dengeye getirmek için tepki verir.

Otomatik kontrol sisteminde kontrol edilen değişken ve değişkenler büyük oranda sistem karakteristiğini düzenler. Sensörler kontrol edilen değişkenin gerçek değerini ölçen aletlerdir. Sensörlerin ölçtüğü değişkenlerin, referans değerlerle olan farkı sistem hatası değerini gösterir. Kontrolcü bu hata değerine bağlı olarak kontrol edilen sistemin cevabında değişiklik yaparak hatanın sıfıra indirilmesi için devreye girer. Hata değerinin sıfır olması sistemin tam istenilen durumda olduğunu gösterir.

İklimlendirme sistemlerinde genellikle kapalı çevrim kontrol uygulanır. Bu tip sistemlerde kontrol edilen değişkenler, sensörler vasıtasıyla ölçülür. Elde edilen değer istenen referans değeriyle karşılaştırılır. Aradaki farka göre kontrol sinyali üretilip sisteme uygulanır. Bu tip kontrol sisteminin yapısı Şekil 5.2'de gösterilmektedir.



Şekil 5.2 : İklimlendirme sistemlerinde geleneksel kontrol çevrimi [22].

İklimlendirmede sıcaklık kontrolü kısaca açıklanacak olursa; öncelikle ortam sıcaklığı sıcaklık sensörü vasıtasıyla ölçülür, daha sonra ölçülen değerle istenen sıcaklık değeri aralarındaki fark hata olarak kontrol elemanına gönderilir. Sonraki aşamada ise kontrol elemanı hataya bağlı olarak kontrol işareti üretir. Üretilen kontrol işareti o sistemde sıcaklığı değiştiren iklimlendirme sistemine gönderilir. Gönderilen sistem gelen işarete göre çalışıp istenen sıcaklığa ulaşılmış olur.

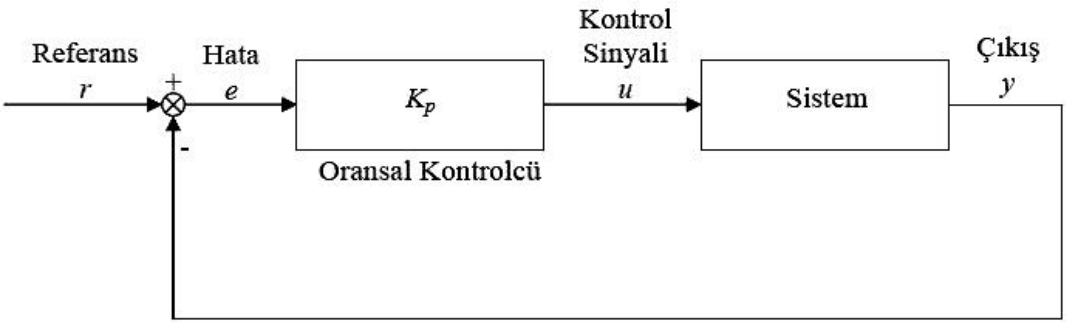
İklimlendirme sistemlerinin kontrolünde birçok yöntem mevcuttur. Bunlardan en yaygın kullanılanı PID kontroldür.

5.2.1 Oransal kontrol (P)

P kontrol olarak da bilinen oransal kontrol yönteminde; kontrol sinyali, sensörlerden gelen değişken değeri ile referans değeri arasındaki farka göre oransal olarak değişir. Diğer bir ifadeyle, oluşan hatayı bir oransal katsayıyla çarparak kontrolcü sinyali (u) oluşturur. Denklem ile ifadesi şu şekildedir:

$$u(t) = K_p e(t) \tag{5.1}$$

Burada K_p, oransal kazanç olarak ifade edilmektedir. Bu değer sabit bir değerdir. Oransal kontrol etkisinde kontrol sinyalinin büyüklüğü hatanın büyüklüğüne bağlıdır. Hata sinyali çok küçük olduğunda oransal kontrolcü yeteri kadar sinyal üretemez ve bu nedenle sistemde kalıcı durum hatası meydana gelir. Kalıcı durum hatasının önüne geçebilmek için K_p arttırılabilir. Türevsel denetleyicinin sistemin kararlılığının artmasında etkisi vardır. Oransal kontrolün en büyük avantajı uygulamasının basit oluşudur. Oransal kontrolcülü bir sistemin blok diyagramı Şekil 5.3'te gösterilmektedir.



Şekil 5.3 : Oransal kontrolcülü sistemin şematik yapısı [22].

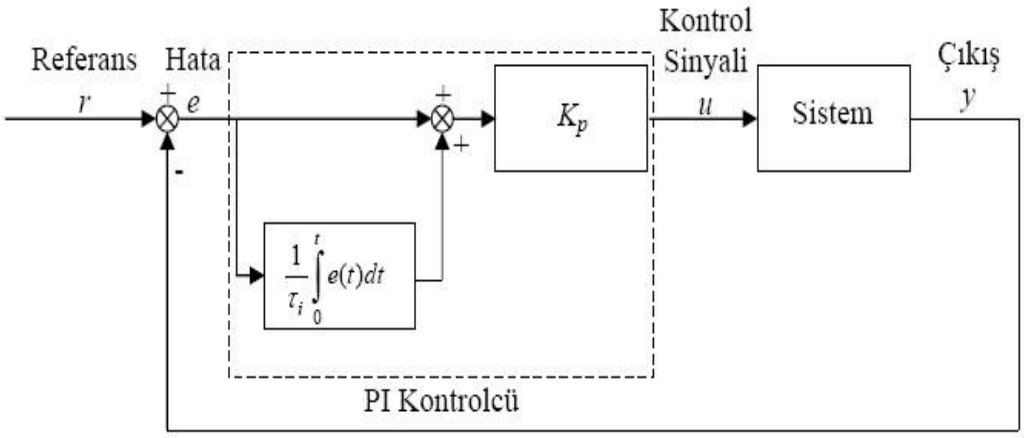
5.2.2 Oransal + integral (PI) etkili kontrol

PI etkili kontrolde, oransal kontrol metodundan farklı olarak sisteme hatanın integrali ile orantılı bir denetim etkisi uygulanmaktadır. Bu kontrol yönteminde hata değeri hatanın büyüklüğü ve süresine bağlı oransal olarak değişir. Başka bir ifadeyle kontrol elemanına gelen sinyal, oransal kontrol metodunda olduğu gibi ölçülen değerin belli bir oranı değildir. Herhangi bir anda hatanın integralinin büyüklüğüne bağlı olarak kontrol sinyali oluştururlar. Böylece oransal kontrolcülü sistemler için hatanın küçük

olduğu durumlarda karşılaşılan kalıcı durum hatası integral kontrolcü eklenerek engellenir. Ancak kararlı durum hatasının azaltılması veya giderilmesiyle geçici tepki daha kötü hale gelebilir. PI kontrolcüler için kontrol sinyali denklem **(5.2)** ile ifade edilir.

$$u(t) = K_p\left(e(t) + \frac{1}{\tau_i}\int_o^t e(t)dt\right) \qquad \textbf{(5.2)}$$

Buradaki τ_i integral katsayısıdır. Sistemin blok diyagramı Şekil 5.4'te gösterilmektedir.

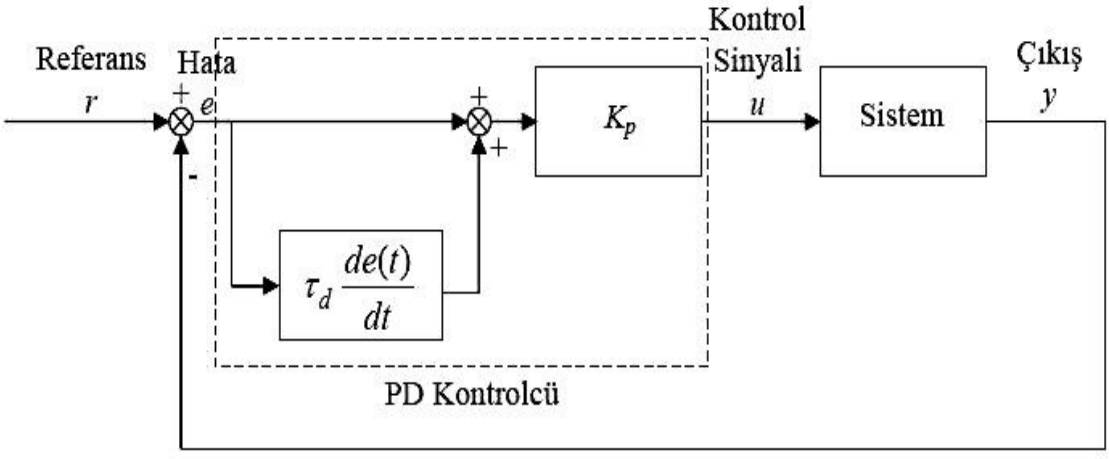


Şekil 5.4 : PI etkili kontrol sisteminin şematik yapısı [22].

5.2.3 Oransal + türev (PD) etkili kontrol

Türev etkili kontrol sistemlerinde sisteme verilen cevap zamanı azalmaktadır. Sistemin kararlılığını arttırır, aşımı azaltır ve geçici tepkiyi düzeltir. Hata sinyaline türev olarak eklendiği için, zamanla değişmeyen sabit hatalı sistemlerde türevsel kontrolün herhangi bir etkisi yoktur. Bu yüzden kontrol sistemlerinde tek başına kullanılmayıp, başka kontrol etkileriyle birleştirilerek uygulanırlar. Türev etkisi önceden algılama etkisi olarak da bilinir. Oransal etkiyle birleşerek, kontrol etkisi $u(t)$ denklem **(5.3)** ile ifade edilir. Şekil 5.5'te PD etkili kontrol sisteminin şematik yapısı gösterilmektedir.

$$u(t) = K_p\left(e(t) + \tau_d\frac{de(t)}{dt}\right) \qquad \textbf{(5.3)}$$



Şekil 5.5 : PD etkili kontrol sisteminin şematik yapısı [22].

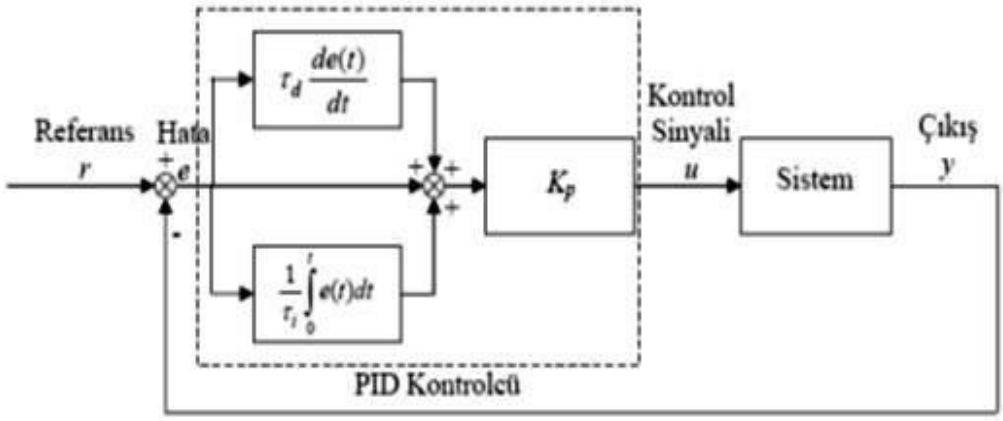
Oransal etki hatadaki değişimlere hızlı tepki gösterirken, hatanın değişim hızına duyarsız kalır. Bu durumlarda oransal etkinin yanında hatanın değişim hızına duyarlı olan türev etkisi eklenmesiyle tepki süresi kısaltılabilir. Türev etkisi sistemin cevap hızını arttırır fakat kalıcı durum hatasına etkisi yoktur.

5.2.4 Oransal + türev+integral (PID) etkili kontrol

PID kontrolcü olarak bilinen yöntem, modern endüstride çok geniş kullanım alanına sahiptir. Doğrusal olduğu kadar doğrusal olmayan tüm sistemler için de uygulanabilme özelliğine sahiptir. Üç temel kontrol etkisinin bütün üstünlükleriyle beraber tek bir kontrolcü altında toplanmasıyla oluşan kontrol etkisidir. İntegral etkide sistemde meydana gelebilecek kalıcı durum hatası yok olurken, türev etkide sistemin cevap hızı ve kararlılığı artmaktaydı. Böylelikle PID kontrol metodu; P, PI ve PD kontrol etkilerinin üçünün de üstünlüklerini birlikte barındıran, sistemde kalıcı durum hatasını sıfır yapan, sistemin hızlı ve kararlı cevap vermesini sağlayan ve yaygın olarak kullanılan kontrol birimidir.

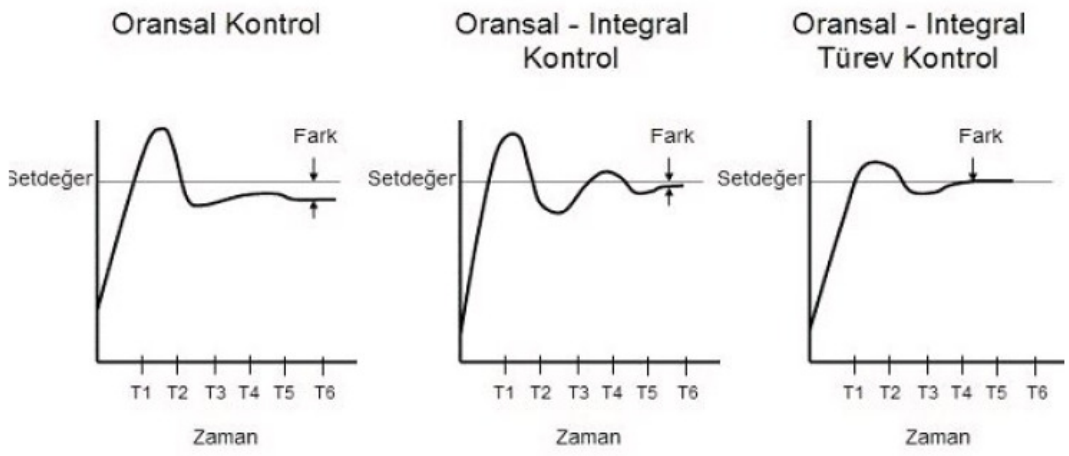
PID etkili kontrol sisteminde, kontrol etkisi $u(t)$, denklem **(5.4)** ile ifade edilir. Şekil 5.6'da PID etkili kontrol sisteminin şematik yapısı gösterilmektedir.

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{\tau_i} \int_o^t e(t)dt + \tau_d \frac{de(t)}{dt} \right) \qquad \textbf{(5.4)}$$



Şekil 5.6 : PID etkili kontrol sisteminin şematik yapısı [22].

Burada; K_p oransal sabit, τ_i integral sabiti, τ_d ise türev sabitidir. Oransal kontrol tipleri Şekil 5.7'de görsel olarak anlatılabilir.



Şekil 5.7 : Oransal kontrol tiplerinin karşılaştırılması [23].

5.2.4.1 PID Kontrol edici tasarımında izlenecek temel basamaklar

- Öncelikli olarak sistemin açık döngü transfer fonksiyonunun elde edilmesi gerekmektedir.
- Sistemde hangi parametrelerin kontrol edileceğine karar verilmelidir.
- Sistem ani tepki veriyorsa bunu iyileştirmek için türevsel denetleyici eklenmelidir.
- Sistemde kararlı durum hatası oluyorsa sisteme integral kontrol eklenmelidir.
- Sistem istenilen tepkiyi verene kadar K_p, K_i, K_d katsayılarıyla oynanmalıdır.

Kapalı döngülü bir sistemde, K_p, K_i ve K_d'ye göre her bir denetleyicinin etkisi aşağıdaki Çizelge 5.1'de özet olarak gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 : P, I ve D'nin karakteristikleri.

Denetleyici	Yükselme zamanı	Sistem ani tepkisi	Oturma zamanı	Karalı durum hatası
Kp	Azalır	Artar	Ufak değişim gösterir	Azalır
Ki	Azalır	Artar	Artar	Yok eder
Kd	Ufak değişim gösterir	Azalır	Azalır	Ufak değişim gösterir

Her üç denetleyicinin de kontrolü yapılan sistemde kullanılma zorunluluğu yoktur. Örneğin, eğer PD denetleyici sistemi istenilen kararlılığa ulaştırabiliyorsa integral denetleyicinin kullanılması gerekmez.

6. SİSTEMİN SİMÜLASYONU

6.1 Giriş

İklimlendirilmesi yapılan sistem 106.8m uzunluğunda, 6400DWT olan Şekil 6.1'de genel görünümü verilen kuru yük gemisidir.



Şekil 6.1 : İklimlendirilmesi yapılan gemiden bir görüntü.

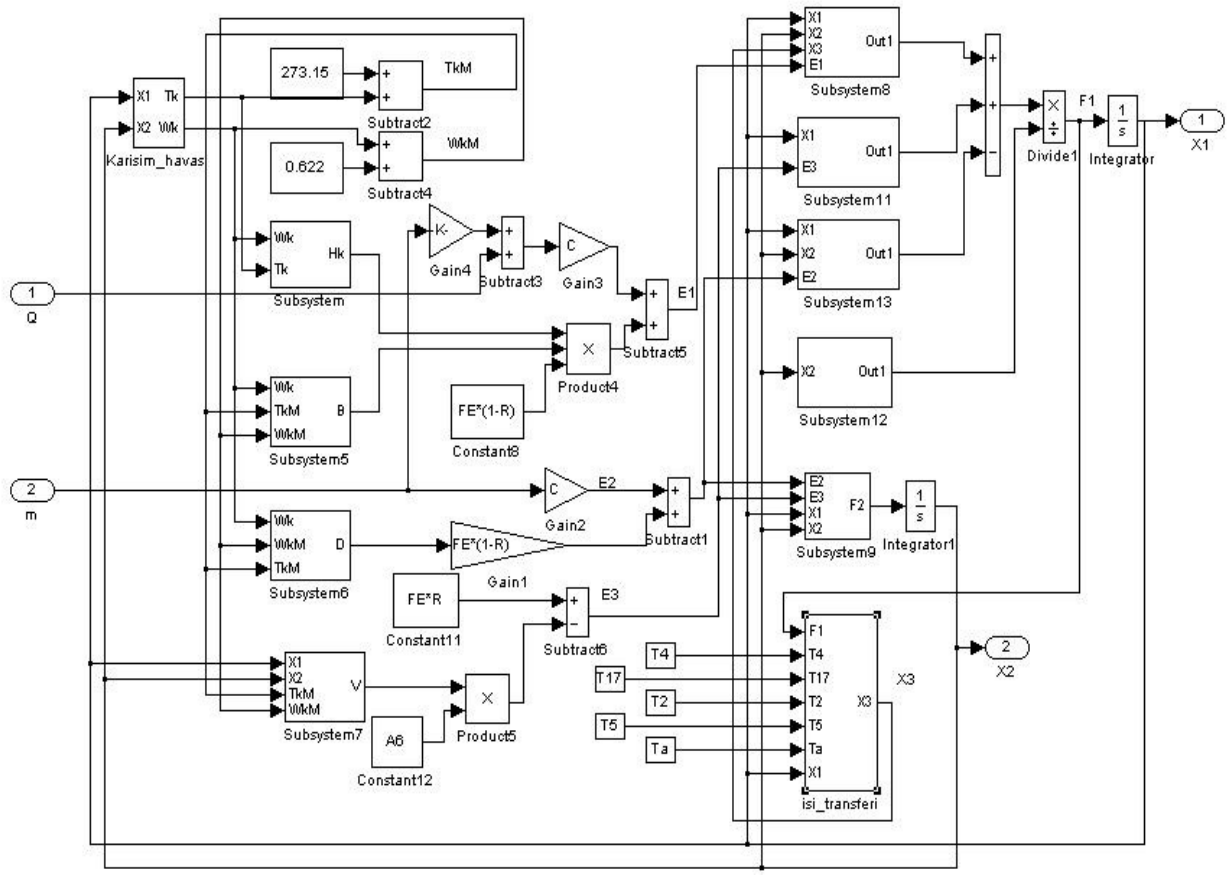
Gemide iklimlendirilmesi yapılan 37 adet kapalı alan mevcuttur. Bunların herbiri çevrelerindeki mahaller ile ve bazıları da bunlara ek olarak dış ortam ile ısı transferi yapmaktadır. Her bir mahalin farklı ısı kazançları veya kayıpları olduğundan hepsi farklı birer sistem olarak düşünülmektedir. Bu sistemleri kurduğumuz matematiksel ifadeler ile Matlab-Simulink programında oluşturup, geminin iklimlendirilmesinin kontrolü yapılacaktır. Ayrıca değişen çevre şartlarında ve değişen gemi hızlarında geminin iklimlendirilmesi için gerekli ısı yükü bulunacaktır.

6.2 Simulink Modelinin Oluşturulması

Gemi 37 adet farklı mahalden meydana geldiğinden dolayı tüm mahaller için ayrı Matlab-Simulink modeli oluşturulup, bu modeller birbirine entegre olacak şekilde tüm geminin iklimlendirme sisteminin çözümü yapılmıştır. Ancak kullanılan yöntem

tüm mahaller için paralel doğrultuda olduğundan bu çalışmada tek mahal için modelin nasıl oluşturulduğunun verilmesi yeterli olacaktır. Bu doğrultuda kamara 2'nin Matlab-Simulink modelinin kurulması açıklanacaktır.

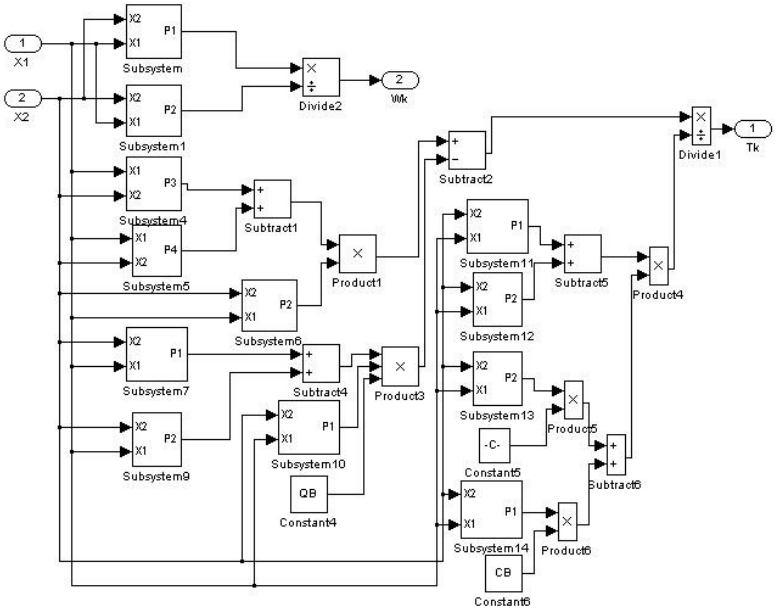
Bölüm 4'te elde edilen sıcaklık, nem ve hız matematiksel ifadelerin Simulink modeli Şekil 6.2'deki gibi kurulmuştur.



Şekil 6.2 : Kamara 2'nin Matlab-Simulink modeli.

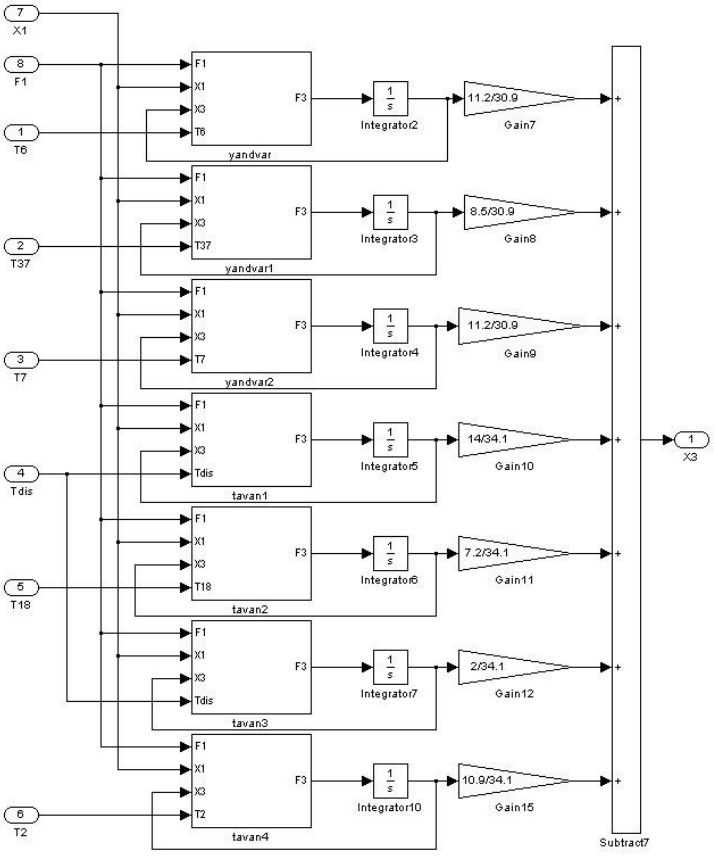
Görüldüğü gibi model bir çok alt sistemden meydana gelmektedir. Bu alt sistemlerin içinde ilk olarak göz önüne alınacak "karışım havası" alt sistemidir. Bu alt sistem taze hava ile resirküle hava karışımının özelliklerinin eldesine yönelik kurulmuştur. Bu karışım havası iklimlendirme sisteminde ısıtılan veya soğutulan, nemlendirilen veya nemi alınan giriş havasıdır. Karışım havasının elde edildiği alt sistemin içeriği Şekil 6.3'de görülmektedir.

Alt sistemin giriş değişkenlerine bakılacak olunursa, X1 mahalin sıcaklığını (resirküle hava sıcaklığını), X2 ise mahalin nemini (resirküle hava nemini) simgelemektedir. Sistemde bu giriş değişkenleri kullanılarak iklimlendirme sisteminin giriş havasının sıcaklığı ve nemi elde edilmektedir.



Şekil 6.3 : Karışım havası alt sistemi.

İkinci önemli alt sistem de kamara 2 odasının diğer mahallerle ve dış ortamla yaptığı ısı alışverişini gösteren "ısı transferi" adlı alt sistemdir. Bu alt sistemin içeriği Şekil 6.4'te görülmektedir.

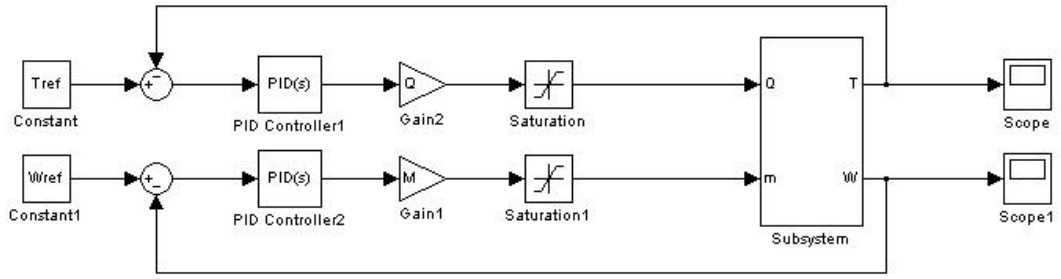


Şekil 6.4 : Isı transferi alt sistemi.

Bu alt sistemin giriş değişkenlerine bakılacak olunursa, F1 kamara 2'nin mutlak sıcaklığının türevini gösterirken; T2 makine dairesinin, T17 mutfağın, T5 kamara 2'nin, T4 soğuk hava deposunun, T_{am} dış ortamın mutlak sıcaklığını simgelemektedir. Sistem bu giriş değerlerini ve Ek A'daki diğer mahallerle ısı transferi yaptığı yüzey alan değerlerini kullanarak X3'ü, yani kamara 2'nin kaybettiği veya kazandığı ısı yükünü, elde etmektedir.

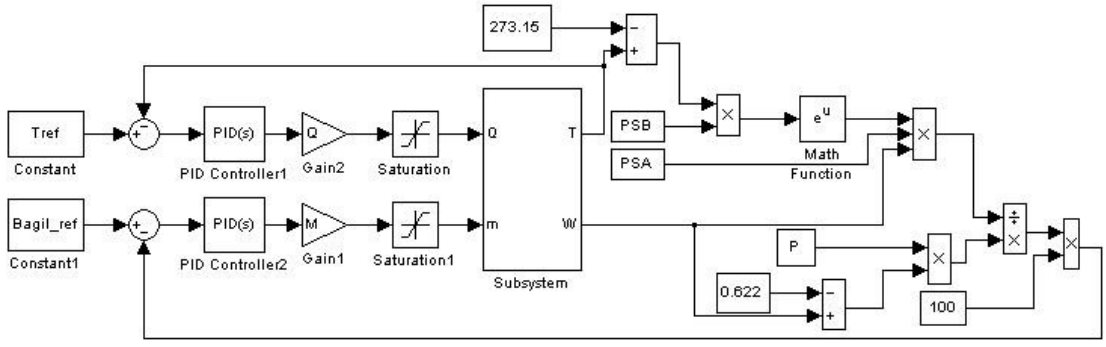
6.3 Kontrolcülü Modelin Kurulması

İklimlendirme sisteminin kontrolünde PID kontrolcü kullanılacaktır. PID kontrolörün çalışma mantığı, sistemden geri besleme alarak referans değer ile arasındaki farkı, yani hatayı düzeltme olduğundan; Simulink'te modellemesini yaptığımız sistemin çıkışındaki değişkenlerden geri besleme almamız gerekmektedir. Bu tez kapsamında üzerinde çalışılan sistemde nem ve sıcaklık kontrolü yapılmaktadır. Bu yüzden örnek olarak kamara 2 için Şekil 6.5'te göründüğü gibi sıcaklık ve özgül nem çıkışlarından geri besleme alınarak sistemin kontrolü sağlanmaktadır.



Şekil 6.5 : Kamara 2'nin sıcaklık ve özgül nem kontrolcülü Simulink modeli.

Şekil 6.6'da da sıcaklık ve bağıl nem çıkışlarından geri besleme alınarak sistemin kontrolü sağlanmaktadır.

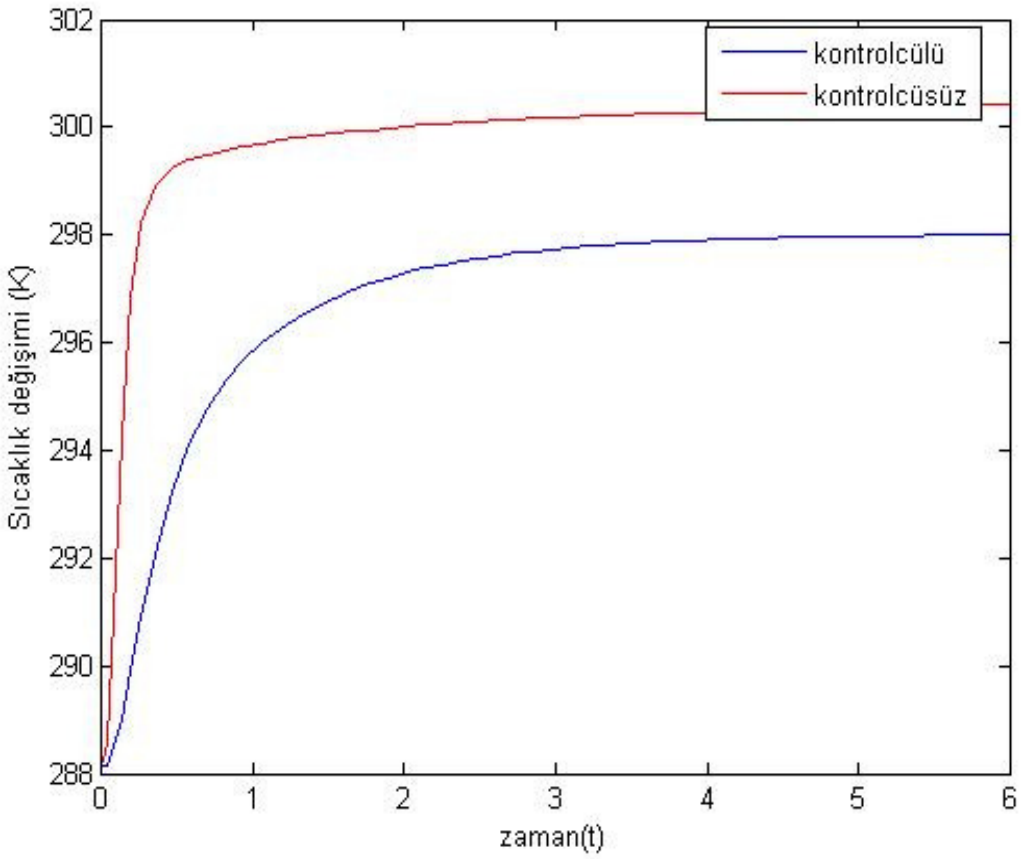


Şekil 6.6 : Kamara 2'nin sıcaklık ve bağıl nem kontrolcülü Simulink modeli.

Sıcaklık kontrolü mahale verilen ısının; nem kontrolü ise mahale verilen nemlendirici su miktarının PID kontrolcü tarafından ayarlanması ile yapılır.

6.4 Simülasyon Sonunda Elde Edilen Sonuçlar

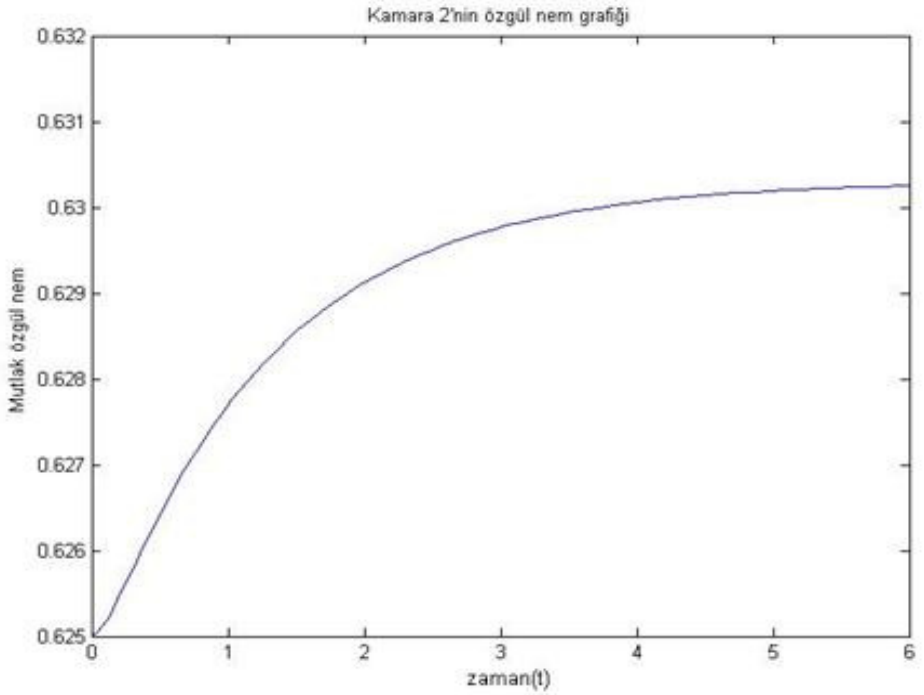
Simülasyon başlatılmadan önce; mahallerin sıcaklık ve nem değerleri, dış ortam sıcaklığı ve nem değerileri ile istenen mahal içi referans nem ve sıcaklık değerleri yapılan simülasyona girilmelidir. Tüm gemi mahallerinin iklimlendirme yapılmadan önceki sıcaklığı ile nem miktarı dış ortam şartlarında; sırasıyla $15\,C^o$ sıcaklık ile %29,5 nem olarak simülasyona girilmiştir. Bu bölümde kamara 2'de 25 C^o sıcaklık ve %45 nem parametreleri eldesi için yapılan iklimlendirmede sonuç grafikleri aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Tüm gemi mahallerinin sıcaklık ve nem iklimlendirme sonuç grafikleri için tezin Ek kısmı incelenmelidir.



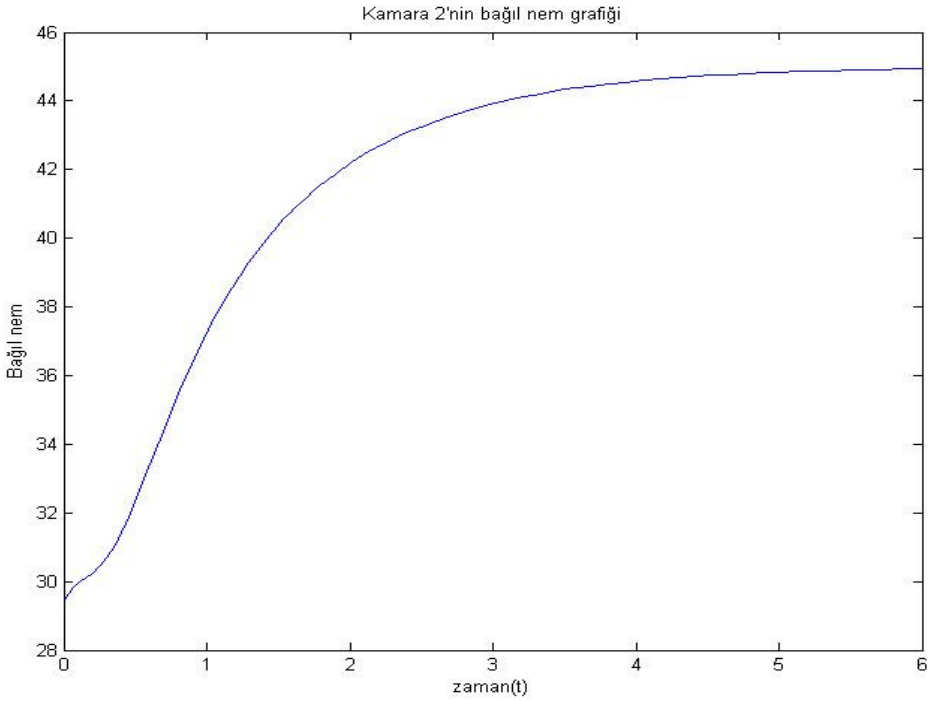
Şekil 6.7 : Mahalin zamana bağlı sıcaklık değişimi.

Sıcaklık ve nem grafiklerine bakıldığında, istenilen referans değerlerine – fazla aşım yapmadan ve kalıcı durum hatası olmadan – hızlı bir şekilde ulaştığı görülmektedir.

Şekil 6.8'de ve Şekil 6.9'da kamara 2'nin zamana bağlı bağıl ve özgül nem grafikleri gösterilmektedir.



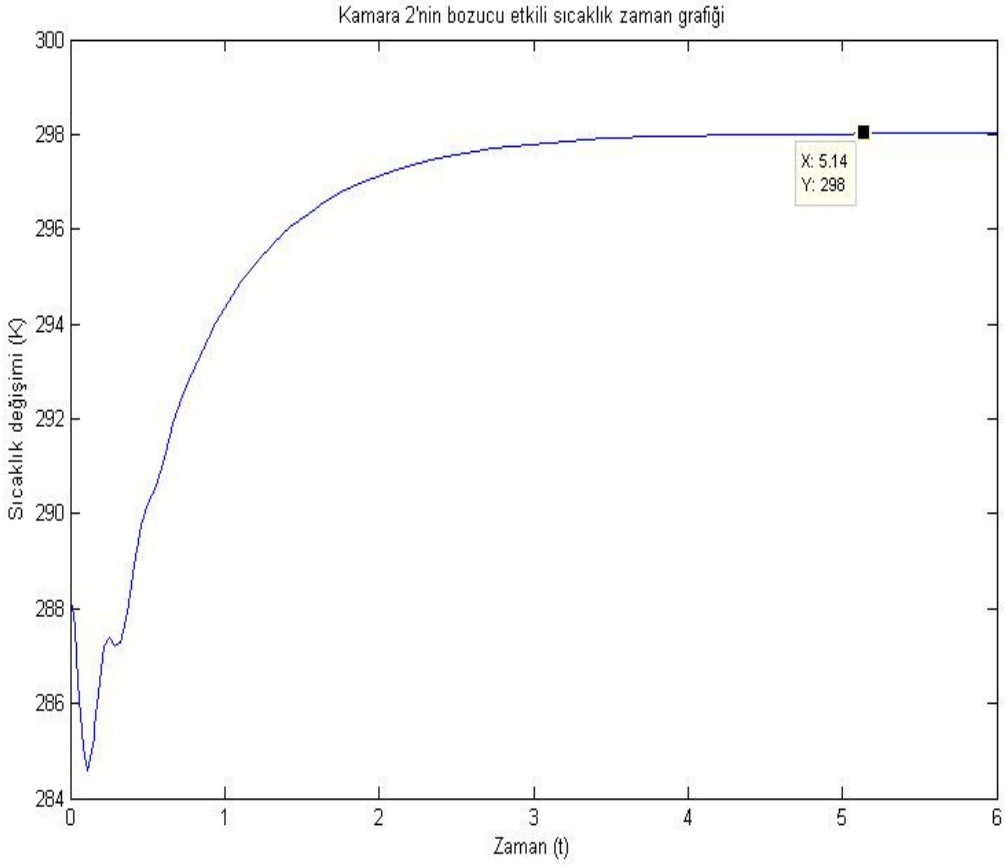
Şekil 6.8 : Mahalin zamana bağlı mutlak özgül nem değişimi.



Şekil 6.9 : Mahalin zamana bağlı mutlak bağıl nem değişimi.

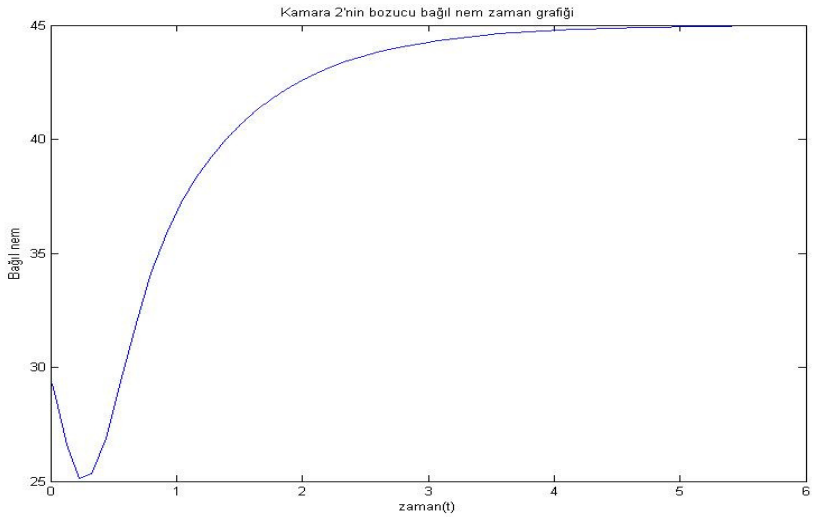
Özgül nem ve bağıl nem zaman grafikleri incelendiğinde istenen referans değere aşım yapmadan, kalıcı durum hatasız ulaştığı görülmektedir. Bütün gemiye ait sıcaklık ve nem değişim grafikleri Ek F ve Ek G'de verilmiştir. Ekteki grafikler incelendiğinde mahallerin sıcaklık ve nem değişimlerinin istenen referans değere birbirine çok yakın zamanlarda ulaştığı görülmektedir. Bu durumun nedeni; mahallere herhangi bir bozucu etki koyulmamasından ve mahallerin birbirleriyle ısı transferi yapmalarından kaynaklanmaktadır.

Sisteme bozucu etki eklendiğinde sistem cevabı değişmektedir. Sisteme bozucu etki olarak mahallerden sürekli belli miktarda nem ve ısı çekilmesi durumunda Kamara 2'nin sıcaklık zaman grafiği Şekil 6.10'da gösterilmiştir.



Şekil 6.10 : Mahalin bozucu etkili sıcaklık zaman grafiği.

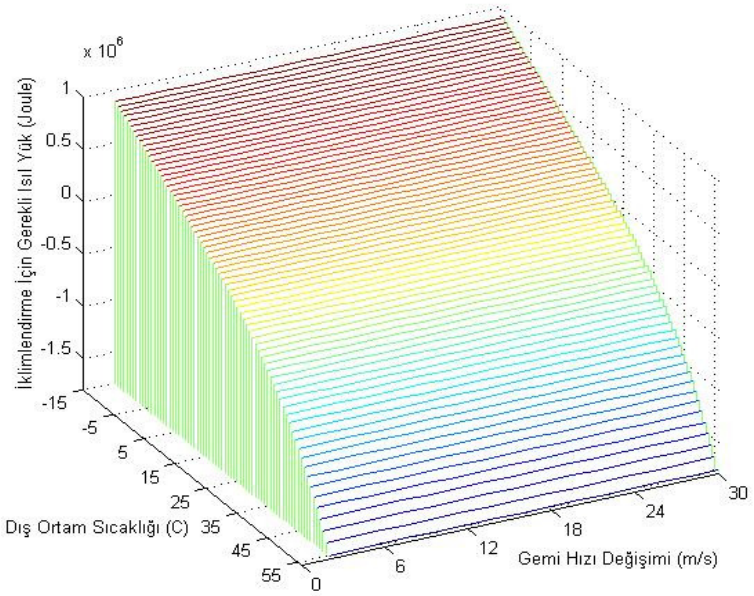
Grafik incelendiğinde çekilen ısı sıcaklık düşmesine neden olmuştur. Fakat iklimlendirme sistemi tarafından verilen ısı arttıkça kontrollü bir şekilde mahalin sıcaklığının artmasının ve istenen referans değere ulaşmasının sağlandığı görülmektedir. Kamara 2'nin bozucu etkili bağıl nem zaman grafiği de Şekil 6.11'de gösterilmiştir.



Şekil 6.11 : Mahalin bozucu etkili bağıl nem zaman grafiği.

Grafiğe bakıldığında çekilen nem ile birlikte ilk olarak mahalin nemi azalmasına karşın, belli bir süreden sonra mahale verilen nem ile birlikte istenen referans nem değerine kontrollü bir şekilde ulaşıldığı görülmektedir.

Bundan sonraki aşamada; mahal içi sıcaklık ve nem referansları sabit olacak şekilde değişen dış ortam sıcaklıklarına, nemine ve gemi hızına bağlı olarak gerekli ısı yükü hesaplanacaktır. Şekil 6.13'da, gemi hızı ve dış hava sıcaklığı parametrelerine bağlı olarak toplam ısı yükü değişimi gösterilmektedir.



Şekil 6.12 : Gemi hızı ve dış hava sıcaklığına bağlı sistemin ısı yükü.

Şekilde görüldüğü üzere gemi hızının değişimi, toplam ısı yükü üzerinde çok büyük bir etki oluşturmamaktadır. Gemi hızı ile toplam ısı yükü doğru orantılı bir şekilde artmaktadır. Diğer yandan dış ortam hava sıcaklığı değişiminin, toplam ısı yükü üzerinde önemli bir parametrik etki yaptığı gözlemlenmektedir. Dış ortam sıcaklığının artışı toplam ısı yükünü önce ısıtma tarafında düşürmekte, belli bir sıcaklıktan sonra da soğutma tarafında artırmaktadır.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Gemiler farklı iklim koşullarında dünyanın her yerinde işletilen araçlardır. Gemi hareketine bağlı olarak değişen ortam şartlarına rağmen gemideki çalışma ve dinlenme alanlarında ısıl konfor şartlarının sağlanması gerekmektedir. Uç sınır şartlarındaki dış ortam sıcaklığına ve nemine sahip alanlarda hareket etmeleri iklimlendirme sistemlerinin gemilerdeki uygulamalarının önemini arttırmıştır.

Bu çalışmada, 106,8 m uzunluğunda, 6400 DWT olan bir kuruyük gemisine ait 37 adet kapalı alanın iklimlendirilmesi simülasyonu yapılmıştır. Her bir mahalin farklı ısı kazançları veya kayıpları olduğundan hepsi farklı birer sistem olarak düşünülmüştür. Bir takım ısı kazanç ve kayıplarını ihmal ederek sisteme verilen enerjinin, nemin ve dış ortamdan alınan taze hava ile sistemden dönen hava karışımının dengesini içeren matematik model kurulmuş, kontrol odasının tavan, zemin ve yan duvarlarında olan ısı transferlerinin iletim ve taşınım vasıtasıyla olduğu kabulü yapılarak ve çeperlerin kapasitif özellikleri de göz önünde bulundurularak sistemin ısı kayıp denklemleri çıkarılmıştır. Oluşturulan bu denklemler ile Matlab-Simulink programıyla ilk olarak tek bir mahal için sonrasında da tüm mahaller için ayrı ayrı modeller oluşturulmuştur. Tüm geminin iklimlendirme sisteminin simülasyonu için mahallerin birbirleriyle ve dış ortamla olan ısı trasferleri hesaba katılarak Simulink ortamında oluşturulmuş olan modeller birbirlerine entegre edilmiştir.

Simülasyon modelinde mahal içi nem ve sıcaklık değerlerini istenilen konfor şartlarına getirmek, o şartlarda devamlılığını sağlamak ve enerji verimliliğini arttırmak üzere katsayıları deneme yanılma yöntemiyle elde edilen PID kontrolcü kullanılmıştır. Tüm gemi mahallerinin iklimlendirme yapılmadan önceki sıcaklık ve nem değerleri, dış ortam şartlarında; $15\,C^o$ sıcaklık ile % 29,5 nem olarak kabul edilmiş, istenen 25 C^o sıcaklık ve % 45 nem değerlerine simülasyon sonunda ulaşılmıştır. Sıcaklık-zaman ve nem-zaman grafikleri incelendiğinde nem ve sıcaklık

parametreleri istenen duruma, fazla aşım yapmadan, kalıcı durum hatasız geldiği görülmüştür.

Bundan sonraki çalışmalarda, ısı kazanç ve kayıpları dikkate alınarak nem ve sıcaklık parametrelerinin istenen değerde ve kalıcı durum hatasız elde etmek için kendi kendine ayarlayan (adaptif) kontrol veya farklı filtreleme metotları dikkate alınarak dayanıklı kontrol yöntemleri kullanılabilir.

Bu çalışmada başarılı sonuçlar verdiği ve basit bir yapıya sahip olduğu için literatürdeki benzer çalışmalara paralel şekilde PID kontrolcüler kullanılmıştır. Elde edilen matematik modeller ve Simulink blokları, sıcaklık ve nem değerleri için bozucu etkisi, doyum etkisi, dinamik cevap ve PID dışındaki diğer kontrolcülerin de incelenmelerinde kullanılabilir.

KAYNAKLAR

[1] Simmonds, P. (1993). Thermal comfort and optimal energy use, *ASHRAE Trans*., CH-93-10-4.

[2] Can, A. (1995). Hava şartlandırma ve klima tekniği, Tesisat Mühendisliği, Cilt: 3, Sayı:20 İstanbul, Mayıs-Haziran.

[3] Cherchas, D. B. (1985). A direct digital control algorithm for control of a single environmental space, *ASME Trans*., Vol. 107, 324-331, December.

[4] Zhang, Y., Baber, E. M. ve Wood, H. C. (1993). Analysis of stability of livestock building heating-ventilation control system, *ASHRAE Trans*., Research, 3715, 237-244.

[5] House, J. M., Smith, T. F. ve Arora, J. S. (1991). Optimal control of a thermal system, *ASHARE* , IN-91-16-1, 991-1001.

[6] Dexter, A. L., Haves, P. (1989). A robust self-tuning predictive controller for HVAC applications, ASHRAE, VA-89-1-3, 431-438.

[7] Kamimura, K., Yamada, A., Matsuba, T., Kimbara, A., Kurosu, S. ve Kasahara, M. (1994). CAT(Computer-Aided Tuning) software for PID controllers, *ASHRAE Trans*., Research, 3754, 180-190.

[8] William, T. P. (1992). Integrating building automation and control, *ASHRAE Journel,* 54-58, September.

[9] Atkinson, G. V., Martino, G. R. (1989). Control of semiconductor manufacturing cleanrooms, *ASHRAE*, CH-89-1-1, 477-482.

[10] Krakow, K. L., Lin, S. ve Zeng, Z. S. (1995). Temperature and humidity control during cooling and dehumidifying by compressor and evaporator fan speed variation, *ASHRAE Trans*: Research, 3859, 292-303.

[11] Krakow, K. L., Lin, S. ve Zeng, Z. S. (1995). Analytical determination of PID coefficents for temperature and humidity control during cooling and dehumidifying by compressor and evaporator fan speed variation, *ASHRAE Trans*: Research, 3863, 343-354.

[12] Kaya, A. (1976). Analytical methods for controller design, *ASHRAE Journel*, April.

[13] Başer, A. (2006). İklimlendirme sistemlerinde enerji taşıma yöntemlerinin karşılaştırılması, (yüksek lisans tezi) Sakarya Üniversitesi, Sakarya.

[14] Öznergiz, E. (1998). Kapalı bir hacimde sıcaklık ve nemin bilgisayarla optimum kontrolu, (yüksek lisans tezi) İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

[15] Çengel, Y. A., Boles, M. A. (2005). Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, 3. Baskı, (ISBN 975-7860-78-6)

[16] Dewitt, D. P., Incropera, F. P., Bergman, T. L. ve Lavine, A. S. (2002). Fundamentals of heat and mass transfer, seventh edition, (Sf. 279-486).

[17] Soy, H. (2006). Gömülü sistem üzerinden bulanık kontrol ile ev otomasyonunun gerçekleştirilmesi, (yüksek lisans tezi) Selçuk Üniversitesi, Konya.

[18] Kaya, A. (1981). Optimum control of HVAC system to save energy, *Proceedings of 8th IFAC Triennial World Congress*, pp XXII-A1 to XXIII-150, Kyoto, Japan.

[19] Ashrae Handbook of Fundamentals (1972). Physiological principles, comfort and health, Chapter 7, 119-150.

[20] Hariharan, V. (2002). Fuzzy control implementation of a home automation system, (M.S. Thesis) University of Windsor, Ontario.

[21] Genli, M. M. (2005). Bina otomasyon sistemleri, (yüksek lisans tezi) Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

[22] Çelikel, H. K. (2006). Taşıt süspansiyon sistemlerinin bulanık mantık ayarlı PID kontrolü, (yüksek lisans tezi) İstanbul Üniversitesi, İstanbul.

[23] Yüksel, İ. (2006). Otomatik kontrol "sistem dinamiği ve denetim sistemleri", 5. Baskı.

[24] Wang, J. An, D. Lou, C. (2006). Application of Fuzzy-PID Controller in Heating Ventilating and Air-Conditioning System. Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, Luoyang, China, June 25 – 28.

[25] Privara, S. Siroky, J. Ferkl, F. Cigler, J. (2011). Model predictive control of a building heating system: The first experience, *Energy and Buildings 43*, 564–572.

[26] Soyguder, S. Karakose, M. Alli, H. (2009). Design and simulation of self-tuning PID-type fuzzy adaptive control for an expert HVAC system, *Expert Systems with Applications 36*, 4566–4573.

[27] Bai, J. Wang, S. Zhang, X. (2008). Development of an adaptive smith predictor-based self-tuning pi controller for an hvac system in a test room, *Energy and Buildings 40* (12), 2244–2252.

[28] Freire, R. Z. Oliveira, G. H. Mendes, N. (2008). Predictive controllers for thermal comfort optimization and energy savings, *Energy and Buildings 40* (7), 1353–1365.

[29] Soyguder, S. Alli, H. (2006). Simulation and modelling of HVAC system having two zones with different properties. *In TOK2006 conference,* (Vol. 1, pp. 346–352).

EKLER

EK A: Mahaller arası ısı trasferi yapılan alan miktarları.

EK B: Su buharı entalpisi ve doyma basıncı grafikleri.

EK C: Geminin iklimlendirilmesi için gerekli ısı yükünü hesaplayan simülasyon programı.

EK D: Gemi mahallerinin iklimlendirilmesi simülasyon programı.

EK E: Gemi kat yerleşim planı

EK F: Gemi mahallerinin sıcaklık zaman grafikleri

EK G: Gemi mahallerinin bağıl nem zaman grafikleri

EK A

Çizelge A.1 : Seperatör odasının iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Makine dairesi ile	$16.15\,m^2$
Dış ortam ile	$17.75\,m^2$
Tank vb. boş bölmeler ile	$31.35\,m^2$
Kamara 8 ile	$12\,m^2$
Kamara 7 ile	$3.7\,m^2$

Çizelge A.2 : Makine dairesinin tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Seperatör odası ile	$16\,m^2$
Tank vb. boş bölmeler ile	$151\,m^2$
Üst merdiven boşluğu ile	$48\,m^2$
Kamara 2 ile	$3.8\,m^2$
Kamara 3 ile	$8.5\,m^2$
CO_2 odası ile	$13.5\,m^2$
Kamara 4 ile	$5.5\,m^2$
Kamara 5 ile	$6.7\,m^2$
Kamara 1 ile	$2.5\,m^2$
Kamara 6 ile	$12.25\,m^2$
Yedek parça deposu ile	$1\,m^2$
Kamara 8 ile	$1.75\,m^2$
Kamara 7 ile	$1\,m^2$

Çizelge A.3 : Makine kontrol odasının tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Makine dairesi ile	$49.4\,m^2$
Ambar ile	$28.5\,m^2$
CO_2 odası ile	$5.5\,m^2$
Kamara 4 ile	$8.5\,m^2$
Kamara 5 ile	$6.5\,m^2$

Çizelge A.4 : Soğuk hava deposunun iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Dümen dairesi ile	$11.2\,m^2$
Kamara 1 ile	$8.9\,m^2$
Koridor ile	$2.7\,m^2$

Çizelge A.5 : Soğuk hava deposunun tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Dış ortam ile	$60\,m^2$

Çizelge A.6 : Kamara 1'in iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Soğuk hava deposu ile	$8.75\,m^2$
Kamara 2 ile	$10.8\,m^2$
Merdiven boşluğu ile	$8.64\,m^2$

Çizelge A.7 : Kamara 1'in tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Dış ortam ile	$15.5\,m^2$
Mutfak ile	$7.8\,m^2$
Makine dairesi ile	$13\,m^2$

Çizelge A.8 : Kamara 2'nin iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Kamara 1 ile	$11.2\,m^2$
Koridor ile	$8.5\,m^2$
Kamara 3 ile	$11.2\,m^2$

Çizelge A.9 : Kamara 2'nin tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Dış ortam ile	$14\,m^2$
Personel dinlenme odası ile	$7.2\,m^2$
Makine dairesi ile	$14\,m^2$

Çizelge A.10 : Kamara 3'ün iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Kamara 2 ile	$11.2\,m^2$
CO_2 odası ile	$12\,m^2$
Koridor ile	$6.4\,m^2$
Kamara 4 ile	$4.2\,m^2$

Çizelge A.11 : Kamara 3'ün tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Dış ortam ile	$16\,m^2$
Personel dinlenme odası ile	$3.5\,m^2$
Koridor 3 ile	$1.8\,m^2$
Zabitan dinlenme odası ile	$2.2\ m^2$
Makine dairesi ile	$14\,m^2$

Çizelge A.12 : CO_2 odasının iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Kamara 4 ile	$9.5\,m^2$
Kamara 3 ile	$11.7\,m^2$

Çizelge A.13 : CO_2 odasının tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Dış ortam ile	$33\,m^2$
Zabitan dinlenme odası ile	$8.8\,m^2$
Makine dairesi ile	$13.5\,m^2$
Makine kontrol odası ile	$5.5\,m^2$

Çizelge A.14 : Kamara 4'ün iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

CO_2 odası ile	$9.5\,m^2$
Kamara 3 ile	$4.2\,m^2$
Koridor ile	$8\,m^2$
Kamara 5 ile	$11.3\,m^2$

Çizelge A.15 : Kamara 4'ün tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Ambar ile	$8\,m^2$
Zabitan dinlenme odası ile	$2.75\,m^2$
Güverte ofisi ile	$9.75\,m^2$
Makine dairesi ile	$8.5\,m^2$
Makine kontrol odası ile	$4\,m^2$

Çizelge A.16 : Kamara 5'in iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Koridor ile	$8.1\,m^2$
Kamara 4 ile	$8.1\,m^2$
Kamara 6 ile	$11.3\,m^2$

Çizelge A.17 : Kamara 5'in tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Ambar ile	$8.1\,m^2$
Güverte ofisi ile	$12.5\,m^2$
Makine dairesi ile	$6\,m^2$
Makine kontrol odası ile	$6.5\,m^2$

Çizelge A.18 : Kamara 6'nın iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Kamara 5 ile	$11.3\,m^2$
Koridor ile	$2.5\,m^2$
Kamara 7 ile	$13.2\,m^2$

Çizelge A.19 : Kamara 6'nın tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Dış ortam ile	$19.8\,m^2$
Ambar ile	$9.3\,m^2$
Kiler ile	$5.6\,m^2$
Koridor 3 ile	$2\,m^2$
Makine dairesi ile	$15\,m^2$

Çizelge A.20 : Kamara 7'nin iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Kamara 6 ile	$13.2\,m^2$
Koridor ile	$10.2\,m^2$
Kamara 8 ile	$13.5\,m^2$

Çizelge A.21 : Kamara 7'nin tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Dış ortam ile	$16.75\,m^2$
Koridor 3 ile	$3\,m^2$
Dinlenme ve yemek odası ile	$4.5\,m^2$
Seperatör odası	$1.25\,m^2$
Makine dairesi ile	$14.25\,m^2$

Çizelge A.22 : Kamara 8'in iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Kamara 7 ile	$7.8\,m^2$
Koridor ile	$7.5\,m^2$
Yedek parça deposu ile	$11.3\,m^2$

Çizelge A.23 : Kamara 8'in tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Dış ortam ile	$15.6\,m^2$
Dinlenme ve yemek odası ile	$7.5\,m^2$
Seperatör odası	$12\,m^2$
Makine dairesi	$1.9\,m^2$

Çizelge A.24 : Yedek parça deposunun iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Kamara 8 ile	$11.3\,m^2$
koridor	$9\,m^2$
Erzak deposu ile	$8.2\,m^2$

Çizelge A.25 : Yedek parça deposunun tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Dış ortam ile	$12.5\,m^2$
Dinlenme ve yemek odası ile	$6.5\,m^2$
Makine dairesi ile	$11\,m^2$

Çizelge A.26 : Çamaşırhanenin iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Gemi dümen dairesi ile	$7.5\,m^2$
Koridor ile	$4.5\,m^2$
Erzak deposu ile	$8\,m^2$

Çizelge A.27 : Çamaşırhanenin tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Dış ortam ile	$22\,m^2$

Çizelge A.28 : Gemi dümen odasının iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Çamaşırhane ile	$7.5\,m^2$
Koridor ile	$14\,m^2$
Soğuk hava deposu ile	$11.2\,m^2$

Çizelge A.29 : Gemi dümen odasının tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Dış ortam ile	$56\ m^2$

Çizelge A.30 : Mutfağın iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Merdiven boşluğu ile	$5.5\,m^2$
Personel dinlenme odası ile	$9.3\,m^2$
Baca ile	$3.5\,m^2$

Çizelge A.31 : Mutfağın tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Dış ortam ile	$29.8\,m^2$
Kamara 1 ile	$7.8\,m^2$
Koridor ile	$3.7\,m^2$

Çizelge A.32 : Personel dinlenme odasının iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Mutfak ile	$9.3\,m^2$
Koridor 3 ile	$11.3\,m^2$
Merdiven boşluğu ile	$4\,m^2$
Baca ile	$4\,m^2$

Çizelge A.33 : Personel dinlenme odasının tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Revir ile	$13\,m^2$
Kamara 2 ile	$7.2\,m^2$
Kamara 3 ile	$3.5\,m^2$
Koridor ile	$2.3\,m^2$

Çizelge A.34 : Zabitan dinlenme odasının iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Koridor 3 ile	$10\,m^2$
Güverte ofisi ile	$9.5\,m^2$

Çizelge A.35 : Zabitan dinlenme odasının tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Dış ortam ile	$19.7\,m^2$
3. mühendis odası ile	$12.3\,m^2$
Kamara 3 ile	$2\,m^2$
CO_2 odası ile	$8\,m^2$
Kamara 4 ile	$2.3\,m^2$

Çizelge A.36 : Güverte ofisinin iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Zabitan dinlenme odası ile	$9.5\,m^2$
Kiler ile	$6.7\,m^2$
Koridor 3 ile	$20.52\,m^2$

Çizelge A.37 : Güverte ofisinin tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Dış ortam ile	$14.6\,m^2$
Personel dinlenme odası ile	$3.8\,m^2$
3. mühendis odası ile	$2\,m^2$
2. mühendis odası ile	$16.7\,m^2$
Kamara 4 ile	$10\,m^2$
Kamara 5 ile	$12.5\,m^2$

Çizelge A.38 : Kilerin iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Güverte ofisi ile	$6.75\,m^2$
Koridor 3 ile	$8.1\ m^2$

Çizelge A.39 : Kilerin tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Dış ortam ile	$20.5\,m^2$
2.kaptan odası ile	$5.6\,m^2$
Kamara 6 ile	$5.6\,m^2$

Çizelge A.40 : Dinlenme ve yemek odasının iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Merdiven boşluğu ile	$2\,m^2$
Koridor 3 ile	$10\,m^2$
Baca ile	$9.72\,m^2$

Çizelge A.41 : Dinlenme ve yemek odasının tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Dış ortam ile	$29.7\,m^2$
UPS dairesi ile	$2.7\,m^2$
İklimlendirme dairesi ile	$22.5\,m^2$
Yedek parça deposu ile	$6.5\,m^2$
Kamara 8 ile	$7.5\,m^2$
Kamara 7 ile	$4.5\,m^2$
Koridor ile	$6.7\,m^2$

Çizelge A.42 : UPS dairesinin iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Jeneratör dairesi ile	$13\,m^2$
İklimlendirme dairesiile	$10\,m^2$

Çizelge A.43 : UPS dairesinin tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Dış ortam ile	$26.5\,m^2$

Çizelge A.44 : Jeneratör dairesinin iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

UPS dairesi ile	$13\,m^2$
Baca ile	$10.2\,m^2$

Çizelge A.45 : Jeneratör dairesinin tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Dış ortam ile	$59\,m^2$

Çizelge A.46 : Revirin iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Koridor 2 ile	$20.2\,m^2$
Baca ile	$6\,m^2$

Çizelge A.47 : Revirin tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Dış ortam ile	$26\,m^2$
Koridor ile	$4\,m^2$
Kamara 10 ile	$6.6\,m^2$
Personel dinlenme odası ile	$12.2\,m^2$
Koridor 3 ile	$2\,m^2$

Çizelge A.48 : 3. mühendis odasının iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

2. mühendis odası ile	$7.3\,m^2$
Koridor 2 ile	$10.2\,m^2$

Çizelge A.49 : 3. mühendis odasının tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Dış ortam ile	$22.4\,m^2$
2.mühendis odası ile	$14\,m^2$
Kamara 10 ile	$1\,m^2$
Zabitan dinlenme odası ile	$14.7\,m^2$

Çizelge A.50 : 2. Mühendis odasının iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

3. mühendisin odası ile	$11.6\,m^2$
2.kaptan odası ile	$11.6\,m^2$
Koridor 2 ile	$7.8\,m^2$

Çizelge A.51 : 2. Mühendis odasının tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Dış ortam ile	$7.56\,m^2$
Süvari odası ile	$3.5\,m^2$
Armatör odası ile	$13\,m^2$
Baş mühendisin odası ile	$1.3\,m^2$
Güverte ofisi ile	$17.8\,m^2$

Çizelge A.52 : 2. kaptan odasının iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

2. mühendisin odası ile	$11.6\,m^2$
İklimlendirme dairesi ile	$9\,m^2$
Koridor 2 ile	$2.7\,m^2$

Çizelge A.53 : 2. kaptan odasının tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Dış ortam ile	$23.7\,m^2$
Kamara 9 ile	$1.3\ m^2$
Süvari odası ile	$16.5\,m^2$
Kiler ile	$5.6\,m^2$
Koridor 3 ile	$8.4\,m^2$
Güverte ofisi ile	$3.8\,m^2$

Çizelge A.54 : İklimlendirme dairesinin iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

2. kaptanın odası ile	$9\,m^2$
Baca ile	$3\,m^2$
UPS dairesi ile	$9\,m^2$
Koridor 2 ile	$2.7\,m^2$
Merdiven boşluğu ile	$5.4\,m^2$

Çizelge A.55 : İklimlendirme dairesinin tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Dış ortam ile	$46.5\,m^2$
Kamara 9 ile	$9.5\,m^2$
Dinlenme ve yemek odası ile	$29\,m^2$

Çizelge A.56 : Kamara 10'un iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Baş mühendisin odası ile	$8.1\,m^2$
Koridor 4 ile	$10.12\,m^2$

Çizelge A.57 : Kamara 10'un tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Dış ortam ile	$21.1\,m^2$
Köprüüstü ile	$8\,m^2$
Revir ile	$6.6\,m^2$
3. mühendisin odası ile	$1\,m^2$
Koridor 2 ile	$2.6\,m^2$

Çizelge A.58 : Baş mühendis odasının iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Armatör odası ile	$11.6\,m^2$
Koridor 4 ile	$3.5\,m^2$

Çizelge A.59 : Baş mühendis odasının tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Dış ortam ile	$24.65\,m^2$
Köprüüstü ile	$11\,m^2$
3. mühendisin odası ile	$14\,m^2$
2. mühendisin odası ile	$1.4\,m^2$

Çizelge A.60 : Armatör odasının iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Baş mühendisin odası ile	$11.6\,m^2$
Koridor 4 ile	$8.1\,m^2$
Süvari odası ile	$11.6\,m^2$

Çizelge A.61 : Armatör odasının tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Dış ortam ile	$10.1\,m^2$
Köprüüstü ile	$10.8\,m^2$
2. mühendisin odası ile	$12.8\,m^2$

Çizelge A.62 : Süvari odasının iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Armatör odası ile	$11.6\,m^2$
Kamara 9 ile	$11.6\,m^2$
Koridor 4 ile	$4.86\,m^2$

Çizelge A.63 : Süvari odasının tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Dış ortam ile	$28.56\,m^2$
Köprüüstü ile	$16.2\,m^2$
2. mühendisin odası ile	$3.5\,m^2$
2. kaptanın odası ile	$16.5\,m^2$
Koridor 2 ile	$1\,m^2$

Çizelge A.64 : Kamara 9'un iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Süvarinin odası ile	$11.6\,m^2$

Çizelge A.65 : Kamara 9'un tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Dış ortam ile	$25.8\,m^2$
Köprüüstü ile	$7.3\,m^2$
İklimlendirme dairesi ile	$8\,m^2$
2. kaptan odası ile	$2.8\,m^2$

Çizelge A.66 : Köprüüstünün iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Süvarinin odası ile	$16.2\,m^2$
Dış ortam ile	$100.3\,m^2$
Armatör odası ile	$10.8\,m^2$
Baş mühendisin odası ile	$11\,m^2$
Kamara 10 ile	$8\,m^2$
Kamara 9 ile	$7.3\,m^2$
Koridor 4 ile	$8.1\,m^2$

Çizelge A.67 : Koridorun iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Soğuk hava deposu ile	$2.7\,m^2$
Kamara 1 ile	$8.6\,m^2$
Kamara 2 ile	$8.5\,m^2$
Kamara 3 ile	$6.4\,m^2$
Kamara 4 ile	$8\,m^2$
Kamara 5 ile	$8.1\,m^2$
Kamara 6 ile	$2.5\,m^2$
Kamara 7 ile	$10.2\,m^2$
Kamara 8 ile	$7.5\,m^2$
Yedek parça deposu ile	$9\,m^2$
Çamaşırhane ile	$4.5\,m^2$
Gemi dümen dairesi ile	$14\,m^2$

Çizelge A.68 : Koridorun tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Merdiven boşluğu ile	$19\,m^2$
Makine dairesi ile	$24\,m^2$
Dinlenme ve yemek odası ile	$7\,m^2$
Mutfak ile	$4\,m^2$
Personel dinlenme odası ile	$4\,m^2$
Koridor 3 ile	$9\,m^2$
Dış ortam ile	$3\,m^2$

Çizelge A.69 : Koridor 2'nin iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Revir ile	$14.8\,m^2$
2. mühendisin odası ile	$10.2\,m^2$
1. mühendisin odası ile	$7.8\,m^2$
2. kaptan odası ile	$2.7\,m^2$
İklimlendirme dairesi ile	$8.1\,m^2$

Çizelge A.70 : Koridor 2'nin tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Merdiven boşluğu ile	$2.7\,m^2$
Koridor 3 ile	$7.6\,m^2$
Kamara 10 ile	$2.6\,m^2$
Süvari odası ile	$1\,m^2$
Koridor 4 ile	$4\,m^2$

Çizelge A.71 : Koridor 3'ün iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Dinlenme ve yemek odası ile	$10\,m^2$
Personel dinlenme odası ile	$11.3\,m^2$
Zabitan dinlenme odası ile	$10\,m^2$
Güverte ofisi ile	$20.5\,m^2$
Kiler ile	$8.1\,m^2$

Çizelge A.72 : Koridor 3'ün tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Merdiven boşluğu ile	$9.5\,m^2$
Kamara 3 ile	$2.3\,m^2$
Koridor 1 ile	$9.5\,m^2$
Kamara 6 ile	$2.4\,m^2$
Kiler ile	$2.6\,m^2$
Koridor 2 ile	$7.6\,m^2$
2. kaptanın odası ile	$4\,m^2$

Çizelge A.73 : Koridor 4'ün iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Kamara 10 ile	$10\,m^2$
2. mühendisin odası ile	$3.5\,m^2$
Armatör odası ile	$8.1\,m^2$
Süvari odası ile	$2.7\,m^2$

Çizelge A.74 : Koridor 4'ün tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Merdiven boşluğu ile	$12\,m^2$
Dış ortam ile	$2.7\,m^2$
Kiler ile	$2.6\,m^2$
Koridor 2 ile	$4\,m^2$
Köprüüstü ile	$6.6\,m^2$

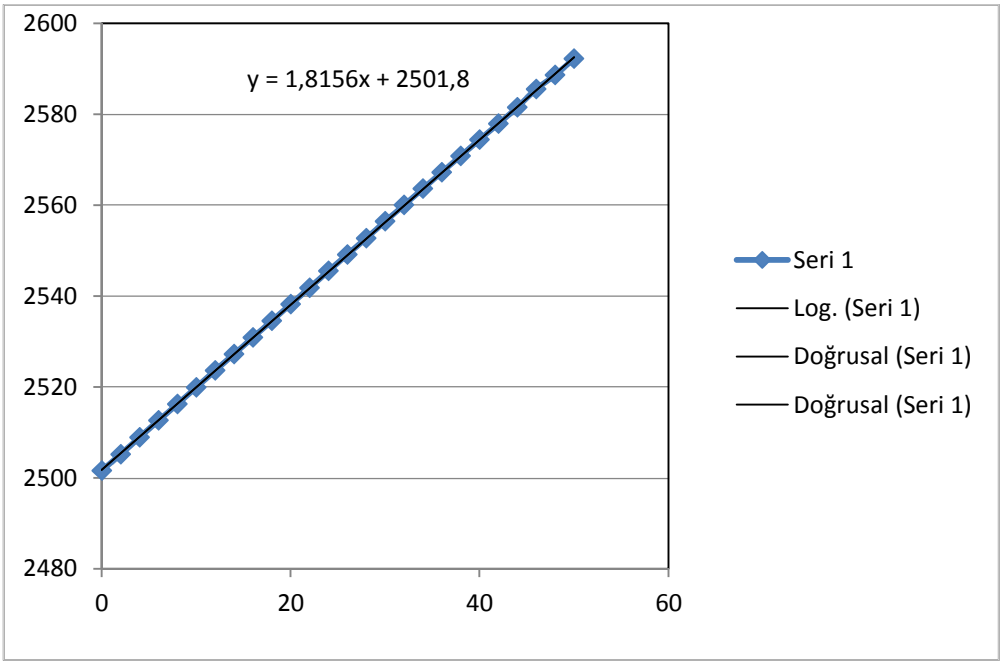
Çizelge A.75 : Erzak deposunun iç bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Çamaşırhane ile	$8\,m^2$
Yedek parça deposu ile	$8.2\,m^2$
Koridor 1 ile	$2.7\,m^2$

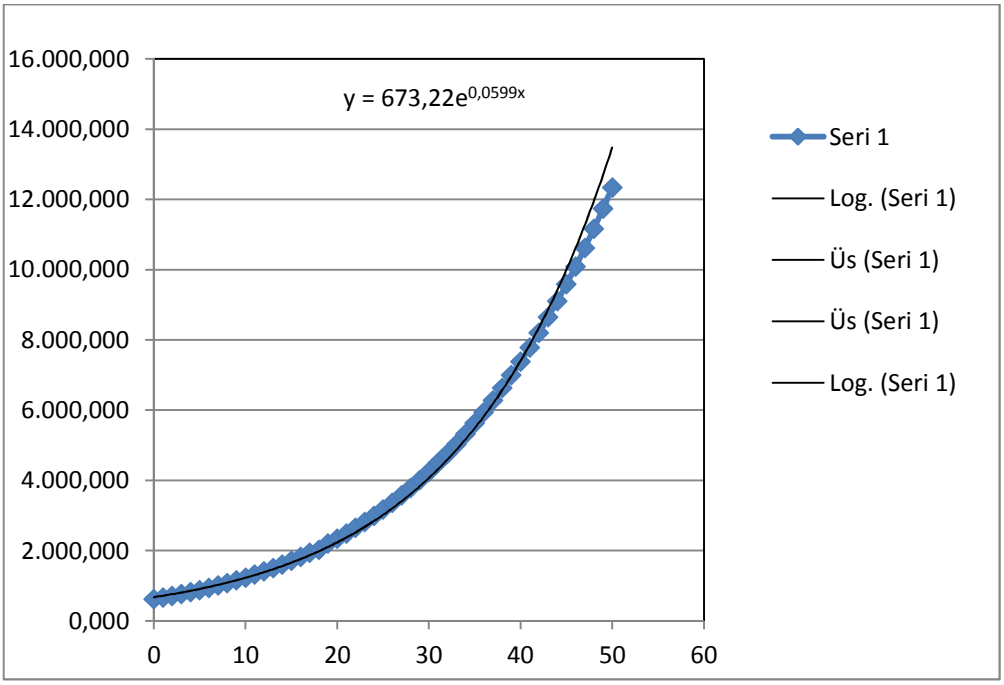
Çizelge A.76 : Erzak deposunun tavan, döşeme ve dış bölme duvarından diğer mahaller ile ısı transferi yaptığı yüzey alan miktarları.

Dış ortam ile	$40.8\,m^2$

EK B



Şekil B.1 : Su buharının entalpisi.



Şekil B.2 : Su buharının doyma basıncı.

EK C

```
clc
clear all
Lmi=0.005;
Li=0.03;
Lm=0.008;
YD=7850;
Cm=0.4782;
Kmi=2.556;
Ki=0.144;
Km=57.1;
RH=0.287;
RB=0.46152;
Cps=4.186;
CB=1.82;
Cph=1.0035;
FE=450;
R=0.3;
RK=0
RV=0;
P=101.3;
Q=6000;
M=0.3;
HI=50;
g=0;
i=0
for TA=-15:1:55
Ti=TA+273.15
TS=TA;
BNA=0.4;
QB=2501.766;
PSA=0.6732;
PSB=0.05993;
C=RH/(0.622*P);
TAM=TA+273.15;
PBA=BNA*PSA*(exp(PSB*TA));
WA=0.622*PBA/(P-PBA)
HA=1.0035*TA+WA*(QB+CB*TA)
WAM=WA+0.622;
for vh=2:2:32
pr=0.73431*exp(-0.000340723*TA);
ro=1.29233*exp(0.00347576*TA);
mu=0.0000172938*exp(0.00264579*TA)
k=0.0236361*exp(0.00302815*TA)
vu=mu/ro;
Re=vh*3/vu;
nu=0.680*(Re^(0.5))*(pr^(1/3))
HD=(nu*k)/3*2.4
A1=17.3;
VH1=65.74;
S1d=47.5;
S1y=50.75;
C1d=S1d*Lm*YD*Cm;
C1y=S1y*Lm*YD*Cm;
R1d=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S1d;
R2d=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S1d;
R1y=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S1y;
R2y=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S1y;
A2=104.5;
VH2=397.1;
```

```
S2d=167;
S2y=209;
C2d=S2d*Lm*YD*Cm;
C2y=S2y*Lm*YD*Cm;
R1d2=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S2d;
R2d2=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S2d;
R1y2=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S2y;
R2y2=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S2y;
A3=20.5;
VH3=77.9;
S3d=77.9;
S3y=41;
C3d=S3d*Lm*YD*Cm;
C3y=S3y*Lm*YD*Cm;
R1d3=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S3d;
R2d3=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S3d;
R1y3=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S3y;
R2y3=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S3y;
A4=18.5;
VH4=49.95;
S4d=22.8;
S4y=60;
C4d=S4d*Lm*YD*Cm;
C4y=S4y*Lm*YD*Cm;
R1d4=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S4d;
R2d4=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S4d;
R1y4=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S4y;
R2y4=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S4y;
A5=12.9;
VH5=34.83;
S5d=30.9;
S5y=34.1;
C5d=S5d*Lm*YD*Cm;
C5y=S5y*Lm*YD*Cm;
R1d5=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S5d;
R2d5=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S5d;
R1y5=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S5y;
R2y5=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S5y;
A6=13;
VH6=35.1;
S6d=28.19;
S6y=36.3;
C6d=S6d*Lm*YD*Cm;
C6y=S6y*Lm*YD*Cm;
R1d6=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S6d;
R2d6=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S6d;
R1y6=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S6y;
R2y6=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S6y;
A7=14;
VH7=37.8;
S7d=33.8;
S7y=37.5;
C7d=S7d*Lm*YD*Cm;
C7y=S7y*Lm*YD*Cm;
R1d7=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S7d;
R2d7=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S7d;
R1y7=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S7y;
R2y7=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S7y;
A8=17.5;
VH8=37.8;
S8d=21.2;
```

```
S8y=59.3;
C8d=S8d*Lm*YD*Cm;
C8y=S8y*Lm*YD*Cm;
R1d8=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S8d;
R2d8=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S8d;
R1y8=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S8y;
R2y8=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S8y;
A9=12.5;
VH9=33.75;
S9d=41;
S9y=25;
C9d=S9d*Lm*YD*Cm;
C9y=S9y*Lm*YD*Cm;
R1d9=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S9d;
R2d9=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S9d;
R1y9=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S9y;
R2y9=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S9y;
A10=12.5;
VH10=33.75;
S10d=38.8;
S10y=25;
C10d=S10d*Lm*YD*Cm;
C10y=S10y*Lm*YD*Cm;
R1d10=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S10d;
R2d10=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S10d;
R1y10=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S10y;
R2y10=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S10y;
A11=12.5;
VH11=33.75;
S11d=38.8;
S11y=25;
C11d=S11d*Lm*YD*Cm;
C11y=S11y*Lm*YD*Cm;
R1d11=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S11d;
R2d11=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S11d;
R1y11=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S11y;
R2y11=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S11y;
A12=15.5;
VH12=41.85;
S12d=36.9;
S12y=39.75;
C12d=S12d*Lm*YD*Cm;
C12y=S12y*Lm*YD*Cm;
R1d12=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S12d;
R2d12=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S12d;
R1y12=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S12y;
R2y12=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S12y;
A13=13.9;
VH13=37.53;
S13d=26.6;
S13y=37;
C13d=S13d*Lm*YD*Cm;
C13y=S13y*Lm*YD*Cm;
R1d13=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S13d;
R2d13=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S13d;
R1y13=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S13y;
R2y13=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S13y;
A14=11;
VH14=29.7;
S14d=12.1;
S14y=30
```

```
C14d=S14d*Lm*YD*Cm;
C14y=S14y*Lm*YD*Cm;
R1d14=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S14d;
R2d14=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S14d;
R1y14=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S14y;
R2y14=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S14y;
A15=9;
VH15=24.3;
S15d=20;
S15y=22;
C15d=S15d*Lm*YD*Cm;
C15y=S15y*Lm*YD*Cm;
R1d15=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S15d;
R2d15=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S15d;
R1y15=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S15y;
R2y15=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S15y;
A16=20;
VH16=54;
S16d=32.7;
S16y=56;
C16d=S16d*Lm*YD*Cm;
C16y=S16y*Lm*YD*Cm;
R1d16=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S16d;
R2d16=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S16d;
R1y16=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S16y;
R2y16=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S16y;
A17=11.5;
VH17=31.05;
S17d=18.3;
S17y=41.3;
C17d=S17d*Lm*YD*Cm;
C17y=S17y*Lm*YD*Cm;
R1d17=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S17d;
R2d17=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S17d;
R1y17=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S17y;
R2y17=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S17y;
A18=13;
VH18=35.1;
S18d=28.6;
S18y=37;
C18d=S18d*Lm*YD*Cm;
C18y=S18y*Lm*YD*Cm;
R1d18=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S18d;
R2d18=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S18d;
R1y18=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S18y;
R2y18=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S18y;
A19=12.3;
VH19=33.21;
S19d=19.5;
S19y=44.3;
C19d=S19d*Lm*YD*Cm;
C19y=S19y*Lm*YD*Cm;
R1d19=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S19d;
R2d19=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S19d;
R1y19=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S19y;
R2y19=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S19y;
A20=29;
VH20=78.3;
S20d=35.9;
S20y=85;
C20d=S20d*Lm*YD*Cm;
```

```
C20y=S20y*Lm*YD*Cm;
R1d20=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S20d;
R2d20=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S20d;
R1y20=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S20y;
R2y20=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S20y;
A21=5.6;
VH21=15.12;
S21d=14.85;
S21y=31.7;
C21d=S21d*Lm*YD*Cm;
C21y=S21y*Lm*YD*Cm;
R1d21=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S21d;
R2d21=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S21d;
R1y21=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S21y;
R2y21=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S21y;
A22=25.2;
VH22=68.04;
S22d=24.92;
S22y=80.1;
C22d=S22d*Lm*YD*Cm;
C22y=S22y*Lm*YD*Cm;
R1d22=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S22d;
R2d22=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S22d;
R1y22=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S22y;
R2y22=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S22y;
A23=7.5;
VH23=20.25;
S23d=23;
S23y=26.5;
C23d=S23d*Lm*YD*Cm;
C23y=S23y*Lm*YD*Cm;
R1d23=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S23d;
R2d23=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S23d;
R1y23=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S23y;
R2y23=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S23y;
A24=18;
VH24=48.6;
S24d=23.2;
S24y=59;
C24d=S24d*Lm*YD*Cm;
C24y=S24y*Lm*YD*Cm;
R1d24=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S24d;
R2d24=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S24d;
R1y24=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S24y;
R2y24=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S24y;
A25=12.2;
VH25=33;
S25d=33.3;
S25y=28.2;
C25d=S25d*Lm*YD*Cm;
C25y=S25y*Lm*YD*Cm;
R1d25=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S25d;
R2d25=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S25d;
R1y25=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S25y;
R2y25=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S25y;
A26=14.2;
VH26=49.4;
S26d=21;
S26y=49.4;
C26d=S26d*Lm*YD*Cm;
C26y=S26y*Lm*YD*Cm;
```

```
R1d26=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S26d;
R2d26=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S26d;
R1y26=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S26y;
R2y26=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S26y;
A27=14.7;
VH27=39.69;
S27d=17.5;
S27y=51.8;
C27d=S27d*Lm*YD*Cm;
C27y=S27y*Lm*YD*Cm;
R1d27=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S27d;
R2d27=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S27d;
R1y27=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S27y;
R2y27=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S27y;
A28=17.8;
VH28=48.06;
S28d=31;
S28y=43.16;
C28d=S28d*Lm*YD*Cm;
C28y=S28y*Lm*YD*Cm;
R1d28=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S28d;
R2d28=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S28d;
R1y28=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S28y;
R2y28=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S28y;
A29=17.8;
VH29=48;
S29d=23.3;
S29y=59.3;
C29d=S29d*Lm*YD*Cm;
C29y=S29y*Lm*YD*Cm;
R1d29=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S29d;
R2d29=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S29d;
R1y29=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S29y;
R2y29=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S29y;
A30=29;
VH30=78.3;
S30d=35.9;
S30y=85;
C30d=S30d*Lm*YD*Cm;
C30y=S30y*Lm*YD*Cm;
R1d30=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S30d;
R2d30=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S30d;
R1y30=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S30y;
R2y30=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S30y;
A31=10.2;
VH31=27.54;
S31d=18.22;
S31y=39.3;
C31d=S31d*Lm*YD*Cm;
C31y=S31y*Lm*YD*Cm;
R1d31=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S31d;
R2d31=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S31d;
R1y31=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S31y;
R2y31=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S31y;
A32=15.4;
VH32=41.58;
S32d=15.1;
S32y=51.05;
C32d=S32d*Lm*YD*Cm;
C32y=S32y*Lm*YD*Cm;
R1d32=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S32d;
```

```
R2d32=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S32d;
R1y32=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S32y;
R2y32=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S32y;
A33=12.8;
VH33=34.56;
S33d=31.3;
S33y=33.7;
C33d=S33d*Lm*YD*Cm;
C33y=S33y*Lm*YD*Cm;
R1d33=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S33d;
R2d33=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S33d;
R1y33=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S33y;
R2y33=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S33y;
A34=21;
VH34=56.7;
S34d=28.06;
S34y=65.7;
C34d=S34d*Lm*YD*Cm;
C34y=S34y*Lm*YD*Cm;
R1d34=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S34d;
R2d34=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S34d;
R1y34=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S34y;
R2y34=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S34y;
A35=10.8;
VH35=29.16;
S35d=11.6;
S35y=36.6;
C35d=S35d*Lm*YD*Cm;
C35y=S35y*Lm*YD*Cm;
R1d35=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S35d;
R2d35=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S35d;
R1y35=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S35y;
R2y35=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S35y;
A36=61.4;
VH36=165.75;
S36d=0;
S36y=161.7;
C36d=S36d*Lm*YD*Cm;
C36y=S36y*Lm*YD*Cm;
R1d36=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S36d;
R2d36=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S36d;
R1y36=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S36y;
R2y36=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S36y;
A37=35;
VH37=94.5;
S37d=90;
S37y=70;
C37d=S37d*Lm*YD*Cm;
C37y=S37y*Lm*YD*Cm;
R1d37=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S37d;
R2d37=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S37d;
R1y37=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S37y;
R2y37=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S37y;
A38=7.6;
VH38=20.52;
S38d=43.6;
S38y=17.9;
C38d=S38d*Lm*YD*Cm;
C38y=S38y*Lm*YD*Cm;
R1d38=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S38d;
R2d38=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S38d;
```

```
R1y38=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S38y;
R2y38=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S38y;
A39=14.2;
VH39=38.34;
S39d=59.9;
S39y=37.9;
C39d=S39d*Lm*YD*Cm;
C39y=S39y*Lm*YD*Cm;
R1d39=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S39d;
R2d39=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S39d;
R1y39=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S39y;
R2y39=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S39y;
A40=6.6;
VH40=17.82;
S40d=24.3;
S40y=27.9;
C40d=S40d*Lm*YD*Cm;
C40y=S40y*Lm*YD*Cm;
R1d40=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S40d;
R2d40=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S40d;
R1y40=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S40y;
R2y40=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S40y;
A41=11.5;
VH41=31.05;
S41d=18.9;
S41y=40.8;
C41d=S41d*Lm*YD*Cm;
C41y=S41y*Lm*YD*Cm;
R1d41=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S41d;
R2d41=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S41d;
R1y41=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S41y;
R2y41=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S41y;
sim('dongu')
g=g+1
A(i+1,g)=simout.signals.values(numel(simout.signals.values))
end
i=i+1
g=0
end
waterfall(A)
```

EK D

```
clc
clear all
Lmi=0.005;
Li=0.1;
Lm=0.01;
YD=7850;
Cm=0.4782;
Kmi=2.556;
Ki=0.144;
Km=57.1;
HI=50;
HD=32.28;
RH=0.287;
RB=0.46152;
Cps=4.186;
CB=1.82;
Cph=1.0035;
FE=450;
R=0.3;
RK=0
RV=0;
P=101.3;
Q=6000;
M=0.3;
TA=15
Ti=288.15
TS=15;
BN=0.28;
BNA=0.28;
QB=2501.766;
PSA=0.6732;
PSB=0.05993;
C=RH/(0.622*P);
TAM=TA+273.15;
PBA=BNA*PSA*(exp(PSB*TA));
WA=0.622*PBA/(P-PBA)
HA=1.0035*TA+WA*(QB+CB*TA)
WAM=WA+0.622;
A1=17.3;
VH1=65.74;
S1d=47.5;
S1y=50.75;
C1d=S1d*Lm*YD*Cm;
C1y=S1y*Lm*YD*Cm;
R1d=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S1d;
R2d=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S1d;
R1y=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S1y;
R2y=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S1y;
A2=104.5;
VH2=397.1;
S2d=167;
S2y=209;
C2d=S2d*Lm*YD*Cm;
C2y=S2y*Lm*YD*Cm;
R1d2=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S2d;
R2d2=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S2d;
R1y2=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S2y;
R2y2=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S2y;
```

```
A3=20.5;
VH3=77.9;
S3d=77.9;
S3y=41;
C3d=S3d*Lm*YD*Cm;
C3y=S3y*Lm*YD*Cm;
R1d3=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S3d;
R2d3=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S3d;
R1y3=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S3y;
R2y3=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S3y;
A4=18.5;
VH4=49.95;
S4d=22.8;
S4y=60;
C4d=S4d*Lm*YD*Cm;
C4y=S4y*Lm*YD*Cm;
R1d4=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S4d;
R2d4=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S4d;
R1y4=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S4y;
R2y4=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S4y;
A5=12.9;
VH5=34.83;
S5d=30.9;
S5y=34.1;
C5d=S5d*Lm*YD*Cm;
C5y=S5y*Lm*YD*Cm;
R1d5=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S5d;
R2d5=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S5d;
R1y5=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S5y;
R2y5=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S5y;
A6=13;
VH6=35.1;
S6d=28.19;
S6y=36.3;
C6d=S6d*Lm*YD*Cm;
C6y=S6y*Lm*YD*Cm;
R1d6=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S6d;
R2d6=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S6d;
R1y6=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S6y;
R2y6=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S6y;
A7=14;
VH7=37.8;
S7d=33.8;
S7y=37.5;
C7d=S7d*Lm*YD*Cm;
C7y=S7y*Lm*YD*Cm;
R1d7=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S7d;
R2d7=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S7d;
R1y7=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S7y;
R2y7=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S7y;
A8=17.5;
VH8=37.8;
S8d=21.2;
S8y=59.3;
C8d=S8d*Lm*YD*Cm;
C8y=S8y*Lm*YD*Cm;
R1d8=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S8d;
R2d8=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S8d;
R1y8=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S8y;
R2y8=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S8y;
```

```
A9=12.5;
VH9=33.75;
S9d=41;
S9y=25;
C9d=S9d*Lm*YD*Cm;
C9y=S9y*Lm*YD*Cm;
R1d9=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S9d;
R2d9=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S9d;
R1y9=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S9y;
R2y9=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S9y;
A10=12.5;
VH10=33.75;
S10d=38.8;
S10y=25;
C10d=S10d*Lm*YD*Cm;
C10y=S10y*Lm*YD*Cm;
R1d10=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S10d;
R2d10=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S10d;
R1y10=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S10y;
R2y10=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S10y;
A11=12.5;
VH11=33.75;
S11d=38.8;
S11y=25;
C11d=S11d*Lm*YD*Cm;
C11y=S11y*Lm*YD*Cm;
R1d11=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S11d;
R2d11=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S11d;
R1y11=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S11y;
R2y11=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S11y;
A12=15.5;
VH12=41.85;
S12d=36.9;
S12y=39.75;
C12d=S12d*Lm*YD*Cm;
C12y=S12y*Lm*YD*Cm;
R1d12=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S12d;
R2d12=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S12d;
R1y12=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S12y;
R2y12=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S12y;
A13=13.9;
VH13=37.53;
S13d=26.6;
S13y=37;
C13d=S13d*Lm*YD*Cm;
C13y=S13y*Lm*YD*Cm;
R1d13=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S13d;
R2d13=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S13d;
R1y13=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S13y;
R2y13=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S13y;
A14=11;
VH14=29.7;
S14d=12.1;
S14y=30;
C14d=S14d*Lm*YD*Cm;
C14y=S14y*Lm*YD*Cm;
R1d14=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S14d;
R2d14=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S14d;
R1y14=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S14y;
R2y14=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S14y;
A15=9;
```

```
VH15=24.3;
S15d=20;
S15y=22;
C15d=S15d*Lm*YD*Cm;
C15y=S15y*Lm*YD*Cm;
R1d15=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S15d;
R2d15=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S15d;
R1y15=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S15y;
R2y15=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S15y;
A16=20;
VH16=54;
S16d=32.7;
S16y=56;
C16d=S16d*Lm*YD*Cm;
C16y=S16y*Lm*YD*Cm;
R1d16=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S16d;
R2d16=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S16d;
R1y16=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S16y;
R2y16=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S16y;
A17=11.5;
VH17=31.05;
S17d=18.3;
S17y=41.3;
C17d=S17d*Lm*YD*Cm;
C17y=S17y*Lm*YD*Cm;
R1d17=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S17d;
R2d17=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S17d;
R1y17=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S17y;
R2y17=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S17y;
A18=13;
VH18=35.1;
S18d=28.6;
S18y=37;
C18d=S18d*Lm*YD*Cm;
C18y=S18y*Lm*YD*Cm;
R1d18=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S18d;
R2d18=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S18d;
R1y18=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S18y;
R2y18=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S18y;
A19=12.3;
VH19=33.21;
S19d=19.5;
S19y=44.3;
C19d=S19d*Lm*YD*Cm;
C19y=S19y*Lm*YD*Cm;
R1d19=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S19d;
R2d19=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S19d;
R1y19=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S19y;
R2y19=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S19y;
A20=29;
VH20=78.3;
S20d=35.9;
S20y=85;
C20d=S20d*Lm*YD*Cm;
C20y=S20y*Lm*YD*Cm;
R1d20=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S20d;
R2d20=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S20d;
R1y20=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S20y;
R2y20=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S20y;
A21=5.6;
VH21=15.12;
```

```
S21d=14.85;
S21y=31.7;
C21d=S21d*Lm*YD*Cm;
C21y=S21y*Lm*YD*Cm;
R1d21=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S21d;
R2d21=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S21d;
R1y21=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S21y;
R2y21=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S21y;
A22=25.2;
VH22=68.04;
S22d=24.92;
S22y=80.1;
C22d=S22d*Lm*YD*Cm;
C22y=S22y*Lm*YD*Cm;
R1d22=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S22d;
R2d22=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S22d;
R1y22=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S22y;
R2y22=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S22y;
A23=7.5;
VH23=20.25;
S23d=23;
S23y=26.5;
C23d=S23d*Lm*YD*Cm;
C23y=S23y*Lm*YD*Cm;
R1d23=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S23d;
R2d23=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S23d;
R1y23=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S23y;
R2y23=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S23y;
A24=18;
VH24=48.6;
S24d=23.2;
S24y=59;
C24d=S24d*Lm*YD*Cm;
C24y=S24y*Lm*YD*Cm;
R1d24=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S24d;
R2d24=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S24d;
R1y24=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S24y;
R2y24=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S24y;
A25=12.2;
VH25=33;
S25d=33.3;
S25y=28.2;
C25d=S25d*Lm*YD*Cm;
C25y=S25y*Lm*YD*Cm;
R1d25=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S25d;
R2d25=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S25d;
R1y25=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S25y;
R2y25=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S25y;
A26=14.2;
VH26=49.4;
S26d=21;
S26y=49.4;
C26d=S26d*Lm*YD*Cm;
C26y=S26y*Lm*YD*Cm;
R1d26=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S26d;
R2d26=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S26d;
R1y26=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S26y;
R2y26=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S26y;
A27=14.7;
VH27=39.69;
S27d=17.5;
```

```
S27y=51.8;
C27d=S27d*Lm*YD*Cm;
C27y=S27y*Lm*YD*Cm;
R1d27=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S27d;
R2d27=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S27d;
R1y27=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S27y;
R2y27=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S27y;
A28=17.8;
VH28=48.06;
S28d=31;
S28y=43.16;
C28d=S28d*Lm*YD*Cm;
C28y=S28y*Lm*YD*Cm;
R1d28=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S28d;
R2d28=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S28d;
R1y28=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S28y;
R2y28=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S28y;
A29=17.8;
VH29=48;
S29d=23.3;
S29y=59.3;
C29d=S29d*Lm*YD*Cm;
C29y=S29y*Lm*YD*Cm;
R1d29=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S29d;
R2d29=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S29d;
R1y29=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S29y;
R2y29=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S29y;
A30=29;
VH30=78.3;
S30d=35.9;
S30y=85;
C30d=S30d*Lm*YD*Cm;
C30y=S30y*Lm*YD*Cm;
R1d30=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S30d;
R2d30=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S30d;
R1y30=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S30y;
R2y30=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S30y;
A31=10.2;
VH31=27.54;
S31d=18.22;
S31y=39.3;
C31d=S31d*Lm*YD*Cm;
C31y=S31y*Lm*YD*Cm;
R1d31=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S31d;
R2d31=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S31d;
R1y31=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S31y;
R2y31=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S31y;
A32=15.4;
VH32=41.58;
S32d=15.1;
S32y=51.05;
C32d=S32d*Lm*YD*Cm;
C32y=S32y*Lm*YD*Cm;
R1d32=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S32d;
R2d32=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S32d;
R1y32=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S32y;
R2y32=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S32y;
A33=12.8;
VH33=34.56;
S33d=31.3;
S33y=33.7;
```

```
C33d=S33d*Lm*YD*Cm;
C33y=S33y*Lm*YD*Cm;
R1d33=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S33d;
R2d33=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S33d;
R1y33=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S33y;
R2y33=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S33y;
A34=21;
VH34=56.7;
S34d=28.06;
S34y=65.7;
C34d=S34d*Lm*YD*Cm;
C34y=S34y*Lm*YD*Cm;
R1d34=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S34d;
R2d34=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S34d;
R1y34=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S34y;
R2y34=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S34y;
A35=10.8;
VH35=29.16;
S35d=11.6;
S35y=36.6;
C35d=S35d*Lm*YD*Cm;
C35y=S35y*Lm*YD*Cm;
R1d35=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S35d;
R2d35=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S35d;
R1y35=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S35y;
R2y35=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S35y;
A36=61.4;
VH36=165.75;
S36d=0;
S36y=161.7;
C36d=S36d*Lm*YD*Cm;
C36y=S36y*Lm*YD*Cm;
R1d36=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S36d;
R2d36=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S36d;
R1y36=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S36y;
R2y36=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S36y;
A37=35;
VH37=94.5;
S37d=90;
S37y=70;
C37d=S37d*Lm*YD*Cm;
C37y=S37y*Lm*YD*Cm;
R1d37=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S37d;
R2d37=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S37d;
R1y37=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S37y;
R2y37=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S37y;
A38=7.6;
VH38=20.52;
S38d=43.6;
S38y=17.9;
C38d=S38d*Lm*YD*Cm;
C38y=S38y*Lm*YD*Cm;
R1d38=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S38d;
R2d38=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S38d;
R1y38=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S38y;
R2y38=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S38y;
A39=14.2;
VH39=38.34;
S39d=59.9;
S39y=37.9;
C39d=S39d*Lm*YD*Cm;
```

```
C39y=S39y*Lm*YD*Cm;
R1d39=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S39d;
R2d39=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S39d;
R1y39=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S39y;
R2y39=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S39y;
A40=6.6;
VH40=17.82;
S40d=24.3;
S40y=27.9;
C40d=S40d*Lm*YD*Cm;
C40y=S40y*Lm*YD*Cm;
R1d40=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S40d;
R2d40=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S40d;
R1y40=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S40y;
R2y40=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S40y;
A41=11.5;
VH41=31.05;
S41d=18.9;
S41y=40.8;
C41d=S41d*Lm*YD*Cm;
C41y=S41y*Lm*YD*Cm;
R1d41=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S41d;
R2d41=((1/HD)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S41d;
R1y41=((1/HI)+(Lmi/Kmi)+(Li/Ki)+(Lm/(2*Km)))/S41y;
R2y41=((1/HD)+(Lm/(2*Km)))/S41y;
```

Ek D1

```
subplot(421)
plot(time.signals.values,seperator.signals.values)
ylabel('Sıcaklık değişimi (K)'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Seperatör odasının sıcaklık değişimi')
subplot(422)
plot(time.signals.values,m_k_o.signals.values)
ylabel('Sıcaklık değişimi (K)'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Makine kontrol odasının sıcaklık değişimi')
subplot(423)
plot(time.signals.values,erzak.signals.values)
ylabel('Sıcaklık değişimi (K)'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Erzak deposunun sıcaklık değişimi')
subplot(424)
plot(time.signals.values,k_1.signals.values)
ylabel('Sıcaklık değişimi (K)'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Kamara 1 in sıcaklık değişimi')
subplot(425)
plot(time.signals.values,k_3.signals.values)
ylabel('Sıcaklık değişimi (K)'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Kamara 3 ün sıcaklık değişimi')
subplot(426)
plot(time.signals.values,co2.signals.values)
ylabel('Sıcaklık değişimi (K)'); xlabel('Zaman (t)')
Title('CO2 odasının sıcaklık değişimi')
subplot(427)
plot(time.signals.values,k_4.signals.values)
ylabel('Sıcaklık değişimi (K)'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Kamara 4 ün sıcaklık değişimi')
subplot(428)
plot(time.signals.values,k_5.signals.values)
ylabel('Sıcaklık değişimi (K)'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Kamara 5 in sıcaklık değişimi')
```

Ek D2

```
subplot(421)
plot(time.signals.values,k_6.signals.values)
ylabel('Sıcaklık değişimi (K)'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Kamara 6 nın sıcaklık değişimi')
subplot(422)
plot(time.signals.values,k_7.signals.values)
ylabel('Sıcaklık değişimi (K)'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Kamara 7 nin sıcaklık değişimi')
subplot(423)
plot(time.signals.values,k_8.signals.values)
ylabel('Sıcaklık değişimi (K)'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Kamara 8 in sıcaklık değişimi')
subplot(424)
plot(time.signals.values,yedek_parca.signals.values)
ylabel('Sıcaklık değişimi (K)'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Yedek parça deposunun sıcaklık değişimi')
subplot(425)
plot(time.signals.values,camasirhane.signals.values)
ylabel('Sıcaklık değişimi (K)'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Çamaşırhanenin sıcaklık değişimi')
subplot(426)
plot(time.signals.values,gemi_d_d.signals.values)
ylabel('Sıcaklık değişimi (K)'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Gemi dümen odasının sıcaklık değişimi')
subplot(427)
plot(time.signals.values,mutfak.signals.values)
ylabel('Sıcaklık değişimi (K)'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Mutfağın sıcaklık değişimi')
subplot(428)
plot(time.signals.values,personel_dinlenme.signals.values)
ylabel('Sıcaklık değişimi (K)'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Personel dinlenme odasının sıcaklık değişimi')
```

Ek D3

```
subplot(421)
plot(time.signals.values,zabitan_dinlenme.signals.values)
ylabel('Sıcaklık değişimi (K)'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Zabitan dinlenme odasının sıcaklık değişimi')
subplot(422)
plot(time.signals.values,guverte_ofisi.signals.values)
ylabel('Sıcaklık değişimi (K)'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Güverte ofisinin sıcaklık değişimi')
subplot(423)
plot(time.signals.values,kiler.signals.values)
ylabel('Sıcaklık değişimi (K)'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Kilerin sıcaklık değişimi')
subplot(424)
plot(time.signals.values,din_yemek.signals.values)
ylabel('Sıcaklık değişimi (K)'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Dinlenme ve yemek odasının sıcaklık değişimi')
subplot(425)
plot(time.signals.values,ups.signals.values)
ylabel('Sıcaklık değişimi (K)'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Ups dairesinin sıcaklık değişimi')
subplot(426)
plot(time.signals.values,jenerator.signals.values)
```

```
ylabel('Sıcaklık değişimi (K)'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Jeneratör dairesinin sıcaklık değişimi')
subplot(427)
plot(time.signals.values,revir.signals.values)
ylabel('Sıcaklık değişimi (K)'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Revirin sıcaklık değişimi')
subplot(428)
plot(time.signals.values,muh_3.signals.values)
ylabel('Sıcaklık değişimi (K)'); xlabel('Zaman (t)')
Title('3. mühendis odasının sıcaklık değişimi')
```

Ek D4

```
subplot(421)
plot(time.signals.values,muh_2.signals.values)
ylabel('Sıcaklık değişimi (K)'); xlabel('Zaman (t)')
Title('2.mühendis odasının sıcaklık değişimi')
subplot(422)
plot(time.signals.values,kap_2.signals.values)
ylabel('Sıcaklık değişimi (K)'); xlabel('Zaman (t)')
Title('2.kaptan odasının sıcaklık değişimi')
subplot(423)
plot(time.signals.values,iklim.signals.values)
ylabel('Sıcaklık değişimi (K)'); xlabel('Zaman (t)')
Title('İklimlendirme dairesinin sıcaklık değişimi')
subplot(424)
plot(time.signals.values,k_10.signals.values)
ylabel('Sıcaklık değişimi (K)'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Kamara 10 un sıcaklık değişimi')
subplot(425)
plot(time.signals.values,bas_muh.signals.values)
ylabel('Sıcaklık değişimi (K)'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Baş mühendis odasının sıcaklık değişimi')
subplot(426)
plot(time.signals.values,armator.signals.values)
ylabel('Sıcaklık değişimi (K)'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Armatör odasının sıcaklık değişimi')
subplot(427)
plot(time.signals.values,suvari.signals.values)
ylabel('Sıcaklık değişimi (K)'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Süvari odasının sıcaklık değişimi')
subplot(428)
plot(time.signals.values,k_9.signals.values)
ylabel('Sıcaklık değişimi (K)'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Kamara 9 un sıcaklık değişimi')
```

Ek D5

```
subplot(421)
plot(time.signals.values,kopruustu.signals.values)
ylabel('Sıcaklık değişimi (K)'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Köprüüstünün sıcaklık değişimi')
subplot(422)
plot(time.signals.values,koridor.signals.values)
ylabel('Sıcaklık değişimi (K)'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Koridorun sıcaklık değişimi')
subplot(423)
plot(time.signals.values,koridor2.signals.values)
ylabel('Sıcaklık değişimi (K)'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Koridor 2 nin sıcaklık değişimi')
```

```
subplot(424)
plot(time.signals.values,koridor3.signals.values)
ylabel('Sıcaklık değişimi (K)'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Koridor 3 ün sıcaklık değişimi')
subplot(425)
plot(time.signals.values,koridor4.signals.values)
ylabel('Sıcaklık değişimi (K)'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Koridor 4 ün sıcaklık değişimi')
```

Ek D6

```
subplot(421)
plot(time.signals.values,b_seperator.signals.values)
ylabel('Bağıl nem'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Seperatör odasının bağıl nem değişimi')
subplot(422)
plot(time.signals.values,b_m_k_o.signals.values)
ylabel('Bağıl nem'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Makine kontrol odasının bağıl nem değişimi')
subplot(423)
plot(time.signals.values,b_erzak.signals.values)
ylabel('Bağıl nem'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Erzak deposunun bağıl nem değişimi')
subplot(424)
plot(time.signals.values,b_k_1.signals.values)
ylabel('Bağıl nem'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Kamara 1 in bağıl nem değişimi')
subplot(425)
plot(time.signals.values,b_k_3.signals.values)
ylabel('Bağıl nem'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Kamara 3 ün bağıl nem değişimi')
subplot(426)
plot(time.signals.values,b_co2.signals.values)
ylabel('Bağıl nem'); xlabel('Zaman (t)')
Title('CO2 odasının bağıl nem değişimi')
subplot(427)
plot(time.signals.values,b_k_4.signals.values)
ylabel('Bağıl nem'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Kamara 4 ün bağıl nem değişimi')
subplot(428)
plot(time.signals.values,b_k_5.signals.values)
ylabel('Bağıl nem'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Kamara 5 in bağıl nem değişimi')
```

Ek D7

```
subplot(421)
plot(time.signals.values,b_k_6.signals.values)
ylabel('Bağıl nem'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Kamara 6 nın bağıl nem değişimi')
subplot(422)
plot(time.signals.values,b_k_7.signals.values)
ylabel('Bağıl nem'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Kamara 7 nin bağıl nem değişimi')
subplot(423)
plot(time.signals.values,b_k_8.signals.values)
ylabel('Bağıl nem'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Kamara 8 in bağıl nem değişimi')
subplot(424)
plot(time.signals.values,b_yedek_parca.signals.values)
```

```
ylabel('Bağıl nem'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Yedek parça deposunun bağıl nem değişimi')
subplot(425)
plot(time.signals.values,b_camasirhane.signals.values)
ylabel('Bağıl nem'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Çamaşırhanenin bağıl nem değişimi')
subplot(426)
plot(time.signals.values,b_gemi_d_d.signals.values)
ylabel('Bağıl nem'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Gemi dümen odasının bağıl nem değişimi')
subplot(427)
plot(time.signals.values,b_mutfak.signals.values)
ylabel('Bağıl nem'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Mutfağın bağıl nem değişimi')
subplot(428)
plot(time.signals.values,b_personel_dinlenme.signals.values)
ylabel('Bağıl nem'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Personel dinlenme odasının bağıl nem değişimi')
```

Ek D8

```
subplot(421)
plot(time.signals.values,b_zabitan_dinlenme.signals.values)
ylabel('Bağıl nem'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Zabitan dinlenme odasının bağıl nem değişimi')
subplot(422)
plot(time.signals.values,b_guverte_ofisi.signals.values)
ylabel('Bağıl nem'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Güverte ofisinin bağıl nem değişimi')
subplot(423)
plot(time.signals.values,b_kiler.signals.values)
ylabel('Bağıl nem'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Kilerin bağıl nem değişimi')
subplot(424)
plot(time.signals.values,b_din_yemek.signals.values)
ylabel('Bağıl nem'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Dinlenme ve yemek odasının bağıl nem değişimi')
subplot(425)
plot(time.signals.values,b_ups.signals.values)
ylabel('Bağıl nem'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Ups dairesinin bağıl nem değişimi')
subplot(426)
plot(time.signals.values,b_jenerator.signals.values)
ylabel('Bağıl nem'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Jeneratör dairesinin bağıl nem değişimi')
subplot(427)
plot(time.signals.values,b_revir.signals.values)
ylabel('Bağıl nem'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Revirin bağıl nem değişimi')
subplot(428)
plot(time.signals.values,b_muh_3.signals.values)
ylabel('Bağıl nem'); xlabel('Zaman (t)')
Title('3.mühendis odasının bağıl nem değişimi')
```

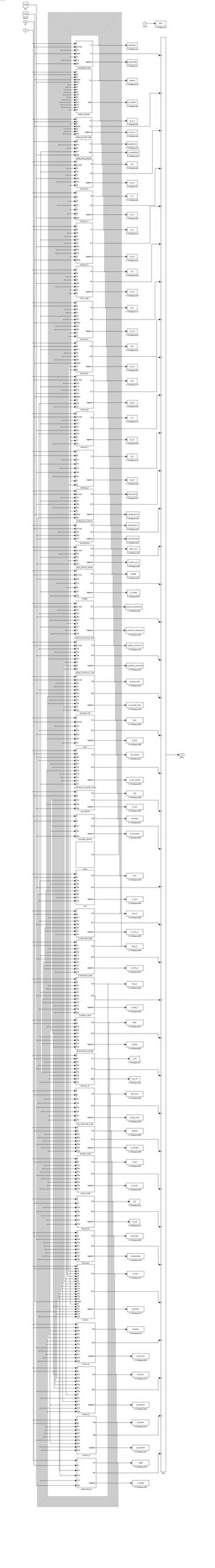
Ek D9

```
subplot(421)
plot(time.signals.values,b_muh_2.signals.values)
ylabel('Bağıl nem'); xlabel('Zaman (t)')
Title('2.mühendis odasının bağıl nem değişimi')
```

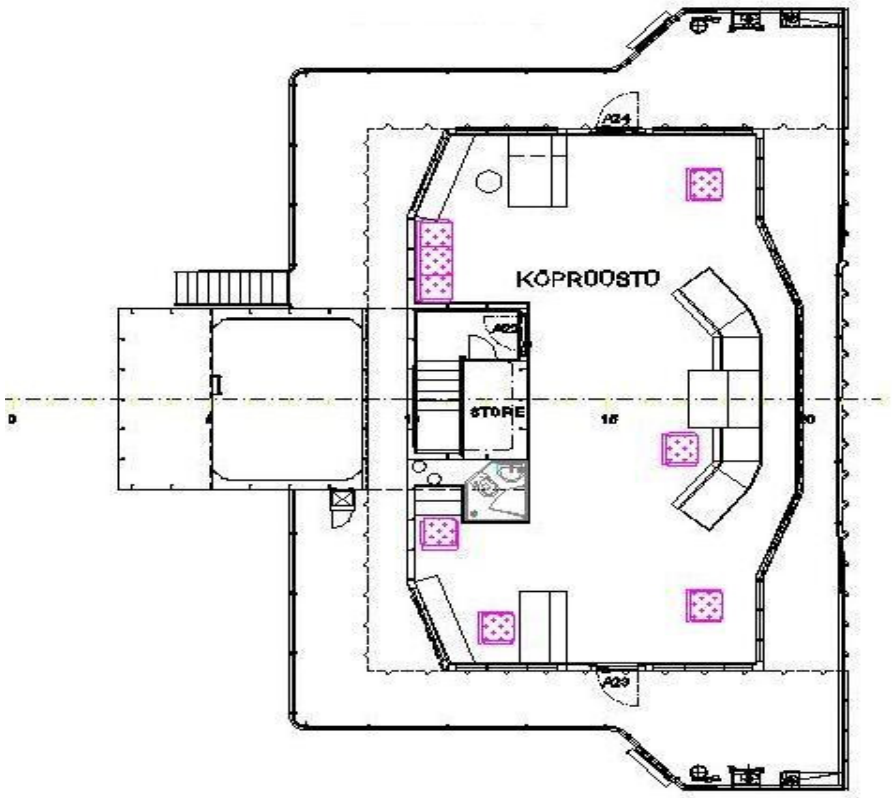
```
subplot(422)
plot(time.signals.values,b_kap_2.signals.values)
ylabel('Bağıl nem'); xlabel('Zaman (t)')
Title('2.kaptan odasının bağıl nem değişimi')
subplot(423)
plot(time.signals.values,b_iklim.signals.values)
ylabel('Bağıl nem'); xlabel('Zaman (t)')
Title('İklimlendirme dairesinin bağıl nem değişimi')
subplot(424)
plot(time.signals.values,b_k_10.signals.values)
ylabel('Bağıl nem'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Kamara 10 un bağıl nem değişimi')
subplot(425)
plot(time.signals.values,b_bas_muh.signals.values)
ylabel('Bağıl nem'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Baş mühendis odasının bağıl nem değişimi')
subplot(426)
plot(time.signals.values,b_armator.signals.values)
ylabel('Bağıl nem'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Armatör odasının bağıl nem değişimi')
subplot(427)
plot(time.signals.values,b_suvari.signals.values)
ylabel('Bağıl nem'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Süvari odasının bağıl nem değişimi')
subplot(428)
plot(time.signals.values,b_k_9.signals.values)
ylabel('Bağıl nem'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Kamara 9 un bağıl nem değişimi')
```

Ek D10

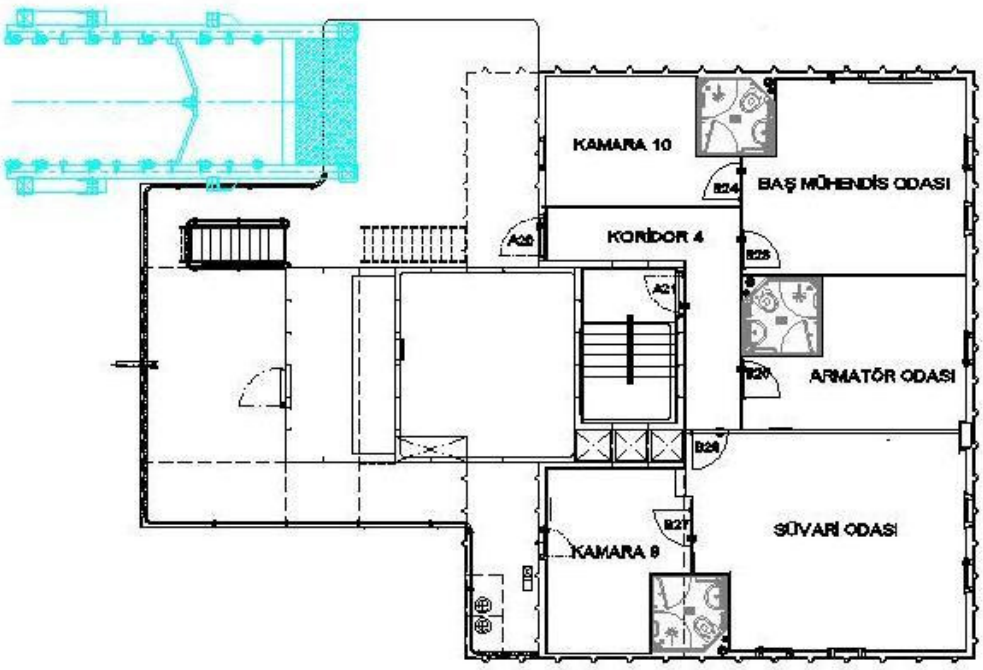
```
subplot(421)
plot(time.signals.values,b_kopruustu.signals.values)
ylabel('Bağıl nem'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Köprüüstünün bağıl nem değişimi')
subplot(422)
plot(time.signals.values,b_koridor.signals.values)
ylabel('Bağıl nem'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Koridorun bağıl nem değişimi')
subplot(423)
plot(time.signals.values,b_koridor2.signals.values)
ylabel('Bağıl nem'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Koridor 2 nin bağıl nem değişimi')
subplot(424)
plot(time.signals.values,b_koridor3.signals.values)
ylabel('Bağıl nem'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Koridor 3 ün bağıl nem değişimi')
subplot(425)
plot(time.signals.values,b_koridor4.signals.values)
ylabel('Bağıl nem'); xlabel('Zaman (t)')
Title('Koridor 4 ün bağıl nem değişimi')
```



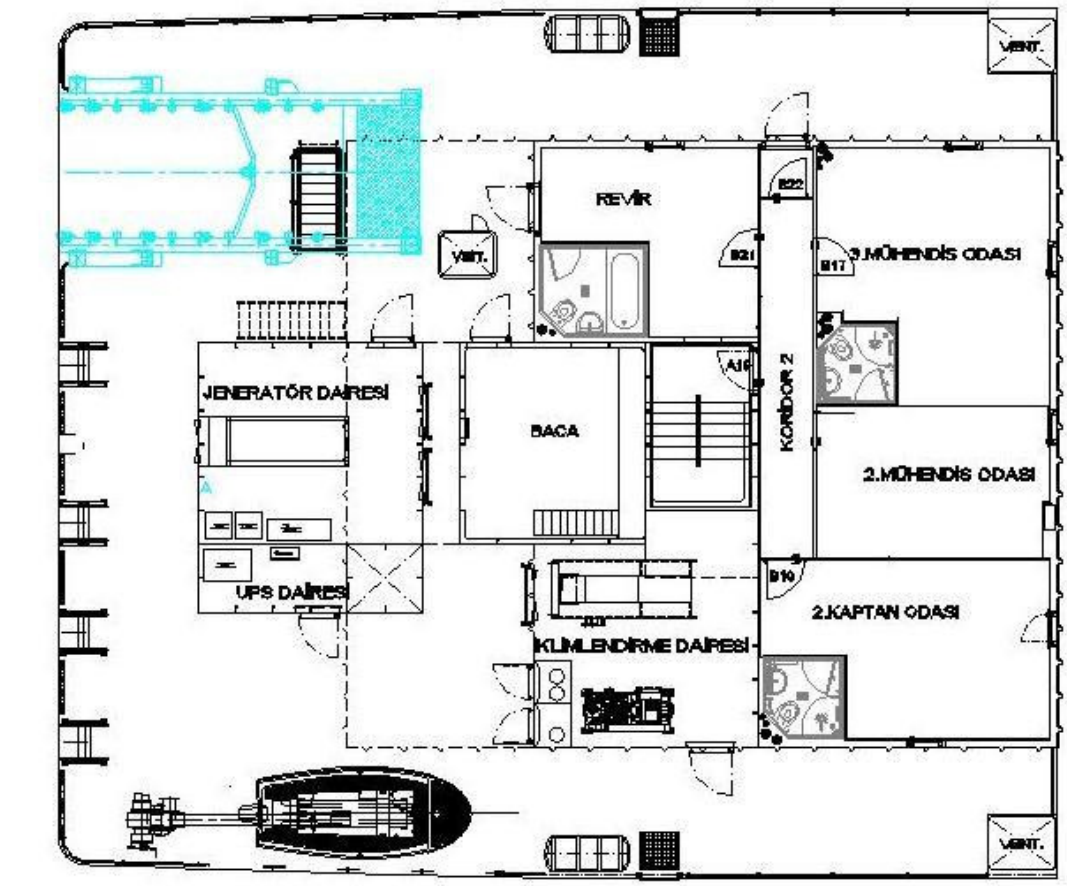
EK E



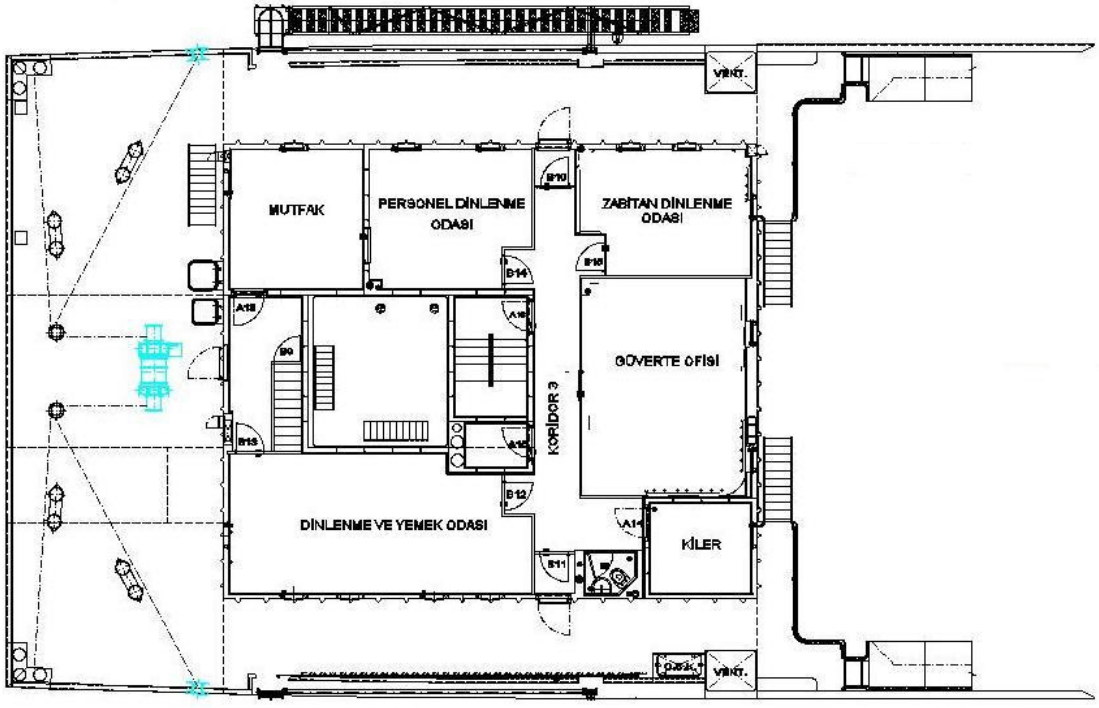
Şekil E.1 : Köprüüstünün planı.



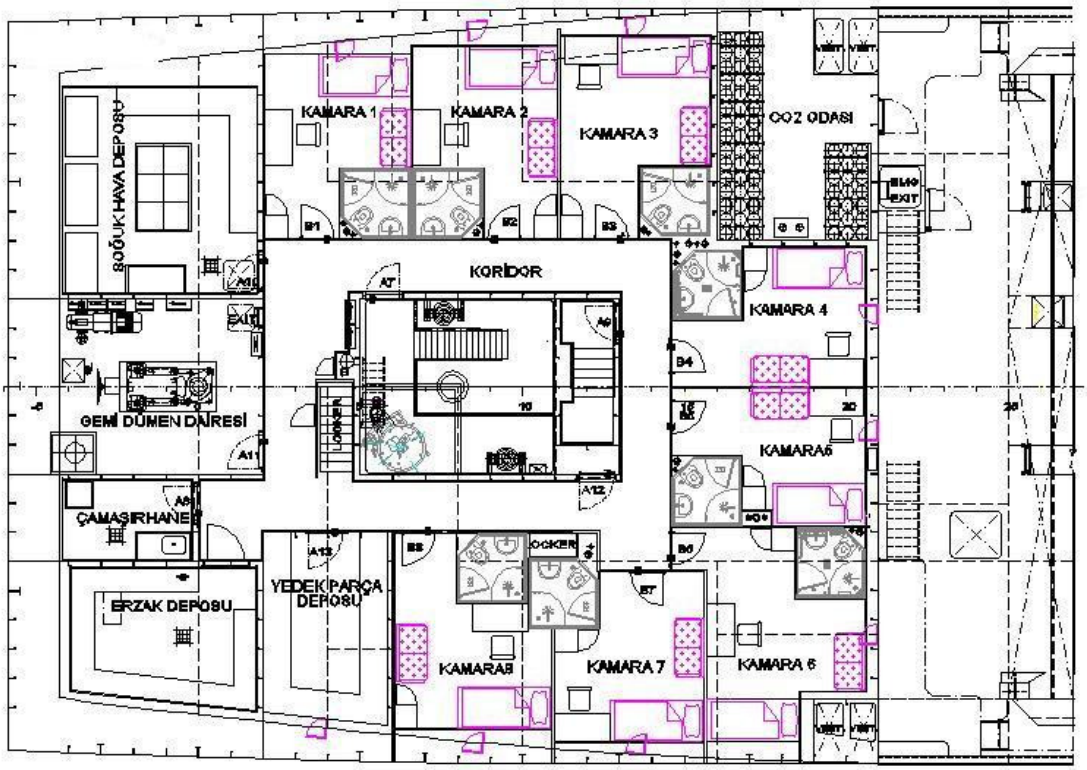
Şekil E.2 : 4. güverte planı.



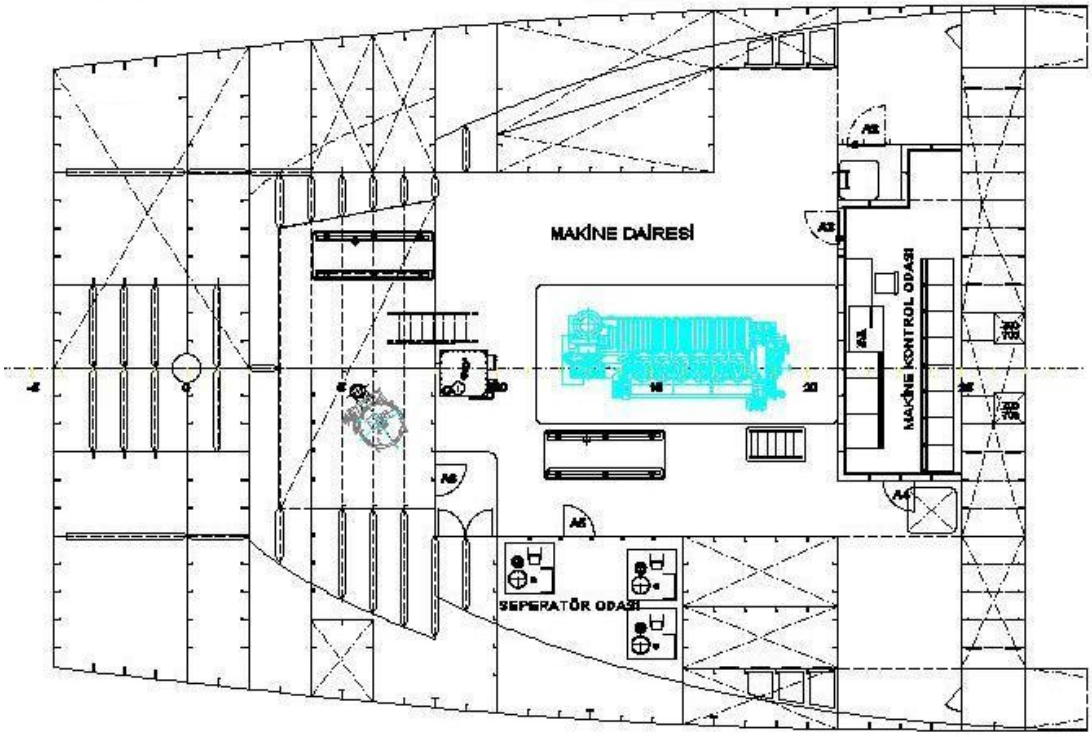
Şekil E.3 : 3.güverte planı.



Şekil E.4 : 2. güverte planı.



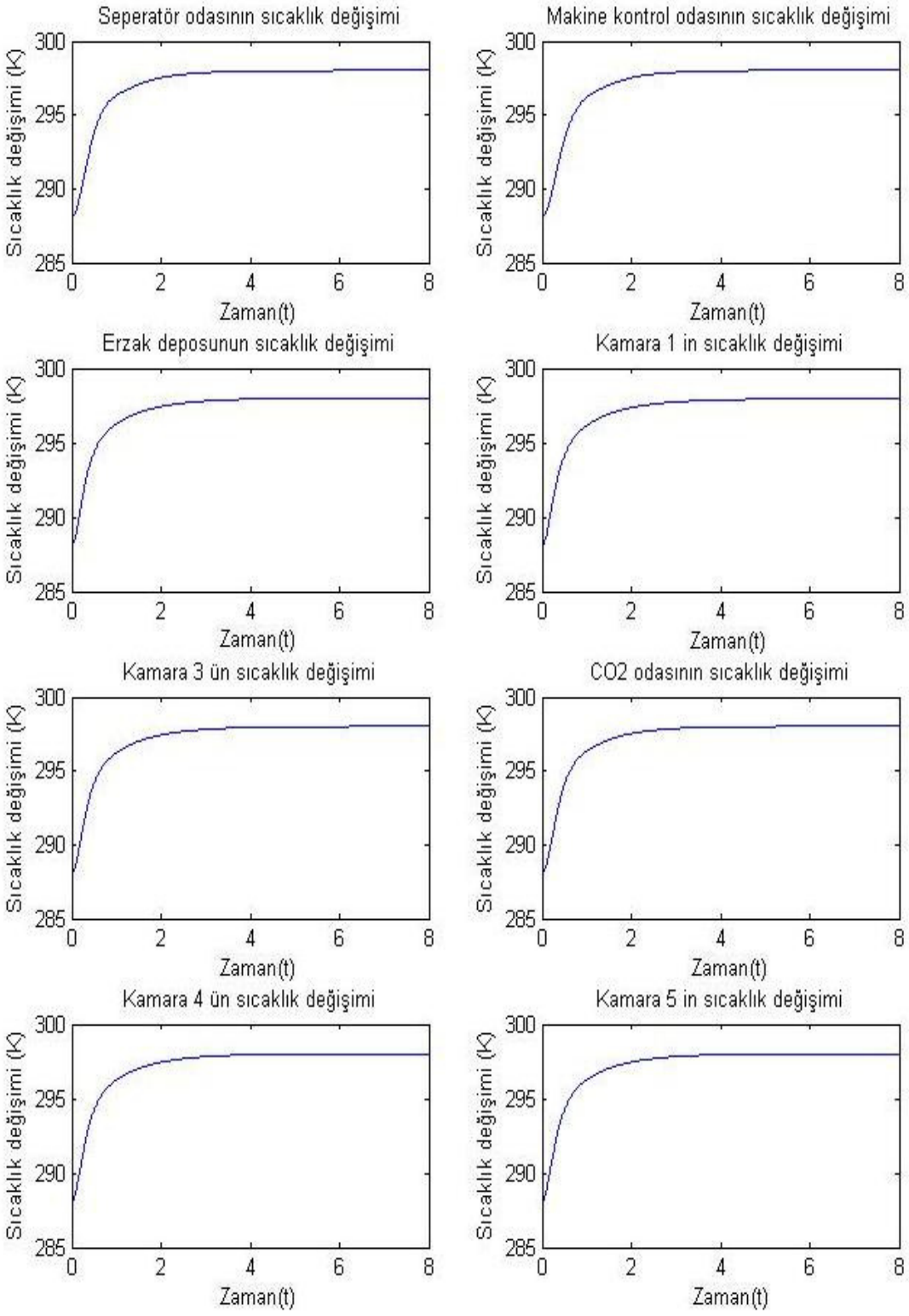
Şekil E.5 : 1.güverte planı.



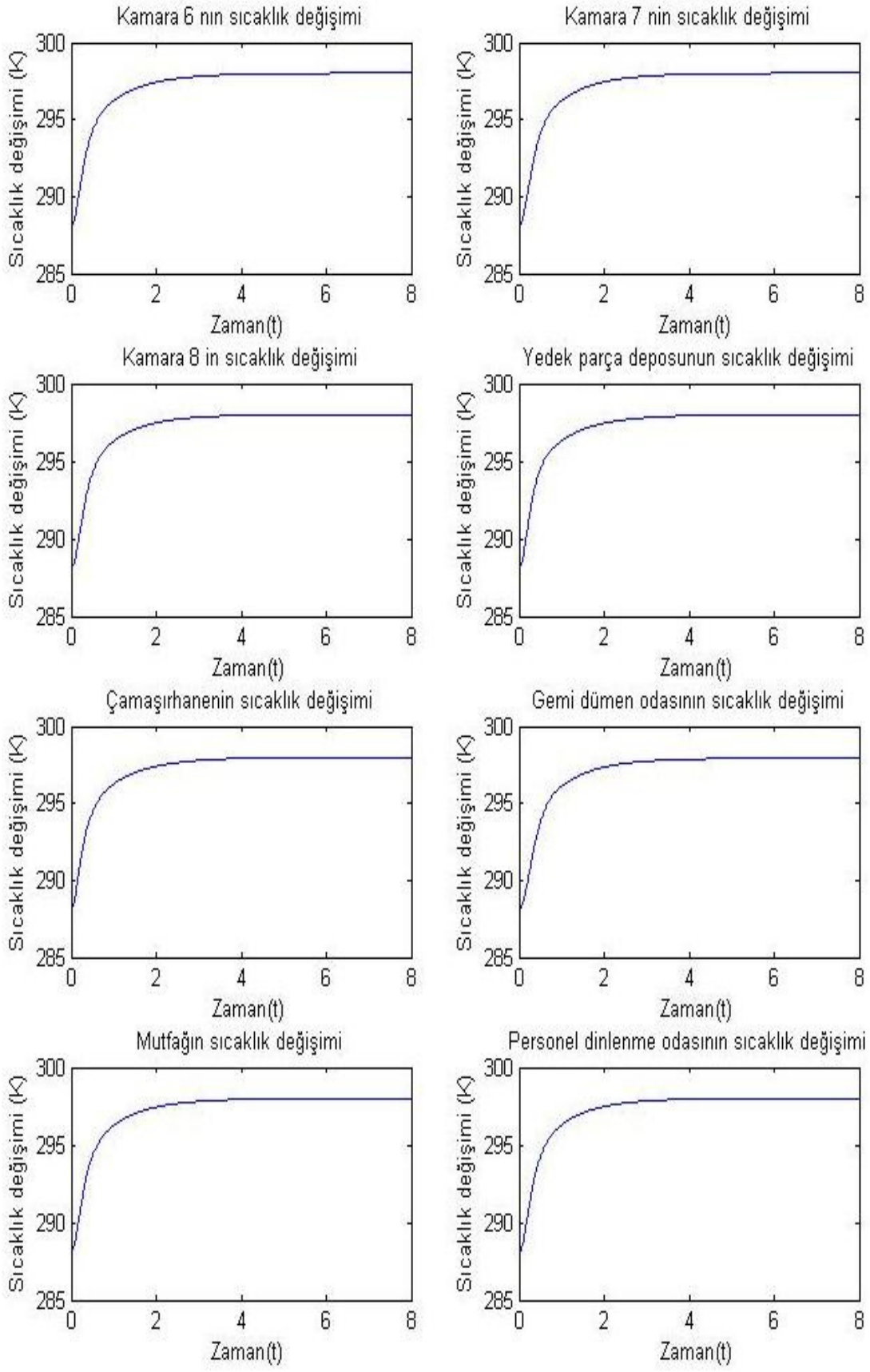
Şekil E.6 : Makine dairesi planı.

EK F

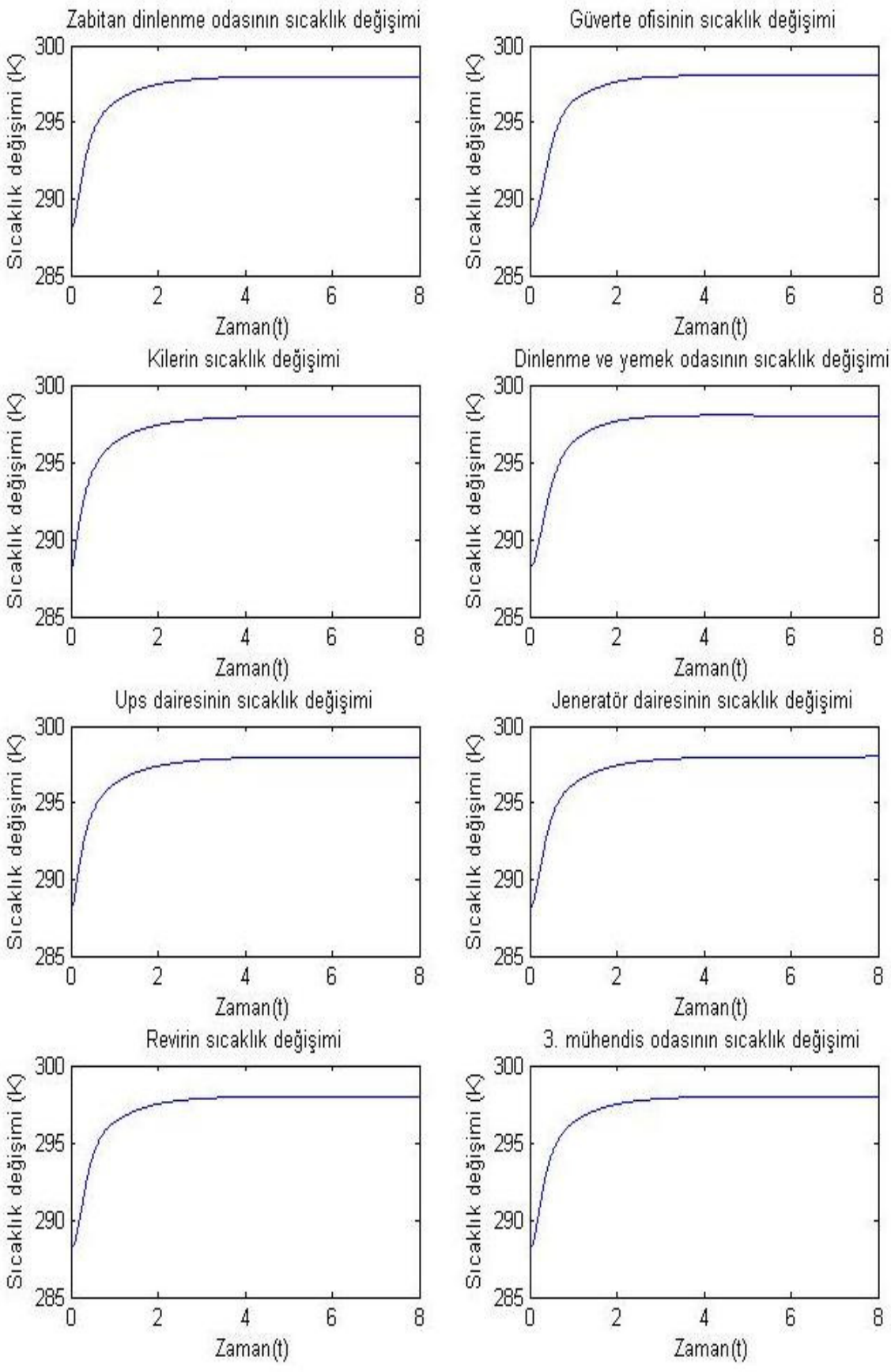
Mahallerin sıcaklıkları dış ortam sıcaklığı ile eşit ve 288 K iken, referans sıcaklığının 298 K verilmesiyle mahaller için elde edilen sıcaklık zaman grafikleri aşağıda verilmiştir.



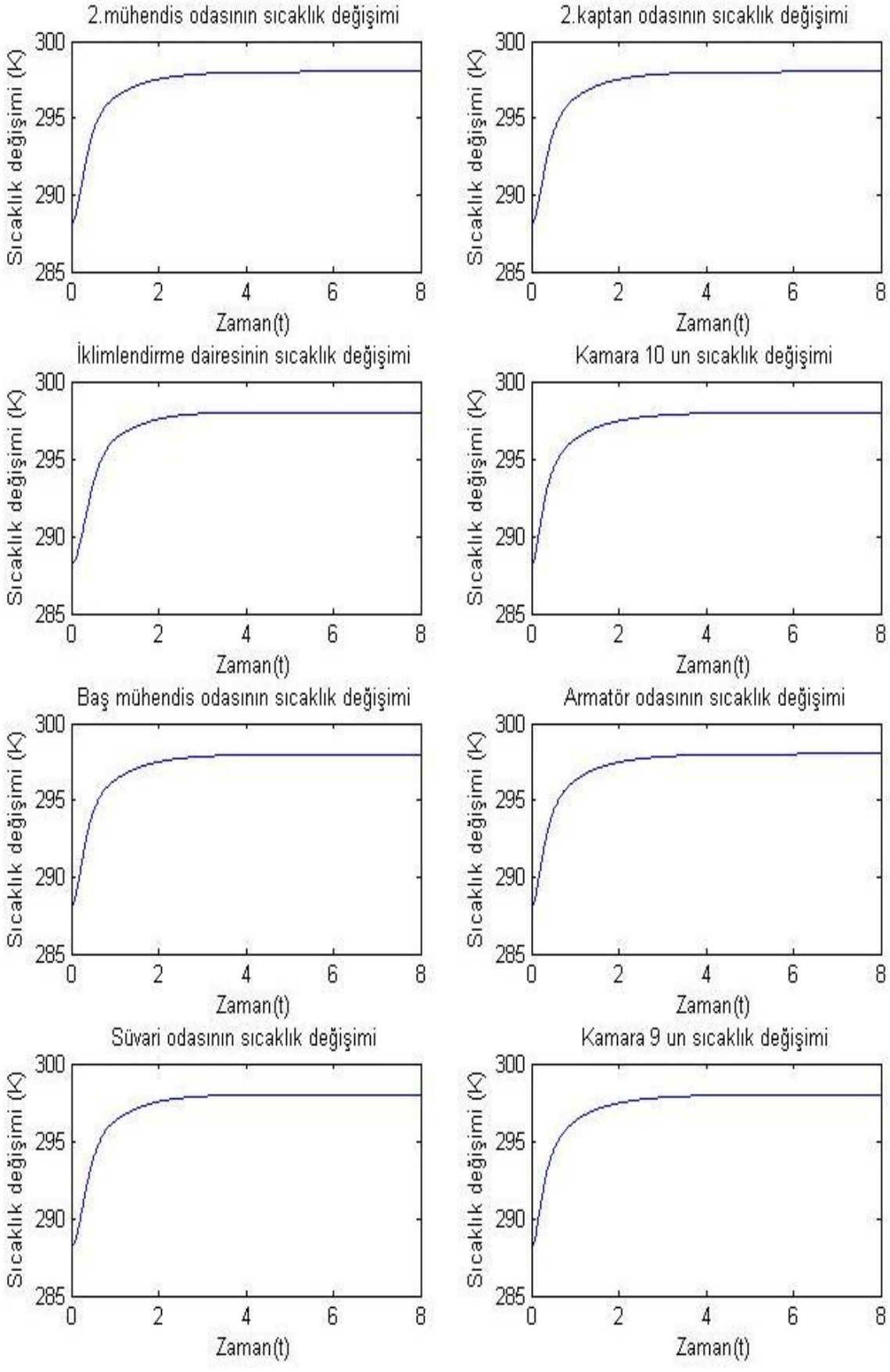
Şekil F.1 : Mahallerin zamana bağlı sıcaklık değişimi.



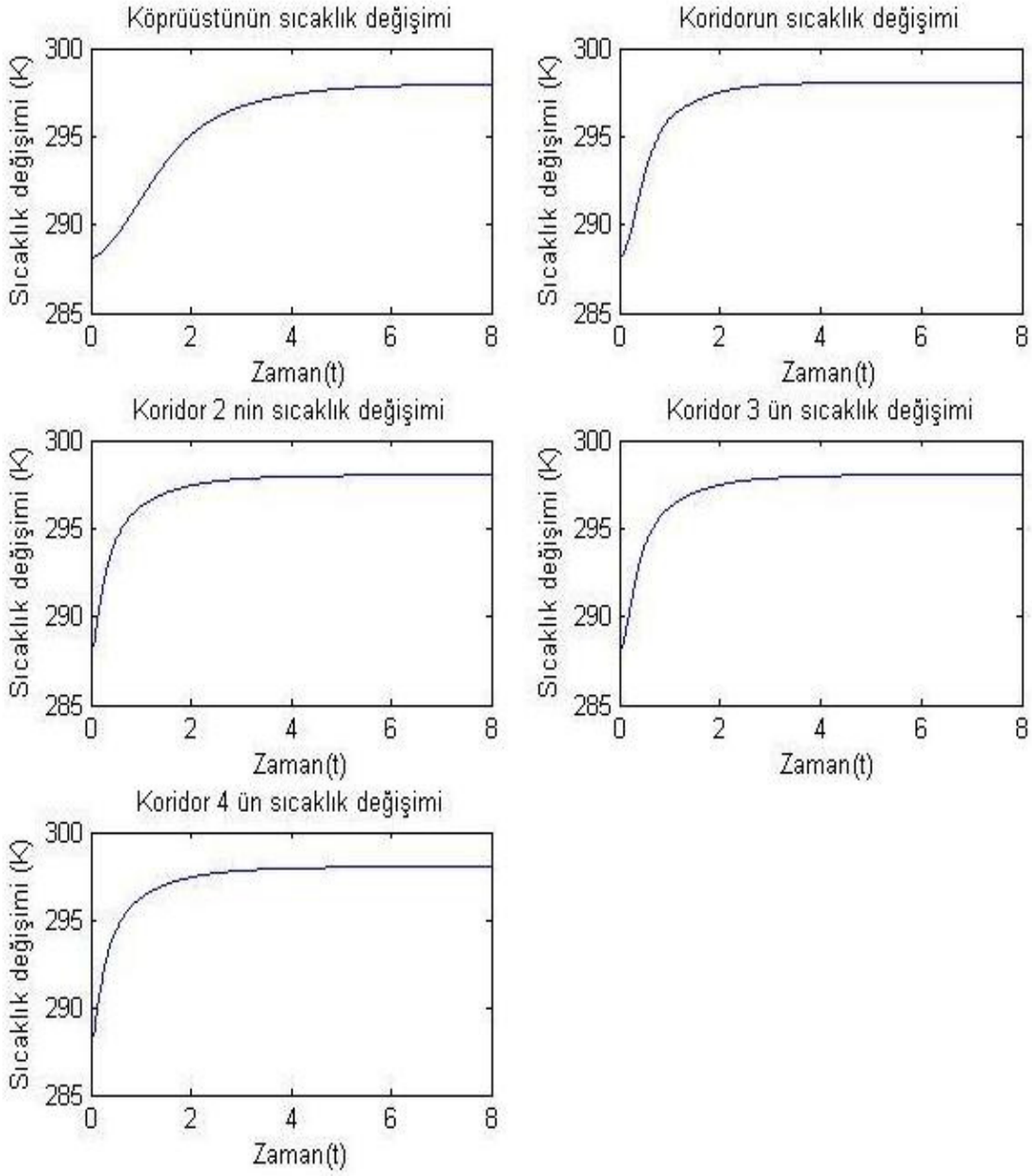
Şekil F.1 (devam) : Mahallerin zamana bağlı sıcaklık değişimi.



Şekil F.1 (devam) : Mahallerin zamana bağlı sıcaklık değişimi.



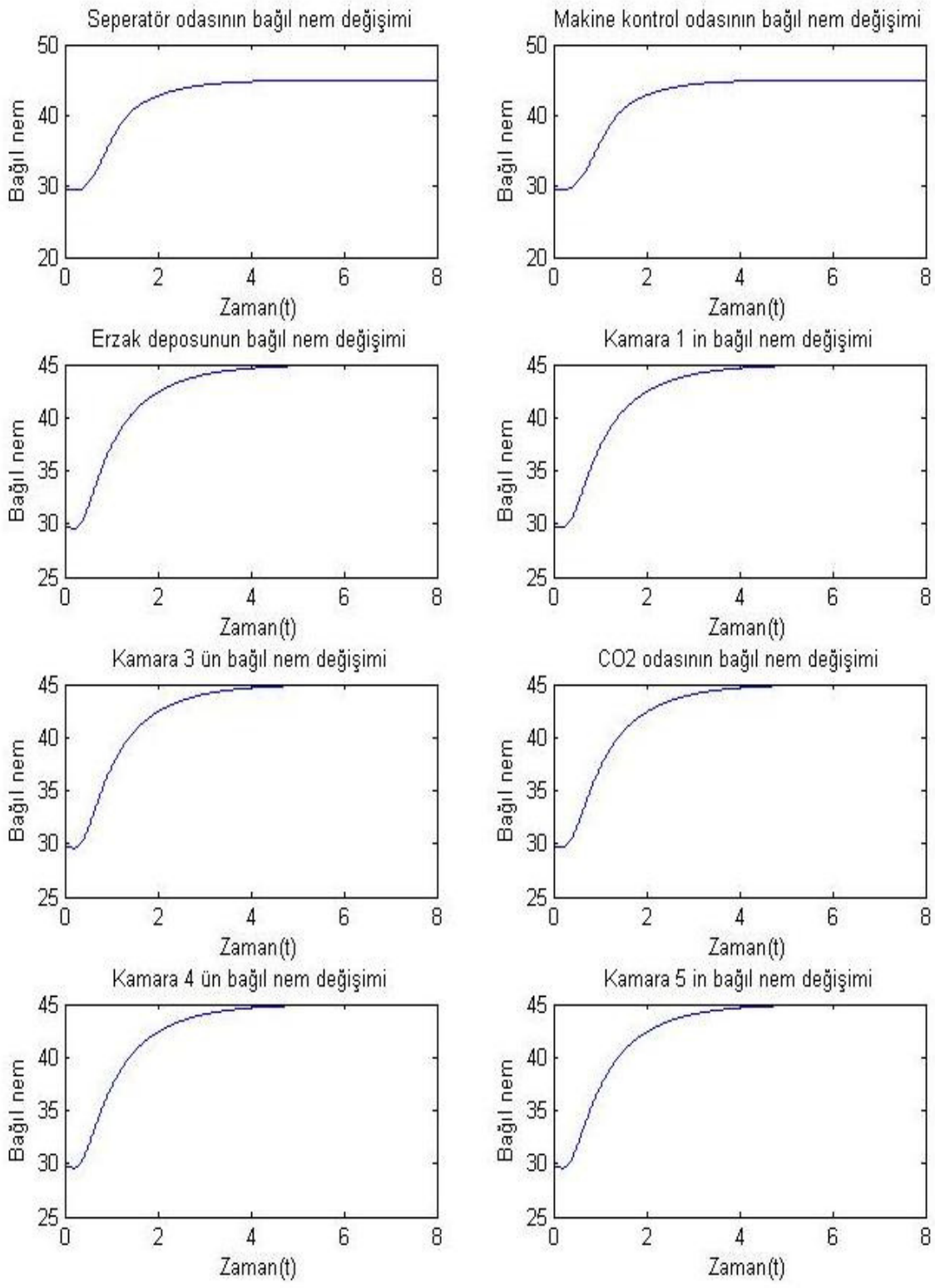
Şekil F.1 (devam) : Mahallerin zamana bağlı sıcaklık değişimi.



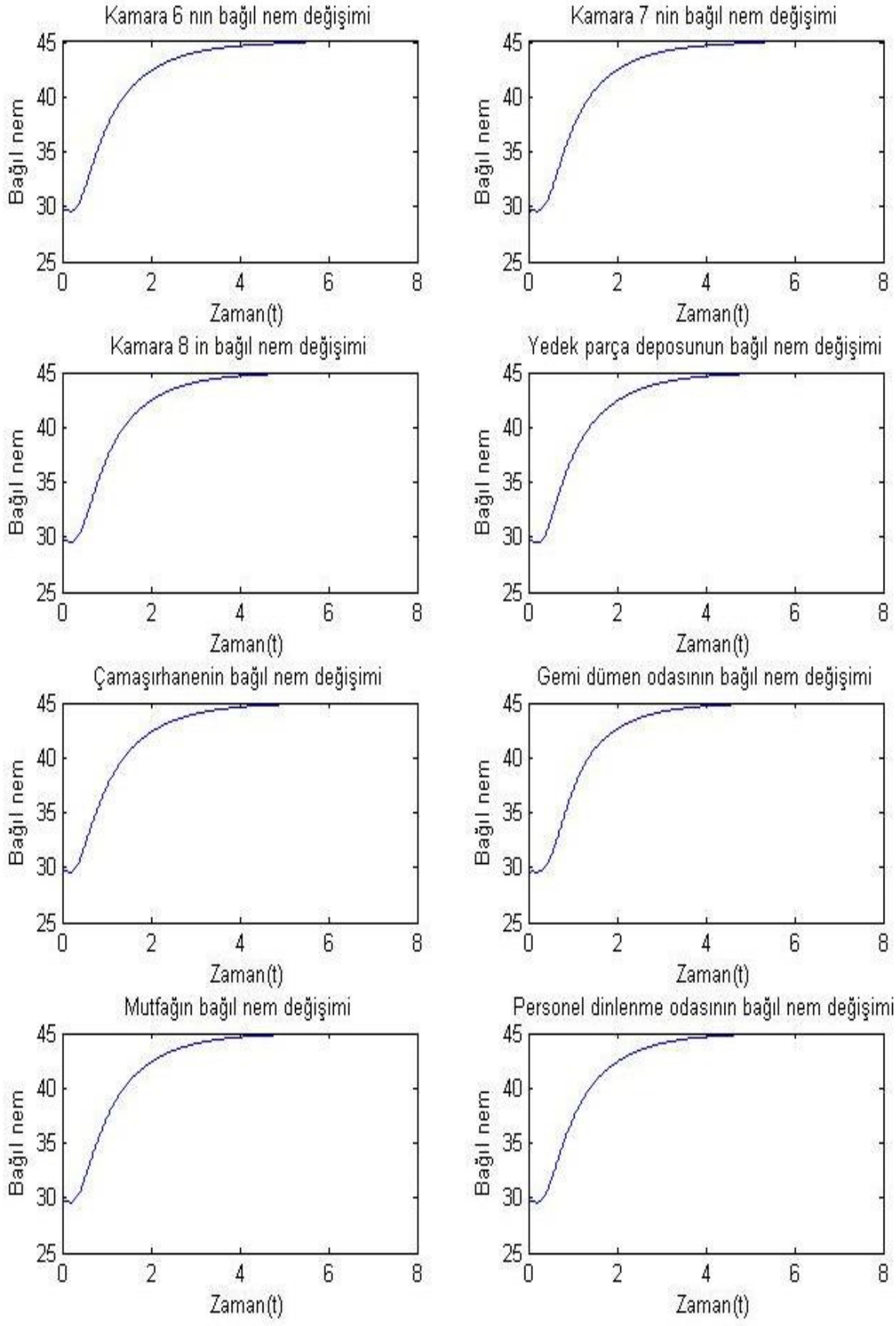
Şekil F.1 (devam) : Mahallerin zamana bağlı sıcaklık değişimi.

EK G

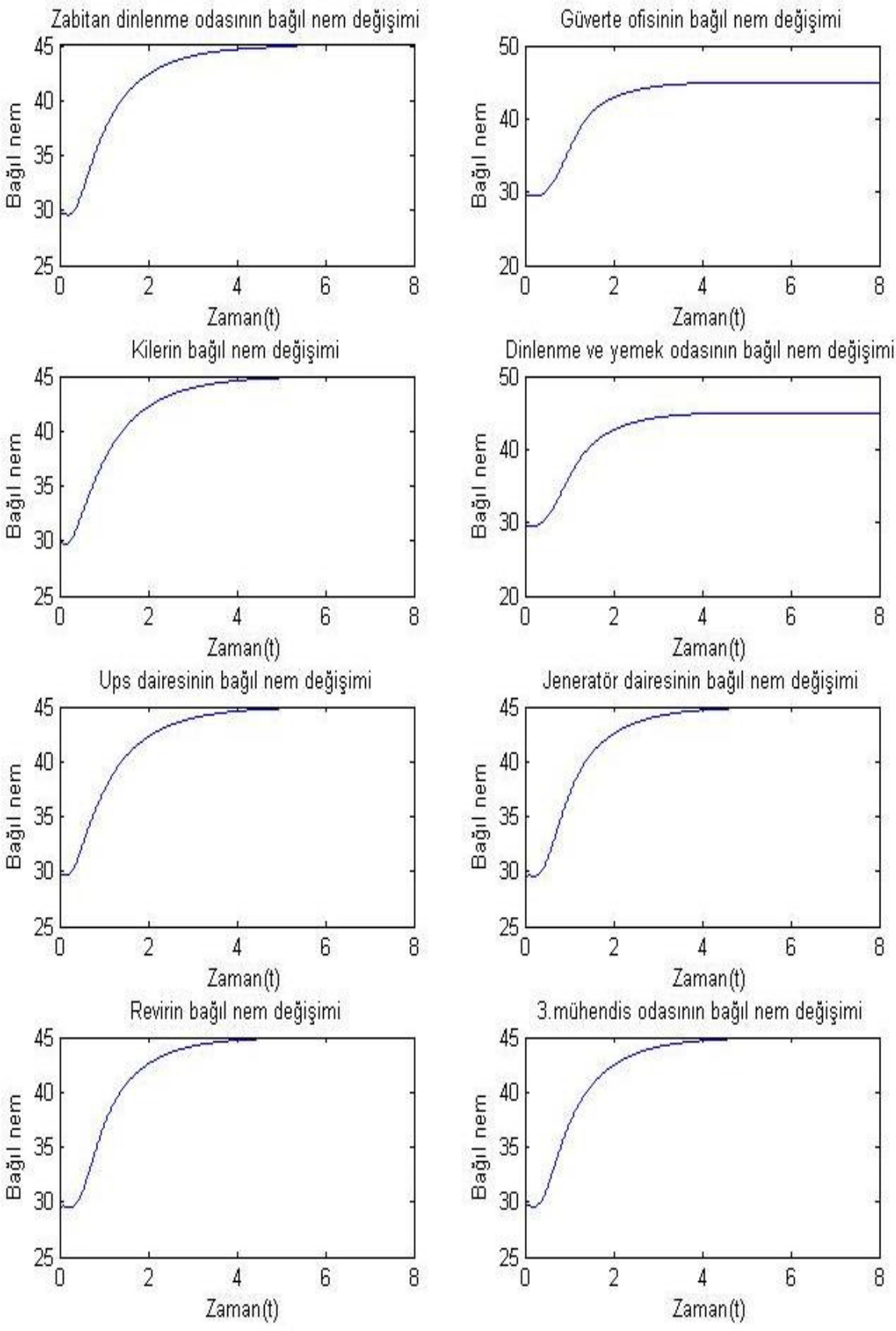
Mahallerin bağıl nemleri dış ortam nemi ile eşit ve %28 iken, referans bağıl neminin %45 verilmesiyle mahaller için elde edilen bağıl nem zaman grafikleri aşağıda verilmiştir.



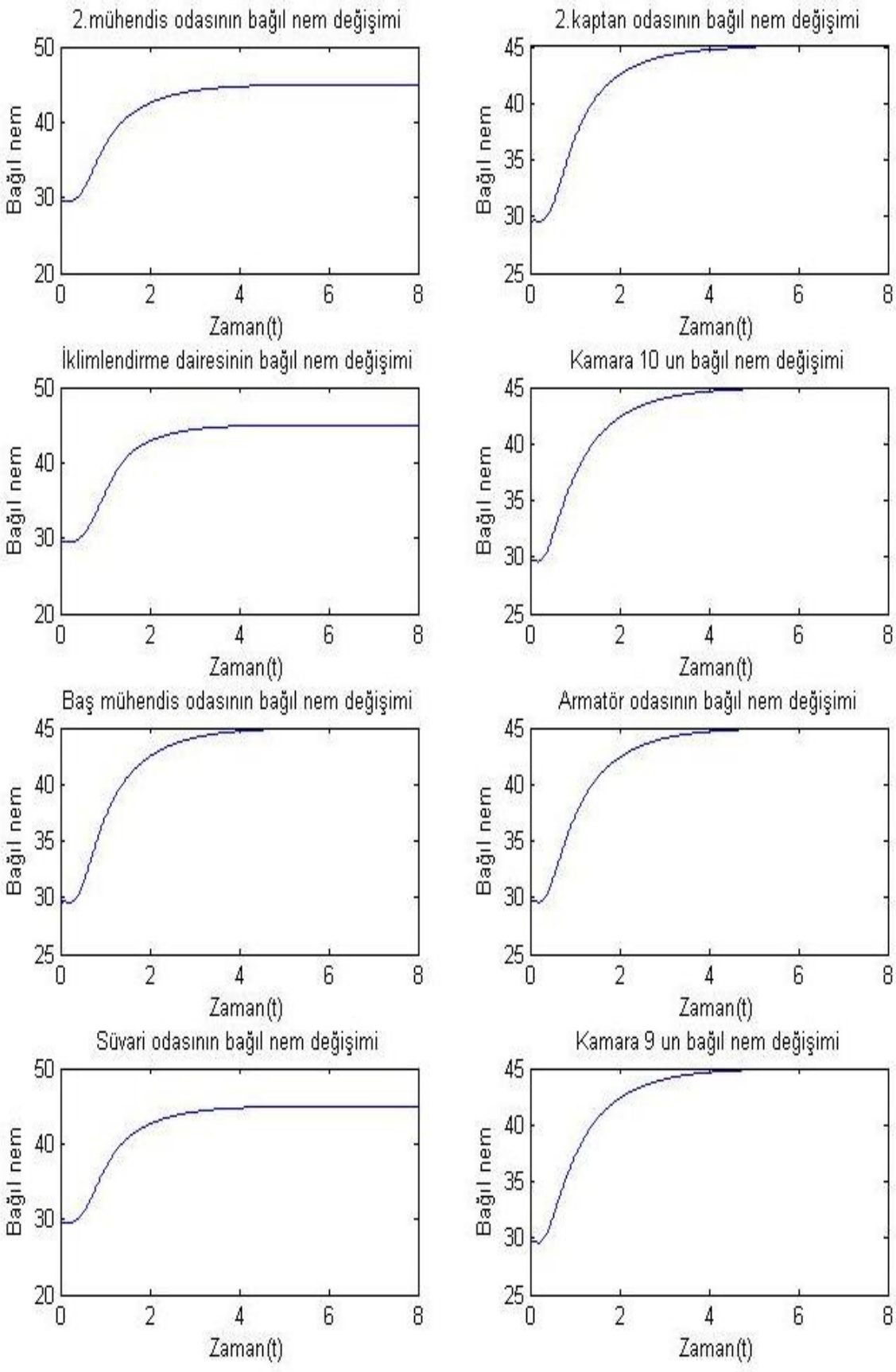
Şekil G.1 : Mahallerin zamana bağlı bağıl nem değişimi.



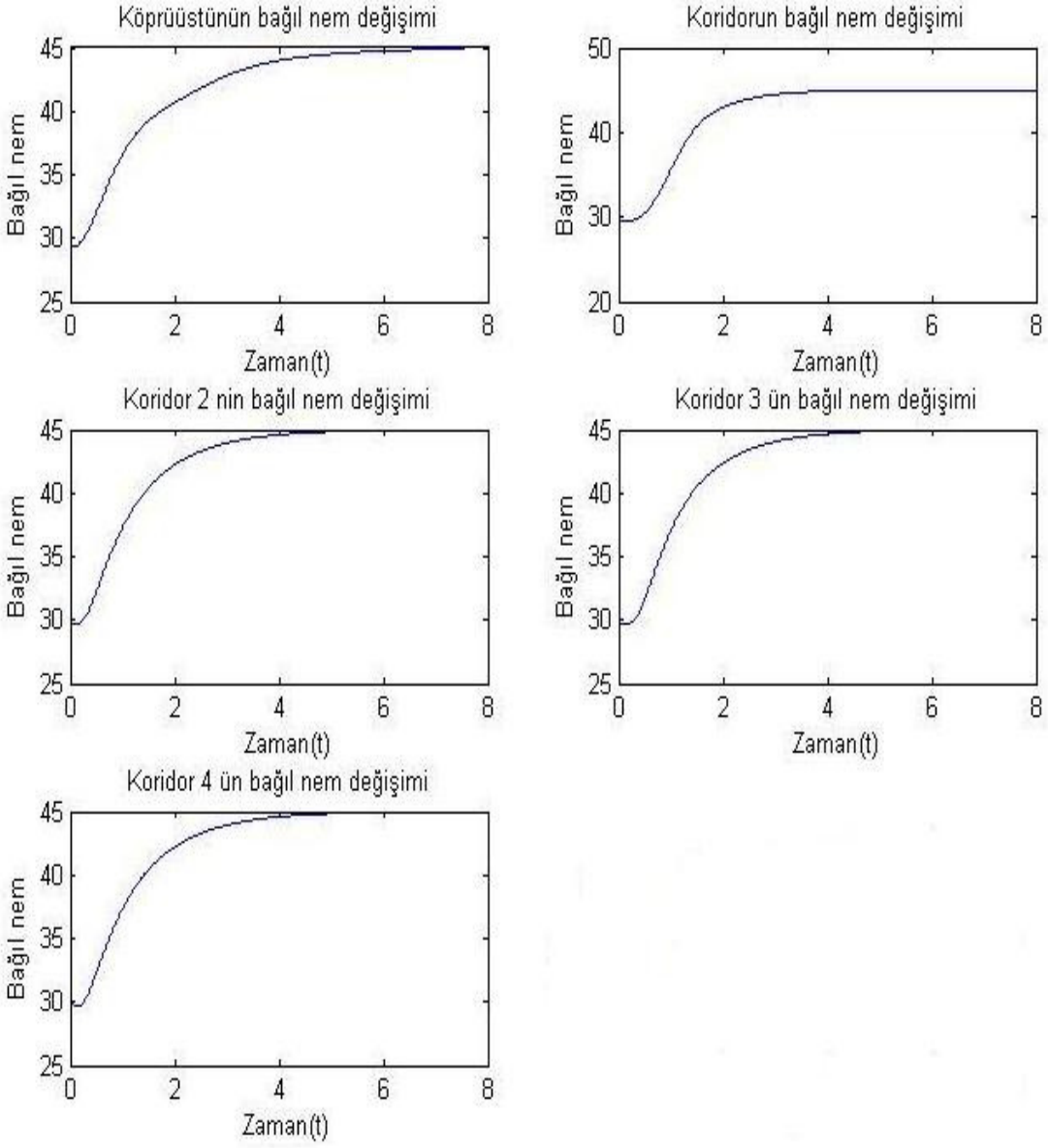
Şekil G.1 (devam) : Mahallerin zamana bağlı bağıl nem değişimi.



Şekil G.1 (devam) : Mahallerin zamana bağlı bağıl nem değişimi.



Şekil G.1 (devam) : Mahallerin zamana bağlı bağıl nem değişimi.



Şekil G.1 (devam) : Mahallerin zamana bağlı bağıl nem değişimi.



ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Tarık KOÇAL

Doğum Yeri ve Tarih: Çayeli - 23.11.1986

E-Posta: tarikkocal@hotmail.com

Lisans: Yıldız Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

02.2010 – Halen YTÜ Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi