

T.C.

GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

77734

YAĞLI TİP ELEKTRİK DAĞITIM
TRANSFORMATÖRLERİNİN KURUTULMASI
İÇİN GEÇİŞLİ FIRIN MODELLEMESİ VE
ANALİZİ

27734

MURAT GÜNCAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENERJİ SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI

Yrd. Doç.Dr. Ercüment ÖZER

GEBZE

1998



Bu tez çalışması, G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 14/07/98 tarih ve 98/19. sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından ENERJİ SİSTEMLERİ Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS Tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE : Yrd. Doç. Dr.ERCÜMENT ÖZER 
(Tez Danışmanı)

ÜYE : Prof. Dr. BAKIR AKTAŞ 

ÜYE : Doç. Dr. ORHAN ŞAHİN 

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 31/03/1998.....tarih ve 98/21. sayılı kararı.



ÖZET

Bu çalışmada, yağlı tip elektrik dağıtım transformatörlerinin üretim sürecinin bir parçası olan geçişli fırınlarda kurutulma işlemindeki düşük verim problemi incelendi. Uzun kurutma sürelerinin fırın yapısı veya ısıtma işleminden kaynaklanıp kaynaklanmadığı, fırın ısıtma işlemi modellemesi yoluyla elde edilen matematiksel denklem setinin simülasyonları yapılarak araştırıldı.

Geçişli fırın modelleri, iki adet farklı fırından alınan deneysel verilerin, önerilen ısı transferi modeline MathCAD 5+ kullanılarak uyarlanması ile yapıldı. Fırınlarda ısı transfer modelinin eldesi ve model doğruluğunun kanıtlanmasında, toplam 27 bağımsız deney seti kullanıldı. Deneysel veriler ile model değerleri arasında yapılan istatistiksel analizde, korelasyonların 0.9270 ile 0.9983 değerleri arasında değiştiği görüldü.

Yapılan simülasyonların analizi neticesinde, kurutma zamanındaki artış nedenlerinin ısıtma işleminden kaynaklandığı sonucuna ulaşılmıştır. Sorunun, buhar sıcaklığındaki denetimsiz değişimlerden ve transformatörlerin yüklenme geometrisine bağlı olarak fırın içerisinde oluşan ölü bölgelerden kaynaklandığı tespit edildi. Sorunların giderilmesi için, fırının etkin denetimini sağlamak üzere bir otomatik kontrol mekanizması önerildi.



SUMMARY

In this work, the low efficiency problem in drying process of Oiled Type Distribution Transformers in Steam Heated Furnaces, an integral part of the transformer production, has been investigated. Through the simulation of a set of equations describing the system that was derived by the mathematical modelling of the furnaces, a search was conducted to see if the extended drying times were depended on the design of the oven or the drying operation.

The model of the furnace has been constructed by fitting the experimental data from two different furnaces to proposed heat transfer model by means of MathCAD 5+ program. The statistic, which is analysed between experimental data and model values, shows that correlation number is changing from 0.9270 to 0.9983.

Through the analysis of the simulations, it was concluded that the extended drying was due to the drying operation itself. The core of the problem was found as being due to disturbances in the steam inlet flow rate and the orientation of the transformers charged into the oven that may create dead spots within the oven. To overcome the problem, an automatic control scheme was proposed for a better control of the oven.

TEŞEKKÜR



Yüksek Lisans eğitimimin başlangıç safhalarında beni tez çalışmasına iten ve her türlü desteğini esirgemeyen değerli hocam Enerji Sistemleri Bölüm Başkanı Prof. Dr. Mehmet Alaıttın HASTAOĞLU' na minnettarlığımı bildirmek isterim. Çalışmamın son dönemlerinde tezi derlememdeki katkıları oldukça büyük olan, Enerji Sistemleri Bölüm Başkan Vekili Yrd. Doç. Dr. Ercüment ÖZER Bey' e de teşekkürlerimi bir borç bilirim. Tezde kullanılacak teçhizatın temininde büyük yardımı bulunan GYTE Mühendislik Fakültesi Dekan Yardımcısı Yrd. Doç. Dr. Salim ÖNCEL Bey' e de katkılarından dolayı teşekkür ederim. Bilgisayarlar ile ilgili sorunları gideren GYTE BİM (Bilgi İşlem Merkezi) çalışanlarına da teşekkür ederim.

Tez çalışmasının deneysel olarak incelenmesi ve modelin uyarlanması için tam yetki vererek gerekli desteği sağlayan GEC ALSTHOM (eski adıyla AEG-ETİ) VT1 Fabrikası Müdürü Cahit TEKOĞLU' na, fabrika içerisindeki yardımlarından dolayı VT1 Üretim Müdürü Ahmet AYDEMİR' e, gerekli verileri temin eden VT1 Ar-Ge Müdürü İlhan Gökçen' e, geçişli fırınlardaki çalışmalarda yardımcı olan fırın operatörlerine teşekkürlerimi bildirmek isterim.

Fırınlarda termal kamera ile incelenmesinde yardımcı olan TÜBİTAK-MAM Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü' nde Uzman Araştırmacı Dr. Fehmi AKGÜN hocama ve birime teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	SAYFA
ÖZET	IV
SUMMARY	V
TEŞEKKÜR	VI
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	VII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XIII
ÇİZELGELER DİZİNİ	XIX
1. GİRİŞ	1
1.1. Geçişli Fırınlara Fiziksel Yapıları	2
1.2. Yağlı Tip Elektrik Dağıtım Transformatörlerinin Fiziksel Yapıları	4
2. KURUTMA TEORİSİ	
2.1. Kurutma İşlemi	7
2.1.1. Kurutma Şeması	7
2.1.2. Kurutma Hızını Etkileyen Faktörler	10
3. MATERYAL VE YÖNTEM	11
3.1. Transformatörlerin Kurutuldukları Geçişli Fırınlara Fiziksel Yapısı	12
3.2. Geçişli Fırınlardaki Enerji Dengesi Modeli	15
3.2.1. Sıcak Su Borularından Fırına Verilen Isı	15
3.2.1.1. Fırın Havasının Sıcaklığa Bağlı Özellikleri	15
3.2.1.2. Fırın Akışkanına Transfer Edilen Isı	17
3.2.2. Fırına Verilen Isıyı Soğuran Elemanlar	
3.2.2.1. Fırın Duvarları	24
3.2.2.2. Sirkülasyonu sağlayan levhalar	25
3.2.2.3. Paletler	26
3.2.2.4. Transformatörler	27
3.2.2.5. Fırın Havası	28
3.2.3. Fırının Isı Kapasitesinin ve Sıcaklığının Bulunması	28
3.3. Matematiksel Model	29
3.3.1. Örnek Fırın Verileri	30
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	
4.1. Fırınlardaki Enerji Dengesinin Termal Kamera İle Görüntülenmesi ve Analizi	31

4.2. Geçişli Fırınlara Deneysel Kontrolleri ve Değerlendirilmeleri	41
2 Numaralı Fırın	
FIRIN-2.1 İşlemi	41
FIRIN-2.2 İşlemi	43
FIRIN-2.3 İşlemi	44
FIRIN-2.4 İşlemi	45
FIRIN-2.5 İşlemi	46
FIRIN-2.6 İşlemi	47
FIRIN-2.7 İşlemi	48
FIRIN-2.8 İşlemi	49
FIRIN-2.9 İşlemi	50
FIRIN-2.10 İşlemi	51
FIRIN-2.11 İşlemi	52
1 Numaralı Fırın	
FIRIN-1.1 İşlemi	53
FIRIN-1.2 İşlemi	54
FIRIN-1.3 İşlemi	55
FIRIN-1.4 İşlemi	56
FIRIN-1.5 İşlemi	57
FIRIN-1.6 İşlemi	57
FIRIN-1.8 İşlemi	58
FIRIN-1.9 İşlemi	59
FIRIN-1.10 İşlemi	60
FIRIN-1.11 İşlemi	61
FIRIN-1.12 İşlemi	62
FIRIN-1.14 İşlemi	62
FIRIN-1.15 İşlemi	63
FIRIN-1.16 İşlemi	64
FIRIN-1.17 İşlemi	65
FIRIN-1.18 İşlemi	66
4.3. Matematiksel Model Sonuçları İle Deneysel Verilerin İstatistiksel Olarak Karşılaştırılması	68
FIRIN-1.1 İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz	68

FIRIN-1.2 İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz	71
FIRIN-1.3 İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz	73
FIRIN-1.4 İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz	76
FIRIN-1.5 İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz	78
FIRIN-1.8 İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz	80
FIRIN-1.9 İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz	82
FIRIN-1.10 İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz	84
FIRIN-1.11 İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz	86
FIRIN-1.12 İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz	88
FIRIN-1.14 İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz	90
FIRIN-1.15 İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz	92
FIRIN-1.16 İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz	95
FIRIN-1.17 İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz	97
FIRIN-1.18 İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz	99
FIRIN-2.1 İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz	101
FIRIN-2.2 İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz	103
FIRIN-2.3 İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz	104
FIRIN-2.4 İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz	106
FIRIN-2.5 İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz	108
FIRIN-2.6 İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz	111
FIRIN-2.7 İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz	113
FIRIN-2.8 İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz	115
FIRIN-2.9 İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz	117
FIRIN-2.10 İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz	119
FIRIN-2.11 İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz	121
4.3.1. Deney ve Model Arasındaki Korelasyon Katsayıları	123
4.3.2. Model Değerlerinin Deneysel Verilere Göre Dağılımları	124
4.4. SONUÇLAR	126
KAYNAKLAR	132
EK-A	
EK-B	
EK-C	

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	Kurutulacak olan yüzey alanı (m^2)
A_i	Boruların iç yüzey alanı (m^2)
A_o	Boruların dış yüzey alanı (m^2)
A_0	Fırın duvarları için toplam ısı transfer alanı (m^2)
A_{palet}	Paletlerin yüzey alanları (m^2)
A_{taban}	Fırın tabanındaki boruların dış yüzey alanları (m^2)
A_{tavan}	Fırın tavanındaki boruların dış yüzey alanları (m^2)
A_{trafo}	Fırındaki trafoların toplam dış yüzey alanları (m^2)
C_p	Isıtma elemanı için bulunan özgül ısı (J/kg.K)
$C_p(T)$	Isıtma elemanı T sıcaklığına bağlı özgül ısısı. (J/kg.K)
C_{pb}	Bakırın özgül ısısı (J/kg.K)
$C_{pç}$	Çekirdek malzemesinin özgül ısısı (J/kg.K)
$C_{pf}(T)$	Havanın T sıcaklığında ve sabit basınç altındaki özgül ısısı. (J/kg.K)
C_{pizo}	İzolasyon malzemesinin özgül ısısı (J/kg.K)
C_{ppalet}	Palet malzemesinin özgül ısısı (J/kg.K)
$CS(T)$	Fırındaki havanın sıcaklığa bağlı özgül ısısı (J/kg.K)
D	Boruların dış çapları
$DD(T)$	T sıcaklığına bağlı olarak havanın doyma derecesi
D_i	Borunun iç çapı
DN	Deneyisel sıcaklığın normalize edilmiş hali
DS	Deneyisel sıcaklık değeri (K)
DS_{max}	Deneyisel sıcaklıkların maksimum değeri (K)
DS_{min}	Deneyisel sıcaklıkların minimum değeri (K)
$h_1(T)$	Levhaların fırının iç kısmına bakan kısmı için ısı transfer katsayısı ($W/m^2.K$)
$h_2(T)$	Levhaların borulara bakan kısmı için ısı transfer katsayısı ($W/m^2.K$)
h_c	Taşıyım ısı transfer katsayısı ($W/m^2.K$)
$h_D(T)$	Fırın dışındaki ısı transfer katsayısı ($W/m^2.K$)
$h_h(T)$	T sıcaklığına bağlı olarak yalnızca ısı transferi için geçerli ısı transfer katsayısı ($W/m^2.K$)
h_i	Borular içindeki film yüzeyi ısı transfer katsayısı ($W/m^2.K$)
$h_m(T)$	Isı transferinin yanında kütle transferinde olduğu durumlar için kullanılan ısı transfer katsayısı ($W/m^2.K$)
$h_o(T)$	T sıcaklığına bağlı olarak, boru demetinin dışındaki bölgedeki ısı transfer katsayısı ($W/m^2.K$)
h_r	Radyasyon ısı transfer katsayısı ($W/m^2.K$)
$h_{trafo}(T)$	Trafolar için ısı transfer katsayısı ($W/m^2.K$)
k	Isıtma buharı için bulunan iletkenlik katsayısı (W/m.K)
k_{12}	Saç malzemenin ısı transfer katsayısı (W/m.K)
k_{23}	İzolasyon malzemesinin ısı transfer katsayısı (W/m.K)
k_{34}	Dış cephe malzemesinin ısı transfer katsayısı (W/m.K)

k_{boru}	Boruların ısı iletim katsayısı ($\text{W/m}^2.\text{K}$)
$k_f(T)$	T sıcaklığına bağlı olarak, boru demetinin dışındaki bölgedeki ısı transfer katsayısı (W/mK)
k_L	Isıtma elemanı için sıvı ısıl iletkenlik katsayısı (W/m.K)
k_v	Isıtma elemanı için buhar iletkenlik katsayısı (W/m.K)
L	Boruların toplam uzunluğu (m)
L	Sıvı
M	Isıtma elemanı hızı (m/s)
M_b	Su buharının moleküler kütlesi (kg/mol)
MC	Sistem için kütle ve özgül ısı çarpım değerleri
M_h	Havanın moleküler kütlesi (kg/mol)
M_{trafo}	Fırında bulunan trafoların toplam ağırlıkları (kg)
Nu	Nusselt sayısı
Nu_{kare}	Karesel diziliş için hesaplanan Nusselt sayısı
Nu_o	Bir tali boru için Nusselt sayısı
$Nu_{\text{üçgen}}$	Üçgensel diziliş için hesaplanan Nusselt sayısı
$P(T)$	Ortamın T sıcaklığındaki basıncı (atm)
$P_{bo}(T)$	Su buharının T sıcaklığındaki kısmi basıncı (atm)
$P_d(T)$	Su buharının T sıcaklığına bağlı olarak doyma basıncı
Pr	Prandtl sayısı
$Q_{\text{altboru}}(T)$	Fırın havası sıcaklığına bağlı olarak fırının alt kısımlarından fırına aktarılan ısı (W)
Q_{hava}	Havanın çekebileceği ısı (W)
$Q_{\text{kapaklar}}(T)$	Kapaklardan sızan ısı (W)
$Q_{\text{levha}}(T)$	Levhanın soğurduğu ısı (W)
Q_{palet}	Paletlerin soğurduğu ısı (W)
q_T	Toplam ısı transfer değeri (watt)
$Q_{\text{taban}}(T)$	Tabandan sızan ısı (W)
$Q_{\text{trafo}}(T,t)$	Trafoların soğurduğu ısı (W)
$Q_{\text{üstyanduvar}}(T)$	Duvarlardan sızan ısı (W)
$Q_{\text{yan}}(T)$	Fırın havası sıcaklığına bağlı olarak fırının yan duvarlarından fırına aktarılan ısı (W)
R	Kurutma hızı (kg/saat.m^2)
Re	Reynolds sayısı
R_{fi}	Boruların içindeki bölgeler için kirlenme faktörleri ($\text{m}^2.\text{K/W}$)
R_{fo}	Boruların dışındaki bölgeler için kirlenme faktörleri ($\text{m}^2.\text{K/W}$)
T	Fırın havasının sıcaklığı (K)
t	Kurutma zamanı (saat)
$T_{\text{ç}}$	Isıtma suyunun fırından çıkış sıcaklığı (K)
$T_{\text{dış}}$	Fırın dışındaki ortamın sıcaklığı (K)
T_g	Isıtma suyunun fırına giriş sıcaklığı (K)
T_i	Sıvı ile gaz ara yüzeyinin sıcaklığı (K)
TN	Hesaplanan sıcaklığın normalize edilmiş hali (K)
T_o	Fırın havasının ilk sıcaklığı (K)
T_{palet}	Paletlerin sıcaklığı (K)
$T_{\text{trafo}}(T,t)$	Hava sıcaklığına ve zamana göre değişen trafo sıcaklığı (K)
T_{trafo_o}	Trafoların işleme başlangıç sıcaklığı (K)
T_s	Isıtma suyunun sıcaklığı (K)
TS	Model ile hesaplanan sıcaklık değeri (K)

TS_{max}	Model ile hesaplanan sıcaklıkların maksimum değeri (K)
TS_{min}	Model ile hesaplanan sıcaklıkların minimum değeri (K)
T_v	Kurutma yapılan gaz sıcaklığı (K)
T_w	Kurutulan yüzeyin sıcaklığı (K)
U_k	Kurutulan yüzeyin buharlaşma yüzeyi ile içerisindeki iletim ve taşınım için en genel ısı transfer katsayısı (W/m^2K)
$U_{levha}(T)$	Levha için en genel ısı transfer katsayısı ($W/m^2.K$)
$U_o(T)$	Fırın duvarları için en genel ısı transfer ifadesi ($W/m^2.K$)
$U_{palet}(T)$	Paletler için en genel ısı transfer katsayısı ($W/m^2.K$)
$U_{taban}(T)$	T sıcaklığına bağlı olarak fırın tabanı için en genel ısı transfer ifadesi ($W/m^2.K$)
$U_{tavan}(T)$	T sıcaklığına bağlı olarak fırın tavanı için en genel ısı transfer ifadesi ($W/m^2.K$)
v	Buhar
V_B	Boru demetindeki boruların hacimleri (m^3)
$V_{nemli}(T)$	Fırındaki havanın birim kütlelerinin hacmi (m^3)
Vol	Fırındaki havanın hacmi (m^3)
V_{palet}	Paletlerin fırın içindeki hacimleri (m^3)
V_T	Boru demetinin toplam hacmi (m^3)
$w(T)$	Havadaki özgül nem oranının T sıcaklığındaki değeri
$W_d(T)$	T sıcaklığına bağlı olarak havanın doymuş nem oranı
W_s	Kurutulacak olan katının kuru ağırlığı (kg)
X	Katıdaki hacimsel nem oranı (kg su / kg kuru katı)
X_1	Katıdaki kurutma başlangıcındaki nem oranı (kg su / kg kuru katı)
X_2	Katıdaki t anındaki nem oranı (kg su / kg kuru katı)
ψ	Hacim boşluğu oranı
μ	Isıtma suyu için bulunan viskozite (kg/m sec.)
ρ	Isıtma suyu için bulunan yoğunluk (kg/m^3)
$\phi(T)$	T sıcaklığına bağlı olarak havanın bağıl nem oranı
μ_L	Isıtma suyu için sıvı viskozitesi (kg/m sec.)
ρ_L	Isıtma suyu için sıvı yoğunluğu (kg/m^3)
ρ_{palet}	Palet malzemesinin yoğunluğu (kg/m^3)
$\Delta T_{lm}(T)$	Fırın havası sıcaklığına bağlı olarak değişen logaritmik ortalama sıcaklık (K)
$\Delta T_m(T)$	Fırın havası sıcaklığına bağlı ortalama sıcaklık değeri (K)
μ_v	Isıtma elemanı için buhar viskozitesi (kg/m sec.)
ρ_v	Isıtma elemanı için buhar yoğunluğu (kg/m^3)
ΔX_{12}	Saç malzemenin kalınlığı (m)
ΔX_{23}	İzolasyon malzemesinin kalınlığı (m)
ΔX_{34}	Dış cephe malzemesinin kalınlığı (m)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil-	Sayfa
1.1: Bir çift taraflı (truck) kurutucu (Proctor and Schwartz Inc.)	3
1.2: Tipik tepsili bir kurutucu (Proctor and Schwartz Inc.)	3
1.3: Sirkülasyonlu olan bir süreksiz kurutucu (Proctor and Schwartz Inc.)	3
1.4: Yağlı Tip Elektrik Dağıtım Trafosunun Kesit Görüntüsü (AEG-ETİ Elektrik Endüstrisi A.Ş. ürün katalogu, 1997). İsteğe bağlı olarak takılan genişleme tanklı bu trafonun kazanı içerisinde bulunan aktif kısım parçaları görülmektedir. Kazan, içleri boş olan kanatçıklardan (fin) oluşturulmuştur ve aktif kısmı soğutacak olan yağ ile doludur.	6
2.1: Özgül nemin bir fonksiyonu olarak kurutma hızının değişimi (Perry and Chilton, "Chemical Engineers' Handbook", 1982.). <i>C</i> noktası kritik nemi belirtirken, <i>AB</i> kararsız durumu, <i>BC</i> sabit durumu, <i>CD</i> doğrusal durumu ve <i>DE</i> de azalan durumu göstermektedir.	9
2.2: Kurutma eğrisinin zamana göre değişimi (Perry and Chilton, "Chemical Engineers' Handbook", 1982.). <i>AB</i> bölgesinde ısınma süresi, <i>BC</i> bölgesinde oluşan sıvı film yüzeyi, <i>CD</i> ve <i>DE</i> bölgelerinde de iç bölgelerin buharlaşması görülmektedir.	9
3.1: Bir geçişli fırın kesiti. Genel şekilleri yukarıdaki gibi olan fırınlara farklı eklemeler de yapılabilir. İzolasyon malzemesi veya dış duvar bölgeleri fırın kapasitesine bağlıdır. Fırındaki boruların yerleştiriliş şekillerine dikkat edilmelidir.	14
3.2: Boruların yerleştiriliş şekilleri (Kakaç S., "Boilers, Evaporators, and Condensers", 1991). Üçgensel diziliş (b) şeklinde yerleştirilen boruların yüzeylerinden yararlanılan alan, karesel diziliş (a) şeklinde yerleştirilen borulara göre daha fazladır. Bu da ısı transferini etkilemektedir.	20
4.1: Bir geçişli fırının prosese göre arka kapağının açılmaya başlandığı ilk anlar görülmektedir. Sıcaklık dağılımı net olarak görülebilmektedir. EK-A'da orijinal görüntüsü bulunmaktadır.	32
4.2: Bir geçişli fırının prosese göre arka kapağının yarıya kadar açılmış hali görülmektedir. Fırının üst kısımlarındaki sıcaklık dağılımı net olarak görülebilmektedir. EK-A'da orijinal görüntüsü bulunmaktadır.	33
4.3: Bir geçişli fırının prosese göre arka kapağının yarıdan fazlasının açılmış hali. Sıcaklık dağılımı, levhaların aralıkları ve üst kısımlar net olarak görülebilmektedir. EK-A'da orijinal görüntüsü bulunmaktadır.	34
4.4: Bir geçişli fırının yan duvarlarındaki sıcaklık dağılımı görülmektedir. Kapak ve dış yüzeyler ile iç bölgeler sıcaklıklarının ayrımı net olarak yapılabilir. Levha üzerinde farklı bir dağılım görülmektedir. EK-A'da orijinal görüntüsü bulunmaktadır.	35
4.5: Bir geçişli fırının yan duvarlarındaki sıcaklık dağılımı görülmektedir. Levhalar üzerindeki sıcaklık dağılımına dikkat edilmelidir. EK-A'da orijinal görüntüsü bulunmaktadır.	36

- 4.6: Bir geçişli fırının tüm bölgelerindeki sıcaklık dağılımı görülmektedir. Taban ve yanlardaki dağılıma dikkat edilmelidir. Fırının sağ yanındaki düşük sıcaklıklı elemanlar kağıt bloklar ve algılayıcılardır. EK-A'da orijinal görüntüsü bulunmaktadır. 37
- 4.7: Bir geçişli fırının arka ve sağ yan bölgelerindeki sıcaklık dağılımı görülmektedir. Diğer kapaktaki dağılım incelenmelidir. EK-A'da orijinal görüntüsü bulunmaktadır. 38
- 4.8: Bir geçişli fırının yan bölgesindeki sıcaklık dağılımı görülmektedir. Diğer kapaktaki sıcaklık dağılımı ve yanlarda bulunan levhalardaki açıklıklar belirgindir. EK-A'da orijinal görüntüsü bulunmaktadır. 38
- 4.9: Bir geçişli fırının yan bölgesindeki sıcaklık dağılımı görülmektedir. Diğer kapaktaki, tavandaki sıcaklık dağılımı ve yanlarda bulunan levhalardaki açıklıklar belirgindir. EK-A'da orijinal görüntüsü bulunmaktadır. 39
- 4.10: Bir geçişli fırının sıcak su borularındaki ısı kaybı görüntülenmiştir. İzolasyonlu ve izolasyonsuz olan kısımlardaki sıcaklıklar belirgindir. Vanaların ısı kaybı da görülmektedir. EK-A'da orijinal görüntüsü bulunmaktadır. 40
- 4.11: FIRIN-2.1. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği. 43
- 4.12: FIRIN-2.2. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği. Isıtma ve vakumun ne kadar uzun tutulduğu grafikte gözlenmektedir. 44
- 4.13: FIRIN-2.3. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği. İşlemin uzun zamanda tamamlanmış ve bobinlerin sıcaklıkları istenilen düzeylere gelememiştir. 45
- 4.14: FIRIN-2.4. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği. Bobinlerin sıcaklıkları 90 °C üzerine çıkamamış ve işlem diğerlerine göre kısa tutulmuştur. Bu da, beklenen kurutmayı engellemektedir. 46
- 4.15: FIRIN-2.5. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği. Fırında tutulan zamanın aşırı boyutlarda olduğu görülmektedir. 47
- 4.16: FIRIN-2.6. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği. Bobinlerin sıcaklıkları ile hava sıcaklığı arasındaki aşırı fark görülmektedir. 48
- 4.17: FIRIN-2.7. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği. Bobinlerin sıcaklıkları ile hava sıcaklığının uyumlu olduğu görülebilmektedir. 49
- 4.18: FIRIN-2.8. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği. 50
- 4.19: FIRIN-2.9. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği. 51
- 4.20: FIRIN-2.10. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği. 52
- 4.21: FIRIN-2.11. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği. 53
- 4.22: FIRIN-1.1. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği. 54
- 4.23: FIRIN-1.2. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği. Aşırı ısıtma yapıldığı grafikte görülmektedir. 55
- 4.24: FIRIN-1.3. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği. 56
- 4.25: FIRIN-1.4. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği. 57
- 4.26: FIRIN-1.5. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği. 57
- 4.27: FIRIN-1.6. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği. 58
- 4.28: FIRIN-1.8. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği. 59
- 4.29: FIRIN-1.9. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği. 60
- 4.30: FIRIN-1.10. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği. 61
- 4.31: FIRIN-1.11. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği. 62
- 4.32: FIRIN-1.12. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği. 62
- 4.33: FIRIN-1.14. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği. 63

- 4.34: FIRIN-1.15. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği.
Isıtma suyu sıcaklığından kaynaklanan bir sorun sıcaklıkların düşmelerine neden olmuştur. 64
- 4.35: FIRIN-1.16. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği. 66
- 4.36: FIRIN-1.17. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği.
İşlem süresi fazla vakum yapılarak uzatılmıştır. 66
- 4.37: FIRIN-1.18. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği.
Aşırı ısıtma nedeniyle zaman farkında artış olmuştur. 67
- 4.38: FIRIN-1.1. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu. 70
- 4.39: FIRIN-1.1. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı. 70
- 4.40: FIRIN-1.2. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu. 72
- 4.41: FIRIN-1.2. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı. 73
- 4.42: FIRIN-1.3. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu. 75
- 4.43: FIRIN-1.3. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı. 75
- 4.44: FIRIN-1.4. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu. 77
- 4.45: FIRIN-1.4. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı. Havalandırma nedeniyle model-deney verilerinin farklılığı normalize değerleri de birbirlerinden farklı kılmıştır. İlk saatlerde bu olay gerçekleşmemektedir. 78
- 4.46: FIRIN-1.5. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu. 79
- 4.47: FIRIN-1.5. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı. 80
- 4.48: FIRIN-1.8. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu. 82
- 4.49: FIRIN-1.8. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı. 82
- 4.50: FIRIN-1.9. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu. 84
- 4.51: FIRIN-1.9. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı. 84
- 4.52: FIRIN-1.10. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu. 86
- 4.53: FIRIN-1.10. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı. 86
- 4.54: FIRIN-1.11. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu. 88
- 4.55: FIRIN-1.11. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı. 88
- 4.56: FIRIN-1.12. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu. 90

4.57: FIRIN-1.12. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı.	90
4.58: FIRIN-1.14. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu.	92
4.59: FIRIN-1.14. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı.	92
4.60: FIRIN-1.15. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu. Isıtma buharının sıcaklığındaki düşüş istenmeyen bir durum olup, model sonucu ile uyuşmamaktadır.	94
4.61: FIRIN-1.15. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı. Isıtma buharının sıcaklığındaki düşüş nedeniyle uyumsuzluk görülmektedir.	94
4.62: FIRIN-1.16. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu. Aşırı yükleme etkisiyle fazla sıcaklık artışı gözlenmemektedir.	96
4.63: FIRIN-1.16. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı.	96
4.64: FIRIN-1.17. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu.	98
4.65: FIRIN-1.17. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı.	98
4.66: FIRIN-1.18. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu.	100
4.67: FIRIN-1.18. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı.	100
4.68: FIRIN-2.1. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu.	102
4.69: FIRIN-2.1. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı.	102
4.70: FIRIN-2.2. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu.	104
4.71: FIRIN-2.2. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı.	104
4.72: FIRIN-2.3. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu.	106
4.73: FIRIN-2.3. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı.	106
4.74: FIRIN-2.4. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu.	108
4.75: FIRIN-2.4. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı.	108
4.76: FIRIN-2.5. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu. Havalandırma anındaki sıcaklık değişimi görülebilmektedir.	110
4.77: FIRIN-2.5. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı. Havalandırmanın olduğu andaki sıcaklık değişimi iki sonuç arasında farka neden olmuştur.	110

4.78: FIRIN-2.6. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu.	112
4.79: FIRIN-2.6. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı.	112
4.80: FIRIN-2.7. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu.	114
4.81: FIRIN-2.7. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı.	114
4.82: FIRIN-2.8. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu.	116
4.83: FIRIN-2.8. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı.	116
4.84: FIRIN-2.9. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu.	118
4.85: FIRIN-2.9. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı.	118
4.86: FIRIN-2.10. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu.	120
4.87: FIRIN-2.10. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı.	120
4.88: FIRIN-2.11. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu.	122
4.89: FIRIN-2.11. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı.	122
4.90: Fırın-1.1. işlemi için model değerlerinin deney verileri ile uyumu	124
4.91: Fırın-1.12. işlemi için model değerlerinin deney verileri ile uyumu	125
4.92: Fırın-2.4. işlemi için model değerlerinin deney verileri ile uyumu	125



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
B-1: FIRIN-2.1 işlemine ait veriler	146
B-2: FIRIN-2.2 işlemine ait veriler	147
B-3: FIRIN-2.3 işlemine ait veriler	149
B-4: FIRIN-2.4 işlemine ait veriler	150
B-5: FIRIN-2.5 işlemine ait veriler	151
B-6: FIRIN-2.6 işlemine ait veriler	153
B-7: FIRIN-2.7 işlemine ait veriler	154
B-8: FIRIN-2.8 işlemine ait veriler	155
B-9: FIRIN-2.9 işlemine ait veriler	156
B-10: FIRIN-2.10 işlemine ait veriler	157
B-11: FIRIN-2.11 işlemine ait veriler	158
B-12: FIRIN-1.1 işlemine ait veriler	159
B-13: FIRIN-1.2 işlemine ait veriler	160
B-14: FIRIN-1.3 işlemine ait veriler	162
B-15: FIRIN-1.4 işlemine ait veriler	163
B-16: FIRIN-1.5 işlemine ait veriler	164
B-17: FIRIN-1.6 işlemine ait veriler	165
B-18: FIRIN-1.8 işlemine ait veriler	166
B-19: FIRIN-1.9 işlemine ait veriler	167
B-20: FIRIN-1.10 işlemine ait veriler	168
B-21: FIRIN-1.11 işlemine ait veriler	169
B-22: FIRIN-1.12 işlemine ait veriler	170
B-23: FIRIN-1.14 işlemine ait veriler	171
B-24: FIRIN-1.15 işlemine ait veriler	172
B-25: FIRIN-1.16 işlemine ait veriler	173
B-26: FIRIN-1.17 işlemine ait veriler	174
B-27: FIRIN-1.18 işlemine ait veriler	175
C-1: FIRIN-1.1. işlemi için zamana bağlı olan fırın havası sıcaklığının deneysel ve matematiksel model değerleri ile bunların normalize edilmiş değerleri.	178
C-2: FIRIN-1.2. işlemi için zamana bağlı olan fırın havası sıcaklığının deneysel ve matematiksel model değerleri ile bunların normalize edilmiş değerleri.	178
C-3: FIRIN-1.3. işlemi için zamana bağlı olan fırın havası sıcaklığının deneysel ve matematiksel model değerleri ile bunların normalize edilmiş değerleri.	179
C-4: FIRIN-1.4. işlemi için zamana bağlı olan fırın havası sıcaklığının deneysel ve matematiksel model değerleri ile bunların normalize edilmiş değerleri.	179
C-5: FIRIN-1.5. işlemi için zamana bağlı olan fırın havası sıcaklığının deneysel ve matematiksel model değerleri ile bunların normalize edilmiş değerleri.	179
C-6: FIRIN-1.8. işlemi için zamana bağlı olan fırın havası sıcaklığının deneysel ve matematiksel model değerleri ile bunların normalize edilmiş değerleri.	180
C-7: FIRIN-1.9. işlemi için zamana bağlı olan fırın havası sıcaklığının deneysel ve matematiksel model değerleri ile bunların normalize edilmiş değerleri.	180

1. GİRİŞ

İlk çağlardan beri, bazen farkında olmadan; bazen de bilerek, kurutma işlemleri yapılmaktadır. Zaman geçtikçe ve kurutulacak malzemeler fazlalaştıkça araştırma alanları da artmış ve pek çok araştırmacı, kurutma ve kurutma fırınları üzerine çalışmalar yapmışlardır. Sabit yataklı reaktörler kullanılarak yapılan malzeme kurutma işlemlerinde sıcaklık dağılımının bulunması (Hastaoğlu, 1996) ve kurutma mekanizmasına seçici bir özellik kazandıran çalışmalar (Riede and Schlönder, 1990), bu konuda yeterli düzeye gelebilmişlerdir. Döner kurutucular üzerine yapılan araştırmalarda alınan gelişmeler endüstriye yansıtılarak ilerlemeler kaydedilmiştir (Matchett and Sheikh, 1990). Kurutma işlemlerinin en önemli kısımlarından olan besinlerin kurutulmasında da ileri derecede çalışmalar yapılmış ve kurutucu modelleri ileri sürülmüştür (P. L. Douglas and J. T. A. Jones, 1994). Katı cisimlerin kurutulması hakkında matematiksel modellere dayanan oldukça çalışma bulunurken, transformatör kurutma işleminde deneysel çalışmalar ağırlık kazanmıştır.

Elektrik enerjisinin taşınmasında önemli bir rolü yağlı tip elektrik dağıtım transformatörleri üstlenmektedir. Bu transformatörler temel olarak çekirdek, bobinler ve izolasyon malzemelerinden (kağıtlar, sıkıştırılmış tahta bloklar) oluşur. Çekirdek, ince saç şeklinde metallere oluşup, bobinlerin iç kısımlarına yerleştirilir. Trafo elemanlarının gerekli bağlantıları yapıldıktan sonra, bir yağ tankı içerisinde çalışan trafonun kısa devre yapmasına neden olabilecek nemi almak için kurutulmaları gerekir. Bu nedenle trafo elemanları buharla (geçişli) veya elektrikle ısıtılan fırınlarda kurutulurlar. Elektrikli fırınlarda kurutma işlemi ve kurutma zamanı istenilen düzeylerde kalabilmektedir. Ancak, geçişli fırınlarda istenmeyen sorunlarla karşılaşmaktadır (GEC ALSTHOM Elektrik A.Ş.).

Geçişli fırınlarda trafo kurutma işleminin temel kısmı ilk ısıtma devresidir. Bu süre içerisinde fırın ve trafo sıcaklıklarının belirli düzeylere gelmesi gerekmektedir. Ancak, bazı fırınlarda ısıtma sisteminde aksaklıkların oluşması ya da fırın içerisinde gerçekleşen kütle transferi, vakum, fırın operatörünün dikkatsizliği gibi

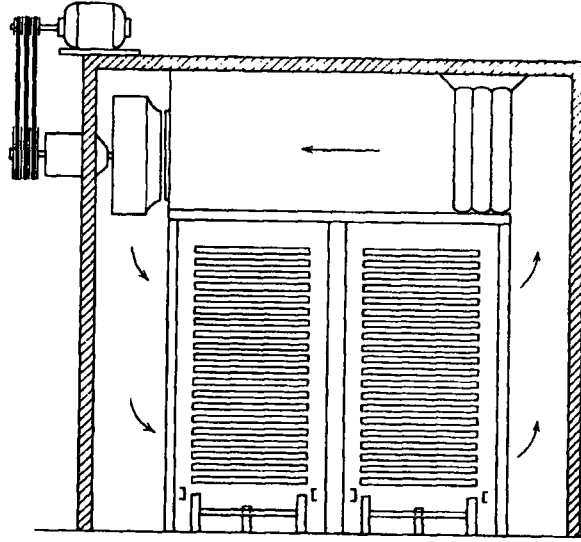
aksaklıklardan dolayı istenilen sıcaklıklara ulaşamamaktadır. Verim azalmakta ve maddi, manevi (emek, iş gücü) kayıplar oluşabilmektedir.

Bu çalışmanın amacı, kayıpların nedenlerinin kurutma fırının yapısından veya ısıtma işleminden kaynaklanıp kaynaklanmadığını bulmak ve fırınların ısıtma kapasiteleri hakkında bilgiler edinmektir (GEC ALSTHOM Elektrik A.Ş.). Matematik model yardımıyla geçişli fırınlar içerisindeki sıcaklık dağılımı bulunacak ve bu model, tasarımını yaptığımız veya endüstride kullanılmakta olan geçişli fırınlarda uygulanabilir hale getirilmesi hedeflenmiştir.

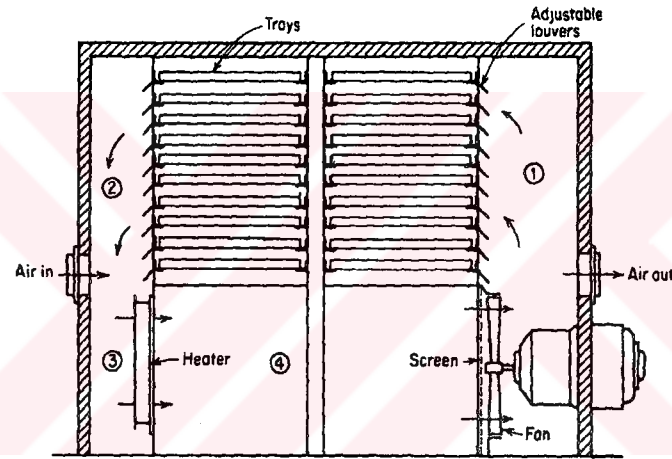
1.1. GEÇİŞLİ FIRINLARIN FİZİKSEL YAPILARI

Trafo kurutmasında kullanılan fırınların boyutları kurutulacak malzeme boyutlarına göre değişir. Fırınlardaki ısıtma elemanı olan su buharının fırına giriş ve çıkışını sağlayan boru hattı bulunur. Fırın içerisine kurutulacak olan malzemeyi yerleştirmede hareketliliği sağlamak için zemine yakın yerleştirilmiş paletler veya fırın içerisine dağıtılmış tepsiler bulunmaktadır (Şekil-1.2). Boruların yerleşim dizimine de bağlı olarak, ısıtılacak madde olan havanın daha iyi bir şekilde ısıtılması için fırına sirkülasyon amacıyla bir fan yerleştirilir. Fırındaki sıcaklıkları dışarıdan izleyebilmek amacıyla fırında ölçüm aletleri bulunmaktadır. Bu tip fırınların kontrolleri genelde operatörler tarafından gerçekleştirilir ve kontrolleri de elle (manuel tip) yapılan kontroldür (GEC ALSTHOM Elektrik A.Ş. fırınları).

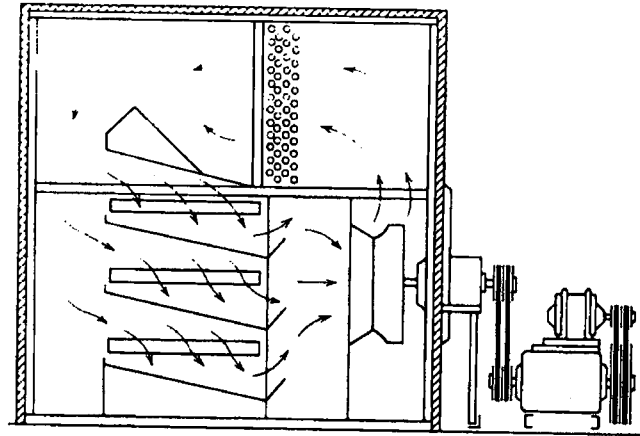
Şekil-1.1, Şekil-1.2 ve Şekil-1.3'de geçişli fırınların da içerisinde bulunduğu süreksiz (batch) fırınlar grubundan bir kaç tip gösterilmektedir:



Şekil-1.1: Bir çift taraflı (truck) kurutucu (Proctor and Schwartz, Inc.).



Şekil-1.2: Tipik tepsili bir kurutucu (Proctor and Schwartz, Inc.)



Şekil-1.3: Sirkülasyonlu olan bir süreksiz kurutucu (Proctor and Schwartz, Inc.).

1.2. YAĞLI TİP ELEKTRİK DAĞITIM TRANSFORMATÖR- LERİNİN FİZİKSEL YAPILARI

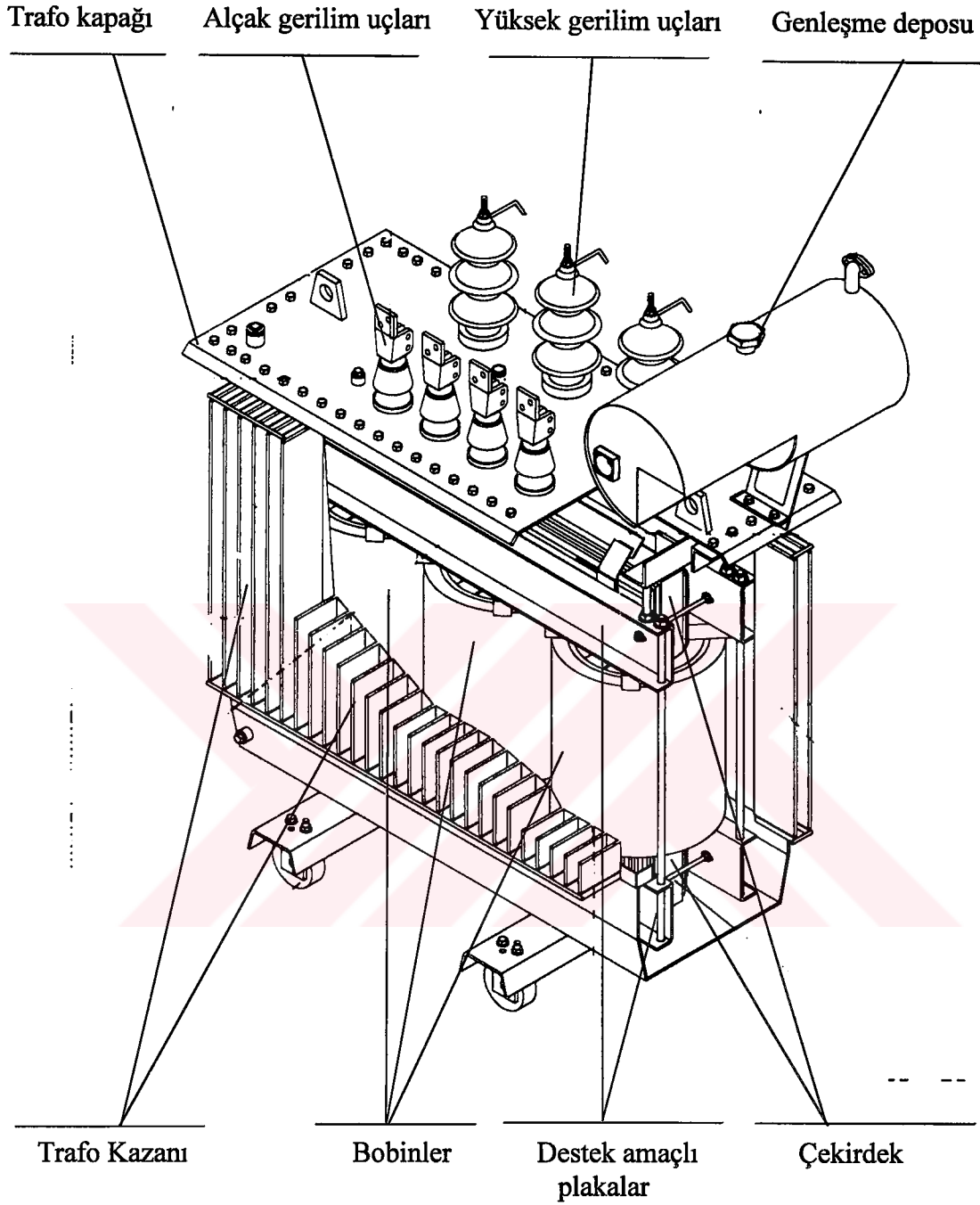
Trafolar (transformatörler) bir enerji dönüşüm aygıtları olmalarına rağmen, elektrik enerjisinin aktarımında ve dönüşümündeki verim üzerinde önemli bir etkilendirler. En ekonomik yoldan istenilen geriliminde elektrik üretilmesini, aktarım geriliminde güç iletilmesini ve özel tüketim cihazları için uygun gerilimde güç kullanılmasına olanak sağlarlar. Trafolar, düşük güç isteyen elektronik ve denetim devrelerinde de kullanılmaktadır. Bu devrelerde maksimum güç aktarımı için bir devreyi diğerinden yalıtırmak yada iki devre arasında alçak akım sürekliliğini korurken, doğru akım geçirmemek gibi görevleri yürütürler.

Trafonun temelini, bir orta yada karşılıklı manyetik alanla bağlantılı iki yada daha fazla sargı oluşturur. Uygulamada tüm trafolarda enerji iletiminde ve dönüşümünde kullanılan manyetik alanları biçimlendirmek için manyetik malzemeler (çekirdek) kullanılır. Manyetik malzemeler, trafonun büyüklüğünü ve çalışma sınırlarını belirler. Çekirdekte oluşabilecek girdap-akımlarının neden olduğu kayıpları azaltmak için genelde manyetik devre, ince metal yaprakların üst üste konulmasıyla oluşturulur. Bir kaç yüz hertz' in altındaki frekanslarda çalışan trafolar için çoğu kez 0.014 in. (=0.036 cm.) kalınlığında silisyum-çelik yapraklar kullanılmaktadır. Silisyum-çelik yapraklar ucuz, çekirdek kaybı az ve yüksek akı yoğunluğunda (65-90 kiloçizgi/in.²) yüksek geçirgenlik gibi istenilen özellikleri içermektedir. Yüksek frekans ve alçak enerji düzeylerinde çalışan ve iletişim devrelerinde kullanılan küçük trafoların çekirdeği, toz halindeki ferro-manyetik alaşımlardan (örneğin, ferritlerden biri) sıkıştırılarak yapılabilir (Fitzgrald, 1952).

Yağlı tip elektrik dağıtım trafoları imal edilirken metallerin yanında çeşitli malzemeler de bir arada kullanılmaktadır. Bunlar: İzolasyon malzemeleri (kağıtlar, sıkıştırılmış tahta bloklar), plastiklerdir. Boyutları kapasitelerine bağlı olup genelde 50 kVA' dan 2500 kVA' ya kadar değişebilirler. Bobinlerin bağlantıları toplanarak trafo kapağı denilen ve DKP saçtan oluşan metalden dışarıya doğru verilmektedir.

Kapağın üzerinde alçak ve yüksek gerilim uçları, isteğe bağlı olarak köyülabilen genleşme deposu bağlantısı, termometre boşluğu ve kazan ile birleştirmek için somun delikleri bulunur. Özel isteklere göre kablo kutusu gibi ekler de yapılabilir. Bu tip temel kısımların yanında, iletim hattı bağlantı elemanları, koruyucu ve takviye amaçlı kullanılan malzemeler gibi irili ufaklı elemanlar bir araya gelerek kompleks bir yapı olan elektrik dağıtım trafosunun aktif kısımlarını oluştururlar. Aktif kısımlar trafo kazanına yerleştirilir ve kazan, elektriği iletmeyen ve yanıcı olmayan yağ ile doldurulur. Yağın fonksiyonu soğutmadır. Kazanın dış yüzeyi soğutma kanallarından oluşmaktadır ve trafonun ısınısını çeken yağ, doğal taşınım (free convection) ile soğumaktadır. Yüksek kapasiteli trafolarda soğutma kanallarının tek başlarına yetersiz kalması üzerine, bu kanalların dışına fanlar yerleştirilerek ve zorlanmış taşınım (forced convection) sağlanarak soğutma yapılmaktadır. Şekil-1.4'de genleşme depolu bir yağlı tip elektrik dağıtım trafosunun kesiti görülmektedir.





Şekil-1.4: Yağlı Tip Elektrik Dağıtım Trafosunun Kesit Görüntüsü (AEG-ETİ Elektrik Endüstrisi A.Ş. ürün katalogu, 1997). İsteğe bağlı olarak takılan genleşme tanklı bu trafonun kazanı içerisinde bulunan aktif kısım parçaları görülmektedir. Kazan, içleri boş olan kanatçıklardan (fin) oluşturulmuştur ve aktif kısmı soğutacak olan yağ ile doludur.

2. KURUTMA TEORİSİ

2.1. KURUTMA İŞLEMİ

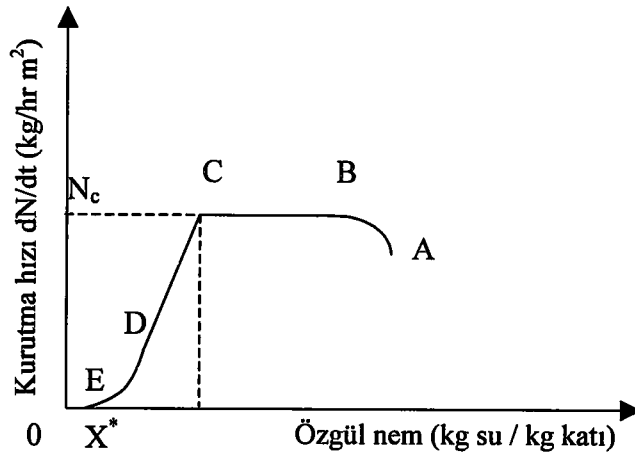
Kurutma işleminin tanımı, katı bir maddeden sıkma yada ısıtma yoluyla uygun miktarda sıvının uzaklaştırılması olarak yapılabilir. Katıdaki su miktarı az ise uzaklaştırma işlemi katı yüzeyine ısı transfer edilerek ve uçma yada buharlaşma yolu ile sağlanabilir. Buharlaşma için ısı verdiğimizde cismin içindeki buhar derişikliği ile çevre derişikliği eşit oluncaya kadar buharlaşma devam edecektir. Kurutulacak olan maddenin sıcaklığı, kurutucu içerisindeki basınç ile belirli bir buharlaşma sıcaklığının altında ise, bu durumda kütle transferi su buharının akışkan içerisindeki kısmi basınç farkı ile oluşur. Katı yüzeyinden su uçar ve kurutucu akışkanına (genellikle havaya) karışır. Bu kurutma işlemine uçma kurutması denilebilir. Buna göre, havadan katı yüzeyine doğru ısı transferi, katı yüzeyinden havaya doğru da kütle transferi (sıvı) meydana gelmektedir. Bu tür akışkanın, gerekli ısıyı taşıması ile belirgin olaya taşınım (convection) kurutması denir. Sıcak yüzeyden gelen ışınlam ile buharlaşma sağlanıyorsa buna ışınlam kurutması denir. Katı, sıcak bir yüzey üzerine koyularak buharlaşma yaptırılıyorsa, buna da temas veya iletim (conduction) kurutması denir. (Demirtaş v.d., 1996)

2.1.1. Kurutma Şeması

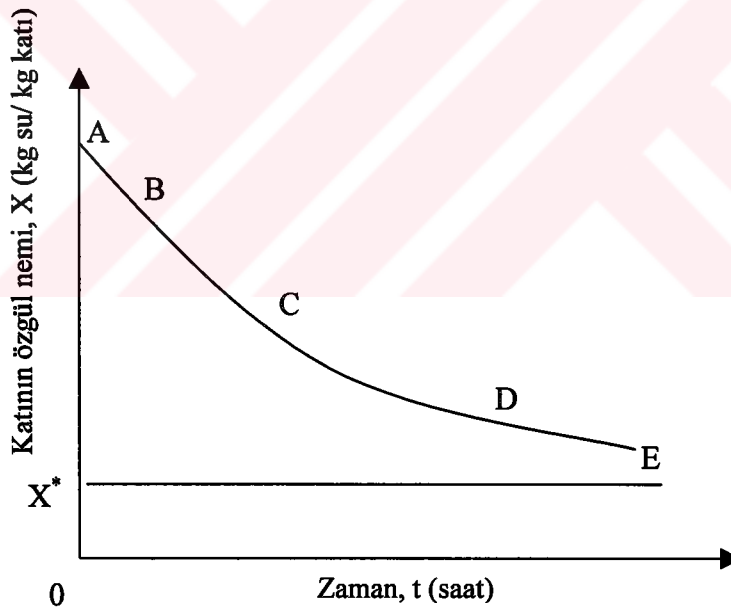
Kurutmanın temeli, kurutulacak olan maddedeki sıvıyı buharlaştırmak ve buharı ortamdan uzaklaştırmak olarak tanımlanmıştır. Bu durumda, buharlaşmayı sağlamak için gereken ısı katı maddeye verilmesi gereklidir. Bu ısı, normal sıcaklıklarda buharlaştırılacak 1 kg. su için 590 kcal' dır (Demirtaş v.d., 1996). Kurutma işlemini ifade eden eğriler Şekil-2.1 ve Şekil-2.2'de gösterilmiştir. Kurutma işlemine etki eden en önemli etkelere biri kurutma hızıdır. Birim zamanda, birim alandan buharlaşan su kütlesi olarak tanımlanabilen kuruma hızı, kaliteli ürün ve ısı ekonomisi açılarından büyük önem taşımaktadır. Kurutma hızının bulunması için örnek kurutma çalışmaları yaparak kuruma eğrilerini belirlemek gerekmektedir.

Kurutucularda (kurutma fırınları), maddelerin kurutulmasında kullanılan kurutucu havasının hızı, nemi, sıcaklığı ve kuruyan yüzey üzerindeki akış yönü kurutma hızına etkileri açısından sabit tutulmaya çalışılmaktadır. Kurutulacak olan ürünün ağırlığı zamanın bir fonksiyonu olarak belirlenerek (kuru madde baz alınarak) nem içeriği tespit edilebilir. Şekil-2.1’de nem içeriğine bağlı olarak kurutma hızının değişimi görülmektedir. Burada C , kurutulacak ürünün özelliklerine bağlı olan kritik nemi göstermektedir. Maddenin yüzeyinde ilk kuru noktanın oluştuğu duruma, sabit kuruma periyodunun sonu ile azalan hızdaki kuruma periyodunun başlangıcını simgeleyen kritik nokta denebilir. Kritik nokta, Şekil-2.2’de gösterilen ve kurutucu ile maddenin ısınma süresini belirten AB bölgesi sonunda, BC kesiminde de kurutucuda ve madde yüzeyinde oluşan sıvı film tabakası belirtilmektedir. Şekil-2.1’de verilen kurutma hızı eğrisi, kuruma sırasındaki çeşitli periyotları içermektedir: Başlangıçta maddedeki nem, doymuş halde bulunan yüzeyden buharlaştırılarak uzaklaştırılır. Kuruma ilerledikçe doymuş halde bulunan yüzeyin alanı azalır ve bunu maddenin iç kısmındaki suyun buharlaşması izler. CD bölgesinde ise maddenin iç bölgelerinden yüzeyine difüz edebilen su buharlaşmaktadır. Bu nedenle BC bölgesinde kurutma hızı sabit kalmakta, CD bölgesinde ise doğrusal olmaktadır. DE bölgesinde doğrusallık kalkmıştır, çünkü; madde içindeki sıvının yüzeye doğru çok yavaş difüz edildiği bölge DE bölgesidir. Şekil-2.1’deki AB parçası kararsız durumu, BC parçası da sabit hız periyodunu göstermektedir (Treybal, 1993).

Sabit hızda yapılan kurutmalarda ısınmış olan kurutucu havasından katı maddeye geçen ısıda bir azalma olmamasına rağmen kurutma süresi arttıkça katı içindeki nem miktarında devamlı düşüş olur ve katı yüzeyinin sürekli ıslak kalması zorlaşır. Yüzeydeki nem, taşınım ile kurutucu havasına karışır. Katının içerisinde bulunan nem de kapılar kuvvetler etkisiyle yüzeye iletilir. Genel bir ifadeyle, havadan katı maddeye doğru ısı transferi, katıdan havaya doğru da kütle transferi gerçekleşmektedir. Isı transferi, taşınım (convection) ve iletim (conduction) ile yapılır, çok yüksek sıcaklıklara çıkılmadığı ve sistemin güneş almaması nedenleriyle radyasyon katkısı ihmal edilebilir.



Şekil-2.1: Özgül nemin bir fonksiyonu olarak kurutma hızının değişimi (Perry and Chilton , “Chemical Engineers’ Handbook”, 1982.). *C* noktası kritik nemi belirtirken, *AB* kararsız durumu, *BC* sabit durumu, *CD* doğrusal durumu ve *DE* de azalan durumu göstermektedir.



Şekil-2.2: Kurutma eğrisinin zamana göre değişimi (Perry and Chilton, “Chemical Engineers’ Handbook”, 1982.). *AB* bölgesinde ısınma süresi, *BC* bölgesinde oluşan sıvı film yüzeyi, *CD* ve *DE* bölgelerinde de iç bölgelerin buharlaşması görülmektedir.

2.1.2. Kurutma Hızını Etkileyen Faktörler

Kurutulacak olan maddenin fiziksel ve kimyasal yapısı, kurutma başlangıcındaki nemliliği, en önemlisi de kurutmanın yapılacağı sistemin özellikleri kurutma hızını etkilemektedir. Genellikle kurutma hızı, ürün kalınlığının karesi ile ters orantılıdır (Demirtaş v.d., 1996). Kuruma hızını kurutmanın başlangıç kısımlarında kurutma havasının kuru termometre sıcaklığı ile yaş termometre sıcaklığı arasındaki fark oldukça etkilemektedir. Başlangıçta kuruma hızı ile ters orantılı olan yaş termometre sıcaklık farkı, önemini kaybederek kurutmanın sonuna doğru kurutma hızına etkisi olmaz. Kurutma havası sıcaklığının kurutma hızına etkisi, kuru nemliliğin ortalama %40-60 değerine düşmesine kadar hissedilmez (Karabay, 1992).

Hava hızının kuruma zamanına etkisi çok azdır. Ancak yüksek birim yüklemelerinde kuruma başlangıcında, kuruma hızının yüksek hava hızından etkilendiği görülmüştür. Hava akımının türbülanslı olduğu sürece hava hızının kuruma üzerinde bir etkisi olmamaktadır

Sabit periyottaki hava kurutma işlemleri için toplam ısı transferi değeri şu şekilde verilebilir:

$$q_T = h_v A (T_v - T_i) \quad (2.1)$$

$$h_v = h_c + h_r + U_k \quad (2.2)$$

$$q_T = h_c A (T_v - T_i) + h_r A (T_w - T_i) + U_k A (T_v - T_i) \quad (2.3)$$

Kurutma zamanı da

$$\int_0^t dt = -\frac{W_s}{A} \int_{x_1}^{x_2} \frac{dX}{R} \quad (2.4)$$

ile verilebilir (Foust et al., 1960). Bu denklemlerdeki T_i sıvı ile gaz ara yüzeyinin sıcaklığı (K); T_w ile T_v , kurutulan yüzeyin ve kurutma yapılan gaz sıcaklıkları (K); h_c , taşınım ısı transfer katsayısı ($\text{watt/m}^2\text{K}$); h_r , radyasyon ısı transfer katsayısı ($\text{watt/m}^2\text{K}$); U_k , kurutulan yüzeyin buharlaşma yüzeyi ile içerisindeki iletim ve taşınım için en genel ısı transfer katsayısı ($\text{watt/m}^2\text{K}$); t , kurutma zamanı (saat); W_s , katının kuru ağırlığı (kg); A , kurutulacak olan yüzey (m^2); X , katıdaki hacimsel nem oranı olmak üzere X_1 ve X_2 de sırasıyla başlangıçtaki nem oranı ve t zamanındaki nem oranı ($\text{kg su / kg kuru katı}$); R , kurutma hızı (kg/saat m^2)'dır.

Sabit periyotlu kurutucular büyük kütlelerin kurutulmasında tamamen etkili olamamaktadırlar. Bu tip katılarda (transformatörler gibi) kurutma periyotları değişken alınarak işlem sürdürülmektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Geçişli fırınların ısı işlemlerinin incelenmesi için gerçekleştirilen matematiksel model, Mathsoft MathCAD 5+ (1986-1994 Mathsoft Inc., Version 5.0) kullanılarak yapılmıştır. Modelde, fırın havası sıcaklığının zamana göre değişimi, bu bölümde açıklanacak olan yöntemlerle bulunmaktadır.

Fırının yan duvarlarındaki boru dizilişleri simetrik kabul edilmiştir. Çünkü incelenen fırınlarda da aynı yapı gözlenmektedir (GEC ALSTHOM Elektrik A.Ş. fırınları). Fırınlarda ısıtma amaçlı kullanılan su buharının sıcaklığını sabit bir değer olarak alınmıştır (150°C). Nedeni, işletmeden gelen buhar sıcaklığı sabit değerde tutulmaya çalışılmasıdır. Fırın içerisinde bulunan borulardaki buhar akışlarında da sabit sıcaklığın korunduğu kabul edilmiştir. Bunların sonucunda, fırındaki sirkülasyon yardımıyla da fırının farklı yerlerindeki sıcaklıkların eşdeğer olduğu kabullenilmiştir.

Fırının teknik resim görüntülerinden yararlanılarak veriler saptanmış ve modele uyarlanmıştır. Yağlı tip elektrik dağıtım transformatörlerine ait veriler GEC

ALSTHOM Elektrik A.Ş.'nin fabrika ortamından temin edilmiştir. Transformatörlerin kompleks olan yapıları ve çeşitli kapasitelerdeki değerleri yaklaşımlar ile modele uyarlanmıştır (Bkz. Bölüm-3.2.2.4). Transformatör tipleri incelenerek bir transformatör için oluşum oranları tespit edilmiş ve bunlara göre hesaplamalar yapılmıştır.

Modelde fırınların çalıştırılmaya başladıktan sonraki ilk dört saate önem verilmektedir. Çünkü işlem kuralları gereğince ilk dört saat, ilk ısıtma süresini içermektedir. Bu süre kurutma işleminin temelini oluşturmaktadır. Eğer fırının ısıtmadan kaynaklanan bir sorunu varsa bu sürede belli olacaktır. Ancak, operatörler tarafından dört saat sonunsa yapılması gereken havalandırmalar, dört saat içerisinde de yapılabildiğinden bazı işlemlerde model ile deneysel veriler arasında uyumsuzluklar oluşmaktadır. Bu konulara tartışma kısımlarında değinilecektir.

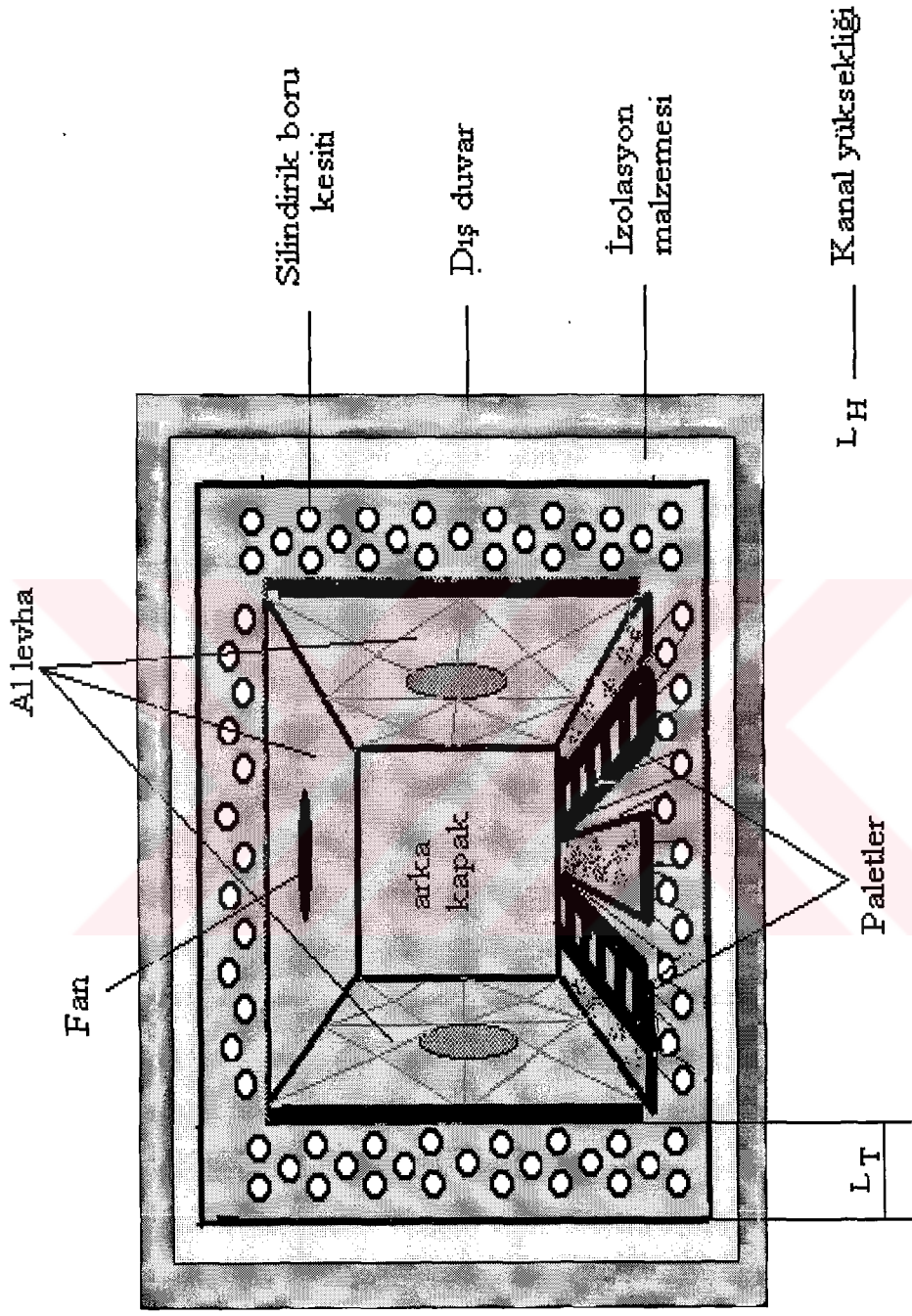
3.1. TRANSFORMATÖRLERİN KURUTULDUKLARI GEÇİŞLİ FIRINLARIN FİZİKSEL YAPISI

Trafo kurutmasında kullanılan fırınların boyutları, kurutulacak malzemelerin boyutlarına göre değişmektedir. Elektrik dağıtım trafolarının kurutulmasında trafo boyutlarının değişken olması nedeniyle faydalanan ölçüleri '2.5 m' yüksekliği, '2.5 m' genişliği ve '6.0 m' uzunluğunda olan fırınlar kullanılmaktadır. Fırının dışında kullanılan izolasyon ve diğer kaplamalar bu boyutları arttırmakta ve toplam hacim 58 m³ civarındadır. Trafonun fırına yerleştirme-çıkarma işlemleri için ön ve arka yüzde iki adet kapak bulunur. Bu kapaklar hidrolik olarak çalıştırılır ve fırın ile birleşme yerleri iyi bir şekilde izole edilmelidir. Fırının yan duvarlarında gözetleme pencereleri bulunmaktadır. Buralardan kurutma işlemi takip edilebilir. Fırında ısıtma elemanı su buharı olduğu için ısıtma maddesinin giriş ve çıkışını sağlayan boru hattı bulunmaktadır. Fırın içerisine trafo yerleştirmede hareketliliği sağlamak için zemine yakın yerleştirilmiş paletler bulunur. Borular fırında tespit edilen yerlere yerleştirilir. Geçişli fırında tüm duvarlara yakın bölgelere yerleştirilen borularla ısıtma yapılmaktadır. Böyle bir dizimde ısıtılacak madde olan havanın daha iyi bir şekilde ısıtılması için fırına sirkülasyon amacıyla bir fan yerleştirilmiş ve buna göre havanın

boru demetinden dağılmadan geçişini sağlamak için borularla fırın ortamı arasına ısısal iletkenliği yüksek olan bir metal plaka koyulmuştur. Isıtma sırasında fan çalıştırılarak fırının her yerinde eşit sıcaklık dağılımı sağlanmaya çalışılır. Kullanılan plakalarda, ısıyı iyi ilettiklerinden dolayı (ısısal iletkenlik katsayıları yüksek olduğundan), Al (alüminyum) veya Zn (çinko) alaşımlı metallerin seçilmesi tercih edilir. Fırındaki sıcaklıkları dışarıdan izleyebilmek amacıyla fırına ölçüm aletleri yerleştirilmiştir. Trafo kurutma işleminde ulaşılan sıcaklıklar çok yüksek olmadığından 150-200°C' a kadar olan sıcaklıkları ölçebilen 'thermocouple grubu' kullanılmaktadır. Fırın duvarları ve fırın içerisinde kullanılacak diğer elemanlar belirlenebilir. Bu tip fırınların kontrolleri operatörler tarafından gerçekleştirilir ve kontrolleri de elle (manuel tip) yapılan kontroldür (GEC ALSTHOM Elektrik A.Ş. fırınları).

Fabrikada kullanılan fırınların özelliklerden bazıları: Fırının işlem vakum basıncı 1 bar ile 0.2 mbar arasında, kapaklardaki sızdırmazlık değeri saatte 0.43 mbar, fırında sirküle edilen hava saatte 18000 m³, havalandırma yapılırken fırına gönderilen taze hava saatte 800 m³, içerideki nemli havayı çekmek için kullanılan vakum pompasının motor gücü 4 kW ve pompayla atılan hava miktarı saatte 120 m³, vakum pompasının militorr düzeyine inildiğindeki kapasitesi ile saatte 500 m³ hava çekilebilme özellikleri bulunabilir (AEG-ETİ Elektrik Endüstrisi A.Ş., 1997). Fırınlarda kullanılan izolasyon malzemesi ucuzluğu ve kullanışlı olması nedeniyle 'cam yünü' dür ve kalınlığı 0.15 m'dir.

Geçişli fırınları ısıtmak için fırın duvarına yakın bölgelere yerleştirilmiş silindirik şeklindeki borular kullanılır. Boruların içlerinden buhar geçirilerek, ısı fırın havasına aktarılır. Isıtmada iyi sonuç elde etmek için boruların düzenli olarak yerleştirilmeleri gereklidir. Fırın akışkanı olan hava, içlerinden boruların dış yüzeylerini yalayarak geçecek ve zamana göre sıcaklığı artacaktır. Bu boruların yerleştiriliş şekilleri fırının ısı kapasitesini oldukça etkilemektedir. Gelişigüzelden çok belli bir geometride bulunmalıdırlar. Genellikle üçgensel veya karesel diziliş dikkati çeker. İki türde de havanın boruların ısı transfer bölgeleri olan dış yüzeyleri ile teması oldukça iyidir. Bu karşılaştırmayı hesaplamaların olduğu kısımda görmek daha açıklayıcıdır. Fırının temel yapısı Şekil-3.1'de verilmektedir.



Şekil-3.1: Bir geçişli fırın kesiti. Genel şekilleri yukarıdaki gibi olan fırınlara farklı eklemeler de yapılabilir. İzolasyon malzemesi veya dış duvar bölgeleri fırın kapasitesine bağlıdır. Fırındaki boruların yerleştiriliş şekillerine dikkat edilmelidir.

3.2. GEÇİŞLİ FIRINLARDAKİ ENERJİ DENGESİ MODELİ

Fırın duvarlarına yakın yerlere yerleştirilen silindirik borulardan geçen buharın ısıısı borular tarafından soğurulacaktır. Bir kanal tipi verilmiş olan demetteki boruların yüzeylerini yalayarak geçecek olan hava da taşınım (convection) yolu ile ısınacaktır. Fırında bulunan fanın da çalışıyor olması, fırının tamamına yakın bölgesindeki sıcaklığın eşdeğer olmasını sağlayacaktır. Kenar bölgeler ve fandan üstte bulunan bölgelerde hava sirkülasyonu iyi olmadığından, buralardaki sıcaklıklar genele göre düşük olacaktır. Borular tarafından havaya aktarılan ısı, fırını oluşturan elemanlar ve içerisinde bulunan trafolar tarafından soğurulacaktır. Fırın içerisinde bulunan tüm elemanların enerji dengelerinin saptanması ısıtma için gerekli olan enerji miktarını verecektir. Bunun yanında sistemi zamana bağlı olarak incelediğimizde fırın elemanlarının sıcaklıklarındaki değişim oranları bulunabilmekte ve istenilen konumlardaki özellikler değiştirilebilmektedir. Enerji dengesinin kurulmasına fırın havasına verilen ısıнын tespiti ile başlanabilir.

3.2.1. Sıcak Su Borularından Fırına Verilen Isı

3.2.1.1 Fırın Havaının Sıcaklığa Bağlı Özellikleri

Fırında bulunan hava, fabrika ortamının havasıdır. Ortam şartlarına bağlı olarak fırın havasında da nem bulunmaktadır. Nemli hava ile kurutma yapıldığı için, hava özelliklerinin neme bağlı olarak belirlenmesi gerekmektedir. Havanın ısı kapasitesi, ısısal iletkenlik katsayısı, viskozitesi, derişikliği gibi fiziksel özellikleri fırın sıcaklığına bağlıdır. Havadaki özgül nem oranını, su buharının kısmi basıncı $P_{bo}(T)$ atm. ve ortam basıncı $P(T)$ atm. olmak üzere, $T(Kelvin)$ sıcaklığına bağlı olarak,

$$w(T) = 0.62198 \frac{P_{bo}(T)}{P(T) - P_{bo}(T)} \quad (3.1)$$

ile bulunabilir. Bu ifadenin yanında havanın doymuş nem oranı da su buharının doyma basıncı ($P_d(T)$ atm.) kullanılarak,

$$w_d(T) = 0.62198 \frac{P_d(T)}{P(T) - P_d(T)} \quad (3.2)$$

ile elde edilir (Oral v.d., 1995). İki denklem oranlanırsa doyma derecesi ($DD(T)$) bulunabilir.

$$DD(T) = \frac{w(T)}{w_d(T)} \quad (3.3)$$

Basıncılara bağlı olarak havanın bağıl nem oranı da aşağıdaki ifadede bulunabilir (Oral v.d., 1995).

$$\Phi(T) = \frac{P_{b0}(T)}{P_d(T)} \quad (3.4)$$

Isı transferinin yanında kütle transferi de bulunuyorsa (kurutma işlemindeki buharlaşma gibi) yalnızca ısı transferi için yazacağımız ısı transfer katsayısı ($h_h(T)$) kesin sonuç vermeyecektir. Kütle transferinin de içinde bulunduğu bir ısı transfer katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$P_{bs}(T) = w(T)P_d(T) \quad (3.5)$$

ifadesi ile bağıl nemdeki havanın kısmi basıncı (atm.) bulunabilir. Bunun da yardımıyla,

$$\beta(T) = \frac{P_{b0}(T) - P_{bs}(T)}{P(T) - P_{b0}(T)} \quad (3.6)$$

ve M_b , M_h , su buharının ve havanın molekül kütleleri (kg), $Cp(T)$ ve $Cp_f(T)$ de su buharı ile havanın sabit basınç altındaki spesifik ısıları (joule/kgK) olmak üzere,

$$\gamma(T) = \frac{M_b Cp(T)}{M_h Cp_f(T)} \quad (3.7)$$

hesaplanarak, doğruluğa en yakın olan ısı transfer katsayısı ifadesi,

$$h_m(T) = h_h(T) \frac{\ln(1 + \beta(T))^{\gamma(T)}}{(1 + \beta(T))^{\gamma(T)} - 1} \quad (3.8)$$

ile verilebilir.

3.2.1.2. Fırın Akışkanına Transfer Edilen Isı

Fırın akışkanı olan havaya verilen ısıyı bulabilmek için ısıtma buharının fırına giriş ve çıkış sıcaklıkları, boruların özellikleri, sirkülasyon için hazırlanan kanalların boyutları, sirkülasyonu sağlayan fanın gücü gibi bazı veriler bilinmeli veya tespit edilmelidir. Bu veriler, matematiksel modelde kullanılarak havaya verilen ısı hesaplanabilir. Bu hesaplamanın teorik olarak açıklaması şu şekildedir:

Isıtma elemanının kütle akış hızı, yoğunluğu, viskozitesi, ısısal iletkenlik katsayısı, sabit basınç altındaki özgül ısısı bulunur. Bu hesaplamalarda suyun hangi halde olduğu dikkate alınmalıdır. Aşağıda bulunan denklemlerde T sıcaklığı °F cinsinden ifade edilmiştir. Model kullanımında MKS birim sistemine dönülmektedir. Buna göre:

v : buhar (vapour),

L : sıvı (liquid),

olmak üzere ısıtma elemanı için sıvı derişikliği (lb/ft³),

$$\rho_L(T) = (62.7538 - 3.5347 \times 10^{-3} T - 4.8193 \times 10^{-5} T^2) \quad (3.9)$$

buhar derişikliği (lb/ft³),

$$\rho_v(T) = \exp(-9.3239 + 4.1055 \times 10^{-2} T - 7.1159 \times 10^{-5} T^2 + 5.7039 \times 10^{-8} T^3) \quad (3.10)$$

sıvı viskozitesi (lb/ft.sec),

$$\mu_L(T) = (-0.23535 + \frac{208.65}{T} - \frac{2074.8}{T^2}) \quad (3.11)$$

buhar viskozitesi (lb/ft.sec),

$$\mu_V(T) = (0.017493 + 5.7455 \times 10^{-5} T - 1.3717 \times 10^{-8} T^2) \quad (3.12)$$

sıvı ısısal iletkenlik katsayısı (lb.ft/sec³K),

$$k_L(T) = (0.31171 + 6.2278 \times 10^{-4} T - 1.1159 \times 10^{-6} T^2) \quad (3.13)$$

buhar ısısal iletkenlik katsayısı (lb.ft/sec³K),

$$k_V(T) = (0.0097982 + 2.2503 \times 10^{-5} T - 3.3841 \times 10^{-8} T^2 + 1.3153 \times 10^{-10} T^3) \quad (3.14)$$

sabit basınç altındaki özgül ısı (ft²/sec²K),

$$C_p(T) = (0.43827 + 1.3348 \times 10^{-4} T - 5.9590 \times 10^{-7} T^2 + 4.6614 \times 10^{-9} T^3) \quad (3.15)$$

şeklinde bulunabilirler (Chopey, 1994).

Sıvı ve buhar hallerinde yazılmalarının nedeni, ısıtma elemanının sıcaklığına bağlı olarak, sıvı ve buhar yüzdelere göre en kesin sonuca yaklaşımdır. Bu, şu şekilde uygulanabilir:

T_s , ısıtma suyunun sıcaklığı °F olmak üzere,

$$\mu = (\text{yüzde}_{\text{buhar}}) \mu_V(T_s) + (\text{yüzde}_{\text{su}}) \mu_L(T_s) \quad (3.16)$$

$$k = (\text{yüzde}_{\text{buhar}}) k_V(T_s) + (\text{yüzde}_{\text{su}}) k_L(T_s) \quad (3.17)$$

$$\rho = (\text{yüzde}_{\text{buhar}}) \rho_V(T_s) + (\text{yüzde}_{\text{su}}) \rho_L(T_s) \quad (3.18)$$

$$C_p = C_p(T_s) \quad (3.19)$$

ifadeleri ile ısıtma elemanının sıcaklığına bağlı olan fiziksel parametreleri bulunabilmektedir.

Isıtma buharı için Reynolds ve Prandtl değerlerine bakılarak suyun akış tipi tayin edilebilir.

$$Re = \frac{\rho U D_i}{\mu} \quad Pr = C_p \frac{\mu}{k} \quad (3.20)$$

Burada U akışkanın hızı (m/sec), D_i de borunun iç çapıdır (m.). Akışın laminar yada türbülans oluşuna göre uygulamalar seçilmiştir. Bu modelde laminar akış için Hausen uygulaması; türbülans akış için Gnielinski uygulaması kullanılmıştır. Akış türüne uyan uygulama yardımıyla Nusselt sayısı bulunabilir ve

$$h_i = Nu \frac{k}{D_i} \quad (3.21)$$

denklemleri ile boru içindeki film yüzeyin ısı transfer katsayısı elde edilebilir.

Bundan sonra, boruların dış kısımlarında yani kanallardaki veya açıkta bulunan boruların dış yüzeylerindeki film ısı transfer katsayısı bulunmalıdır. Bu işlem yapılırken yine verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Fırın havasının sirkülasyon derecesi, başlangıç sıcaklığı, en önemlileri de *boruların düzeni*dir. Fırının yan duvarlarına yerleştirilmiş boruları bir kanal içerisindeymiş gibi alınabilir, çünkü önlerindeki metal plaka bir sınır oluşturmaktadır. Bu durum, her iki yan duvar için de geçerlidir. Kanalın fiziksel ölçüleri elimizde bulunduğu sürece ve borular hakkındaki veriler yardımıyla ısı transfer katsayısını yan bölgeler için bulunabilir. Bu çözüme kanallardaki boşluk hacminden yararlanılarak gidilmiştir. Çünkü hava hareketleri kanalda bırakılmış boşluklarla ilgilidir. Boruların hacimleri (VB) ile boru demeti kanalının toplam hacmi (VT) oranlanarak ‘hacim boşluğu oranı (ψ)’ elde edilebilir.

$$\psi = \frac{VB}{VT} \quad (3.22)$$

Şekil-3.2 ile verilen boruların düzenine göre değerler atanarak ve bunları boruların dış çaplarına bölerek boyutsuz değerler elde edilebilir.

$$X_{L.kare} = \frac{S_{L.kare}}{D}$$

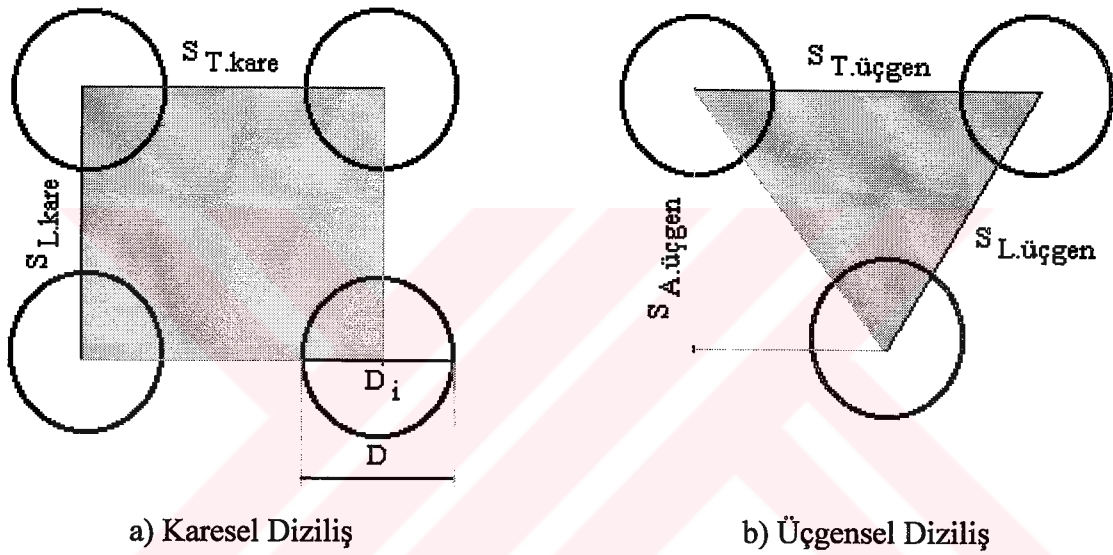
$$X_{T.kare} = \frac{S_{T.kare}}{D}$$

$$X_{L.üçgen} = \frac{S_{L.üçgen}}{D}$$

$$X_{A.üçgen} = \frac{S_{A.üçgen}}{D}$$

$$X_{T.üçgen} = \frac{S_{T.üçgen}}{D}$$

(3.23)



Şekil-3.2: Boruların yerleştiriliş şekilleri (Kakaç S., “Boilers, Evaporators, and Condensers”, 1991). Üçgensel diziliş (b) şeklinde yerleştirilen boruların yüzeylerinden yararlanılan alan, karesel diziliş (a) şeklinde yerleştirilen borulara göre daha fazladır. Bu da ısı transferini etkilemektedir.

Kanalın giriş kesitine ve hava sıcaklığına bağlı olarak hesaplanmış Reynolds sayısı ($Re(T)$)'na göre ve sürtünmelere bağlı olarak, sıcaklıkla değişen Nusselt sayıları elde edilebilir:

Karesel diziliş için:

$$f_{kare} = 1 + \left(1.9 - \frac{1.8}{X_{L.kare}}\right) \frac{1}{\left(\frac{4}{\pi} X_{T.kare} \Psi\right) - 0.4} \quad (3.24)$$

ve bir tek boru için Nusselt sayısı,

$$Nu_0(T) = \frac{2}{\pi} (1.95 + 0.178 (\frac{\pi}{2\Psi} Re(T))^{0.4} Pr_f(T)^{0.115})^2 Pr_f(T)^{0.19} \quad (3.25)$$

alınarak, kanaldaki tüm karesel dizilişteki borular için Nusselt sayısı,

$$Nu_{kare}(T) = f_{kare} Nu_0(T) \quad (3.26)$$

şeklinde bulunabilir (Dağsöz, 1977).

Aynı şekilde üçgensel diziliş için,

$$f_{\text{üçgen}} = 1 + (1.87 - \frac{1.70}{X_{L,\text{üçgen}}}) \frac{1}{(\frac{4}{\pi} X_{T,\text{üçgen}} \Psi) - 0.4} \quad (3.27)$$

$$Nu_{\text{üçgen}}(T) = f_{\text{üçgen}} Nu_0(T) \quad (3.28)$$

ile üçgensel dizilmiş borular için Nusselt sayısı bulunur ve fırında nasıl bir diziliş varsa o dizilişin Nusselt sayısı ($Nu_{seçim}(T)$) alınarak kanaldaki borular için ısı transfer katsayısı, $k_f(T)$, sıcaklığa bağlı ısısal iletkenlik katsayısı olmak üzere şu şekilde hesaplanabilir:

$$h_0(T) = Nu_{seçim}(T) \frac{k_f(T)}{D} \quad (3.29)$$

Burada yapılan işlem fırının her iki yan duvarı için de aynı şekildedir. Çünkü yan duvarlardaki boru dizilişleri simetrik bir yapıdadır.

Yan duvarlar için toplam ısı transfer katsayısı (over-all heat transfer coefficient) ve ortalama sıcaklık farkı bulunarak ısı ifadesinde yerine koyulursa, yan duvarlardaki borulardan fırın havasına verilen ısı bulunmuş olur. En genel ısı transfer katsayısını bulurken borularda meydana gelebilecek kirlenmeleri de göze alınması gerekmektedir. Boruların içlerinde veya dışlarında paslanmalar, zamanla aşınmalar olabilir. Bu tip kirlenmeler ısıнын transfer edilmesinde bir direnç vazifesi görerek ısı iletimini güçleştirir. Buradan da, borularda oluşabilecek kirlenmelere dikkat edilmesi

gerektiği açıkça ortaya çıkmaktadır. İçlerinde sıcak su taşıyan bu tip ünitelerde boruların içlerindeki kirlenme faktörü $0.176 \times 10^{-3} \text{ m}^2\text{K/watt}$; dıştaki kirlenme faktörü de $0.4 \times 10^{-3} \text{ m}^2\text{K/watt}$ alınabilir. (3.21) ve (3.29) denklemlerini, boruların dış ve iç yüzey alanları ile çaplarını ($A_o, A_i, D, D_i, m^2, m^2, m, m$), kirlenme faktörlerini ($R_{fi}, R_{fo}, \text{m}^2\text{K/watt}$) ve boruların ısısal iletkenlik katsayıları ($k_{boru}, \text{watt/mK}$) ile uzunluğunu (L, m) aşağıdaki gibi en genel ısı transferi katsayısında toplarsak, fırın havası sıcaklığına bağlı olarak;

$$U(T) = \frac{1}{\frac{A_o}{A_i} \frac{1}{h_i} + \frac{A_o}{A_i} R_{fi} + \frac{A_o \ln\left(\frac{D}{D_i}\right)}{2\pi k_{boru} L} + R_{fo} + \frac{1}{h_o(T)}} \quad (3.30)$$

elde edilebilir.

Isıtma suyunun sıcaklığı ile ısıtılmaya çalışılan havanın birbirlerine göre hareketleri karşıt akış (cross-flow)'u andırmaktadır. Aralarında bir sıcaklık farkı yazılmak istense bu, *ortalama sıcaklık farkı* olmalıdır. Ortalama sıcaklık farkı da logaritmik sıcaklık farkı ile düzeltme faktörünün çarpılmasıyla elde edilebilir.

Isıtma suyunun fırına giriş sıcaklığı T_g , fırından çıkış sıcaklığı T_c , fırın havasının ilk sıcaklığı T_o , fırın havasının değişken sıcaklığı da T olmak üzere logaritmik sıcaklık farkı,

$$\Delta T_{lm}(T) = \frac{(T_c - T_o) - (T_g - T)}{\ln\left(\frac{T_c - T_o}{T_g - T}\right)} \quad (3.31)$$

ile bulunabilir ve düzeltme faktörleri de,

$$N(T) = \frac{T_o - T}{T_c - T_g} \quad C(T) = \frac{T_c - T_g}{T - T_g}$$

$$F(T) = \frac{\sqrt{N(T)^2 + 1}}{N(T) - 1} \frac{\ln\left(\frac{1 - C(T)}{1 - N(T)C(T)}\right)}{\ln\left(\frac{2 - C(T)(N(T) + 1 - \sqrt{N(T)^2 + 1})}{2 - C(T)(N(T) + 1 + \sqrt{N(T)^2 + 1})}\right)} \quad (3.32)$$

ele alınarak ortalama sıcaklık farkı:

$$\Delta T_m(T) = F(T) \Delta T_{lm}(T) \quad (3.33)$$

ile ifade edilebilir. Görüldüğü gibi sıcaklık farkı fırın havasının sıcaklığı ile değişmektedir. Yan taraflardan fırına verilen ısı şu şekilde bulunabilir:

$$Q_{yan}(T) = 2 U(T) A \Delta T_m(T) \quad (3.34)$$

İki katsayısı ile çarpılmasının nedeni sol ve sağ yanların bulunmasından dolayıdır. Hesaplamalarda simetriden dolayı tek taraf kullanılmıştır.

Fırında sağ ve sol yanlarda bir kanal içindeymiş gibi bulunan boruların yanı sıra tabanında bulunup, fırın ortamıyla direkt temas halinde bulunan borular da bulunabilmektedir. Bu boruların fırın havasını ısıtmadaki etkilerini kanallı halde yapılmış çalışmaya benzer bir işlemle bulunabilir. Burada da boruların uzunlukları, sayıları, iç ve dış çapları gibi verilere ihtiyaç vardır. Bir tek boru için Nusselt sayısını veren (3.25) denklemi göz önüne alınarak ve bunu boru sayısı ile çarparak elde edilebilen Nusselt sayısından taban bölgesindeki borular için dış yüzeydeki ısı transfer katsayısı bulunabilir. Boruların içindeki ısı transfer katsayısı (3.21) denklemi ile bulunmuştu. Bunlar yardımıyla taban için en genel ısı transferi denklemini (U_{taban}) yazılabilir. Sıcaklık farkını ve boruların dış yüzey alanları (A_{taban}) da belli olduğuna göre fırının tabanından havaya aktarılan ısıyı veren ifade:

$$Q_{altboru}(T) = U_{taban}(T) A_{taban} \Delta T_m(T) \quad (3.35)$$

ile verilebilir.

Fırının tavanından fırın havasına verilen ısı da tabana benzer metotla bulunmaktadır. Ancak, tavandaki borular da bir kanal içerisine kapatılmışlardır. Boruların yapıları da farklılıklar gösterdiği için A_{tavan} alanında dikkat etmek gereklidir. Tavandaki borulardan fırın havasına aktarılan ısı şu şekilde verilebilir:

$$Q_{üstboru}(T) = U_{tavan}(T) A_{tavan} \Delta T_m(T) \quad (3.36)$$

Fırının tamamında bulunan silindirik boruların fırın akışkanı olan havaya aktardıkları ısı, değişik konumlardaki ısıların toplamı olarak yazılmıştır:

$$Q_{\text{verilen}}(T) = Q_{\text{yan}}(T) + Q_{\text{altboru}}(T) + Q_{\text{üstboru}}(T) \quad (3.37)$$

Burada kullanılan yaklaşım, borular içerisindeki su sıcaklığının tüm kesimlerde aynı düzeyde değişiyormuş gibi alınmasıdır. Başka bir deyişle her bölge için su sıcaklığı farkı eşdeğerdi.

3.2.2. Fırına Verilen Isıyı Soğuran Elemanlar

3.2.2.1. Fırın duvarları

Fırını dikdörtgenler prizması olarak düşünersek altı yüzü bulunur. Geçişli fırın için iki kapak ve dört tane de duvar ele alınır. Bu yüzlerdeki kayıplar, izolasyon malzemesi ve uygun duvar malzemesi seçilerek minimuma indirilebilir. Elektrik dağıtım trafolarının kurutulmasında kullanılan fırınlarda izolasyon malzemesi olarak ‘cam yünü (ısısal iletkenlik katsayısı $0.05 \text{ kcal/mh } ^\circ\text{C}$)’ kullanılması ve minimum izolasyon kalınlığının 150 mm olması yeterli gelmektedir. Kapak bölgelerinden de bir miktar basınç kaybı oluşmaktadır. Bu değer saatte 0.43 mbar ’a kadar normal kabul edilmiştir (GEC ALSTHOM fırını). Duvarlardan kayıp olan ısıyı teorik olarak bulmak için izolasyon kalınlığını, fırın duvarları kalınlıklarını, ısısal iletkenlik katsayılarını ve alanların bilinmesi gerekmektedir. Modelde yapılan hesaplara göre ΔX_{12} saç malzemesinin kalınlığı, (m); ΔX_{23} izolasyon malzemesinin kalınlığı, (m); ΔX_{34} dış cephe malzemesinin kalınlığı, (m.); $h_D(T)$ dışarısının ısı transfer katsayısı, (watt/m²K); k_{12} saç malzemesinin ısısal iletkenlik katsayısı, (watt/mK); k_{23} izolasyon malzemesinin ısısal iletkenlik katsayısı, (watt/mK); k_{34} dış cephe malzemesinin ısısal iletkenlik katsayısı, (watt/mK); A_0 toplam ısı transfer alanı olmak üzere (m²),

$$U_0(T) = \frac{1}{\frac{1}{h_0(T)} + \frac{\Delta X_{12}}{k_{12}} + \frac{\Delta X_{23}}{k_{23}} + \frac{\Delta X_{34}}{k_{34}} + \frac{1}{h_D(T)}} \quad (3.38)$$

yardımıyla ve T_{du} da fırın dışı sıcaklığı alınarak,

$$Q_{\text{üstyandu var lar}}(T) = U_0(T) A_0 (T - T_{du}) \quad (3.39)$$

ifadesi ile yan ve üst duvarlardan sızan ısı bulunabilir. Fırının iki kapağından sızan ısıyı bulabilmek için, kapakların ısı transfer katsayıları ele alarak yukarıdaki işlemlerin tekrarlanması yeterlidir. Sonuç, aşağıdaki denklem ile verilebilir:

$$Q_{\text{kapaklar}}(T) = U_{00}(T) A_{00} (T - T_{du}) \quad (3.40)$$

Taban tarafından soğurulan ısı da, ısı transfer katsayılarının ve alanların ısı ifadesinde yazılmasıyla bulunmaktadır:

$$Q_{\text{taban}}(T) = U_{000}(T) A_{000} (T - T_{du}) \quad (3.41)$$

(3.39), (3.40), (3.41) denklemlerinin toplamı, fırın duvarları tarafından soğurulan ısıyı verecektir:

$$Q_{\text{du var lar}}(T) = Q_{\text{üstyandu var lar}}(T) + Q_{\text{kapakla}}(T) + Q_{\text{taban}}(T) \quad (3.42)$$

3.2.2.2. Sirkülasyonu Sağlayan Levhalar

Bu plakaları oluşturan metalin ısısal iletkenliği oldukça iyi olduğundan fazla bir ısıyı soğurmayacağı düşünülebilir. Eğer alüminyum veya çinko alaşımlı metaller yerine ısı iletimi düşük malzemeler kullanılırsa ısı soğurulacağından doğrudan maddi kayıpları getirecektir. Levhaya ait boyutlar ve ısı özellikleri yardımıyla ısı soğurma miktarı bulunabilir. Hava, fan tarafından sirküle edilirken düşey durumda bulunan levhanın üzerinde bir sınır tabaka oluşturur. Bu sınır tabakası, fırında trafo olduğu durumlarda trafo konumlarına göre değişmektedir. Sınır tabakaya göre havanın levha üzerindeki hızından yola çıkılarak akış tipi bulunabilir. Güçlü bir sirkülasyonda akış türbülanstır. Dikey düzlemler için,

$$Nu(T) = 0.33 Re(T)^{0.6} Pr_f(T)^{\frac{1}{3}} \quad (3.43)$$

ifadesi kullanılarak film yüzeyin ısı transfer katsayısı hesaplanabilir. Daha önce yapılmış deneysel çalışmalarda, kanal içinde bulunan boru demeti için kanal sınırı (levha) nın ısı transfer katsayısı, kanalın ısı transfer katsayısının 0.7 katı olduğu görülmüştür (Dağsöz, 1977). Levhanın fırının içine bakan kısmının ısı transfer ifadesi $h_2(T)$, boru demetine bakan kısmının ısı transfer ifadesi de $h_1(T)$ olarak alınır ve levhanın kalınlığı x ile gösterilirse,

$$U_{levha}(T) = \frac{1}{\frac{1}{h_1(T)} + \frac{x}{k_{levha}} + \frac{1}{h_2(T)}} \quad (3.44)$$

$$Q_{levha}(T) = 2U_{levha}(T)A_{levha}(T - T_0) \quad (3.45)$$

ile soğurulan ısı ifadesi verilebilir. İki ile çarpılmasının nedeni sol ve sağ yanlarda tavana kadar olan bölümleri içermesidir.

3.2.2.3. Paletler

Fırın tabanındaki boruların üst kısımlarında bulunan paletlere trafolar yerleştirilir ve kurutma işlemi boyunca üzerlerinde kalırlar. Oldukça sert malzemeden yapılmalıdırlar ki tonlara varabilen ağırlıklardaki trafo gruplarını sıcaklık genişmesi olmasına rağmen üzerlerinde tutabilsinler. Fırının ortam sıcaklığından itibaren çalışmaya başladığını düşünürsek, paletler diğer elemanlara göre daha fazla ısı çekeceklerdir. Paletlerin etrafında dolanan hava için en genel ısı transfer denklemi yazılmıştır ($U_{palet}(T)$). Palet sıcaklığının değişiminin zaman bağlı olan logaritmik ifadesi kullanılmıştır. Paletlerin sıcaklıkları, katı bir maddenin sıcaklık değerini veren aşağıdaki denklem ile bulunmuştur:

$$T_{\text{palet}}(T, t) = T + (T_0 - T)e^{\frac{-h_0(T)A_{\text{palet}}}{e_{\text{palet}}C_{p_{\text{palet}}}V_{\text{palet}}}t} \quad (3.46)$$

$$Q_{\text{palet}}(T, t) = U_{\text{palet}}(T)A_{\text{palet}}(\Delta T_{\text{lm}}(T, t)) \quad (3.47)$$

bağıntısı ile paletlerin soğurduğu ısı bulunabilir. Fırında yapılan kurutma işlemleri tekrarlama şeklinde olduğundan, paletlerin sıcaklıkları fırın ortamı ile uyum sağlar düzeye gelebilmektedir.

3.2.2.4. Transformatörler

Fırına yerleştirilen transformatörler sabit sayıda ve özelliklerde değildirler. Herhangi bir işlemde, çok farklı yapıdaki transformatörler bir arada fırına yerleştirilebilirler. Fırınlarda ısı kapasitelerine etki eden transformatörlerin tek tek ele alınarak sıcaklıklarının ve soğurdukları ısıların tespit edilmesi her işlem için yapılamaz. Bu nedenle şu yaklaşım kullanılmıştır: Transformatörleri çekirdek, bakır (veya alüminyum), metal parçalar ve izolasyon malzemeleri oluşturmaktadır. Değişen kapasitelerde olan transformatörler için bu malzemelerin ağırlıklarının toplam ağırlığa oranları hesaplanmıştır. 100 kVA, 630 kVA ve 1600 kVA'lık üç transformatörün toplam ağırlıklarına oranla çekirdek, bakır, metal ve izolasyon malzemesi oranları bulunmuş ve bunların da ortalaması alınarak bir trafo içerisindeki bileşim yüzdeleri ortaya çıkarılmıştır. Buna göre, ortalama olarak bir transformatörün %55.68'ini çekirdek, %17.05'ini bakır, %25.12'sini metal parçalar ve %2.15'ini de izolasyon malzemeleri oluşturmaktadır. Modelde ele alınan bu oranlar kullanıcılar tarafından istenilen düzeylere çekilebilmektedir.

Yukarıda belirtilen oranlar doğrultusunda katı malzeme olan transformatörün zamanla değişim gösteren yüzey sıcaklığı, ısı transfer katsayısı yardımıyla hesaplanmıştır. Bu sıcaklık değerine göre transformatörlerin ne kadar ısı soğuracakları bilinmektedir. Zamana bağlı olarak da değişecek olan bu ısı değeri,

$$Q_{\text{trafo}}(T, t) = h_{\text{trafo}}(T)A_{\text{trafo}}(\text{Trafo}(T, t) - \text{Trafo}_0) \quad (3.48)$$

ile verilebilmektedir. Trafonun fırın sıcaklığına ve zamana bağlı olan sıcaklığı ($\text{Trafo}(T, t)$), (3.46) denklemindeki yöntem ile bulunmuştur ve transformatörün bileşenlerinin ağırlıkları olarak, bulunan ortalama değerler kullanılmıştır:

$$\text{Trafo}(T, t) = T + e^{\frac{-h(T)A_{\text{trafo}}t}{M\text{Trafo}(0.5568C_{p_{\text{ç.}}} + 0.1705C_{p_{\text{b.}}} + 0.2512C_{p_{\text{m.}}} + 0.0215C_{p_{\text{izo.}}})}} \quad (3.49)$$

$M\text{Trafo}$ ifadesi, fırında bulunan transformatörlerin toplam ağırlığını, trafolar için ısı transfer katsayısını $h(T)$, sabit basıçtaki özgül ısı C_p olmak üzere, sırasıyla ç:çekirdek, b:bakır, m:metal, izo: izolasyonu simgelemektedir.

3.2.2.5. Fırın Havası

Fırında bulunan hava da ısı soğuracaktır. Treybal'ın tanımladığı ifadeye göre sıcaklığa ve zamana bağlı olarak havanın çekebileceği ısı:

$$Q_{\text{hava}}(T, t) = \frac{1}{t} \left(\frac{VOL}{v_{\text{nemli}}(T)} CS(T)(T - T_0) \right) \quad (3.50)$$

ile verilebilir. (3.50) ifadesinde başlangıç ve t zamanındaki sıcaklıkları T_0 ve T , havanın hacmi VOL , sıcaklığa bağlı özgül ısı $CS(T)$, birim kütesinin hacmi $v_{\text{nemli}}(T)$ ile ifade edilmektedir.

3.2.3. Fırının Isı Kapasitesinin ve Sıcaklığının Bulunması

3.2.1. ve 3.2.2. bölümlerinde, fırın havasına aktarılan ısıнын bulunuşunu ve fırın elemanları tarafından soğurulması açıklanmıştı. İki bölümde de elde edilen ısı ifadelerini tek bir denklem ile ifade ederek fırının ısı kapasitesi bulunabilir. Bu ısı:

$$Q_{\text{toplam}}(T, t) = Q_{\text{verilen}}(T) - Q_{\text{duvarlar}}(T) - Q_{\text{levha}}(T) - Q_{\text{palet}}(T, t) - Q_{\text{trafo}}(T, t) - Q_{\text{hava}}(T, t) \quad (3.51)$$

ile verilebilir. Borulardan fırına verilen ısı ile duvarların ve levhaların soğurduğu ısılar zamandan bağımsız olarak incelenmişlerdir. Levhaların ısı iletkenlik katsayılarının yüksek oluşları zamanla sıcaklıklarının değişimine neden olamayacak ve fırın havasının sıcaklığı ile değişeceklerdir. Fırın duvarları da fırındaki hava sıcaklığına bağlı olarak ısı soğuracaklardır. Zaten fırın havasının sıcaklığı da, zamana bağlı olarak değişmektedir.

Fırın havası kapalı bir sistemde bulunmaktadır. Kapalı sistemler için yazılabilecek enerji dengesi yardımıyla hava sıcaklığının zamana göre değişimi bulunabilir:

$$M_{\text{toplam}} C_{v_{\text{toplam}}} \frac{dT}{dt} = Q_{\text{toplam}}(T, t) \quad (3.52)$$

(3.52) denkleminde sistemin toplam kütlesi M_{toplam} , sabit hacim altındaki özgül ısı $C_{v_{\text{toplam}}}$ ile verilmekte olup, özgül ısı değeri sabit basınç altındaki özgül ısı olarak kullanılmıştır ($C_{p_{\text{toplam}}}$). Sistem için kütle ve özgül ısı çarpımlarını MC ile gösterelim. MC ifadesinde sistemi oluşturan borular, levhalar, izolasyonlar, fırın havası, paletler ve transformatörler bulunacaktır. Fırın duvarları için yazılacak ifadede duvarların %97'sinin cam yünü ve %0.03'ünün de alüminyum alaşımlı saçlar olduğu ele alınmıştır. MC 'nin sıcaklığa bağlı olan değeri (3.52)'de yerine yazılması ile hava sıcaklığının zamana göre dağılımı bulunmaktadır.

3.3. MATEMATİKSEL MODEL

Geçişli fırınların ısı kapasitelerinin araştırılması için hazırlanan modelde denenilen fırınlara ait veriler aşağıda verilmektedir (GEC ALSTHOM Elektrik A.Ş. fırınları). Bu değerler, diğer fırınlar için değiştirilerek kullanılabilirler. Aşağıda bulunan veriler fabrikaya ait olan dokümanlardan çıkartılmıştır:

3.3.1. ÖRNEK FIRIN VERİLERİ:

- Fırında kullanılabilen boyutlar:

Uzunluk(metre):	Uzunluk=6 m
Genişlik (metre):	Genişlik=2.5 m
Yükseklik (metre):	Yükseklik=2.5 m

- Isıtmada kullanılan silindirik borunun iç çapı (D_i) , dış çapı (D) , uzunluğu (TL):
0.0474 m 0.0661 m 290m
- Isıtmada kullanılan silindirik borunun ısısal iletkenlik katsayısı: $k_s=50$ watt/mK
- Buharın fırına giriş sıcaklığı (T_g) ve çıkış sıcaklığı (T_ϕ): 160°C , 140°C
- Buharın kütle akış hızı (M): 0.688 kg/sec:
- Fırında sirküle edilen akışkan: HAVA
- Fırında oluşturulan sirkülasyon miktarı (CIR): 5 m³/sec
- Fırında sirküle edilen akışkanın işleme başlama sıcaklığı (TBASLA) : 32.2°C
- Fırının dışındaki ortamın sıcaklığı (TDİŞ).....:18°C

Boru demeti ile ilgili veriler;

- Boru demeti kanalının yüksekliği (L_H), genişliği (L_T), uzunluğu (UZ).....:
2.5 m 0.20 m 6 m
- Fırının bir kısmında bulunan boruların uzunlukları (LL): 86.5 m
- Silindirik boruların kanal içerisindeki yerleşim şekilleri: Üçgen Diziliş
- Borular için,

$$S_{T. \text{ üçgen}}=0.245 \text{ m} \quad S_{L. \text{ üçgen}}=0.245 \text{ m} \quad S_{A. \text{ üçgen}}=0.185 \text{ m}$$

- Boru demeti kanalının bir yüzü (Al levha) için genişlik (x), boy (y), kalınlık (z)
ve ısısal iletkenlik katsayısı (k_{levha}) : $x=6 \text{ m}$, $y=2.5 \text{ m}$, $z=0.002 \text{ m}$,
 $k_{\text{levha}}=2.4 \times 10^2 \text{ watt/m}^2\text{K}$

Fırın duvarı ile ilgili veriler;

- Kanala bağlı sac malzemesinin kalınlığı ve ısısal iletkenlik katsayısı:

$$\Delta x_{12}=0.002 \text{ m} \quad k_{12}=2.4 \times 10^2 \text{ watt/mK}$$

- İzolasyon malzemesinin kalınlığı ve ısısal iletkenlik katsayısı:

$$\Delta x_{23}=0.15 \text{ m} \quad k_{23}=2 \times 10^{-4} \text{ watt/mK}$$

- Cephe malzemesinin (sabit değil) kalınlığı ve ısısal iletkenlik katsayısı:

$$\Delta x_{34}=0.3 \text{ m}$$

$$k_{34}=2.4 \times 10^{-1} \text{ watt/mK}$$

- Fırının tabanında bulunan boru sayısı (BS) ve uzunluğu (UL): BS=15 UL=6 m.
- Fırının tabanında bulunan boruların dış çapları (D1).....:D1=0.0661 m.
- Fırının tabanında bulunan boruların iç çapları (D1_i).....:D1_i=0.0474 m.
- Fırının tavanında bulunan boruların uzunlukları (UU).....:UU=42.6 m.
- Fırının tavanında bulunan boruların dış çapları (D2).....:D2=0.0661 m.
- Fırının tavanında bulunan boruların iç çapları (D2_i).....:D2_i=0.0474 m.

Transformatör ile ilgili veriler;

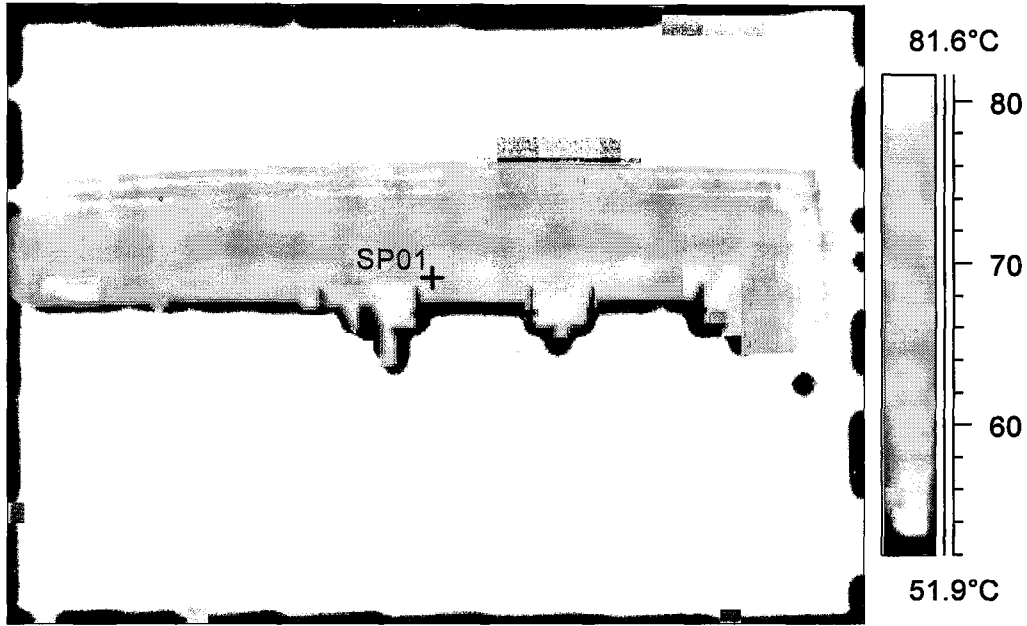
- Fırına yerleştirilen transformatör sayısı (TSA YISI).....:TSA YISI=değişken
- Fırına yerleştirilen transformatörlerin toplam ağırlıkları:.....MTRAFO=değişken
- Fırına yerleştirilen transformatörlerin toplam dış yüzey alanları:.....A_{trafo}=değişken

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1. Fırındaki Enerji Dengesinin Termal Kamera İle Görüntülenmesi ve Analizi:

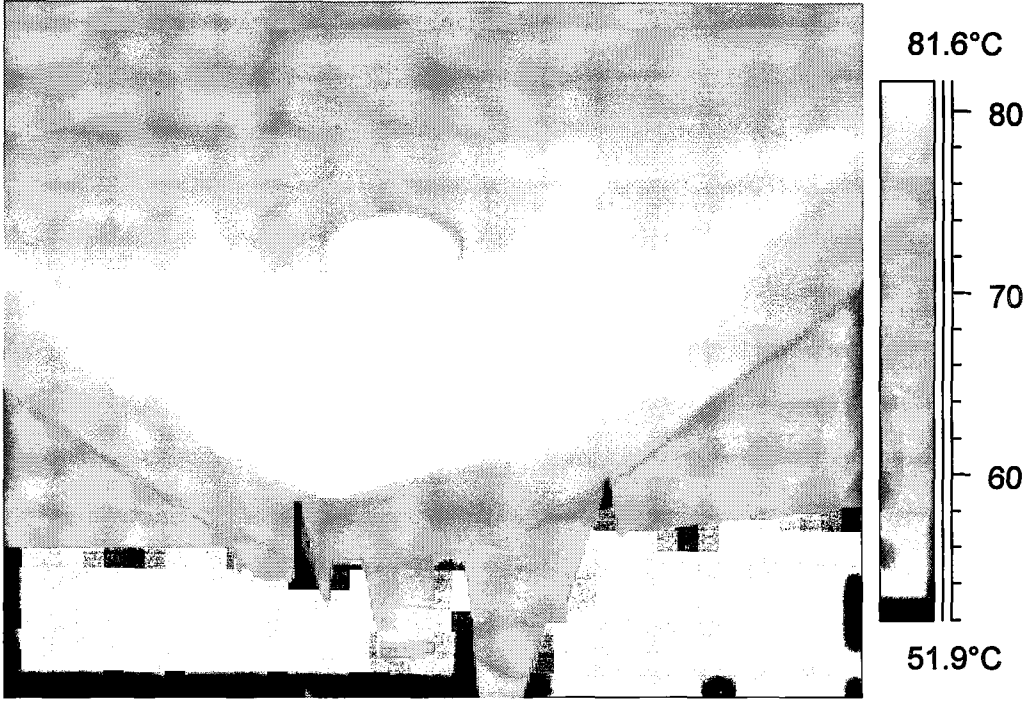
GEC ALSTHOM Elektrik A.Ş.'de bulunan geçişli fırının (fırın no:2) içerisindeki sıcaklık dağılımı görüntülenmek istendiğinde fırın gözetleme pencerelerinden görüş açısının dar oluşu ve gözetleme penceresi camının sıcaklığı ile fırın ortamı sıcaklığı arasında belirgin bir fark olmadığından, IR kamera yalnızca cam sıcaklığını gösterecektir. Bu nedenle fırın kapaklarından birini açıp, ölçüm yapma yolu seçilmiştir.

Fırın kapağı açılmadan önce kontrol panelinden duvar sıcaklığı ve hava sıcaklığı 82°C okunmuştur. Fırında trafo yok iken ve ısıtma buharının fırına giriş ve çıkış vanaları kapalı halde iken, fırının fanı çalıştırılarak içeride hava sirkülasyonu sağlanmış ve tümüyle eşdeğer bir sıcaklık dağılımının oluşması beklenmiştir. Belirli bir süre sonunda; fan çalışmaya devam ederken, fırının arka kapağı açılmaya başlanmıştır.



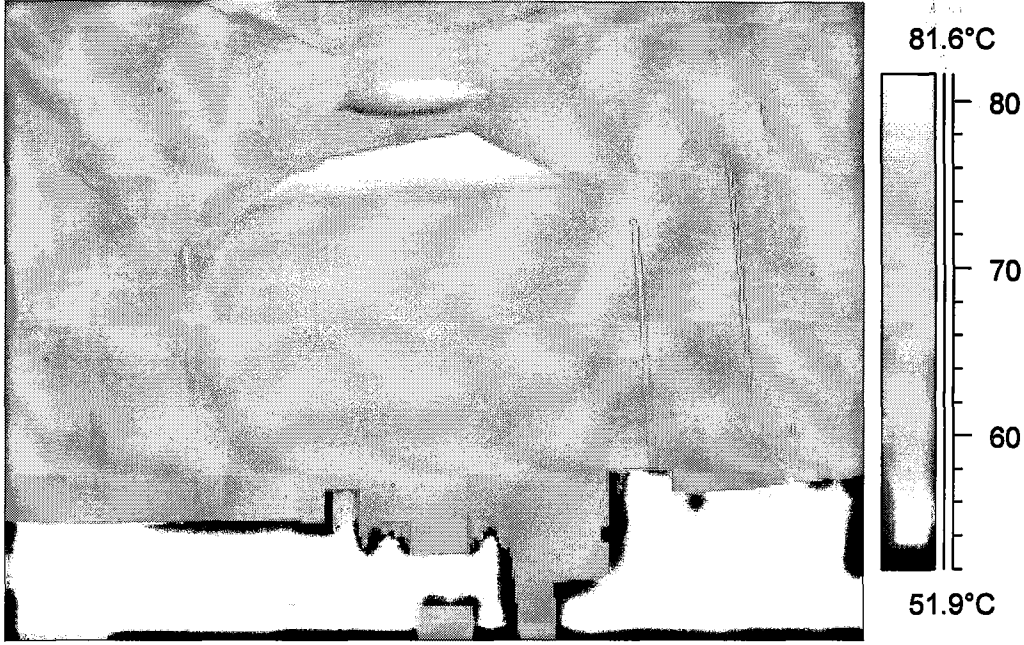
Şekil-4.1: Bir geçişli fırının prosese göre arka kapağının açılmaya başlandığı ilk anlar görülmektedir. Sıcaklık dağılımı net olarak görülebilmektedir. EK-A'da orijinal görüntüsü bulunmaktadır.

Şekil-4.1'de bulunan resmin genelindeki sıcaklık dağılımına bakıldığında 51.9°C ile 81.6°C arasında değişmektedir. Fırın kapağının dış kısımları ve diğer dış yüzeyler 51.9°C sıcaklık değerinde ve altında bulunurken, çalışmayan fırının içerisindeki en yüksek sıcaklık tavan bölgesinde 81.6°C olarak açık renkte görülür. Fırın sıcaklığının da ortalama 86°C olduğu gözlenmektedir. Fırın kapağı ile diğer duvarlar arasına bakıldığında sıcaklık farkı gözlenmez. Bu da fırın kapağından dolayı herhangi bir ısı kaybının olmadığını ifadesidir.



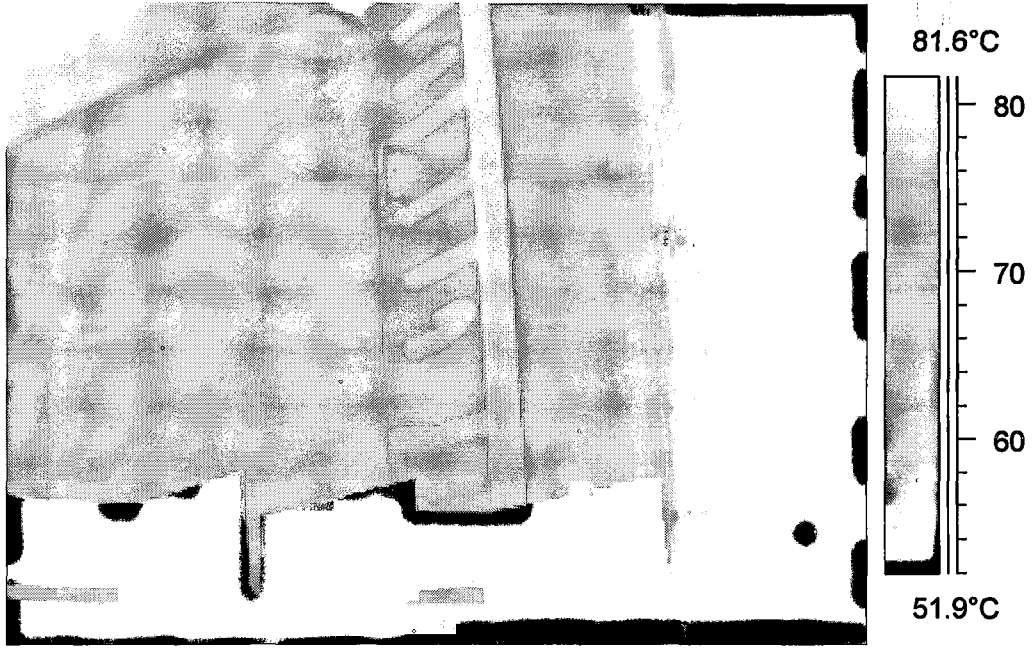
Şekil-4.2: Bir geçişli fırının prosese göre arka kapağının yarıya kadar açılmış hali görülmektedir. Fırının üst kısımlarındaki sıcaklık dağılımı net olarak görülebilmektedir. EK-A’da orijinal görüntüsü bulunmaktadır.

Şekil-4.2’deki resimde, arka kapak yarıya kadar açılmışken fırın tavanının görüntüsü alınmıştır. Resimdeki renk tonlarına göre sıcaklık farkları görülmektedir. Fırın tavanında bulunan havalandırma boşlukları ve tavan malzemesindeki sıcaklıklar, fanı ve tavandaki boruları kaplayan saç malzemesinin sıcaklığına göre daha fazladır.



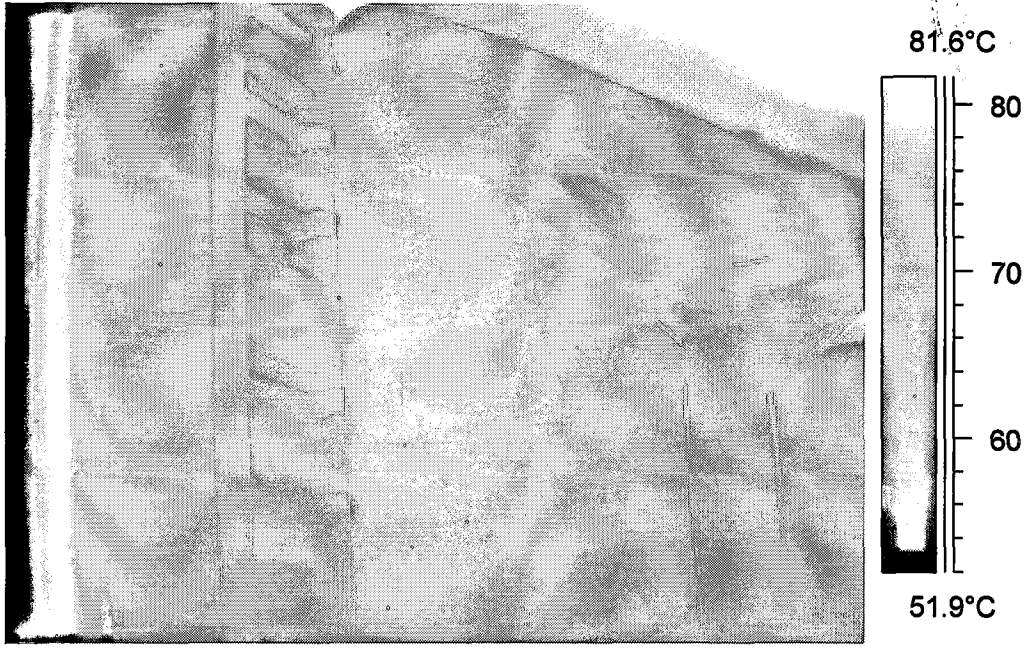
Şekil-4.3: Bir geçişli fırının prosese göre arka kapağının yarıdan fazlasının açılmış hali. Sıcaklık dağılımı, levhaların aralıkları ve üst kısımlar net olarak görülebilmektedir. EK-A'da orijinal görüntüsü bulunmaktadır.

Şekil-4.3'deki resimde, kapak fazlasıyla açılmışken sıcaklık dağılımı görülmektedir. İlk dikkati çeken, tavanın arka kısmındaki (ön kapağa yakın kısım) sıcaklığın, fırında bulunan diğer kısımlardaki sıcaklıklara göre fazla oluşudur. Tavanda kullanılan malzemenin ısısal iletkenlik katsayısının düşük oluşu, ısınmış olan tavan sıcaklığının bir anda düşmemesini sağlamıştır. Boruları çevreleyen Al alaşımlı saçlarda ise ısı iletiminden dolayı sıcaklık düşüşü gözlenmiştir. Özellikle yan duvarlarda bulunan saçların orta kısımları resimde de görüldüğü gibi diğer bölgelere göre düşük sıcaklıktadırlar. Bu kısımdaki saç metalin sonradan ilave edildiği de resimde seçilmektedir. Fanın bulunduğu kısımdan IR ışınlarını almak için yeterli konumda olunamadığından fan boşluğunda düşük sıcaklık gözlenir. Tavanda bulunan saçlar da diğer bölgelere göre düşük sıcaklık değerlerindedir. Bu bölgelere havanın yeterince temas etmemesi sıcaklıklarını bu yönde etkilemektedir. Fırının diğer kapağının alt bölgeleri bu resimde net olarak görülmemesine rağmen, sıcaklık farkı belirlemektedir.



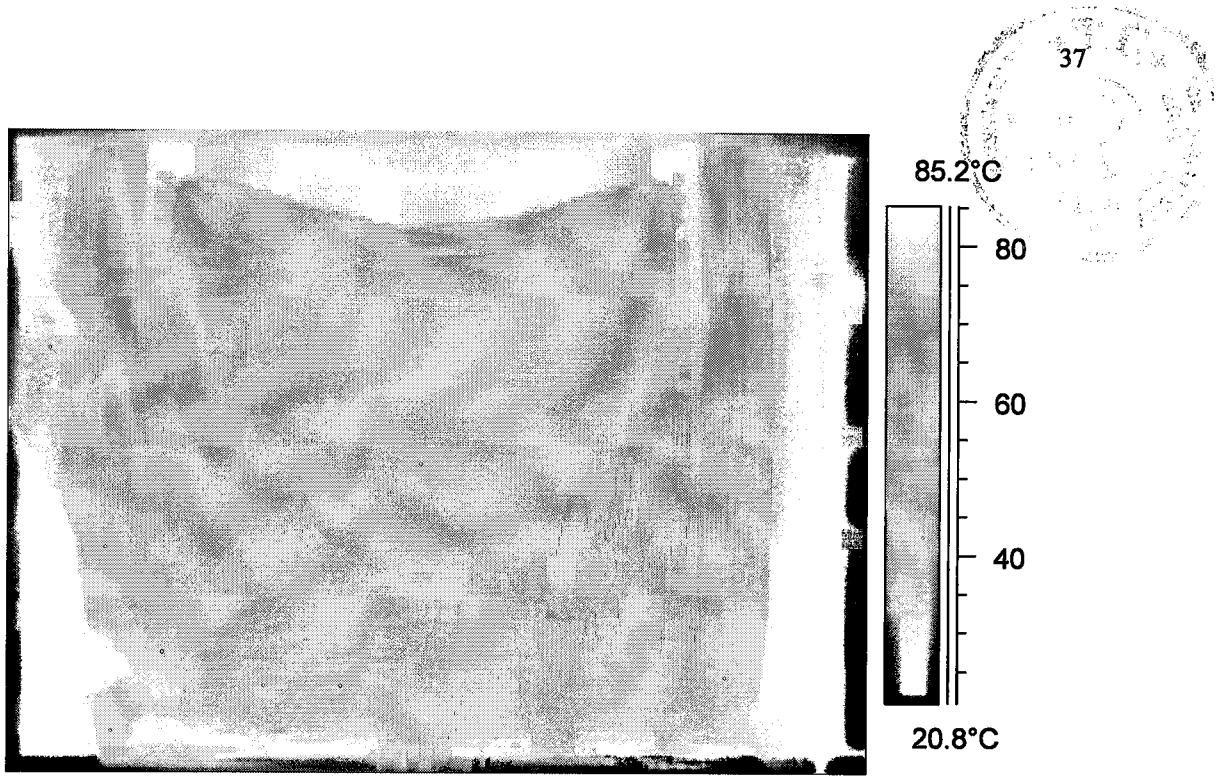
Şekil-4.4: Bir geçişli fırının yan duvarlarındaki sıcaklık dağılımı görülmektedir. Kapak ve dış yüzeyler ile iç bölgeler sıcaklıklarının ayrımı net olarak yapılabilir. Levha üzerinde farklı bir dağılım görülmektedir. EK-A'da orijinal görüntüsü bulunmaktadır.

Şekil-4.4'deki resimde, arka kapağa göre sağ yanın sıcaklık dağılımı görülmektedir. Boru ile saç metalleri arasındaki sıcaklık farkı oldukça iyi seçilmektedir. Borular 80°C ' da iken saç sıcaklığı 60°C civarındadır. Fan çalışmakta ve hava sıcaklığı azar azar artmaktadır. Diğer bölgelere göre yüksek sıcaklık değerinde olan tavan, bu resimde de görülebilmektedir.



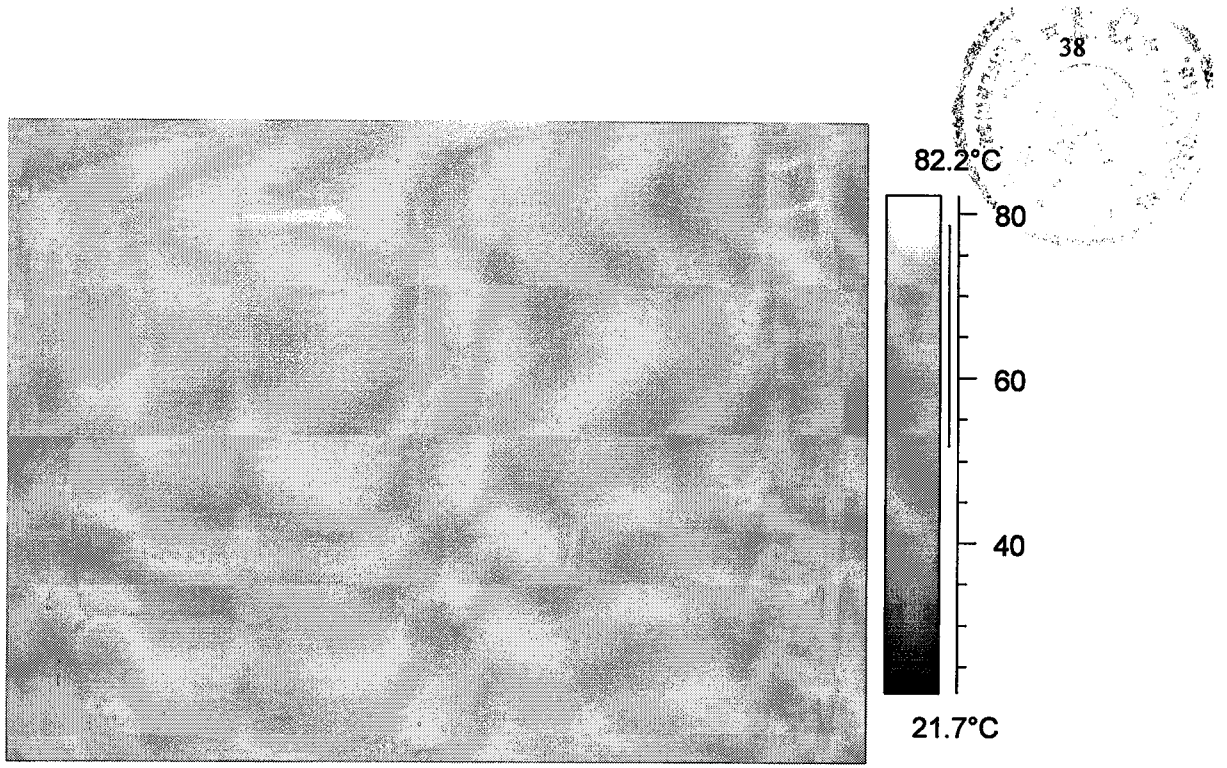
Şekil-4.5: Bir geçişli fırının yan duvarlarındaki sıcaklık dağılımı görülmektedir. Levhalar üzerindeki sıcaklık dağılımına dikkat edilmelidir. EK-A'da orijinal görüntüsü bulunmaktadır.

Şekil-4.5'deki resimde, arka kapağa göre sol yanın sıcaklık dağılımı görülmektedir. Boru ile saç metalleri arasındaki sıcaklık farkı burada da oldukça iyi seçilmektedir. Sağ tarafa göre, sol taraftaki saç sıcaklığı düşüktür. Bu, renk tonundan da görülmektedir. Sol tarafın ilk metal saç diğer konumlara göre farklılıklar göstermektedir. Dikkat edilirse bu metal saçın konumunun tamamıyla düzgün olmadığı belirlenir. Bunun sayesinde fırın ortamı ile kanal arasında boşluklar oluşup, fırında mal olduğu zamanlarda sirkülasyonun yönünde değişiklikler yapacaktır. Böyle bir olay sonucunda trafoların kaplayacakları yüzey alanının da etkisiyle alt kısımlar geç ısınacaktır. Bu konumda da fan çalışmakta ve hava sıcaklığı azar azar artmaktadır.



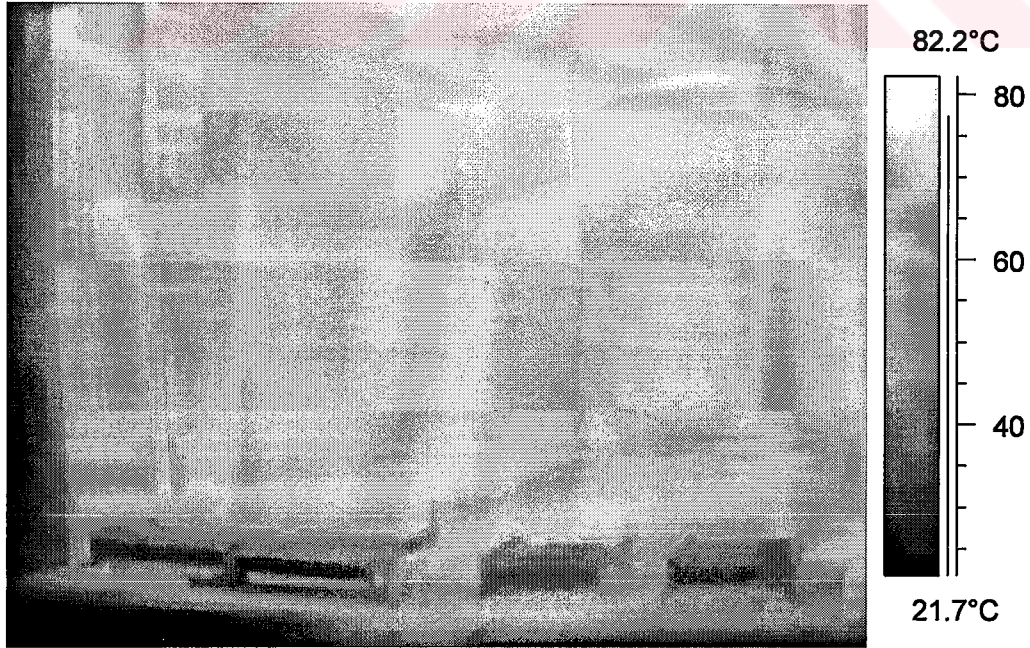
Şekil-4.6: Bir geçişli fırının tüm bölgelerindeki sıcaklık dağılımı görülmektedir. Taban ve yanlardaki dağılıma dikkat edilmelidir. Fırının sağ yanındaki düşük sıcaklıklı elemanlar kağıt bloklar ve algılayıcılardır. EK-A'da orijinal görüntüsü bulunmaktadır.

Şekil-4.6'daki resim, fırın kapağı açıldıktan sonra elde edilen görünümüdür. Daha önceki resimlerde görüldüğü gibi fırın içerisindeki sıcaklıklar bazı noktalarda farklılıklar gösterir. Tavandaki sıcaklığın diğer noktalara göre fazla olduğu ortadadır. Fırında kullanılan metal saçların sıcaklıkları tavan ve boru sıcaklıklarına göre daha düşüktür. Fırın içerisindeki ortalama sıcaklık 70°C civarındadır. Resmin sağ kısmında yaklaşık 40°C sıcaklığında kablolar ve kağıt malzemeler bulunmaktadır. Ön kapağın alt kesimlerindeki sıcaklıklar, üst kesimlere göre daha düşüktür. Sirkülasyonun üstten yapılması nedeniyle ve kapağın alt kısımlarında sirkülasyona etki edecek kanalların olmaması sonucunda, bu bölgelerde sıcaklığın düşük olduğu gözlenir.

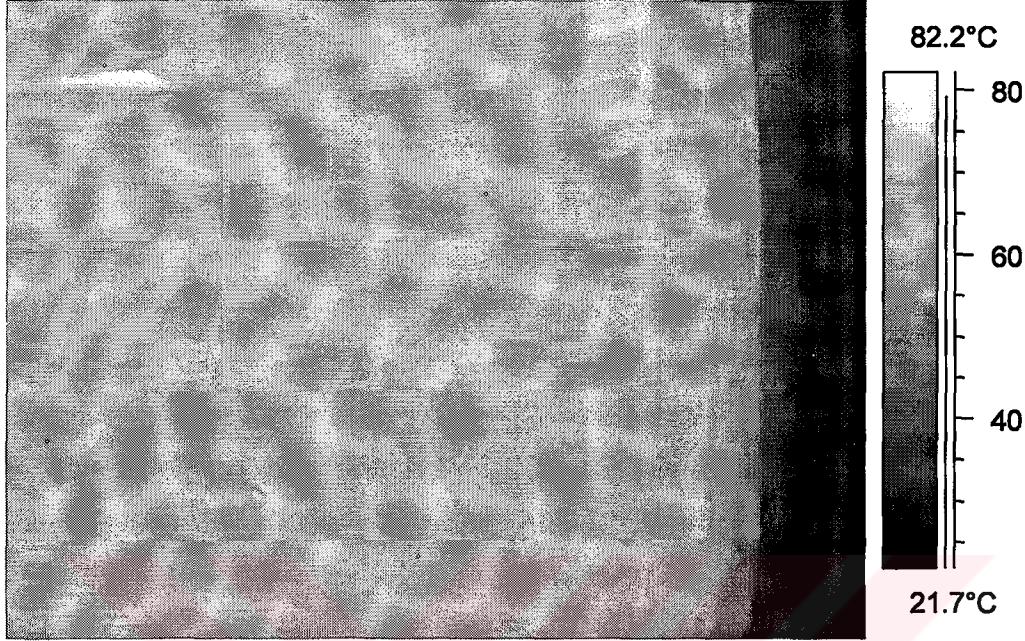


Şekil-4.7: Bir geçişli fırının arka ve sağ yan bölgelerindeki sıcaklık dağılımı görülmektedir. Diğer kapaktaki dağılım incelenmelidir. EK-A'da orijinal görüntüsü bulunmaktadır.

Şekil-4.7'deki resimde, fırına biraz daha yaklaşılarak fırın sağ yanı görüntülenmiştir. Ön kapaktaki (resimdeki kapak) ölü bölge olarak tarif edebileceğimiz, hava sirkülasyonunun tam olmadığı alt bölge sıcaklıkları daha belirgin olarak görülmektedir.

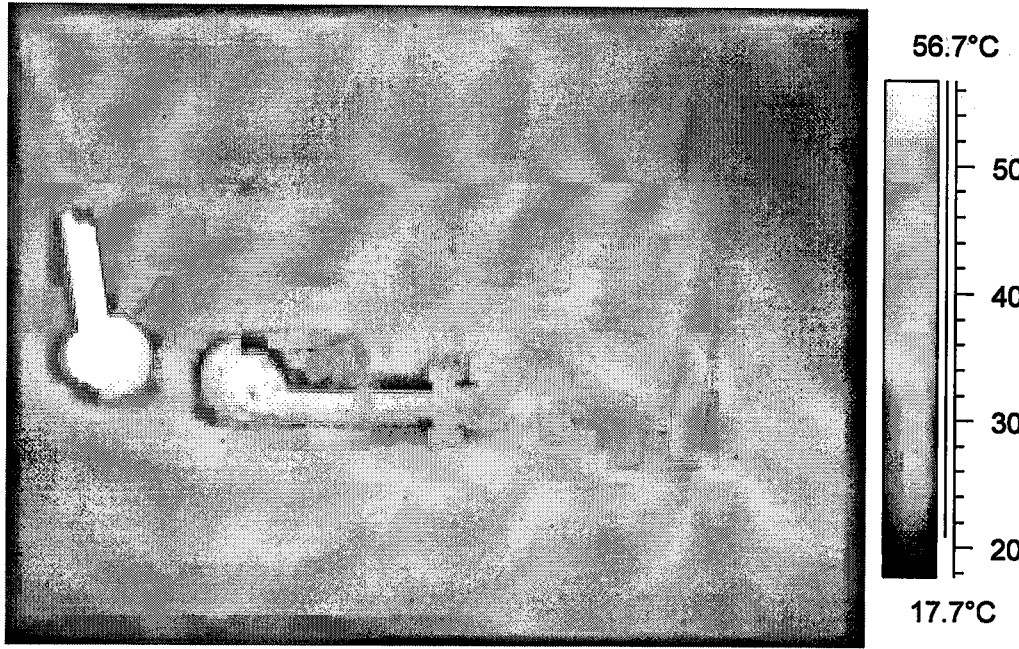


Şekil-4.8: Bir geçişli fırının yan bölgesindeki sıcaklık dağılımı görülmektedir. Diğer kapaktaki sıcaklık dağılımı ve yanlarda bulunan levhalardaki açıklıklar belirgindir. EK-A'da orijinal görüntüsü bulunmaktadır.



Şekil-4.9: Bir geçişli fırının yan bölgesindeki sıcaklık dağılımı görülmektedir. Diğer kapaktaki, tavandaki sıcaklık dağılımı ve yanlarda bulunan levhalardaki açıklıklar belirgindir. EK-A'da orijinal görüntüsü bulunmaktadır.

Şekil-4.8'de fırının sol yan duvarı, Şekil-4.9'da da fırının sağ yan duvarı görüntülenmiştir. Ölü bölgeler ve metal saçlar arasındaki sıcaklık farkı buralarda da görülmektedir.



Şekil-4.10: Bir geçişli fırının sıcak su borularındaki ısı kaybı görüntülenmiştir. İzolasyonlu ve izolasyonsuz olan kısımlardaki sıcaklıklar belirgindir. Vanaların ısı kaybı da görülmektedir. EK-A'da orijinal görüntüsü bulunmaktadır.

Şekil-4.10'daki resimde, fırının dışında bulunan ve sıcak su giriş-çıkışını sağlayan boru hattının bir kısmı ve vanalar görüntülenmiştir. En solda bulunan dikey boruya dikkat edilmelidir. Borunun büyük bir kısmı izolasyon malzemesi ile kaplanmış olmasına rağmen, izolasyonun dağılmış olan kısmı kendisini belli etmektedir. Bu bölgeden fabrika ortamına ısı kaybı olmaktadır. Vanaların olduğu borularda da izolasyon olmadığından ısı kaybı gözlenmektedir. Böyle bir vanadan kaybolan ısının yaklaşık yedi-sekiz metrelik borudan kaybolan ısıya eşdeğer olması nedeniyle, bu vanaların izolasyon malzemesi ile kaplanması gerekmektedir. Vanalardan altta bulunanın sıcaklık farkı nedeniyle kapalı olduğu gözlenmektedir.

4.2 GEÇİŞLİ FIRINLARIN DENEYSEL KONTROLLERİ VE DEĞERLENDİRİLMELERİ

Fabrikada çalışır durumda olan iki adet geçişli fırında yapılan gözlemler sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır. Her kurutma evresi ayrı olarak ele alınmış ve on beşer gün boyunca iki fırının çalışması incelenmiştir. Fırınları ve kurutma sırası şöyle ifade edilmiştir.

Fabrikada bulundurulan dokümanlarda, No _ 98 _ 2.1 ile ifade edilen, 1998 yılında ikinci fırında yapılan ilk kurutma işlemidir. Yani, 98 ifadesi ‘işlem yılı’ nı; 2 ifadesi ‘fırın numarası’ nı; 1 ifadesi de ‘işlem sırası’ nı belirtmektedir. Bu çalışmada ise anlaşılabilir olması açısından, FIRIN-2.1 şeklinde ifade edilmektedir.

2 Numaralı Fırın

FIRIN-2.1. işlemi

A2 = Fırın havasının sıcaklığı,

A3 = Trafonun yüksek gerilim bobininin üst sıcaklığı,

A4 = Trafonun alçak gerilim bobininin üst sıcaklığı,

A5 = Trafonun yüksek gerilim bobininin alt sıcaklığı,

Bu kurutma evresinde fırına 7 adet trafo koyulmuş ve toplam trafo kapasitesi 9190 kVA düzeyindedir. Kurutma işleminin başlangıcında hava sıcaklığı 25 °C, ölçü aletinin bulunduğu trafonun alçak gerilim ve yüksek gerilim bobinlerinin sıcaklıkları yaklaşık 9 °C’ dır. Yüksek gerilim bobininin alt kısım sıcaklığı fırın yazıcısı tarafından tam belgelendirilememiştir. Bunun nedeni, A6 sıcaklığını ifade eden renk kartuşundan kaynaklanmaktadır.

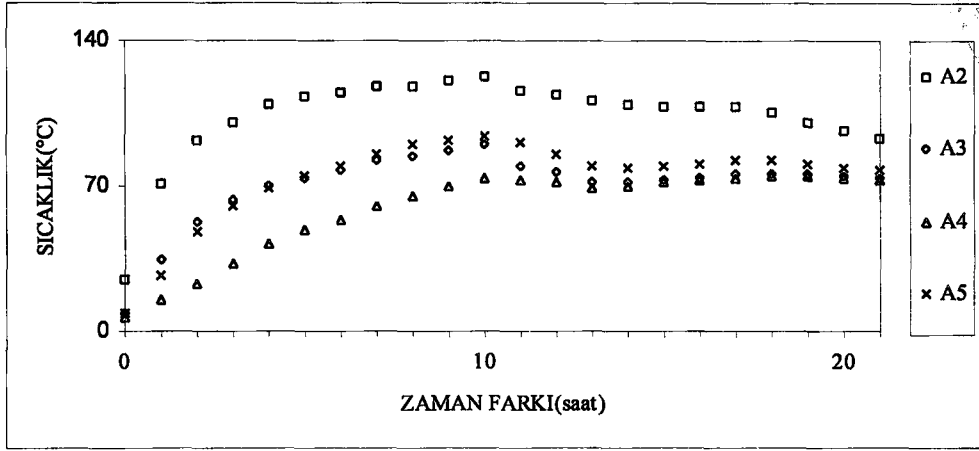
Fırında 9190 kVA kapasiteli trafo grubu varken 4 saat sonunda elde edilen sıcaklıklara bakılırsa:

$$A2 = 113^{\circ}\text{C} \quad A3 = 74^{\circ}\text{C} \quad A4 = 49^{\circ}\text{C} \quad A5 = 75^{\circ}\text{C}$$

Fırın içerisinde olan trafoların en düşük kapasiteli olanı 690 kVA' dır. kVA değeri arttıkça trafo boyutları da artmaktadır. Yedi adet trafo kapağı fırının taban yüzeyi kesiti ile karşılaştırılırsa büyük bir alan kapladıkları görülür. Bu da hava sirkülasyonunu (havanın hızını etkileyerek) doğrudan doğruya değiştirmektedir. Trafo kapağının da bulunuşu, A3 sıcaklık bölgesinde doğal taşınım (free convection) oluşturur. Bu nedenle hava sıcaklığı ile farklılıklar gösterir.

Ölçüm değerlerinde vakum bölgesine bakıldığında ölçü aygıtı fırında ısıtma yapılırken -101 mbar vakum göstermektedir. Normalde vakuma başlarken 300-350 mbar' da olması gereken vakum bu evrede 400-450 mbar' da başlamaktadır. Buradaki yaklaşık 101 mbar fark, fazla vakum yapılmasını gerektirmekte ve enerji kaybı yaratmaktadır. Vakum ölçü aygıtının negatif değerde göstermesi, fırına havanın verildiğini gösterebilir. Yani, normal ısıtma süresinde 0 mbar vakum olması gerekirken 100 mbar basınç fazlası oluşabilir. Diğer bir neden de, vakum ölçü aletinin kalibrasyonunun bozulmuş olmasıdır. Kalibrasyonsuz alet, vakumda farklı sonuçları gösterebilir.

Fırındaki hava sıcaklığı dokuzuncu saat sonunda 123°C ' a kadar çıkmıştır. Buna bağlı olarak trafo sıcaklıkları, $A3 = 90^{\circ}\text{C}$, $A4 = 74^{\circ}\text{C}$ ve $A5 = 90^{\circ}\text{C}$ değerlerine ulaşmıştır. Bu evreden sonra 417 mbar ile vakuma başlanmıştır. Toplam vakum on bir (11) saat sürdürülmüştür. Normal kurutma işleminde üç saatlik ısıtma ve vakum ve altı saatlik vakum ile dokuz saat vakum olmalıdır. İki saatlik fazla vakum yapıldığı görülür. Gerçi 150 mbar düzeyine inmek için gereklidir ancak enerji kaybı yaratmaktadır. Kurutma işlemi toplamı 20-21 saat sürmüştür. Normal süreden 4 saat daha fazladır (Şekil-4.11).



Şekil-4.11: FIRIN-2.1. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği.

FIRIN-2.2. işlemi

A2 = Fırın havasının sıcaklığı,

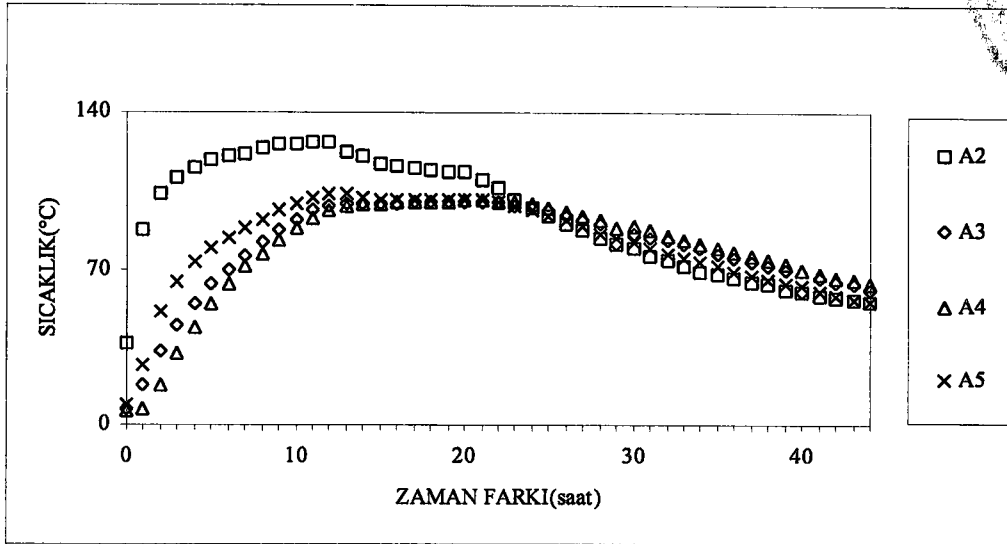
A3 = Trafonun alçak gerilim bobininin üst sıcaklığı,

A4 = Trafonun alçak gerilim bobininin alt sıcaklığı,

A5 = Trafonun yüksek gerilim bobininin üst sıcaklığı,

A6 = Trafonun yüksek gerilim bobininin alt sıcaklığı.

Fırına 15 adet ve toplam kapasite 1250 kVA olan trafo grubu koyulmuştur. Fırın işlem başlangıcındaki hava sıcaklığı 37°C 'dir. Trafoların kurutma işlemi başlangıç sıcaklıkları yaklaşık 7°C 'dir. Bu kurutma işlemi normal olarak 17,66 saat sonunda bitmiş olmalıydı. Ancak, 17,66. saatte ısıtma yapılmamakta ve vakum pompası çalıştırılmaktadır. Pompa bir-iki saat çalıştırılabilir ki bu da nemi en iyi şekilde çekmek için gerekebilir. Fakat bu kurutma işleminde yirmi altı (26) saat vakum fazladan yapılmıştır. Bu 26 saatlik elektrik enerjisi kaybı ve işgücünün azaltılması demektir.



Şekil-4.12: FIRIN-2.2. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği. Isıtma ve vakumun ne kadar uzun tutulduğu grafikte gözlenmektedir.

FIRIN-2.3. işlemi

A2 = Fırın havasının sıcaklığı,

A3 = Trafonun alçak gerilim bobininin üst sıcaklığı,

A4 = Trafonun alçak gerilim bobininin alt sıcaklığı,

A5 = Trafonun yüksek gerilim bobininin üst sıcaklığı,

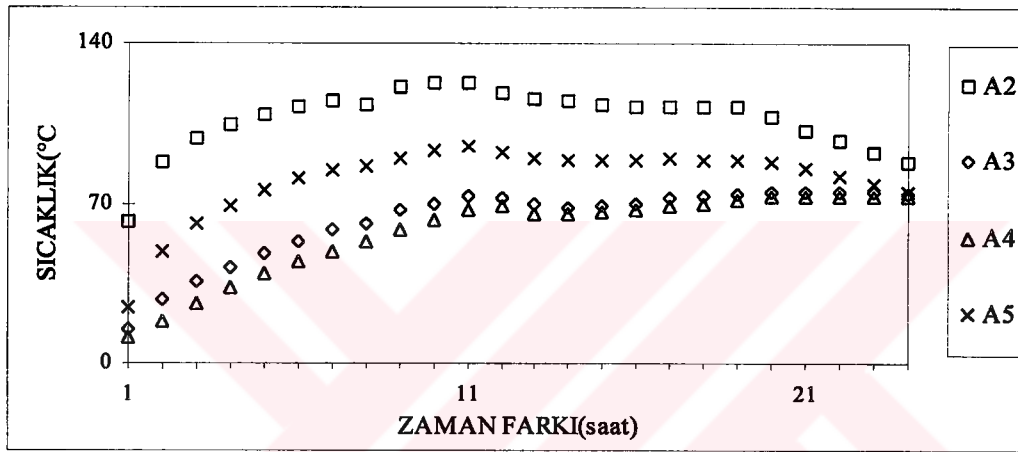
A6 = Trafonun yüksek gerilim bobininin alt sıcaklığı.

Bu evrede, bir adet 1500 kVA, iki adet 2500 kVA olmak üzere üç tane trafo kurulmuştur. Fırındaki hava sıcaklığı, bir önceki işlemden dolayı 62°C değerindedir. Sıcaklık ölçüm elemanı hangi trafoya koyulursa koyulsun, trafo büyük olduğundan dolayı A3, A4, A5 sıcaklıkları ani artışlar yapamamaktadır. Dört saat sonundaki sıcaklıklar, $A2 = 109^{\circ}C$, $A3 = 42^{\circ}C$, $A4 = 33^{\circ}C$, $A5 = 69^{\circ}C$ ve $A6 = \text{belirsiz}$ olarak ele alındığında, alçak gerilim bölgesi sıcaklıklarının (A3 ve A4) yenice arttığını ve hava sıcaklığı ile oldukça farklı oldukları görülür. Bunun nedeni trafonun büyük oluşu ve trafo kapağı altında doğal taşınım (free convection) oluşmasıdır.

05:00 ile 06:00 saatleri arasında havalandırma yapılmıştır. İkinci havalandırmada saat 07:00'de yapılmış olup, Şekil-4.13'de görülmektedir. İkinci

havalandırma sonucunda fırın içerisindeki nemli hava çekildiği ve yerine kuru hava verildiğinden fırın havası ve trafo sıcaklıklarındaki artış gözle görülmektedir. Bu olay havalandırmanın önemini ortaya koymaktadır.

Saat 11:00 yeni kurutmanın on birinci saatinde 414 mbar ile vakuma başlanmıştır. İşlem sonu vakum 92 mbar' dır. 150 mbar bir vakum yeterli gelmekteydi. Buradaki toplam trafo kapasitesi 6500 kVA olduğundan bir-iki saatlik zaman artışı uygun görülebilir. Ancak, fazla vakum yapılmıştır.



Şekil-4.13: FIRIN-2.3. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği. İşlemin uzun zamanda tamamlanmış ve bobinlerin sıcaklıkları istenilen düzeylere gelememiştir.

FIRIN-2.4. işlemi

A2 = Fırın havasının sıcaklığı,

A3 = Trafonun alçak gerilim bobininin üst sıcaklığı,

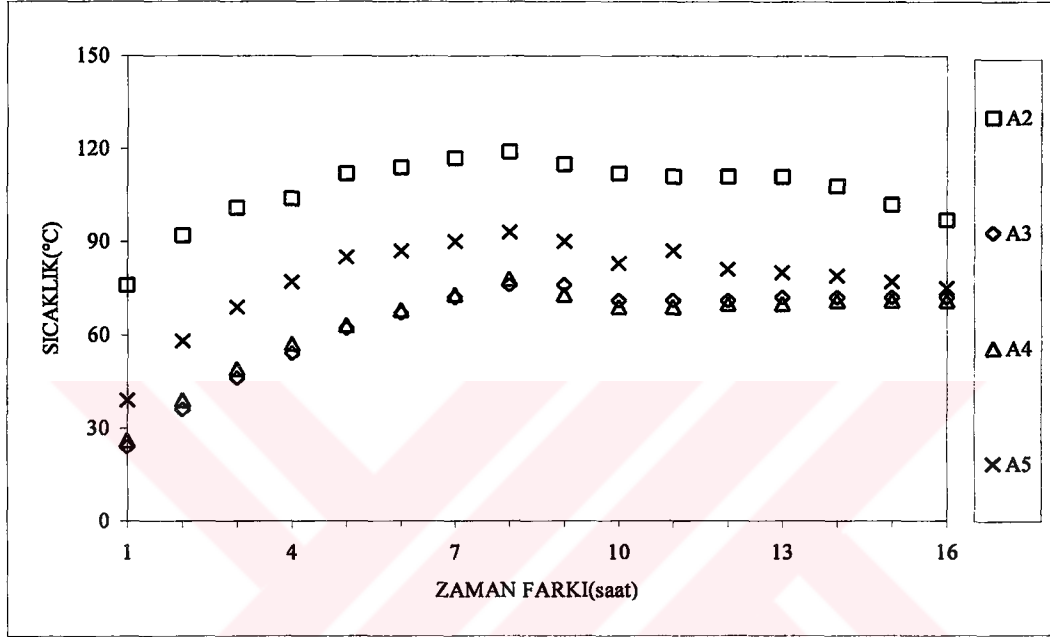
A4 = Trafonun alçak gerilim bobininin alt sıcaklığı,

A5 = Trafonun yüksek gerilim bobininin üst sıcaklığı,

A6 = Trafonun yüksek gerilim bobininin alt sıcaklığı.

Bu bölüm 800 kVA (4 adet) ve 1500 kVA (1 adet) olan trafoların kurutulmasını kapsar. Kurutma başlangıcından 0,75 saat sonra $A2 = 76^{\circ}C$, $A3 = 24$

$^{\circ}\text{C}$, $A4 = 26^{\circ}\text{C}$, $A5 = 39^{\circ}\text{C}$ değerlerinde olup, üç saat sonra $A2$ sıcaklığı 104°C ' a ulaşmış ve havalandırma yapılmıştır. İkinci havalandırma 05:39 civarında yapılmış ve yedinci saat sonunda ısıtma kesilerek sekizinci saatte vakuma başlanmıştır. Bu evreler Şekil-4.14'de görülmektedir. $A3$ ve $A4$ arasında çok fazla bir sıcaklık farkı bulunmamaktadır. Bu, fırın içersindeki sıcaklık dağılımının eşdeğer olabileceğini açıklamaktadır. *Özet olarak:* İkinci havalandırma etkisiz durumda ve ısıtma ile vakum tam olarak etkili değildir.



Şekil-4.14: FIRIN-2.4. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği. Bobinlerin sıcaklıkları 90°C üzerine çıkamamış ve işlem diğerlerine göre kısa tutulmuştur. Bu da, beklenen kurutmayı engellemektedir.

FIRIN-2.5. işlemi

$A2$ = Fırın havasının sıcaklığı,

$A3$ = Trafonun alçak gerilim bobininin üst sıcaklığı,

$A4$ = Trafonun alçak gerilim bobininin alt sıcaklığı,

$A5$ = Trafonun yüksek gerilim bobininin üst sıcaklığı,

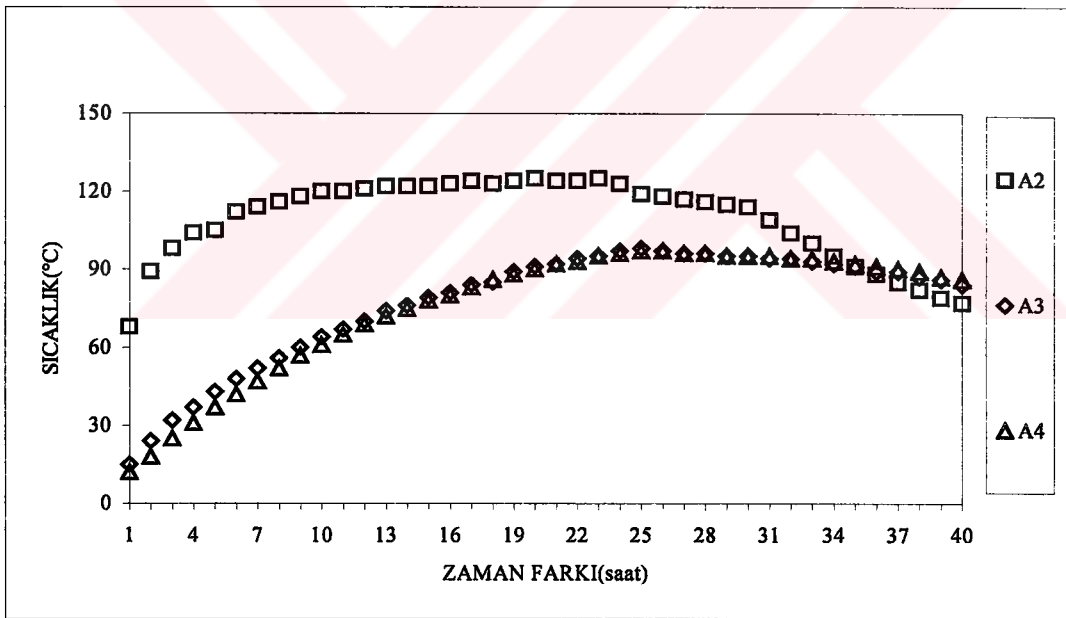
$A6$ = Trafonun yüksek gerilim bobininin alt sıcaklığı.

Bu bölümde iki adet 1500 kVA, bir adet 1000 kVA ve iki adet 630 kVA olmak üzere beş trafo kurutulmuştur. Fırın kontrol panelinde bulunan yazıcıdan A5 ve A6 değerleri tam olarak okunmamaktadır.

Trafoların fırına koyuluş zamanı cumartesi gününe (haftanın son iş gününe) rastlamaktadır.

Fırın havası, 68 °C' dan başlayarak ısıtılmıştır. Dördüncü saatte ve altıncı saatlerde havalandırmalar yapılmıştır. Isıtma işlemi gereğinden fazla sürdürülmüştür. Yirmi dördüncü saatte 416 mbar ile vakum başlatılmış ve otuz dokuzuncu saate kadar sürdürülmüştür. Vakum zamanı 15 saat sürmüştür. Genel olarak aşırı ısıtma ve aşırı vakum yapıldığı görülür ve enerji kayıpları oluşur (Şekil-4.15).

Özet olarak: Aşırı ısıtma ve aşırı vakum sonucunda enerji kaybı oluşmuştur.



Şekil-4.15: FIRIN-2.5. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği. Fırında tutulan zamanın aşırı boyutlarda olduğu görülmektedir.

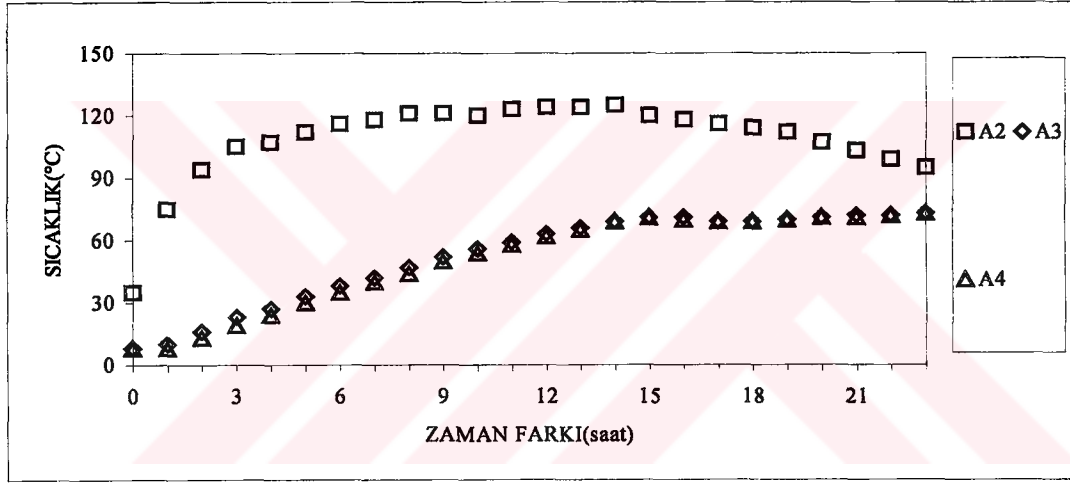
FIRIN-2.6. işlemi

A2 = Fırın havasının sıcaklığı,

A3 = Trafonun alçak gerilim bobininin üst sıcaklığı,

- A4 = Trafonun alçak gerilim bobininin alt sıcaklığı,
A5 = Trafonun yüksek gerilim bobininin üst sıcaklığı,
A6 = Trafonun yüksek gerilim bobininin alt sıcaklığı.

Bu bölümde üç adet 1000 kVA ve bir adet 1500 kVA'lık trafolar kurutulmuştur. Trafoların kapasiteleri yüksek olduğundan hava sıcaklığına göre A4 ve A3 sıcaklıkları düşük değerdendirler. Beş adet trafo fırındaki hava sıcaklığını olumsuz yönde etkilemiştir. Hava sıcaklığı 125 °C olurken A3 ve A4 sıcaklıkları 69 °C' da kalmışlardır (Şekil-4.16). Burada nemin tamamen alınması mümkün olamamaktadır. Kurutma işleminde iki defa havalandırma yapılmıştır. *Özet olarak:* Aşırı yükleme göz önündedir.



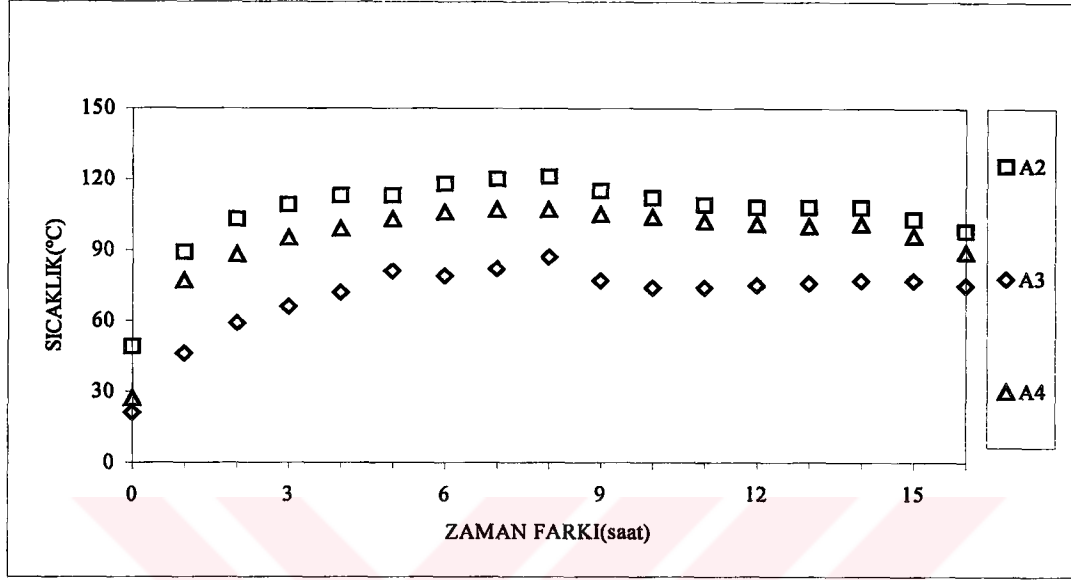
Şekil-4.16: FIRIN-2.6. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği. Bobinlerin sıcaklıkları ile hava sıcaklığı arasındaki aşırı fark görülmektedir.

FIRIN-2.7. işlemi

- A2 = Fırın havasının sıcaklığı,
A3 = Trafonun alçak gerilim bobininin üst sıcaklığı,
A4 = Trafonun yüksek gerilim bobininin üst sıcaklığı.

Fırına üç adet 1600 kVA ve bir adet 1500 kVA olmak üzere dört trafo koyulmuştur. A3 ve A4 başlangıç sıcaklıkları 21 °C ve 27 °C' dir. Kurutmanın 1,66 saat sonrasında, hava sıcaklığı 100 °C'ı geçince havalandırma yapılmıştır. İkinci

havalandırma da 4,66. saatte yapılmıştır. Oldukça iyi bir ısıtma tablosu gözlenmektedir. Kurutmanın 7,66. saatinde 422 mbar ile vakuma başlanmış ve 206 mbar'a kadar sekiz saat vakum uygulanmıştır. Toplam işlem süresi 15,66 saat sürmüştür. Aşağıdaki şekilde sıcaklık dağılımı görülmektedir.



Şekil-4.17: FIRIN-2.7. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği. Bobinlerin sıcaklıkları ile hava sıcaklığının uyumlu olduğu görülebilmektedir.

FIRIN-2.8. işlemi

A2 = Fırın havasının sıcaklığı,

A3 = Trafonun alçak gerilim bobininin üst sıcaklığı,

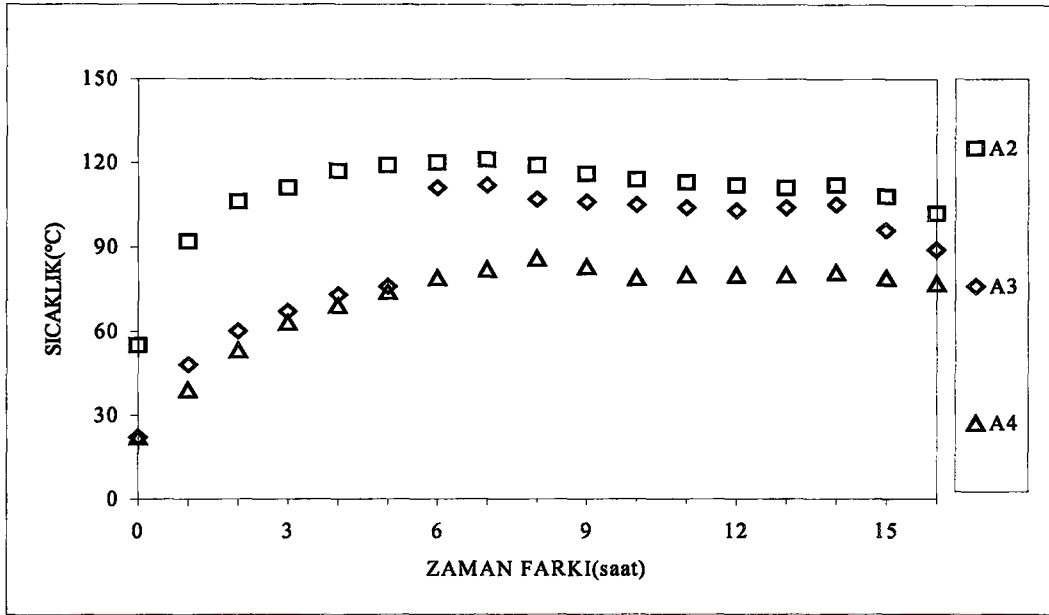
A4 = Trafonun alçak gerilim bobininin alt sıcaklığı,

A5 = Trafonun yüksek gerilim bobininin üst sıcaklığı,

A6 = Trafonun yüksek gerilim bobininin alt sıcaklığı.

Bu bölümde, bir adet 1500 kVA, bir adet 2300 kVA ve iki adet 630 kVA olmak üzere dört tane trafo kurutulmuştur. İşlem normal olarak başlamış ancak 5,62 saat sonra A3'de aşırı bir artış gözlenmiştir (Şekil-4.18'de görülmektedir). Bunun açıklaması şu şekilde yapılabilir: Ölçüm yapılan trafoda kablo kutusu varsa belirli zaman sonunda hava sıcaklığı gibi, sıcaklığında artış olur ve bunu alçak gerilime

ilettiği için A3 artmış olabilir. Bu sıcaklık artışı olmadan havalandırma da yapılmıştır. İşlem, 15,62 saatte ve 160 mbar' a inilerek bitirilmiştir.



Şekil-4.18: FIRIN-2.8. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği.

FIRIN-2.9. işlemi

A2 = Fırın havasının sıcaklığı,

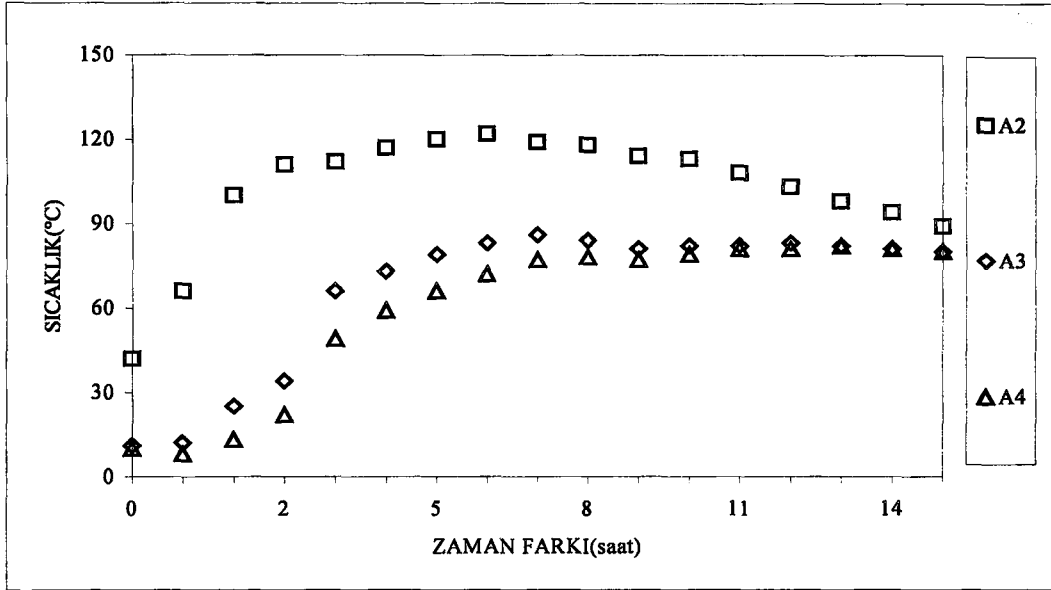
A3 = Trafonun alçak gerilim bobininin üst sıcaklığı,

A4 = Trafonun alçak gerilim bobininin alt sıcaklığı,

A5 = Trafonun yüksek gerilim bobininin üst sıcaklığı,

A6 = Trafonun yüksek gerilim bobininin alt sıcaklığı.

Bu bölümde yedi adet 160 kVA' lık trafo kurutulmuştur. Kurutma işlemi boyunca sıcaklıklarda düzensizlik görülmüştür. Saat 18:30'da hava sıcaklığında ani düşüş gözlenmiştir. Bu tip sıcaklık farkları ısıtma suyundan da kaynaklanabilir. 19:30'da ve 21:30'da havalandırma yapılmıştır. Havalandırmalar ve sıcaklık değişimleri Şekil-3.20'de görülmektedir. 23:00'de yani kurutmanın 7,4. saatinde 419 mbar ile vakum başlatılmış ve sekiz saat sonunda 120 mbar' a inilmiştir. Toplam kurutma işlemi 15,4 saatte bitirilmiştir.



Şekil-4.19: FIRIN-2.9. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği.

FIRIN-2.10. işlemi

A2 = Fırın havasının sıcaklığı,

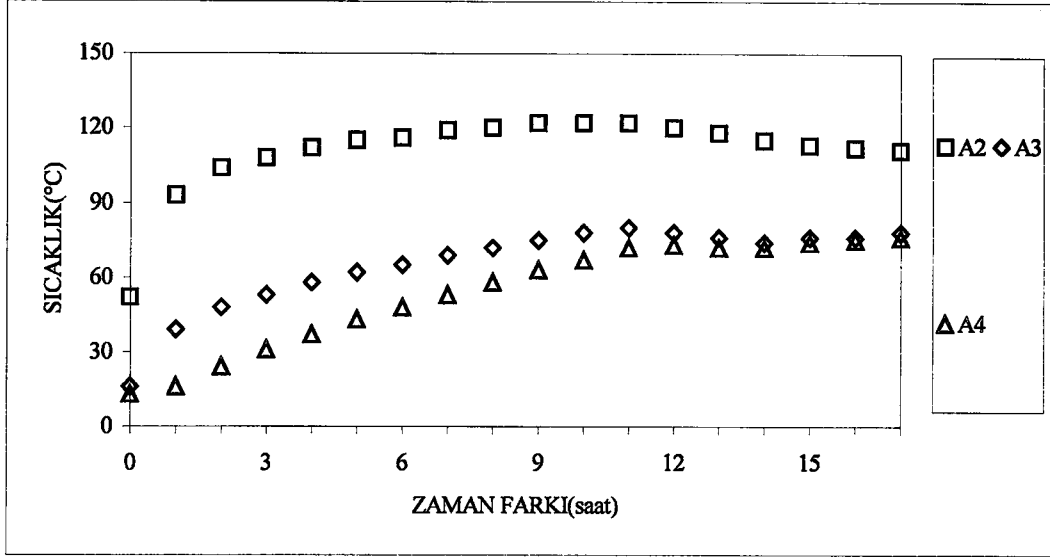
A3 = Trafonun alçak gerilim bobininin üst sıcaklığı,

A4 = Trafonun alçak gerilim bobininin alt sıcaklığı,

A5 = Trafonun yüksek gerilim bobininin üst sıcaklığı,

A6 = Trafonun yüksek gerilim bobininin alt sıcaklığı.

Bu bölümde yedi adet ve toplam trafo kapasitesi 5730 kVA olan trafo grubu kurutulmuştur. Kurutma işleminin başlangıcındaki hava sıcaklığı 52 °C' dır. Altıncı saatte ve 10,5. saatte havalandırmalar yapılmıştır. Bu kurutma işlemi normal bir şekilde tamamlanmıştır.



Şekil-4.20: FIRIN-2.10. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği.

FIRIN-2.11. işlemi

A2 = Fırın havasının sıcaklığı,

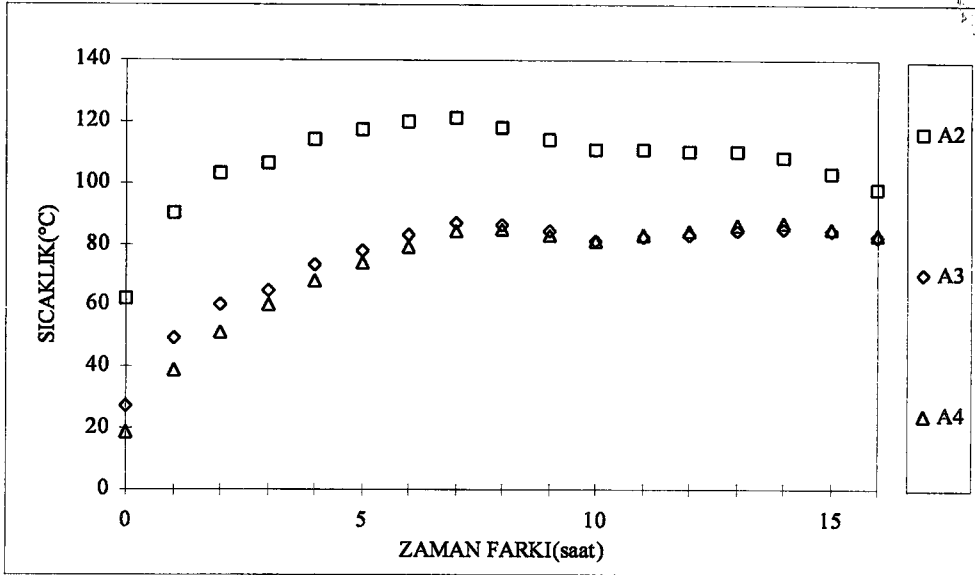
A3 = Trafonun alçak gerilim bobininin üst sıcaklığı,

A4 = Trafonun alçak gerilim bobininin alt sıcaklığı,

A5 = Trafonun yüksek gerilim bobininin üst sıcaklığı,

A6 = Trafonun yüksek gerilim bobininin alt sıcaklığı.

Bu bölümde dokuz adet 200 kVA' lık trafo grubu kurutulmuştur. Kurutma işleminin başlangıcındaki hava sıcaklığı 62 °C' dır. 3. saatte ve 5,5. saatte havalandırmalar yapılmıştır (Şekil-4.21). Bu kurutma işlemi normal bir şekilde tamamlanmıştır.



Şekil-4.21: FIRIN-2.11. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği.

1 Numaralı Fırın:

FIRIN-1.1. işlemi

A2 = Fırın havasının sıcaklığı,

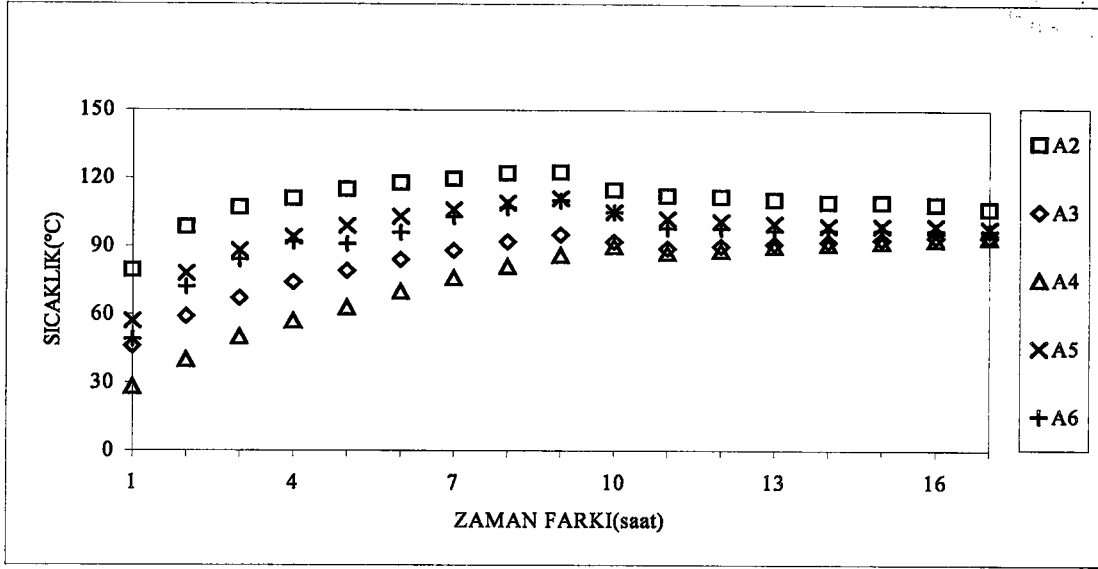
A3 = Trafonun alçak gerilim bobininin üst sıcaklığı,

A4 = Trafonun alçak gerilim bobininin alt sıcaklığı,

A5 = Trafonun yüksek gerilim bobininin üst sıcaklığı,

A6 = Trafonun yüksek gerilim bobininin alt sıcaklığı

Bu bölümde beş adet ve kapasitesi 3770 kVA olan trafo grubu bulunmaktadır. Kurutma başlangıcında hava sıcaklığı 79,3 °C dır. Maksimum hava sıcaklığı sekizinci saatte 125,5 °C' a ulaşmıştır. Dokuzuncu saatte 343 mbar ile vakuma başlanmıştır. 172 mbar' a kadar inilmiş ve 16 saatte işlem bitirilmiştir (Şekil-4.22). Bu kurutma işlemi normal sayılabilir.



Şekil-4.22: FIRIN-1.1. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği.

FIRIN-1.2. işlemi

A2 = Fırın havasının sıcaklığı,

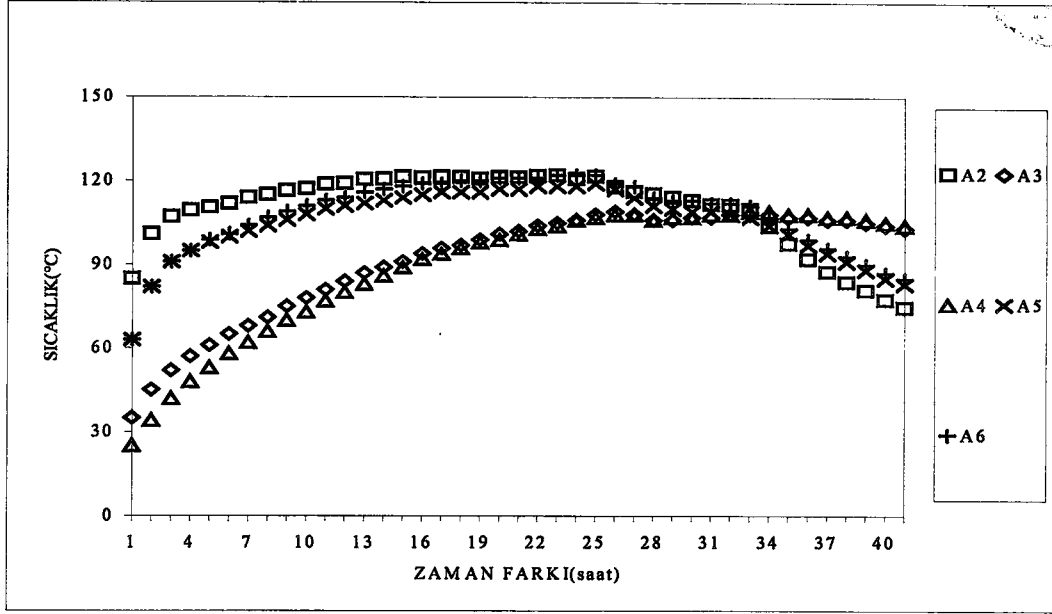
A3 = Trafonun alçak gerilim bobininin üst sıcaklığı,

A4 = Trafonun alçak gerilim bobininin alt sıcaklığı,

A5 = Trafonun yüksek gerilim bobininin üst sıcaklığı,

A6 = Trafonun yüksek gerilim bobininin alt sıcaklığı.

Bu bölümde iki adet 1500 kVA ve bir adet 1000 kVA'lık trafo grubu bulunmaktadır. Toplam trafo kapasitesi 4000 kVA'dır. Kurutma işlemi başlangıcında fırın hava sıcaklığı 85 °C'dir. Normalde dokuzuncu saatte ısıtmanın bitirilmesi gerekirken yirmi ikinci (22.) saate kadar ısıtma yapılmıştır. Bu evrede 12 saatlik ısıtma için enerji harcanmıştır. Yirmi beşinci saatte 340 mbar ile vakuma başlanmış ve otuzuncu saatte 176 mbar vakum basınçta sistem kendi haline bırakılmıştır. Trafoları fırından çıkartma otuz dokuzuncu saatte olmaktadır.



Şekil-4.23: FIRIN-1.2. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği. Aşırı ısıtma yapıldığı grafikte görülmektedir.

FIRIN-1.3. işlemi

A2 = Fırın havasının sıcaklığı,

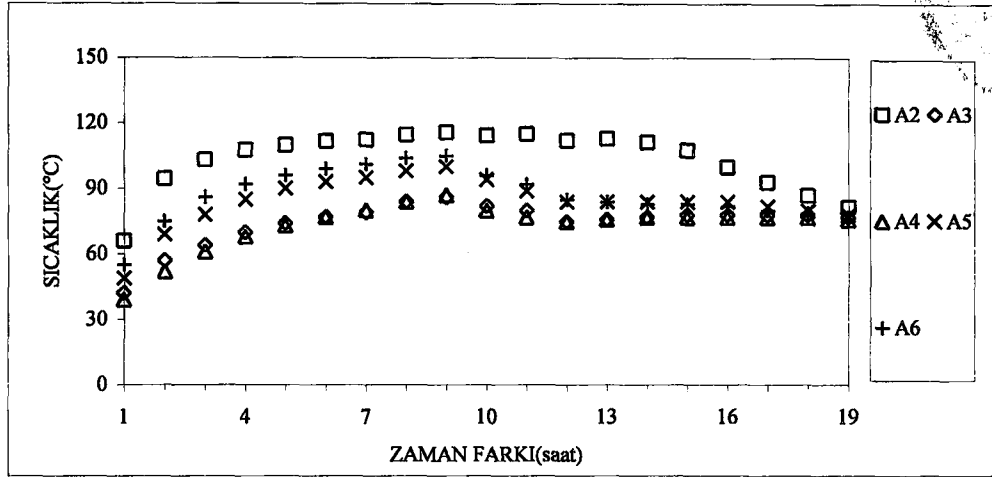
A3 = Trafonun alçak gerilim bobininin üst sıcaklığı,

A4 = Trafonun alçak gerilim bobininin alt sıcaklığı,

A5 = Trafonun yüksek gerilim bobininin üst sıcaklığı,

A6 = Trafonun yüksek gerilim bobininin alt sıcaklığı.

Bu bölümde trafo kapasitesi 5060 kVA dan dokuz adet trafo bulunmaktadır. Kurutmanın başlangıcında fırın havası sıcaklığı 66 °C dir. Dokuzuncu saat sonunda 114,3°C sıcaklıkta ve 344 mbar' da vakum başlatılmıştır. İşlem on sekiz (18) saat sonunda normal olarak bitirilmiştir. Sıcaklık değişimleri Şekil-4.24 ile verilmektedir.



Şekil-4.24: FIRIN-1.3. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği.

FIRIN-1.4. işlemi

A2 = Fırın havasının sıcaklığı,

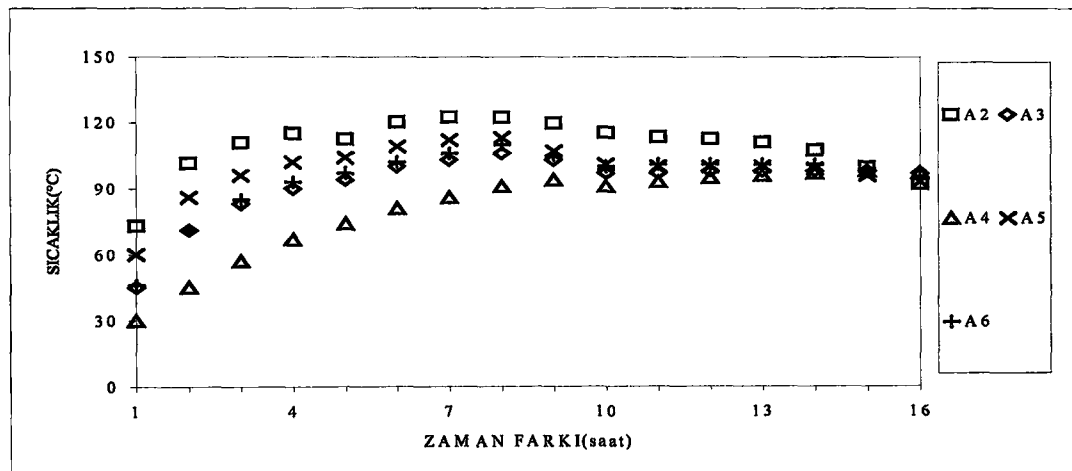
A3 = Trafonun alçak gerilim bobininin üst sıcaklığı,

A4 = Trafonun alçak gerilim bobininin alt sıcaklığı,

A5 = Trafonun yüksek gerilim bobininin üst sıcaklığı,

A6 = Trafonun yüksek gerilim bobininin alt sıcaklığı.

Bu bölümde altı adet ve trafo kapasitesi 1100 kVA olan grup kurutulmuştur. İşleme başlangıçta fırın havası sıcaklığı 73,1°C'dir. Trafo kapasitesi düşük olduğundan sıcaklıklar kısa sürede yükselmiştir (Şekil-4.25). İşlem normal bir şekilde sona erdirilmiştir.



Şekil-4.25: FIRIN-1.4. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği.

FIRIN-1.5. işlemi

A2 = Fırın havasının sıcaklığı,

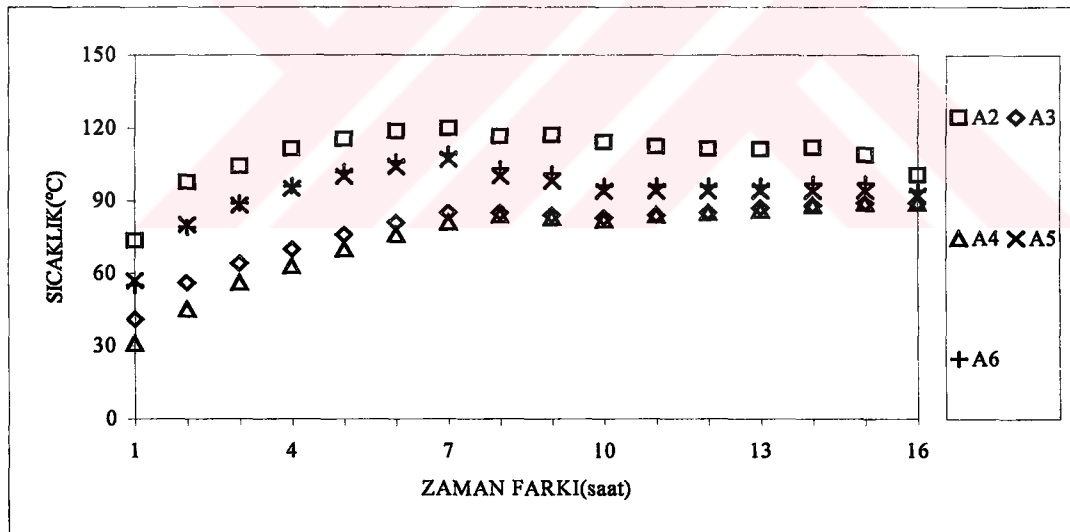
A3 = Trafonun alçak gerilim bobininin üst sıcaklığı,

A4 = Trafonun alçak gerilim bobininin alt sıcaklığı,

A5 = Trafonun yüksek gerilim bobininin üst sıcaklığı,

A6 = Trafonun yüksek gerilim bobininin alt sıcaklığı.

Bu bölümde yedi adet ve trafo kapasitesi 4820 kVA olan grup kurutulmuştur. Başlangıçta fırın havası sıcaklığı 73,6 °C' dir. İşlem 15 saatlik normal bir sürede tamamlanmıştır (Şekil-4.26). Trafo kapasitesine göre işlemin kısa oluşunun nedeni başlangıç sıcaklığının 73,6 °C gibi yüksek değerde olmasıdır.



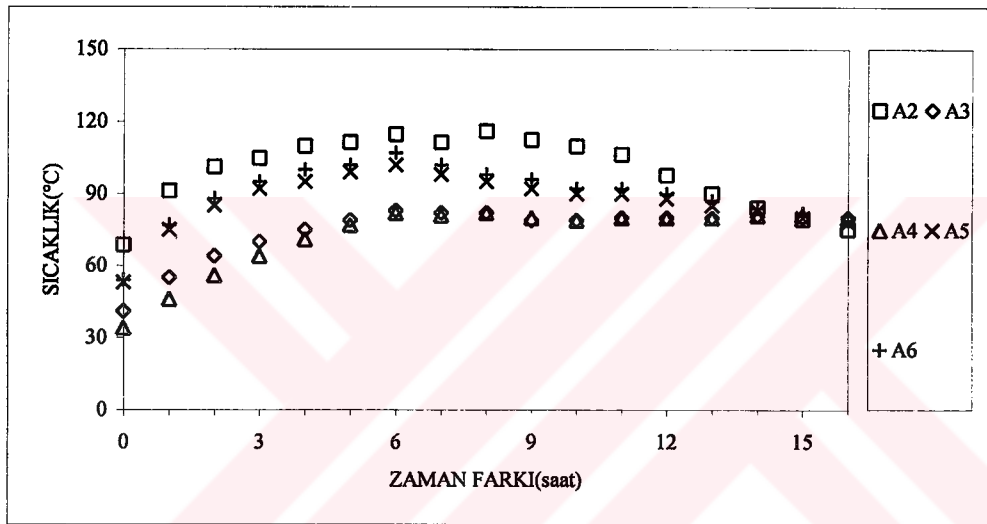
Şekil-4.26: FIRIN-1.5. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği.

FIRIN-1.6. işlemi

A2 = Fırın havasının sıcaklığı,

- A3 = Trafonun alçak gerilim bobininin üst sıcaklığı,
A4 = Trafonun alçak gerilim bobininin alt sıcaklığı,
A5 = Trafonun yüksek gerilim bobininin üst sıcaklığı,
A6 = Trafonun yüksek gerilim bobininin alt sıcaklığı.

Bu bölümde yedi adet ve trafo kapasitesi 6080 kVA olan grup kurutulmuştur. Başlangıçta fırın havası sıcaklığı 68,6 °C' dir. Isıtma süresi oldukça kısa tutulmuştur. Sıcaklık ne kadar yüksek olursa olsun bir zaman bekletmek gereklidir. Bu işlem de normal sayılabilir.



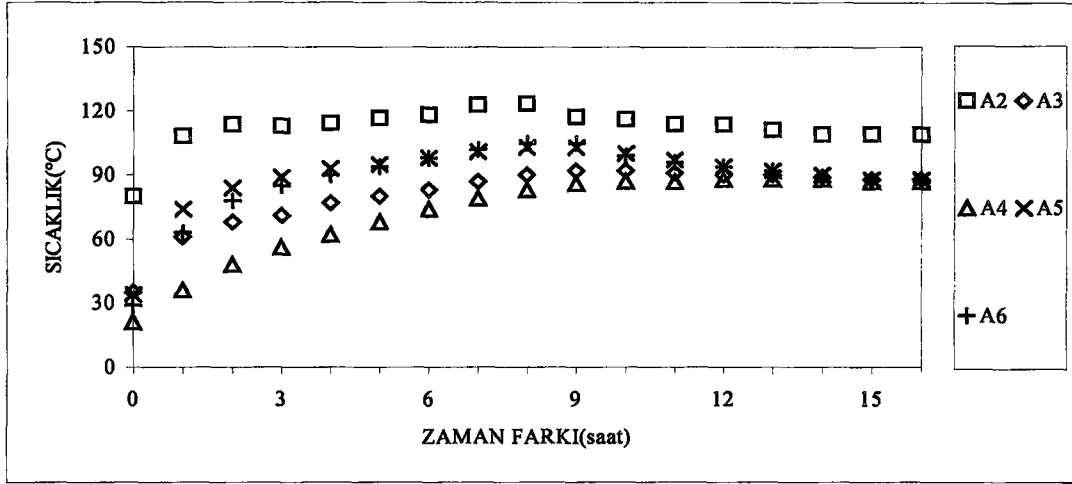
Şekil-4.27: FIRIN-1.6. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği.

FIRIN-1.8. işlemi

- A2 = Fırın havasının sıcaklığı,
A3 = Trafonun alçak gerilim bobininin üst sıcaklığı,
A4 = Trafonun alçak gerilim bobininin alt sıcaklığı,
A5 = Trafonun yüksek gerilim bobininin üst sıcaklığı,
A6 = Trafonun yüksek gerilim bobininin alt sıcaklığı.

Bu bölümde on adet ve trafo kapasitesi 5490 kVA olan grup kurutulmuştur. Başlangıçta fırın havası sıcaklığı 80,1 °C' dir. Dokuzuncu saatte 344 mbar ile vakum

başlatılmış ve on altıncı saatte 245 mbar ile işlem bitirilmiştir. Vakumu 150 mbar' a kadar inmesi nemin pek çoğunun alınması için uygun yöntemdi.



Şekil-4.28: FIRIN-1.8. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği.

FIRIN-1.9. işlemi

A2 = Fırın havasının sıcaklığı,

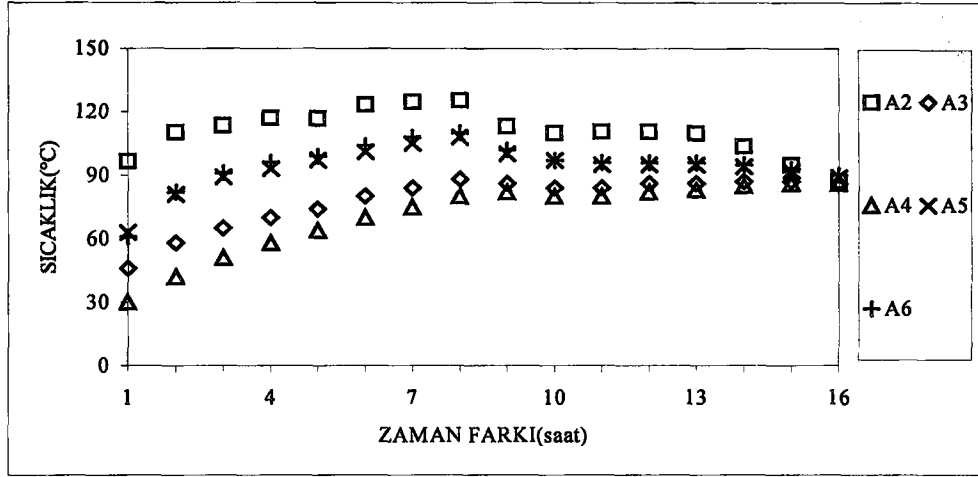
A3 = Trafonun alçak gerilim bobininin üst sıcaklığı,

A4 = Trafonun alçak gerilim bobininin alt sıcaklığı,

A5 = Trafonun yüksek gerilim bobininin üst sıcaklığı,

A6 = Trafonun yüksek gerilim bobininin alt sıcaklığı.

Bu bölümde altı adet ve trafo kapasitesi 5400 kVA olan grup kurutulmuştur. 0,77 saat sonunda fırın havası sıcaklığı 96,4 °C' dir. Isıtma boyunca dalgalı bir sıcaklık artışı gözlenmiştir. 03:00 ve 04:00 saatleri arasında havalandırma yapılmış, çünkü sıcaklık düşüşü olmuştur. 08:00' den sonra 340 mbar ile vakum başlatılmış ve 15:00' da 213 mbar ile kurutma bitirilmiştir (Şekil-4.29). Bu işlem de normal sayılabilir.



Şekil-4.29: FIRIN-1.9. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği.

FIRIN-1.10. işlemi

A2 = Fırın havasının sıcaklığı,

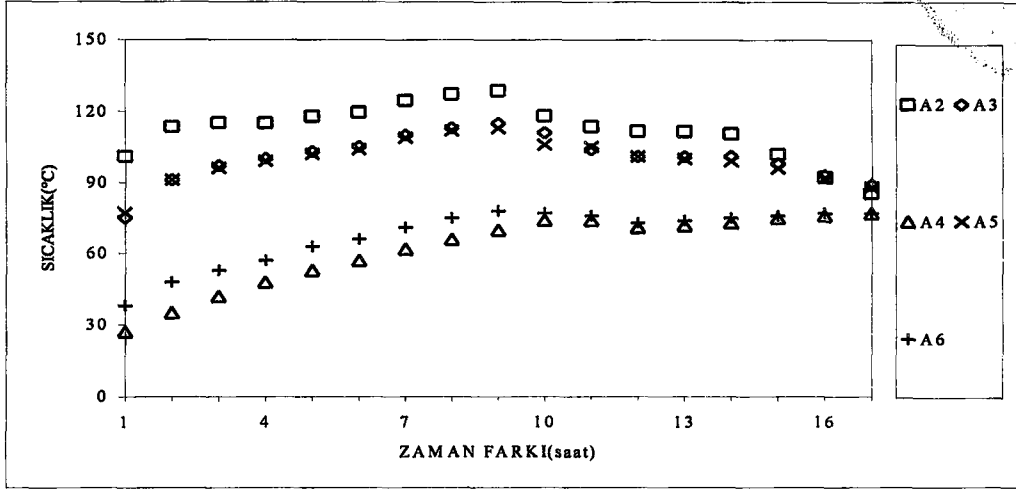
A3 = Trafonun yüksek gerilim bobininin üst sıcaklığı,

A4 = Trafonun alçak gerilim bobininin alt sıcaklığı,

A5 = Trafonun yüksek gerilim bobininin alt sıcaklığı,

A6 = Trafonun alçak gerilim bobininin üst sıcaklığı.

Bu bölümde iki adet ve trafo kapasitesi 3000 kVA olan grup kurutulmuştur. Bir saat sonraki fırın havası sıcaklığı 101 °C' dir. İşlem normal düzeyde bitirilmiştir.



Şekil-4.30: FIRIN-1.10. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği.

FIRIN-1.11. işlemi

A2 = Fırın havasının sıcaklığı,

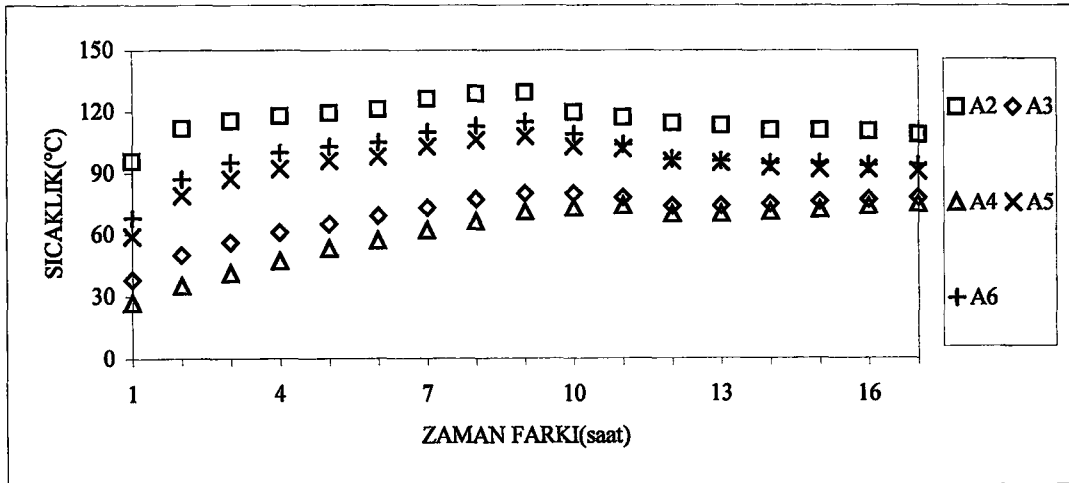
A3 = Trafonun alçak gerilim bobininin üst sıcaklığı,

A4 = Trafonun alçak gerilim bobininin alt sıcaklığı,

A5 = Trafonun yüksek gerilim bobininin üst sıcaklığı,

A6 = Trafonun yüksek gerilim bobininin alt sıcaklığı.

Bu bölümde iki adet ve trafo kapasitesi 3000 kVA olan grup kurutulmuştur. Başlangıçtan yarım saat sonra fırın havası sıcaklığı 95,7 °C' dir. Bir önceki kurutma işlemine benzemektedir. Bu işlem de normal sayılabilir.



Şekil-4.31: FIRIN-1.11. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği.

FIRIN-1.12. işlemi

A2 = Fırın havasının sıcaklığı,

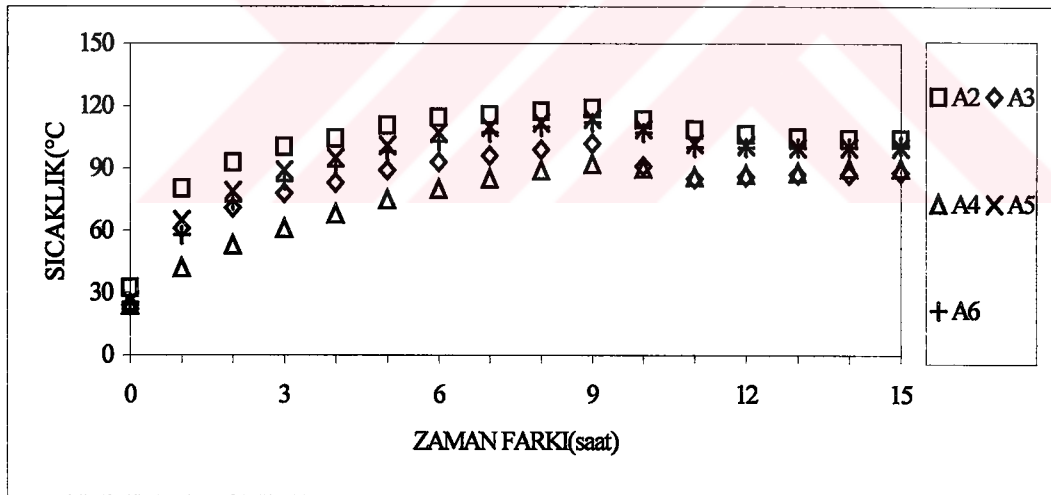
A3 = Trafonun alçak gerilim bobininin üst sıcaklığı,

A4 = Trafonun alçak gerilim bobininin alt sıcaklığı,

A5 = Trafonun yüksek gerilim bobininin üst sıcaklığı,

A6 = Trafonun yüksek gerilim bobininin alt sıcaklığı.

Bu bölümde sekiz adet ve trafo kapasitesi 11000 kVA olan grup kurutulmuştur. Başlangıçtaki fırın havası sıcaklığı 32,2 °C' dir. Isıtma uygun süre içerisinde yapılmasına rağmen vakum kısa sürdürülmüştür. Fırın içerisinde trafo miktarı fazla olduğundan işlem on beş saatte değil de normal süresi olan on yedi saatte bitirilmeliydi.



Şekil-4.32: FIRIN-1.12. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği.

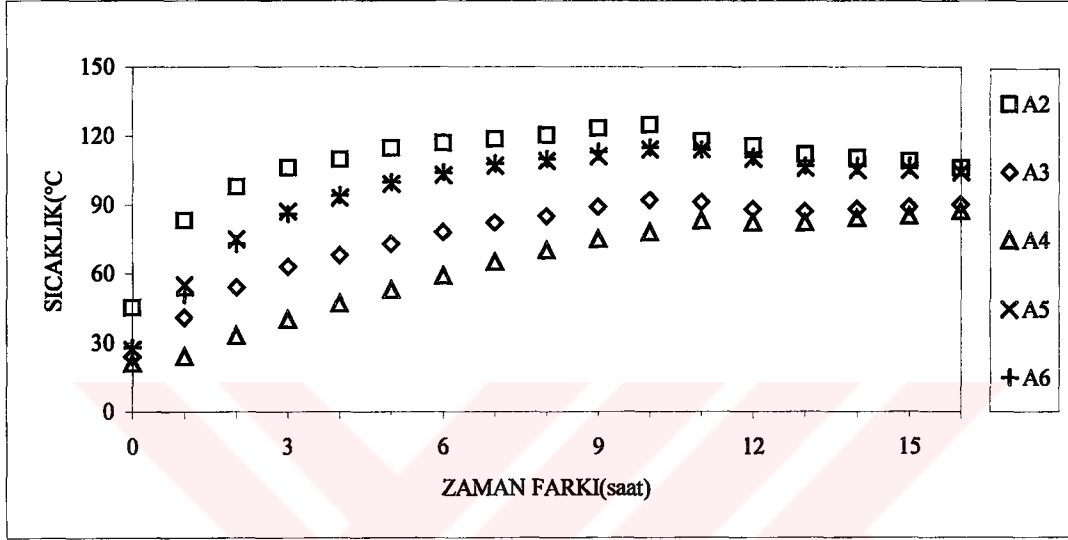
FIRIN-1.14. işlemi

A2 = Fırın havasının sıcaklığı,

A3 = Trafonun alçak gerilim bobininin üst sıcaklığı,

- A4 = Trafonun alçak gerilim bobininin alt sıcaklığı,
 A5 = Trafonun yüksek gerilim bobininin üst sıcaklığı,
 A6 = Trafonun yüksek gerilim bobininin alt sıcaklığı.

Bu bölümde iki adet ve trafo kapasitesi 5000 kVA olan grup kurutulmuştur. Başlangıçta fırın havası sıcaklığı 45,4 °C' dir. İşlem normal düzeyde sayılabilir.



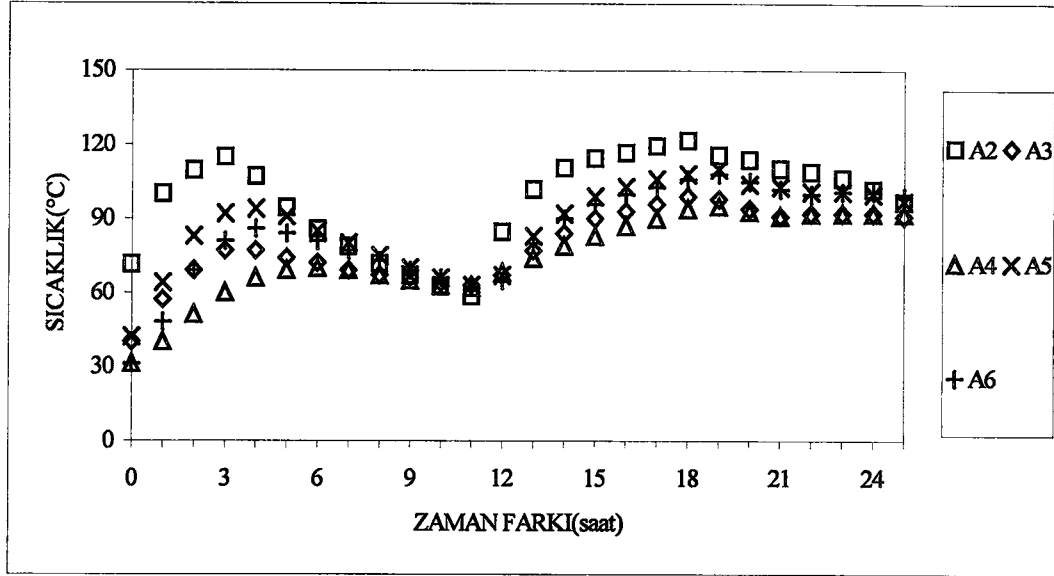
Şekil-4.33: FIRIN-1.14. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği.

FIRIN-1.15. işlemi

- A2 = Fırın havasının sıcaklığı,
 A3 = Trafonun alçak gerilim bobininin üst sıcaklığı,
 A4 = Trafonun alçak gerilim bobininin alt sıcaklığı,
 A5 = Trafonun yüksek gerilim bobininin üst sıcaklığı,
 A6 = Trafonun yüksek gerilim bobininin alt sıcaklığı.

Bu bölümde dört adet ve trafo kapasitesi 2480 kVA olan grup kurutulmuştur. Kurutma işlemi başlatıldığında fırın havasının sıcaklığı 71,4°C'dir. Başlangıçtan 2,55 saat sonra hava sıcaklığında düşüş olmuştur. Bu düşüşün nedeni ısıtma suyunun kesilmesi olasılığı yüksektir. 10,55. saate kadar olan düşüş, tekrar yükselmeye

başlamıştır. Daha sonra normal işlemlere devam edilmiştir. Sıcaklıktaki düşüş nedeniyle sekiz saatlik kayıp oluşmuştur.



Şekil-4.34: FIRIN-1.15. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği. Isıtma suyu sıcaklığından kaynaklanan bir sorun sıcaklıkların düşmelerine neden olmuştur.

FIRIN-1.16. işlemi

A2 = Fırın havasının sıcaklığı,

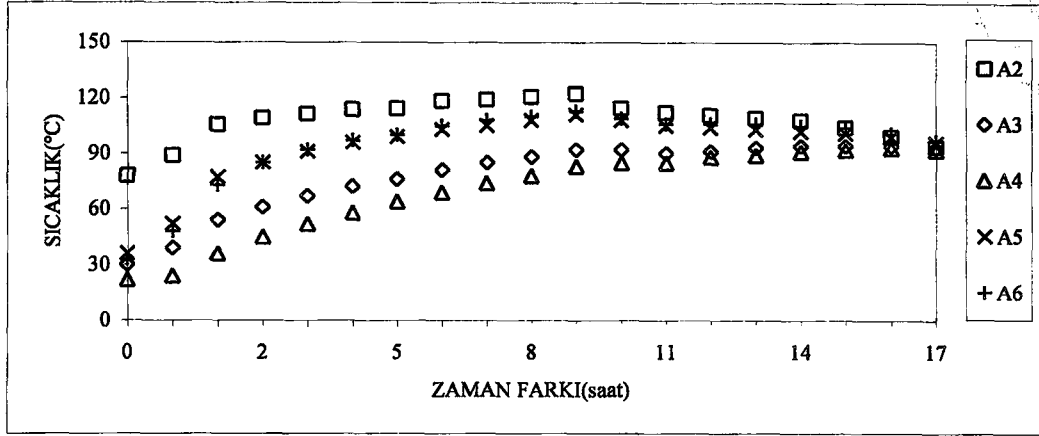
A3 = Trafonun alçak gerilim bobininin üst sıcaklığı,

A4 = Trafonun alçak gerilim bobininin alt sıcaklığı,

A5 = Trafonun yüksek gerilim bobininin üst sıcaklığı,

A6 = Trafonun yüksek gerilim bobininin alt sıcaklığı.

Bu bölümde altı adet ve trafo kapasitesi 5450 kVA olan grup kurutulmuştur. Başlangıçta fırın havası sıcaklığı 77,9 °C' dir. İşlem normal düzeydedir.



Şekil-4.35: FIRIN-1.16. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği.

FIRIN-1.17. işlemi

A2 = Fırın havasının sıcaklığı,

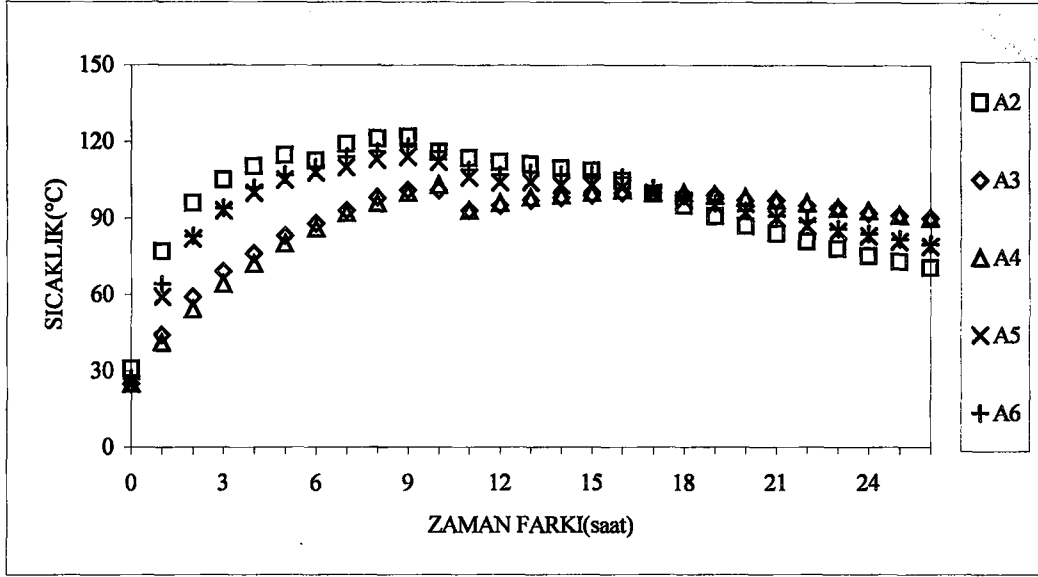
A3 = Trafonun alçak gerilim bobininin üst sıcaklığı,

A4 = Trafonun alçak gerilim bobininin alt sıcaklığı,

A5 = Trafonun yüksek gerilim bobininin üst sıcaklığı,

A6 = Trafonun yüksek gerilim bobininin alt sıcaklığı.

Bu bölümde altı adet ve trafo kapasitesi 2000 kVA olan grup kurutulmuştur. Başlangıçta fırın havası sıcaklığı 30,8 °C' dir. Kurutma işlemi 17,66 saat sonunda kesilebilirken vakum durdurulmayarak devam ettirilmiştir. Vakumun devamı sırasında da aksaklıklar oluşmuştur. Bu nedenle vakum pompası sekiz saat fazladan çalışmıştır.



Şekil-4.36: FIRIN-1.17. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği. İşlem süresi fazla vakum yapılarak uzatılmıştır.

FIRIN-1.18. işlemi

A2 = Fırın havasının sıcaklığı,

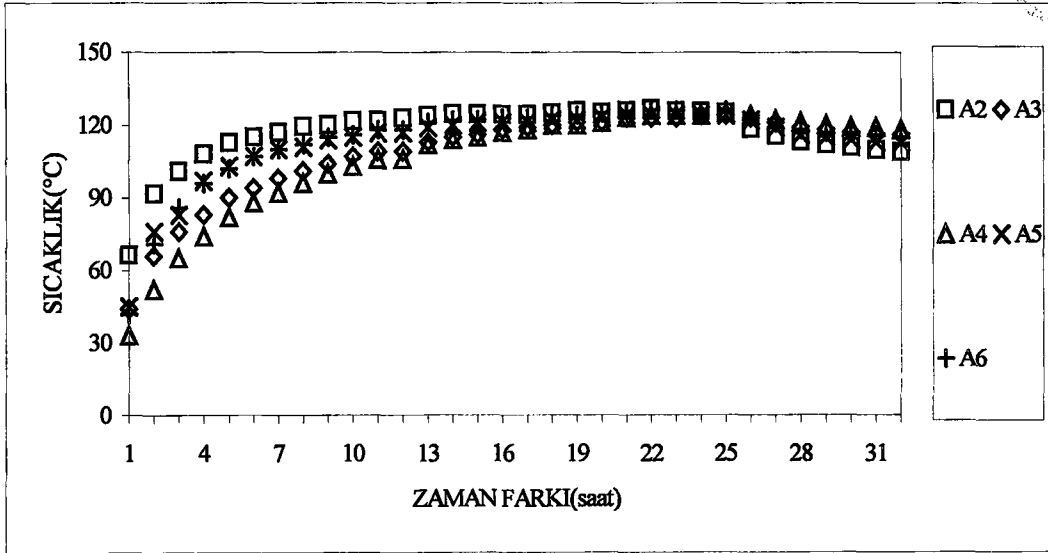
A3 = Trafonun alçak gerilim bobininin üst sıcaklığı,

A4 = Trafonun alçak gerilim bobininin alt sıcaklığı,

A5 = Trafonun yüksek gerilim bobininin üst sıcaklığı,

A6 = Trafonun yüksek gerilim bobininin alt sıcaklığı.

Bu bölümde yedi adet ve trafo kapasitesi 1400 kVA olan grup kurutulmuştur. Başlangıçtan yarım saat sonraki fırın havası sıcaklığı 66,4 °C' dir. Fırın içerisindeki trafo kapasitesi fazla yüksek olmamasına rağmen çok fazla ısıtma (15 saat fazla) yapılmıştır. Bu, enerji kaybını oluşturmaktadır.



Şekil-4.37: FIRIN-1.18. işlemi için sistemdeki sıcaklıkların zaman farkına göre grafiği. Aşırı ısıtma nedeniyle zaman farkında artış olmuştur.

4.3. MATEMATİKSEL MODEL SONUÇLARI İLE DENEYSEL VERİLERİN İSTATİSTİKSEL OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI

Fabrikada yapılan gözlemler sonucunda elde edilen iki fırındaki veriler modelde işlenmiştir. Deneysel olarak yapılan incelemelerde elde edilen fırın havası sıcaklığının ilk dört veya beş saati model ile karşılaştırılmıştır. Ele alınan veriler ile model sonuçlarının karşılaştırılması:

FIRIN-1.1. İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz

Bu kurutma evresinde fırın içerisine aktif kısımlarının ağırlıkları toplamı yaklaşık 7758 kg. olan beş adet transformatör yerleştirilmiştir. Transformatörlerin dış yüzeylerinin alanları toplamı yaklaşık olarak 25 m² alınmıştır. Fırındaki boruların içerisindeki buharın sıcaklığı da fabrika verilerine dayanılarak 150°C sabit sıcaklıkta ele alınmıştır.

Isıtma işleminin ilk beş buçuk saatlik bölümü (ilk ısıtma süresi dört saattir) incelenmiş ve sıcaklığın değişimi gözlenmiştir. Bu işlemdeki deneysel veriler ile matematiksel modelde bulunan değerlerin karşılaştırması Şekil-4.38'de verilmektedir. Matematiksel modelde ısıtma işleminde yapılan havalandırma dikkate alınmamıştır. Çünkü asıl uygulamaya göre, ısıtma işlemi başladıktan dört saat sonra havalandırma yapılmaktadır. Sistem otomatik kontrol sistemleri ile çalıştırılmadığı için, fırın operatörleri tarafından uygun olmayan zamanlarda havalandırmalar yapılabilmektedir. Bu nedenle, matematiksel model sonuçları ile fabrika verileri arasında az da olsa fark oluşmaktadır(Şekil-4.38).

Transformatörlerin ağırlıkları toplamı ve alanları, bu işlem için uygun düzeydedirler. İşlem, aşırı yükleme yapılmadan gerçekleştirilmiştir. Bu da, fırın hava sıcaklığının istenilen zamanlarda istenilen düzeylere çıkartılmasını sağlamıştır.

Matematiksel ve deneysel veri değerlerini aşağıdaki denklemlere göre normalize ettiğimizde de havalandırma etkileri nedeniyle farklılıklar görülmektedir (Şekil-4.39).

$$DN = \frac{DS - DS_{min.}}{DS_{max.} - DS_{min.}}$$

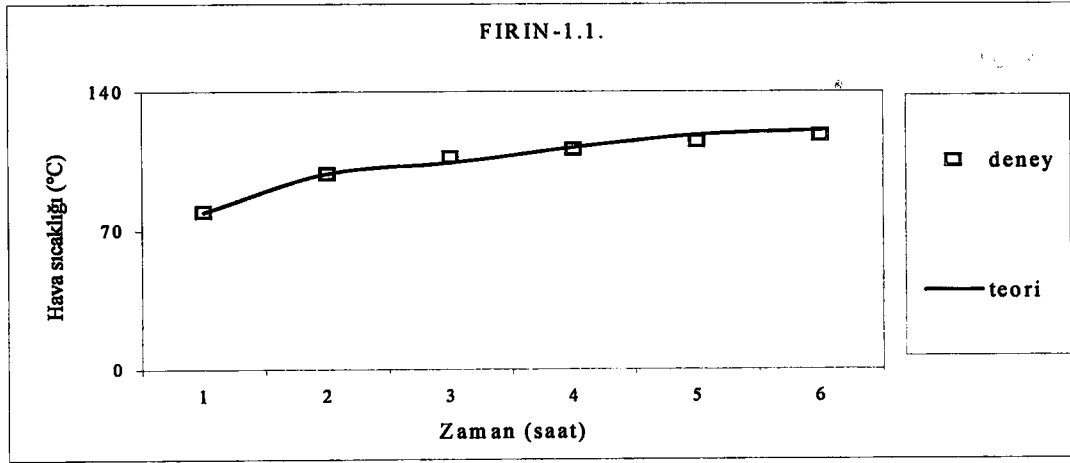
$$TN = \frac{TS - TS_{min.}}{TS_{max.} - TS_{min.}} \quad (4.2)$$

Yukarıdaki denklemlerde normalize edilmiş deneysel veriyi ve teorik sonucu DN ve TN ; deneysel ve teorik sıcaklıkları DS ve TS ; deneysel ve teorik bulguların minimum ve maksimum değerlerini sırasıyla DS_{min} , DS_{max} , TS_{min} , TS_{max} ile ifade edilmektedir.

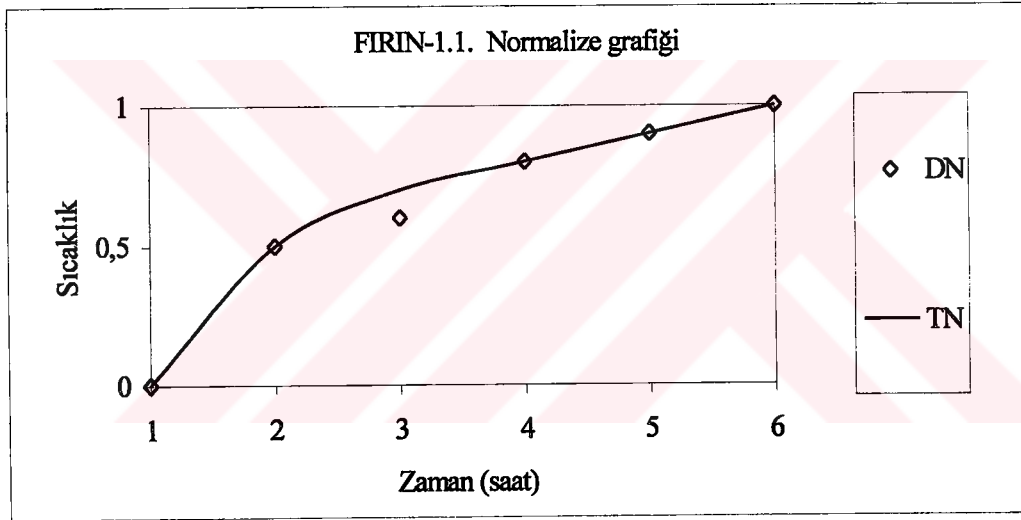
Fırın-1.1 işleminde deneysel veriler ile matematiksel model uygulanması ile elde edilen sonuçlar arasında korelasyon yapıldığında 0,9921 değerinde olan korelasyon katsayısı elde edilmiştir (Excel'97). Korelasyon katsayısının 1 olması gerektiği düşünülürse 0,9921 değerinin oldukça iyi bir yaklaşım olduğu açıktır. Bu değer, zamana göre olan sıcaklık artışlarının uyumunu göstermektedir. İşlem için yapılan standart sapma hesaplamalarına göre, deneysel (fabrikada çalışan sistem için) verilerin standart sapması 12,95 değerinde ve modelde bulunan sonuçlar için standart sapma 13,87 değerinde bulunmuştur. Şekil-4.38'deki veri dağılımları ikinci dereceden polinomlar olarak değerlendirildiğinde oluşan eğriler için bulunan R^2 değerleri, deney için 0.9773; model için de 0.9808 olarak bulunmuştur (Excel'97). İkinci dereceden kabul ettiğimiz polinomların derecesini arttırdığımızda bu değerlerin uygun sonuç olan 1'e yaklaştıkları görülmüştür. Ancak, kurutma fırınının prosesindeki değişimler için ikinci dereceden polinom seçmek hatalı bir sonuç oluşturmamaktadır.

Deneysel sonuçlar ile matematiksel model sonuçları arasındaki en büyük sıcaklık farkı, 4,75. saatte 3,1°C'dir. Bu da havalandırmanın yapıldığı zamana denk gelmektedir.

Verilerin ve bulunan değerlerin zamana göre dağılımları ile normalize edilmiş değerleri EK-C'de Tablo-C.1 ile verilmektedir



Şekil-4.38: FIRIN-1.1. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu.



Şekil-4.39: FIRIN-1.1. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı.

FIRIN-1.2. İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz

Bu kurutma evresinde, fırın içerisine aktif kısımlarının ağırlıkları toplamı yaklaşık 5970 kg. olan üç adet transformatör yerleştirilmiştir. Transformatörlerin dış yüzeylerinin alanları toplamı yaklaşık olarak $20,3 \text{ m}^2$ alınmıştır. Fırındaki boruların içerisindeki buharın sıcaklığı da fabrika verilerine dayanılarak 150°C sabit sıcaklıkta ele alınmıştır.

Isıtma işleminin ilk beş saatlik bölümü (ilk ısıtma süresi dört saattir) incelenmiş ve sıcaklığın değişimi gözlenmiştir. Bu işlemdeki deneysel veriler ile matematiksel modelde bulunan değerlerin karşılaştırması Şekil-4.40'da verilmektedir. Buna göre şu değerlendirmeler yapılabilir: 3,75 saatten sonra yapılan bir havalandırma nedeniyle, aşırı bir sıcaklık artışı görülememektedir. 5,75 saat sonundaki sıcaklık değeri $111,9^\circ\text{C}$ 'da kalmıştır. Matematiksel modelde ısıtma işleminde yapılan havalandırma dikkate alınmamıştır. Çünkü asıl uygulamaya göre, ısıtma işlemi başladıktan dört saat sonra havalandırma yapılmaktadır. Sistem otomatik kontrol sistemleri ile çalıştırılmadığı için, fırın operatörleri tarafından uygun olmayan zamanlarda havalandırmalar yapılabilmektedir. Bu nedenle, matematiksel model sonuçları ile fabrika verileri arasında ki özellikle dördüncü veya beşinci saatlerde (havalandırma anlarında) farklılıklar gözlenmektedir (Şekil-4.40).

Transformatörlerin ağırlıkları toplamı ve alanları, bu işlem için uygun düzeydedirler. İşlem, aşırı yükleme yapılmadan gerçekleştirilmiştir. Bu da, fırın hava sıcaklığının istenilen zamanlarda istenilen düzeylere çıkartılmasını sağlamıştır.

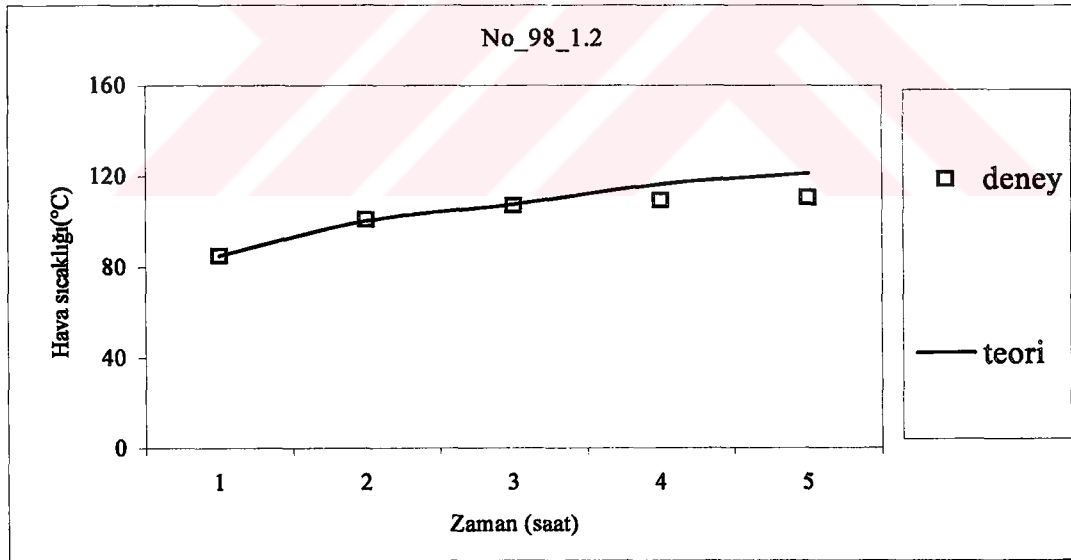
Matematiksel ve deneysel veri değerlerini (4.1) ve (4.2) denklemlerine göre normalize ettiğimizde de havalandırma etkileri nedeniyle farklılıklar görülmektedir (Şekil-4.41). Buna neden ise, başlangıç ve iki-üç saat sonundaki değerlerin benzer olmasına rağmen maksimum değerlerin farklı olmasıdır.

Fırın-1.2 işleminde deneysel veriler ve matematiksel model uygulanması ile elde edilen sonuçlar arasında korelasyon yapıldığında 0,9654 değerinde olan korelasyon katsayısı elde edilmiştir (Excel'97). Korelasyon katsayısı en uygun

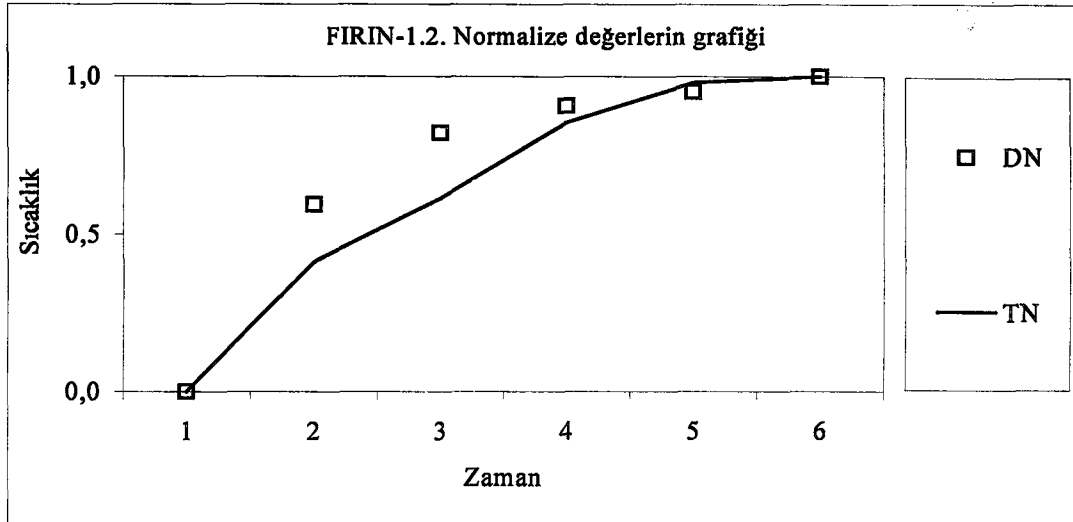
durumda 1'e eşittir. İşlem için yapılan standart sapma hesaplamalarına göre, deneysel (fabrikada çalışan sistem için) verilerin standart sapması 9,26 değerinde ve modelde bulunan sonuçlar için standart sapma 13,04 değerinde bulunmuştur. Şekil-4.40'daki veri dağılımları ikinci dereceden polinomlar olarak değerlendirildiğinde oluşan eğriler için bulunan R^2 değerleri, deney için 0,9821; model için de 0,9945 olarak bulunmuştur (Excel'97). İkinci dereceden kabul ettiğimiz polinomların derecesini arttırdığımızda bu değerlerin uygun sonuç olan 1'e yaklaştıkları görülmüştür. Ancak, kurutma fırınının prosesindeki değişimler için ikinci dereceden polinom seçmek hatalı bir sonuç oluşturmamaktadır.

Deneysel sonuçlar ile matematiksel model sonuçları arasındaki en büyük sıcaklık farkı, 3,75. saatten sonra 10,1°C'dir. Bu da havalandırmanın yapıldığı zamana denk gelmektedir.

Verilerin ve bulunan değerlerin zamana göre dağılımları ile normalize edilmiş değerleri EK-C'de Tablo-C.2 ile verilmektedir



Şekil-4.40: FIRIN-1.2. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu.



Şekil-4.41: FIRIN-1.2. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı.

FIRIN-1.3. İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz

Bu kurutma evresinde, fırın içerisine aktif kısımlarının ağırlıkları toplamı yaklaşık 8536 kg. olan sekiz adet transformatör yerleştirilmiştir. Transformatörlerin dış yüzeylerinin alanları toplamı yaklaşık olarak 35,4 m² alınmıştır. Fırındaki boruların içerisindeki buharın sıcaklığı da fabrika verilerine dayanılarak 150°C sabit sıcaklıkta ele alınmıştır.

Isıtma işleminin ilk beş saatlik bölümü (ilk ısıtma süresi dört saattir) incelenmiş ve sıcaklığın değişimi gözlenmiştir. Bu işlemdeki deneysel veriler ile matematiksel modelde bulunan değerlerin karşılaştırması Şekil-4.42’de verilmektedir. Bu işlemde deneysel sıcaklık 5,5 saat sonundaki sıcaklık değeri 111.7°C’da kalmıştır. Matematiksel modelde ısıtma işleminde yapılan havalandırma dikkate alınmadığı için (asıl uygulamaya göre, ısıtma işlemi başladıktan dört saat sonra havalandırma yapılmaktadır) 4.5 saat ve daha sonraki zamanlar için sıcaklık bulguları artış halinde görülmektedir. Sistem otomatik kontrol sistemleri ile çalıştırılmadığı için, fırın operatörleri tarafından uygun olmayan zamanlarda havalandırmalar yapılabilmektedir. Bu nedenle, matematiksel model sonuçları ile

fabrika verileri arasında ki özellikle dördüncü veya beşinci saatlerde (havalandırma anlarında) farklılıklar gözlenmektedir (Şekil-4.42).

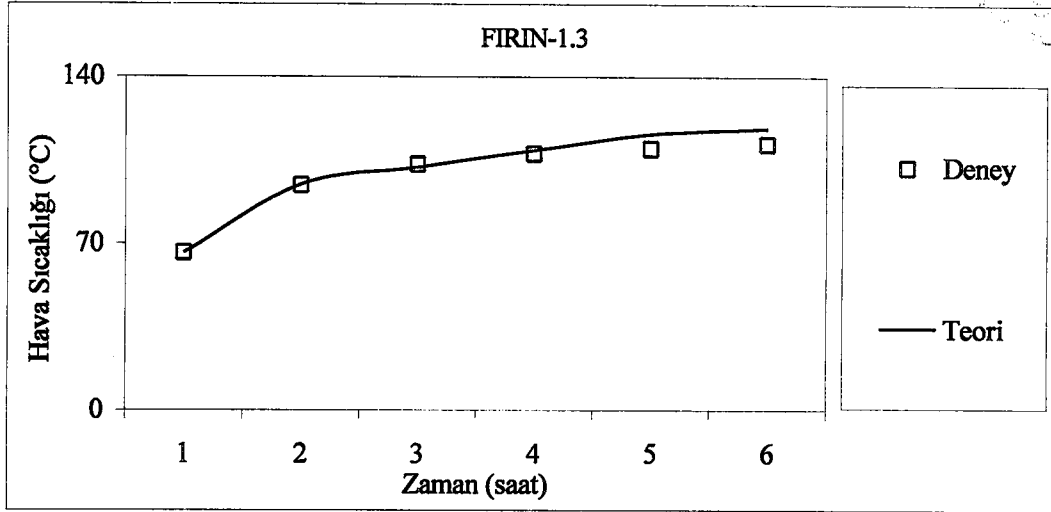
Transformatörlerin ağırlıkları toplamı ve alanları, bu işlem için uygun düzeydedirler. Bu işlemdeki transformatörlerin kapasiteleri maksimum 630 kVA'dır (kapasiteler önceki bölümlerde verilmiştir. Bkz. EK-B).

Matematiksel ve deneysel veri değerlerini denklem (4.1) ve (4.2)'ye göre normalize ettiğimizde de havalandırma etkileri nedeniyle farklılıklar görülmektedir (Şekil-4.43). Buna neden ise, başlangıç ve iki-üç saat sonundaki değerlerin benzer olmasına rağmen maksimum değerlerin farklı olmasıdır.

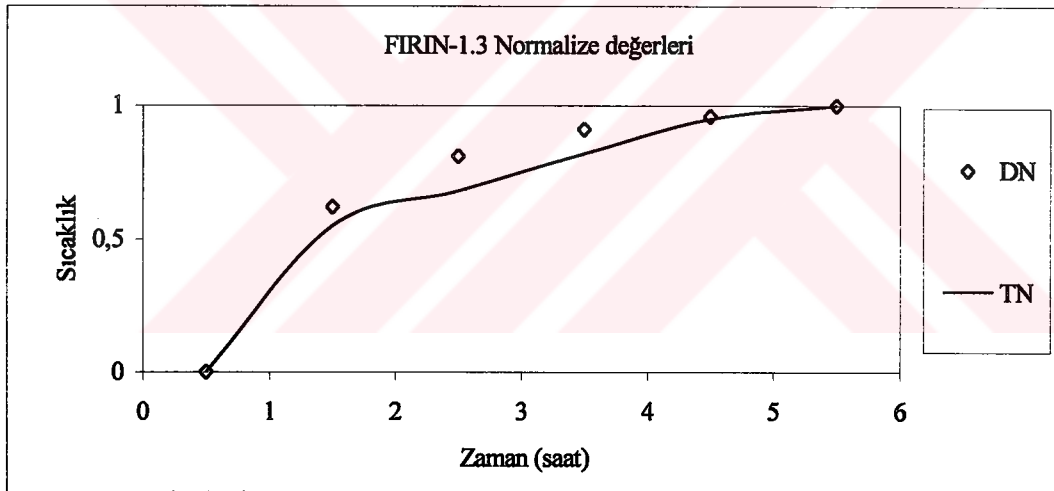
Fırın-1.3 işleminde deneysel veriler ile matematiksel model uygulanması ile elde edilen sonuçlar arasında korelasyon yapıldığında 0,9896 değerinde olan korelasyon katsayısı elde edilmiştir (Excel'97). Korelasyon katsayısı en uygun durumda 1'e eşittir. İşlem için yapılan standart sapma hesaplamalarına göre, deneysel (fabrikada çalışan sistem için) verilerin standart sapması 15,70 değerinde ve modelde bulunan sonuçlar için standart sapma 17,56 değerinde bulunmuştur. Şekil-4.42'deki veri dağılımları ikinci dereceden polinomlar olarak değerlendirildiğinde oluşan eğriler için bulunan R^2 değerleri, deney için 0,9555; model için de 0,9659 olarak bulunmuştur (Excel'97). İkinci dereceden kabul ettiğimiz polinomların derecesini arttırdığımızda bu değerlerin uygun sonuç olan 1'e yaklaştıkları görülmüştür. Ancak, kurutma fırınının prosesindeki değişimler için ikinci dereceden polinom seçmek hatalı bir sonuç oluşturmamaktadır.

Deneysel sonuçlar ile matematiksel model sonuçları arasındaki en büyük sıcaklık farkı, 5,50. saatte 6,6°C'dir. Bu, havalandırmanın yapıldığı zamandan sonraki anlara denk gelmektedir.

Verilerin ve bulunan değerlerin zamana göre dağılımları ile normalize edilmiş değerleri EK-C'de Tablo-C.3 ile verilmektedir



Şekil-4.42: FIRIN-1.3. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu.



Şekil-4.43: FIRIN-1.3. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı.

FIRIN-1.4. İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz

Bu kurutma evresinde fırın içerisine aktif kısımlarının ağırlıkları toplamı yaklaşık 3960 kg. olan altı adet transformatör yerleştirilmiştir. Transformatörlerin dış yüzeylerinin alanları toplamı yaklaşık olarak $19,8 \text{ m}^2$ alınmıştır. Fırındaki boruların içerisindeki buharın sıcaklığı da fabrika verilerine dayanılarak 150°C sabit sıcaklıkta ele alınmıştır.

Isıtma işleminin ilk beş saatlik bölümü (ilk ısıtma süresi dört saattir) incelenmiş ve sıcaklığın değişimi gözlenmiştir. Bu işlemdeki deneysel veriler ile matematiksel modelde bulunan değerlerin karşılaştırması Şekil-4.44'de verilmektedir. Bu işlemde deneysel sıcaklık 5,5 saat sonundaki sıcaklık değeri $120,2^\circ\text{C}$ 'da kalmıştır. Matematiksel modelde ısıtma işleminde yapılan havalandırma dikkate alınmadığı için (asıl uygulamaya göre, ısıtma işlemi başladıktan dört saat sonra havalandırma yapılmaktadır) 4,5 saat sonra model ile deney çakışmaktadır. Bu zamanda fırın havası sıcaklığı havalandırma etkisiyle $115,1^\circ\text{C}$ 'den $112,5^\circ\text{C}$ 'a düşmüştür. Modelde ise havalandırma dikkate alınmadığı için sıcaklık artışı devam etmektedir.

Sistem otomatik kontrol sistemleri ile çalıştırılmadığı için, fırın operatörleri tarafından uygun olmayan zamanlarda havalandırmalar yapılabilmektedir. Bu nedenle, matematiksel model sonuçları ile fabrika verileri arasında ki özellikle dördüncü veya beşinci saatlerde (havalandırma anlarında) farklılıklar gözlenmektedir (Şekil-4.44).

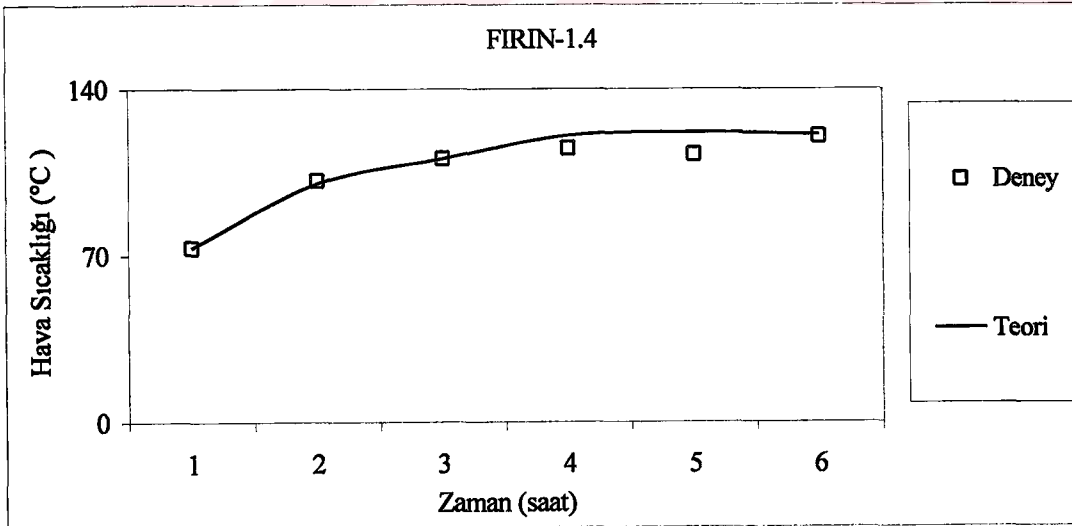
Transformatörlerin ağırlıkları toplamı ve alanları, bu işlem için uygun düzeydedirler (kapasiteler önceki bölümlerde verilmiştir. Bkz. EK-B).

Matematiksel ve deneysel veri değerlerini denklem (4.1) ve (4.2)'ye göre normalize ettiğimizde de havalandırma etkileri nedeniyle farklılıklar görülmektedir. Buna neden ise, başlangıç ve iki-üç saat sonundaki değerlerin benzer olmasına rağmen maksimum değerlerin farklı olmasıdır. Aynı zamanda, deneysel işlemde

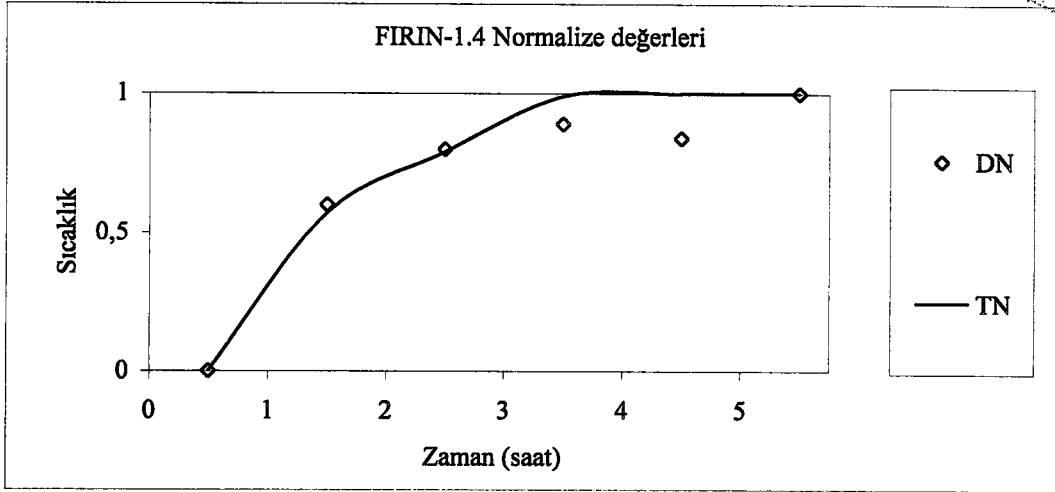
yapılan havalandırma sonucu sıcaklığında düşüş gözlenen fırın havasının zamana göre normalize edilmiş sıcaklık değerlerinde tutarsızlık bulunmaktadır (Şekil-4.45).

Fırın-1.4 işleminde deneysel veriler ile matematiksel model uygulanması ile elde edilen sonuçlar arasında korelasyon yapıldığında 0,9792 değerinde olan korelasyon katsayısı elde edilmiştir (Excel'97). Korelasyon katsayısı en uygun durumda 1'e eşittir. İşlem için yapılan standart sapma hesaplamalarına göre, deneysel (fabrikada çalışan sistem için) verilerin standart sapması 15,55 değerinde ve modelde bulunan sonuçlar için standart sapma 17,27 değerinde bulunmuştur. Şekil-4.44'deki veri dağılımları ikinci dereceden polinomlar olarak değerlendirildiğinde oluşan eğriler için bulunan R^2 değerleri, deney için 0,9200; model için de 0,9878 olarak bulunmuştur (Excel'97). İkinci dereceden kabul ettiğimiz polinomların derecesini arttırdığımızda bu değerlerin uygun sonuç olan 1'e yaklaştıkları görülmüştür. Ancak, kurutma fırınının prosesindeki değişimler için ikinci dereceden polinom seçmek hatalı bir sonuç oluşturmamaktadır.

Deneysel sonuçlar ile matematiksel model sonuçları arasındaki en büyük sıcaklık farkı, 4,50. saatte $9,3^{\circ}\text{C}$ ile oluşmuştur. Bu, yukarıda açıklanan sıcaklık düşmesi ile bağlantılıdır. Verilerin ve bulunan değerlerin zamana göre dağılımları ile normalize edilmiş değerleri EK-C'de Tablo-C.4 ile verilmektedir.



Şekil-4.44: FIRIN-1.4. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu.



Şekil-4.45: FIRIN-1.4. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı. Havalandırma nedeniyle model-deney verilerinin farklılığı normalize değerleri de birbirlerinden farklı kılmıştır. İlk saatlerde bu olay gerçekleşmemektedir.

FIRIN-1.5. İşleminin DeneySEL ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz

Bu kurutma evresinde fırın içerisine aktif kısımlarının ağırlıkları toplamı yaklaşık 10180 kg. olan yedi adet transformatör yerleştirilmiştir. Transformatörlerin dış yüzeylerinin alanları toplamı yaklaşık olarak 33,7 m² alınmıştır. Fırındaki boruların içerisindeki buharın sıcaklığı da fabrika verilerine dayanılarak 150°C sabit sıcaklıkta ele alınmıştır.

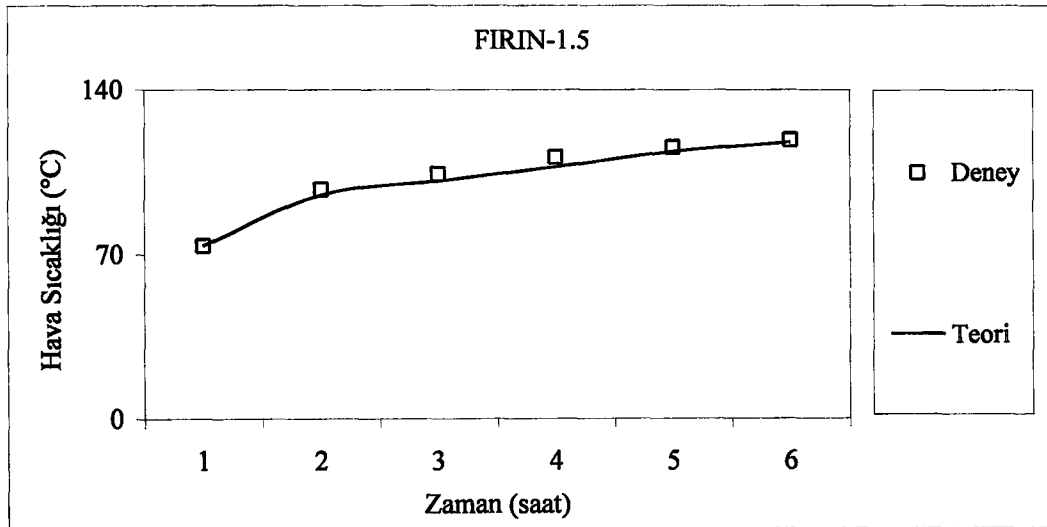
Isıtma işleminin ilk beş buçuk saatlik bölümü (ilk ısıtma süresi dört saattir) incelenmiş ve sıcaklığın değişimi gözlenmiştir. Bu işlemdeki deneysel veriler ile matematiksel modelde bulunan değerlerin karşılaştırması Şekil-4.46'da gösterilmektedir.

Transformatörlerin ağırlıkları toplamı ve alanları, diğer işlemlere göre oldukça fazladır. Aşırı yükleme yapılmıştır (kapasiteler önceki bölümlerde verilmiştir. Bkz. EK-B). Modelden elde edilen sıcaklık değerleri, deneysel sıcaklık verilerinin biraz altında seyretmektedir. Matematiksel ve deneysel veri değerlerini denklem (4.1) ve (4.2)'ye göre normalize ederek zamana karşı irdelediğimizde de model sonuçlarının

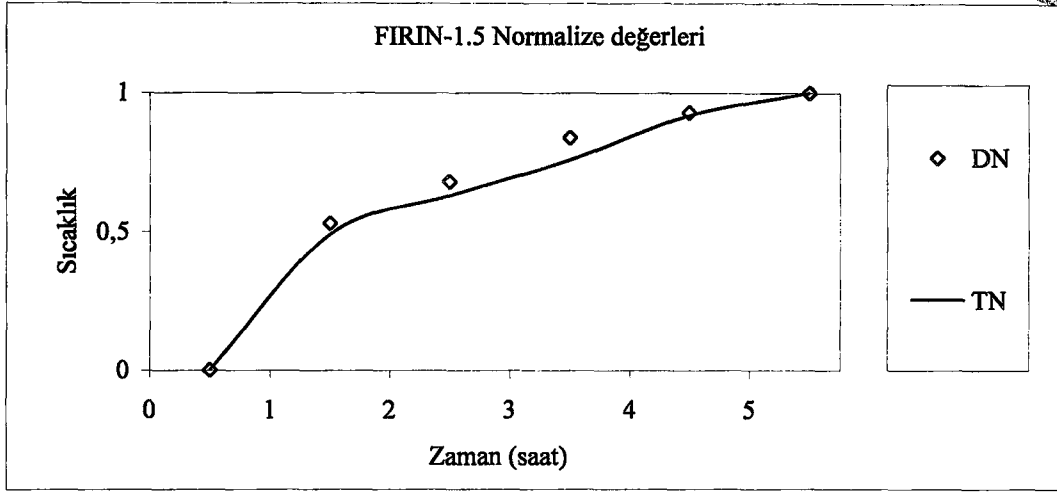
deney sonuçlarına tam olarak uymadığı görülebilir (Şekil-4.47). Aşırı yükleme bu sorunun cevabı olmaktadır.

Fırın-1.5 işleminde deneysel veriler ile matematiksel model uygulanması ile elde edilen sonuçlar arasında korelasyon yapıldığında 0,9906 değerinde olan korelasyon katsayısı elde edilmiştir (Excel'97). Korelasyon katsayısı en uygun durumda 1'e eşittir. İşlem için yapılan standart sapma hesaplamalarına göre, deneysel (fabrikada çalışan sistem için) verilerin standart sapması 15,09 değerinde ve modelde bulunan sonuçlar için standart sapma 14,46 değerinde bulunmuştur. Şekil-4.46'daki veri dağılımları ikinci dereceden polinomlar olarak değerlendirildiğinde oluşan eğriler için bulunan R^2 değerleri, deney için 0,9745; model için de 0,9695 olarak bulunmuştur (Excel'97). İkinci dereceden kabul ettiğimiz polinomların derecesini arttırdığımızda bu değerlerin uygun sonuç olan 1'e yaklaştıkları görülmüştür. Ancak, kurutma fırınının prosesindeki değişimler için ikinci dereceden polinom seçmek hatalı bir sonuç oluşturmamaktadır. Deneysel sonuçlar ile matematiksel model sonuçları arasındaki en büyük sıcaklık farkı, 3,50. saatte $4,3^{\circ}\text{C}$ 'dir.

Verilerin ve bulunan değerlerin zamana göre dağılımları ile normalize edilmiş değerleri EK-C'de Tablo-C.5 ile verilmektedir.



Şekil-4.46: FIRIN-1.5. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu.



Şekil-4.47: FIRIN-1.5. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı.

FIRIN-1.8. İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz

Bu kurutma evresinde fırın içerisine aktif kısımlarının ağırlıkları toplamı yaklaşık 13450(+ tamir trafosu) kg. olan on adet transformatör yerleştirilmiştir. Transformatörlerin dış yüzeylerinin alanları toplamı yaklaşık olarak 46,2 m² alınmıştır. Fırındaki boruların içerisindeki buharın sıcaklığı da fabrika verilerine dayanılarak 150°C sabit sıcaklıkta ele alınmıştır.

Isıtma işleminin ilk beş saatlik bölümü (ilk ısıtma süresi dört saattir) incelenmiş ve sıcaklığın değişimi gözlenmiştir. Bu işlemdeki deneysel veriler ile matematiksel modelde bulunan değerlerin karşılaştırması Şekil-4.48’de verilmektedir. Isıtmanın üçüncü saatinde havalandırma yapılmış ve fırın havasının sıcaklığında düşüş olmuştur.

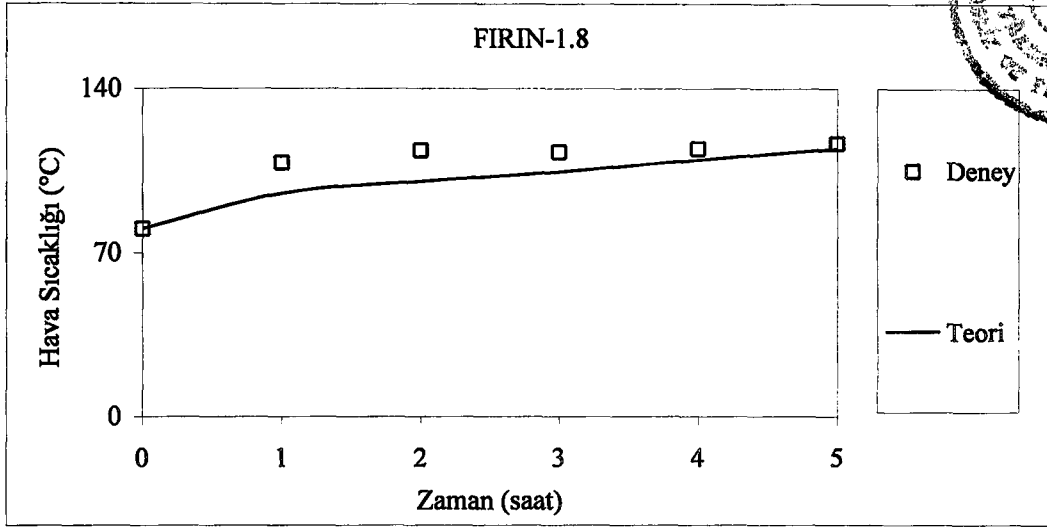
Transformatörlerin ağırlıkları toplamı ve alanları, diğer işlemlere göre oldukça fazladır. Aşırı yükleme yapılmıştır (kapasiteler önceki bölümlerde verilmiştir. Bkz. EK-B). Modelden elde edilen sıcaklık değerleri, deneysel sıcaklık verilerinin biraz altında seyretmektedir. Matematiksel ve deneysel veri değerlerini denklem (4.1) ve (4.2)’ye göre normalize ederek zamana karşı irdelediğimizde de model sonuçlarının

deney sonuçlarına tam olarak uymadığı görülebilir (Şekil-4.49). Aşırı yüklenme bu sorunun cevabı olmaktadır.

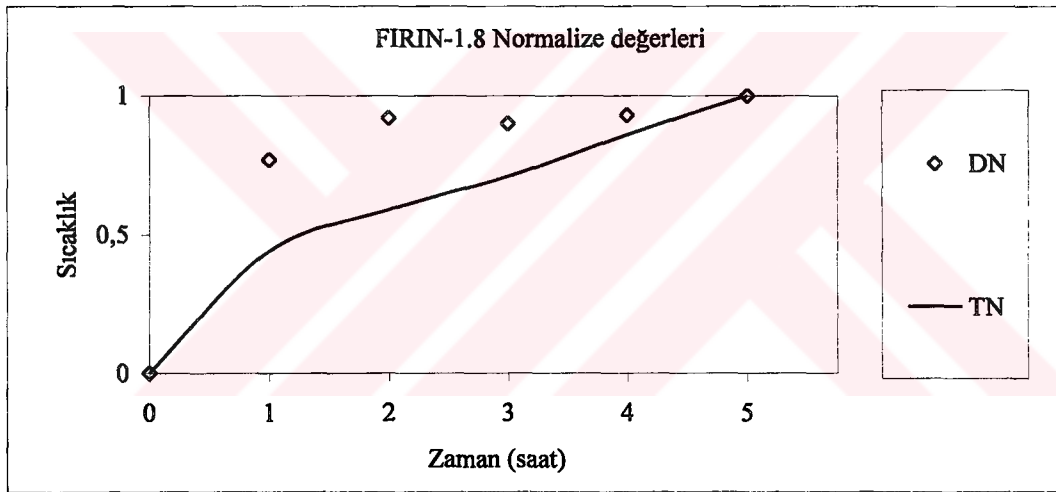
Fırın-1.8 işleminde deneysel veriler ile matematiksel model uygulanması ile elde edilen sonuçlar arasında korelasyon yapıldığında 0,9144 değerinde olan korelasyon katsayısı elde edilmiştir (Excel'97). Korelasyon katsayısı en uygun durumda 1'e eşittir. Şekil-4.48'deki veri dağılımları ikinci dereceden polinomlar olarak değerlendirildiğinde oluşan eğriler için bulunan R^2 değerleri, deney için 0,8660; model için de 0,9722 olarak bulunmuştur (Excel'97). İkinci dereceden kabul ettiğimiz polinomların derecesini arttırdığımızda bu değerlerin uygun sonuç olan 1'e yaklaştıkları görülmüştür. Ancak, kurutma fırınının prosesindeki değişimler için ikinci dereceden polinom seçmek hatalı bir sonuç oluşturmamaktadır. Bu işlemdeki deneysel verinin R^2 değerinden, işlemin inişli çıkışlı yani derecesi daha fazla olan bir polinom gibi olduğu anlaşılmaktadır.

Deneysel sonuçlar ile matematiksel model sonuçları arasındaki en büyük sıcaklık farkı, 2,00. saatte $13,3^{\circ}\text{C}$ 'dir. İşlemin seçtiğimiz polinoma uymaması ve değişken bir yapıda olması nedeniyle bu fark oluşmuştur. Model verilerinin tekrar yeniden girilmesiyle de aynı sonuçlar bulunmuştur.

Verilerin ve bulunan değerlerin zamana göre dağılımları ile normalize edilmiş değerleri EK-C'de Tablo-C.6 ile verilmektedir.



Şekil-4.48: FIRIN-1.8. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu.



Şekil-4.49: FIRIN-1.8. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı.

FIRIN-1.9. İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz

Bu kurutma evresinde fırın içerisine aktif kısımlarının ağırlıkları toplamı yaklaşık 8096 kg. olan altı adet transformatör yerleştirilmiştir. Transformatörlerin dış yüzeylerinin alanları toplamı yaklaşık olarak 26,4 m² alınmıştır. Fırındaki boruların içerisindeki buharın sıcaklığı da fabrika verilerine dayanılarak 150°C sabit sıcaklıkta ele alınmıştır.

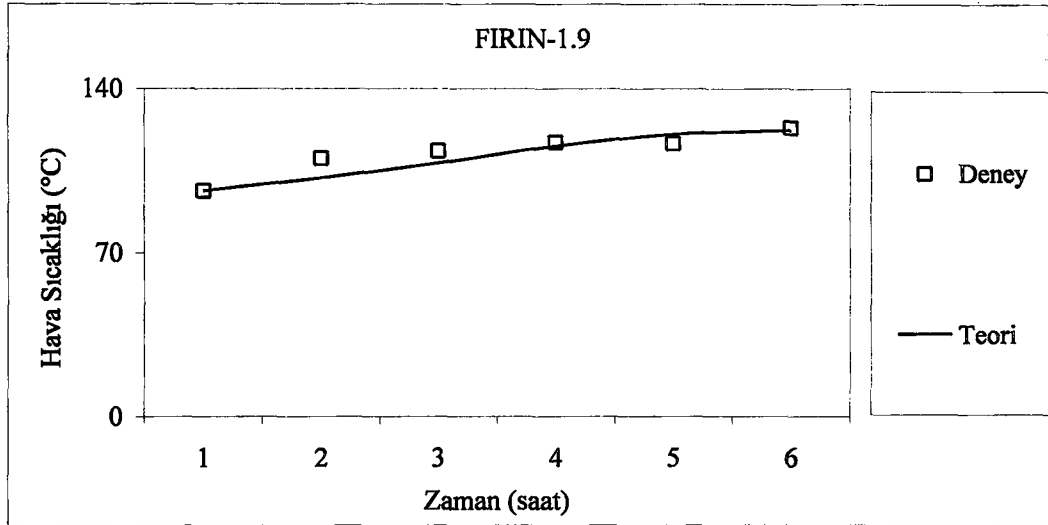


Isıtma işleminin ilk 5,77 saatlik bölümü (ilk ısıtma süresi dört saat) incelenmiş ve sıcaklığın değişimi gözlenmiştir. Bu işlemdeki deneysel veriler ile matematiksel modelde bulunan değerlerin karşılaştırması Şekil-4.50’de verilmektedir. Isıtmanın dördüncü saatinde normal olarak havalandırma yapılmış ve fırın havasının sıcaklığında bir azalma oluşmuştur.

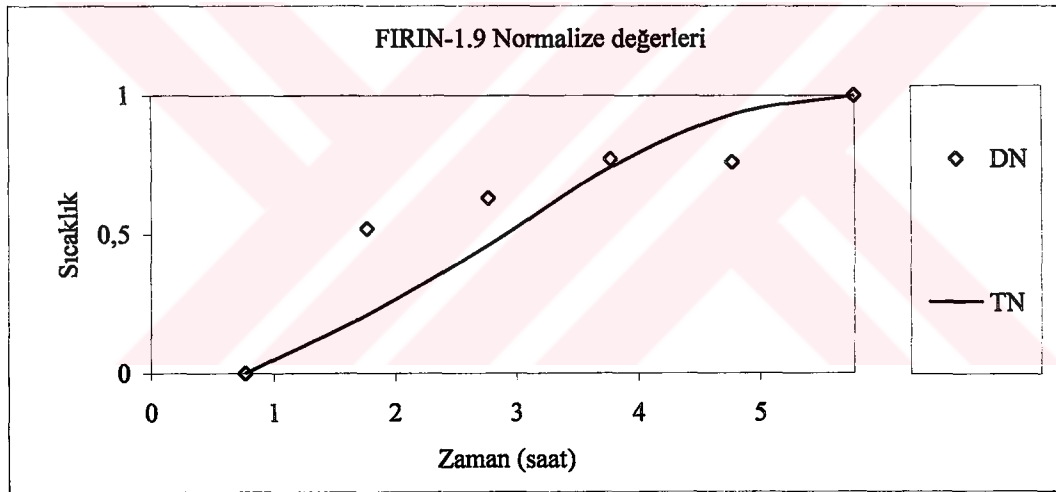
Transformatörlerin ağırlıkları toplamı ve alanları, normal düzeylerde sayılabilir, ancak kapasiteleri fazla olan transformatörler bir arada bulunmaktadır (kapasiteler önceki bölümlerde verilmiştir. Bkz. EK-B). Modelden elde edilen sıcaklık değerleri, deneysel sıcaklık verilerinin biraz altında seyretmektedir. Matematiksel ve deneysel veri değerlerini denklem (4.1) ve (4.2)’ye göre normalize ederek zamana karşı irdelediğimizde de, tamamıyla düzenli sıcaklık artışları olmadığı için Şekil-4.51’deki gibi bir dağılım oluşmaktadır.

Fırın-1.9 işleminde deneysel veriler ile matematiksel model uygulanması ile elde edilen sonuçlar arasında korelasyon yapıldığında 0,9130 değerinde olan korelasyon katsayısı elde edilmiştir (Excel’97). Korelasyon katsayısı en uygun durumda 1’e eşittir. İşlem için yapılan standart sapma hesaplamalarına göre, deneysel (fabrikada çalışan sistem için) verilerin standart sapması 8,35 değerinde ve modelde bulunan sonuçlar için standart sapma 9,45 değerinde bulunmuştur. Şekil-4.50’deki veri dağılımları ikinci dereceden polinomlar olarak değerlendirildiğinde oluşan eğriler için bulunan R^2 değerleri, deney için 0,9157; model için de 0,9901 olarak bulunmuştur (Excel’97). İkinci dereceden kabul ettiğimiz polinomların derecesini arttırdığımızda bu değerlerin uygun sonuç olan 1’e daha da yaklaştıkları görülmüştür. Ancak, kurutma fırınının prosesindeki değişimler için ikinci dereceden polinom seçmek hatalı bir sonuç oluşturmamaktadır. Deneysel sonuçlar ile matematiksel model sonuçları arasındaki en büyük sıcaklık farkı, 1,00. saatte $8,5^{\circ}\text{C}$ ’dir.

Verilerin ve bulunan değerlerin zamana göre dağılımları ile normalize edilmiş değerleri EK-C’de Tablo-C.7 ile verilmektedir.



Şekil-4.50: FIRIN-1.9. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu.



Şekil-4.51: FIRIN-1.9. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı.

FIRIN-1.10. İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz

Bu kurutma evresinde fırın içerisine aktif kısımlarının ağırlıkları toplamı yaklaşık 4200 kg. olan iki adet transformatör yerleştirilmiştir. Transformatörlerin dış yüzeylerinin alanları toplamı yaklaşık olarak 15,0 m² alınmıştır. Fırındaki boruların

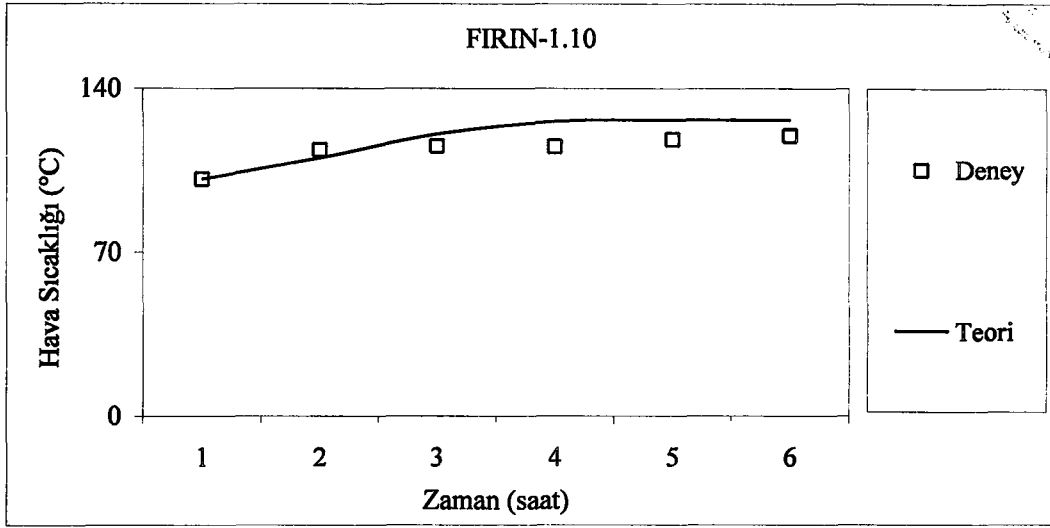
içerisindeki buharın sıcaklığı da fabrika verilerine dayanılarak 150°C sabit sıcaklıkta ele alınmıştır.

Isıtma işleminin ilk 6,00 saatlik bölümü (ilk ısıtma süresi dört saattir) incelenmiş ve sıcaklığın değişimi gözlenmiştir. Bu işlemdeki deneysel veriler ile matematiksel modelde bulunan değerlerin karşılaştırması Şekil-4.52’de gösterilmektedir. Isıtmanın dördüncü saatinde normal olarak havalandırma yapılmış ve fırın havasının sıcaklığında bir azalma oluşmuştur.

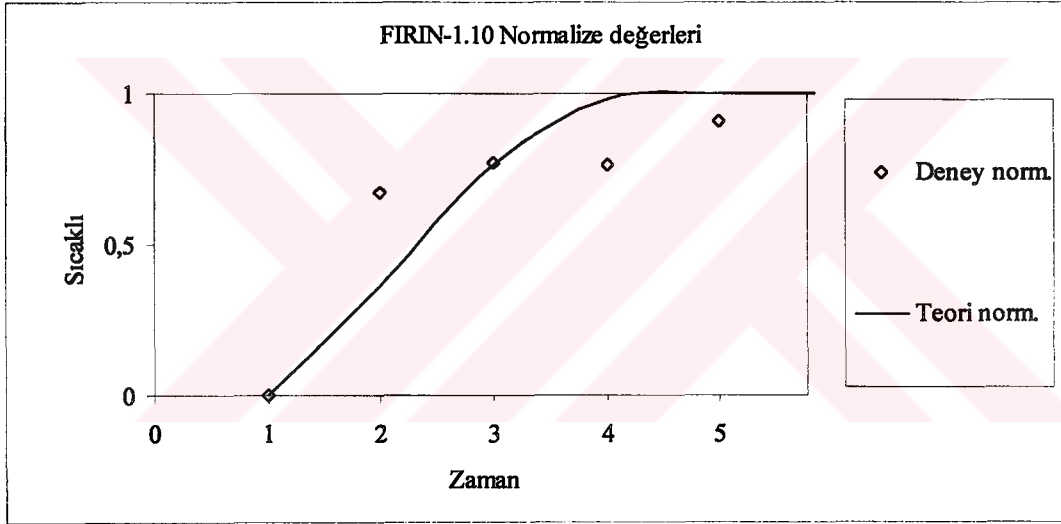
Transformatörlerin ağırlıkları toplamı ve alanları, normal düzeylerde sayılabilir (kapasiteler önceki bölümlerde verilmiştir. Bkz. EK-B). Matematiksel ve deneysel veri değerlerini denklem (4.1) ve (4.2)’ye göre normalize ederek zamana karşı irdelediğimizde de, tamamıyla düzenli sıcaklık artışları olmadığı için Şekil-4.53’deki gibi bir dağılım oluşmaktadır.

Fırın-1.10 işleminde deneysel veriler ile matematiksel model uygulanması ile elde edilen sonuçlar arasında korelasyon yapıldığında 0,9074 değerinde olan korelasyon katsayısı elde edilmiştir (Excel’97). Korelasyon katsayısı en uygun durumda 1’e eşittir. İşlem için yapılan standart sapma hesaplamalarına göre, deneysel (fabrikada çalışan sistem için) verilerin standart sapması 6,07 değerinde ve modelde bulunan sonuçlar için standart sapma 9,67 değerinde bulunmuştur. Şekil-4.52’deki veri dağılımları ikinci dereceden polinomlar olarak değerlendirildiğinde oluşan eğriler için bulunan R^2 değerleri, deney için 0,8729; model için de 0,9924 olarak bulunmuştur (Excel’97). İkinci dereceden kabul ettiğimiz polinomların derecesini arttırdığımızda bu değerlerin uygun sonuç olan 1’e daha da yaklaştıkları görülmüştür. Ancak, kurutma fırınının prosesindeki değişimler için ikinci dereceden polinom seçmek hatalı bir sonuç oluşturmamaktadır. Deneysel sonuçlar ile matematiksel model sonuçları arasındaki en büyük sıcaklık farkı, 4,00. saatte 10,7°C’dir ki bu, havalandırmanın etkisindedir.

Verilerin ve bulunan değerlerin zamana göre dağılımları ile normalize edilmiş değerleri EK-C’de Tablo-C.8 ile verilmektedir.



Şekil-4.52: FIRIN-1.10. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu.



Şekil-4.53: FIRIN-1.10. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı.

FIRIN-1.11. İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz

Bu kurutma evresi de bir önceki işleme benzemektedir. Fırın içerisine aktif kısımlarının ağırlıkları toplamı yaklaşık 4200 kg. olan iki adet transformatör yerleştirilmiştir. Transformatörlerin dış yüzeylerinin alanları toplamı yaklaşık olarak

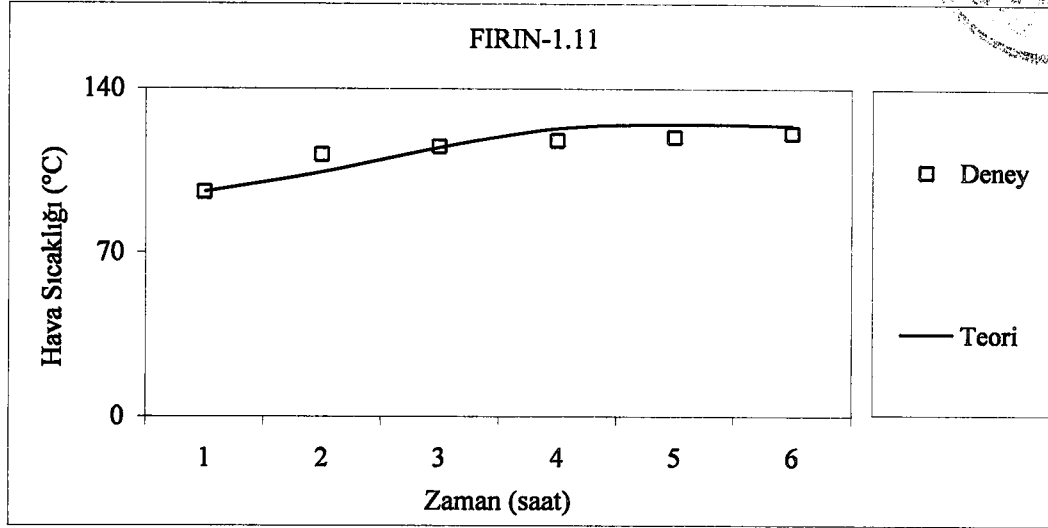
15,0 m² alınmıştır. Fırındaki boruların içerisindeki buharın sıcaklığı da fabrika verilerine dayanılarak 150°C sabit sıcaklıkta ele alınmıştır.

Isıtma işleminin ilk 5,50 saatlik bölümü (ilk ısıtma süresi dört saattir) incelenmiş ve sıcaklığın değişimi gözlenmiştir. Bu işlemdeki deneysel veriler ile matematiksel modelde bulunan değerlerin karşılaştırması Şekil-4.54'de gösterilmektedir. Model sonuçları ile deneysel veri değerleri arasındaki sıcaklık farkları havalandırmadan ve trafo kapasitelerinden kaynaklanmaktadır.

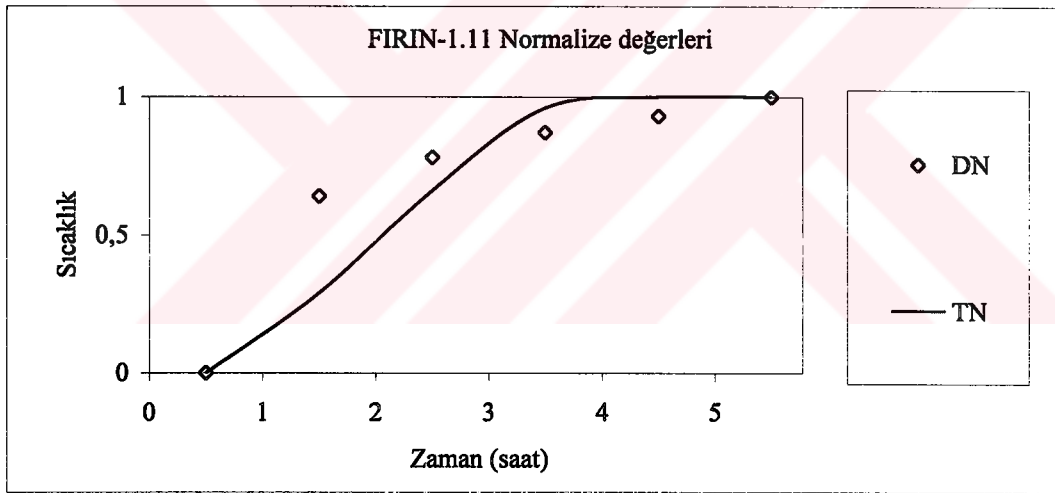
Transformatörlerin ağırlıkları toplamı ve alanları, normal düzeylerde sayılabilir (kapasiteler önceki bölümlerde verilmiştir. Bkz. EK-B). Matematiksel ve deneysel veri değerlerini denklem (4.1) ve (4.2)'ye göre normalize ederek zamana karşı irdelediğimizde de, tamamıyla düzenli sıcaklık artışları olmadığı için Şekil-4.55'deki gibi bir dağılım oluşmaktadır.

Fırın-1.11 işleminde deneysel veriler ile matematiksel model uygulanması ile elde edilen sonuçlar arasında korelasyon yapıldığında 0,9270 değerinde olan korelasyon katsayısı elde edilmiştir (Excel'97). Korelasyon katsayısı en uygun durumda 1'e eşittir. . İşlem için yapılan standart sapma hesaplamalarına göre, deneysel (fabrikada çalışan sistem için) verilerin standart sapması 8,48 değerinde ve modelde bulunan sonuçlar için standart sapma 11,09 değerinde bulunmuştur. Şekil-4.54'deki veri dağılımları ikinci dereceden polinomlar olarak değerlendirildiğinde oluşan eğriler için bulunan R² değerleri, deney için 0,9368; model için de 0,9866 olarak bulunmuştur (Excel'97). İkinci dereceden kabul ettiğimiz polinomların derecesini arttırdığımızda bu değerlerin uygun sonuç olan 1'e daha da yaklaştıkları görülmüştür. Ancak, kurutma fırınının prosesindeki değişimler için ikinci dereceden polinom seçmek hatalı bir sonuç oluşturmamaktadır. Deneysel sonuçlar ile matematiksel model sonuçları arasındaki en büyük sıcaklık farkı, 1,50. saatte 7,7°C'dir.

Verilerin ve bulunan değerlerin zamana göre dağılımları ile normalize edilmiş değerleri EK-C'de Tablo-C.9 ile verilmektedir.



Şekil-4.54: FIRIN-1.11. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu.



Şekil-4.55: FIRIN-1.11. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı.

FIRIN-1.12. İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz

Bu kurutma evresinde fırın içerisine aktif kısımlarının ağırlıkları toplamı yaklaşık 15210 kg. olan sekiz adet transformatör yerleştirilmiştir. Transformatörlerin dış yüzeylerinin alanları toplamı yaklaşık olarak 51,6 m² alınmıştır. Fırındaki

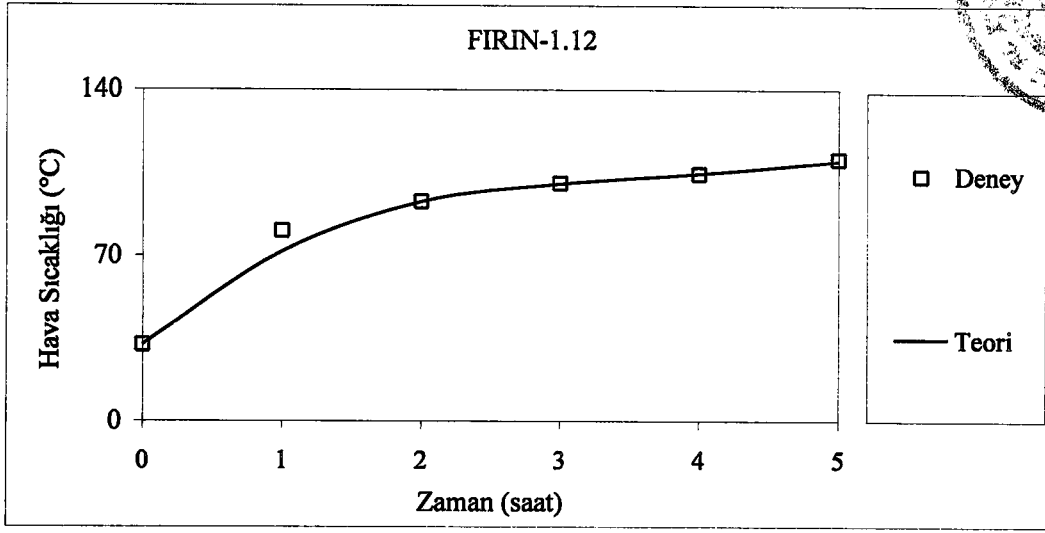
boruların içerisindeki buharın sıcaklığı da fabrika verilerine dayanılarak 150°C sabit sıcaklıkta ele alınmıştır.

Isıtma işleminin ilk beş saatlik bölümü (ilk ısıtma süresi dört saattir) incelenmiş ve sıcaklığın değişimi gözlenmiştir. Bu işlemdeki deneysel veriler ile matematiksel modelde bulunan değerlerin karşılaştırması Şekil-4.56'da gösterilmektedir.

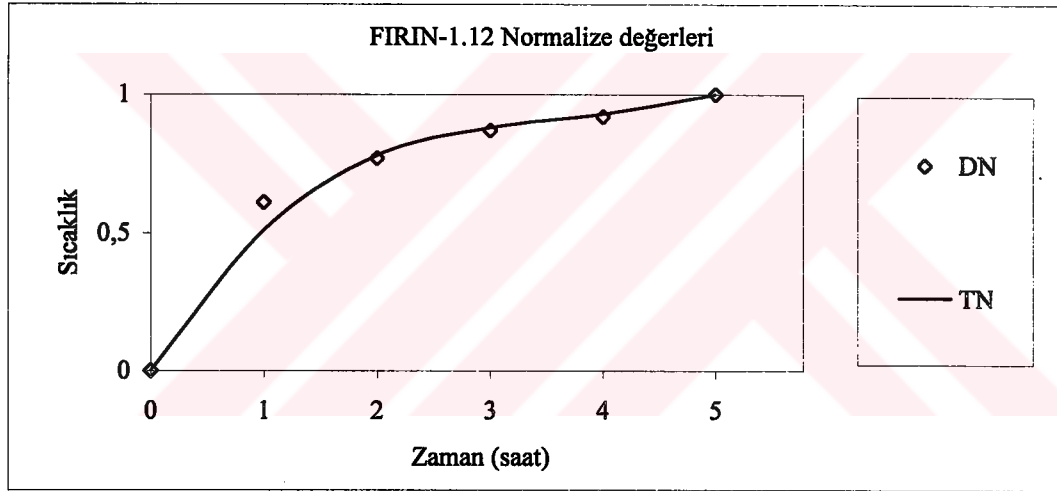
Transformatörlerin ağırlıkları toplamı ve alanları, normal düzeylerde sayılabilir ancak; ilk saat sonunda modelde bulunan sıcaklık değeri, asıl değere göre düşük bulunmuştur (kapasiteler önceki bölümlerde verilmiştir. Bkz. EK-B). Matematiksel ve deneysel veri değerlerini denklem (4.1) ve (4.2)'ye göre normalize ederek zamana karşı irdelediğimizde de, tamamıyla düzenli sıcaklık artışları olmadığı için Şekil-4.57'deki gibi bir dağılım oluşmaktadır.

Fırın-1.12 işleminde deneysel veriler ile matematiksel model uygulanması ile elde edilen sonuçlar arasında korelasyon yapıldığında 0,9928 değerinde olan korelasyon katsayısı elde edilmiştir (Excel'97). Korelasyon katsayısı en uygun durumda 1'e eşittir. İşlem için yapılan standart sapma hesaplamalarına göre, deneysel (fabrikada çalışan sistem için) verilerin standart sapması 26,21 değerinde ve modelde bulunan sonuçlar için standart sapma 26,63 değerinde bulunmuştur. Şekil-4.56'daki veri dağılımları ikinci dereceden polinomlar olarak değerlendirildiğinde oluşan eğriler için bulunan R^2 değerleri, deney için 0,9426; model için de 0,9786 olarak bulunmuştur (Excel'97). İkinci dereceden kabul ettiğimiz polinomların derecesini arttırdığımızda bu değerlerin uygun sonuç olan 1'e daha da yaklaştıkları görülmüştür. Ancak, kurutma fırınının prosesindeki değişimler için ikinci dereceden polinom seçmek hatalı bir sonuç oluşturmamaktadır. Deneysel sonuçlar ile matematiksel model sonuçları arasındaki en büyük sıcaklık farkı, 1,00. saatte 8,8°C'dir. Diğer saatlerde sıcaklık farkı oldukça azalmıştır.

Verilerin ve bulunan değerlerin zamana göre dağılımları ile normalize edilmiş değerleri EK-C'de Tablo-C.10 ile verilmektedir.



Şekil-4.56: FIRIN-1.12. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu.



Şekil-4.57: FIRIN-1.12. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı.

FIRIN-1.14. İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz

Bu kurutma evresinde fırın içerisine aktif kısımlarının ağırlıkları toplamı yaklaşık 6030 kg. olan iki adet transformatör yerleştirilmiştir. Transformatörlerin dış yüzeylerinin alanları toplamı yaklaşık olarak 15,8 m² alınmıştır. Fırındaki boruların



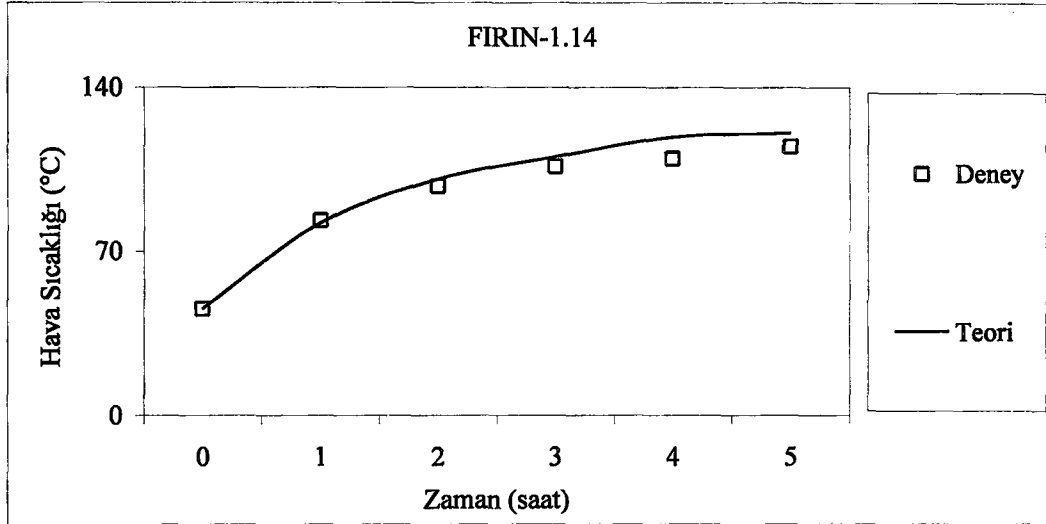
içerisindeki buharın sıcaklığı da fabrika verilerine dayanılarak 150°C sabit sıcaklıkta ele alınmıştır.

Isıtma işleminin ilk dört buçuk saatlik bölümü (ilk ısıtma süresi dört saattir) incelenmiş ve sıcaklığın değişimi gözlenmiştir. Bu işlemdeki deneysel veriler ile matematiksel modelde bulunan değerlerin karşılaştırması Şekil-4.58’de gösterilmektedir. İlk ısıtma devresinin sonlarına gelinirken havalandırma yapılmıştır. Bu nedenle model sonucu elde edilen sıcaklıklar son saatlerde deney ile tam olarak uyuşmamaktadır. Modelde sıcaklık artışı devam etmektedir.

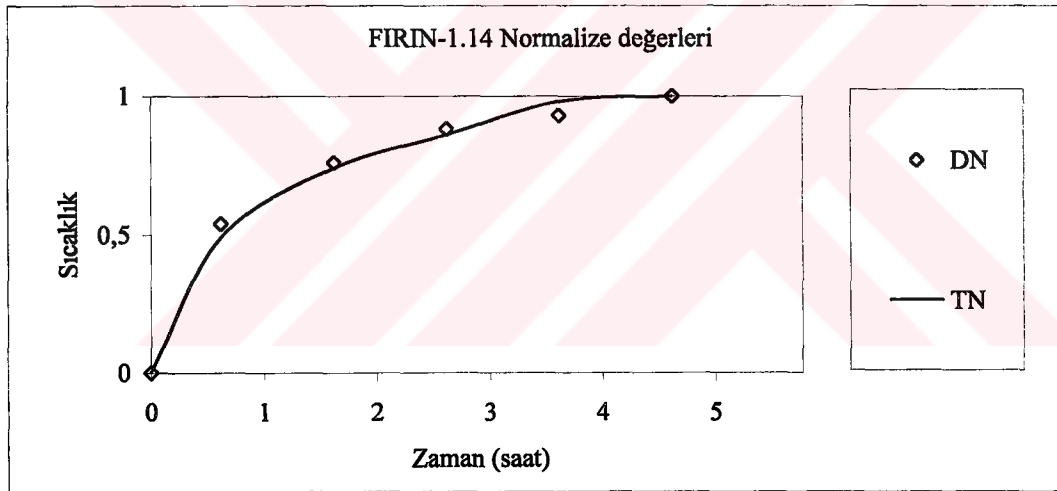
Transformatörlerin ağırlıkları toplamı ve alanları, normal düzeylerdedir (kapasiteler önceki bölümlerde verilmiştir. Bkz. EK-B). Matematiksel ve deneysel veri değerlerini denklem (4.1) ve (4.2)’ye göre normalize ederek zamana karşı irdelediğimizde de, tamamıyla düzenli sıcaklık artışları olmadığı için Şekil-4.59’daki gibi bir dağılım oluşmaktadır.

Fırın-1.14 işleminde deneysel veriler ile matematiksel model uygulanması ile elde edilen sonuçlar arasında korelasyon yapıldığında 0,9961 değerinde olan korelasyon katsayısı elde edilmiştir (Excel’97). Korelasyon katsayısı en uygun durumda 1’e eşittir. İşlem için yapılan standart sapma hesaplamalarına göre, deneysel (fabrikada çalışan sistem için) verilerin standart sapması 23,48 değerinde ve modelde bulunan sonuçlar için standart sapma 23,65 değerinde bulunmuştur. Şekil-4.58’deki veri dağılımları ikinci dereceden polinomlar olarak değerlendirildiğinde oluşan eğriler için bulunan R^2 değerleri, deney için 0,9711; model için de 0,9894 olarak bulunmuştur (Excel’97). İkinci dereceden kabul ettiğimiz polinomların derecesini arttırdığımızda bu değerlerin uygun sonuç olan 1’e daha da yaklaştıkları görülmüştür. Ancak, kurutma fırınının prosesindeki değişimler için ikinci dereceden polinom seçmek hatalı bir sonuç oluşturmamaktadır. Deneysel sonuçlar ile matematiksel model sonuçları arasındaki en büyük sıcaklık farkı, 3,62. saatte 9,1°C’dir. Bu zaman da havalandırma anına denk gelmektedir. Diğer saatlerde sıcaklık farkı oldukça azalmıştır.

Verilerin ve bulunan değerlerin zamana göre dağılımları ile normalize edilmiş değerleri EK-C’de Tablo-C.11 ile verilmektedir.



Şekil-4.58: FIRIN-1.14. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu.



Şekil-4.59: FIRIN-1.14. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı.

FIRIN-1.15. İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz

Bu kurutma evresinde fırın içerisine aktif kısımlarının ağırlıkları toplamı yaklaşık 4218 kg. olan dört adet transformatör yerleştirilmiştir. Transformatörlerin dış yüzeylerinin alanları toplamı yaklaşık olarak 17,3 m² alınmıştır. Fırındaki

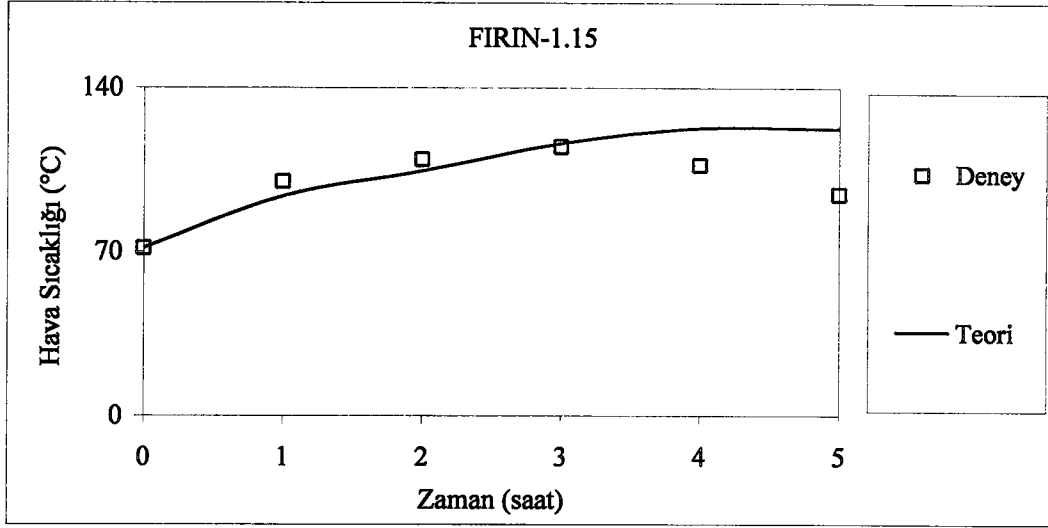
boruların içerisindeki buharın sıcaklığı da fabrika verilerine dayanılarak 150°C sabit sıcaklıkta ele alınmıştır.

Isıtma işleminin ilk dört buçuk saatlik bölümü (ilk ısıtma süresi dört saattir) incelenmiş ve sıcaklığın değişimi gözlenmiştir. Bu işlemdeki deneysel veriler ile matematiksel modelde bulunan değerlerin karşılaştırması Şekil-4.60'da gösterilmektedir. Isıtmanın 3,55 saat sonunda buhar sıcaklığında bir azalmadan dolayı, fırın sıcaklığında düşüş gözlenmiştir. Bu sorun, buharı gönderen bölümden kaynaklanmaktadır. Matematiksel modelde bu sorun dikkate alınmadığı için sıcaklık artışı, işlem normalmiş gibi devam etmektedir.

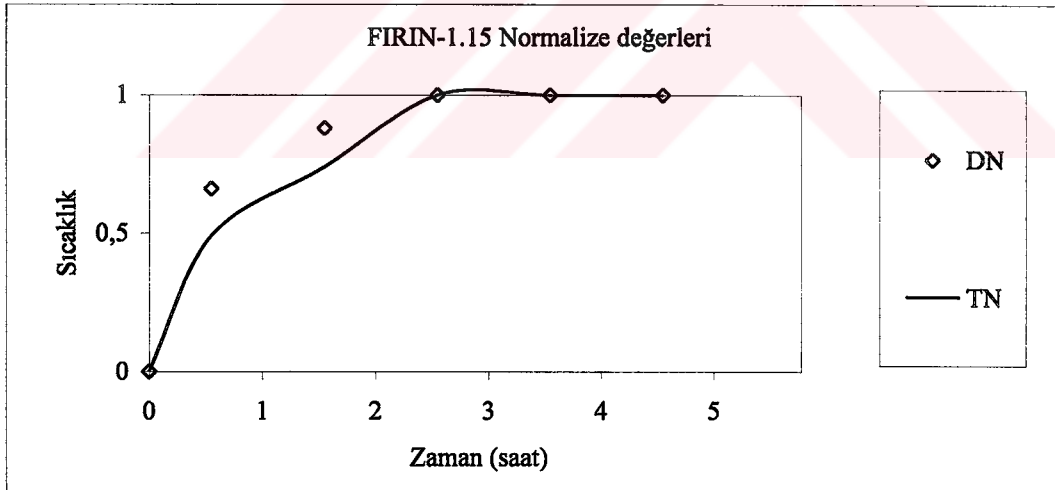
Transformatörlerin ağırlıkları toplamı ve alanları, normal düzeylerde (kapasiteler önceki bölümlerde verilmiştir. Bkz. EK-B). Matematiksel ve deneysel veri değerlerini denklem (4.1) ve (4.2)'ye göre normalize ederek zamana karşı irdelediğimizde de, düzenli sıcaklık dağılımı olmadığı için Şekil-4.61'deki gibi bir dağılım oluşmaktadır.

Fırın-1.15 işleminde deneysel veriler ile matematiksel model uygulanması ile elde edilen sonuçlar arasında korelasyon yapıldığında 0,7387 değerinde olan korelasyon katsayısı elde edilmiştir (Excel'97). Korelasyon katsayısı en uygun durumda 1'e eşittir. Bulduğumuz değer gerçekte uzak olmasının nedeni, ısıtmadan kaynaklanan bir problemdir. Isıtma, üçüncü ve dördüncü saatlerde kesilmiştir. İşlem için yapılan standart sapma hesaplamalarına göre, deneysel (fabrikada çalışan sistem için) verilerin standart sapması 14,17 değerinde ve modelde bulunan sonuçlar için standart sapma 18,29 değerinde bulunmuştur. Şekil-4.60'daki veri dağılımları ikinci dereceden polinomlar olarak değerlendirildiğinde oluşan eğriler için bulunan R^2 değerleri, deney için 0,9837; model için de 0,9957 olarak bulunmuştur (Excel'97). İkinci dereceden kabul ettiğimiz polinomların derecesini arttırdığımızda bu değerlerin uygun sonuç olan 1'e daha da yaklaştıkları görülmüştür. Ancak, kurutma fırınının prosesindeki değişimler için ikinci dereceden polinom seçmek hatalı bir sonuç oluşturmamaktadır. Deneysel sonuçlar ile matematiksel model sonuçları arasındaki en büyük sıcaklık farkı, ısıtmanın kesildiği anlarda oluşmuştur.

Verilerin ve bulunan değerlerin zamana göre dağılımları ile normalize edilmiş değerleri EK-C'de Tablo-C.12 ile verilmektedir.



Şekil-4.60: FIRIN-1.15. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu. Isıtma buharının sıcaklığındaki düşüş istenmeyen bir durum olup, model sonucu ile uyuşmamaktadır.



Şekil-4.61: FIRIN-1.15. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı. Isıtma buharının sıcaklığındaki düşüş nedeniyle uyumsuzluk görülmektedir.

FIRIN-1.16. İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz

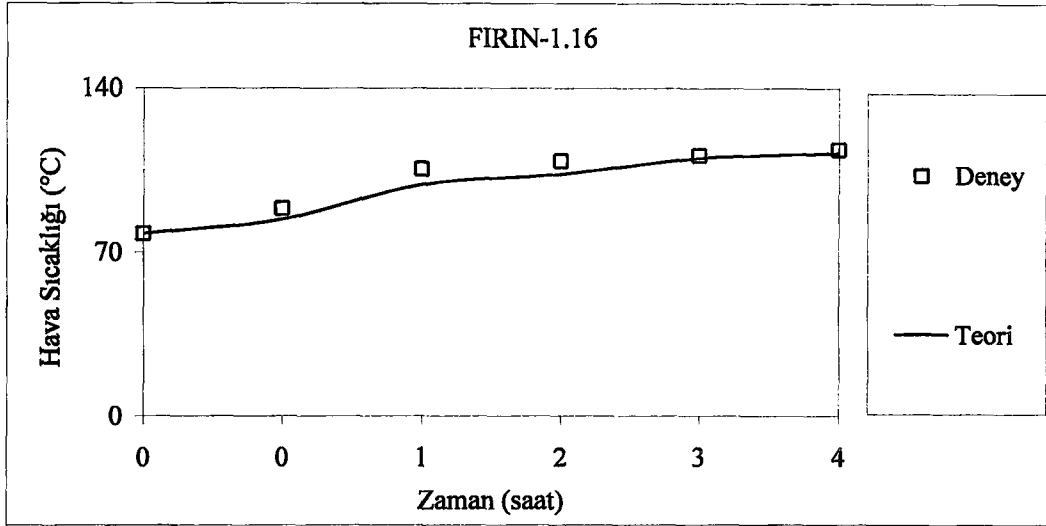
Bu kurutma evresinde fırın içerisine aktif kısımlarının ağırlıkları toplamı yaklaşık 9565 kg. olan altı adet transformatör yerleştirilmiştir. Transformatörlerin dış yüzeylerinin alanları toplamı yaklaşık olarak 33,3 m² alınmıştır. Fırındaki boruların içerisindeki buharın sıcaklığı da fabrika verilerine dayanılarak 150°C sabit sıcaklıkta ele alınmıştır.

Isıtma işleminin ilk 4,23 saatlik bölümü (ilk ısıtma süresi dört saattir) incelenmiş ve sıcaklığın değişimi gözlenmiştir. Bu işlemdeki deneysel veriler ile matematiksel modelde bulunan değerlerin karşılaştırması Şekil-4.62’de gösterilmektedir.

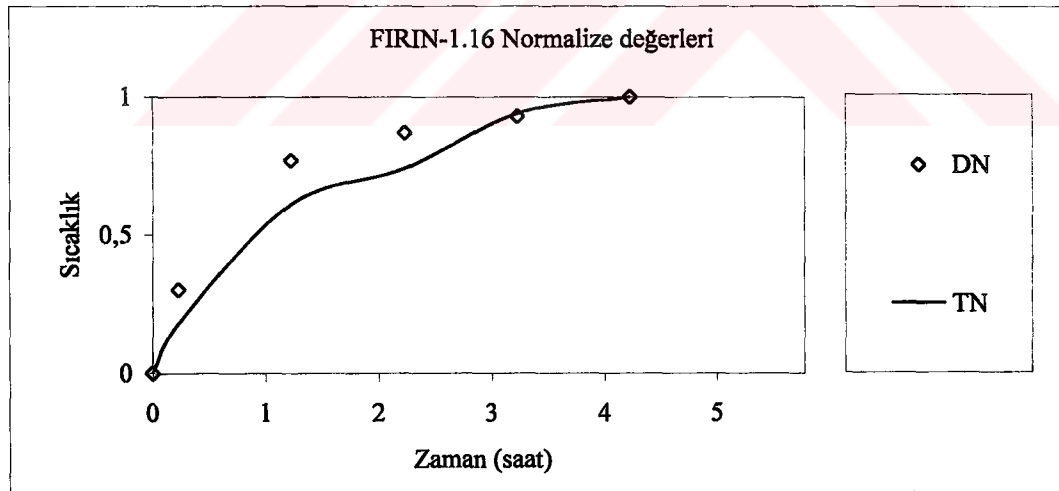
Transformatörlerin ağırlıkları toplamı ve alanları, kapasiteleri bakımından fazladır. ‘Bu işlemde aşırı yükleme yapılmıştır’ yargısı geçerli sayılabilmektedir (kapasiteler önceki bölümlerde verilmiştir. Bkz. EK-B). Matematiksel ve deneysel veri değerlerini denklem (4.1) ve (4.2)’ye göre normalize ederek zamana karşı irdelediğimizde de, düzenli sıcaklık dağılımı olmadığı için Şekil-4.63’deki gibi bir dağılım oluşmaktadır.

Fırın-1.16 işleminde deneysel veriler ile matematiksel model uygulanması ile elde edilen sonuçlar arasında korelasyon yapıldığında 0,9975 değerinde olan korelasyon katsayısı elde edilmiştir (Excel’97). Korelasyon katsayısı en uygun durumda 1’e eşittir. İşlem için yapılan standart sapma hesaplamalarına göre, deneysel (fabrikada çalışan sistem için) verilerin standart sapması 13,19 değerinde ve modelde bulunan sonuçlar için standart sapma 13,58 değerinde bulunmuştur. Şekil-4.62’deki veri dağılımları ikinci dereceden polinomlar olarak değerlendirildiğinde oluşan eğriler için bulunan R² değerleri, deney için 0,9781; model için de 0,9838 olarak bulunmuştur (Excel’97). İkinci dereceden kabul ettiğimiz polinomların derecesini arttırdığımızda bu değerlerin uygun sonuç olan 1’e daha da yaklaştıkları görülmüştür. Ancak, kurutma fırınının prosesindeki değişimler için ikinci dereceden polinom seçmek hatalı bir sonuç oluşturmamaktadır. Deneysel sonuçlar ile matematiksel model sonuçları arasındaki en büyük sıcaklık farkı, 7°C’dir.

Verilerin ve bulunan değerlerin zamana göre dağılımları ile normalize edilmiş değerleri EK-C'de Tablo-C.13 ile verilmektedir.



Şekil-4.62: FIRIN-1.16. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu. Aşırı yükleme etkisiyle fazla sıcaklık artışı gözlenmemektedir.



Şekil-4.63: FIRIN-1.16. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı.

FIRIN-1.17. İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz

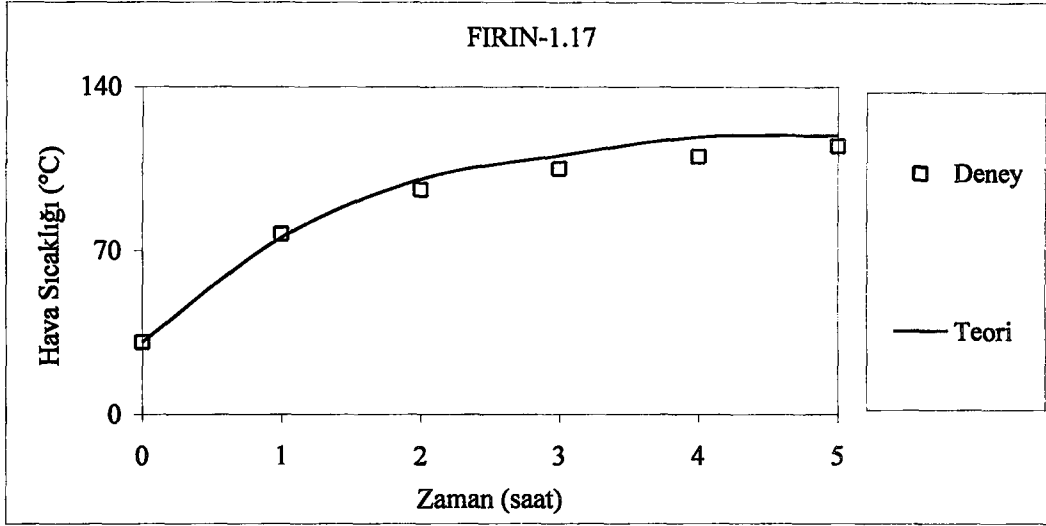
Bu kurutma evresinde fırın içerisine aktif kısımlarının ağırlıkları toplamı yaklaşık 5726 kg. olan altı adet transformatör yerleştirilmiştir. Transformatörlerin dış yüzeylerinin alanları toplamı yaklaşık olarak 23,2 m² alınmıştır. Fırındaki boruların içerisindeki buharın sıcaklığı da fabrika verilerine dayanılarak 150°C sabit sıcaklıkta ele alınmıştır.

Isıtma işleminin ilk 4,60 saatlik bölümü (ilk ısıtma süresi dört saattir) incelenmiş ve sıcaklığın değişimi gözlenmiştir. Bu işlemdeki deneysel veriler ile matematiksel modelde bulunan değerlerin karşılaştırması Şekil-4.64'de gösterilmektedir.

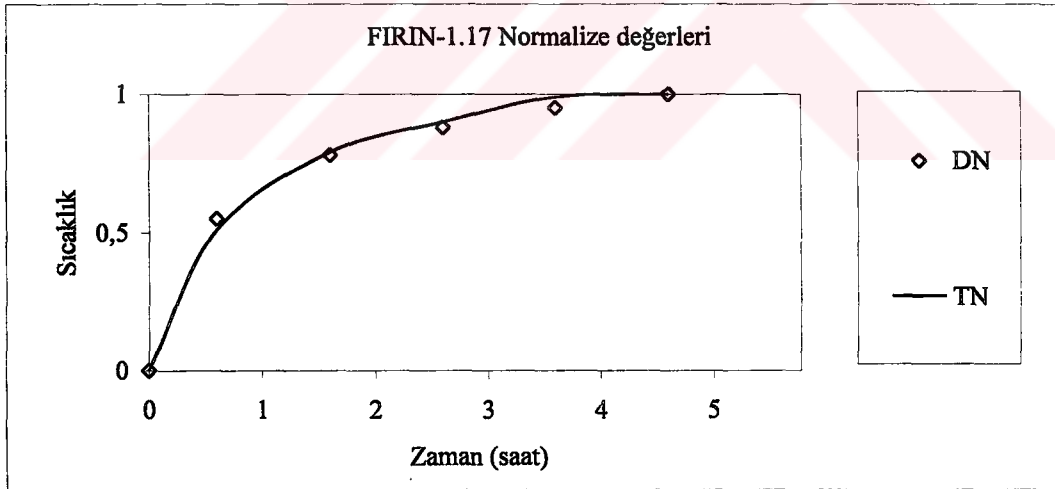
Transformatörlerin ağırlıkları toplamı ve alanları, kapasiteleri bakımından normal düzeylerdedir (kapasiteler önceki bölümlerde verilmiştir. Bkz. EK-B). Matematiksel ve deneysel veri değerlerini denklem (4.1) ve (4.2)'ye göre normalize ederek zamana karşı irdelediğimizde Şekil-4.65'deki gibi bir dağılım oluşmaktadır.

Fırın-1.17 işleminde deneysel veriler ile matematiksel model uygulanması ile elde edilen sonuçlar arasında korelasyon yapıldığında 0,9975 değerinde olan korelasyon katsayısı elde edilmiştir (Excel'97). Korelasyon katsayısı en uygun durumda 1'e eşittir. İşlem için yapılan standart sapma hesaplamalarına göre, deneysel (fabrikada çalışan sistem için) verilerin standart sapması 28,72 değerinde ve modelde bulunan sonuçlar için standart sapma 31,30 değerinde bulunmuştur. Şekil-4.64'deki veri dağılımları ikinci dereceden polinomlar olarak değerlendirildiğinde oluşan eğriler için bulunan R² değerleri, deney için 0,9728; model için de 0,9896 olarak bulunmuştur (Excel'97). İkinci dereceden kabul ettiğimiz polinomların derecesini arttırdığımızda bu değerlerin uygun sonuç olan 1'e daha da yaklaştıkları görülmüştür. Ancak, kurutma fırınının prosesindeki değişimler için ikinci dereceden polinom seçmek hatalı bir sonuç oluşturmamaktadır. Deneysel sonuçlar ile matematiksel model sonuçları arasındaki en büyük sıcaklık farkı, 8,3°C'dir ve bu, üç buçuğuncu saatteki havalandırma anındadır.

Verilerin ve bulunan değerlerin zamana göre dağılımları ile normalize edilmiş değerleri EK-C'de Tablo-C.14 ile verilmektedir.



Şekil-4.64: FIRIN-1.17. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu.



Şekil-4.65: FIRIN-1.17. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı.

FIRIN-1.18. İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz

Bu kurutma evresinde fırın içerisine aktif kısımlarının ağırlıkları toplamı yaklaşık 4361 kg. olan altı adet transformatör yerleştirilmiştir. Transformatörlerin dış yüzeylerinin alanları toplamı yaklaşık olarak 23,1 m² alınmıştır. Fırındaki boruların içerisindeki buharın sıcaklığı da fabrika verilerine dayanılarak 150°C sabit sıcaklıkta ele alınmıştır.

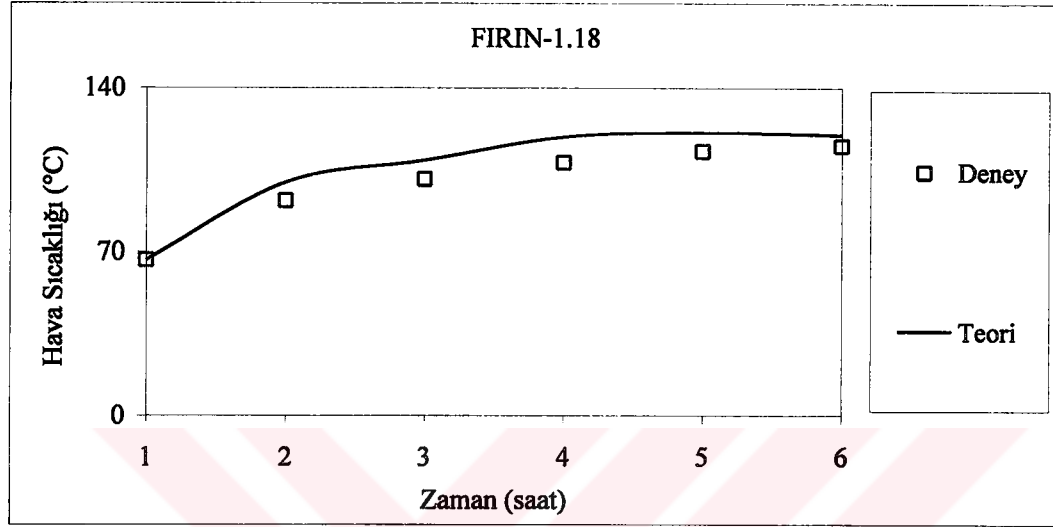
Isıtma işleminin ilk beş buçuk saatlik bölümü (ilk ısıtma süresi dört saattir) incelenmiş ve sıcaklığın değişimi gözlenmiştir. Bu işlemdeki deneysel veriler ile matematiksel modelde bulunan değerlerin karşılaştırması Şekil-4.66'da gösterilmektedir. Matematiksel model sonuçları deneysel sonuçlara göre daha yüksek değerlerdedir. Bunun nedeni: Isıtma buharının sıcaklığı model için 150°C'da ele alınmıştır. Fabrika ortamında ise bu sıcaklık düşük değerlerde bulunabilmektedir. Burada da fırındaki buharın sıcaklığı değişim göstererek model ile deney arasındaki farkı meydana getirmiştir.

Transformatörlerin ağırlıkları toplamı ve alanları, kapasiteleri bakımından normal düzeylerdedir (kapasiteler önceki bölümlerde verilmiştir. Bkz. EK-B). Matematiksel ve deneysel veri değerlerini denklem (4.1) ve (4.2)'ye göre normalize ederek zamana karşı irdelediğimizde Şekil-4.67'deki gibi bir dağılım oluşmaktadır.

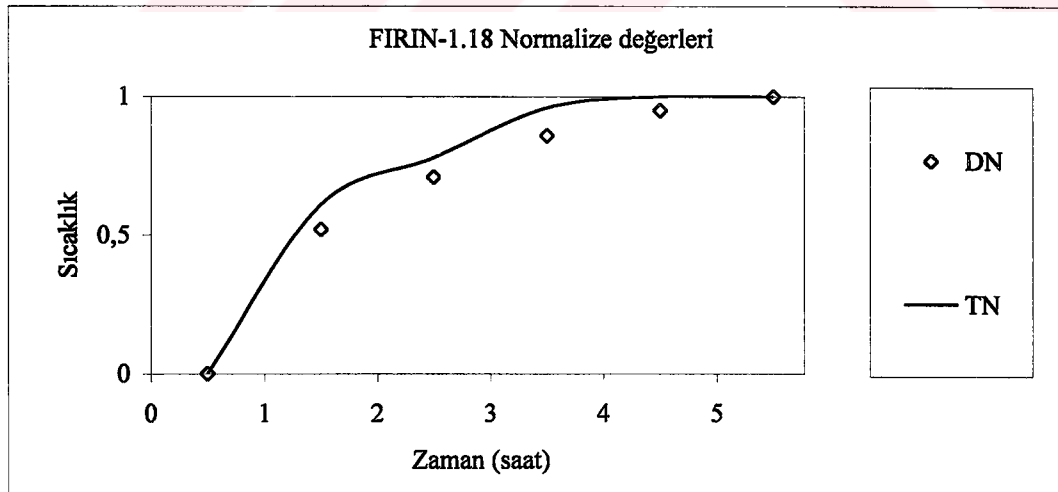
Fırın-1.18 işleminde deneysel veriler ile matematiksel model uygulanması ile elde edilen sonuçlar arasında korelasyon yapıldığında 0,9917 değerinde olan korelasyon katsayısı elde edilmiştir (Excel'97). Korelasyon katsayısı en uygun durumda 1'e eşittir. İşlem için yapılan standart sapma hesaplamalarına göre, deneysel (fabrikada çalışan sistem için) verilerin standart sapması 16,59 değerinde ve modelde bulunan sonuçlar için standart sapma 19,12 değerinde bulunmuştur. Şekil-4.66'daki veri dağılımları ikinci dereceden polinomlar olarak değerlendirildiğinde oluşan eğriler için bulunan R² değerleri, deney için 0,9796; model için de 0,9743 olarak bulunmuştur (Excel'97). İkinci dereceden kabul ettiğimiz polinomların derecesini arttırdığımızda bu değerlerin uygun sonuç olan 1'e daha da yaklaştıkları görülmüştür. Ancak, kurutma fırınının prosesindeki değişimler için ikinci dereceden

polinom seçmek hatalı bir sonuç oluşturmamaktadır. Deneysel sonuçlar ile matematiksel model sonuçları arasındaki en büyük sıcaklık farkı, $10,8^{\circ}\text{C}$ 'dir.

Verilerin ve bulunan değerlerin zamana göre dağılımları ile normalize edilmiş değerleri EK-C'de Tablo-C.15 ile verilmektedir.



Şekil-4.66: FIRIN-1.18. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu.



Şekil-4.67: FIRIN-1.18. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı.

FIRIN-2.1. İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz

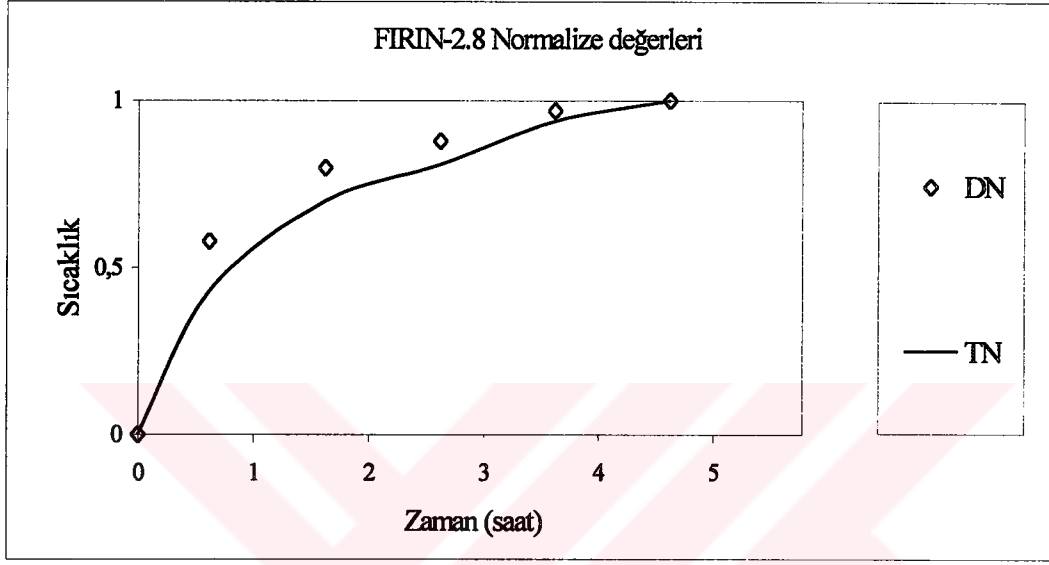
Bu kurutma evresinde fırın içerisine aktif kısımlarının ağırlıkları toplamı yaklaşık 14250 kg. olan yedi adet transformatör yerleştirilmiştir. Transformatörlerin dış yüzeylerinin alanları toplamı yaklaşık olarak 46,4 m² alınmıştır. Fırındaki boruların içerisindeki buharın sıcaklığı da fabrika verilerine dayanılarak 150°C sabit sıcaklıkta ele alınmıştır.

Isıtma işleminin ilk dört buçuk saatlik bölümü (ilk ısıtma süresi dört saattir) incelenmiş ve sıcaklığın değişimi gözlenmiştir. Bu işlemdeki deneysel veriler ile matematiksel modelde bulunan değerlerin karşılaştırması Şekil-4.68'de gösterilmektedir. Matematiksel model sonuçları deneysel sonuçlara göre daha düşük değerlerdedir. Bunun nedeni: Isıtma buharının sıcaklığının düşük olması veya aşırı yükleme sonucunda meydana gelen uyuşmazlık olabilir.

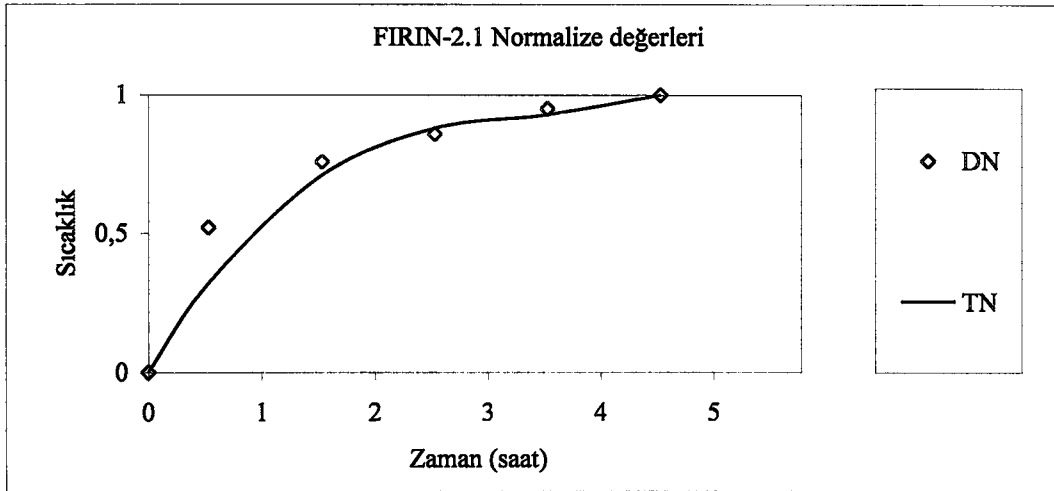
Transformatörlerin ağırlıkları toplamı ve alanları, kapasiteleri bakımından aşırı yükleme olarak kabul edilebilir. Çünkü, 14 tonluk trafo grubu bir işlemde kurutulmak istenmektedir (kapasiteler önceki bölümlerde verilmiştir. Bkz. EK-B). Matematiksel ve deneysel veri değerlerini denklem (4.1) ve (4.2)'ye göre normalize ederek zamana karşı irdelediğimizde Şekil-4.69'daki gibi bir dağılım oluşmaktadır. Normalize değerlerin değişimlerinde ise bir uyum görülmektedir. Buradan, 'bu işlem için model ile deney arasında bir uyum bulunmaktadır' kanısı doğrulanmaktadır.

Fırın-2.1 işleminde deneysel veriler ile matematiksel model uygulanması ile elde edilen sonuçlar arasında korelasyon yapıldığında 0,9786 değerinde olan korelasyon katsayısı elde edilmiştir (Excel'97). Korelasyon katsayısı en uygun durumda 1'e eşittir. İşlem için yapılan standart sapma hesaplamalarına göre, deneysel (fabrikada çalışan sistem için) verilerin standart sapması 30,17 değerinde ve modelde bulunan sonuçlar için standart sapma 30,32 değerinde bulunmuştur. Şekil-4.68'deki veri dağılımları ikinci dereceden polinomlar olarak değerlendirildiğinde oluşan eğriler için bulunan R² değerleri, deney için 0,9788; model için de 0,9907 olarak bulunmuştur (Excel'97). İkinci dereceden kabul ettiğimiz polinomların

derecesini arttırdığımızda bu değerlerin uygun sonuç olan 1'e daha da yaklaştıkları görülmüştür. Ancak, kurutma fırınının prosesindeki değişimler için ikinci dereceden polinom seçmek hatalı bir sonuç oluşturmamaktadır. Deneysel sonuçlar ile matematiksel model sonuçları arasındaki en büyük sıcaklık farkı, $19,6^{\circ}\text{C}$ 'dir. Verilerin ve bulunan değerlerin zamana göre dağılımları ile normalize edilmiş değerleri EK-C'de Tablo-C.16 ile verilmektedir.



Şekil-4.68: FIRIN-2.1. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu.



Şekil-4.69: FIRIN-2.1. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı.

FIRIN-2.2. İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz

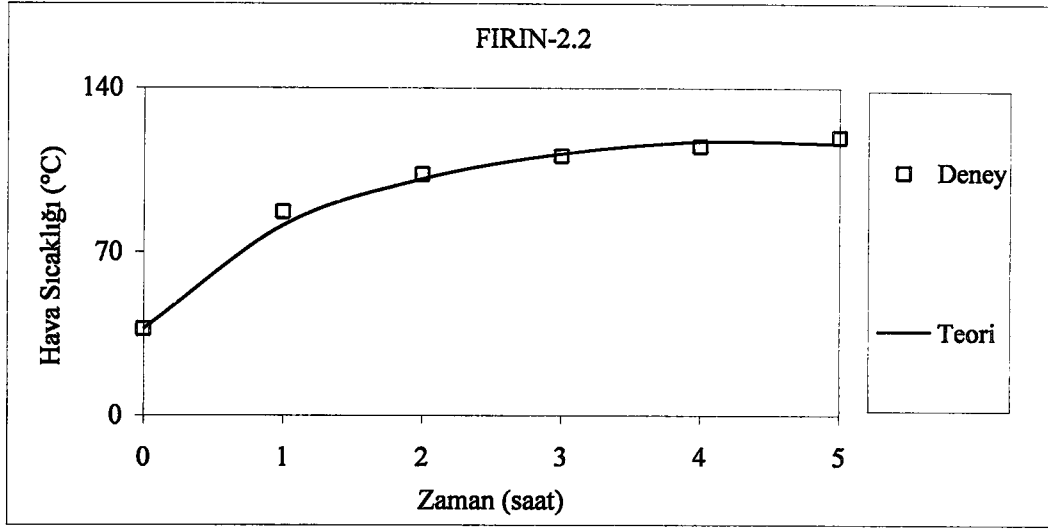
Bu kurutma evresinde fırın içerisine aktif kısımlarının ağırlıkları toplamı yaklaşık 5600 kg. olan onbeş adet transformatör yerleştirilmiştir. Transformatörlerin dış yüzeylerinin alanları toplamı yaklaşık olarak $44,5 \text{ m}^2$ alınmıştır. Fırındaki boruların içerisindeki buharın sıcaklığı da fabrika verilerine dayanılarak 150°C sabit sıcaklıkta ele alınmıştır.

Isıtma işleminin ilk dört buçuk saatlik bölümü (ilk ısıtma süresi dört saattir) incelenmiş ve sıcaklığın değişimi gözlenmiştir. Bu işlemdeki deneysel veriler ile matematiksel modelde bulunan değerlerin karşılaştırması Şekil-4.70’de gösterilmektedir.

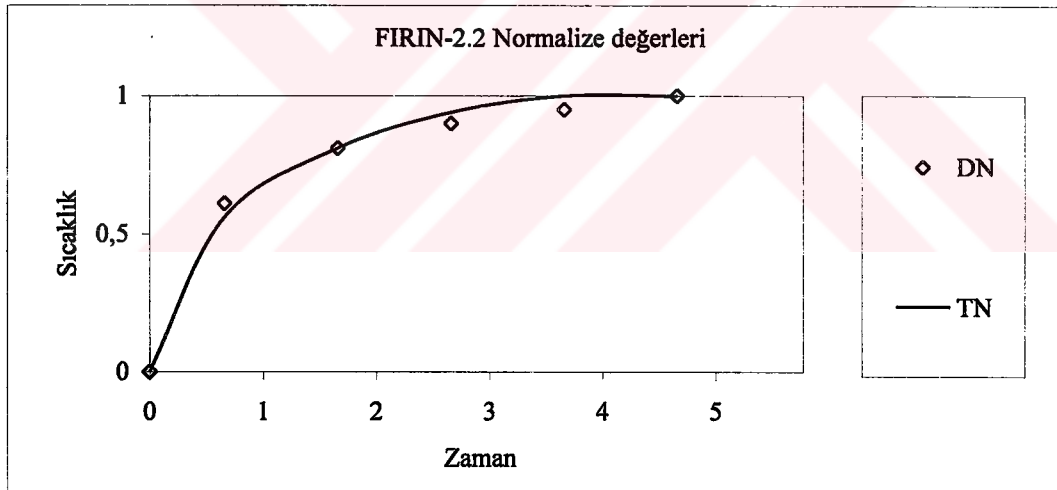
Transformatörlerin ağırlıkları toplamı ve alanları, kapasiteleri bakımından normal düzeylerde (kapasiteler önceki bölümlerde verilmiştir. Bkz. EK-B). Matematiksel ve deneysel veri değerlerini denklem (4.1) ve (4.2)’ye göre normalize ederek zamana karşı irdelediğimizde Şekil-4.71’deki gibi bir dağılım oluşmaktadır.

Fırın-2.2 işleminde deneysel veriler ile matematiksel model uygulanması ile elde edilen sonuçlar arasında korelasyon yapıldığında 0,9959 değerinde olan korelasyon katsayısı elde edilmiştir (Excel’97). Korelasyon katsayısı en uygun durumda 1’e eşittir. İşlem için yapılan standart sapma hesaplamalarına göre, deneysel (fabrikada çalışan sistem için) verilerin standart sapması 28,06 değerinde ve modelde bulunan sonuçlar için standart sapma 28,30 değerinde bulunmuştur. Şekil-4.70’deki veri dağılımları ikinci dereceden polinomlar olarak değerlendirildiğinde oluşan eğriler için bulunan R^2 değerleri, deney için 0,9570; model için de 0,9859 olarak bulunmuştur (Excel’97). İkinci dereceden kabul ettiğimiz polinomların derecesini arttırdığımızda bu değerlerin uygun sonuç olan 1’e daha da yaklaştıkları görülmüştür. Ancak, kurutma fırınının prosesindeki değişimler için ikinci dereceden polinom seçmek hatalı bir sonuç oluşturmamaktadır. Deneysel sonuçlar ile matematiksel model sonuçları arasındaki en büyük sıcaklık farkı, $5,8^\circ\text{C}$ ’dir.

Verilerin ve bulunan değerlerin zamana göre dağılımları ile normalize edilmiş değerleri EK-C'de Tablo-C.17 ile verilmektedir.



Şekil-4.70: FIRIN-2.2. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu.



Şekil-4.71: FIRIN-2.2. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı.

FIRIN-2.3. İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz

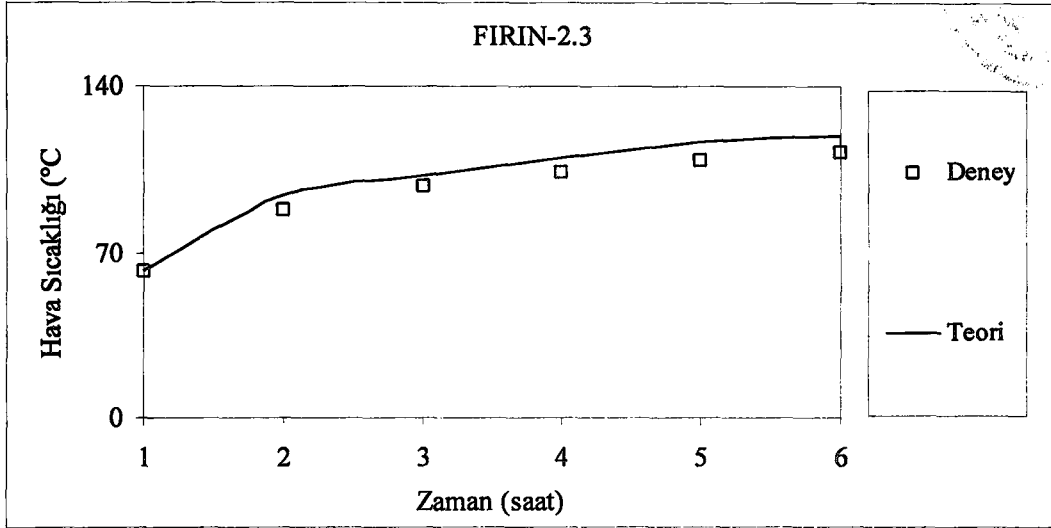
Bu kurutma evresinde fırın içerisine aktif kısımlarının ağırlıkları toplamı yaklaşık 8130 kg. olan üç adet transformatör yerleştirilmiştir. Transformatörlerin dış yüzeylerinin alanları toplamı yaklaşık olarak 23,2 m² alınmıştır. Fırındaki boruların içerisindeki buharın sıcaklığı da fabrika verilerine dayanılarak 150°C sabit sıcaklıkta ele alınmıştır.

Isıtma işleminin ilk beş buçuk saatlik bölümü (ilk ısıtma süresi dört saattir) incelenmiş ve sıcaklığın değişimi gözlenmiştir. Bu işlemdeki deneysel veriler ile matematiksel modelde bulunan değerlerin karşılaştırması Şekil-4.72’de gösterilmektedir.

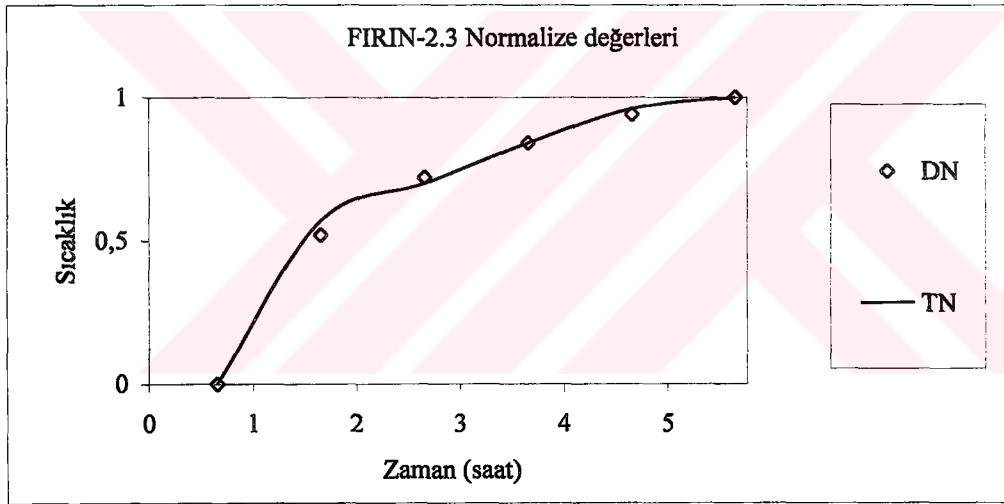
Transformatörlerin ağırlıkları toplamı ve alanları, kapasiteleri bakımından normal düzeylerdedir (kapasiteler önceki bölümlerde verilmiştir. Bkz. EK-B). Matematiksel ve deneysel veri değerlerini denklem (4.1) ve (4.2)’ye göre normalize ederek zamana karşı irdelediğimizde Şekil-4.73’deki gibi bir dağılım oluşmaktadır. Deney ve modelin normalize değerlerinin dağılımları uyumluluk göstermektedir.

Fırın-2.3 işleminde deneysel veriler ile matematiksel model uygulanması ile elde edilen sonuçlar arasında korelasyon yapıldığında 0,9983 değerinde olan korelasyon katsayısı elde edilmiştir (Excel’97). Korelasyon katsayısı en uygun durumda 1’e eşittir. İşlem için yapılan standart sapma hesaplamalarına göre, deneysel (fabrikada çalışan sistem için) verilerin standart sapması 16,89 değerinde ve modelde bulunan sonuçlar için standart sapma 19,12 değerinde bulunmuştur. Şekil-4.72’deki veri dağılımları ikinci dereceden polinomlar olarak değerlendirildiğinde oluşan eğriler için bulunan R² değerleri, deney için 0,9762; model için de 0,9626 olarak bulunmuştur (Excel’97). İkinci dereceden kabul ettiğimiz polinomların derecesini arttırdığımızda bu değerlerin uygun sonuç olan 1’e daha da yaklaştıkları görülmüştür. Ancak, kurutma fırınının prosesindeki değişimler için ikinci dereceden polinom seçmek hatalı bir sonuç oluşturmamaktadır. Deneysel sonuçlar ile matematiksel model sonuçları arasındaki en büyük sıcaklık farkı, 7,3°C’dir ve havalandırma zamanına denk gelmektedir.

Verilerin ve bulunan değerlerin zamana göre dağılımları ile normalize edilmiş değerleri EK-C’de Tablo-C.18 ile verilmektedir.



Şekil-4.72: FIRIN-2.3. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu.



Şekil-4.73: FIRIN-2.3. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı.

FIRIN-2.4. İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz

Bu kurutma evresinde fırın içerisine aktif kısımlarının ağırlıkları toplamı yaklaşık 8540 kg. olan beş adet transformatör yerleştirilmiştir. Transformatörlerin dış yüzeylerinin alanları toplamı yaklaşık olarak 27,5 m² alınmıştır. Fırındaki boruların

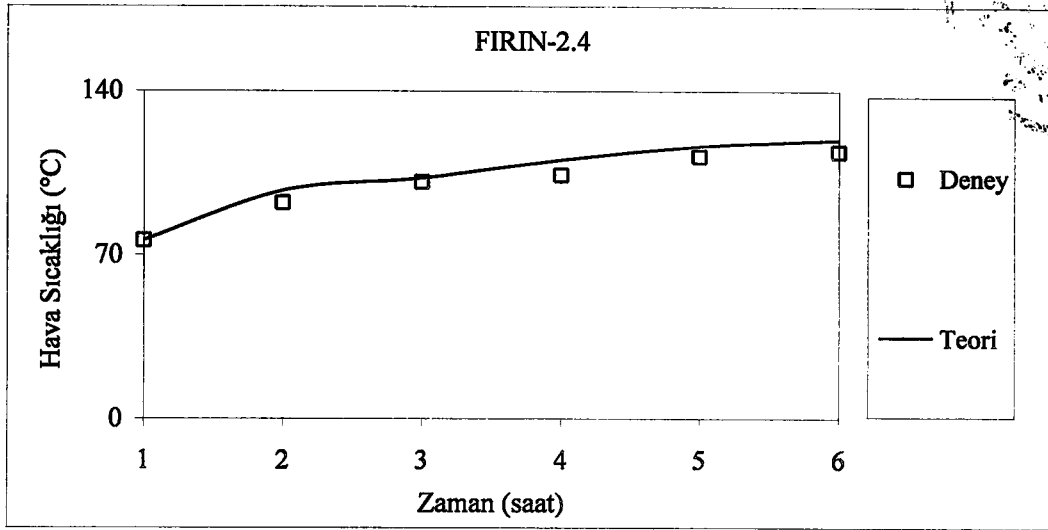
içerisindeki buharın sıcaklığı da fabrika verilerine dayanılarak 150°C sabit sıcaklıkta ele alınmıştır.

Isıtma işleminin ilk beş buçuk saatlik bölümü (ilk ısıtma süresi dört saattir) incelenmiş ve sıcaklığın değişimi gözlenmiştir. Bu işlemdeki deneysel veriler ile matematiksel modelde bulunan değerlerin karşılaştırması Şekil-4.74'de gösterilmektedir. Isıtma başlangıcından üç buçuk saat sonra bir havalandırma yapılmış ve fırın hava sıcaklığında etkili olmuştur. Modelde ise bu etki dikkate alınmadığı için sıcaklık artışı devam etmiştir. Buhar sıcaklığındaki değişimler de etkisini göstermiştir.

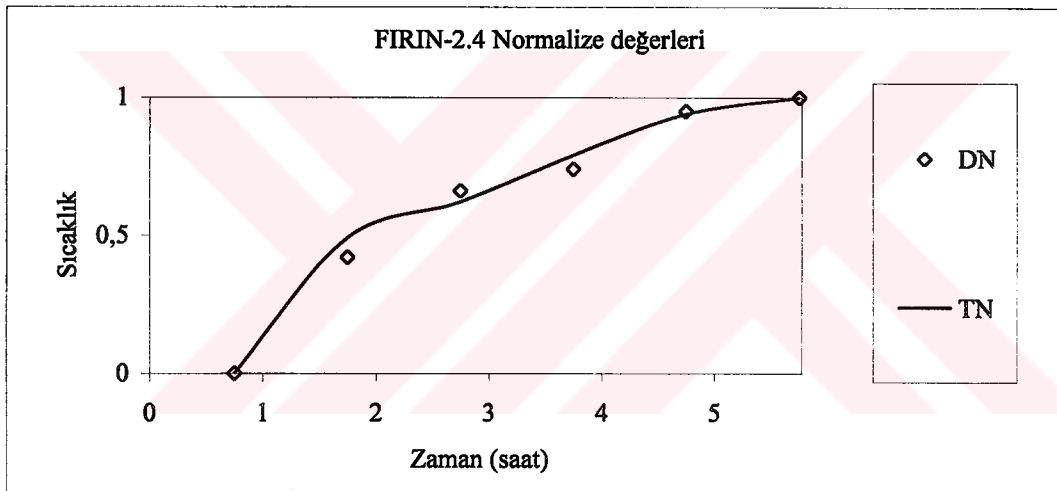
Transformatörlerin ağırlıkları toplamı ve alanları, kapasiteleri bakımından normal düzeylerdedir (kapasiteler önceki bölümlerde verilmiştir. Bkz. EK-B). Matematiksel ve deneysel veri değerlerini denklem (4.1) ve (4.2)'ye göre normalize ederek zamana karşı irdelediğimizde Şekil-4.75'deki gibi bir dağılım oluşmaktadır.

Fırın-2.4 işleminde deneysel veriler ile matematiksel model uygulanması ile elde edilen sonuçlar arasında korelasyon yapıldığında 0,9939 değerinde olan korelasyon katsayısı elde edilmiştir (Excel'97). Korelasyon katsayısı en uygun durumda 1'e eşittir. İşlem için yapılan standart sapma hesaplamalarına göre, deneysel (fabrikada çalışan sistem için) verilerin standart sapması 12,89 değerinde ve modelde bulunan sonuçlar için standart sapma 14,43 değerinde bulunmuştur. Şekil-4.74'deki veri dağılımları ikinci dereceden polinomlar olarak değerlendirildiğinde oluşan eğriler için bulunan R^2 değerleri, deney için 0,9827; model için de 0,9749 olarak bulunmuştur (Excel'97). İkinci dereceden kabul ettiğimiz polinomların derecesini arttırdığımızda bu değerlerin uygun sonuç olan 1'e daha da yaklaştıkları görülmüştür. Ancak, kurutma fırınının prosesindeki değişimler için ikinci dereceden polinom seçmek hatalı bir sonuç oluşturmamaktadır. Deneysel sonuçlar ile matematiksel model sonuçları arasındaki en büyük sıcaklık farkı, 6,0°C'dir ve havalandırma zamanına denk gelmektedir.

Verilerin ve bulunan değerlerin zamana göre dağılımları ile normalize edilmiş değerleri EK-C'de Tablo-C.19 ile verilmektedir.



Şekil-4.74: FIRIN-2.4. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu.



Şekil-4.75: FIRIN-2.4. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı.

FIRIN-2.5. İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz

Bu kurutma evresinde fırın içerisine aktif kısımlarının ağırlıkları toplamı yaklaşık 8816 kg. olan beş adet transformatör yerleştirilmiştir. Transformatörlerin dış yüzeylerinin alanları toplamı yaklaşık olarak 29,1 m² alınmıştır. Fırındaki boruların

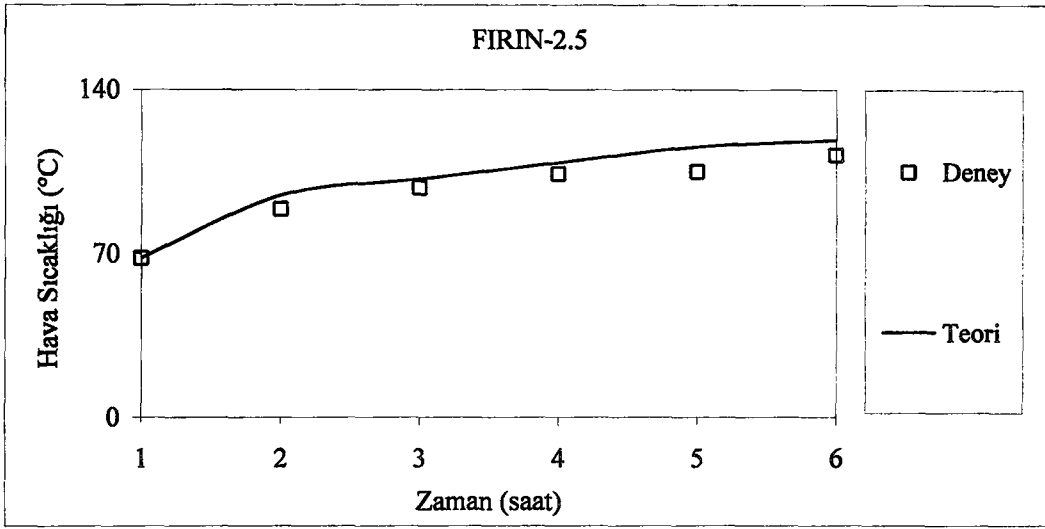
içerisindeki buharın sıcaklığı da fabrika verilerine dayanılarak 150°C sabit sıcaklıkta ele alınmıştır.

Isıtma işleminin ilk beş buçuk saatlik bölümü (ilk ısıtma süresi dört saattir) incelenmiş ve sıcaklığın değişimi gözlenmiştir. Bu işlemdeki deneysel veriler ile matematiksel modelde bulunan değerlerin karşılaştırması Şekil-4.76'da gösterilmektedir. Isıtma başlangıcından dört buçuk saat sonra bir havalandırma yapılmış ve fırın hava sıcaklığında etkili olmuştur. Bu havalandırma normal olarak ve zamanında gerçekleştirilmiştir. Modelde ise bu etki dikkate alınmadığı için sıcaklık artışı devam etmiştir. Burada, havalandırmanın fırın havası sıcaklığına etkisi de anlaşılmaktadır.

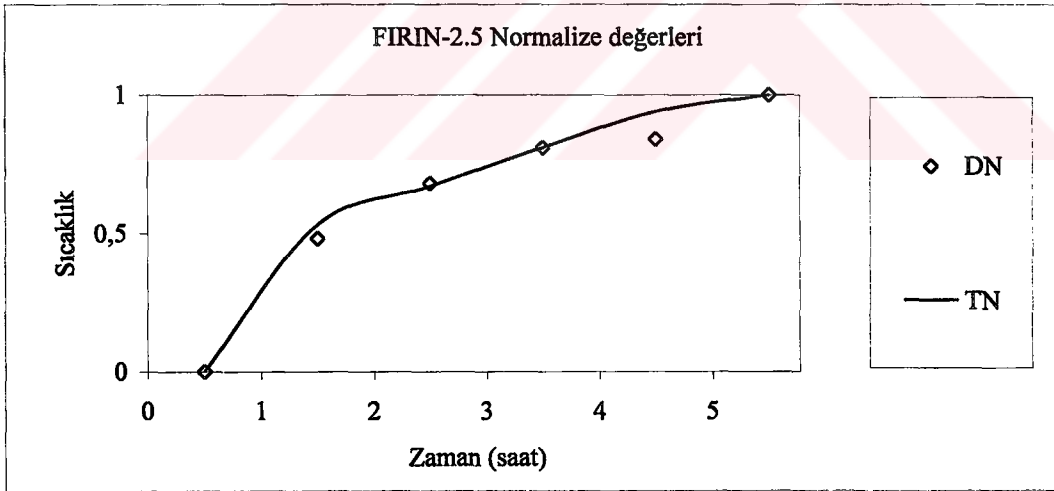
Transformatörlerin ağırlıkları toplamı ve alanları, kapasiteleri bakımından normal düzeylerde (kapasiteler önceki bölümlerde verilmiştir. Bkz. EK-B). Matematiksel ve deneysel veri değerlerini denklem (4.1) ve (4.2)'ye göre normalize ederek zamana karşı irdelediğimizde Şekil-4.77'deki gibi bir dağılım oluşmaktadır. Tüm değerler uyun içerisinde iken, havalandırmanın yapıldığı zaman uyumsuzluk göstermektedir.

Fırın-2.5 işleminde deneysel veriler ile matematiksel model uygulanması ile elde edilen sonuçlar arasında korelasyon yapıldığında 0,9922 değerinde olan korelasyon katsayısı elde edilmiştir (Excel'97). Korelasyon katsayısı en uygun durumda 1'e eşittir. İşlem için yapılan standart sapma hesaplamalarına göre, deneysel (fabrikada çalışan sistem için) verilerin standart sapması 14,36 değerinde ve modelde bulunan sonuçlar için standart sapma 16,84 değerinde bulunmuştur. Şekil-4.76'daki veri dağılımları ikinci dereceden polinomlar olarak değerlendirildiğinde oluşan eğriler için bulunan R^2 değerleri, deney için 0,9664; model için de 0,9674 olarak bulunmuştur (Excel'97). İkinci dereceden kabul ettiğimiz polinomların derecesini arttırdığımızda bu değerlerin uygun sonuç olan 1'e daha da yaklaştıkları görülmüştür. Ancak, kurutma fırınının prosesindeki değişimler için ikinci dereceden polinom seçmek hatalı bir sonuç oluşturmamaktadır. Deneysel sonuçlar ile matematiksel model sonuçları arasındaki en büyük sıcaklık farkı, 8,8°C'dir.

Verilerin ve bulunan değerlerin zamana göre dağılımları ile normalize edilmiş değerleri EK-C'de Tablo-C.20 ile verilmektedir.



Şekil-4.76: FIRIN-2.5. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu. Havalandırma anındaki sıcaklık değişimi görülebilmektedir.



Şekil-4.77: FIRIN-2.5. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı. Havalandırmanın olduğu andaki sıcaklık değişimi iki sonuç arasında farka neden olmuştur.

FIRIN-2.6. İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz

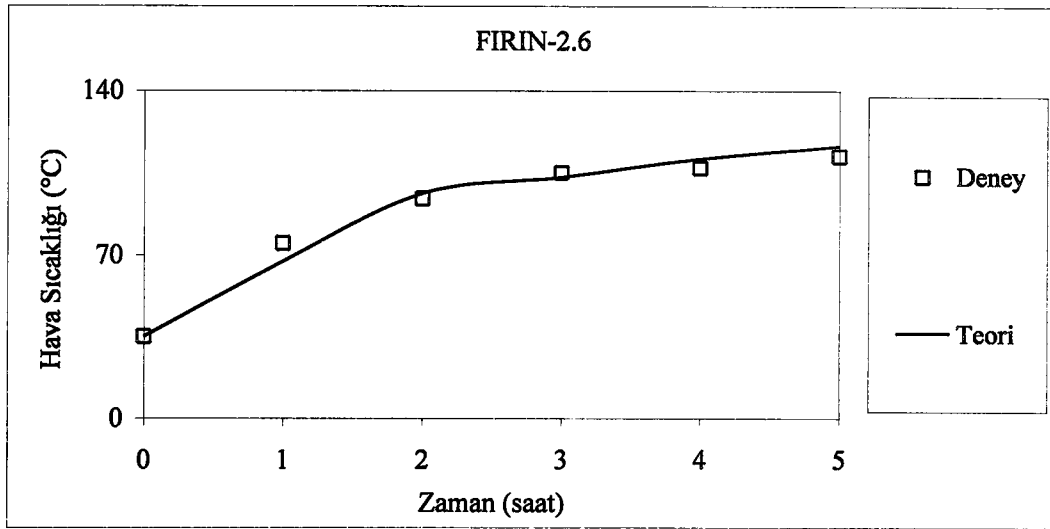
Bu kurutma evresinde fırın içerisine aktif kısımlarının ağırlıkları toplamı yaklaşık 9180 kg. olan beş adet transformatör yerleştirilmiştir. Transformatörlerin dış yüzeylerinin alanları toplamı yaklaşık olarak 28,9 m² alınmıştır. Fırındaki boruların içerisindeki buharın sıcaklığı da fabrika verilerine dayanılarak 150°C sabit sıcaklıkta ele alınmıştır.

Isıtma işleminin ilk dört buçuk saatlik bölümü (ilk ısıtma süresi dört saattir) incelenmiş ve sıcaklığın değişimi gözlenmiştir. Bu işlemdeki deneysel veriler ile matematiksel modelde bulunan değerlerin karşılaştırması Şekil-4.78’de verilmektedir. Isıtma başlangıcından üç buçuk saat sonra bir havalandırma yapılmış ama fırın sıcaklığında fazla etkili olamamıştır.

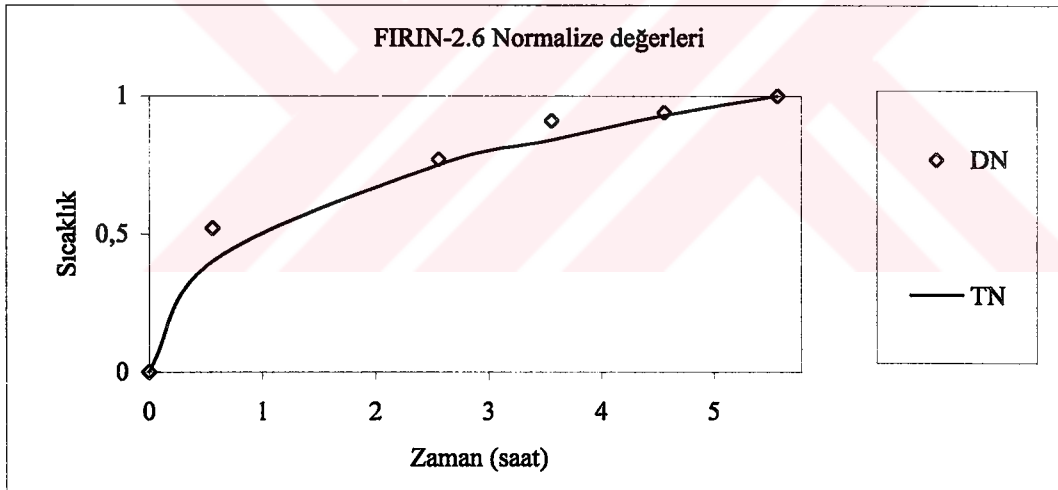
Transformatörlerin ağırlıkları toplamı tüm işlemler genelinde fazlalık göstermektedir (kapasiteler önceki bölümlerde verilmiştir. Bkz. EK-B). Matematiksel ve deneysel veri değerlerini denklem (4.1) ve (4.2)’ye göre normalize ederek zamana karşı irdelediğimizde Şekil-4.79’daki gibi bir dağılım oluşmaktadır.

Fırın-2.6 işleminde deneysel veriler ile matematiksel model uygulanması ile elde edilen sonuçlar arasında korelasyon yapıldığında 0,9909 değerinde olan korelasyon katsayısı elde edilmiştir (Excel’97). Korelasyon katsayısı en uygun durumda 1’e eşittir. İşlem için yapılan standart sapma hesaplamalarına göre, deneysel (fabrikada çalışan sistem için) verilerin standart sapması 26,58 değerinde ve modelde bulunan sonuçlar için standart sapma 28,48 değerinde bulunmuştur. Şekil-4.78’deki veri dağılımları ikinci dereceden polinomlar olarak değerlendirildiğinde oluşan eğriler için bulunan R² değerleri, deney için 0,9814; model için de 0,9885 olarak bulunmuştur (Excel’97). İkinci dereceden kabul ettiğimiz polinomların derecesini arttırdığımızda bu değerlerin uygun sonuç olan 1’e daha da yaklaştıkları görülmüştür. Ancak, kurutma fırınının prosesindeki değişimler için ikinci dereceden polinom seçmek hatalı bir sonuç oluşturmamaktadır. Deneysel sonuçlar ile matematiksel model sonuçları arasındaki en büyük sıcaklık farkı, 7,8°C’dir.

Verilerin ve bulunan değerlerin zamana göre dağılımları ile normalize edilmiş değerleri EK-C'de Tablo-C.21 ile verilmektedir.



Şekil-4.78: FIRIN-2.6. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu.



Şekil-4.79: FIRIN-2.6. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı.

FIRIN-2.7. İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz

Bu kurutma evresinde fırın içerisine aktif kısımlarının ağırlıkları toplamı yaklaşık 8970 kg. olan dört adet transformatör yerleştirilmiştir. Transformatörlerin dış yüzeylerinin alanları toplamı yaklaşık olarak 30,0 m² alınmıştır. Fırındaki boruların içerisindeki buharın sıcaklığı da fabrika verilerine dayanılarak 150°C sabit sıcaklıkta ele alınmıştır.

Isıtma işleminin ilk dört buçuk saatlik bölümü (ilk ısıtma süresi dört saattir) incelenmiş ve sıcaklığın değişimi gözlenmiştir. Bu işlemdeki deneysel veriler ile matematiksel modelde bulunan değerlerin karşılaştırması Şekil-4.80'de verilmektedir. İşlemde dört buçuk saat sonunda havalandırma yapılmış ve hava sıcaklığı 113°C'de sabitlenmiştir. İki saat boyunca da bu sıcaklıkta bulunmuştur. Bu olay, model sonuçlarının deney ile uyuşmasını ters yönde etkilemiştir.

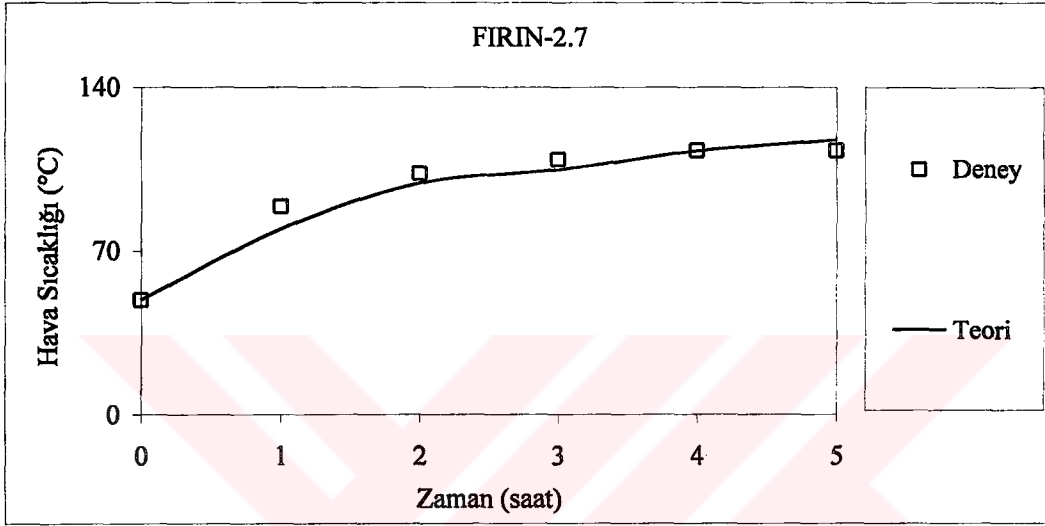
Model sonucu elde edilen sıcaklıklarının deneysel verilerdeki sıcaklıklara göre düşük değerlerde olması, transformatörler hakkında tanımlanan verilerin kesin olamayışından kaynaklanabilir. Transformatör grubunun ağırlığı ve alan değerleri modelde değişimlere neden olmaktadır.

Transformatörlerin ağırlıkları toplamı tüm işlemler genelinde normal düzeyde sayılabilir (kapasiteler önceki bölümlerde verilmiştir. Bkz. EK-B). Matematiksel ve deneysel veri değerlerini denklem (4.1) ve (4.2)'ye göre normalize ederek zamana karşı irdelediğimizde Şekil-4.81'deki gibi bir dağılım oluşmaktadır.

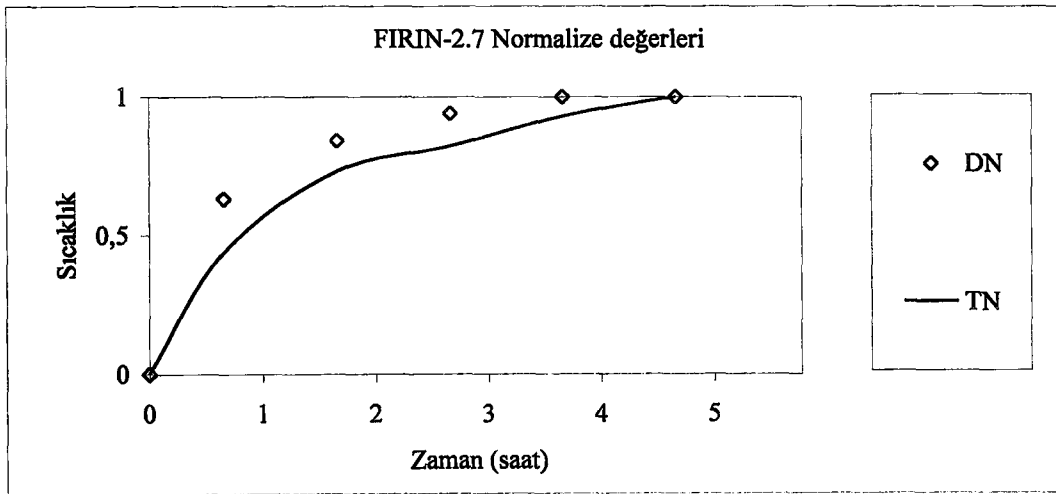
Fırın-2.7 işleminde deneysel veriler ile matematiksel model uygulanması ile elde edilen sonuçlar arasında korelasyon yapıldığında 0,9820 değerinde olan korelasyon katsayısı elde edilmiştir (Excel'97). Korelasyon katsayısı en uygun durumda 1'e eşittir. İşlem için yapılan standart sapma hesaplamalarına göre, deneysel (fabrikada çalışan sistem için) verilerin standart sapması 22,56 değerinde ve modelde bulunan sonuçlar için standart sapma 23,34 değerinde bulunmuştur. Şekil-4.80'deki veri dağılımları ikinci dereceden polinomlar olarak değerlendirildiğinde oluşan eğriler için bulunan R² değerleri, deney için 0,9655; model için de 0,9853 olarak bulunmuştur (Excel'97). İkinci dereceden kabul ettiğimiz polinomların

derecesini arttırdığımızda bu değerlerin uygun sonuç olan 1'e daha da yaklaştıkları görülmüştür. Ancak, kurutma fırınının prosesindeki değişimler için ikinci dereceden polinom seçmek hatalı bir sonuç oluşturmamaktadır. Deneysel sonuçlar ile matematiksel model sonuçları arasındaki en büyük sıcaklık farkı, $9,8^{\circ}\text{C}$ 'dir.

Verilerin ve bulunan değerlerin zamana göre dağılımları ile normalize edilmiş değerleri EK-C'de Tablo-C.22 ile verilmektedir.



Şekil-4.80: FIRIN-2.7. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu.



Şekil-4.81: FIRIN-2.7. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı.

FIRIN-2.8. İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz

Bu kurutma evresinde fırın içerisine aktif kısımlarının ağırlıkları toplamı yaklaşık 7761 kg. olan dört adet transformatör yerleştirilmiştir. Transformatörlerin dış yüzeylerinin alanları toplamı yaklaşık olarak 24,1 m² alınmıştır. Fırındaki boruların içerisindeki buharın sıcaklığı da fabrika verilerine dayanılarak 150°C sabit sıcaklıkta ele alınmıştır.

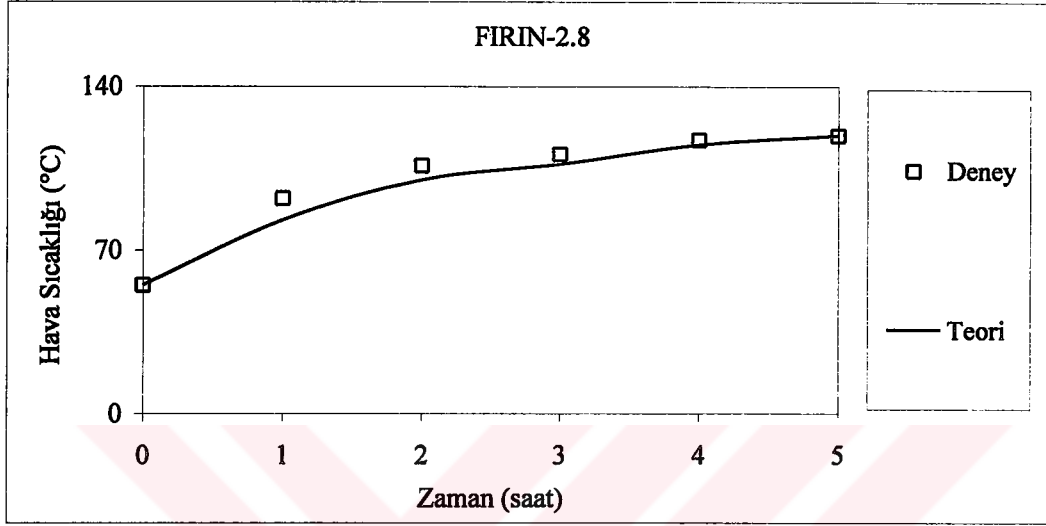
Isıtma işleminin ilk dört buçuk saatlik bölümü (ilk ısıtma süresi dört saattir) incelenmiş ve sıcaklığın değişimi gözlenmiştir. Bu işlemdeki deneysel veriler ile matematiksel modelde bulunan değerlerin karşılaştırması Şekil-4.82’de gösterilmektedir. Model sonucu elde edilen sıcaklıklarının deneysel verilerdeki sıcaklıklara göre düşük değerlerde olması, transformatörler hakkında tanımlanan verilerin kesin olamayışından kaynaklanabilir. Transformatör grubunun ağırlığı ve alan değerleri modelde değişimlere neden olmaktadır.

Transformatörlerin ağırlıkları toplamı tüm işlemler genelinde normal düzeyde sayılabilir (kapasiteler önceki bölümlerde verilmiştir. Bkz. EK-B). Matematiksel ve deneysel veri değerlerini denklem (4.1) ve (4.2)’ye göre normalize ederek zamana karşı irdelediğimizde Şekil-4.83’deki gibi bir dağılım oluşmaktadır.

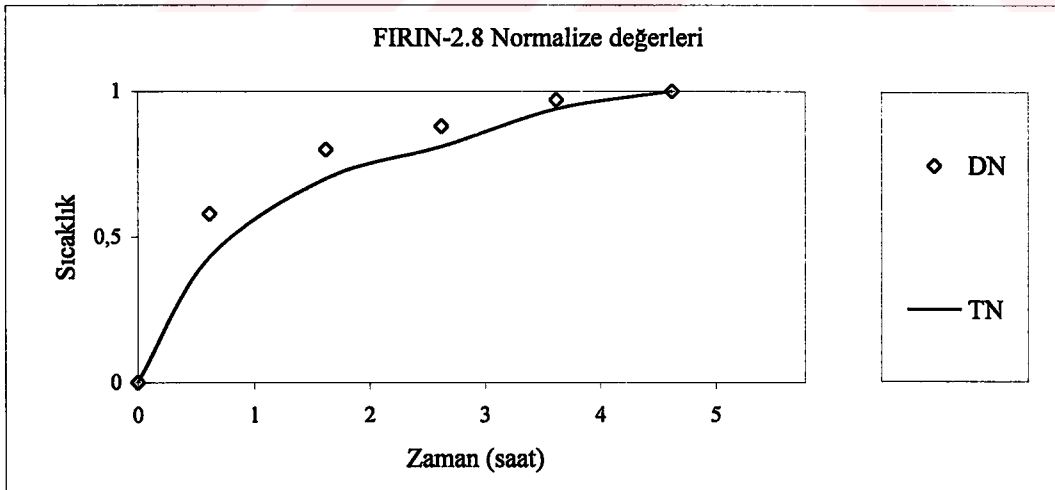
Fırın-2.8 işleminde deneysel veriler ile matematiksel model uygulanması ile elde edilen sonuçlar arasında korelasyon yapıldığında 0,9884 değerinde olan korelasyon katsayısı elde edilmiştir (Excel’97). Korelasyon katsayısı en uygun durumda 1’e eşittir. İşlem için yapılan standart sapma hesaplamalarına göre, deneysel (fabrikada çalışan sistem için) verilerin standart sapması 21,97 değerinde ve modelde bulunan sonuçlar için standart sapma 21,91 değerinde bulunmuştur. Şekil-4.82’deki veri dağılımları ikinci dereceden polinomlar olarak değerlendirildiğinde oluşan eğriler için bulunan R² değerleri, deney için 0,9654; model için de 0,9893 olarak bulunmuştur (Excel’97). İkinci dereceden kabul ettiğimiz polinomların derecesini arttırdığımızda bu değerlerin uygun sonuç olan 1’e daha da yaklaştıkları

görülmüştür. Ancak, kurutma fırınının prosesindeki değişimler için ikinci dereceden polinom seçmek hatalı bir sonuç oluşturmamaktadır.

Verilerin ve bulunan değerlerin zamana göre dağılımları ile normalize edilmiş değerleri EK-C'de Tablo-C.23 ile verilmektedir.



Şekil-4.82: FIRIN-2.8. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu.



Şekil-4.83: FIRIN-2.8. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı.

FIRIN-2.9. İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz

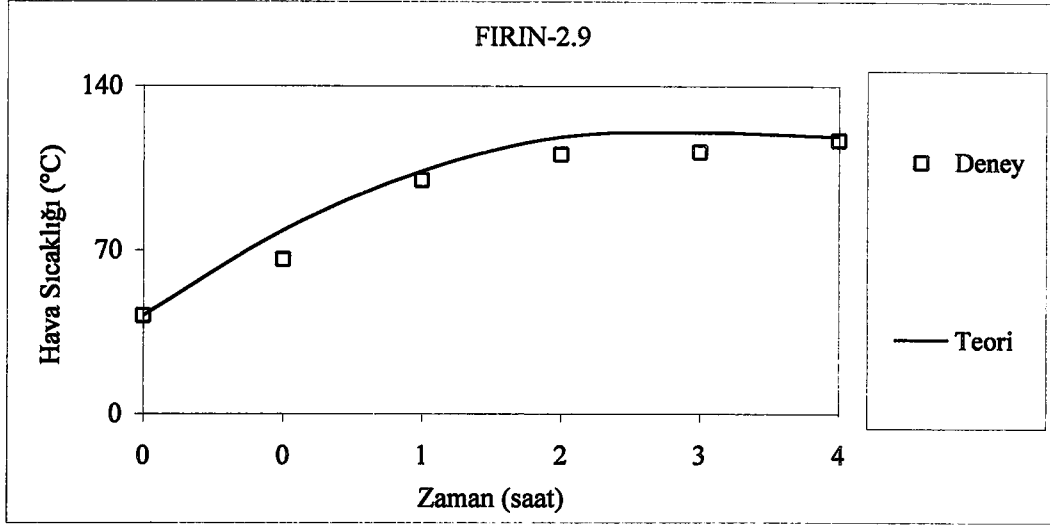
Bu kurutma evresinde fırın içerisine aktif kısımlarının ağırlıkları toplamı yaklaşık 2863 kg. olan yedi adet transformatör yerleştirilmiştir. Transformatörlerin dış yüzeylerinin alanları toplamı yaklaşık olarak 22,4 m² alınmıştır. Fırındaki boruların içerisindeki buharın sıcaklığı da fabrika verilerine dayanılarak 150°C sabit sıcaklıkta ele alınmıştır.

Isıtma işleminin ilk dört buçuk saatlik bölümü (ilk ısıtma süresi dört saattir) incelenmiş ve sıcaklığın değişimi gözlenmiştir. Bu işlemdeki deneysel veriler ile matematiksel modelde bulunan değerlerin karşılaştırması Şekil-4.84'de verilmektedir. İşlemin 3,40. saatinde havalandırma yapıldığı için sıcaklıkta düşme olmuştur. Model sonucu elde edilen sıcaklıklarının deneysel verilerdeki sıcaklıklara göre farklı oluşu, transformatörler hakkında tanımlanan verilerin kesin olamayışından kaynaklanabilir. Transformatör grubunun ağırlığı ve alan değerleri modelde değişimlere neden olmaktadır.

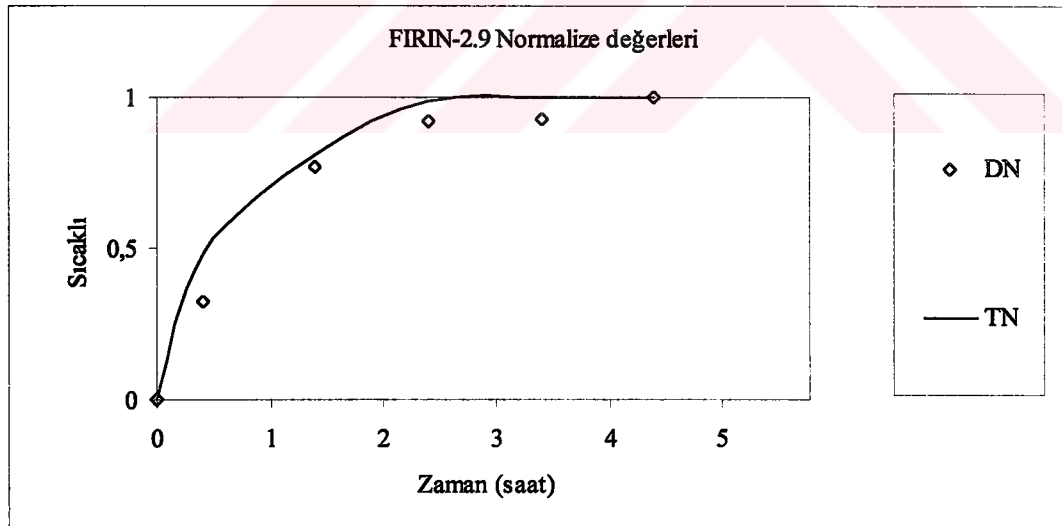
Transformatörlerin ağırlıkları toplamı tüm işlemler genelinde normal düzeyde sayılabilir (kapasiteler önceki bölümlerde verilmiştir. Bkz. EK-B). Matematiksel ve deneysel veri değerlerini denklem (4.1) ve (4.2)'ye göre normalize ederek zamana karşı irdelediğimizde Şekil-4.85'deki gibi bir dağılım oluşmaktadır.

Fırın-2.9 işleminde deneysel veriler ile matematiksel model uygulanması ile elde edilen sonuçlar arasında korelasyon yapıldığında 0,9890 değerinde olan korelasyon katsayısı elde edilmiştir (Excel'97). Korelasyon katsayısı en uygun durumda 1'e eşittir. İşlem için yapılan standart sapma hesaplamalarına göre, deneysel (fabrikada çalışan sistem için) verilerin standart sapması 27,76 değerinde ve modelde bulunan sonuçlar için standart sapma 28,50 değerinde bulunmuştur. Şekil-4.84'deki veri dağılımları ikinci dereceden polinomlar olarak değerlendirildiğinde oluşan eğriler için bulunan R² değerleri, deney için 0,9811; model için de 0,9983 olarak bulunmuştur (Excel'97). İkinci dereceden kabul ettiğimiz polinomların derecesini arttırdığımızda bu değerlerin uygun sonuç olan 1'e daha da yaklaştıkları görülmüştür. Ancak, kurutma fırınının prosesindeki değişimler için ikinci dereceden polinom seçmek hatalı bir sonuç oluşturmamaktadır.

Verilerin ve bulunan değerlerin zamana göre dağılımları ile normalize edilmiş değerleri EK-C'de Tablo-C.24 ile verilmektedir.



Şekil-4.84: FIRIN-2.9. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu.



Şekil-4.85: FIRIN-2.9. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı.

FIRIN-2.10. İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz

Bu kurutma evresinde fırın içerisine aktif kısımlarının ağırlıkları toplamı yaklaşık 9563 kg. olan yedi adet transformatör yerleştirilmiştir. Transformatörlerin dış yüzeylerinin alanları toplamı yaklaşık olarak $40,9 \text{ m}^2$ alınmıştır. Fırındaki boruların içerisindeki buharın sıcaklığı da fabrika verilerine dayanılarak 150°C sabit sıcaklıkta ele alınmıştır.

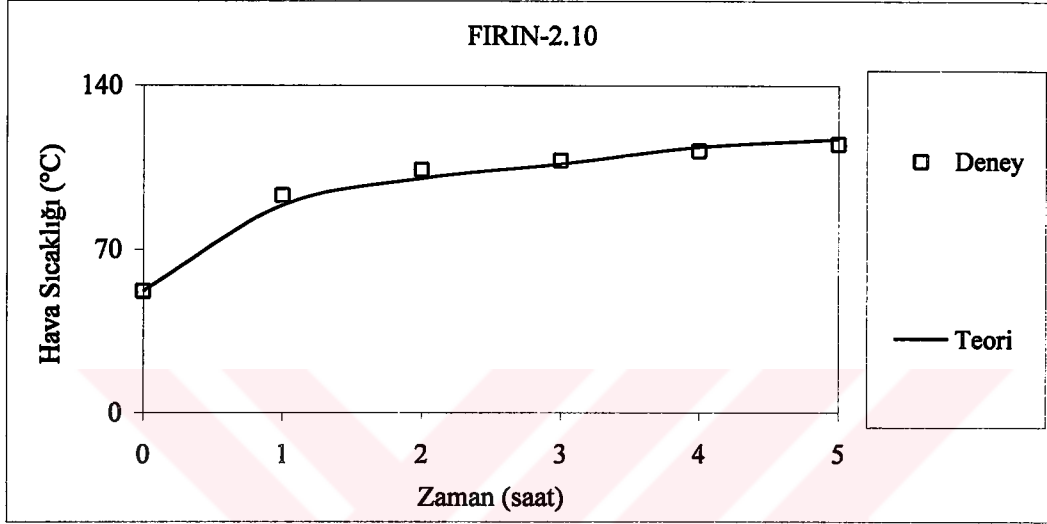
Isıtma işleminin ilk beş saatlik bölümü (ilk ısıtma süresi dört saattir) incelenmiş ve sıcaklığın değişimi gözlenmiştir. Bu işlemdeki deneysel veriler ile matematiksel modelde bulunan değerlerin karşılaştırması Şekil-4.86'da verilmektedir. İşlemin 4. saatinde havalandırma yapıldığı için sıcaklıkta bir düşüş meydana gelmiştir. Model sonucu elde edilen sıcaklıklarının deneysel verilerdeki sıcaklıklara göre farklı oluşu, transformatörler hakkında tanımlanan verilerin kesin olamayışından kaynaklanabilir. Transformatör grubunun ağırlığı ve alan değerleri modelde değişimlere neden olmaktadır.

Transformatörlerin ağırlıkları toplamı tüm işlemler genelinde normal düzeyden fazladır (kapasiteler önceki bölümlerde verilmiştir. Bkz. EK-B). Matematiksel ve deneysel veri değerlerini denklem (4.1) ve (4.2)'ye göre normalize ederek zamana karşı irdelediğimizde Şekil-4.87'deki gibi bir dağılım oluşmaktadır.

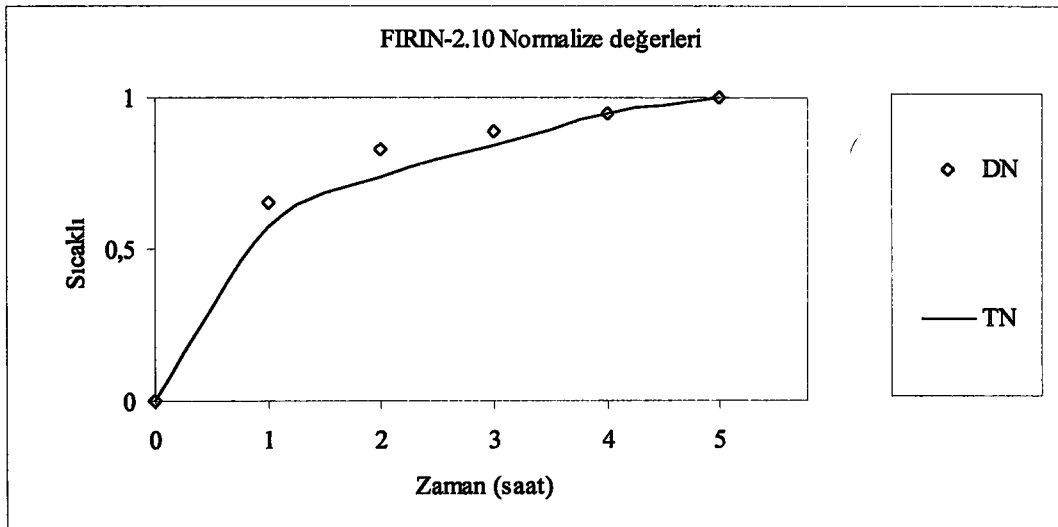
Fırın-2.10 işleminde deneysel veriler ile matematiksel model uygulanması ile elde edilen sonuçlar arasında korelasyon yapıldığında 0,9938 değerinde olan korelasyon katsayısı elde edilmiştir (Excel'97). Korelasyon katsayısı en uygun durumda 1'e eşittir. İşlem için yapılan standart sapma hesaplamalarına göre, deneysel (fabrikada çalışan sistem için) verilerin standart sapması 21,45 değerinde ve modelde bulunan sonuçlar için standart sapma 21,86 değerinde bulunmuştur. Şekil-4.86'daki veri dağılımları ikinci dereceden polinomlar olarak değerlendirildiğinde oluşan eğriler için bulunan R^2 değerleri, deney için 0,9370; model için de 0,9620 olarak bulunmuştur (Excel'97). İkinci dereceden kabul ettiğimiz polinomların derecesini arttırdığımızda bu değerlerin uygun sonuç olan 1'e daha da yaklaştıkları

görülmüştür. Ancak, kurutma fırınının prosesindeki değişimler için ikinci dereceden polinom seçmek hatalı bir sonuç oluşturmamaktadır.

Verilerin ve bulunan değerlerin zamana göre dağılımları ile normalize edilmiş değerleri EK-C'de Tablo-C.25 ile verilmektedir.



Şekil-4.86: FIRIN-2.10. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu.



Şekil-4.87: FIRIN-2.10. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı.

FIRIN-2.11. İşleminin Deneysel ve Teorik Sonuçları İçin İstatistiksel Analiz

Bu kurutma evresinde fırın içerisine aktif kısımlarının ağırlıkları toplamı yaklaşık 5607 kg. olan dokuz adet transformatör yerleştirilmiştir. Transformatörlerin dış yüzeylerinin alanları toplamı yaklaşık olarak $31,5 \text{ m}^2$ alınmıştır. Fırındaki boruların içerisindeki buharın sıcaklığı da fabrika verilerine dayanılarak 150°C sabit sıcaklıkta ele alınmıştır.

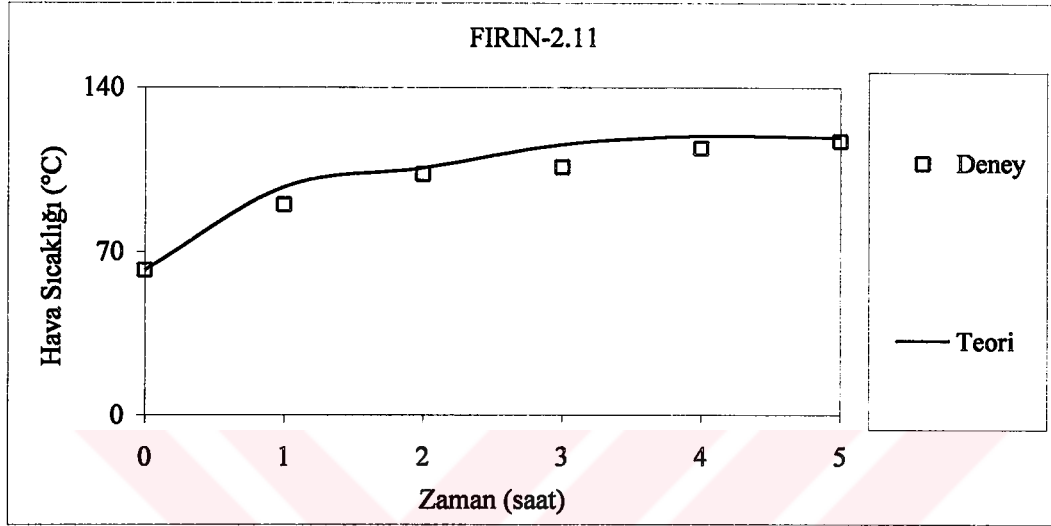
Isıtma işleminin ilk beş saatlik bölümü (ilk ısıtma süresi dört saattir) incelenmiş ve sıcaklığın değişimi gözlenmiştir. Bu işlemdeki deneysel veriler ile matematiksel modelde bulunan değerlerin karşılaştırması Şekil-4.88’de verilmektedir. İşlemin 3,25. saatinde havalandırma yapıldığı için sıcaklıkta düşme olmuştur. Model sonucu elde edilen sıcaklıklarının deneysel verilerdeki sıcaklıklara göre farklı oluşu, transformatörler hakkında tanımlanan verilerin kesin olamayışından kaynaklanabilir. Transformatör grubunun ağırlığı ve alan değerleri modelde değişimlere neden olmaktadır.

Transformatörlerin ağırlıkları toplamı tüm işlemler genelinde normal düzeyde sayılabilir (kapasiteler önceki bölümlerde verilmiştir. Bkz. EK-B). Matematiksel ve deneysel veri değerlerini denklem (4.1) ve (4.2)’ye göre normalize ederek zamana karşı irdelediğimizde Şekil-4.89’daki gibi bir dağılım oluşmaktadır.

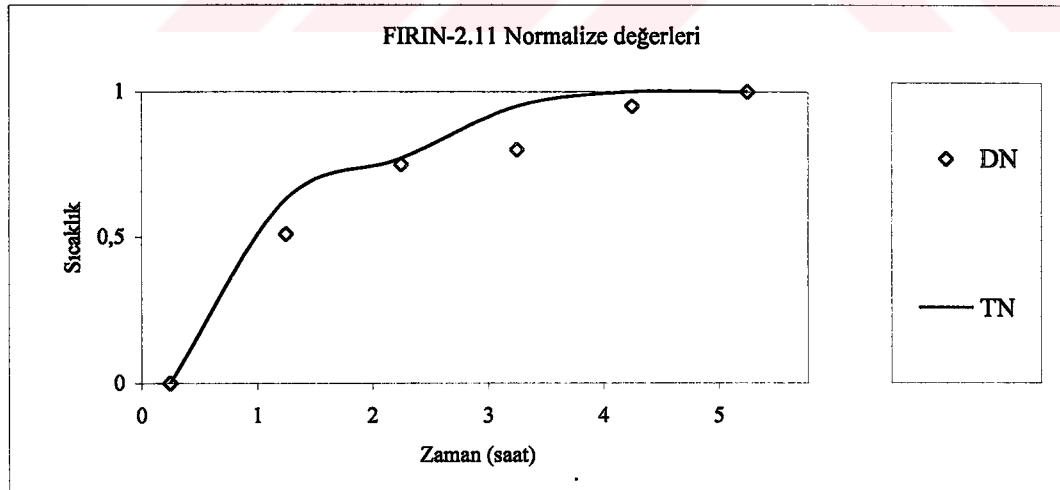
Fırın-2.11 işleminde deneysel veriler ile matematiksel model uygulanması ile elde edilen sonuçlar arasında korelasyon yapıldığında 0,9871 değerinde olan korelasyon katsayısı elde edilmiştir (Excel’97). Korelasyon katsayısı en uygun durumda 1’e eşittir. İşlem için yapılan standart sapma hesaplamalarına göre, deneysel (fabrikada çalışan sistem için) verilerin standart sapması 18,54 değerinde ve modelde bulunan sonuçlar için standart sapma 19,91 değerinde bulunmuştur. Şekil-4.88’deki veri dağılımları ikinci dereceden polinomlar olarak değerlendirildiğinde oluşan eğriler için bulunan R^2 değerleri, deney için 0,9694; model için de 0,9659 olarak bulunmuştur (Excel’97). İkinci dereceden kabul ettiğimiz polinomların derecesini arttırdığımızda bu değerlerin uygun sonuç olan 1’e daha da yaklaştıkları

görülmüştür. Ancak, kurutma fırınının prosesindeki değişimler için ikinci dereceden polinom seçmek hatalı bir sonuç oluşturmamaktadır.

Verilerin ve bulunan değerlerin zamana göre dağılımları ile normalize edilmiş değerleri EK-C'de Tablo-C.26 ile verilmektedir.



Şekil-4.88: FIRIN-2.11. işleminde fırın havası sıcaklığının zamana göre dağılımındaki deneysel ve matematiksel model verilerinin konfigürasyonu.



Şekil-4.89: FIRIN-2.11. işleminde, fırın havası sıcaklığının deneysel ve model verilerinin normalize değerlerinin dağılımı.

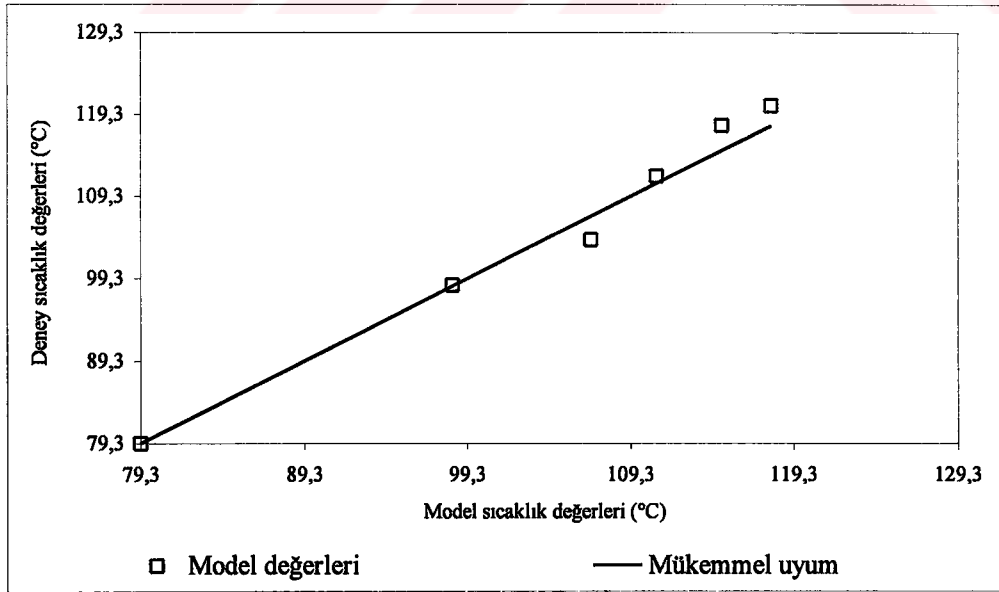
4.3.1. DENEY ve MODEL ARASINDAKİ KORELASYON KATSAYILARI

İŞLEM NO	KORELASYON KATSAYISI
FIRIN-1.1	0.9921
FIRIN-1.2	0.9654
FIRIN-1.3	0.9896
FIRIN-1.4	0.9792
FIRIN-1.5	0.9906
FIRIN-1.8	0.9144
FIRIN-1.9	0.9130
FIRIN-1.10	0.9074
FIRIN-1.11	0.9270
FIRIN-1.12	0.9928
FIRIN-1.14	0.9961
FIRIN-1.15	0.7387
FIRIN-1.16	0.9696
FIRIN-1.17	0.9975
FIRIN-1.18	0.9917
FIRIN-2.1	0.9786
FIRIN-2.2	0.9956
FIRIN-2.3	0.9983
FIRIN-2.4	0.9939
FIRIN-2.5	0.9922

FIRIN-2.6	0.9909
FIRIN-2.7	0.9820
FIRIN-2.8	0.9884
FIRIN-2.9	0.9890
FIRIN-2.10	0.9938
FIRIN-2.11	0.9871

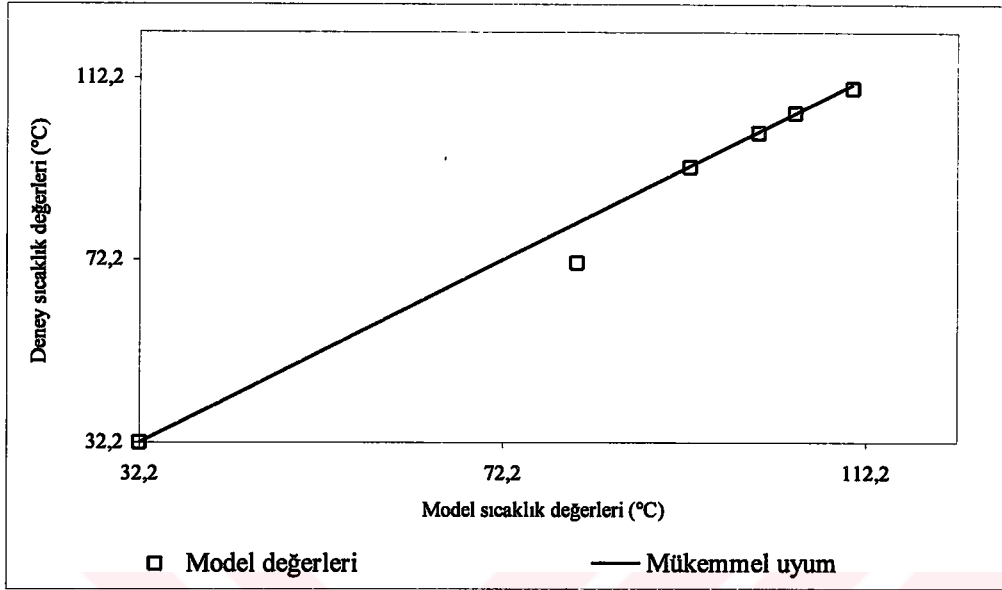
4.3.2. MODEL DEĞERLERİNİN DENEYSEL VERİLERE GÖRE DAĞILIMLARI

Matematiksel modelde elde edilen değerlerin deneysel verilere olan yakınlıkları, deney ve modelin tam uyumu referans alınarak incelenmiştir. Deney verileri ile model değerlerinin tam bir uyum içerisinde olmaları, değişim grafiklerindeki doğrusallığını (iki eksen ile 45°' lik açı yapan doğru parçasını) simgelemektedir. Buna göre, model değerlerinin değişimleri aşağıdaki grafiklerde olduğu gibi, değişimler göstermektedirler:



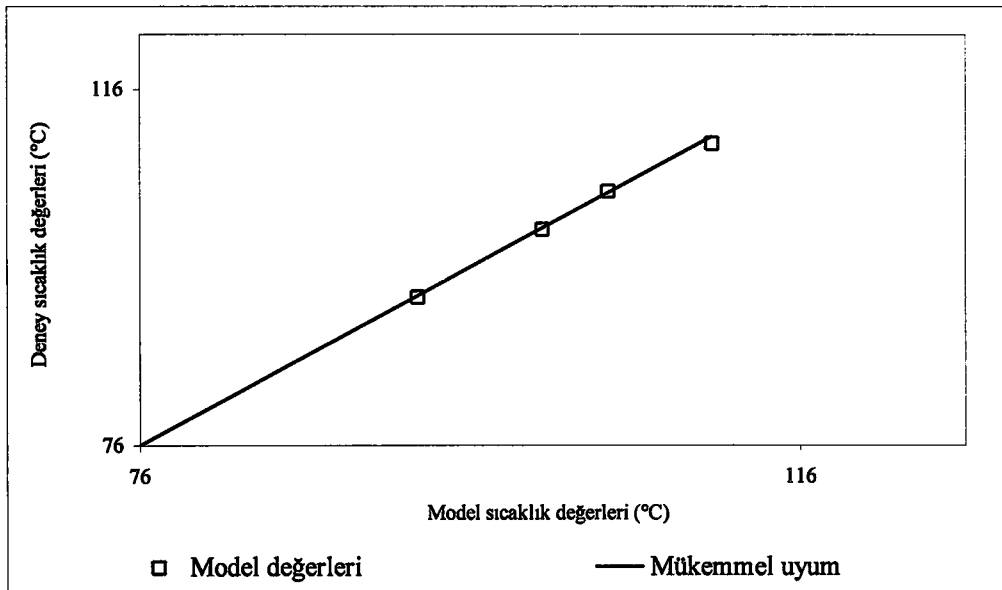
Şekil-4.90: Fırın-1.1 işlemi için model değerlerinin deney verileri ile uyumu.

Şekil-4.90'da görüldüğü gibi model değerleri mükemmel uyum doğrusuna yakın noktalarda bulunmaktadır. Bu doğrunun çevresindeki dağılımlar, model-deney analizlerinde bulunan sapmalar ile açıklanabilir.



Şekil-4.91: Fırın-1.12 işlemi için model değerlerinin deney verileri ile uyumu.

Yukarıdaki şekilde de, sadece bir noktanın uyumdan saptığı görülmektedir. Modelde oluşan bu sapma, ilk saatteki ısıtma işleminin tanımlanmasından kaynaklanabilir. Diğer noktalar da yaklaşık olarak deney verileri ile aynı değerlerdedir.



Şekil-4.92: Fırın-2.4 işlemi için model değerlerinin deney verileri ile uyumu.

Yukarıdaki şekilde, model değerlerinin deneysel verilerle yaklaşık olarak aynı düzeyde oldukları görülmektedir. Buna benzer işlem sayıları yapılan deneyler içerisinde yer almaktadır.

4.4. SONUÇLAR

GEC ALSTHOM Elektrik A.Ş.'nin Yağlı Tip Elektrik Dağıtım Transformatörleri Fabrikası'nda bulunan iki adet buhar geçişli fırın deneysel ve matematiksel model kullanılarak analiz edilmiş, kurutma sürelerindeki artışların ısıtma işleminden kaynaklanıp kaynaklanmadığı incelenmiştir.

Fırınlarda, fiziksel özellikleri bakımından incelendikten sonra, özellikle on beş gün boyunca ki bu tarihler 1998 yılının ilk ayına denk gelmektedir (Bkz. EK-B); fırınlarda 27 bağımsız deney seti kullanılmıştır. Kontrol panellerinde bulunan sıcaklık ve vakum değerleri fırın yazıcılarından alınarak, sonuçları tek tek ele alınmıştır. Bunlar yardımıyla, yapılan havalandırmaların zamanları ve etkileri tespit edilmiştir.

Bölüm-4'de anlatıldığı gibi ele alınan işlemlerin yorumları yapılmıştır. Bazı işlemler de dikkate alınmamıştır. Özellikle hafta sonuna gelen işlemlerde aşırı zaman ve enerji kayıpları meydana geldiği görülmüştür. Fırınlara çalıştırılmaya devam edilirken ısı işlemlerine etkide bulunacak alanlar tespit edilmiştir.

Yapılan analizlerin güvenilirliğini arttırmak için Mathsoft MathCAD 5+ (1986-1994 Mathsoft Inc., Version 5.0) kullanılarak uyarlanan matematiksel model yardımıyla sonuca ulaşılmıştır. Matematiksel modelde dikkate alınmayan havalandırma, zamanında yapılamadığı için bu zamanlarda model ile deney arasında uyumsuzluklar olduğu görülmüştür.

Matematiksel model ile sonuca ulaştığımız işlemlerde model değerleri ile deney verileri arasındaki korelasyonuna bakıldığında, korelasyon katsayısının 0,9270

ile 0,9983 değerleri arasında değiştiği görülmüştür. Korelasyon katsayısının 1'e eşit olması gerçek bir uyumun simgesidir. Deney ve model verilerini ifade ederken ikinci dereceden polinomlara uydurulmuşlardır. Polinom derecesini arttırdıkça deney-model uyumluluğu da artmaktadır. Ancak, geçişli fırın sistemimiz hassas değişimler taşımadığından ve sıcaklık değişimlerindeki hassasiyet onda bir düzeyinde alındığı için ikinci dereceden polinom yaklaşımı büyük hatalar oluşturmamaktadır. Bu halde iken bulunan R^2 değerlerinde (en uygun değeri 1'dir) deney için 0,8660 ile 0,9837 arasında ve model için de 0,9620 ile 0,9983 değerleri arasında değişimler görülmüştür. Deneyde bulunan minimum değerinin düşük olmasının nedeni, ısıtma sorununa bağlanmıştır. Fabrikanın karşılaştığı asıl sorunların nedenleri yapılan analizlere göre şu şekilde açıklanabilir:

Isıtma Buharı: Fırında ısıtma elemanı olarak kullanılan buhar sıcaklığındaki değişimler (disturbance), fırının ısınmasını etkilemekte ve kurutma işleminin zamanında artışlara neden olmaktadır.

Aşırı Yükleme: Kapasitesi yüksek olan trafolarda (1000 kVA ve üstü) alçak gerilim bobinlerinin sıcaklıkları hava sıcaklığı ile aynı oranlarda değişmemektedir. Bobinlerin büyük olması, trafo kapağının alanının büyüklüğü nedenleriyle alçak gerilim kısımlarında doğal taşınım meydana gelmektedir. Fırın ortamında zorlanmış taşınım olmasına rağmen alçak gerilim kısımlarında doğal taşınım gözlenmesi sıcaklık farkını yaratmakta ve fırın içerisinde sıcaklık bakımından ölü bölgelerin oluşmasını sağlamaktadır.

Sirkülasyon: Kapasitesi yüksek olan trafolardan üç-dört tanesi bir arada olduğunda alçak gerilim kısımlarının istenilen sıcaklık değerlerine ulaşmaması sonucunda, ısıtma işlemi uzamaktadır. Bunun yanında, trafo kapakları fırın yüzey alanında fazlasıyla yer kapladıklarından havanın sirkülasyonuna olumsuz yönde etki etmektedirler. Fırının yan duvarlarında da açıklıklar oluşmuşsa (Fırın-2' deki gibi), hava alt kısımlara ulaşmadan yalnızca üst bölgede sirkülasyon yapacaktır. Sonuçta trafoların alt kısımları daha geç ısınacaktır.

Zamansız Kontroller: Isıtma işlemi başlatılıp istenilen sıcaklık değerinde kesilmesi gerekirken işlem uzatılmıştır. Bunun kurutmanın tam olması için oldukça yararı vardır ama, enerji kayıpları (maddi kayıplar) oluşturmaktadır. Kontrollerin zamanında yapılması gereklidir. Bunu konuda en iyi çözüm otomatik kontrol sistemleri kullanılarak (PID kontrol sistemi) kurutma yapmaktır. Fırın içerisindeki nem ve sıcaklık değerlerine göre işlemler zamanında ve minimum kayıpla yürütülebilir. Otomatik kontrolü de fırın operatörlerinin takip etmesi gereklidir.

Etkisiz Havalandırma: Fırın içerisinde biriken nemi dışarıya atmak için on beşer dakikalık havalandırmalar yapılmaktadır. Bazı kurutma işlemlerinde havalandırmanın etkisi görülemeyecek kadar azdır. Havalandırma sırasında fırına gönderilen havanın kuruluk derecesi için filtreler düzenli olarak kontrol edilmeli ve yeterli miktarda hava iletilmelidir. Havalandırma yapıldıktan sonra sıcaklığın nasıl arttığı grafiklerde görülmektedir. Bu işlemin kurutma zamanına ve kalitesine etkisi oldukça büyüktür.

Fırın Bakımı: Fırınların ısıtma kapasiteleri bakımlarıyla ilişkilidir. Yağlı maddeler fırına yerleştirilince kurutma işlemini olumsuz yönde etkilemektedir. Çünkü yağın buharlaşarak fırın havasına karışması trafolardaki nemin havaya geçişinde engel oluşturur.

Fırına sıcak su borularının giriş ve çıkışındaki bazı yerlerde izolasyonsuz kısımlar bulunmaktadır. Özellikle vanaların çevrelerinde izolasyon olmaması ısı kaybını arttırmaktadır. Bu sistemlerde kullanılan bir vananın ısı kaybı bakımından sekiz metrelik boruya karşılık gelmesi izolasyonun önemini açıklamaktadır.

Yukarıda açıklanan sorunların çözümleri nasıl olmalıdır? Bu sorunun cevabını hazırlanan bakım ve işletim talimatları verebilir:

Geçişli fırınlarda kurutma işleminin yerinde olarak tamamlanması için ilgili personelin işlerini kolaylaştırması ve yardımcı olması açısından uygulayabilecekleri işlemler önerilmiştir. Bu işlemler, otomatik kontrol sistemi olmayan sistem için uyarlanmıştır.

Fırınların Fiziksel Yapılarına Uyarlanacak İşlemler

- 1) Fırınların yan duvarlarına yakın yerlerde bulunan metal saçların birbirlerine tam temas edecek ve boşluk kalmayacak şekilde yerleştirilmelidirler.
- 2) Fırınların üzerlerinde ve yanlarında bulunan izolasyonsuz boruların izole edilmelidirler.

Fırınlardaki Periyodik Bakımlar

- 1) Fırınların tabanlarında bulunan yağ veya diğer akışkanların temizlenmelidir.
- 2) Fırınlarda sıcaklık ve vakum ölçümlerinde kullanılan algılayıcı ve işleyicilerin, ilgili aletlerin onbeş günde bir kalibrasyonlarının yapılması ve raporlanması gerekmektedir.

Trafoların Fırınlara Yerleştirilişleri

- 1) Haftanın son iş günü veya tatile girilen günlerde fırınlara yükleme yapılmamasına dikkat edilmelidir. Eğer yükleme yapılmışsa tatilde bulunulan zamanlarda işlemler durdurulmalıdır.
- 2) Fırınlarda kapak kısımlarının alt bölgeleri yeterince ısınmadığı için bu bölgelere daha çok küçük trafolar yerleştirilmelidir.
- 3) Büyük hacimli trafolar fırınların orta kısımlarına ve küçük hacimliler de ara bölmelere yerleştirilmelidirler.
- 4) Kablo kutusu bulunan ve yüksek kapasitelerdeki birden fazla trafo mümkün olduğunca fırınlara koyulmamalıdır.

Kurutma İşlemi Sırasındaki Kontroller

- 1) Isıtma elemanı sıcaklığı kontrolü; Fırında ısıtma elemanı olarak kullanılan buhar sıcaklığı çalışma normlarında tanımlandığı gibi 160°C fırına giriş sıcaklığında tutulmalıdır. Buharın fırına giriş ve çıkış sıcaklıkları her yarım

saatte kontrol edilip raporlanmalı ve sıcaklıkta düşme gözleendiğinde, buharı sağlayan birim ile temasa geçilmelidir.

- 2) Fırındaki sıcaklık dağılımını açıklayan grafikler operatörlerce sürekli kontrol edilmelidir. Havalandırmaların fırın ortamına etkileri görülmeli ve gereği sağlanmalıdır. Fazla ısıtma, fazla ve eksik vakum gibi kontrolsüzlüklerden kaçınılmalıdır.
- 3) Her kurutma işlemi sonunda vakum hattından alınan su miktarının ve yapısının (yağlı, paslı gibi) belirlenmesi ve raporlanması gerekmektedir.
- 4) Kurutma işlemi bitiminde (diğer işleme geçmeden) operatörlerce değerlendirme yapılmalıdır. Meydana gelmiş aksaklıklar ilgili amire bildirilmeli ve tüm kararlar raporlandırılmalıdır.

Fırınlardan Sorumlu Amirlerin Yapılabilecekleri İşlemler

- 1) İlgili amir her hafta sonunda bir haftalık fırın çalışma raporlarını incelemelidir. Kurutma zamanlarını değerlendirmeli ve aksaklıkları operatörler ile tartışmalıdır.
- 2) Fırınlarda ısıtma akışkanının temin edildiği birim ile devamlı temas halinde olmalıdır.

Fırın Operatörleri Tarafından Dikkat Edilecek Hususlar

- 1) Kurutma işleminde kontrol edilecek konulara dikkat etmelidir.
- 2) Fırında meydana gelen veya gelebilecek aksaklıkları amirine bildirmelidir.
- 3) Fırınlarda kullanılan cihazların kalibrasyonlarının yapıldığından emin olmalıdır. Kalibrasyon sürelerini geciktirtmemelidir.
- 4) Her işlemten sonra mutlaka bir değerlendirme yapmalı ve raporlandırmalıdır.
- 5) Mesai görevlerinin değişimlerinde, kendisinden sonra görev alacak operatöre işlemin hangi safhada olduğunu net olarak aktarması gereklidir.

Ülkemizde ve dünyada gün geçtikçe enerji kaynakları tükenmekte ve yeni yeni arayışlara girmekteyiz. Enerji arayışlarının yanında, enerji kullanım alanlarına da dikkat edilmelidir.





KAYNAKLAR

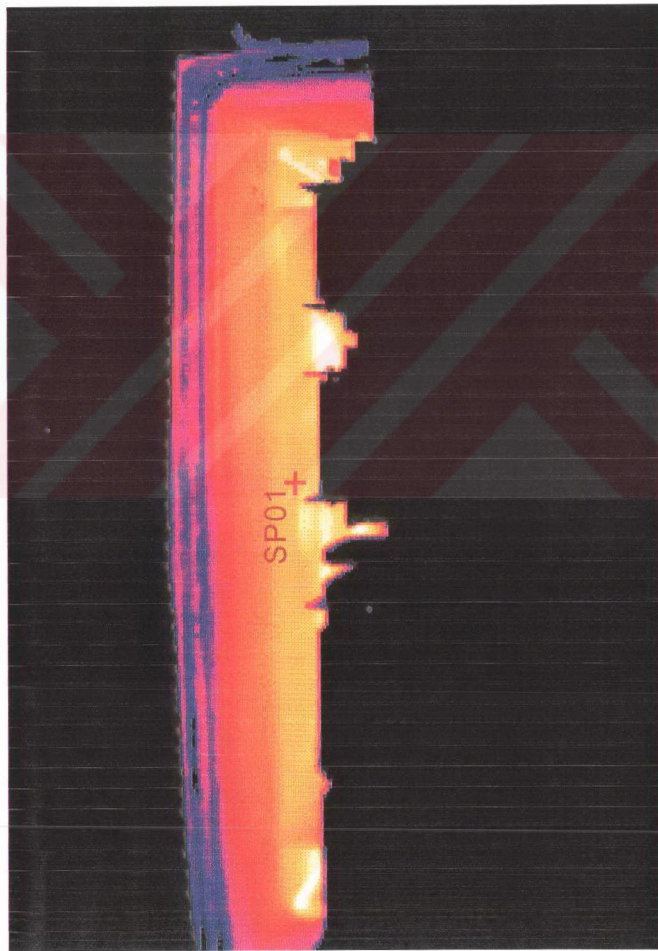
- 1- AEG-Eti Elektrik Endüstrisi A.Ş. Dağıtım Trafoları Üretim ve Ar-Ge Birimi.
- 2- Hastaoglu, M.A., Kahraman, R. and I.A. Abba, Dynamic Simulation of Fixed Bed Reactors with Gas-Solid Reactions, Middle East Petrotech 96 Conference (Sponsored by AIChE), Bahrein June 10-12, 1996,
- 3- Th. Riede, E. U. Schlünder, Selective Through-drying in Fixed Beds, Chemical Engineering Process., 29 (1996) 9-26.
- 4- A.J. Matchett, M.S. Sheikh, An Improved Model of Particle Motion in Cascading Rotary Dryers, Introduction of Chemical Engineers, Vol.68, Part A, March 1990.
- 5- P. L. Douglas, J. T. A. Jones, S. K. Mallick, Modelling And Simulation Of Crossflow Grain Dryers, Introduction of Chemical Engineers, Vol.72, Part A, May 1994.
- 6- Fitzgerald, A.E., Higginbotham David E., Grabel A., Basic Electrical Engineering, 1952.
- 7- Demirtaş, C., Karabay, H., Ayhan, B., Ayhan, T., Şatlandırılmış Hava İle Fındık Kurutma Deney Düzenegi, 4.Ulusal Soğutma ve İklimlendirme Tekniği Kongresi, Sayfa 32-42, Nisan 1996.
- 8- Treybal, r.e., Mass-Transfer Operations, Third Edition, Mc Graw-Hill Book Company, Singopore, 1993.
- 9- Robert H. Perry / Cecil H. Chilton, Chemical Engineers' Handbook, 1982.
- 10- Karabay, H., Fındık Kurutma, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh. Anabilim Dalı, Trabzon, Ocak 1992.
- 11- A.S. Foust, L.A. Wenzel, C.W. Clump, L. Maus, L.B. Andersen, Principles of Unit Operations, Toppan Printing Company, 1960.
- 12- Oral, F., Yıldız, C., Biçer, Y., Nemli Havanın Psikometrik Özelliklerinin Bilgisayar Yardımıyla Belirlenmesi, 10. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Ankara, 6-8 Eylül 1995.

- 13- Nicholas P. Chohey, Handbook of Chemical Engineering Calculations (Second Editions), McGraw-Hill, 1994.
- 14- Sadık Kakaç, Boilers, Evaporators, and Condensers, 1991.
- 15- Dağsöz, A. Kemal, Isı Geçişi, İTÜ Makina Fak. Nükleer Enerji ve Isı Transferi Kampüsü, 1977.
- 16- Knudsen, Katz, Chapman, Fluid Dynamics and Heat Transfer, 1974.
- 17- R. Byron Bird, Warren E. Stewart, Edwin N. Lightfoot, Transport Phenomena, 1960.
- 18- Frank Kreith, Principles of Heat Transfer (2nd Edition), 1965.
- 19- C.O. Bennett, J.E. Myers, Momentum, Heat, and Mass Transfer (Third Edition), 1983.
- 20- William F. Smith, Principles of Materials Science and Engineering (Second Edition), McGraw - Hill International Editions, 1990.

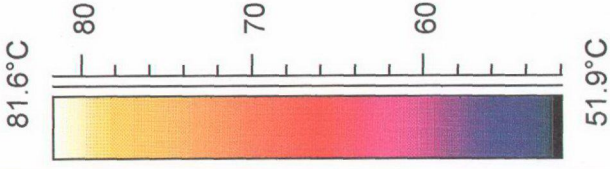


EK-A

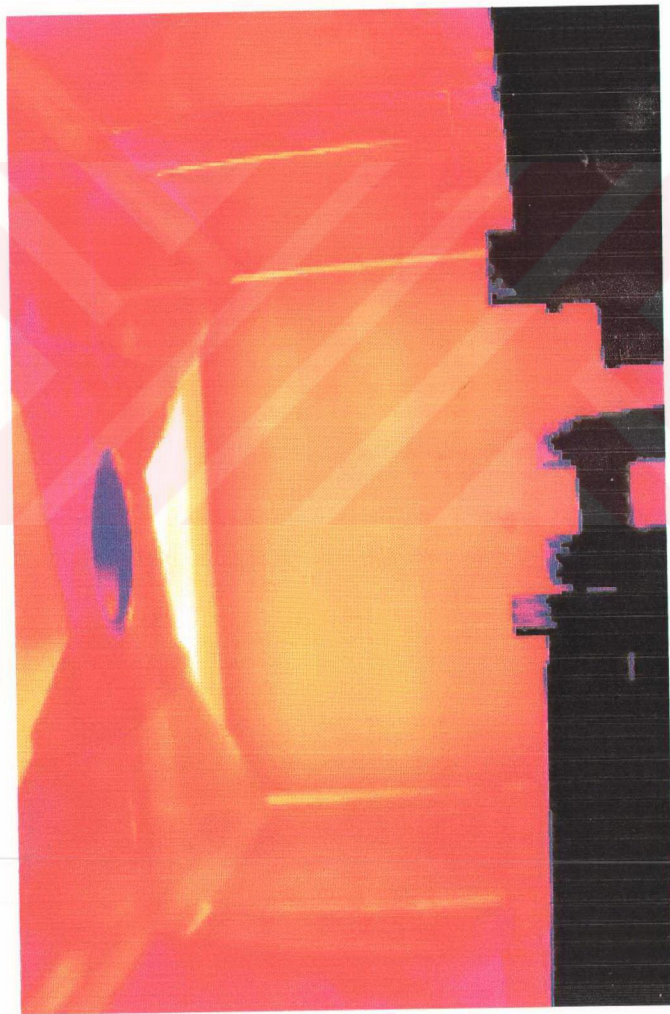
**Geçişli Fırınların Termal Kamera İle Alınan
Görüntüleri**



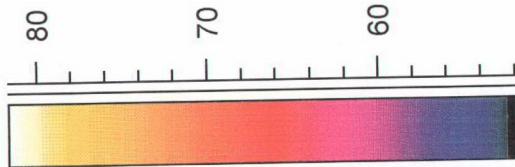
Şekil-4.1.



Şekil-4.2.



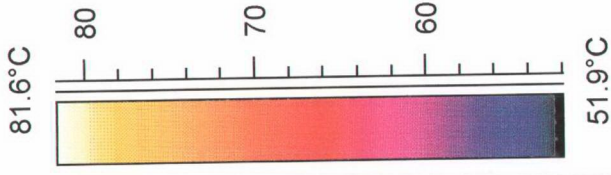
81.6°C



51.9°C

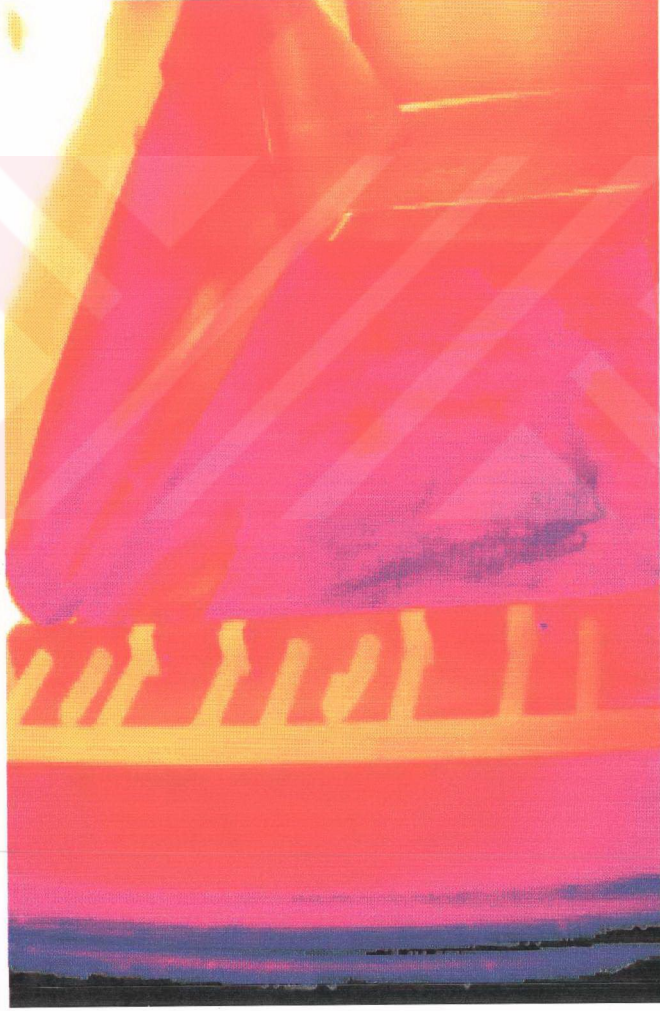
Şekil-4.3.





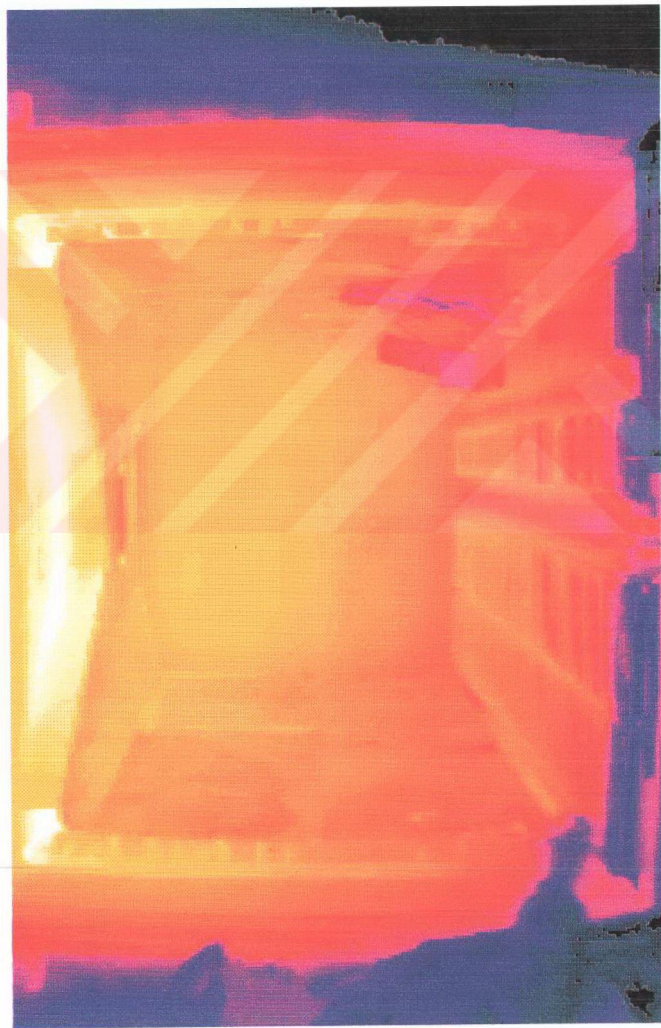
Şekil-4.4.



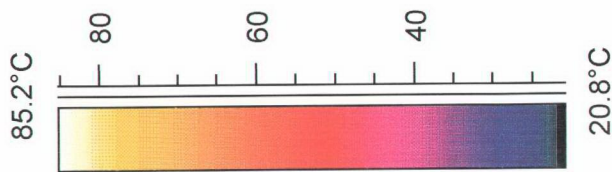


Şekil-4.5.



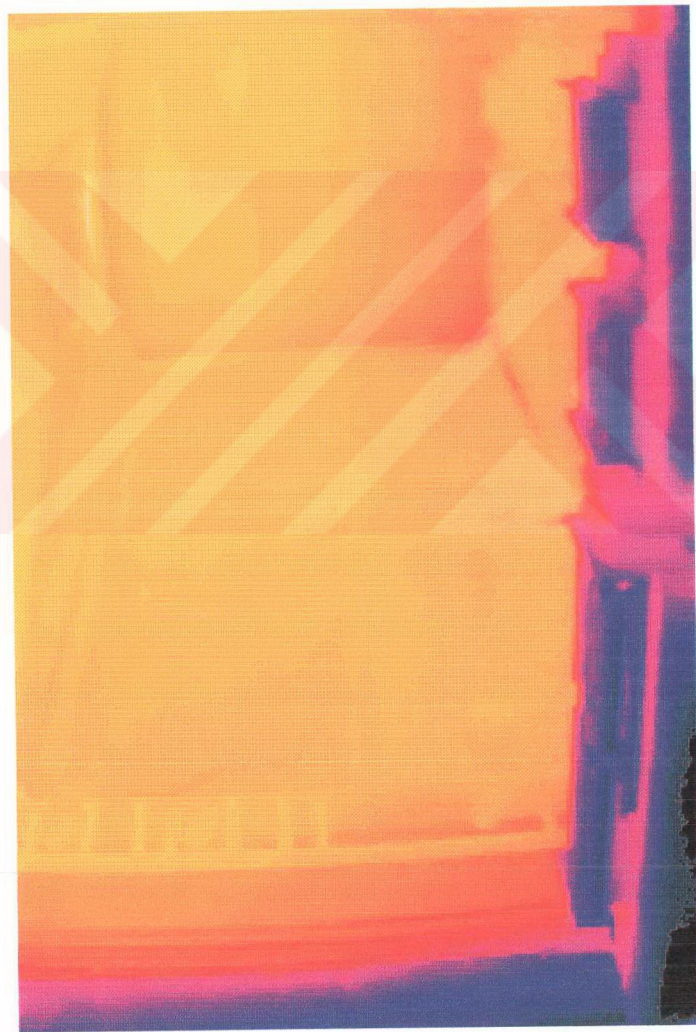


Şekil-4.6.





Şekil-4.7.



Şekil-4.8.



82.2°C

80

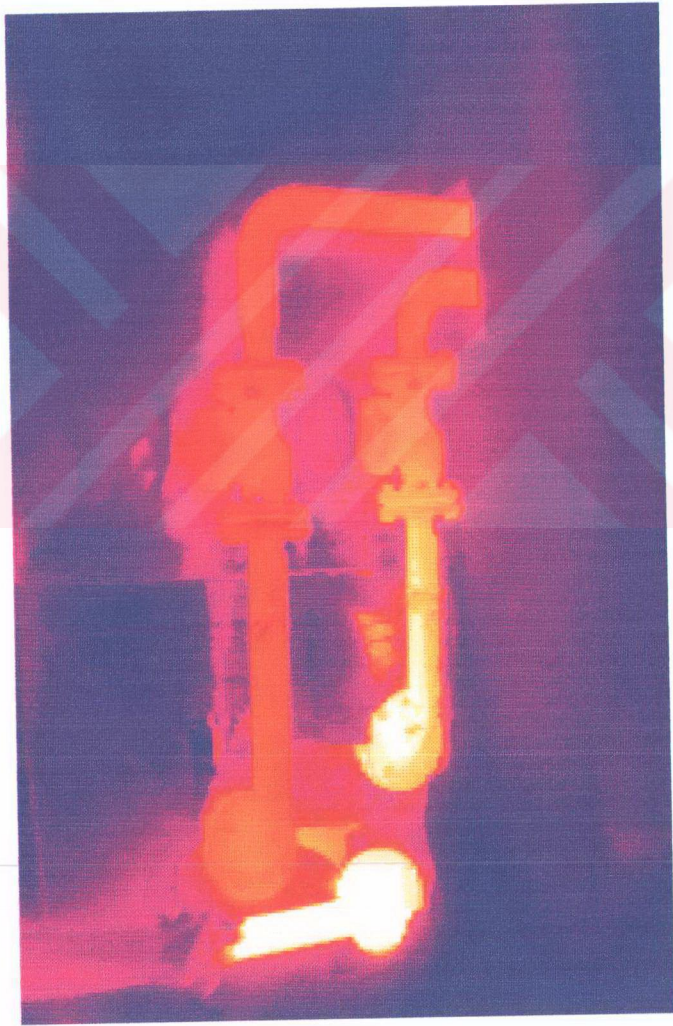
60

40

21.7°C

Şekil-4.9.





Şekil-4.10.





EK-B

Geçişli Fırınların Deneysel Kontrol Verileri

Çizelge B-1: FIRIN-2.1 işlemine ait veriler.

TRAFOLARIN:

FIRINA GİRİŞ TARİHİ: 02/01/1998 (10:30)

FIRINDAN ÇIKIŞ TARİHİ: 03/01/1998 (08:00)

ZAMAN	t	A2	A3	A4	A5	A6	VAKUM
(saat)	(z. farkı)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(mbar)
10:28	0	25	9	7	9	belirsiz	-100
11:00	0,53	71	35	15	27	belirsiz	-101
12:00	1,53	92	53	23	48	belirsiz	-101
13:00	2,53	101	63	33	60	belirsiz	-101
14:00	3,53	109	70	42	69	belirsiz	-101
15:00	4,53	113	74	49	75	belirsiz	-101
16:00	5,53	115	78	54	80	belirsiz	-101
17:00	6,53	118	82	60	85	belirsiz	-101
18:00	7,53	118	84	65	90	belirsiz	-101
19:00	8,53	121	87	70	92	belirsiz	-101
20:00	9,53	123	90	74	94	belirsiz	-101
21:00	10,53	116	80	73	91	belirsiz	417
22:00	11,53	114	77	72	85	belirsiz	391
23:00	12,53	111	72	69	80	belirsiz	318
00:00	13,53	109	72	70	79	belirsiz	294
01:00	14,53	108	73	72	80	belirsiz	273
02:00	15,53	108	74	73	81	belirsiz	255
03:00	16,53	108	76	74	82	belirsiz	240
04:00	17,53	105	76	75	82	belirsiz	226
05:00	18,53	101	76	75	81	belirsiz	211
06:00	19,53	97	75	74	79	belirsiz	198
07:00	20,53	93	74	73	78	belirsiz	187

A2= Fırın havasının sıcaklığı.

A3= Trafonun yüksek gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A4= Trafonun alçak gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A5= Trafonun yüksek gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

FB= Fabrikada, trafolarla verilen numaraların simgesi.

Trafoların "FB" numaraları:

292930-01 (800 kVA)

295870-01 (690 kVA)

295580-01 (2000 kVA)

292610-01 (1250 kVA)

292610-04 (1250 kVA)

292650-01 (1600 kVA)

292650-02 (1600 kVA)

Trafo Adedi: 7Toplam Kapasite: 9190 kVA.

Çizelge B-2: FIRIN-2.2 işlemine ait veriler.

TRAFOLARIN:

FIRINA GİRİŞ TARİHİ: 03/01/1998 (11:20)

FIRINDAN ÇIKIŞ TARİHİ: 05/01/1998 (07:45)

ZAMAN	t	A2	A3	A4	A5	A6	VAKUM
(saat)	(z. farkı)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(mbar)
11:20	0	37	7	6	9	belirsiz	-101
12:00	0,66	87	18	7	27	belirsiz	-101
13:00	1,66	103	33	18	51	belirsiz	-101
14:00	2,66	111	45	32	64	belirsiz	-101
15:00	3,66	115	54	44	73	belirsiz	-101
16:00	4,66	119	63	54	79	belirsiz	-101
17:00	5,66	120	70	63	84	belirsiz	-101
18:00	6,66	121	76	71	88	belirsiz	-101
19:00	7,66	124	82	77	92	belirsiz	-101
20:00	8,66	126	87	83	96	belirsiz	-101
21:00	9,66	126	92	88	99	belirsiz	-101
22:00	10,66	127	96	93	102	belirsiz	-101
23:00	11,66	127	98	96	103	belirsiz	-101
00:00	12,66	122	99	98	103	belirsiz	414
01:00	13,66	120	99	99	102	belirsiz	382
02:00	14,66	117	99	99	101	belirsiz	302
03:00	15,66	116	99	100	101	belirsiz	221
04:00	16,66	115	100	100	101	belirsiz	177
05:00	17,66	114	100	100	101	belirsiz	151
06:00	18,66	113	100	100	101	belirsiz	140
07:00	19,66	113	100	101	101	belirsiz	129
08:00	20,66	110	100	101	101	belirsiz	120
09:00	21,66	106	100	100	100	belirsiz	115
10:00	22,66	101	98	100	98	belirsiz	104
11:00	23,66	97	97	99	96	belirsiz	96
12:00	24,66	94	96	97	94	belirsiz	93
13:00	25,66	90	94	95	92	belirsiz	95
14:00	26,66	87	92	94	89	belirsiz	88
15:00	27,66	84	90	92	86	belirsiz	83
16:00	28,66	81	81	88	84	belirsiz	81
17:00	29,66	79	86	89	82	belirsiz	79
18:00	30,66	76	84	87	79	belirsiz	79
19:00	31,66	74	83	85	77	belirsiz	76
20:00	32,66	71	81	83	75	belirsiz	70
21:00	33,66	69	79	81	73	belirsiz	70
22:00	34,66	68	77	79	71	belirsiz	78

FIRIN-2.2'nin devamı

23:00	35,66	66	75	78	69	belirsiz	69
00:00	36,66	64	73	76	67	belirsiz	78
01:00	37,66	63	71	74	65	belirsiz	55
02:00	38,66	61	70	72	63	belirsiz	74
03:00	39,66	60	60	70	62	belirsiz	60
04:00	40,66	58	66	68	60	belirsiz	54
05:00	41,66	57	64	66	58	belirsiz	49
06:00	42,66	56	63	65	56	belirsiz	49
07:00	43,66	55	61	63	55	belirsiz	48

A2= Fırın havasının sıcaklığı.

A3= Trafonun alçak gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A4= Trafonun alçak gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

A5= Trafonun yüksek gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A6= Trafonun yüksek gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

FB= Fabrikada, trafolarla verilen numaraların simgesi.

Trafoların "FB" numaraları:

287860-01 (50 kVA)

287860-02 (50 kVA)

287860-03 (50 kVA)

287860-04 (50 kVA)

287860-05 (50 kVA)

287960-01 (100 kVA)

287960-01 (100 kVA)

287960-02 (100 kVA)

288240-01 (100 kVA)

288240-02 (100 kVA)

288240-03 (100 kVA)

288240-04 (100 kVA)

288240-05 (100 kVA)

287960-03 (100 kVA)

287960-04 (100 kVA)

287960-05 (100 kVA)

Trafo Adedi: 15

Toplam Kapasite: 1250 kVA.

Çizelge B-3: FIRIN-2.3 işlemine ait veriler.

TRAFOLARIN:

FIRINA GİRİŞ TARİHİ: 05/01/1998 (23:20)

FIRINDAN ÇIKIŞ TARİHİ: 06/01/1998 (23:00)

ZAMAN	t	A2	A3	A4	A5	A6	VAKUM
(saat)	(z. farkı)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(mbar)
00:00	0,66	62	15	11	24	belirsiz	-101
01:00	1,66	88	28	18	49	belirsiz	-101
02:00	2,66	98	36	26	61	belirsiz	-101
03:00	3,66	104	42	33	69	belirsiz	-101
04:00	4,66	109	48	39	76	belirsiz	-101
05:00	5,66	112	53	44	81	belirsiz	-101
06:00	6,66	115	58	49	84	belirsiz	-101
07:00	7,66	113	61	53	86	belirsiz	-101
08:00	8,66	121	67	58	90	belirsiz	-101
09:00	9,66	123	70	63	93	belirsiz	-101
10:00	10,66	123	73	67	95	belirsiz	-101
11:00	11,66	118	72	69	92	belirsiz	414
12:00	12,66	116	70	65	90	belirsiz	342
13:00	13,66	115	68	65	89	belirsiz	274
14:00	14,66	113	69	66	89	belirsiz	237
15:00	15,66	112	70	67	89	belirsiz	209
16:00	16,66	112	72	69	90	belirsiz	186
17:00	17,66	112	73	70	89	belirsiz	171
18:00	18,66	112	74	71	89	belirsiz	157
19:00	19,66	108	75	73	88	belirsiz	140
20:00	20,66	102	75	73	85	belirsiz	125
21:00	21,66	97	75	73	82	belirsiz	116
22:00	22,66	92	75	73	78	belirsiz	100
23:00	23,66	88	74	73	75	belirsiz	92

A2= Fırın havasının sıcaklığı.

A3= Trafonun alçak gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A4= Trafonun alçak gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

A5= Trafonun yüksek gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A6= Trafonun yüksek gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

FB= Fabrikada, trafolarla verilen numaraların simgesi.

Trafoların "FB" numaraları:

295260-02 (1500 kVA)

295100-01 (2500 kVA)

295100-02 (2500 kVA)

Trafo Adedi: 3

Toplam Kapasite: 6500 kVA.

Çizelge B-4: FIRIN-2.4 işlemine ait veriler.

TRAFOLARIN:

FIRINA GİRİŞ TARİHİ: 08/01/1998 (23:15)

FIRINDAN ÇIKIŞ TARİHİ: 09/01/1998 (16:00)

ZAMAN	t	A2	A3	A4	A5	A6	VAKUM
(saat)	(z. farkı)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(mbar)
00:00	0,75	76	24	26	39	belirsiz	-101
01:00	1,75	92	36	39	58	belirsiz	-101
02:00	2,75	101	46	49	69	belirsiz	-101
03:00	3,75	104	54	57	77	belirsiz	-101
04:00	4,75	112	62	63	85	belirsiz	-101
05:00	5,75	114	67	68	87	belirsiz	-101
06:00	6,75	117	72	73	90	belirsiz	-101
07:00	7,75	119	76	78	93	belirsiz	-101
08:00	8,75	115	76	73	90	belirsiz	411
09:00	9,75	112	71	69	83	belirsiz	304
10:00	10,75	111	71	69	87	belirsiz	263
11:00	11,75	111	71	70	81	belirsiz	237
12:00	12,75	111	72	70	80	belirsiz	212
13:00	13,75	108	72	71	79	belirsiz	192
14:00	14,75	102	72	71	77	belirsiz	175
15:00	15,75	97	72	71	75	belirsiz	159

A2= Fırın havasının sıcaklığı.

A3= Trafonun alçak gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A4= Trafonun alçak gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

A5= Trafonun yüksek gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A6= Trafonun yüksek gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

FB= Fabrikada, trafolarla verilen numaraların simgesi.

Trafoların "FB" numaraları:

285110-01 (800 kVA)

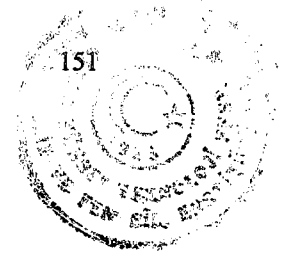
285110-02 (800 kVA)

285110-04 (800 kVA)

285110-05 (800 kVA)

285110-06 (800 kVA)

Trafo Adedi: 5Toplam Kapasite: 4700 kVA.



Çizelge B-5: FIRIN-2.5 işlemine ait veriler.

TRAFOLARIN:

FIRINA GİRİŞ TARİHİ: 10/01/1998 (23:30)

FIRINDAN ÇIKIŞ TARİHİ: 12/01/1998 (16:00)

ZAMAN	t	A2	A3	A4	A5	A6	VAKUM
(saat)	(z. farkı)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(mbar)
00:00	0,5	68	15	12	34	belirsiz	-100
01:00	1,5	89	24	18	belirsiz	belirsiz	-101
02:00	2,5	98	32	25	belirsiz	belirsiz	-101
03:00	3,5	104	37	31	belirsiz	belirsiz	-101
04:00	4,5	105	43	37	belirsiz	belirsiz	-101
05:00	5,5	112	48	42	belirsiz	belirsiz	-101
06:00	6,5	114	52	47	belirsiz	belirsiz	-101
07:00	7,5	116	56	52	belirsiz	belirsiz	-101
08:00	8,5	118	60	57	belirsiz	belirsiz	-101
09:00	9,5	120	64	61	belirsiz	belirsiz	-101
10:00	10,5	120	67	65	belirsiz	belirsiz	-101
11:00	11,5	121	70	69	belirsiz	belirsiz	-101
12:00	12,5	122	74	72	belirsiz	belirsiz	-101
13:00	13,5	122	76	75	belirsiz	belirsiz	-101
14:00	14,5	122	79	78	belirsiz	belirsiz	-101
15:00	15,5	123	81	80	belirsiz	belirsiz	-101
16:00	16,5	124	84	83	belirsiz	belirsiz	-101
17:00	17,5	123	85	86	belirsiz	belirsiz	-101
18:00	18,5	124	89	88	belirsiz	belirsiz	-101
19:00	19,5	125	91	90	belirsiz	belirsiz	-101
20:00	20,5	124	92	92	belirsiz	belirsiz	-101
21:00	21,5	124	94	93	belirsiz	belirsiz	-101
22:00	22,5	125	95	95	belirsiz	belirsiz	-101
23:00	23,5	123	97	96	belirsiz	belirsiz	-101
00:00	24,5	119	98	97	belirsiz	belirsiz	416
01:00	25,5	118	97	97	belirsiz	belirsiz	403
02:00	26,5	117	96	96	belirsiz	belirsiz	371
03:00	27,5	116	96	96	belirsiz	belirsiz	263
04:00	28,5	115	95	95	belirsiz	belirsiz	192
05:00	29,5	114	95	95	belirsiz	belirsiz	147
06:00	30,5	109	94	95	belirsiz	belirsiz	114
07:00	31,5	104	94	94	belirsiz	belirsiz	92
08:00	32,5	100	93	94	belirsiz	belirsiz	78
09:00	33,5	95	92	93	belirsiz	belirsiz	68
10:00	34,5	91	91	92	belirsiz	belirsiz	62
11:00	35,5	88	89	91	belirsiz	belirsiz	58

FIRIN-2.5'in devamı

12:00	36,5	85	89	90	belirsiz	belirsiz	54
13:00	37,5	82	87	89	belirsiz	belirsiz	52
14:00	38,5	79	86	87	belirsiz	belirsiz	51
13:00	39,5	77	84	86	belirsiz	belirsiz	49

A2= Fırın havasının sıcaklığı.

A3= Trafonun alçak gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A4= Trafonun alçak gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

A5= Trafonun yüksek gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A6= Trafonun yüksek gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

FB= Fabrikada, trafolarla verilen numaraların simgesi.

Trafoların "FB" numaraları:

295270-02 (1500 kVA)

295270-05 (1500 kVA)

295850-04 (630 kVA)

295850-05 (630 kVA)

296370-01 (1000 kVA)

Trafo Adedi: 5

Toplam Kapasite: 5260 kVA.

Çizelge B-6: FIRIN-2.6 işlemine ait veriler.**TRAFOLARIN:**

FIRINA GİRİŞ TARİHİ: 13/01/1998 (08:26)

FIRINDAN ÇIKIŞ TARİHİ: 14/01/1998 (08:00)

ZAMAN	t	A2	A3	A4	A5	A6	VAKUM
(saat)	(z. farkı)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(mbar)
08:26	0	35	8	8	10	belirsiz	-100
09:00	0,56	75	10	8	belirsiz	belirsiz	-101
10:00	1,56	94	16	13	belirsiz	belirsiz	-101
11:00	2,56	105	23	19	belirsiz	belirsiz	-101
12:00	3,56	107	27	24	belirsiz	belirsiz	-101
13:00	4,56	112	33	30	belirsiz	belirsiz	-101
14:00	5,56	116	38	35	belirsiz	belirsiz	-101
15:00	6,56	118	42	40	belirsiz	belirsiz	-101
16:00	7,56	121	47	44	belirsiz	belirsiz	-101
17:00	8,56	121	52	50	belirsiz	belirsiz	-101
18:00	9,56	120	56	54	belirsiz	belirsiz	-101
19:00	10,56	123	59	58	belirsiz	belirsiz	-101
20:00	11,56	124	63	62	belirsiz	belirsiz	-101
21:00	12,56	124	66	65	belirsiz	belirsiz	-101
22:00	13,56	125	69	69	belirsiz	belirsiz	-101
23:00	14,56	120	71	71	belirsiz	belirsiz	416
00:00	15,56	118	71	70	belirsiz	belirsiz	342
01:00	16,56	116	69	69	belirsiz	belirsiz	286
02:00	17,56	114	69	69	belirsiz	belirsiz	252
03:00	18,56	112	70	70	belirsiz	belirsiz	226
04:00	19,56	107	71	71	belirsiz	belirsiz	200
05:00	20,56	103	72	71	belirsiz	belirsiz	178
06:00	21,56	99	72	72	belirsiz	belirsiz	161
07:00	22,56	95	73	73	belirsiz	belirsiz	148

A2= Fırın havasının sıcaklığı.

A3= Trafonun alçak gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A4= Trafonun alçak gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

A5= Trafonun yüksek gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A6= Trafonun yüksek gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

FB= Fabrikada, trafolarla verilen numaraların simgesi.

Trafoların "FB" numaraları:

295270-01 (1500 kVA)

293780-02 (1000 kVA)

293780-04 (1000 kVA)

293780-01 (1000 kVA)

293780-03 (1000 kVA)

Trafo Adedi: 5**Toplam Kapasite:** 5500 kVA.

Çizelge B-7: FIRIN-2.7 işlemine ait veriler.

TRAFOLARIN:

FIRINA GİRİŞ TARİHİ: 14/01/1998 (15:20)

FIRINDAN ÇIKIŞ TARİHİ: 15/01/1998 (08:00)

ZAMAN	t	A2	A3	A4	A5	A6	VAKUM
(saat)	(z. farkı)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(mbar)
15:20	0	49	21	27	21	belirsiz	-100
16:00	0,66	89	46	77	belirsiz	belirsiz	-101
17:00	1,66	103	59	88	belirsiz	belirsiz	-101
18:00	2,66	109	66	95	belirsiz	belirsiz	-101
19:00	3,66	113	72	99	belirsiz	belirsiz	-101
20:00	4,66	113	81	103	belirsiz	belirsiz	-101
21:00	5,66	118	79	106	belirsiz	belirsiz	-101
22:00	6,66	120	82	107	belirsiz	belirsiz	-101
23:00	7,66	121	87	107	belirsiz	belirsiz	422
00:00	8,66	115	77	105	belirsiz	belirsiz	405
01:00	9,66	112	74	104	belirsiz	belirsiz	314
02:00	10,66	109	74	102	belirsiz	belirsiz	282
03:00	11,66	108	75	101	belirsiz	belirsiz	259
04:00	12,66	108	76	100	belirsiz	belirsiz	244
05:00	13,66	108	77	101	belirsiz	belirsiz	234
06:00	14,66	103	77	96	belirsiz	belirsiz	218
07:00	15,66	98	75	89	belirsiz	belirsiz	206

A2= Fırın havasının sıcaklığı.

A3= Trafonun alçak gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A4= Trafonun yüksek gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

FB= Fabrikada, trafolarla verilen numaraların simgesi.

Trafoların "FB" numaraları:

295280-05 (1500 kVA)

296070-01 (1600 kVA)

296080-02 (1600 kVA)

296090-03 (1600 kVA)

Trafo Adedi: 4Toplam Kapasite: 6300 kVA.

Çizelge B-8: FIRIN-2.8 işlemine ait veriler.

TRAFOLARIN:

FIRINA GİRİŞ TARİHİ: 15/01/1998 (15:20)

FIRINDAN ÇIKIŞ TARİHİ: 16/01/1998 (08:00)

ZAMAN	t	A2	A3	A4	A5	A6	VAKUM
(saat)	(z. farkı)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(mbar)
15:23	0	55	22	22	22	belirsiz	-100
16:00	0,62	92	48	39	belirsiz	belirsiz	-101
17:00	1,62	106	60	53	belirsiz	belirsiz	-101
18:00	2,62	111	67	63	belirsiz	belirsiz	-101
19:00	3,62	117	73	69	belirsiz	belirsiz	-101
20:00	4,62	119	76	74	belirsiz	belirsiz	-101
21:00	5,62	120	111	79	belirsiz	belirsiz	-101
22:00	6,62	121	112	82	belirsiz	belirsiz	-101
23:00	7,62	119	107	86	belirsiz	belirsiz	418
00:00	8,62	116	106	83	belirsiz	belirsiz	401
01:00	9,62	114	105	79	belirsiz	belirsiz	289
02:00	10,62	113	104	80	belirsiz	belirsiz	249
03:00	11,62	112	103	80	belirsiz	belirsiz	226
04:00	12,62	111	104	80	belirsiz	belirsiz	201
05:00	13,62	112	105	81	belirsiz	belirsiz	185
06:00	14,62	108	96	79	belirsiz	belirsiz	173
07:00	15,62	102	89	77	belirsiz	belirsiz	160

A2= Fırın havasının sıcaklığı.

A3= Trafonun alçak gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A4= Trafonun alçak gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

A5= Trafonun yüksek gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A6= Trafonun yüksek gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

FB= Fabrikada, trafoları verilen numaraların simgesi.

Trafoların "FB" numaraları:

295280-02 (1500 kVA)

295590-01 (2300 kVA)

287550-01 (630 kVA)

287550-02 (630 kVA)

Trafo Adedi: 4Toplam Kapasite: 5060 kVA.

Çizelge B-9: FIRIN-2.9 işlemine ait veriler.**TRAFOLARIN:****FIRINA GİRİŞ TARİHİ:** 16/01/1998 (15:35)**FIRINDAN ÇIKIŞ TARİHİ:** 17/01/1998 (08:00)

ZAMAN	t	A2	A3	A4	A5	A6	VAKUM
(saat)	(z. farkı)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(mbar)
15:36	0	42	11	10	12	belirsiz	-100
16:00	0,4	66	12	8	belirsiz	belirsiz	-101
17:00	1,4	100	25	13	belirsiz	belirsiz	-101
18:00	2,4	111	34	22	belirsiz	belirsiz	-101
19:00	3,4	112	66	49	belirsiz	belirsiz	-101
20:00	4,4	117	73	59	belirsiz	belirsiz	-101
21:00	5,4	120	79	66	belirsiz	belirsiz	-101
22:00	6,4	122	83	72	belirsiz	belirsiz	-101
23:00	7,4	119	86	77	belirsiz	belirsiz	419
00:00	8,4	118	84	78	belirsiz	belirsiz	403
01:00	9,4	114	81	77	belirsiz	belirsiz	281
02:00	10,4	113	82	79	belirsiz	belirsiz	234
03:00	11,4	108	82	81	belirsiz	belirsiz	203
04:00	12,4	103	83	81	belirsiz	belirsiz	172
05:00	13,4	98	82	82	belirsiz	belirsiz	150
06:00	14,4	94	81	81	belirsiz	belirsiz	132
07:00	15,4	89	80	80	belirsiz	belirsiz	120

A2= Fırın havasının sıcaklığı.

A3= Trafonun alçak gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A4= Trafonun alçak gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

A5= Trafonun yüksek gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A6= Trafonun yüksek gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

FB= Fabrikada, trafolarla verilen numaraların simgesi.

Trafoların "FB" numaraları:

288130-01 (160 kVA)

288130-02 (160 kVA)

288130-03 (160 kVA)

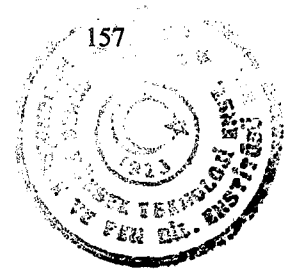
288130-04 (160 kVA)

288130-05 (160 kVA)

288130-06 (160 kVA)

288130-07 (160 kVA)

Trafo Adedi: 7**Toplam Kapasite:** 1120 kVA.



Çizelge B-10: FIRIN-2.10 işlemine ait veriler.

TRAFOLARIN:

FIRINA GİRİŞ TARİHİ: 17/01/1998 (15:00)

ÇIKIŞ TARİHİ: 19/01/1998 (08:00)

ZAMAN	t	A2	A3	A4	A5	A6	VAKUM
(saat)	(z. farkı)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(mbar)
15:00	0	52	16	13	18	belirsiz	-100
16:00	1	93	39	16	belirsiz	belirsiz	-101
17:00	2	104	48	24	belirsiz	belirsiz	-101
18:00	3	108	53	31	belirsiz	belirsiz	-101
19:00	4	112	58	37	belirsiz	belirsiz	-101
20:00	5	115	62	43	belirsiz	belirsiz	-101
21:00	6	116	65	48	belirsiz	belirsiz	-101
22:00	7	119	69	53	belirsiz	belirsiz	-101
23:00	8	120	72	58	belirsiz	belirsiz	-101
00:00	9	122	75	63	belirsiz	belirsiz	-101
01:00	10	122	78	67	belirsiz	belirsiz	-101
02:00	11	122	80	72	belirsiz	belirsiz	-101
03:00	12	120	78	73	belirsiz	belirsiz	418
04:00	13	118	76	72	belirsiz	belirsiz	375
05:00	14	115	74	72	belirsiz	belirsiz	290
06:00	15	113	76	74	belirsiz	belirsiz	257
07:00	16	112	76	75	belirsiz	belirsiz	231
08:00	17	111	78	76	belirsiz	belirsiz	207

A2= Fırın havasının sıcaklığı.

A3= Trafonun alçak gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A4= Trafonun alçak gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

A5= Trafonun yüksek gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A6= Trafonun yüksek gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

FB= Fabrikada, trafolarla verilen numaraların simgesi.

Trafoların "FB" numaraları:

296060-01 (630 kVA)

296190-01 (100 kVA)

296200-01 (100 kVA)

294740-02 (1600 kVA)

294740-03 (1600 kVA)

294740-04 (1600 kVA)

827700-01

Trafo Adedi: 7

Toplam Kapasite: 5630 kVA + (827700-01)

Çizelge B-11: FIRIN-2.11 işlemine ait veriler.

TRAFOLARIN:

FIRINA GİRİŞ TARİHİ: 19/01/1998 (22:45)

ÇIKIŞ TARİHİ: 21/01/1998 (16:00)

ZAMAN	t	A2	A3	A4	A5	A6	VAKUM
(saat)	(z. farkı)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(mbar)
23:00	0,25	62	27	19	belirsiz	belirsiz	-100
00:00	1,25	90	49	39	belirsiz	belirsiz	-100
01:00	2,25	103	60	51	belirsiz	belirsiz	-101
02:00	3,25	106	65	60	belirsiz	belirsiz	-101
03:00	4,25	114	73	68	belirsiz	belirsiz	-101
04:00	5,25	117	78	74	belirsiz	belirsiz	-101
05:00	6,25	120	83	79	belirsiz	belirsiz	-101
06:00	7,25	121	87	84	belirsiz	belirsiz	-101
07:00	8,25	118	86	85	belirsiz	belirsiz	417
08:00	9,25	114	84	83	belirsiz	belirsiz	386
09:00	10,25	111	81	81	belirsiz	belirsiz	282
10:00	11,25	111	82	83	belirsiz	belirsiz	249
11:00	12,25	110	83	84	belirsiz	belirsiz	227
12:00	13,25	110	84	86	belirsiz	belirsiz	203
13:00	14,25	108	85	87	belirsiz	belirsiz	182
14:00	15,25	103	84	85	belirsiz	belirsiz	161
15:00	16,25	98	82	83	belirsiz	belirsiz	143

A2= Fırın havasının sıcaklığı.

A3= Trafonun alçak gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A4= Trafonun alçak gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

A5= Trafonun yüksek gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A6= Trafonun yüksek gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

FB= Fabrikada, trafolarla verilen numaraların simgesi.

Trafoların "FB" numaraları:

296420-01 (200 kVA)

296420-09 (200 kVA)

296420-02 (200 kVA)

296420-10 (200 kVA)

296420-03 (200 kVA)

296420-11 (200 kVA)

296420-08 (200 kVA)

296420-12 (200 kVA)

296420-13 (200 kVA)

Trafo Adedi: 9**Toplam Kapasite: 1800 kVA.**

Çizelge B-12: FIRIN-1.1 işlemine ait veriler.**TRAFOLARIN:**

FIRINA GİRİŞ TARİHİ: 02/01/1998 (22:15)

FIRINDAN ÇIKIŞ TARİHİ: 03/01/1998 (15:45)

ZAMAN	t	A2	A3	A4	A5	A6	VAKUM
(saat)	(z. farkı)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(mbar)
23:00	0,75	79,3	46	28	57	49	—
00:00	1,75	98,4	59	40	78	72	—
01:00	2,75	106,9	67	50	88	84	—
02:00	3,75	110,9	74	57	94	92	—
03:00	4,75	114,9	79	63	99	91	—
04:00	5,75	117,7	84	70	103	96	—
05:00	6,75	119,6	88	76	106	103	—
06:00	7,75	122,1	92	81	109	107	—
07:00	8,75	122,5	95	86	111	110	—
08:00	9,75	114,7	92	90	105	105	343
09:00	10,75	112,2	89	87	102	98	284
10:00	11,75	111,7	90	88	101	98	243
11:00	12,75	110,5	91	90	100	97	215
12:00	13,75	109,4	92	91	99	97	198
13:00	14,75	109,4	93	92	99	97	187
14:00	15,75	108,5	94	93	99	97	179
15:00	16,75	106,5	94	94	98	97	172

A2= Fırın havasının sıcaklığı.

A3= Trafonun alçak gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A4= Trafonun alçak gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

A5= Trafonun yüksek gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A6= Trafonun yüksek gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

FB= Fabrikada, trafolarla verilen numaraların simgesi.

Trafoların “FB” numaraları:

295690-05 (630 kVA)

295690-08 (630 kVA)

295690-06 (630 kVA)

295720-01 (1250 kVA)

295690-07 (630 kVA)

Trafo Adedi: 5**Toplam Kapasite: 3370 kVA.**

Çizelge B-13: FIRIN-1.2 işlemine ait veriler.

TRAFOLARIN:

FIRINA GİRİŞ TARİHİ: 03/01/1998 (23:15)

FIRINDAN ÇIKIŞ TARİHİ: 05/01/1998 (16:00)

ZAMAN	t	A2	A3	A4	A5	A6	VAKUM
(saat)	(z. farkı)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(mbar)
00:00	0,75	85	35	25	63	63	—
01:00	1,75	101,1	45	34	82	82	—
02:00	2,75	107,1	52	42	91	91	—
03:00	3,75	109,4	57	48	95	95	—
04:00	4,75	110,6	61	53	98	99	—
05:00	5,75	111,9	65	58	100	101	—
06:00	6,75	114,1	68	62	102	104	—
07:00	7,75	115	71	66	104	107	—
08:00	8,75	116,5	75	70	106	109	—
09:00	9,75	117,2	78	73	108	111	—
10:00	10,75	118,8	81	77	110	113	—
11:00	11,75	119,1	84	80	111	114	—
12:00	12,75	120,5	87	83	112	116	—
13:00	13,75	120,6	89	86	113	117	—
14:00	14,75	121,5	91	89	114	118	—
15:00	15,75	121,1	94	92	115	119	—
16:00	16,75	121,5	96	94	116	119	—
17:00	17,75	121,4	97	96	116	120	—
18:00	18,75	120,8	99	98	116	120	—
19:00	19,75	121,4	101	99	117	121	—
20:00	20,75	121,3	102	101	117	121	—
21:00	21,75	121,7	104	103	118	121	—
22:00	22,75	122	105	104	118	122	—
23:00	23,75	120,8	106	106	118	122	—
00:00	24,75	121,6	108	107	119	122	—
01:00	25,75	117,9	109	108	117	119	340
02:00	26,75	116,2	108	108	114	118	328
03:00	27,75	115,4	106	106	111	114	247
04:00	28,75	114,2	106	107	110	113	210
05:00	29,75	113	107	107	109	113	193
06:00	30,75	111,6	107	108	109	112	186
07:00	31,75	111,4	108	108	108	112	176
08:00	32,75	109,9	108	109	107	111	—
09:00	33,75	103,9	108	109	104	107	—
10:00	34,75	97,6	107	108	101	103	—
11:00	35,75	92	107	108	97	99	—

FIRIN-1.2'nin devamı

12:00	36,75	87,5	106	107	94	96	—
13:00	37,75	83,8	106	107	91	93	—
14:00	38,75	80,8	105	106	88	90	—
15:00	39,75	77,5	104	105	85	87	—
16:00	40,75	74,7	103	104	83	85	—

A2= Fırın havasının sıcaklığı.

A3= Trafonun alçak gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A4= Trafonun alçak gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

A5= Trafonun yüksek gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A6= Trafonun yüksek gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

FB= Fabrikada, trafolarla verilen numaraların simgesi.

Trafoların "FB" numaraları:

295260-03 (1500 kVA)

295260-04 (1500 kVA)

293730-01 (1000 kVA)

Trafo Adedi: 3

Toplam Kapasite: 4500 kVA.

Çizelge B-14: FIRIN-1.3 işlemine ait veriler.**TRAFOLARIN:**

FIRINA GİRİŞ ZAMANI: 05/01/1998 (20:30)

FIRINDAN ÇIKIŞ ZAMANI: 06/01/1998 (15:45)

ZAMAN	t	A2	A3	A4	A5	A6	VAKUM
(saat)	(z. farkı)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(mbar)
21:00	0,5	66	42	39	49	55	—
22:00	1,5	94,4	57	52	69	75	—
23:00	2,5	103,1	64	61	78	86	—
00:00	3,5	107,6	70	68	85	92	—
01:00	4,5	109,8	74	73	90	96	—
02:00	5,5	111,7	77	77	93	99	—
03:00	6,5	112,3	79	80	95	101	—
04:00	7,5	114,7	84	84	98	104	—
05:00	8,5	115,8	86	87	100	105	—
06:00	9,5	114,3	82	80	94	96	344
07:00	10,5	115,1	80	77	89	92	318
08:00	11,5	112,2	75	75	84	85	269
09:00	12,5	113	76	76	84	84	247
10:00	13,5	111,5	77	77	84	83	228
11:00	14,5	107,6	78	77	84	83	212
12:00	15,5	99,9	78	77	84	82	199
13:00	16,5	93	78	77	82	80	188
14:00	17,5	87,1	78	77	80	79	180
15:00	18,5	81,7	77	76	78	76	172

A2= Fırın havasının sıcaklığı.

A3= Trafonun alçak gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A4= Trafonun alçak gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

A5= Trafonun yüksek gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A6= Trafonun yüksek gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

FB= Fabrikada, trafolarla verilen numaraların simgesi.

Trafoların "FB" numaraları:

295810-01 (160 kVA)

295810-02 (160 kVA)

295810-03 (160 kVA)

295810-04 (160 kVA)

295530-01 (630 kVA)

295810-05 (160 kVA)

295380-01 (1500 kVA)

295380-02 (1500 kVA)

295220-01 (630 kVA)

Trafo Adedi: 9**Toplam Kapasite: 5060 kVA.**

Çizelge B-15: FIRIN-1.4 işlemine ait veriler.**TRAFOLARIN:**

FIRINA GİRİŞ ZAMANI: 06/01/1998 (23:30)

FIRINDAN ÇIKIŞ ZAMANI: 07/01/1998 (15:45)

ZAMAN	t	A2	A3	A4	A5	A6	VAKUM
(saat)	(z. farkı)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(mbar)
00:00	0,5	73,1	45	30	60	46	—
01:00	1,5	101,5	71	45	86	71	—
02:00	2,5	110,8	83	57	96	85	—
03:00	3,5	115,1	90	67	102	93	—
04:00	4,5	112,5	94	74	104	97	—
05:00	5,5	120,2	100	81	109	102	—
06:00	6,5	122,5	103	86	112	106	—
07:00	7,5	122,3	106	91	113	110	—
08:00	8,5	119,7	103	94	107	105	343
09:00	9,5	115,4	97	91	101	100	268
10:00	10,5	113,4	97	93	100	101	211
11:00	11,5	112,6	98	95	100	101	187
12:00	12,5	111,1	98	96	100	101	177
13:00	13,5	107,6	98	97	99	101	167
14:00	14,5	99,7	98	98	96	98	162
15:00	15,5	92	97	97	93	95	157

A2= Fırın havasının sıcaklığı.

A3= Trafonun alçak gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A4= Trafonun alçak gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

A5= Trafonun yüksek gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A6= Trafonun yüksek gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

FB= Fabrikada, trafolarla verilen numaraların simgesi.

Trafo ların “FB” numaraları:

295790-01 (50 kVA)

295820-02 (250 kVA)

295790-02 (50 kVA)

295820-03 (250 kVA)

295820-01 (250 kVA)

295820-04 (250 kVA)

Trafo Adedi: 6**Toplam Kapasite: 1100 kVA.**

Çizelge B-16: FIRIN-1.5 işlemine ait veriler.**TRAFOLARIN:**

FIRINA GİRİŞ ZAMANI: 07/01/1998 (23:30)

FIRINDAN ÇIKIŞ ZAMANI: 08/01/1998 (15:00)

ZAMAN	t	A2	A3	A4	A5	A6	VAKUM
(saat)	(z. farkı)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(mbar)
00:00	0,5	73,6	41	31	57	55	—
01:00	1,5	97,6	56	45	80	79	—
02:00	2,5	104,2	64	56	88	89	—
03:00	3,5	111,4	70	63	95	96	—
04:00	4,5	115,5	76	70	100	102	—
05:00	5,5	118,7	81	76	104	106	—
06:00	6,5	119,8	85	81	107	109	—
07:00	7,5	116,6	85	84	100	103	345
08:00	8,5	117,1	84	83	98	101	321
09:00	9,5	114,2	83	82	94	96	276
10:00	10,5	112,3	84	84	94	96	256
11:00	11,5	111,4	85	85	94	96	239
12:00	12,5	111,1	87	86	94	96	225
13:00	13,5	111,9	88	88	94	97	214
14:00	14,5	108,8	89	89	94	97	203
15:00	15,5	100,5	89	89	92	94	196

A2= Fırın havasının sıcaklığı.

A3= Trafonun alçak gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A4= Trafonun alçak gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

A5= Trafonun yüksek gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A6= Trafonun yüksek gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

FB= Fabrikada, trafolarla verilen numaraların simgesi.

Trafoların “FB” numaraları:

295910-01 (630 kVA)

295850-03 (630 kVA)

295850-01 (630 kVA)

295840-01 (400 kVA)

295850-02 (630 kVA)

295260-01 (1500 kVA)

295780-01 (400 kVA)

Trafo Adedi: 7**Toplam Kapasite: 4820 kVA.**

Çizelge B-17: FIRIN-1.6 işlemine ait veriler.**TRAFOLARIN:**

FIRINA GİRİŞ ZAMANI: 12/01/1998 (23:00)

FIRINDAN ÇIKIŞ ZAMANI: 13/01/1998 (15:45)

t	A2	A3	A4	A5	A6	VAKUM
(z. farkı)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(mbar)
0	68,6	41	34	53	54	—
1	91,1	55	46	75	77	—
2	101,2	64	56	85	88	—
3	104,7	70	64	92	95	—
4	109,8	75	71	95	100	—
5	111,4	79	77	99	102	—
6	114,7	83	82	102	107	344
7	111,4	82	81	98	102	338
8	116	82	82	95	98	338
9	112,4	79	80	92	96	298
10	109,8	79	79	90	92	267
11	106,4	80	80	90	92	249
12	97,7	80	80	88	90	231
13	90,1	80	80	85	87	217
14	84,3	81	81	83	84	205
15	79,4	80	81	80	82	198
16	75,1	80	80	78	79	193

A2= Fırın havasının sıcaklığı.

A3= Trafonun alçak gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A4= Trafonun alçak gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

A5= Trafonun yüksek gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A6= Trafonun yüksek gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

FB= Fabrikada, trafolarla verilen numaraların simgesi.

Trafoların “FB” numaraları:

295760-01 (2000 kVA)

285110-05 (800 kVA)

295770-01 (630 kVA)

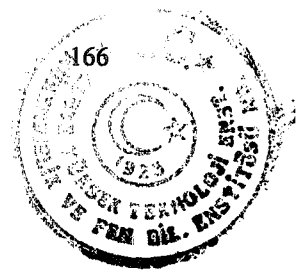
285110-07 (800 kVA)

295820-05 (250 kVA)

285110-08 (800 kVA)

285110-03 (800 kVA)

Trafo Adedi: 7**Toplam Kapasite: 6080 kVA.**



Çizelge B-18: FIRIN-1.8 işlemine ait veriler.

TRAFOLARIN:

FIRINA GİRİŞ ZAMANI: 12/01/1998 (23:00)

FIRINDAN ÇIKIŞ ZAMANI: 13/01/1998 (15:45)

ZAMAN	t	A2	A3	A4	A5	A6	VAKUM
(saat)	(z. farkı)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(mbar)
23:00	0	80,1	35	21	34	29	—
00:00	1	108,4	61	36	74	63	—
01:00	2	113,7	68	48	84	78	—
02:00	3	113	71	56	89	85	—
03:00	4	114,3	77	62	93	90	—
04:00	5	116,7	80	68	95	94	—
05:00	6	118,2	83	74	98	98	—
06:00	7	122,8	87	79	101	102	—
07:00	8	123,5	90	83	103	105	—
08:00	9	117,3	92	86	103	105	344
09:00	10	116,2	92	87	100	99	340
10:00	11	113,9	91	87	97	96	325
11:00	12	113,8	90	88	94	94	320
12:00	13	111,2	90	88	92	92	321
13:00	14	109,1	89	88	90	89	295
14:00	15	109,3	88	87	88	88	262
15:00	16	109,1	88	87	88	87	245

A2= Fırın havasının sıcaklığı.

A3= Trafonun alçak gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A4= Trafonun alçak gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

A5= Trafonun yüksek gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A6= Trafonun yüksek gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

FB= Fabrikada, trafolarla verilen numaraların simgesi.

Trafoların “FB” numaraları:

285120-01 (800 kVA)

285120-06 (800 kVA)

285120-02 (800 kVA)

285120-07 (800 kVA)

285120-03 (800 kVA)

285120-08 (800 kVA)

285120-04 (800 kVA)

296640-01 (160 kVA)

285120-05 (800 kVA)

209290 (Tamir)

Trafo Adedi: 10

Toplam Kapasite: 4960 kVA + Tamir trafosu.

Çizelge B-19: FIRIN-1.9 işlemine ait veriler.**TRAFOLARIN:**

FIRINA GİRİŞ ZAMANI: 13/01/1998 (23:15)

FIRINDAN ÇIKIŞ ZAMANI: 14/01/1998 (16:00)

ZAMAN	t	A2	A3	A4	A5	A6	VAKUM
(saat)	(z. farkı)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(mbar)
00:00	0,77	96,4	46	30	63	61	—
01:00	1,77	110,3	58	42	81	82	—
02:00	2,77	113,4	65	51	89	91	—
03:00	3,77	117	70	58	93	96	—
04:00	4,77	116,7	74	64	97	99	—
05:00	5,77	123,3	80	70	101	104	—
06:00	6,77	124,7	84	75	105	108	—
07:00	7,77	125,4	88	80	108	110	—
08:00	8,77	113,1	86	82	100	102	340
09:00	9,77	110	84	80	97	97	288
10:00	10,77	110,6	84	80	95	96	269
11:00	11,77	110,6	86	82	95	96	253
12:00	12,77	109,8	86	83	95	96	239
13:00	13,77	103,6	87	85	94	95	227
14:00	14,77	94,8	87	86	92	93	217
15:00	15,77	87,1	86	86	89	90	213

A2= Fırın havasının sıcaklığı.

A3= Trafonun alçak gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A4= Trafonun alçak gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

A5= Trafonun yüksek gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A6= Trafonun yüksek gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

FB= Fabrikada, trafolarla verilen numaraların simgesi.

Trafoların "FB" numaraları:

296220-01 (1000 kVA)

295860-02 (500 kVA)

285120-04 (800 kVA)

298270-04

295860-01 (500 kVA)

295880-01 (1600 kVA)

Trafo Adedi: 6**Toplam Kapasite: 4400 kVA + (298270-04).**

Çizelge B-20: FIRIN-1.10 işlemine ait veriler.**TRAFOLARIN:**

FIRINA GİRİŞ ZAMANI: 14/01/1998 (22:00)

FIRINDAN ÇIKIŞ ZAMANI: 15/01/1998 (22:00)

ZAMAN	t	A2	A3	A4	A5	A6	VAKUM
(saat)	(z. farkı)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(mbar)
23:00	1	101	75	27	77	38	—
00:00	2	113,6	91	35	91	48	—
01:00	3	115,3	97	42	96	53	—
02:00	4	115,2	100	48	99	57	—
03:00	5	118,1	103	53	102	63	—
04:00	6	119,7	105	57	104	66	—
05:00	7	124,7	110	62	109	71	—
06:00	8	127,2	113	66	112	75	—
07:00	9	128,7	115	70	113	78	—
08:00	10	118,2	111	74	106	77	341
09:00	11	113,8	104	74	105	76	308
10:00	12	111,8	101	71	101	73	274
11:00	13	111,7	101	72	100	74	255
12:00	14	110,7	101	73	99	75	240
13:00	15	102	98	75	96	76	229
14:00	16	92,3	93	76	92	77	223
15:00	17	85,6	89	77	88	77	212

A2= Fırın havasının sıcaklığı.

A3= Trafonun yüksek gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A4= Trafonun alçak gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

A5= Trafonun yüksek gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

A6= Trafonun alçak gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

FB= Fabrikada, trafoları verilen numaraların simgesi.

Trafoların “FB” numaraları:

295280-01 (1500 kVA)

295270-03 (1500 kVA)

Trafo Adedi: 2**Toplam Kapasite:** 3000 kVA.

Çizelge B-21: FIRIN-1.11 işlemine ait veriler.**TRAFOLARIN:**

FIRINA GİRİŞ ZAMANI: 15/01/1998 (22:30)

FIRINDAN ÇIKIŞ ZAMANI: 16/01/1998 (15:45)

ZAMAN	t	A2	A3	A4	A5	A6	VAKUM
(saat)	(z. farkı)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(mbar)
23:00	0,5	95,7	38	27	59	68	—
00:00	1,5	111,8	50	35	79	87	—
01:00	2,5	115,3	56	41	87	95	—
02:00	3,5	117,8	61	47	92	100	—
03:00	4,5	119,3	65	53	96	103	—
04:00	5,5	121	69	57	98	105	—
05:00	6,5	126,2	73	62	103	110	—
06:00	7,5	128,6	77	66	106	113	—
07:00	8,5	129,3	80	71	108	115	—
08:00	9,5	119,7	80	73	103	109	342
09:00	10,5	117,2	78	74	102	104	320
10:00	11,5	114,4	74	70	96	97	258
11:00	12,5	113,2	74	70	95	96	222
12:00	13,5	111,1	75	71	93	95	201
13:00	14,5	110,8	76	72	92	95	193
14:00	15,5	110,6	77	74	92	94	183
15:00	16,5	108,8	78	75	91	94	204

A2= Fırın havasının sıcaklığı.

A3= Trafonun alçak gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A4= Trafonun alçak gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

A5= Trafonun yüksek gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A6= Trafonun yüksek gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

FB= Fabrikada, trafoları verilen numaraların simgesi.

Trafoların “FB” numaraları:

295280-03 (1500 kVA)

295280-04 (1500 kVA)

Trafo Adedi: 2**Toplam Kapasite: 3000 kVA.**

Çizelge B-22: FIRIN-1.12 işlemine ait veriler.**TRAFOLARIN:**

FIRINA GİRİŞ ZAMANI: 16/01/1998 (00:00)

FIRINDAN ÇIKIŞ ZAMANI: 17/01/1998 (16:00)

ZAMAN	t	A2	A3	A4	A5	A6	VAKUM
(saat)	(z. farkı)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(mbar)
00:00	0	32,2	24	24	26	25	—
01:00	1	80,4	61	42	65	58	—
02:00	2	92,8	71	53	79	74	—
03:00	3	100,4	78	61	89	84	—
04:00	4	104,4	83	68	95	91	—
05:00	5	110,7	89	75	101	98	—
06:00	6	114,5	93	80	107	103	—
07:00	7	115,6	96	85	110	107	—
08:00	8	117,5	99	89	112	110	—
09:00	9	118,9	102	92	114	112	—
10:00	10	113,3	91	90	109	107	324
11:00	11	108,7	85	86	102	100	273
12:00	12	106,4	86	87	101	100	255
13:00	13	104,9	87	88	100	100	238
14:00	14	104	87	90	100	100	224
15:00	15	104	88	90	100	101	241

A2= Fırın havasının sıcaklığı.

A3= Trafonun alçak gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A4= Trafonun alçak gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

A5= Trafonun yüksek gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A6= Trafonun yüksek gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

FB= Fabrikada, trafolarla verilen numaraların simgesi.

Trafoların “FB” numaraları:

295800-01 (100 kVA)

292960-03 (1600 kVA)

295800-02 (100 kVA)

295430-01 (2000 kVA)

292960-01 (1600 kVA)

295440-01 (2000 kVA)

292960-02 (1600 kVA)

295440-02 (2000 kVA)

Trafo Adedi: 8**Toplam Kapasite: 11000 kVA.**

Çizelge B-23: FIRIN-1.14 işlemine ait veriler.**TRAFOLARIN:**

FIRINA GİRİŞ ZAMANI: 19/01/1998 (15:23)

FIRINDAN ÇIKIŞ ZAMANI: 20/01/1998 (08:00)

ZAMAN	t	A2	A3	A4	A5	A6	VAKUM
(saat)	(z. farkı)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(mbar)
15:23	0	45,4	24	21	27	28	—
16:00	0,62	83,1	41	24	55	51	—
17:00	1,62	97,8	54	33	75	73	—
18:00	2,62	106,2	63	40	87	86	—
19:00	3,62	109,6	68	47	93	94	—
20:00	4,62	114,7	73	53	99	100	—
21:00	5,62	117	78	59	103	104	—
22:00	6,62	118,6	82	65	107	108	—
23:00	7,62	120,2	85	70	109	110	—
00:00	8,62	123,3	89	75	111	113	—
01:00	9,62	124,8	92	78	114	115	—
2:00:00	10,62	117,5	91	83	114	114	337
03:00	11,62	115,5	88	82	110	111	310
04:00	12,62	111,9	87	82	106	107	227
05:00	13,62	110,4	88	84	105	107	189
06:00	14,62	109,1	89	85	105	107	170
07:00	15,62	106	90	87	104	106	159

A2= Fırın havasının sıcaklığı.

A3= Trafonun alçak gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A4= Trafonun alçak gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

A5= Trafonun yüksek gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A6= Trafonun yüksek gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

FB= Fabrikada, trafolarla verilen numaraların simgesi.

Trafoların “FB” numaraları:

295450-01 (2500 kVA)

295450-02 (2500 kVA)

Trafo Adedi: 2**Toplam Kapasite: 5000 kVA.**

Çizelge B-24: FIRIN-1.15 işlemine ait veriler.**TRAFOLARIN:**

FIRINA GİRİŞ ZAMANI: 20/01/1998 (08:20)

FIRINDAN ÇIKIŞ ZAMANI: 21/01/1998 (09:00)

ZAMAN	t	A2	A3	A4	A5	A6	VAKUM
(saat)	(z. farkı)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(mbar)
08:27	0	71,4	40	31	42	31	—
09:00	0,55	100	57	40	64	48	—
10:00	1,55	109,5	69	51	83	69	—
11:00	2,55	114,9	77	60	92	81	—
12:00	3,55	107	77	66	94	86	—
13:00	4,55	94,5	74	69	91	84	—
14:00	5,55	85,7	72	70	85	81	—
15:00	6,55	78,7	69	69	80	77	—
16:00	7,55	71,8	67	67	75	73	—
17:00	8,55	67	66	65	70	69	—
18:00	9,55	62,5	64	63	66	66	—
19:00	10,55	58,5	63	62	63	62	—
20:00	11,55	84,6	67	68	67	65	—
21:00	12,55	101,9	77	74	83	80	—
22:00	13,55	110,5	84	79	92	90	—
23:00	14,55	114,5	90	83	99	96	—
00:00	15,55	116,7	93	87	103	100	—
01:00	16,55	119,4	96	90	106	103	—
02:00	17,55	121,7	99	94	108	106	—
03:00	18,55	115,7	98	95	110	108	340
04:00	19,55	113,8	94	93	104	105	316
05:00	20,55	110,2	91	91	103	102	267
06:00	21,55	108,8	92	92	101	100	190
07:00	22,55	106,3	92	92	101	101	166
08:00	23,55	101,9	92	92	100	101	154
09:00	24,55	96,7	91	92	97	99	146

A2= Fırın havasının sıcaklığı.

A3= Trafonun alçak gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A4= Trafonun alçak gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

A5= Trafonun yüksek gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A6= Trafonun yüksek gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

FB= Fabrikada, trafolarla verilen numaraların simgesi.

Trafoların "FB" numaraları:

295420-01 (2000 kVA)

288130-08 (160 kVA)

288130-09 (160 kVA)

288130-010 (160 kVA)

Trafo Adedi: 4**Toplam Kapasite: 2480 kVA.**

Çizelge B-25: FIRIN-1.16 işlemine ait veriler.**TRAFOLARIN:**

FIRINA GİRİŞ ZAMANI: 21/01/1998 (13:40)

FIRINDAN ÇIKIŞ ZAMANI: 22/01/1998 (08:00)

ZAMAN	t	A2	A3	A4	A5	A6	VAKUM
(saat)	(z. farkı)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(mbar)
13:46	0	77,9	30	22	36	33	—
14:00	0,23	88,7	39	24	52	48	—
15:00	1,23	105,6	54	36	77	73	—
16:00	2,23	109,1	61	45	85	85	—
17:00	3,23	111,4	67	52	91	92	—
18:00	4,23	113,8	72	58	96	97	—
19:00	5,23	114,3	76	64	99	100	—
20:00	6,23	118,4	81	69	103	105	—
21:00	7,23	119,1	85	74	105	108	—
22:00	8,23	120,6	88	78	108	110	—
23:00	9,23	122,3	92	83	111	113	—
00:00:00	10,23	114,5	92	85	108	109	300
01:00	11,23	112,3	90	85	105	106	229
02:00	12,23	110,7	91	88	104	106	197
03:00	13,23	109,1	93	89	103	106	177
04:00	14,23	107,9	94	91	102	105	165
05:00	15,23	104,2	94	92	101	104	156
06:00	16,23	99,2	94	93	99	101	149
07:00	17,23	93,7	93	92	96	97	144

A2= Fırın havasının sıcaklığı.

A3= Trafonun alçak gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A4= Trafonun alçak gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

A5= Trafonun yüksek gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A6= Trafonun yüksek gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

FB= Fabrikada, trafolarla verilen numaraların simgesi.

Trafoların "FB" numaraları:

294090-01 (2000 kVA)

295630-01 (400 kVA)

295410-01 (1250 kVA)

295630-02 (400 kVA)

296130-01 (1000 kVA)

295630-03 (400 kVA)

Trafo Adedi: 6**Toplam Kapasite: 5450 kVA.**

Çizelge B-26: FIRIN-1.17 işlemine ait veriler.

TRAFOLARIN:

FIRINA GİRİŞ ZAMANI: 22/01/1998 (21:24)

FIRINDAN ÇIKIŞ ZAMANI: 24/01/1998 (08:00)

ZAMAN	t	A2	A3	A4	A5	A6	VAKUM
(saat)	(z. farkı)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(mbar)
21:24	0	30,8	25	25	25	27	—
22:00	0,6	77,1	44	41	59	64	—
23:00	1,6	96	59	54	82	83	—
00:00	2,6	105	69	64	93	94	—
01:00	3,6	110,3	76	72	100	102	—
02:00	4,6	114,7	83	80	105	107	—
03:00	5,6	112,6	88	86	108	110	—
04:00	6,6	119,1	93	92	110	114	—
05:00	7,6	121,1	98	96	113	116	—
06:00	8,6	121,9	101	100	114	118	—
07:00	9,6	116	101	103	112	116	340
8:00:00	10,6	113,6	93	93	106	109	271
09:00	11,6	112	95	96	104	107	238
10:00	12,6	111	97	98	104	108	213
11:00	13,6	109,5	98	99	103	107	195
12:00	14,6	108,6	99	100	103	107	186
13:00	15,6	104,7	100	101	102	106	175
14:00	16,6	99,7	100	100	100	102	165
15:00	17,6	95	99	100	97	99	156
16:00	18,6	90,9	99	99	95	96	178
17:00	19,6	87	97	98	92	93	174
18:00	20,6	84,1	97	97	90	91	171
19:00	21,6	81	95	96	87	89	168
20:00	22,6	78,1	94	94	85	86	166
21:00	23,6	75,2	92	93	83	84	163
22:00	24,6	73	91	91	81	82	160
23:00	25,6	70,6	90	90	79	80	158

A2= Fırın havasının sıcaklığı.

A3= Trafonun alçak gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A4= Trafonun alçak gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

A5= Trafonun yüksek gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A6= Trafonun yüksek gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

FB= Fabrikada, trafolarla verilen numaraların simgesi.

Trafoların "FB" numaraları:

292100-04 (500 kVA)

295600-01 (250 kVA)

296420-15 (200 kVA)

295600-02 (250 kVA)

800890-01 (400 kVA)

800890-02 (400 kVA)

Trafo Adedi: 6Toplam Kapasite: 2000 kVA.

Çizelge B-27: FIRIN-1.18 işlemine ait veriler.**TRAFOLARIN:****FIRINA GİRİŞ ZAMANI:** 24/01/1998 (23:30)**FIRINDAN ÇIKIŞ ZAMANI:** 26/01/1998 (07:45)

ZAMAN	t	A2	A3	A4	A5	A6	VAKUM
(saat)	(z. farkı)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(°C)	(mbar)
00:00	0,5	66,4	44	33	45	42	—
01:00	1,5	91,8	66	52	76	71	—
02:00	2,5	101	76	65	83	86	—
03:00	3,5	108,1	83	74	97	96	—
04:00	4,5	112,8	90	82	103	102	—
05:00	5,5	115,1	94	88	107	107	—
06:00	6,5	117,1	98	92	110	110	—
07:00	7,5	119,4	101	96	111	112	—
08:00	8,5	120,1	104	100	114	115	—
09:00	9,5	121,7	107	103	115	116	—
10:00	10,5	121,9	109	106	117	118	—
11:00	11,5	122,9	109	106	117	118	—
12:00	12,5	124	113	112	119	121	—
13:00	13,5	124,6	115	114	120	122	—
14:00	14,5	124,5	116	115	121	122	—
15:00	15,5	124,4	118	117	121	123	—
16:00	16,5	124,4	119	118	121	123	—
17:00	17,5	125	120	120	122	124	—
18:00	18,5	125,8	121	120	122	124	—
19:00	19,5	125,2	121	121	123	125	—
20:00	20,5	125,9	123	123	124	125	—
21:00	21,5	126,7	123	124	124	126	—
22:00	22,5	125,8	123	124	124	126	—
23:00	23,5	125,6	124	124	124	125	—
00:00	24,5	125,1	124	125	124	126	345
01:00	25,5	118,7	123	124	122	124	337
02:00	26,5	115,7	121	122	119	121	326
03:00	27,5	113,4	119	121	116	118	242
04:00	28,5	112,1	118	120	115	117	208
05:00	29,5	110,9	117	119	114	117	194
06:00	30,5	109,9	116	119	113	116	186
07:00	31,5	109,1	116	118	113	115	182

A2= Fırın havasının sıcaklığı.

A3= Trafonun alçak gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.

A4= Trafonun alçak gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.

A5= Trafonun yüksek gerilim bobininin üst bölge sıcaklığı.
A6= Trafonun yüksek gerilim bobininin alt bölge sıcaklığı.
FB= Fabrikada, trafolarla verilen numaraların simgesi.

Trafoların “FB” numaraları:

296440-02 (200 kVA)	296440-06 (200 kVA)
296440-03 (200 kVA)	296440-07 (200 kVA)
296440-04 (200 kVA)	296440-08 (200 kVA)
296440-05 (200 kVA)	

Trafo Adedi: 7

Toplam Kapasite: 1400 kVA.



EK-C

**DENEY ve MODEL SONUCUNDA
ELDE EDİLEN DEĞERLER**

FIRIN-1

Çizelge C-1: FIRIN-1.1. işlemi için zamana bağlı olan fırın havası sıcaklığının deneysel ve matematiksel model değerleri ile bunların normalize edilmiş değerleri.

Zaman (saat) Z	Deneysel Sıcaklık DS(°C)	Teorik Sıcaklık TS(°C)	Deney (Normalize) DN	Teori (Normalize) TN
0.75	79.30	79.30	0.00	0.00
1.75	98.40	98.50	0.50	0.48
2.75	106.90	104.00	0.72	0.60
3.75	110.90	111.80	0.82	0.79
4.75	114.90	118.00	0.92	0.94
5.75	117.90	120.40	1.00	1.00

Çizelge C-2: FIRIN-1.2. işlemi için zamana bağlı olan fırın havası sıcaklığının deneysel ve matematiksel model değerleri ile bunların normalize edilmiş değerleri.

Zaman (saat) Z	Deneysel Sıcaklık DS(°C)	Teorik Sıcaklık TS(°C)	Deney (Normalize) DN	Teori (Normalize) TN
0.75	85.00	85.00	0.00	0.00
1.75	101.10	100.20	0.60	0.41
2.75	107.10	107.60	0.82	0.61
3.75	109.40	116.40	0.90	0.85
4.75	110.60	121.10	0.95	0.98
5.75	111.90	121.80	1.00	1.00

Çizelge C-3: FIRIN-1.3. işlemi için zamana bağlı olan fırın havası sıcaklığının deneysel ve matematiksel model değerleri ile bunların normalize edilmiş değerleri.

Zaman (saat) Z	Deneysel Sıcaklık DS(°C)	Teorik Sıcaklık TS(°C)	Deney (Normalize) DN	Teori (Normalize) TN
0.50	66.00	66.00	0.00	0.00
1.50	94.40	94.60	0.62	0.55
2.50	103.10	101.80	0.81	0.68
3.50	107.60	109.10	0.91	0.82
4.50	109.80	115.80	0.96	0.95
5.50	111.70	118.30	1.00	1.00

Çizelge C-4: FIRIN-1.4. işlemi için zamana bağlı olan fırın havası sıcaklığının deneysel ve matematiksel model değerleri ile bunların normalize edilmiş değerleri.

Zaman (saat) Z	Deneysel Sıcaklık DS(°C)	Teorik Sıcaklık TS(°C)	Deney (Normalize) DN	Teori (Normalize) TN
0.50	73.10	73.10	0.00	0.00
1.50	101.50	100.20	0.60	0.57
2.50	110.80	110.70	0.80	0.79
3.50	115.10	120.30	0.89	0.99
4.50	112.50	121.80	0.84	1.02
5.50	120.20	120.70	1.00	1.00

Çizelge C-5: FIRIN-1.5. işlemi için zamana bağlı olan fırın havası sıcaklığının deneysel ve matematiksel model değerleri ile bunların normalize edilmiş değerleri.

Zaman (saat) Z	Deneysel Sıcaklık DS(°C)	Teorik Sıcaklık TS(°C)	Deney (Normalize) DN	Teori (Normalize) TN
0.50	73.60	73.60	0.00	0.00
1.50	97.60	95.20	0.53	0.49
2.50	104.20	101.20	0.68	0.63
3.50	111.40	107.10	0.84	0.76
4.50	115.50	113.60	0.93	0.92
5.50	118.70	117.60	1.00	1.00

Çizelge C-6: FIRIN-1.8. işlemi için zamana bağlı olan fırın havası sıcaklığının deneysel ve matematiksel model değerleri ile bunların normalize edilmiş değerleri.

Zaman (saat) Z	Deneysel Sıcaklık DS(°C)	Teorik Sıcaklık TS(°C)	Deney (Normalize) DN	Teori (Normalize) TN
0.00	80.10	80.10	0.00	0.00
1.00	108.40	95.20	0.77	0.44
2.00	113.70	100.40	0.92	0.59
3.00	113.00	104.40	0.90	0.71
4.00	114.30	109.60	0.93	0.86
5.00	116.70	114.40	1.00	1.00

Çizelge C-7: FIRIN-1.9. işlemi için zamana bağlı olan fırın havası sıcaklığının deneysel ve matematiksel model değerleri ile bunların normalize edilmiş değerleri.

Zaman (saat) Z	Deneysel Sıcaklık DS(°C)	Teorik Sıcaklık TS(°C)	Deney (Normalize) DN	Teori (Normalize) TN
----------------------	--------------------------------	------------------------------	----------------------------	----------------------------

0.77	96.40	96.40	0.00	0.00
1.77	110.30	101.80	0.52	0.21
2.77	113.40	108.20	0.63	0.46
3.77	117.00	115.40	0.77	0.74
4.77	116.70	120.40	0.76	0.93
5.77	123.30	122.10	1.00	1.00

Çizelge C-8: FIRIN-1.10. işlemi için zamana bağlı olan fırın havası sıcaklığının deneysel ve matematiksel model değerleri ile bunların normalize edilmiş değerleri.

Zaman (saat) Z	Deneysel Sıcaklık DS(°C)	Teorik Sıcaklık TS(°C)	Deney (Normalize) DN	Teori (Normalize) TN
1.00	101.00	101.00	0.00	0.00
2.00	113.60	110.10	0.67	0.36
3.00	115.30	120.40	0.77	0.76
4.00	115.20	125.90	0.76	0.98
5.00	118.10	126.50	0.91	1.00
6.00	119.70	126.40	1.00	1.00

Çizelge C-9: FIRIN-1.11. işlemi için zamana bağlı olan fırın havası sıcaklığının deneysel ve matematiksel model değerleri ile bunların normalize edilmiş değerleri.

Zaman (saat) Z	Deneysel Sıcaklık DS(°C)	Teorik Sıcaklık TS(°C)	Deney (Normalize) DN	Teori (Normalize) TN
0.50	95.70	95.70	0.00	0.00
1.50	111.80	104.10	0.64	0.29
2.50	115.30	114.70	0.78	0.66

3.50	117.80	123.00	0.87	0.96
4.50	119.30	124.90	0.93	1.02
5.50	121.00	124.30	1.00	1.00

Çizelge C-10: FIRIN-1.12. işlemi için zamana bağlı olan fırın havası sıcaklığının deneysel ve matematiksel model değerleri ile bunların normalize edilmiş değerleri.

Zaman (saat) Z	Deneysel Sıcaklık DS(°C)	Teorik Sıcaklık TS(°C)	Deney (Normalize) DN	Teori (Normalize) TN
0.00	32.20	32.20	0.00	0.00
1.00	80.40	71.60	0.61	0.51
2.00	92.80	92.60	0.77	0.78
3.00	100.40	100.20	0.87	0.88
4.00	104.40	104.50	0.92	0.93
5.00	110.70	109.90	1.00	1.00

Çizelge C-11: FIRIN-1.14. işlemi için zamana bağlı olan fırın havası sıcaklığının deneysel ve matematiksel model değerleri ile bunların normalize edilmiş değerleri.

Zaman (saat) Z	Deneysel Sıcaklık DS(°C)	Teorik Sıcaklık TS(°C)	Deney (Normalize) DN	Teori (Normalize) TN
0.00	45.40	45.40	0.00	0.00
0.62	83.10	82.00	0.54	0.49
1.62	97.80	100.70	0.76	0.74
2.62	106.20	110.30	0.88	0.86
3.62	109.60	118.70	0.93	0.98
4.62	114.70	120.5	1.00	1.00

Çizelge C-12: FIRIN-1.15. işlemi için zamana bağlı olan fırın havası sıcaklığının deneysel ve matematiksel model değerleri ile bunların normalize edilmiş değerleri.

Zaman (saat) Z	Deneysel Sıcaklık DS(°C)	Teorik Sıcaklık TS(°C)	Deney (Normalize) DN	Teori (Normalize) TN
0.00	71.40	71.40	0.00	0.00
0.55	100.00	93.50	0.66	0.49
1.55	109.50	104.40	0.88	0.74
2.55	114.90	116.20	1	1
3.55	107.00	122.70		
4.55	94.50	122.50		

Çizelge C-13: FIRIN-1.16. işlemi için zamana bağlı olan fırın havası sıcaklığının deneysel ve matematiksel model değerleri ile bunların normalize edilmiş değerleri.

Zaman (saat) Z	Deneysel Sıcaklık DS(°C)	Teorik Sıcaklık TS(°C)	Deney (Normalize) DN	Teori (Normalize) TN
0.00	77.90	77.90	0.00	0.00
0.23	88.70	84.10	0.30	0.18
1.23	105.60	98.80	0.77	0.61
2.23	109.10	103.30	0.87	0.74
3.23	111.40	110.10	0.93	0.94
4.23	113.80	112.30	1.00	1.00

Çizelge C-14: FIRIN-1.17. işlemi için zamana bağlı olan fırın havası sıcaklığının deneysel ve matematiksel model değerleri ile bunların normalize edilmiş değerleri.

Zaman (saat) Z	DeneySEL Sıcaklık DS(°C)	Teorik Sıcaklık TS(°C)	Deney (Normalize) DN	Teori (Normalize) TN
0.00	30.80	30.80	0.00	0.00
0.60	77.10	75.50	0.55	0.51
1.60	96.00	100.40	0.78	0.79
2.60	105.00	110.60	0.88	0.90
3.60	110.30	118.60	0.95	0.99
4.60	114.70	119.20	1.00	1.00

Çizelge C-15: FIRIN-1.18. işlemi için zamana bağlı olan fırın havası sıcaklığının deneySEL ve matematikSEL model değerleri ile bunların normalize edilmiş değerleri.

Zaman (saat) Z	DeneySEL Sıcaklık DS(°C)	Teorik Sıcaklık TS(°C)	Deney (Normalize) DN	Teori (Normalize) TN
0.50	66.40	66.40	0.00	0.00
1.50	91.80	99.60	0.52	0.61
2.50	101.00	109.00	0.71	0.78
3.50	108.10	118.9	0.86	0.96
4.50	112.80	120.8	0.95	1.00
5.50	115.10	119.8	1.00	0.98

FIRIN-2

Çizelge C-16: FIRIN-2.1. işlemi için zamana bağlı olan fırın havası sıcaklığının deneysel ve matematiksel model değerleri ile bunların normalize edilmiş değerleri.

Zaman (saat) Z	Deneysel Sıcaklık DS(°C)	Teorik Sıcaklık TS(°C)	Deney (Normalize) DN	Teori (Normalize) TN
0.00	25.00	25.00	0.00	0.00
0.53	71.00	51.40	0.52	0.32
1.53	92.00	84.20	0.76	0.71
2.53	101.00	98.50	0.86	0.88
3.53	109.00	102.70	0.96	0.93
4.53	113.00	108.50	1.00	1.00

Çizelge C-17: FIRIN-2.2. işlemi için zamana bağlı olan fırın havası sıcaklığının deneysel ve matematiksel model değerleri ile bunların normalize edilmiş değerleri.

Zaman (saat) Z	Deneysel Sıcaklık DS(°C)	Teorik Sıcaklık TS(°C)	Deney (Normalize) DN	Teori (Normalize) TN
0.00	37.00	37.00	0.00	0.00
0.66	87.00	81.20	0.61	0.56
1.66	103.00	101.00	0.81	0.81
2.66	111.00	111.70	0.90	0.94
3.66	115.00	117.10	0.95	1.01
4.66	119.00	116.30	1.00	1.00

Çizelge C-18: FIRIN-2.3. işlemi için zamana bağlı olan fırın havası sıcaklığının deneysel ve matematiksel model değerleri ile bunların normalize edilmiş değerleri.

Zaman (saat) Z	Deneysel Sıcaklık DS(°C)	Teorik Sıcaklık TS(°C)	Deney (Normalize) DN	Teori (Normalize) TN
0.66	62.00	62.00	0.00	0.00
1.66	88.00	94.10	0.52	0.57
2.66	98.00	101.90	0.72	0.70
3.66	104.00	109.60	0.84	0.84
4.66	109.00	116.30	0.94	0.96
5.66	112.00	118.80	1.00	1.00

Çizelge C-19: FIRIN-2.4. işlemi için zamana bağlı olan fırın havası sıcaklığının deneysel ve matematiksel model değerleri ile bunların normalize edilmiş değerleri.

Zaman (saat) Z	Deneysel Sıcaklık DS(°C)	Teorik Sıcaklık TS(°C)	Deney (Normalize) DN	Teori (Normalize) TN
0.75	76.00	76.00	0.00	0.00
1.75	92.00	97.20	0.42	0.49
2.75	101.00	102.70	0.66	0.62
3.75	104.00	110.60	0.74	0.80
4.75	112.00	116.40	0.95	0.94
5.75	114.00	119.10	1.00	1.00

Çizelge C-20: FIRIN-2.5. işlemi için zamana bağlı olan fırın havası sıcaklığının deneysel ve matematiksel model değerleri ile bunların normalize edilmiş değerleri.

Zaman (saat) Z	Deneysel Sıcaklık DS(°C)	Teorik Sıcaklık TS(°C)	Deney (Normalize) DN	Teori (Normalize) TN
0.50	68.00	68.00	0.00	0.00
1.50	89.00	94.80	0.48	0.53
2.50	98.00	101.70	0.68	0.67
3.50	104.00	108.80	0.81	0.81
4.50	105.00	115.50	0.84	0.94
5.50	112.00	118.40	1.00	1.00

Çizelge C-21: FIRIN-2.6. işlemi için zamana bağlı olan fırın havası sıcaklığının deneysel ve matematiksel model değerleri ile bunların normalize edilmiş değerleri.

Zaman (saat) Z	Deneysel Sıcaklık DS(°C)	Teorik Sıcaklık TS(°C)	Deney (Normalize) DN	Teori (Normalize) TN
0.00	35.00	35.00	0.00	0.00
0.56	75.00	67.20	0.52	0.40
1.56	94.00	96.10	0.77	0.75
2.56	105.00	103.00	0.91	0.84
3.56	107.00	111.00	0.94	0.93
4.56	112.00	116.40	1.00	1.00

Çizelge C-22: FIRIN-2.7. işlemi için zamana bağlı olan fırın havası sıcaklığının deneysel ve matematiksel model değerleri ile bunların normalize edilmiş değerleri.

Zaman (saat) Z	Deneysel Sıcaklık DS(°C)	Teorik Sıcaklık TS(°C)	Deney (Normalize) DN	Teori (Normalize) TN
----------------------	--------------------------------	------------------------------	----------------------------	----------------------------

0.00	49.00	49.00	0.00	0.00
0.66	89.00	79.20	0.63	0.44
1.66	103.00	98.90	0.84	0.73
2.66	109.00	104.60	0.94	0.82
3.66	113.00	112.70	1.00	0.93
4.66	113.00	117.40	1.00	1.00

Çizelge C-23: FIRIN-2.8. işlemi için zamana bağlı olan fırın havası sıcaklığının deneysel ve matematiksel model değerleri ile bunların normalize edilmiş değerleri.

Zaman (saat) Z	Deneysel Sıcaklık DS(°C)	Teorik Sıcaklık TS(°C)	Deney (Normalize) DN	Teori (Normalize) TN
0.00	55.00	55.00	0.00	0.00
0.62	92.00	82.80	0.58	0.43
1.62	106.00	100.00	0.80	0.70
2.62	111.00	106.70	0.88	0.81
3.62	117.00	115.00	0.97	0.94
4.62	119.00	119.10	1.00	1.00

Çizelge C-24: FIRIN-2.9. işlemi için zamana bağlı olan fırın havası sıcaklığının deneysel ve matematiksel model değerleri ile bunların normalize edilmiş değerleri.

Zaman (saat) Z	Deneysel Sıcaklık DS(°C)	Teorik Sıcaklık TS(°C)	Deney (Normalize) DN	Teori (Normalize) TN
0.00	42.00	42.00	0.00	0.00
0.40	66.00	78.40	0.32	0.48
1.40	100.00	103.70	0.77	0.81

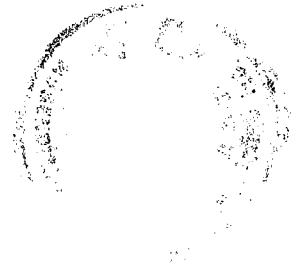
2.40	111.00	118.30	0.92	0.99
3.40	112.00	120.30	0.93	1.02
4.40	117.00	118.50	1.00	1.00

Çizelge C-25: FIRIN-2.10. işlemi için zamana bağlı olan fırın havası sıcaklığının deneysel ve matematiksel model değerleri ile bunların normalize edilmiş değerleri.

Zaman (saat) Z	Deneysel Sıcaklık DS(°C)	Teorik Sıcaklık TS(°C)	Deney (Normalize) DN	Teori (Normalize) TN
0.00	52.00	52.00	0.00	0.00
1.00	93.00	88.70	0.65	0.57
2.00	104.00	100.20	0.83	0.74
3.00	108.00	106.50	0.89	0.84
4.00	112.00	113.60	0.95	0.95
5.00	115.00	117.00	1.00	1.00

Çizelge C-26: FIRIN-2.11. işlemi için zamana bağlı olan fırın havası sıcaklığının deneysel ve matematiksel model değerleri ile bunların normalize edilmiş değerleri.

Zaman (saat) Z	Deneysel Sıcaklık DS(°C)	Teorik Sıcaklık TS(°C)	Deney (Normalize) DN	Teori (Normalize) TN
0.25	62.00	62.00	0.00	0.00
1.25	90.00	97.50	0.51	0.63
2.25	103.00	105.60	0.75	0.77
3.25	106.00	115.60	0.80	0.95
4.25	114.00	119.20	0.95	1.01
5.25	117.00	118.50	1.00	1.00



ÖZGEÇMİŞ

Murat GÜNCAN, 1974 yılında Kandıra-Kocaeli’nde doğdu. İlk-orta ve lise tahsilini İzmit’te tamamladıktan sonra 1992 yılında Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Mühendisliği Bölümü’ne girdi. 1996 yılında üniversiteden mezun olarak Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Bölümü’nde yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen aynı kurumda Isı Transferi Anabilim Dalı Aaştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.

