

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FERMANTASYON ÜRÜNLERİ KURUTMA PROSESLERİNİN
MATEMATİKSEL MODELLENMESİ ve KONTROLÜ**

DOKTORA TEZİ

Y.Müh. Mehmet KÖNİ

Anabilim Dalı: Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği

Danışman: Prof. Dr. Hasan DİNÇER

KOCAELİ, 2007

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FERMANTASYON ÜRÜNLERİ KURUTMA PROSESLERİNİN
MATEMATİKSEL MODELLENMESİ ve KONTROLÜ**

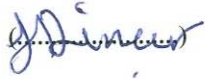
DOKTORA TEZİ

Y.Müh. Mehmet KÖNİ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 8 Ocak 2007

Tezin Savunulduğu Tarih: 30 Mart 2007

Tez Danışmanı
Prof.Dr.Hasan DİNÇER



Üye
Prof.Dr.Atilla BİR



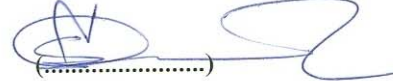
Üye
Prof.Dr.Galip CANSEVER



Üye
Doç.Dr.Mustafa TÜRKER



Üye
Yrd.Doç.Dr.Sıtkı ÖZTÜRK



KOCAELİ, 2007

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Kurutma ve kontrol konusundaki çalışmalarımda bana yol gösteren ve yardımcı olan tez hocam Sayın Prof. Dr. Hasan Dinçer'e, bütün çalışmam boyunca bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım ve bana desteğini esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Mustafa Türker'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin hazırlanması için bütün deneysel çalışmalar sırasında bana göstermiş oldukları ilgi, sabır ve yardımlarından dolayı Pakmaya İzmit fabrikası kurutma şefi Sayın Dr. Hamdi Kapucu ve çalışanlarına, Kocaeli Üniversitesi öğretim görevlisi Yrd. Doç. Dr. Serhat Yılmaz ve Dr. Uğur Yüzgeç'e teşekkürü bir borç bilirim.

Yaşamım boyunca her konuda desteklerini gördüğüm aileme ve verdiği büyük destekten ve gösterdiği sabırdan dolayı eşim Esin Köni'ye teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
TABLolar DİZİNİ	viii
SEMBOLLER.....	ix
ÖZET	xiii
İNGİLİZCE ÖZET.....	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Neden Mekanistik Yaklaşım Değil.....	3
1.2. Çalışmanın Amacı ve İçeriği.....	7
1.3. Konu Hakkındaki Literatür Çalışmaları.....	9
1.4. Tez Organizasyonu	18
2. KURUTMA SÜREÇLERİ ve AKIŞKAN YATAKLI KURUTUCU.....	20
2.1. Kurutma Sürecinin Temelleri.....	20
2.2. Kurutma Periyotları.....	22
2.3. Akışkan Yataklı Kurutucu ve Kurutulan Ürünlerin Kurutma Davranışları.....	24
2.4. Ekmek Mayasının Kurutulması.....	26
2.5. Biyolojik Ürünlerin Kurutulması	27
2.5.1. Biyokimyasal süreç	28
2.5.2. Biyolojik ürünlerin kurutma süreci	29
2.5.3. Biyolojik ürünlerin kurutma sürecini modelleme	30
3. HOMOJEN ve HETEROJEN MODELLEMeye GENEL BAKIŞ.....	34
3.1. Homojen Model Yaklaşımı	34
3.1.1. Süreç modelinin oluşturulması.....	36
3.1.1.1. Akışkan yataklı kurutma sürecindeki bazı kabuller.....	36
3.1.1.2. Süreç modelinin denklemleri	36
3.1.1.2.1. Kuru madde denklığı.....	37
3.1.1.2.2. Su denklığı	37
3.1.1.2.3. Hava denklığı	38
3.1.1.2.4. Enerji denklığı.....	39
3.2. Heterojen Model Yaklaşımı	44
3.2.1. Difüzyon modeli.....	44
3.2.2. Isı aktarım modeli	45
3.2.3. Model parametreleri ve sabitler	46
3.3. Kalite Kaybı Modeli.....	47
4. TEMEL KAVRAMLAR.....	50
4.1. Genetik Algoritmalar	50
4.2. Yapay Sinir Ağları	54
4.3. Bulanık Mantık	55
4.4. ANFIS	57
5. KESİKLİ AKIŞKAN YATAKTA EKMEK MAYASI KURUTMA SÜRECİNİN MATEMATİKSEL MODELLENMESİ.....	60

5.1. Genel Bakış	60
5.2. Tutarlılık Analizi	65
5.3. Yapay Sinir Ağı ile Süreç Modeli	67
5.4. ANFIS ile Süreç Modeli	85
5.5. Kalite Modeli	95
5.6. Uyarlanabilir Sistem Yapısı	100
6. HİBRİD MODELLEME	102
7. OPTİMİZASYON ve KONTROL YAPILARININ OLUŞTURULMASI	106
7.1. En iyileme	106
7.2. Bulanık Mantık Kontrolü	118
8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	123
KAYNAKLAR	128
EK A. YAPAY SİNİR AĞLARI HAKKINDA AYRINTILAR	136
A.1. Bir Yapay Sinir Ağı Nöronunun Ana Öğeleri (Elmas, 2003a)	136
A.1.1. Girişler	136
A.1.2. Ağırlıklar	137
A.1.3. Toplama işlevi	137
A.1.4. Etkinlik işlevi	137
A.1.5. Ölçekleme ve sınırlama	138
A.1.6. Çıkış işlevi	138
A.2. Perceptron Öğrenme Kuralı	138
A.3. Geri Yayılımlı Öğrenme	139
EK B. YAPAY SİNİR AĞI İLE PROJE GELİŞTİRME	143
B.1. Veri Tabanı Boyutu ve Bölümlendirme	143
B.2. Veri Tabanı Önışlemesi, Dengeleme ve Zenginleştirme	143
B.3. Veri Normalizasyonu	143
B.4. Giriş – Çıkış Tanımlaması	144
B.5. Ağ Ağırlık Değerlerinin İlk Ataması	144
B.6. Geri Yayılımlı Ağda Öğrenme Oranı	144
B.7. Geri Yayılımlı Ağda Momentum Katsayısı	145
B.8. Transfer Fonksiyonu	145
B.9. Eğitim Durdurma Kriteri	145
B.10. Eğitim Döngülerinin Sayısı	146
B.11. Eğitim Modları	146
B.12. Gizli Katmanın Büyüklüğü	146
EK C. ANFIS YAPISININ AYRINTILARI	148
EK D. SU BUHARI ÖZGÜL İSİSİNİN HESAPLANMASI	151
EK E. KESİKLİ AKIŞKAN YATAKLI KURUTMA SÜRECİNİN OPTİMİZASYONU ve KONTROLÜ İÇİN YAZILAN MATLAB PROGRAMLARI	152
EK F. KESİKLİ AKIŞKAN YATAKLI KURUTMA SÜRECİNİN SÜREÇ MODELİNİN OLUŞTURULMASI ve EĞİTİMİ İÇİN YAZILAN MATLAB PROGRAMLARI	162
EK G. KESİKLİ AKIŞKAN YATAKLI KURUTMA SÜRECİNİN BENZETİMİ İÇİN YAZILAN MATLAB PROGRAMLARI	167
EK H. KESİKLİ AKIŞKAN YATAKLI KURUTMA SÜRECİNİN BULANIK MANTIK KONTROL EDİCİ TASARIM ve EĞİTİMLERİ İÇİN YAZILAN MATLAB PROGRAMLARI	175

EK I. KESİKLİ AKIŞKAN YATAKLI KURUTMA SÜRECİNİN BULANIK MANTIK KONTROL EDİCİLERİNİN BENZETİMİ İÇİN YAZILAN MATLAB PROGRAMLARI	177
KİŞİSEL YAYINLAR ve ESERLER.....	180
ÖZGEÇMİŞ	181

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1: Sistem tanımlama yaklaşım kriterleri	4
Şekil 2.1: Nem kesrinin zamana göre değişimi.....	22
Şekil 2.2: Kurutma hızının zamana göre değişimi	23
Şekil 2.3: Kurutma hızının zamana göre değişimi	23
Şekil 2.4: Akışkan yataklı kurutma süreci	25
Şekil 2.5: Kurutma parametreleri ve sıcaklık eğrisi (Kanarya, 2002).....	26
Şekil 2.6: Biyokimyasal sürecin genel yapısı (Kanarya 2002).....	28
Şekil 2.7: Biyolojik ürünlerin kurutma sürecinin fiziksel modellemeye dayanan akış diyagramı (Kanarya 2002).....	32
Şekil 2.8: Biyolojik ürünlerin kurutma sürecinin uyarlanabilir temelli modellemeye dayanan akış diyagramı	33
Şekil 3.1: Termodinamik enerji denklığı giriş – çıkışların gösterimi (Kanarya, 2002)	35
Şekil 3.2: Termodinamik enerji denklığının giriş ve çıkış parametrelerinin gösterimi (Kanarya, 2002)	38
Şekil 3.3: Çeşitli ağırlıklarla yapılan dört farklı deneyin gerçek değerleri ve benzetim sonuçları. Düz çizgiler homojen model benzetim sonuçları ve noktalar gerçek ölçüm değerleri (Türker ve diğ., 2006).....	43
Şekil 3.4: Silindirik (a) ve küresel (b) granüllü ekmek mayasının akışkan yataklı kurutma sürecinin granül tabanlı modeli ile homojen modelinin karşılaştırılması Endüstriyel veriler: yatak sıcaklığı (\square), % kuru madde kesri (Δ), nem kesri (O), büzülmeyen granül tabanlı model (kesikli çizgi), büzülen granül tabanlı model (sürekli çizgi). (Yüzgeç, 2005).....	47
Şekil 4.1: Genetik algoritma için basit bir akış diyagramı.....	53
Şekil 4.2: Danışmanlı öğrenme yapısı (Elmas, 2003a).....	55
Şekil 4.3: ANFIS bulanık çıkarım.....	58
Şekil 5.1: Rasgele seçilen 25 deneyin ürün sıcaklığı tutarlılık analiz grafikleri (mavi : fırın çıkış sıcaklığı – kırmızı : ürün sıcaklığı [$^{\circ}$ C])	65
Şekil 5.2: Rasgele seçilen 25 deneyin kuru madde tutarlılık analiz grafikleri (mavi : hava ile fırından çıkan su miktarı – kırmızı : mayadan uzaklaştırılan su miktarı ile giriş havasından gelen su miktarının toplamı – yeşil : hava ile fırına giren su miktarı).....	67
Şekil 5.3: Kesikli akışkan yataklı ekmek mayası kurutma süreci temel giriş - çıkış parametreleri.....	68
Şekil 5.4: Eğitim sonlandırma kriteri	74
Şekil 5.5: Çalışmada kullanılan transfer fonksiyonlarının grafikleri	75
Şekil 5.6: Çalışmada kullanılan YSA yapıları	77
Şekil 5.6 (devam): Çalışmada kullanılan YSA yapıları	78
Şekil 5.7: Bütün YSA yapılarının R^2 değerlerinin dağılımı ve benzetim zamanları	83

Şekil 5.8: YSA – 9 modelinin dört ayrı gerçek veri ile yapılan benzetim sonuçları (o) KM - ölçüm ; (_ _) KM - benzetim; (...) dKM - benzetim; (□) T_m - ölçüm; (_) T_m - benzetim	84
Şekil 5.9: YSA – 9 modelinin bütün test verilerindeki R^2 değerlerinin dağılımı	85
Şekil 5.10: Çalışmada kullanılan üyelik fonksiyonunun grafikleri.....	88
Şekil 5.11: Kuru madde bulanık mantık çıkarım yapısı girişleri ve çıkışı.....	89
Şekil 5.11: Kuru madde üyelik fonksiyonları. Kırmızı eğitim öncesi, siyah eğitim sonrası	90
Şekil 5.12: Ürün sıcaklığı üyelik fonksiyonları. Kırmızı eğitim öncesi, siyah eğitim sonrası	91
Şekil 5.13: Kuru madde değişimi üyelik fonksiyonları. Kırmızı eğitim öncesi, siyah eğitim sonrası.....	91
Şekil 5.14: Bulanık modelinin dört ayrı gerçek veri ile yapılan benzetim sonuçları (o) KM - ölçüm; (_ _) KM - benzetim; (...) dKM - benzetim; (□) T_m - ölçüm; (_) T_m - benzetim	92
Şekil 5.15: Bulanık modelinin bütün test verilerindeki R^2 değerlerinin dağılımı	93
Şekil 5.16: Büzülen silindirik (a) ve küresel (b) granüllü ekmek mayasının akışkan yataklı kurutma modelinin benzetim sonuçları. Endüstriyel veriler: ortalama sıcaklık (□), % kuru madde kesri (Δ), ort. nem kesri (O), model benzetim sonucu (-) (Yüzgeç, 2005)	94
Şekil 5.17: Bu çalışmadaki modelleme çalışmalarının gerçek veri ile yapılan benzetim sonuçları (o) KM - ölçüm ; (_ _) KM - benzetim ; (...) dKM - benzetim ; (□) T_m - ölçüm ; (_) T_m - benzetim	94
Şekil 5.18: Süreç ve kalite modellerinin bütünü	96
Şekil 5.19: YSA model yapısı (Kalite)	97
Şekil 5.20: Kalite modelinin gerçek veriler ile benzetim sonuçları ve R^2 dağılımları	99
Şekil 5.21: Kalite ve süreç modellerinin uyarlanabilir öğrenme yapısı.....	101
Şekil 6.1: Hibrid model yapısı	104
Şekil 6.2: Dört ayrı gerçek veri ile yapılan hibrid model (X_{out}) çıkış hava nemi benzetim sonuçları (o) X_{out} - ölçüm ; (_) X_{out} - hesap.....	104
Şekil 6.3: Dört ayrı gerçek veri ile yapılan hibrid model (X) ürün nem kesri benzetim sonuçları (o) X - ölçüm ; (_) X - hesap.....	105
Şekil 7.1: En iyileme ve kontrol yapısı	110
Şekil 7.2: Yapay sinir ağı süreç modeli kullanılarak: Çıkış parametreleri ($KM - T_m$) ve giriş parametreleri ($F_a - T_a$) . (o) Standart operasyon, (_) en iyileme sonrası (Giriş hava nemi = $0.006 \text{ kg}_{su} / \text{kg}_{hava}$)	111
Şekil 7.3: Yapay sinir ağı süreç modeli kullanılarak: Çıkış parametreleri ($KM - T_m$) ve giriş parametreleri ($F_a - T_a$) . (o) Standart operasyon, (_) en iyileme sonrası (Giriş hava nemi = $0.008 \text{ kg}_{su} / \text{kg}_{hava}$)	112
Şekil 7.4: En iyileme öncesi ve sonrası kalite ve enerji maliyetlerindeki değişimler. Giriş hava nemi (a) $0.006 \text{ kg}_{su} / \text{kg}_{hava}$ ve (b) $0.008 \text{ kg}_{su} / \text{kg}_{hava}$	114

Şekil 7.5: Yapay sinir ağı süreç modeli kullanılarak: Çıkış ($KM - T_m$) ve giriş parametrelerinin ($F_a - T_a$) değişimleri. (\square) $\beta_1 = 0$ yapılarak bulunan en iyileme sonuçları (Giriş hava nemi = $0.006 \text{ kg}_{su} / \text{kg}_{hava}$).....	115
Şekil 7.6: Yapay sinir ağı süreç modeli kullanılarak: Çıkış ($KM - T_m$) ve giriş parametrelerinin ($F_a - T_a$) değişimleri. (\square) $\beta_2 = 0$ yapılarak bulunan en iyileme sonuçları (Giriş hava nemi = $0.006 \text{ kg}_{su} / \text{kg}_{hava}$).....	116
Şekil 7.7: Sadece kalite ve enerji odaklı yapılan en iyileme denemelerinin, en iyileme öncesi ve sonrası kalite ve enerji maliyetlerindeki değişimler. (a) Kalite odaklı ($\beta_1 = 0$) ve (b) enerji odaklı ($\beta_2 = 0$).	118
Şekil 7.6: Bulanık mantık kontrol edicili kontrol yapısı	120
Şekil 7.7: Bulanık mantık kontrol edicisinin kontrol sonuçları: Çıkış parametreleri ($KM - T_m$) ve giriş parametreleri ($F_a - T_a$). (o) Gerçek veriler, (\square) Kontrol edici çıkışlarının benzetim sonuçları.....	120
Şekil 7.8: Bulanık mantık kontrol edicisinin kontrol sonuçları: Çıkış parametreleri ($KM - T_m$) ve giriş parametreleri ($F_a - T_a$). (o) Gerçek veriler, (\square) Kontrol edici çıkışlarının benzetim sonuçları.....	121
Şekil 8.1: En iyileme yapısı	125
Şekil 8.2: Bulanık mantık kontrol edicili kontrol yapısı	126
Şekil A.1: Basit bir yapay sinir ağı nöron yapısı	137
Şekil A.2: Perceptron öğrenme yapısı (Nabiyev, 2003)	139
Şekil A.3: Çok katmanlı yapay sinir ağı	140
Şekil C.1: ANFIS eşdeğeri.....	148
Şekil D.1: Su buharı özgül ısısının sıcaklığa göre değişimi	151

TABLULAR DİZİNİ

Tablo 4.1: Klasik ve bulanık mantık arasındaki farklar	57
Tablo 5.1: Giriş parametreleri	71
Tablo 5.2: Çıkış parametreleri.....	71
Tablo 5.3: YSA yapılarının giriş / çıkış ilişkileri.....	79
Tablo 5.3 (devam): YSA yapılarının giriş / çıkış ilişkileri.....	80
Tablo 5.4: Optimum YSA parametreleri (Süreç).....	83
Tablo 5.5: ANFIS parametreleri (Süreç).....	92
Tablo 5.6: YSA parametreleri (Kalite).....	98
Tablo 7.1: En iyileme öncesi ve sonrası kalite kayıpları ve enerji maliyetleri	113
Tablo 7.2: Kalite temelli, $\beta_1 = 0$ yapılarak bulunan en iyileme sonuçları	116
Tablo 7.3: Enerji tasarrufu temelli, $\beta_2 = 0$ yapılarak bulunan en iyileme sonuçları	117
Tablo A.1: Aktivasyon fonksiyonları (Matlab 2005).....	141
Tablo D.1: Su buharı özgül ısısı ($c_{p,wv}$) denkleminde kullanılan C sabit değerleri.	151

SEMBOLLER

a	Ortalama değer
a_i	nöron çıkışı
a_i	denklem 3.41'deki ayarlanabilir parametreler, $i = 1,2,3,4$
b_j	yapay sinir ağı bias değerleri
b_i	denklem 3.41'deki ayarlanabilir parametreler, $i = 1,2,3,4$
$c_{p,a}$	havanın özgül ısısı, (J / kgK)
$c_{p,m}$	suyun özgül ısısı, (J / kgK)
$c_{p,s}$	kuru madde özgül ısısı, (J / kgK)
$c_{p,wv}$	su buharı özgül ısısı, (J / kgK)
dKM	ürün kuru madde değişim miktarı
d/dt	diferansiyel operatörü
D	difüzyon katsayısı, (m^2 / s)
D_{ref}	referans difüzyon katsayısı, (m^2 / s)
E	enerji maliyeti, (kJ)
$E_{a,i}$	ürün kalitesi için aktivasyon enerjisi, (J / mol)
E_D	difüzyon için aktivasyon enerjisi, (J / mol)
f	etkinlik işlevi
F_a	giriş hava debisi, (m^3/h)
$F_{a,opt}$	en iyileme sonucu sürece uygulanan giriş hava debisi (m^3/h)
h	enerji akışı, (kJ/s)
H	toplam enerji, (kJ)
$j_{m,i}$	partikül yüzeyindeki kütle akışı, ($kg / m^2 s$)
k	k . örnek
k	kütle transfer katsayısı, (m/s)
k_e	ürün aktivite kaybı hızı, (1/s)
k_∞	frekans faktörü, (1/s)
KM	ürün kuru madde değeri, (%)
m	kuru madde akış hızı, (kg/s)
M	kuru madde kütlesi, (kg)
M	çıkış noktalarının sayısı
M_y	kuru madde kütlesi, (kg)
M_t	toplam kütle, (kg)
n_i	yapay sinir ağı geçiş fonksiyonu girişi
N	eğitim örneklerinin sayısı

p	denklem 3.41 'deki ayarlanabilir parametre
q	denklem 3.41 'deki ayarlanabilir parametre
$Q_{w,out}$	akışkan yataktan uzaklaştırılan su (kg/h)
$Q_{w,in}$	akışkan yatağa aktarılan su (kg/h)
$Q_{w,m}$	üründen uzaklaştırılan su (kg/h)
Q_n	kurutma öncesi kalite değeri
Q_f	kurutma sonrası kalite değeri
Q	kalite değeri
r	partikül yarıçapı, (mm)
r	hedef değer
rH	bağıl nem, (%)
r_w	su uzaklaştırma hızı, (kg/s)
R	gaz sabiti = 8,314, (J / molK)
R_d	maksimum partikül yarıçapı, (mm)
R^2	cevap ile öngörülen değerler arasındaki farkların korelasyonlarının karesi
s	gerçek değer
t	zaman, (dk)
T	sıcaklık, (°C)
$T_{a,k}$	giriş hava sıcaklığı, (K)
T_{ref}	referans sıcaklık, (K)
T_a	giriş hava sıcaklığı (°C)
$T_{a,opt}$	en iyileme sonucu bulunan ve sürece uygulanan giriş hava sıcak., (°C)
T_{ak}	giriş hava sıcaklığı, (K)
T_m	ürün sıcaklığı, (°C)
u_i	giriş/çıkış değeri
$u_{i,min}$	bütün veriler içindeki minimum değer
$u_{i,max}$	bütün veriler içindeki maksimum değer
V_{su}	maddenin taşıdığı toplam nem hacmi, (m^3)
V_{top}	maddenin toplam hacmi, (m^3)
w	YSA ağırlık değerleri
w	su akış hızı, (kg/s)
W	su kütlesi, (kg)
W	yükleme miktarı, (kg)
W_y	su kütlesi, (kg)
W_v	ağırlık vektörü
x_i	yapay sinir ağı girişi
X_e	istenilen nem kesri, ($kg_{su} / kg_{kurumadde}$)
X_v	hacimsel nem kesri
X_0	başlangıç nem kesri, ($kg_{su} / kg_{kurumadde}$)
X	nem kesri, ($kg_{su} / kg_{kurumadde}$)

X_{in}	giriş havasının nemi, (kg_{su} / kg_{hava})
X_{out}	çıkış havasının nemi, (kg_{su} / kg_{hava})
\hat{y}	öngörülen değer
\bar{y}	çıkışın ortalama değeri
y	çıkış değeri
z_i	u_i 'nin normalize edilmiş değeri
ΔKM	ürün kuru madde değişim miktarı
ΔWy	su kütleindeki değişim
ΔQ	kalite değişimi
ΔH_v	buharlaşma gizli ısı, (kJ/kg)
α	ısı transfer katsayısı, ($J / m^2 sK$)
α_1	ölçeklemede alt limit
α_2	ölçeklemede üst limit
β_1	amaç fonksiyonundaki enerji maliyetinin ağırlık katsayısı (\$/kJ)
β_2	amaç fonksiyonundaki kalitenin ağırlık katsayısı (\$)
η	öğrenme oranı
μ	momentum katsayısı
$\eta(t)$	uyarlanabilir öğrenme oranı
σ	varyans
ρ_h	havanın yoğunluğu, (kg/m^3)
U	geometrik faktör
λ	maddenin termal iletkenliği, (J / msK)
ρ_m	partikül içerisindeki su konsantrasyonu, (kg / m^3)
ρ_s	kuru maddenin kütle konsantrasyonu, (kg / m^3)
$\rho_{wv,g}$	yatak içindeki havanın su buharı konsantrasyonu, (kg / m^3)
$\rho_{wv,i}$	partikül yüzeyindeki su buharı konsantrasyonu, (kg / m^3)

Alt indisler

a	hava
b	yatak
i	i . örnek
j	j . çıkış düğümü
ss	paslanmaz çelik
w	su
wv	su buharı
y	maya

Üst indisler

i	giriş
o	çıkış
y	maya'dan

Kısaltmalar

ANFIS	adaptive network based fuzzy inference system (uyarlanabilir ağ temelli bulanık çıkarım sistemi)
ANN	artificial neural network (yapay sinir ağı)
SSE	hataların kareleri toplamı
SSR	regresyonların kareleri toplamı
SST	kareler toplamı
YSA	yapay sinir ağı

FERMANTASYON ÜRÜNLERİ KURUTMA PROSESLERİNİN MATEMATİKSEL MODELLENMESİ ve KONTROLÜ

Mehmet KÖNİ

Anahtar Kelimeler: Kurutma Süreci, Akışkan Yatak, Ekmek Mayası, Modelleme, Optimizasyon (En iyileme), ANFIS, Bulanık Mantık, Yapay Sinir Ağı, Genetik Algoritma.

Özet: Doğrusal olmayan bir yapıya sahip kurutma süreçleri endüstride yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Kurutma sürecinin karmaşıklığına maya gibi canlı mikroorganizmanın da bilinmezleri eklenince sistem tam bir muamma haline gelmektedir. Ekmek mayası gibi biyolojik ürünler kurutmaya karşı çok hassas olduklarından kurutma sürecindeki kalite kayıplarına dikkat etmek gerekir. Kurutma süreçlerinin işletme maliyetlerindeki en ciddi faktör enerji giderleridir.

Bu çalışmada, kesikli akışkan yataklı kurutma fırınında kurutulan ekmek mayasının süreç ve kalite modelleri, uyarlanabilir özellikleri ve fiziksel modeller gibi süreç hakkında çok fazla bilgi birikimine ihtiyaç duymadıkları için yapay sinir ağı ve ANFIS yardımıyla oluşturulan bulanık mantık model yapıları ile elde edilmiştir.

Kurutma sürecinin minimum enerji tüketimi ve minimum kalite kaybı ile işletilmesi temel hedeftir. Oluşturulan sistem (kalite ve süreç) modelleri ile kalite ve enerji maliyetleri arasındaki optimum noktayı bulmak için karşımıza çıkan en iyileme problemi genetik algoritmalar yardımıyla çözülmüştür.

Sistemi eniyileyen kontrol yapısına bir alternatif geliştirilmiştir. Üretim stratejisine göre, kurutma sisteminin önceden belirlenen süreç çıkış parametrelerini tüm kurutma periyodu boyunca takip etmesini sağlayacak bulanık mantık kontrol edicisi ANFIS yardımıyla tasarlanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Endüstriyel boyuttaki kesikli akışkan yatakta ekmek mayası kurutma sürecinde bir yıl içinde çeşitli zamanlarda yapılan deneyler ile bir çekirdek yapı oluşturulmuştur. Bu çekirdek yapı, sistem modellemesini, kontrolünü ve en iyilemesini başarı ile yapan uyarlanabilir özelliğe sahiptir. Çekirdek yapı, üretim tesisi ve çalışanlarına hiçbir ek yük getirmeden sistem değişikliklerini algılayacak ve kendini güncelleyerek en iyileme ve kontrol yapabilecek yeteneindedir.

MATHEMATICAL MODELING and CONTROL FOR THE DRYING PROCESSES OF THE FERMENTATION PRODUCTS

Mehmet KÖNİ

Keywords: Drying Process, Fluidized Bed, Baker's Yeast, Modeling, Optimization, ANFIS, Fuzzy Logic, Artificial Neural Network, Genetic Algorithm

Abstract: Drying processes with non-linear structure are consistently managed in industry. When unidentified characteristics of the living organisms like yeast are added on, the system becomes an absolute mystery. The quality loss in the drying process should be regarded with care because the biological products like baker's yeast are very sensitive to drying. The most serious factor in the operating cost of the drying processes is the energy expenses.

In this study, process and quality models of the dried baker's yeast in a batch fluidized bed dryer are obtained with fuzzy logic model types which are constituted by ANFIS and artificial neural network because they do not require detailed knowledge about process as physical models and they also have adaptive features.

The main aim is to complete the drying process with minimum quality loss and minimum energy cost. The optimization problem which occurred in order to find the optimum point between the quality and energy using the quality and process models formed solved by genetic algorithms concerning the complexity of the system

An alternative option is developed for the control structure which optimizes the system. According to the production strategy, fuzzy logic controller is designed which will enable the dryer system to follow the pre-determined output parameters during the whole drying period. Fuzzy logic controller with adaptive feature which is designed by ANFIS had successful results.

A core structure is formed by the experiments performed in various times during a year in the process of baker's yeast drying in the industrial – scaled batch – fluidized bed. This core structure system has an adaptive feature which executes the (quality – process) modeling, controlling and optimization successfully. System is in such a structure that it can do the optimization and control by updating itself (by sensing the changes) without putting extra load to the production facility and its staff in a continuously producing facility.

1. GİRİŞ

Maliyet, kalite, verimlilik gibi kavramlar kıyasıya bir rekabetin yaşandığı günümüzde çok ciddi bir şekilde önem kazanmakta ve sıkça telaffuz edilmektedirler. Peki bu kavramlar neden günümüzde önceki yıllara nazaran devamlı olarak artan bir öneme nail olmuşlardır? İnsanlar aldıkları her türlü ürünün hem kaliteli hem de ucuz olmasını istemektedirler. Bu işin tüketici boyutudur. Üreticiler tarafından olaya bakıldığında da üreticilerde mümkün olduğunca çok kar peşindedirler. Hal böyle olunca çok kısa ve basit bir şekilde yukarıdaki neden sorusunun cevabı kolaylıkla bulunabilir.

Gıda sektörü de günümüz şartlarından nasibini fazlasıyla almıştır. Üretim süreçlerinin çoğunda olduğu gibi gıda süreçleri birçok adımdan oluşur. Kimyasal işlemler, karışım, ısıtma, soğutma, kurutma, paketlenme ve depolama gıda süreç adımları olarak sayılabilir. Bir veya birden fazla adımdan oluşan gıda süreçlerinde adımlar sıkı bir şekilde birbirlerine bağlıdır. Her bir adımın kendine göre ayrı bir önemi vardır.

Bu adımlardan kurutma işlemi hayatımızın her anına girmiş en temel süreçlerden biridir. Annelerimizin güneşte kuruttuğu kayısı, tarhanadan tutun en karmaşık biyolojik ürünlerin kurutulmasına kadar çok yaygın bir kullanım alanı bulunan kurutma süreçleri ve teknolojileri, çeşitli sektörlerin ve endüstrilerin ayrılmaz bir parçası olarak yoğun bir şekilde kullanılmaktadırlar. Maddelerin kurutulmasındaki temel amaç ürünlerin özelliklerini kaybetmeden daha uzun süre saklamak ve ürünlerin depolanma maliyetlerini azaltmaktır. Kurutma işlemi çok genel olarak, kurutulacak maddenin içeriğindeki suyun bu maddeden uzaklaştırılması olarak tanımlanabilir. Kurutulacak maddeden su uzaklaştırma işlemi buharlaşma yoluyla olmaktadır.

Bütün endüstriyel süreçlerdeki genel beklenti ve amaçlar, endüstriyel kurutma süreçlerinde de geçerlidir. Bu beklenti, verimlilik yani kalite – maliyet dengesidir.

Kurutma süreçlerindeki maliyet faktörünün içinde her ne kadar ekipman, işçi, bakım masrafları olsa da işletme maliyetindeki en büyük ağırlığı enerji giderleri oluşturur. Her geçen gün artan enerji maliyetleri nedeni ile işletme maliyetleri, üzerinde ciddi düşünülmesi gereken bir konu haline gelmiştir. Fakat günümüz şartlarında süreçlerdeki maliyet iyileştirmeleri tek başlarına sistem verimliliğinde yeterli olmamaktadır.

Kurutma süreçlerinde kurutulacak ürünlerin özellikleri önemli bir faktördür. Bazı ürünler kurutma işleminden fazla etkilenmemekle birlikte kurutma işlemine karşı çok hassas olanlarda mevcuttur. Biyolojik ürünler kurutmaya en hassas olan ürünlerdendir. Bu tür hassas ürünleri kuruturken sistem verimliliği söz konusu olduğunda sadece enerji ve hammadde maliyetleri yanında ürün kalitesi ve ürün kayıpları gibi unsurlarda dikkate alınmalıdır. Sistem verimliliği için kalite ile maliyet arasında bir denge kurulmalı, bir orta yol bulunmalıdır.

Günümüzde çok çeşitli kurutma süreçleri ve teknolojileri bulunmaktadır. Biz bu çalışmada akışkan yataklı kurutma sürecini ve bu süreçte kurutulan bir fermantasyon ürünü olan ekmek mayası, *Saccharomyces cerevisiae*, incelenecektir. Bu çalışmadaki bütün deneyler endüstriyel boyutlarda ve kontrol olarak tam donanımlı akışkan yataklı kurutma fırınlarında yapılmıştır. Bu çalışma için toplam 570 deney yapılmış ve değerlendirilmiştir.

Literatürde akışkan yataklı kurutma fırınlarının modellenmesi ve kontrol edilmesinde ağırlıklı olarak mekanistik yaklaşım yani fiziksel denklemlerden yararlanılmıştır. Mekanistik çalışmalara nazaran matematiksel çalışmalar ise daha az sayıdadır.

Biraz sonra detayları verilecek olan mekanistik yaklaşımlarda hem kalite hem de işletme maliyetleri açısından çok çeşitli modeller oluşturulmuş ve bu modeller ile maliyetler ve kalite değerleri öngörülme çalışılmıştır. Ayrıca bu modeller yardımı ile akışkan yataklı kurutma fırınlarının kontrolü ve kalite – maliyet dengeleri optimize edilmeye çalışılarak sistem verimlilikleri üzerinde iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. Fakat çalışmalarda elde edilen modeller, kurutucu tipinin, yapısının, ebadının, kurutulacak ürünlerin veya işletme şartlarının herhangi birindeki en ufak

değişikliklerde isteklere iyi cevap veremeyebilmektedirler. Yapılan bütün bu çalışmalar ya boşa gitmekte yada emek, para ve zaman harcayarak bu fiziksel modeller tekrar elden geçirilmektedirler.

Bu nedenlerden dolayı bütün bu eziyetlerden ve kaynakların devamlı olarak aynı amaçlar için harcanmasını önlemek için sürekli olarak kendi kendini tanıyan, güncelleyen ve hızlı cevap veren bir sistemin kurulmasının uygun olacağı düşünülmüştür.

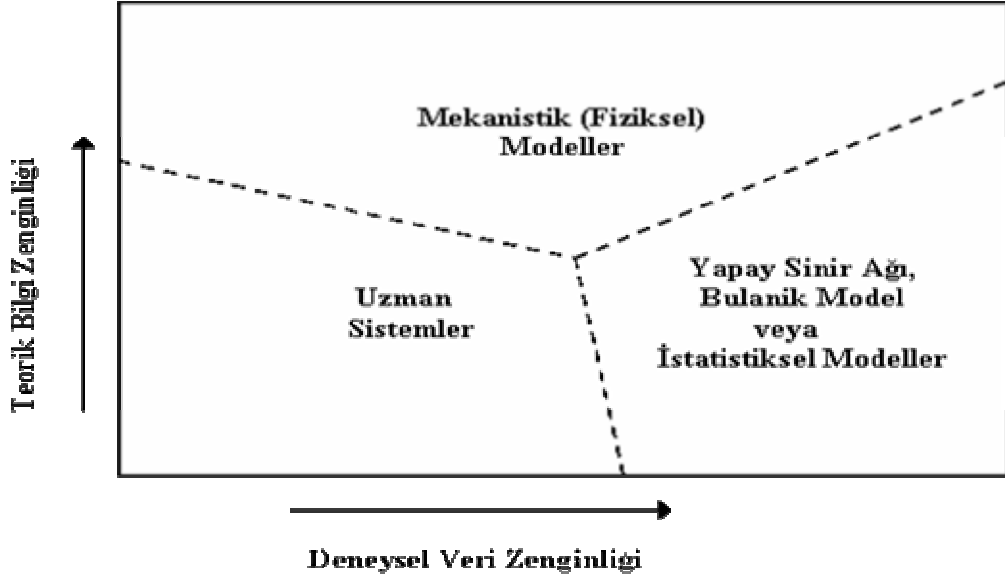
1.1. Neden Mekanistik Yaklaşım Değil

Genel anlamda, deneysel verilerin ve teorik bilginin ağırlığına bağlı olarak üç çeşit sistem modelleme yaklaşımı vardır.

- Mekanistik (fiziksel) modelleme
- İstatistiksel veya matematiksel (yapay sinir ağları ve bulanık modelleme) modelleme
- Uzman sistemler

Şekil 1.1'den de kolayca anlaşılacağı gibi üzerinde çalışılacak konu hakkındaki teorik bilginin iyi olduğu durumlarda mekanistik (fiziksel) modelleme, deneysel verilerin fazla olduğu durumlarda ise istatistiksel modelleme veya matematiksel (yapay sinir ağları gibi) modelleme kullanılır. Modelleme konusunda her iki durumunda yetersizliğinde yani hem teorik bilgi eksikliği hem de deneysel verilerin az olduğu şartlarda uzman sistemlerden yararlanılır.

Literatürde kurutma süreçlerinin modellemeleri ile ilgili birçok çalışma vardır. Literatürdeki çalışmaların çok büyük bir çoğunluğu mekanistik modelleme üzerine yapılmıştır. Teorik bilginin ağırlıklı olarak kullanıldığı bu çalışmaları genelde bu süreçlerle uğraşan uzmanlar ve akademisyenler yapmışlardır. Her bir farklı süreç için yapılan çalışmalar sonuçlandırılırken hem maddi hem de zaman olarak büyük harcamalar yapılması için doğası gereğidir.



Şekil 1.1: Sistem tanımlama yaklaşım kriterleri

Bir akışkan yataklı kurutucuda mekanistik bir modelinin oluşturulması için birçok faktör dikkate alınmalıdır. Kurutucunun büyüklüğü, yatak yüksekliği, yatakta kuruyan granüllerin dağılımları gibi faktörler yanında kurutulan üründe fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri de detaylı olarak bilinmelidir. Ayrıca granül ile beslenen hava arasındaki kütle ve enerji aktarımları da dikkatlice irdelenmelidir. Bütün kurutucuların özellikleri de birbirlerinden farklı olduğu için bütün kurutma tiplerini kapsayan genel bir modelleme yaklaşımı yoktur. Her kurutucunun yapısı farklı olduğundan oluşturulan modellerde birbirlerinden farklılık gösterir. Bu çalışmada sadece kesikli akışkan yataklı kurutucu üzerinde durulacaktır.

Akışkan yataklı kurutucuların klasik modelleri, enerji ve kütle denkliği ile kinetik ve denge kanunlarını temel alır. Denge eşitlikleri, gerçek duruma göre az veya çok bazı sadeleştirmeler ve kabuller yapılarak çözümler. İlerleyen bölümlerde bu konuda yapılmış çalışmalarda eksikliklere değinilecektir.

Kesikli akışkan yataklı kurutma sürecinin fiziksel modellenmesi üzerine yapılmış en son ve en önemlilerinden sayılacak iki çalışma vardır. Kesikli akışkan yatakta mekanistik yaklaşımla yapılmış ekmek mayası kurutması ile ilişkili en son literatür

çalışmalarını iki ana başlık altında toplanabilir. Bu fiziksel modellerden ilki homojen modelleme diğeri ise heterojen modellemedir.

Birinci fiziksel model yaklaşımı (homojen model), sistemdeki toplam kütle ve enerji denklikleri temeline dayanmaktadır. Sistemdeki enerji ve kütle denkliği sonucu sisteme giren ve sistemden çıkan kütle ve enerji hareketleri sonucu sistemde biriken kütle ve enerji prensibine dayanır. Biraz önce bahsedildiği gibi bu tür çalışmalarda genellemeler, kabuller ve ihmaller yapılmaktadır. Nitekim homojen model yaklaşımında da denklikler kütle ve enerji denklikleri oluşturulurken bazı varsayımlar yapılmıştır. Bunlardan ilki kurutmanın atmosferik basınç altında yapıldığı kabulüdür. Yani akışkan yatağın tamamında basıncın aynı olduğu, basınç farkının olmadığıdır. Diğeri bir kabul sistemin adiabatik olduğudur. Sistemde kesinlikle bir enerji kazancı ve kaybı yoktur. Üçüncüsü ise akışkan yatak içinde ürün ile havanın tam olarak karıştığı yani ekmek mayası partikülleri ile hava arasında sıcaklık farkının bulunmadığıdır. Bu şekilde ürün ve havanın tam olarak karıştığı, hava ile partiküller arası ısı değişiminin tam olduğu kabul edilir. Ayrıca süreç adiabatik olup sistemde enerji kaybı yada kazancı bulunmamaktadır. Bu modeldeki ekmek mayası veya akışkan yatak sıcaklığı birinci dereceden adi diferansiyel denklem olarak tanımlanmış ve çözülmüştür. Kütle denkliğinde bir miktar mayanın sistemden beslenen hava ile uzaklaştırıldığı düşünülmüş ve birtakım parametreler ile sistem modeline dahil edilmiştir (Türker ve diğ., 2006 ve Kanarya, 2002).

İkinci fiziksel model yaklaşımı (heterojen model), Schoeber (1976) tarafından ortaya atılmış difüzyon modelini temel almıştır. Bu yaklaşımda kurutma sırasında partiküllerin yapılarındaki fiziksel değişimler ve partiküllerin geometrik şekilleri dikkate alınmıştır. Bu iki ayrıntı yani partiküllerdeki fiziksel deformasyonlar ve geometrik şekilleri homojen modellemede ihmal edilmişlerdir (Yüzgeç ve diğ., 2006).

Araştırma yapan insanlar ve gruplar fazla zaman harcayarak mekanistik modeller oluşturmaktadırlar. Fakat sonuçta bunlar bilimsel bir altyapıya sahip olsalar da bu çalışmaların uygulamalarında verimli sonuçlar elde edilemeyebilmektedir. Bunun nedenleri olarak bu çalışmalar sırasında yapılan genellemeler, kabuller, ihmaller ve

konu hakkındaki bilgi eksiklikleri sayılabilir. Bu kadar zaman ve para harcanarak oluşturulan modellerin uygulamalarda verimli bir şekilde kullanılamaması büyük bir kayıptır.

Çalışmalar sırasında hata yapılması veya sorunlarla karşılaşılması gayet doğaldır. Yapılan maddi harcamalar bir şekilde telafi edilebilir. Fakat harcanan zamanın maalesef telafisi yoktur.

Bütün çalışmalara farklı bir bakış açısı ile yaklaşılması her zaman yeni ufuklar yaratır. Kimyasal süreçlerin tanımlanması ile uğraşan kişilere bu çalışmalarında süreç kontrolcü olarak farklı yöntemlerle katkıda bulunmanın faydalı olacağı düşünülmektedir. Bir süreç kontrol mühendisi olarak kullanım amacı ne olursa olsun bir kimya sürecini tanımlarken bu süreci bir kimyacı veya kimya mühendisi kadar detaylı bilmemiz söz konusu olamaz. Dolayısıyla bu süreçleri süreç kontrolcü olarak farklı yöntemler ile tanımlanması gerekmektedir.

Akışkan yataklı ekmek mayası kurutma sürecini tanımlanmasının, deneysel verilerin çok olduğu endüstriyel bir işletmede istatistiksel veya matematik modelleme yöntemleri ile yapılmasının hem araştırma maliyeti hem de araştırma zamanı açısından mekanistik yaklaşımlardan daha iyi sonuç vereceği düşünülmektedir .

Endüstriyel süreçler devamlı üretim halinde ve sürekli çalışmaktadırlar. Nitekim bu çalışmada kullanılan ekmek mayası kurutma sürecinin üretim tesisinde günde onlarca kurutma yapılmakta ve bunun sonucunda da çok sayıda deneysel veri oluşmaktadır.

Biyokimyasal süreçler çok giriş – çıkışlı süreçlerdir ve birçok içsel parametre içermektedirler. Biyokimyasal süreçlerin karmaşıklığı bu tür süreçlerin tanımlanmaları önündeki zorluklardan biridir. Tanımlayabilmenin önündeki zorluğun diğer boyutu ise ölçümdür. Üniversitelerdeki derslerde, genelde süreç kontrol konularını ağırlık verilirken ölçüm konusuna hak ettiği ilgi gösterilmemektedir. Endüstride ve özellikle biyokimyasal süreçlerde ölçüm problemleri vardır. Biyokimyasal süreçlerde bazı parametreler hiç ölçülemezken bazı parametre ölçümleri de çok sağlıklı değildir. Bu ölçümsüzlükte bu tür sistemlerin tanımlanma

çalışmalarına negatif etki yapmaktadır. Doğru bir modelleme yapmak için yapılan deneyler sonucunda elde edilen ölçüm değerlerinin de hatasız ve güvenilir olması gerekir. Fakat endüstriyel boyutlardaki çalışmalarda bunu her zaman garanti etmek hayalperestliktir.

Kurutma süreçlerinin daha iyi tanımlanabilmesi, kontrol edilebilmesi ve kalite – maliyet en iyilemesi (optimizasyonu) yapılabilmesi için süreç modellemesinin doğru bir şekilde yapılması gerekmektedir. Biyokimyasal süreçler son derece karmaşık yapılara sahip olduklarından tanımlanmalarında ciddi zorluklar içerirler.

Yapay sinir ağı (YSA) yaklaşımı ile belirli kabuller yapılmadan modellenmeleri oldukça güç olan doğrusal olmayan ve karmaşık sistemlerde, tam ve kesin olmayan bilgiler ışığında oldukça tutarlı sonuçlar elde edildiği için son yıllarda mevcut denetim yöntemlerinde de tercih edilmeye başlanmıştır (Kosko, 1992). Uyarlanabilir ağ yapısı temelli bulanık çıkarım sisteminden yararlanarak bulanık mantık modellemesi de bu tarz sistemlerin tanımlanması için gayet uygun olacağı düşünülmektedir.

Yapay sinir ağları, doğrusal olmayan ve karmaşık sistemlerin modellenmesinde gösterdiği başarı sebebiyle birçok alanda sıklıkla kullanılmaktadırlar. Yapay sinir ağı yapıları hakkında genel bilgiler (Haykin, 1999)'dan bulunabilir.

1.2. Çalışmanın Amacı ve İçeriği

Endüstriyel bir kurutma sürecinde mümkün olan en düşük seviyede enerji maliyeti ile en düşük seviyedeki kalite kaybının aynı anda sağlanması bu çalışmanın ana hedefidir. Ekmek mayası fermantasyonu sonucunda elde edilen ekmek mayasının (kuru madde seviyesi yaklaşık %33) istenen kuru madde seviyesine (yaklaşık %95-96) minimum enerji maliyeti ve maksimum kalite değeri ile ulaşılmak istenmektedir. Ekmek mayası fermantasyonu sonucunda elde edilen ekmek mayası %33'ler seviyesinde bir kuru madde değeri ile kurutma sürecine gelmekte ve 25 – 40 dk süreli bir kurutma işlemi sonucunda kuru madde değeri %95-96 seviyelerine

getirilmektedir. Ekmek mayası kurutma süreci, sıcak hava ile beslenen kurutma fırınlarında akışkan yatak ile yapılmaktadır.

Bu tez çalışmasında kesikli akışkan yataklı kurutma sürecinin modellenmesi, en iyilemesi ve kontrolü temel amaçtır. Uygulama ve deneyler endüstriyel boyuttaki kesikli akışkan yatakta ekmek mayası kurutma sürecinde yapılmıştır.

Bu çalışmada ilk olarak yapılmak istenen kesikli akışkan yataklı ekmek mayası kurutma sürecinin, süreç ve kalite modellerinin oluşturulmasıdır. Yapay sinir ağı ve bulanık mantık modellemesine yönelmenin amacı, daha önce yapılmış mekanistik yaklaşımlardaki (homojen ve heterojen modelleme) uygulamaya yönelik eksikliklerdir. Bu eksiklikler ileride ilgili bölümlerde detaylı bir şekilde açıklanacaktır. Bu modelleme çalışması için mümkün olduğunca akışkan yataklı kurutma sürecinin genelini kapsayacak bir deney matrisi seti hazırlandı. Bu deneyler yapılarak veri setleri oluşturuldu. İlk aşamanın sonunda sistemi hem tanımlayan hem de yeni yapılan endüstriyel üretim verileri ile kendini devamlı güncelleyebilen çekirdek bir kontrol ve sistem tanımlama yapısı oluşturuldu. Akışkan yataklı kurutma fırınının süreç ve kalite modelleme çalışmaları yapay sinir ağı (Artificial neural network) ve uyarlanabilir ağ yapısı temelli bulanık çıkarım sistemi, ANFIS (Adaptive network fuzzy inference system) yapılarından yararlanılarak bulanık mantık modelleme (Fuzzy logic modeling) yaklaşımları ile gerçekleştirildi. Bu yapı sayesinde endüstriyel boyutta kesikli akışkan yataklı ekmek mayası kurutma sürecinin temel çıkış parametreleri öngörüldü.

İkinci aşamada bu matematiksel modelleme yapısı ile mekanistik yaklaşımın fiziksel denklemleri birleştirilerek akışkan yataklı kurutma sürecinin önemli parametreleri hibrid modelleme ile hesaplandı.

Çalışmanın üçüncü ve son aşamasında ilk iki aşamada tanımlanan süreç ve kalite modelleri yardımıyla kesikli akışkan yataklı kurutma sürecinin kontrol yapısı oluşturuldu ve kalite – maliyet en iyilemesi yapıldı. En iyileme (Optimizasyon) probleminin çözümünde genetik algoritmalarından yararlanıldı. En iyileme işlemi ile

elde edilen sonuçlar akışkan yataklı kurutma fırınının ayar parametrelerine doğrudan müdahale edilerek sistem kontrolü sağlandı.

Çalışmada yapılmak istenenler, yaklaşım, amaçlar ve düşünceler birkaç ana başlık altında özetlenirse;

- 1) Çok giriş – çok çıkışlı olması yanında karmaşık ve çok sayıda birçok içsel parametre ve denklem içeren doğrusal olmayan kurutma süreçlerinin otomatik olarak tanımlanmasını yapılabilecek ve bu tanımlamanın kendini devamlı olarak güncelleyebilecek bir yapının kurulması mümkün müdür?
- 2) Eğer mümkün ise akışkan yataklı kurutma sürecinin otomatik olarak tanımlanmasını yapacak bu yapı nasıl kurulur ve hangi elemanlardan oluşur?
- 3) Bu yapının sistemi kontrol altında tutarken aynı zamanda kendini nasıl güncelleyecek?
- 4) Yapay sinir ağı ve bulanık mantık modelleri ile mekanistik yaklaşımlar birleştirilerek hibrid bir modelleme ve kontrol yapısı oluşturulabilir mi? Cevap evet ise nasıl yapılır?
- 5) Kalite, maliyet ve süreç modellerini oluşturan bu yapının içine sistem en iyilemesi (kalite – maliyet dengesi) yapacak ve sistemin optimal değerlerini hesaplayacak ve bu hesaplara göre süreci optimum şartlarda kontrol edecek bir işlem birimi nasıl oluşturulur ve yapıya adapte edilir?

1.3. Konu Hakkındaki Literatür Çalışmaları

Biraz öncede bahsedildiği gibi bu konudaki modelleme çalışmalar iki başlık altında toplanabilir. Fiziksel denklemlerden yararlanan mekanistik yaklaşım ve yapay sinir ağı ve bulanık mantık modelleme yaklaşımlarının kullanıldığı matematiksel modelleme. Bu yaklaşımlarda yapılan belli başlı bazı çalışmalara kısaca değinilirse; İlk olarak mekanistik yaklaşım ile yapılan çalışmaları incelenecek olursa,

Türker ve diğ. (2006) kesikli akışkan yatakta küçük parçalı ekmek mayası kurutmasını sadece kütle ve enerji denklıklarına göre oluşturdukları fiziksel modeller ile incelemiştirler. Modellerin doğruluklarını gerçek ölçüm verileri ile sınımlamışlardır. Fakat özellikle ikinci kurutma evresinde benzetim sonuçları ile ölçüm değerleri arasında bir miktar sapmalar görülmektedir.

Akışkan yataklı kurutucunun kütle – enerji denklıkları ve kinetik – denge eşitlikleri klasik (fiziksel denklemler) modelleri oluşturulmuştur. Özellikle denge eşitlikleri çözümlenirken gerçek sistemlere kıyas ile az ve veya çok bazı sadeleştirmeler yapılmıştır. Örnek olarak, Viswanathan (1986) yatak içindeki sıcaklık ve diğler özelliklerin aynı olduğunu ve yataktaki gazın yatakla termal ve kimyasal dengede olduğunu kabul etmiştir. Ülkü ve Uçkan (1987) ise kesikli akışkan kurutucuyu homojen bir sistem gibi modellemiştirler; kabarcıkları ihmal etmişler ve katı parçacıkların içindeki içsel difüzyon oranının bütün kurutma hızlarındaki adımların kontrol edildiğini varsaymışlardır.

Akışkan yatak modellemesinde birçok yazar iki faz teorisini kullanmışlardır (Lai ve diğ., 1986, Donsi ve Ferrari, 1992 ve Zahed ve diğ., 1995). Bu modellerde gazın yatak içinde iki yolla aktığı ve yatağın iki fazlı formda olduğu farz edilmiştir: biri yoğun faz olan emülsiyon fazı ve diğeri gaz kabarcıkları tarafından seyreltilmiş faz formudur. Bu iki faz arasında kütle ve ısı transferi olduğu varsayılmıştır.

Hoebink ve Rietema (1995), akışkan yataklı kurutucular içindeki transfer olaylarını, aralarında boşluklar olan gazlardan oluşan faz ve katı parçacıklar içeren üçüncü faz olarak isimlendirilen seyreltilmiş faz ile açıklamışlardır. Bu yaklaşım üç fazlı model olarak da düşünülebilir. Bu modellerde bazı şartlar altında geçerli birçok sadeleştirmeler yapılabilir fakat bu gerçek süreçteki çoğu durumu tarif etmeyebilir (Lai ve diğ., 1986).

Birçok ayrıntılı model (örn. iki ve üç fazlı modeller) geniş bir uygulanabilirliğe sahiptir fakat gaz ve katı parçacık özellikleri ve kap geometrileri hakkında çok fazla veri ve parametre bilgisine ihtiyaç duyarlar. Çoğu yazar (Zahed ve diğ., 1995, Panda ve Rao, 1993) birçok gerekli parametre için deneysel ve tahmin edilebilen metotları

genel olarak tanıtmışlardır. Bununla birlikte bu parametrelerin bir veya daha fazlası bazı özel durumlarda kabaca bilinmekte veya yaklaşık olarak tahmin edilebilmektedir.

Panda ve Rao (1991) makalesi, akışkan yataklı kurutma süreçlerinin modellenmesi ile ilgili çalışmaların gözden geçirildiği bir çalışmadır.

Quirijns ve diğ. (1998) kurutma sırasında ürünün nem kesrini, sıcaklığını ve kalitesi üzerine fiziksel modeller geliştirmişlerdir.

Liou ve Bruin (1981ab) difüzyon katsayısı ile ürünün nem kesri arasındaki bir ilişki kurarak bir difüzyon modeli üzerinde çalışmışlardır.

Heinrich ve diğ. (2004) akışkan yatakta kurutulan ürünün nem kesri değişiminin modellenmesi ve öngörülmesini kütle – enerji denklilikleri ile yapmışlardır.

Hadrich ve Kechaou (2004) kurutma süresince büzülen ürününün ısı ve kütle aktarım modelleri geliştirmiş ve gerçek deney verileri ile bu geliştirilen modelleri sınamışlardır.

Robbins ve Fryer (2003) kurutma sürecinde ürünün sıcaklık ve nem kesri modelleri oluşturmuşlardır. Çeşitli işletme şartlarında modelin benzetim çalışmaları yapılmıştır.

Parry (1985) tahıl kurutmasındaki kütle ve ısı transferlerinin fiziksel modellenmesi ile uğraşmıştır.

Kerkhof (1994) çalışmasında kurutma hızı hesaplanması üzerine yapılmış çalışmaları irdelemiş ve ölçek büyütme üzerinde durmuştur.

Kerkhof (2000) biyolojik ürünlerinin akışkan yatakta kurutulması sırasında üründe meydana gelebilecek değişiklikler ve ürün üzerindeki kalite etkileri anlatmıştır.

Luyben ve diğ. (1982) kurutma süreçlerinin modellenmeleri üzerinde çalışmış ve kurutmanın ürün üzerindeki kalite etkisi üzerinde durmuşlardır.

Temple ve Van Boxtel (1999abc) toplam enerji denkliği prensibinden yola çıkarak fiziksel modeller oluşturmuş ve bu modeli akışkan yatakta çay kurutarak sınamıştır. Kütle ve enerji denklileri, modellerin temelini oluşturur. Kurutma hızının öngörülmesi üzerinde de durmuşlardır.

Van Boxtel ve Knol (1996), kurutma süresinde ürün nem kesri değişimleri ile kalite arasında ilişki kurmaya çalışmışlar ve en uygun nem kesri profilini seçimi üzerinde çalışmışlardır.

Coumans (1987) kurutma süreçlerindeki nem difüzyonunun değişimlerini inceleyen çalışmalar yapmıştır.

Coumans (2000) madde partiküllerinin kurutma modelleri üzerinde çalışmıştır..

Kanarya (2002) akışkan yataklı kurutma fırınında ekmek mayasının kurutulma sürecini kütle ve enerji denkliğinden yararlanarak homojen modellenmesi üzerine bir tez çalışması yapmıştır.

Lievens (1991) *Lactobacillus plantarum* bakterisi üzerinde çalışarak çeşitli parametrelere bağlı olarak genel bir ürün kalitesinin kurutma sırasındaki değişim modeli ortaya atmıştır. Bu fiziksel modelde ürün kalitesindeki değişimin ürün sıcaklığı ve ürünün nem kesrine bağlı olduğu belirtilmiştir.

Yapay sinir ağı ve bulanık model yapılarından faydalanılarak doğrusal olmayan ve karmaşık yapılara sahip kurutma süreçlerinde birçok modelleme ve parametre öngörü çalışmaları yapılmıştır.

Chen ve diğ. (2001) yapay sinir ağı ile farklı işletme koşullarına göre optimum işletme şartlarını bulacak bir yapı üzerinde çalışmışlardır.

Olmos ve diğ. (2004) optimal çalışma şartlarını yapay sinir ağı ile belirlemeye çalışmışlardır. Süreç parametrelerini, birbirleri ile etkileşim halinde bulunan, ayrı yapay sinir ağı yapıları ile belirlemişlerdir.

Mittal ve Zhang (2003) psikometrik grafikleri yapay sinir ağına öğreterek psikometrik öngörü modeli elde etmişlerdir.

Palancar ve diğ. (2001) yapay sinir ağı ile sürekli akışkan yatak kurutucuyu incelemişlerdir. Kurutulan ürünün nemini ve sıcaklığını öngörmüşlerdir. Eğitim verileri (Lai ve diğ., 1986) modelinden elde edilmişlerdir.

Myhara ve Sablani (2001) çeşitli meyvelerde sorpsiyon isotermlerini yapay sinir ağı kullanarak belirlemeye çalışmıştır. Su sorpsiyon modeli (GAB – Water Sorption Modeling) ile yapay sinir ağı sonuçları karşılaştırılmıştır.

Ciesielski ve Zbicinski (2001) hibrid yapay sinir ağını dan yararlanarak boyutsuz katsayıları (Re, Ar, H/d) girdi olarak kullanılarak akışkan yataklı kurutma sürecinde ısı transfer sabitlerini öngörmüştür.

Castellanos ve diğ. (2002) akışkan yataklı kurutucuda kurutulan ürününü nem kesrini yapay sinir ağı ile öngörmeye çalışmışlardır.

Jinescu ve Lavric (1995) sebasik asidin küçük parçalarının kurutulduğu sabit yatak kurutucusunu yapay sinir ağı ile modellemiştir.

Ramesh ve diğ., (1995) yapay sinir ağı yapısını pirinç kurutma sürecine uygulayarak nem kesrini öngörmüş ve sonuçları raporlamıştır.

Cubillos ve Reyes (2003) farklı çalışma şartlarında geliştirilmiş kurutma modelinden (GDM – Generalized Drying Model) yararlanmıştır. Yapay sinir ağı ile havuç kurutmasını incelemiştir. Operasyonel değişkenlere ek olarak kurutma süresini de giriş parametresi olarak kullanılmıştır. Ürünün nem kesri öngörülme çalışılmıştır. Cubillos daha önce önerdiği geliştirilmiş kurutma modelinden yola

çıkılarak oluşturdukları yapıyı bu çalışmalarında kullanmışlardır (Cubillos ve diğ., 1997). Bu yapay sinir ağı yapısında gizli katman, iki katmanın birbirlerine paralel bağlanması ile oluşturulmuştur. Bu paralel katmanlardan biri doğrusal diğeri ise sigmoid fonksiyonunu içermektedir.

Farkas ve diğ. (2000a) değişik topolojik yapılardaki yapay sinir ağlarını maksimum sapma ve standart sapma kriterlerine göre birbirleriyle mukayese etmiştir. Kurutma modelinde önemli noktanın model doğruluğu ve model basitliğinin savunulduğu makalede farklı yapay sinir ağı topolojileri, çıkış değerlerinin farklı gecikme kombinasyonları ile ağın girişine uygulanarak elde edilmiştir.

Farkas ve diğ. (2000b) kurutma anında akışkan yatak içindeki malzemenin neminin öngörülmesi üzerine çalışmıştır. Yapay sinir ağından yararlanan Farkas, süreç parametrelerine çeşitli gecikmeler ekleyerek ağ girişine uygulamıştır.

Hernandez – Perez ve diğ. (2004) hava ile kurutmada gıda ürünlerinin nem transferini ve sıcaklıklarını modellemek ve öngörmek için yapay sinir ağı kullanmıştır. Modellerin benzetim sonuçlarını gerçek ölçümler ile karşılaştırarak modellerin tutarlılıklarını göstermişlerdir.

Mujumdar ve diğ. (2003) yapay sinir ağı modeli ile kurutma hızı değerlerini öngörmüşlerdir.

Parehariya ve diğ. (2002) yapay sinir ağını siyah çayın disorpsiyon izotermelerini ve denge nem kesrini modellemek için su aktivitesini öngörmüştür.

Bremner ve Poslethwaite (1998) kurutma sürecinin modellenmesi ve kontrolünü sistemin ölü zaman değerlerinin yüksekliği ve doğrusallıktan çok uzak olması nedeniyle bulanık mantık modeli ile yapmışlardır.

Islam ve diğ. (2003) yapay sinir ağı ile kurutma hızını Page denkleminde yararlanarak hızlı bir şekilde öngörmeye çalışmışlardır.

Moura ve diğ. (2004) kurutma işleminde bazı parametrelerin öngörüsünde yapay sinir ağından yararlanmışlardır.

Yapay sinir ağından kurutma kinetiğini açıklamak ve çeşitli kurutulmuş materyallerin kalite indeksini öngörmekte yararlanılmıştır (Trelea ve diğ., 1997 ve Kaminski ve Tomczak, 1999).

Watano ve diğ. (1997) akışkan yatakta doğrusal olmayan karmaşık fiziksel ilişkilere girmeden granüller için ölçek büyütme çalışması yapmıştır. Deneysel granül verilerinden yararlanarak bir yapay sinir ağı yapısı oluşturmuştur. Bu yapı yardımı ile öngördüğü sonuçları gerçek ölçüm değerleri ile karşılaştırmıştır.

Huang ve Mujumdar (1993) kağıt mendil için endüstriyel bir kurutucunun performansını öngörmek ve modellemek için üç katmanlı yapay sinir ağını kullanmıştır. Çok fonksiyonel verilerin regresyon analizine gerek duymadan yapay sinir ağının yapabildiğini göstermişlerdir.

Thyagarajan ve diğ. (1997) sıcak hava ile beslenen doğrusal olmayan bir kurutucu için yapay sinir ağı modeli geliştirmiştir. Eğitim için momentum faktörlü geri yayımlı algoritmadan yararlanmışlardır.

Balasubramanian ve diğ. (1996) akışkan yataklı bir kurutucuyu modellemek için üç katmanlı yapay sinir ağı kullanmıştır. Bu makalede yapay sinir ağı kurutulmuş katının çıkıştaki sıcaklık ve nemi öngörmüştür. Eğitim için gerekli veriler benzetim ile edilmiş ve sonuçlar yapay sinir ağının kurutucu operasyonunu başarıyla öngörebilmiştir. Topoloji ve transfer fonksiyonu doğrulukla seçilmiş ve iyi bir eğitim süreci elde edilmiştir.

Cubillos ve diğ. (1996) kurutma süreçlerinin hibrid – nöral modellemesi konusunda çalışma yapmışlardır.

Zbincinski ve diğ. (1996) hibrid – nöral modellemeyi akışkan yataklı kurutucularda uygulamışlardır.

Jumah ve Mujumdar (2005), uyarlanabilir özelliğe sahip ANFIS yapısını anlatarak bir kurutma sisteminde uygulama yapmışlardır.

Sistem ve süreç modellemesinde yine karmaşık ve doğrusal olmayan sistemler için çok uygun olan bulanık modeller çok sık kullanılmaktadır. Bu bulanık modellerin oluşturulmasında ANFIS (adaptive network fuzzy inference system) yapıları sıklıkla kullanılır (J. S. R. Jang., 1993).

Ayrıca genetik algoritmalar ile yapılan bazı en iyileme çalışmalarına bir göz atılırsa,

Akışkan yataklı kurutma fırınlarından çok daha karmaşık yapıya sahip olan bioreaktörlerin en iyilemesi genetik algoritmalar ile yapılmıştır. Kesikli bioreaktörlerin optimal çalışması için gerekli besleme profillerine genetik algoritma tabanlı bir yapı ile karar verilerek başarı ile uygulamıştır (Sarkar ve Modak, 2003).

Maya kültürünün kesikli bioreaktördeki üretim sürecinde uyarlanabilir en iyilemesi ve üretilen hücre kütlelerini genetik algoritmalar ile maksimize edilmesini deneysel ve benzetimsel olarak yapmışlardır (Na ve diğ., 2002).

Genetik algoritma temelleri ve bu konu ile yapılmış bir çok çalışma incelenerek K.F. Man ve diğ. (1996) tarafından yayınlanmıştır.

Honda ve Kobayashi (2000) biyolojik ürünlerin üretildiği süreçlerde kullanılan bulanık mantık kontrol sistemlerini araştırmışlardır. Bu süreçlerden üç tanesi örnek olarak seçilerek incelenmiş, bu süreçlerde kullanılan diğer kontrol sistemleri ile bulanık mantık kontrol yapıları mukayese edilmiş ve sonuçları verilmiştir. Bulanık mantık kontrol edici sonuçlarının belirgin bir üstünlüğü raporlanmıştır.

Jang ve Sun (1995) nöral – bulanık mantık modelleme ve kontrol (ANFIS) konusunda kapsamlı bir çalışma yapmışlardır.

Kesikli bioreaktörün optimal kontrolü için ortaya çıkan global en iyileme problemi genetik algoritmalar yardımı ile çözümlenerek uygulaması yapılmıştır (Roubos, 1999).

Zhang ve diğ. (2002) pirinç kurutması için yapay sinir ağı modeli geliştirmişlerdir. Dört kurutma parametresini girdi olarak kullanarak altı tane performans indisini öngörmeye çalışmışlardır. Çeşitli yapay sinir ağı modelleri denemişlerdir. Model sonuçlarını deneysel veriler ile test etmişlerdir.

Genetik algoritmalar, doğrusal ve doğrusal olmayan bütün problemlerin çözümünde kullanılır (Michalewicz, 1994).

Yüzgeç ve diğ. (2006) kesikli akışkan yatakta kurutulan ekmek mayasının büzülmesinin dikkate alındığı heterojen modellemeyi yapmışlardır. Genetik algoritmalarından yararlanarak kurutma sisteminin doğrusal olmayan model öngörülü kontrolünü başarı ile gerçekleştirmişlerdir.

Quirijns ve diğ. (2000ab) ürün içindeki su ve sıcaklık değişimlerinin kaliteye etkisini incelemişlerdir. Kalite etkisi ve işletme maliyetleri üzerinde durarak optimum kurutma değerlerini bulmaya çalışmışlardır.

En iyileme problemlerinde analitik çözümlerin çoğu zaman karmaşık olmaktadır. Bu karmaşıklık nedeniyle sayısal arama algoritmaları problem çözümünde kullanılmaktadır. Bu arama yöntemlerinden biride son yıllarda çok popüler olan genetik algoritmalar (Goldberg, 1989)

Gıda süreçleri karmaşık doğaları gereği klasik kontrol teknikleri ile kontrol edilmeleri zor sistemlerdir. Zhang ve Litchfield (1993) sürekli tahıl kurutucusu için bulanık mantık kontrol edicisi tasarlamış ve sonuçları raporlamıştır.

En iyileme problemlerinde analitik çözümlerin çoğu zaman karmaşık olmaktadır. Bu karmaşıklık nedeniyle sayısal arama algoritmaları problem çözümünde kullanılmaktadır. Bu arama yöntemlerinden biride son yıllarda çok popüler olan genetik algoritmalar (Perez ve Carvalho, 2004).

1.4. Tez Organizasyonu

Yapılan bu çalışma sekiz bölümden oluşmaktadır:

Çalışmanın ikinci bölümünde, ekmek mayası, akışkan yataklı kurutucu süreçleri, ürün özellikleri, temel tanımlar ve denklemler anlatılarak çalışmanın yapıldığı süreç için gerekli bütün temel bilgiler verilecektir.

Üçüncü bölümde, en son yapılmış mekanistik çalışmalardan homojen ve heterojen model yaklaşımlarına kısaca değinilecektir.

Dördüncü bölümde, çalışmanın özünü oluşturan yapay sinir ağları, bulanık mantık, uyarlanabilir ağ yapısı temelli bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) ve genetik algoritmalar konularına sadece giriş yapılacaktır.

Beşinci bölümde, yapay sinir ağları ve uyarlanabilir ağ yapısı temelli bulanık çıkarım sisteminden faydalanarak bulanık model ile ekmek mayasının akışkan yataklı kurutma sürecinde hem kalite hem de süreç modellerinin uyarlanabilir olarak oluşturulması, bu iki yöntemle yapılan uyarlanabilir modellerin birbirleri ile mukayesesi ve önemli kurutma parametrelerinin bu modeller yardımı ile öngörülmesi detaylı bir şekilde anlatılacaktır.

Altıncı bölümde, yapay sinir ağı ve bulanık model ile kütle ve enerji denklğini tanımlayan fiziksel denklemler birleştirilerek uyarlanabilir hibrid yapı ile sistem modellenmesi ve parametrelerinin öngörülmesi konularına değinilecektir.

Yedinci bölümde, ekmek mayasının akışkan yataklı kurutma sürecindeki süreç ve kalite modellerinden yararlanarak sistem en iyilemesi genetik algoritmalar ile yapılması ve optimum işletme şartlarını (kalite – maliyet dengesi) çevrim içi olarak hesaplayacak ve sistemi kontrol edecek uyarlanabilir yapının oluşturulması anlatılacaktır. Bulanık mantık kontrol edici ile oluşturulan başka bir kontrol döngüsü en iyileme yapan kontrol yapısına bir alternatif olarak tanıtılacaktır.

Çalışmanın sekizinci ve son bölümünde, önceki bölümlerden elde edilen tüm sonuçlar, yapılar ve yaklaşımlar daha önce yapılmış çalışmalar ile bir bütün halinde ele alınacak, tartışılacak ve sonuçlar birbirleriyle mukayese edilecek ve bundan sonra yapılacak çalışmalar hakkında önerilerde bulunulacaktır.

2. KURUTMA SÜREÇLERİ ve AKIŞKAN YATAKLI KURUTUCU

Kurutma, ürünün içindeki suyun çeşitli yöntemlerle uzaklaştırılıp katı bir ürün elde etme sürecidir. Çok çeşitli kurutucu tipleri ve kurutma yöntemleri endüstride yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu yöntemleri detaya girmeden sadece başlıklar halinde yazacak olursak; doğrudan (contact), ısı yayınlı (convective), radyasyon, dielektrik, dondurarak (freeze), osmotik ve akışkan yataklı kurutmadır. Bu çalışmada kesikli akışkan yataklı kurutucu ve bu kurutucuda kurutulan ekmek mayası incelenmiştir. Bu nedenle bu bölümde kurutma süreçlerinin temelleri, kesikli akışkan yataklı kurutma süreçleri, biyolojik ürünlerin kurutma süreçleri ve modellemesi detaya girmeden sadece fikir vermek amacıyla kısaca anlatılacaktır.

2.1. Kurutma Sürecinin Temelleri

Kurutma süreçlerinin temel hedefi, katı üründeki suyun (nemin) uzaklaştırılmasıdır. Ürün içersindeki nem; bağlı nem ve bağlı olmayan nem olarak iki ayrı gruba ayrılmaktadır. Katı içinde sıvı halde hapsedilmiş olarak bulunan neme bağlı nem denir. Bağlı nemin buhar basıncı saf suyunkinden daha azdır. Bağlı nemin katı içerisinde aşırı miktarda bulunması durumundaki fazla neme de bağlı olmayan nem adı verilir. Nemli bir katı, kurutma sürecinde eş zamanlı olarak iki süreç meydana gelir; dış etkenlerin etkin olduğu süreç ve iç etkenlerin etkin olduğu süreç.

Madde yüzeyindeki bağlı olmayan suyun buhar olarak uzaklaştırılması bazı parametrelere bağlıdır. Bu parametreler; sıcaklık, hava nem değeri, havanın akış hızı, madde yüzeyi özellikleri ve basınçtır. Bu parametreler dış etkenlerin etkin olduğu süreçtir.

Katı içindeki nemin (bağlı su) hareketi katının fiziksel yapısına, sıcaklığına ve nem kesrine bağlıdır ve iç etkenlerin etkin olduğu süreç olarak tanımlanır.

Maddenin taşıdığı kuru madde ile suyun oranı nem kesri (moisture content) olarak ifade edilir (Strumillo ve Kurda, 1986). Nem kesri iki temelde tarif edilir: kuru temel (dry basis) ve yaş temel (wet basis):

$$\text{kuru temel; } X = \frac{W_y}{M_y} \quad (2.1)$$

$$\text{yaş temel; } X = \frac{W_y}{M_t} \quad (2.2)$$

Burada X nem kesri [kg/kg], W_y maddenin taşıdığı nem kütlesi [kg], M_y maddenin taşıdığı katı kütlesi [kg], M_t ise maddenin toplam kütlesidir [kg]. Bazen nem kesri yüzdelenilerek de kullanılabilir. Bazen de hacimsel nem kesri kullanılır. Eğer V_{su} maddenin taşıdığı nemin hacmi [m^3] ve V_{top} maddenin toplam hacmi [m^3] ise, hacimsel nem kesri aşağıdaki gibi olmaktadır:

$$X_v = \frac{V_{su}}{V_{top}} \quad (2.3)$$

Bu çalışmada nem kesri kuru madde temelli olup nem kesri yüzdelenilerek kullanılmamıştır.

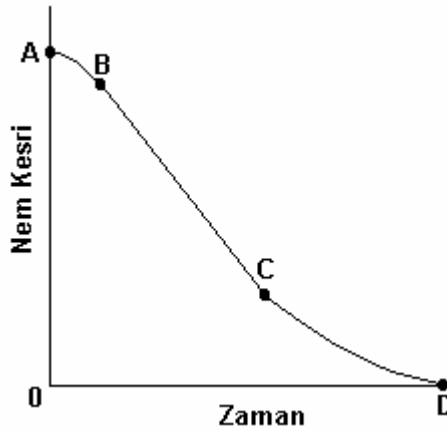
Maddeyi çevreleyen havadaki su buharı ile madde içerisindeki nemin denge durumuna gelmesi haline “denge nem kesri” veya “minimum nem kesri” adı verilir. Denge durumuna gelmesi ile teorik olarak maddenin kurutulması sona erer. Maddenin bütün boşluklarının su ile dolması, “maksimum nem kesri” olarak adlandırılır. Kurutma sürecinde öncelikle madde doymuş yüzeyinden buharlaşma ile suyunu havaya verir. Doymuş yüzey azalır ve en sonunda madde granülünün iç bölgelerinden su kaybetmeye başlar.

2.2. Kurutma Periyotları

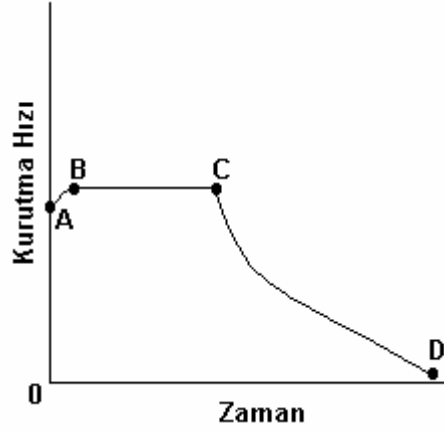
Nem kesrinin zamana bağlı değişim diyagramı Şekil 2.1’de gösterildiği gibidir. Kurutma sürecinde kurutulan ürün, öncelikle neme doymuş kendi yüzeyinden en sonunda ise iç bölgelerinden su kaybeder. Nem kesrinin zamana göre türevi “kurutma hızı” olarak tanımlanır. Kurutma hızının zamana bağlı diyagramı Şekil 2.2’de gösterilmiştir. Kurutma süresince bir çok farklı safhalar bulunduğundan, kurutma süreci çok akıcı bir süreç değildir.

Şekil 2.1, Şekil 2.2 ve Şekil 2.3’de görülen A – B bölümüne “Isınma Periyodu”, B – C bölümüne “Sabit Hız Periyodu” ve C – D bölümüne ise “Azalan Hız Periyodu” olarak adlandırılır. Azalan hız periyodu sırasında madde yüzeyi tamamen doymamış hale gelirse kurutma hızı diyagramı Şekil 2.3’da gösterildiği gibi olur. Bu durumda C – D arası “Birinci Azalan Hız Periyodu”, D – E arası ise “İkinci Azalan Hız Periyodu”dur. İkinci azalan hız periyodunda kurutma hızı kontrolü madde içi nem hareketine bağlıdır.

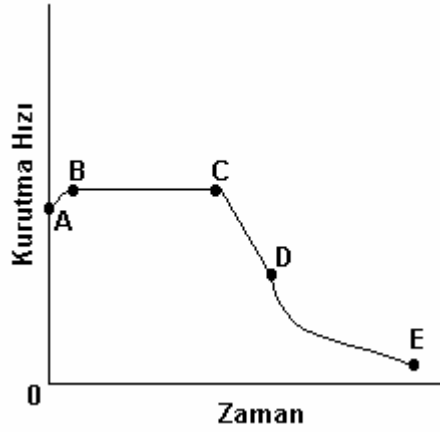
Kurutulan maddenin su verebilme kapasitesi ve havanın su alabilme kapasitesi su uzaklaştırmada darboğazlardır ve belirleyici unsurlardır.



Şekil 2.1: Nem kesrinin zamana göre değişimi



Şekil 2.2: Kurutma hızının zamana göre değişimi



Şekil 2.3: Kurutma hızının zamana göre değişimi

Kurutma sırasındaki sabit ve azalan hız periyotlarından ve bu periyotlar boyunca akışkan yatak ve üründe meydana gelen olaylar kısaca maddeler halinde yazılırsa; (i) madde içindeki su hareketleri, madde yüzeyindeki nem miktarının doymuş durumunu sabit tutar, (ii) madde yüzeyine etki eden ısı miktarı, kurutma hızını belirleyen bir faktördür, (iii) madde yüzeyindeki su buharlaşarak yüzey çevresindeki havaya geçer, (iv) bu geçiş boyunca madde yüzey sıcaklığı sabit kalır, (v) bu sıcaklığın sabit kalması kütle ve ısı aktarım hızlarının birbirlerini dengelemesinden kaynaklanır. Ürüne ısı konveksiyon ile aktarılıyorsa ve başka ısı alış – veriş de yoksa ürünün yüzey sıcaklığı yaş termometre sıcaklığı olarak adlandırılan bir denge sıcaklığında sabit kalır.

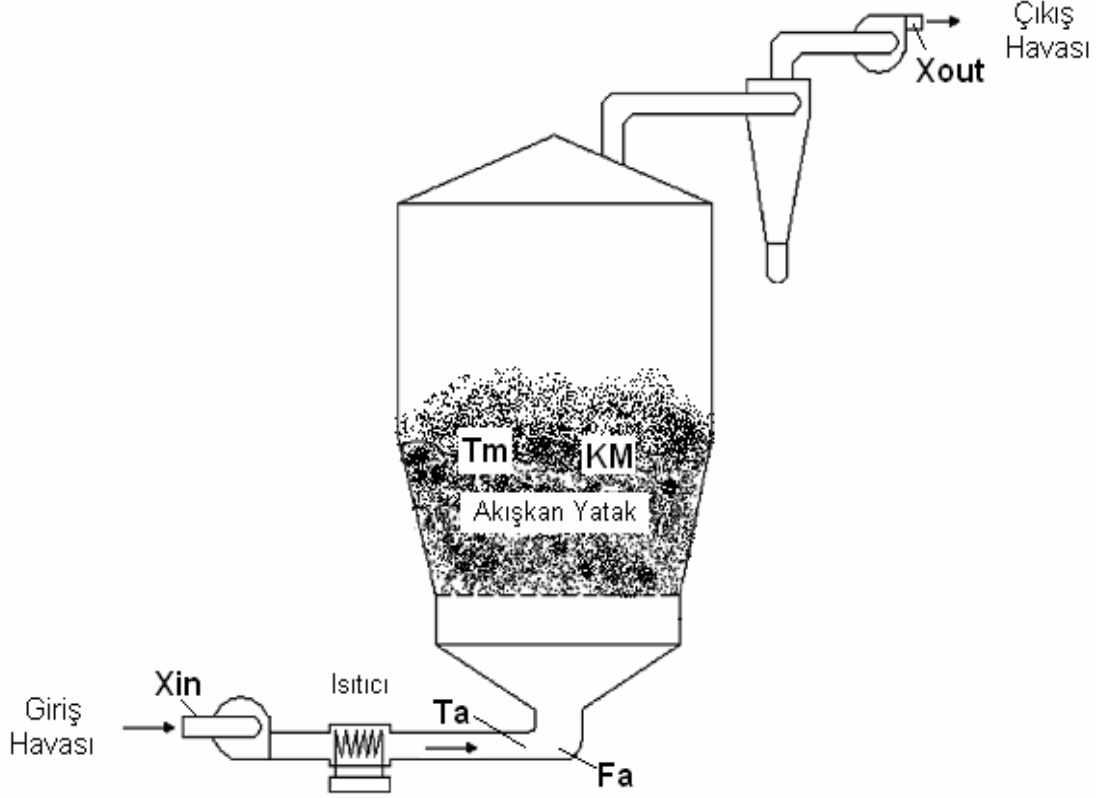
Bu mekanizma genelde kurutulan maddenin tipinden tamamen bağımsızdır. Konveksiyon dışında maddeye ekstra bir ısı aktarımı var ise maddenin yüzey sıcaklığı yaş termometre sıcaklığını geçer. Fakat bu sıcaklık saf suyun kaynama noktasından daha düşük bir değerdir. Bütün bu olaylar kurutulan maddenin cinsine, tipine, şekline vs. bağlı değildir. Sabit kurutma hızını etkileyen faktörleri; (i) madde ile hava yüzeyleri arasındaki sıcaklık ve nem değerleri, (ii) ısı ve kütle aktarım katsayıları, ve (iii) kurutulan madde yüzeyi şeklinde sayabilir. Sabit kurutma hızını sadece dış etkenler belirler. Bu safhada etkin olan havanın su alabilme kapasitesidir.

İkinci evre olarak da adlandırılan azalan hız periyodunda, kurutulan maddedeki serbest suyun bitip ürün gözenekleri içindeki bağlı suyun uzaklaştırıldığı safhadır. Bu safhada ise kurutma hızını maddenin su verebilme kapasitesi belirler. Kurutma hızı serbest suyun uzaklaştırıldığı evreden daha düşüktür. Bu evrede doymamış yüzey nemi ile ürün içi nem miktarları ve hareketleri etkilidir. Madde yüzeyinde kısmen nem açısından doymamış bölgeler mevcuttur fakat madde yüzeyinde tamamen doymamış olmayan durum söz konusu olursa azalan hız periyodunun ikinci kısmı oluşur. Bu durumda kurutma hızı tamamen madde içi su hareketlerine bağlı olarak değişir.

2.3. Akışkan Yataklı Kurutucu ve Kurutulan Ürünlerin Kurutma Davranışları

Akışkan yataklı kurutucunun basit olarak Şekil 2.4'de gösterilmiştir. Belirli bir sıcaklıkta ve debide beslenen hava ile kurutucu içindeki ürün akışkanlaştırılarak kurutulmaktadır. Biyolojik ürünler kurutmaya karşı farklı tepkiler verirler. Kurutma eğrileri, bir kurutma sırasında ölçülen çıkış değişkenlerinin zamana bağlı değerleri ölçülüp diyagrama çevrilme işlemi ile belirlenebilir. Örnek bir kurutma eğrisi Şekil 2.5'de gösterilmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi, kritik nem kesri değerine kadar partikül yüzey nemi buharlaşarak kurutucu havaya aktarılır. Maddenin daha düşük nem kesri değerlerinde süreç, partikül içindeki nemin difüzyonu (ürünün su verebilme kapasitesi) ile kontrol edilir ve dolayısıyla kurutma hızı düşer. Kurutulan üründe istenen nem kesri değerine ulaşabilmek için uzun zaman beklemek gerekebilir. Ürün sıcaklığı başlangıçta nem buharlaştırılması sebebiyle düşerek yaş

termometre sıcaklığında sabitlenir. Kritik nem kesrinden sonra ürün sıcaklığı yaş termometre sıcaklığını aşarak besleme havasının sıcaklığına yaklaşmaya başlar.

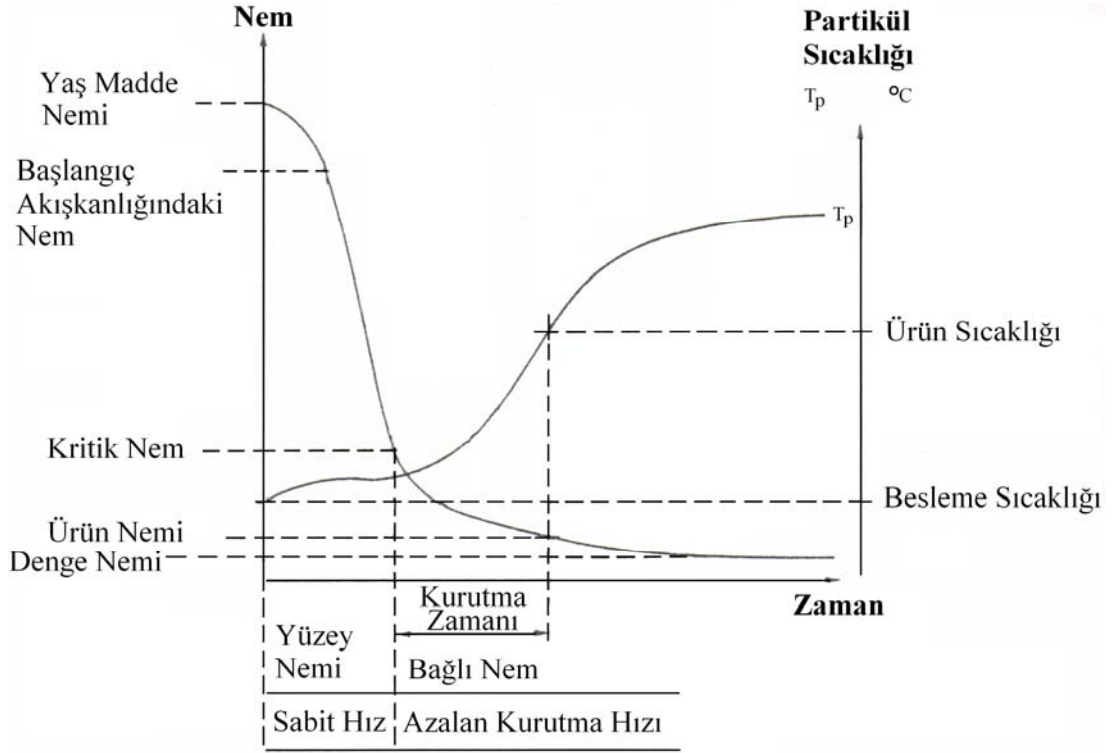


Şekil 2.4: Akışkan yataklı kurutma süreci

Kesikli akışkan yataklı kurutma süreçlerinde, sisteme beslenen hava çabuk doygunluğa ulaşıyorsa ısı ve nem değişimlerinde sınırlı bir değişim olur. Kütle aktarımına karşı iç direnci zayıf olan maddeler için geçerli olan kurutma zamanı, birim alandaki yatak kütlesi ile doğru ve gaz hızıyla da ters orantılıdır. Kurutma havasının maksimum sıcaklığı da kurutulan maddenin ısıya karşı duyarlılığına bağlıdır. Maksimum sıcaklık aşıldığında, partiküllerin fırın içindeki hava dağıtıcı ızgara üzerinde kümelenmesine bu kümelenmede akışkanlığın engellenmesine neden olur.

Akışkan yatağın oluşması için gerekli minimum hava besleme hızı deneme – yanılma ile belirlenebilir. Belirli bir hızın altındaki değerlerde oluşan akışkan yatak homojen olmaz ve büyük partiküllerin akışkanlaşmayıp fırının altında kümelenmeleri görülür. Besleme havasının hızı arttırıldığı zaman partiküllerin bulunduğu hacmin üst ve alt

noktaları arasındaki basınç farkı da yükselir. Bu fark, yataktaki partikül ağırlığının yatak yüzeyine oranına eşit oluncaya kadar artmaya devam eder. Bu noktada bütün partiküller yukarı doğru çıkan havanın içinde askıda kalırlar. Besleme havasının hızı çok arttırılırsa partiküller hava ile birlikte yatağı terk ederler (Kanarya, 2002).



Şekil 2.5: Kurutma parametreleri ve sıcaklık eğrisi (Kanarya, 2002)

2.4. Ekmek Mayasının Kurutulması

Ekmek mayası ısıya duyarlı bir biyolojik üründür. Ekmek mayasının kurutulmasında genelde akışkan yataklı kurutucular kullanılmaktadır (Trivedi ve Jacobson, 1986 ve Strumillo ve diğ., 1988).

Mayanın yaklaşık %7 – 10 arasındaki nem kesirlerinde bağlı olmayan nemin hemen hemen tamamı ile bağlı nemin bir bölümü uzaklaştırılmıştır. Nem kesirleri daha düşük olduğunda hücre içi bağlı nemin uzaklaşmaya olan direnci yüksektir. Bu sebeple, kurutma sürecinin son aşamasında en fazla hücre zarları ve biyopolimerler üzerinde zarar meydana gelir. Bu esnada hücre zarları ciddi değişikliğe uğrarlar. Zar içi yağ moleküllerinin yapıları da bozulabilir. Kurutma süreci, zar üzerinde

çıkıntılarının oluşmasına sebep olur ve bu bölgelerdeki yırtılmaları artırır. Nemlendirme sürecinde ise hücre zarının koruma özelliği zarar görür. Bu sonuç ise hücre içi elektrolitlerin, karbonhidratların, amino asitlerin, nükleotidlerin, makro moleküllerin ve çeşitli enzimlerin dışarı çıkmasına sebep olur (Kanarya, 2002).

2.5. Biyolojik Ürünlerin Kurutulması

Ürünlerin kurutulmasını sadece ısı ve kütle aktarım süreçleri olarak görmek çok doğru bir yaklaşım olmaz. Kurutulan ürün biyolojik bir canlı olunca ürün kalitesi önemli bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Endüstride ve doğada çok çeşitli mikrobiyolojik ürünler bulunmaktadır. Bu mikrobiyolojik ürünlere vitaminler, antibiyotikler, enzimler, mayalar, küfler, besi maddeleri, zehirler, protein konsantreleri ve amino asitler örnek olarak verilebilir. Kurutma süreçlerinin özellikle mikrobiyolojik ve biyolojik ürünlerin kurutulmasında ciddi etkileri vardır. Kurutmaya karşı hassas olan mikrobiyolojik ürünlere enzimleri, bakterileri ve maya kültürlerini (Beker ve Rapoport, 1987) verebilir. Kurutma süreçlerinde kurutulan ürünlerin hangi özellikleri kaliteyi etkilemektedir? Ürün kalitesini bir çok etken olmasına karşın bu etkenlerden en önemlileri ürün sıcaklığı ve ürünün nem kesridir (Lievense, 1991 ve Kerkhof, 2000).

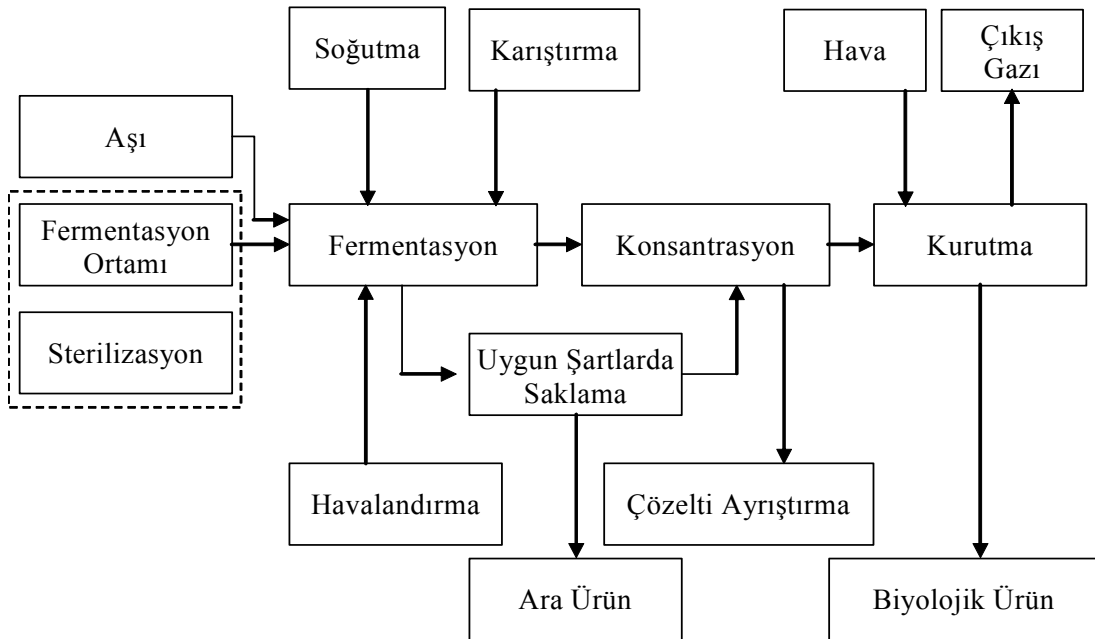
Kurutma sürecinde, ürünlerin hangi özelliklerinin kaliteyi etkilediğini bilmek gerekir. Örnek olarak, gıda sektöründeki mikrobiyolojik ürünlerde önemli olan canlı mikroorganizma sayısını en yüksek dereceye çıkarmaktır. Antibiyotik, amino asit ve enzimlerin kurutulmasında ise en yüksek aktivite seviyesinin sağlanmasıdır.

Bu bölümde öncelikle biyokimyasal süreç anlatılacaktır. Daha sonraki bölümlerde ise biyolojik ürünlerin kurutulması incelenecektir. Bu kurutma süreçlerinin fiziksel modelleme yaklaşımının irdelenmesinin ardından matematiksel modelleme yaklaşımına geçiş yapılacaktır.

2.5.1. Biyokimyasal süreç

Biyoteknoloji, biyolojik maddeler, mikroorganizmalar ve virüsler gibi bileşenler ile çeşitli endüstriyel ürünlerin elde edilmesidir. Biyokimyasal sürecin yapısı Şekil 2.6'da gösterilmektedir. Biyokimyasal süreç, çeşitli temel süreçlerin birleşiminden oluşmaktadır. Bu temel süreçlerden ilki ve en önemlisi fermantasyon sürecidir. Fermantasyon, çeşitli etkenlere bağlı karmaşık bir biyokimyasal üretim sürecidir. Bu etkenler, mikrobiyolojik, kimyasal, fiziksel ve mekanikselidir. Ayrıca, bu etkenler mikrobiyolojik kültürleri, katkıların miktarını ve tiplerini, kültür ortamının tipini, ortamın pH'sını, sıcaklığını, karışım derecesini, havalandırma tipini ve diğer pek çok etkenleri kapsamaktadır. Doğru bir fermantasyon sürecinde istenen yüksek ürün kalitesi ve verimliliğidir. Süreci etkileyen küçük bir değişim, ürün üzerinde belirleyici değişikliklere yol açar.

Üç tip fermantasyon mevcuttur. Bunlar; kesikli, yarı – kesikli ve sürekli fermantasyondur. Ticari üretimde en çok kullanılan ise yarı – kesikli fermantasyon sürecidir. Çünkü bu yöntem ile istenen ürün verimliliğini artırmak ve istenmeyen ikincil ürün oluşumunu engellemek mümkündür (Karakuzu, 2003).



Şekil 2.6: Biyokimyasal sürecin genel yapısı (Kanarya 2002).

Biyolojik ürünlerin korunması da fermantasyon kadar önemli diğer bir süreçtir. Biyolojik ürünler, içerdikleri yüksek nem miktarı nedeniyle uzun süre saklanamazlar. Fermantasyon sonrası ürünün uygun olmayan şartlar altında saklanması ürünün kalitesinin bozulmasına sebep olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı, fermantasyon sonunda elde edilen ürünler ayrıştırma, konsantrasyon ve kurutma gibi süreçlere tabi tutulurlar. Biyolojik ürünlerin sıcaklığa, kurutmaya ve saklama sırasında çevre şartlarına olan hassasiyetleri sebebi ile istenen kalite ve özelliklerini yitirmeyecek en uygun şartlar sağlanacak şekilde süreçler yürütülmelidir.

2.5.2. Biyolojik ürünlerin kurutma süreci

Kurutma süreçlerindeki hedef, biyokütle dışı çözelti suyu ve biyokütle içi yapısal suyun uzaklaştırılmasıdır. Biyolojik ürünlerdeki su miktarının, ürünlerin kalitesi ve kullanılabilirlik süreleri üzerinde negatif bir etkisi vardır. Fermantasyon sonrası elde edilen ürünün kuru madde oranı düşük, nem oranı ise yüksek bir seviyededir. Bu ürün saklanması için hiç uygun bir durum değildir. Bu sebeple, kurutma süreçlerinde asıl hedeflenmesi gereken, biyolojik ürünün nem oranının azaltılmasıdır. Biyolojik ürünlerin kurutulmasında dikkat edilecek ikinci bir husus da, kurutma sonunda elde edilecek ürün kalitesinin düşürülmemesidir. Suyun sahip olduğu role göre biyolojik ürünler iki gruba ayrılabilir:

1. Su, mikroorganizmaların yaşadığı bir ortamdır. Bakteri, maya, küf gibi maddeler. Bu maddeler, kurutma sürecine karşı yüksek dayanıklılık gösteremezler ve bu süreç esnasında nitelikleri açısından önemli ölçüde değişikliğe uğrarlar.
2. Su çözelti olup mikrobiyolojik değişikliklerin olduğu bir ortamdır. Antibiyotikler, amino asitler ve vitaminler. Bu maddeler, kurutma sürecine karşı yüksek seviyede dayanıklılık gösterirler ve bu süreç esnasında nitelikleri açısından çok az bir değişikliğe uğrarlar.

Bu iki biyolojik ürün grubunun kurutulması birbirinden farklıdır. Biyolojik ürünler kurutulurken bazı etkenlere dikkat edilmelidir. Ürün, uzun süre saklanabilecek şartlara sahip ve biyolojik aktivitenin (kalite) kaybolmayacağı bir nem kesri değerine

kadar kurutulmalıdır. Kaliteyi etkileyen faktörler kurutulan maddenin karmaşık yapısı ile de ilgilidir. Bu faktörler; ürünün tipi, yoğunluğu, kurutma parametreleri, su aktivitesi, pH ve oksijen gibi etkenlerdir (Kanarya, 2002).

Biyolojik ürünler, yüksek sıcaklığa duyarlılıkları açısından ikiye ayrılırlar.

1. Isıya dirençli olmayan biyolojik ürünler. Kültürler, enzimler, maya, mantarlar ve virüsler bu gruba girer.
2. Yüksek ısıya dirençli biyolojik ürünler. Amino asitler ve antibiyotikler bu gruba girmektedir.

Mikroorganizma hücrelerinde bağlı olmayan su, biyolojik ürünlerde ise bağlı su oranları daha yüksektir. Teorik olarak düşük sıcaklık ve yüksek kurutma zamanı biyokimyasal kurutma süreçleri için en uygun şartlar olarak kabul edilmektedir. Bu değerler, endüstriyel ortamlardaki gerekli koşullar göz önüne alınıp en iyileme ile belirlenebilir. Ayrıca, kalite fonksiyonu, biyolojik ürünlerin kurutulmasında kurutma zamanı, ürün sıcaklığı ve ürün nem kesrine bağlı olarak değişir (Lieveense, 1991):

$$Q = f(T_m(t), X(t)) \quad (2.4)$$

Burada $T_m(t)$ ürün sıcaklığını, $X(t)$ ürünün nem kesrini ve Q ise kaliteyi göstermektedir. Biyolojik ürünlerin kurutulmasında üründeki değişimler doğrudan kalite değerlerini etkiler. Bu sebeple, kurutma zamanı, sıcaklık ve nem kesri değerleri göz önünde bulundurulmalıdır.

2.5.3. Biyolojik ürünlerin kurutma sürecini modelleme

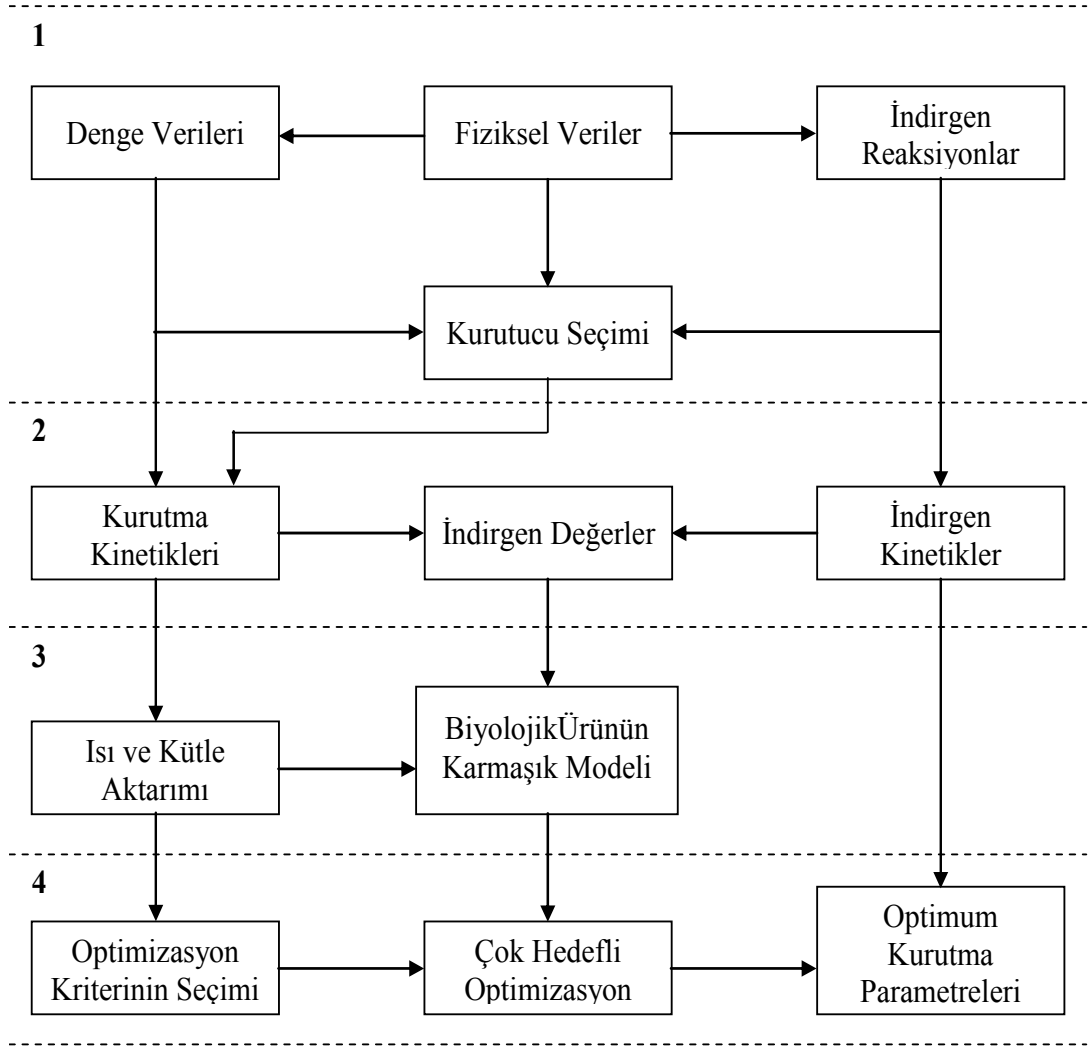
Biyolojik ürünlerde meydana gelen değişimler, kurutma sürecinin modellenmesinde ciddi sorunlara yol açabilirler. Öncelikle biyolojik ürün ile ilgili kalite kaybı denklemleri çıkartılmalıdır. Aşağıdaki iki temel problem göz önünde bulundurulduğunda makul sonuçlar elde edilebilir (Kanarya, 2002).

1. Bütün indirgen reaksiyonlar, ürün kalitesini etkilemektedir. Bu süreçlerin kontrol parametreleri ve değerleri bilinmelidir.
2. İndirgen reaksiyonların kinetikleri açık olarak tanımlandığında hücrelerin yaşam durumları, enzim ve proteinlerin bozunma şekillerine karar verilebilir.

Genel olarak biyolojik ürünlerin fiziksel modellenmesi dört ana başlıkta toplanabilir (Yüzgeç, 2005).

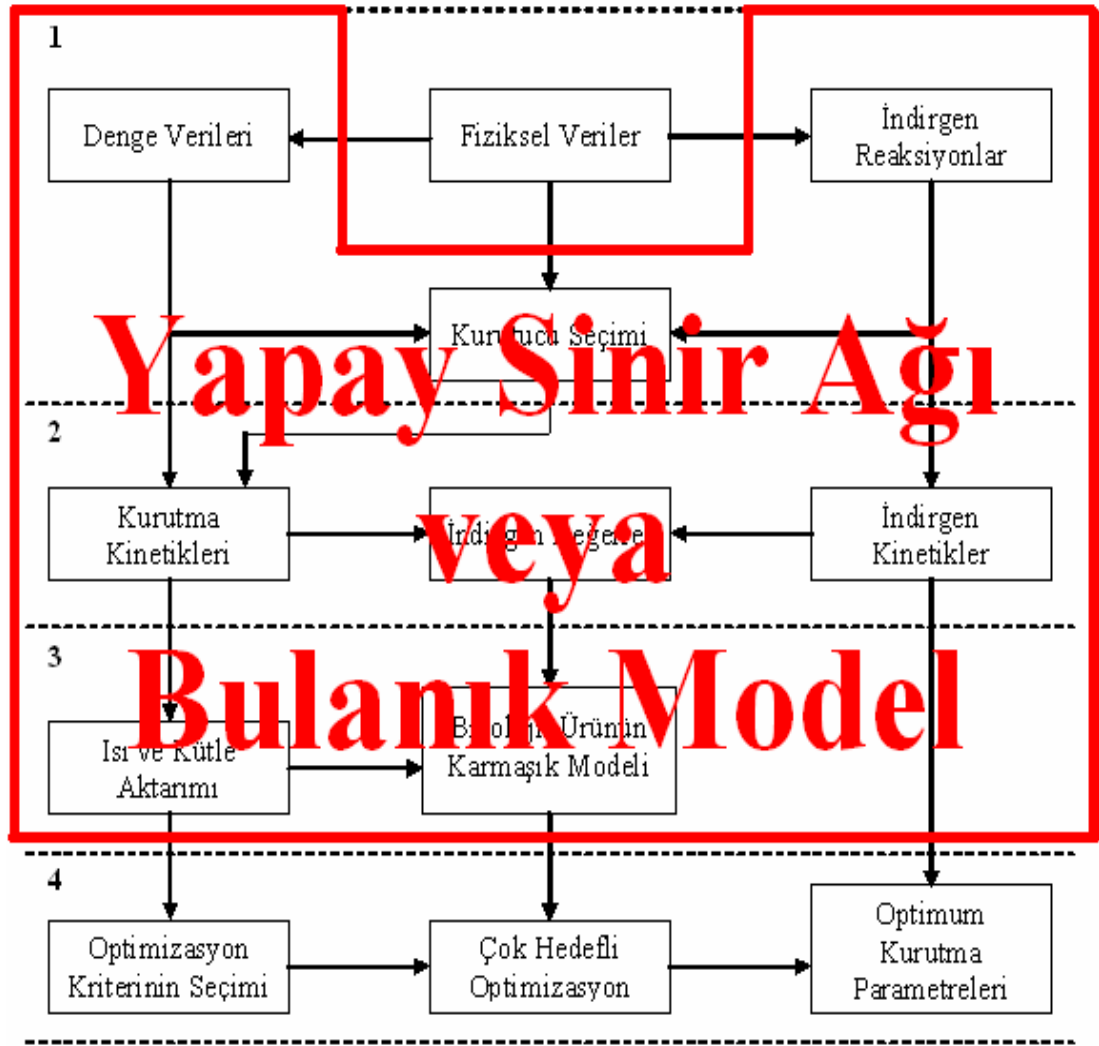
1. Biyokimyasal ürünlerin fiziksel ve kimyasal temel bilgileri, denge verileri çıkartılmalıdır. Bu sayede kurutma sürecinin seçimi ile maksimum kurutma sıcaklığı, minimum nem kesri değeri ve maksimum kurutma zamanı tahmin edilebilir.
2. Kurutma ve indirgen reaksiyonların kinetikleri eş zamanlı olarak incelenmelidir. Böylece, indirgen reaksiyonların değerlerinin bilinmesi ile ilgili ilişkiler kurulabilir.
3. Yönteme bağlı olarak kurutma dinamiklerine göre sürecin modeli ile beraber ısı ve kütle aktarım katsayıları belirlenmelidir.
4. Çok hedefli en iyileme analizi yapılmalıdır. Bu sayede, en uygun süreç parametreleri seçilebilir.

Bu analiz türü ürün kalitesini ve sürecin maliyetini de içermelidir. Su uzaklaştırma işleminde oluşan istenen ve istenmeyen değişimlerin bilinmesi ile kalite ve kurutma arasında bir ilişki kurulabilir (Kanarya 2002, Zimmermann ve diğ. 1985, 1987, Strumillo ve diğ. 1986). Fakat bu ilişkiler son derece karmaşıktır. Buraya kadar anlatılan kurutma sürecinin fiziksel modellemeye dayanan tanımlama yaklaşım mantığı Şekil 2.7'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7: Biyolojik ürünlerin kurutma sürecinin fiziksel modellemeye dayanan akış diyagramı (Kanarya 2002).

Bu çalışmada kullanılacak olan uyarlanabilir özelliğe sahip yaklaşımın akış diyagramı ise Şekil 2.8’de verilmiştir. Akış diyagramları arasındaki farktan da kolayca anlaşılacağı gibi hem akışkan yataklı kurutucu hem de kurutulan ürünün fiziksel denklemlerinin detaylarına girmeden sistemin bütünü modellenmeye çalışılacaktır. Kullanılacak modelleme yaklaşımı ile sistemin devamlı olarak kendini kolaylıkla güncelleyebilmesi sağlanacaktır.



Şekil 2.8: Biyolojik ürünlerin kurutma sürecinin uyarlanabilir temelli modellemeye dayanan akış diyagramı

Bu bölümde temel olarak akışkan yataklı kurutma süreci ve parametreleri kısaca anlatılmış, biyokimyasal süreçlerden fermantasyon ve kurutma işlemlerinden bahsedilmiş, son kısımda ise biyolojik ürünlerin kurutma süreçlerinin fiziksel modellere dayalı tanımlanmasına dair temel bilgiler verilerek bu çalışmada kullanılacak matematiksel yaklaşım ve fiziksel modelleme temelli yaklaşım ile arasındaki fark anlatılmaya çalışılmıştır. Bundan sonraki bölümde akışkan yataklı kurutma sürecinin fiziksel modelleme temelli tanımlanmasında kullanılan iki ana yaklaşım olan homojen ve heterojen modelleme kısaca anlatılacaktır.

3. HOMOJEN ve HETEROJEN MODELLEMeye GENEL BAKIŞ

Bu bölümde, daha önce yapılmış iki önemli mekanistik yaklaşımın ana başlıkları ve prensiplerine kısaca değinilecektir. Homojen model ve heterojen model olarak adlandırılan bu iki yaklaşımın dayandığı temeller ve aralarındaki farklılıklar anlatılacak ve takip eden bölümlerde önce modellerin hangi bileşenlerden oluştuğundan bahsedilecek ve modelin denklemleri oluşturularak önemli süreç parametrelerinin hesaplanmasıyla ilgili bilgiler verilecektir. Her iki yaklaşımda evrensel denklemler içermektedir. Model parametreleri kesikli akışkan yataklı kurutma sürecinden elde edilen verilerle belirlenmiş ve bu modeller akışkan yataklı ekmek mayası kurutma sürecine uygulanmıştır.

Her iki yaklaşımın ortak noktası model denklemleri ile öngörülen ürün sıcaklığı ve ürünün nem kesri diğer bir deyişle ürünün kuru madde değeridir.

Her iki model arasındaki fark ise, homojen modellemede akışkan yatakta kuruyan tüm granüllerin aynı boyutlarda olduğu ve ayrıca kurutma sırasında granüllerin hiçbir şekilde büzülmediği ve kurutma sırasında hacimlerinin sabit kaldığı varsayılmıştır. Heterojen modellemede ise, silindirik ve küresel granüllerde çalışılmış ve kurutma sırasında hacmin değiştiği düşünülerek büzülme denklemleri modelleme işlemine dahil edilmiştir.

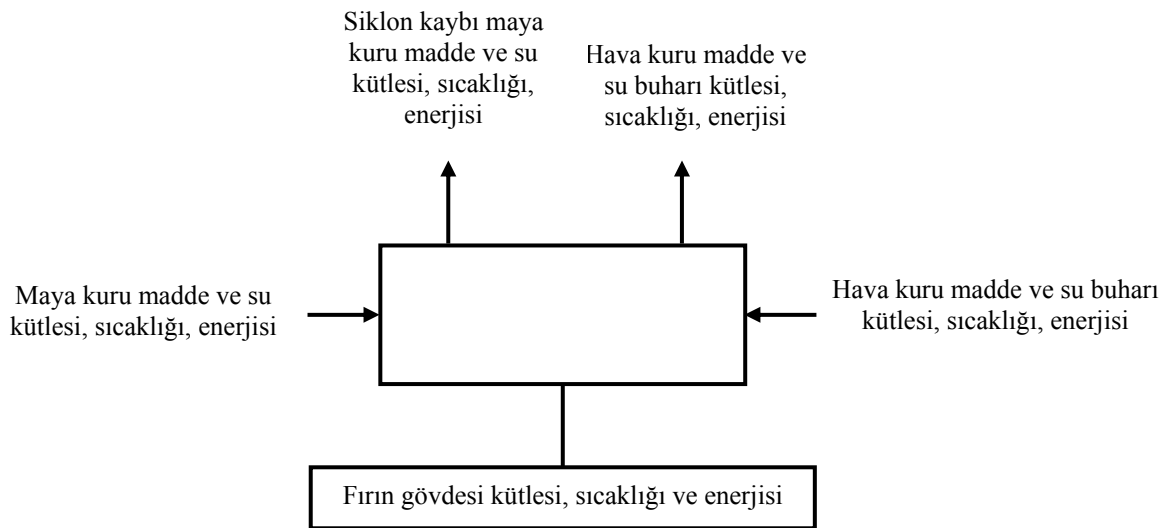
3.1. Homojen Model Yaklaşımı

Temple ve diğ.(1999abc) yaptığı çalışmalarını temel alarak akışkan yataklı ekmek mayası kurutma sürecine uygulanan bu yöntemde bazı kabuller ve varsayımlar yapılmıştır. Bu kabuller aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır (Kanarya, 2002).

1. Belirli bir zaman süresince fırına madde yüklemesi yapılır. Bu süre zarfında sistem içine madde giriş akışı bulunmaktadır ve bu akış miktarı ile yüklenen

maddenin sıcaklığı bilinmektedir. Yüklemeden sonra madde giriş akışı sıfırdır. İlgili sistem kesikli olduğundan, yüklemeden sonra süreç bitinceye kadar yüklenen madde fırın içinde kalır. Maddenin kuru madde bölümünün kütlesi bilinmektedir.

2. Kurutma sürecinin en başından sonuna kadar sisteme hava girişi bulunmaktadır. Giren havanın akış miktarı, sıcaklığı, bağıl ve mutlak nem oranları bilinmektedir
3. Sistemde hava birikimi olmamakta ve giren hava fırın bacasından çıkmaktadır. Kurutma süreci sebebiyle çıkan havanın sıcaklığı, bağıl ve mutlak nem oranları değişmiştir. Kuru hava debisi sabit kalmış ancak su buharı debisi kurutma süreci sırasında maddeden uzaklaşan suyun havaya geçmesi sebebiyle değişmiştir.
4. Hava fırından çıkarken bir miktar madde de kayıp olarak sistemden uzaklaşabilir.
5. Fırın malzemesi de modelin kurulduğu sistem içindedir.
6. Kurutulacak madde, kuru madde ve sudan oluşmaktadır. Süreç başında kuru madde oranı bilinmektedir. Süreç süresince maddeden su uzaklaştığı için kuru madde oranı değişecektir.
7. Kurutma aracı olan hava, kuru madde ve su buharından oluşmaktadır. Süreç süresince kuru madde bölümü sabit kalmakta ve su buharı bölümü maddeden buhar olarak uzaklaşan su ile birlikte değişmektedir.



Şekil 3.1: Termodinamik enerji denkleği giriş – çıkışların gösterimi (Kanarya, 2002)

Yukarıda belirtilen parametreler dışında sistemde bir enerji kaybı olmadığı varsayımı ile sisteme giren ve çıkan enerji toplamı, sistem içinde biriken enerjiye eşittir denilebilir. Bu yaklaşım termodinamik enerji denkligidir. Termodinamik enerji denkligi Şekil 3.1'deki gibi gösterilebilir.

3.1.1. Süreç modelinin oluşturulması

3.1.1.1. Akışkan yataklı kurutma sürecindeki bazı kabuller

Homojen model ile akışkan yatakta ekmek mayası kurutma sürecinde yapılan kabulleri sıralayacak olursak (Türker ve diğ., 2006).

1. Akışkan yatak atmosfere açık olup üstü atmosferik basınç altındadır (101.325 kPa).
2. Yatak boyunca basınç farkı çok küçük olup kurutma sabit basınçta gerçekleşir.
3. Kurutma fırınında enerji kaybı yada kazancı olmayıp süreç adiabatiktir.
4. Hava akışı, piston akış şeklinde olup mayanın tam olarak karıştığı farz edilir.
5. Partikül ve hava arası karşılıklı ısı değişimi tam olup havanın fırın çıkışındaki sıcaklığı yataktaki maya partiküllerinin sıcaklığına eşittir.
6. Yataktaki hava kütlesi ihmal edilebilir.
7. İncelenen kurutma sistemi kesikli bir sistem olup, belirli bir süre boyunca maya yüklemesi yapılmakta ve kurutma süresince mayanın kayba uğramadan sürecin yürütülmesi beklenmektedir. Ancak yapılan deneysel çalışmalarda, fırın siklonlarından bir miktar mayanın hava yoluyla sistem dışına taşındığı gözlenmiştir. Bundan dolayı sistemdeki mayanın kütlesinde bu yolla bir azalma olmaktadır ve uzaklaşan mayanın sıcaklığı, sistemdeki maya sıcaklığına eşittir.

3.1.1.2. Süreç modelinin denklemleri

Homojen model denklemleri kütle ve enerji denklikleri üzerine kurulmuştur. Kütle denkligi denklemleri ise kuru madde, su ve hava denkliklerinden oluşur. Son olarak enerji denkligi ise kütle denkligiden faydalanılarak gerçekleştirilir.

3.1.1.2.1. Kuru madde denkliği

Süreç kesikli olduğu için, fırına beslenen mayanın kuru madde içeriği yükleme boyunca artacak ve daha sonra değişmeyecektir. Yataktaki maya kütlelerinin değişimini ifade eden formül aşağıdaki gibidir

$$\frac{dM_{b,y}}{dt} = m_y^i \quad (3.1)$$

Burada $M_{b,y}$ yataktaki mayanın kuru madde toplam kütlelerini, m_y^i ise bu kütlelerin sisteme giriş hızını temsil eder. Ekmek mayasının fırın siklonlarından kayıp olarak uzaklaşabileceğinden denklem 3.1 aşağıdaki forma dönüşür

$$\frac{dM_{b,y}}{dt} = m_y^i - m_y^o \quad (3.2)$$

m_y^o , siklonlardan hava yoluyla uzaklaşan kuru maddenin sistemden ayrılma hızıdır.

3.1.1.2.2. Su denkliği

Sistemdeki su, mayayla birlikte sisteme gelen su ile kurutma aracı olan havanın su buharı olarak bünyesinde getirdiği suyun toplamıdır.

Yataktaki mayanın taşıdığı toplam su kütlelerinin ($W_{b,y}$) değişimi, sisteme beslenen mayadaki suyun akışı (w_y^i) ile buharlaşma yoluyla mayadan su uzaklaşma hızının (r_w) farkıdır.

$$\frac{dW_{b,y}}{dt} = w_y^i - r_w \quad (3.3)$$

Siklonlardan maya kaybı ile uzaklaşan su bu formüle dahil edilirse, Denklem 3.4 ile ifade edilen denge koşulu elde edilir.

$$\frac{dW_{b,y}}{dt} = w_y^i - r_w - w_y^o \quad (3.4)$$

w_y^o , siklonlardan hava ile sürüklenen mayanın taşıdığı suyun sistemi terk etme hızıdır.

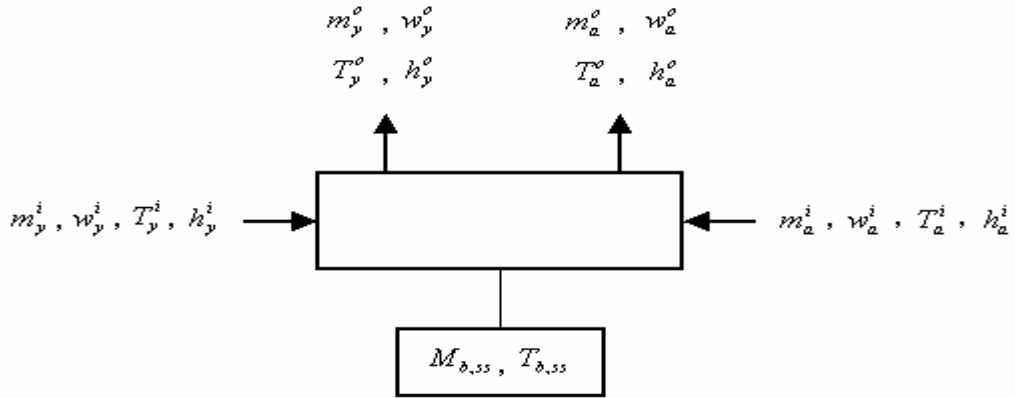
Havanın sisteme getirdiği su ile mayadan uzaklaşan su akışlarının toplamı, sistemden uzaklaşan havanın taşıdığı su akışını verir.

$$w_a^i + r_w = w_a^o \quad (3.5)$$

Burada, w_a^i sisteme beslenen havanın taşıdığı su buharının giriş hızı miktarı, w_a^o ise sistemden çıkan havanın taşıdığı su buharının çıkış hızı miktarıdır.

3.1.1.2.3. Hava denklığı

Akışkan yataktaki hava kütesinin ($M_{b,a}$) ihmal edilebilir olduğu varsayımı ve kurutma sürecinin yürütücü kuvvetleri içinde kuru havayı herhangi bir şekilde kayba uğratacak bir tepkimenin bulunmayacağı üzerine kurulan yaklaşım sebebiyle kuru hava giriş debisiyle (m_a^i) kuru hava çıkış debisi (m_a^o) birbirine eşit kabul edilebilir.



Şekil 3.2: Termodinamik enerji denklığinin giriş ve çıkış parametrelerinin gösterimi (Kanarya, 2002)

$$\frac{dM_{b,a}}{dt} = m_a^i - m_a^o \cong 0 \quad (3.6)$$

dolayısıyla

$$m_a^i \cong m_a^o \quad (3.7)$$

3.1.1.2.4. Enerji denkliği

Akışkan yataklı kurutma süreç modelinin ana denkliğini sistem üzerindeki enerji denkliği oluşturmaktadır. Şekil 3.2’de görsel olarak sunulduğu gibi, sistemde dört adet entalpi akış terimi mevcuttur: Hava ile giren enerji (h_a^i), maya ile giren enerji (h_y^i), hava ile uzaklaşan enerji (h_a^o) ve maya ile uzaklaşan enerji (h_y^o).

Bu terimlerin bileşimi, yataktaki enerji birikimine termodinamik açıdan denk olacaktır. Sürecin adiabatik olduğu varsayımına dayanılarak elde edilen bu yaklaşımda maya ve havadan oluşan yatak sistemindeki toplam enerji birikimi şu şekilde ifade edilebilir.

$$H = h_y^i + h_a^i - h_y^o - h_a^o \quad (3.8)$$

Kurutma sistemimiz kesikli olduğundan, eğer süreç boyunca herhangi bir maya kaybı bulunmasaydı ilgili enerji terimi sıfır olur ve Denklem 3.8, Denklem 3.10 gibi düzenlenebilir.

$$h_y^o = 0 \quad (3.9)$$

$$H = h_y^i + h_a^i - h_a^o \quad (3.10)$$

Denklem 3.8’de belirtilen enerji akış terimleri şu şekilde yazılabilir.

$$h_y^i = c_{p,y} m_y^i T_y^i + c_{p,w} w_y^i T_y^i \quad (3.11)$$

$$h_a^i = c_{p,a} m_a^i T_a^i + c_{p,wv} w_a^i T_a^i \quad (3.12)$$

$$h_y^o = c_{p,y} m_y^o T_y^o + c_{p,w} w_y^o T_y^o \quad (3.13)$$

$$h_a^o = c_{p,a} m_a^o T_a^o + c_{p,wv} w_a^o T_a^o \quad (3.14)$$

Yukarıdaki denklemlerde geçen, T_y^i giren mayanın sıcaklığını, T_a^i giren havanın sıcaklığını, T_y^o siklonlardan uzaklaşan mayanın sıcaklığını, T_a^o çıkan havanın sıcaklığını, $c_{p,y}$ mayanın özgül ısısını, $c_{p,w}$ suyun özgül ısısını, $c_{p,a}$ havanın özgül ısısını ve $c_{p,wv}$ su buharının özgül ısısını simgelenmektedir.

Denklem 3.5 ve 3.7 kullanılarak Denklem 3.14 şu şekilde ifade edilebilir.

$$h_a^o = c_{p,a} m_a^i T_a^o + c_{p,wv} (w_a^i + r_w) T_a^o \quad (3.15)$$

Bölüm 3.1.1.1'deki 5 ve 7 numaralı varsayımlara göre sıcaklık terimlerinin eşitliğini ifade eden aşağıdaki denklik yazılabilir.

$$T_a^o = T_{b,a} = T_{b,y} = T_y^o = T_{b,ss} = T \quad (3.16)$$

Burada, $T_{b,a}$ yataktaki havanın sıcaklığı, $T_{b,y}$ yataktaki mayanın sıcaklığı ve $T_{b,ss}$ ise yatağı çevreleyen paslanmaz çelik kabinin sıcaklığıdır.

Buna göre Denklem 3.13 ve Denklem 3.15 tekrar düzenlenebilir.

$$h_y^o = c_{p,y} m_y^o T + c_{p,w} w_y^o T \quad (3.17)$$

$$h_a^o = c_{p,a} m_a^i T + c_{p,wv} (w_a^i + r_w) T \quad (3.18)$$

Sistemdeki toplam enerji birikimi, yataktaki maya – hava terimlerindeki, fırını çevreleyen maddedeki ve aynı zamanda mayadan su uzaklaştırma işlemi için gerekli enerji değişim terimlerinin bileşimi olacaktır.

$$H = \frac{d(c_{p,y} M_{b,y} + c_{p,w} W_{b,y}) T_{b,y}}{dt} + \frac{d(c_{p,a} M_{b,a} + c_{p,wv} W_{b,a}) T_{b,a}}{dt} + \frac{d(c_{p,ss} M_{b,ss}) T_{b,ss}}{dt} + r_w \Delta H_v \quad (3.19)$$

$M_{b,ss}$ yatağı çevreleyen paslanmaz çelik kabinin kütlesi, $c_{p,ss}$ paslanmaz çeliğin özgül ısısı, ΔH_v buharlaşma gizli ısısı, $W_{b,a}$ yataktaki su buharı kütlesidir. Denklem 3.16 gereği sıcaklık terimleri tek bir değişkenle ifade edilebilir.

$$H = \frac{d(c_{p,y} M_{b,y} + c_{p,w} W_{b,y}) T}{dt} + \frac{d(c_{p,a} M_{b,a} + c_{p,wv} W_{b,a}) T}{dt} + \frac{d(c_{p,ss} M_{b,ss}) T}{dt} + r_w \Delta H_v \quad (3.20)$$

Bölüm 3.2.1’de verilen yataktaki hava kütlesinin ($M_{b,a}$ ve $W_{b,a}$) ihmal edilebilir olduğu varsayımı nedeniyle, bu terim denklemden çıkartılabilir.

$$H = \frac{d(c_{p,y} M_{b,y} + c_{p,w} W_{b,y} + c_{p,ss} M_{b,ss}) T}{dt} + r_w \Delta H_v \quad (3.21)$$

Yukarıdaki denklemde sıcaklık terimi, T , modelin öngöreceği ana değişkendir. $M_{b,y}$, $W_{b,y}$ terimleri sırasıyla Denklem 3.2 ve 3.4 gereği zamana bağlı değişkenlerdir. $M_{b,ss}$ ise Bölüm 3.3.2’de anlatılacak olan gerekler sebebiyle hava debisine bağlı bir değişken olup, hava debisinin de zamana bağlı değiştirilebileceği göz önüne alınırsa $M_{b,ss}$ terimi de zamana bağlı değişken olarak kabul edilebilir. Mayanın özgül ısı terimi olan $c_{p,y}$, kuru madde oranına bağlı bir değişkendir. Kuru

madde oranının zamana bağlı bir değişken olduğu düşünülürse, maya özgül ısısının da zamana bağlı bir değişken olduğu söylenebilir. Bu bilgiler ışığında Denklem 3.21'ün daha açık formu Denklem 3.22'de gösterildiği gibi olacaktır.

$$H = (c_{p,y}M_{b,y} + c_{p,w}W_{b,y} + c_{p,ss}M_{b,ss}) \frac{dT}{dt} + T(c_{p,y} \frac{dM_{b,y}}{dt} + M_{b,y} \frac{dc_{p,y}}{dt} + c_{p,w} \frac{dW_{b,y}}{dt} + c_{p,ss} \frac{dM_{b,ss}}{dt}) + r_w \Delta H_v \quad (3.22)$$

Böylece Denklem 3.8, Denklem 3.22, 3.11, 3.12, 3.17 ve 3.18'deki açılımlar kullanılarak aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$(c_{p,y}M_{b,y} + c_{p,w}W_{b,y} + c_{p,ss}M_{b,ss}) \frac{dT}{dt} + T(c_{p,y} \frac{dM_{b,y}}{dt} + M_{b,y} \frac{dc_{p,y}}{dt} + c_{p,w} \frac{dW_{b,y}}{dt} + c_{p,ss} \frac{dM_{b,ss}}{dt}) = c_{p,y}m_y^i T_y^i + c_{p,w}w_y^i T_y^i + c_{p,a}m_a^i T_a^i + c_{p,wv}w_a^i T_a^i - T(c_{p,y}m_y^o + c_{p,w}w_y^o + c_{p,a}m_a^i + c_{p,wv}(w_a^i + r_w)) - r_w \Delta H_v \quad (3.23)$$

Denklem 3.2 ve 3.4'deki türev terimlerinin karşılıkları yukarıdaki denklemde yerlerine konulursa ana model denklemimiz olan Denklem 3.24 elde edilmiş olur.

$$(c_{p,y}M_{b,y} + c_{p,w}W_{b,y} + c_{p,ss}M_{b,ss}) \frac{dT}{dt} + T(c_{p,y}(m_y^i - m_y^o) + M_{b,y} \frac{dc_{p,y}}{dt} + c_{p,w}(w_y^i - r_w - w_y^o) + c_{p,ss} \frac{dM_{b,ss}}{dt}) = c_{p,y}m_y^i T_y^i + c_{p,w}w_y^i T_y^i + c_{p,a}m_a^i T_a^i + c_{p,wv}w_a^i T_a^i - T(c_{p,y}m_y^o + c_{p,w}w_y^o + c_{p,a}m_a^i + c_{p,wv}(w_a^i + r_w)) - r_w \Delta H_v \quad (3.24)$$

Eğer aynı terimler bir tarafta toplanırsa model denklemi aşağıda belirtildiği gibi olur.

$$\frac{dT}{dt} = \frac{A - BT}{C} \quad (3.25)$$

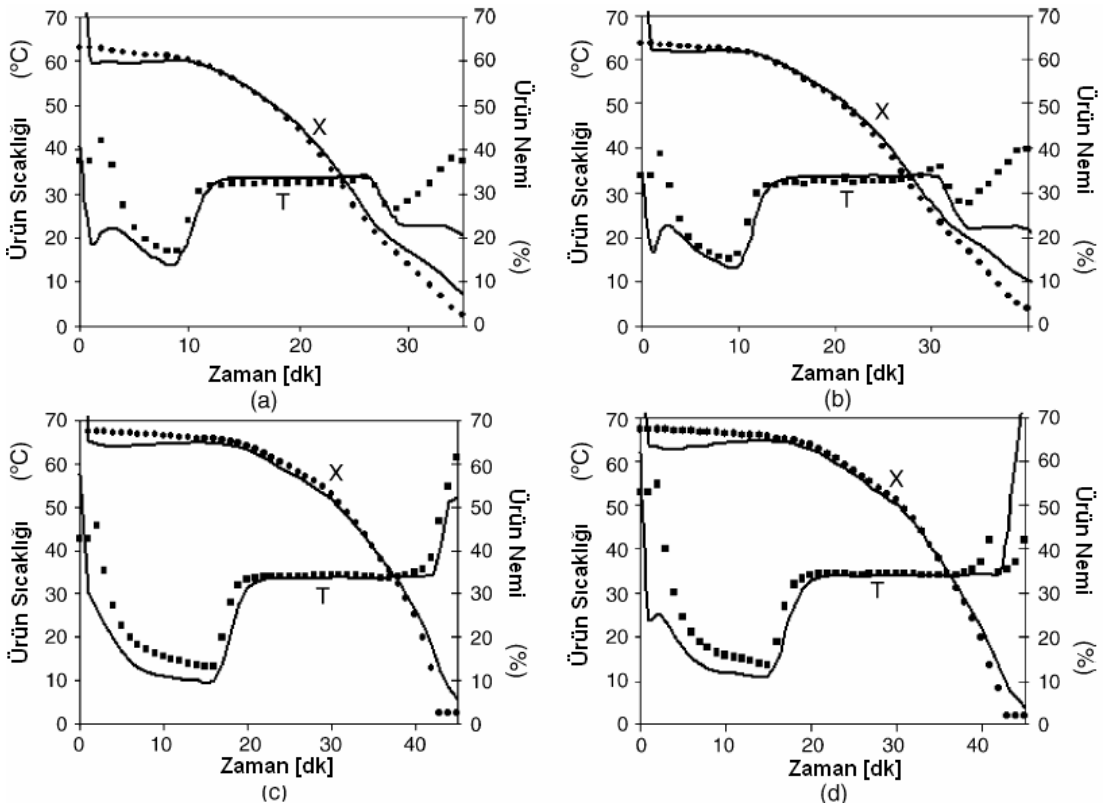
Denklem 3.25'deki A, B ve C parametrelerinin açılımı şu şekildedir

$$A = c_{p,y} m_y^i T_y^i + c_{p,w} w_y^i T_y^i + c_{p,a} m_a^i T_a^i + c_{p,wv} w_a^i T_a^i - r_w \Delta H_v \quad (3.26)$$

$$B = c_{p,y} m_y^i + M_{b,y} \frac{dc_{p,y}}{dt} + c_{p,w} (w_y^i - r_w) + c_{p,ss} \frac{dM_{b,ss}}{dt} + c_{p,a} m_a^i + c_{p,wv} (w_a^i + r_w) \quad (3.27)$$

$$C = c_{p,y} M_{b,y} + c_{p,w} W_{b,y} + c_{p,ss} M_{b,ss} \quad (3.28)$$

Bu konu hakkındaki daha detaylı bilgileri Türker ve diğ., (2006) ve Kanarya (2002)'de bulunabilir. Homojen modelleme sonuçları Şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3: Çeşitli ağırlıklarla yapılan dört farklı deneyin gerçek değerleri ve benzetim sonuçları. Düz çizgiler homojen model benzetim sonuçları ve noktalar gerçek ölçüm değerleri (Türker ve diğ., 2006)

Şekil 3.3'de ürünün nem miktarı ve ürün sıcaklığının benzetim sonuçlarının gerçek veriler ile karşılaştırmaları görülmektedir. Benzetim sonuçları gerçek verileri trend olarak izlese de sonlara doğru bazı sapmalar göze çarpmaktadır. Bu farklılıklarda yapılan bazı ihmallerin ve kabullerin bir sonucudur.

3.2. Heterojen Model Yaklaşımı

Heterojen model yaklaşımı homojen yaklaşımdan daha gerçeğe yakın, daha karmaşık ve daha iyi sonuçlar veren bir yaklaşımdır. Kuruyan ürünün büzülmesi de modelleme içine dahil edilmiştir.

3.2.1. Difüzyon modeli

Bu yaklaşımda Schoeber (1976) tarafından önerilen difüzyon modeli,

$$\frac{\partial(\rho_s X)}{\partial t} = \frac{1}{r^\nu} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^\nu \rho_s D \frac{\partial X}{\partial r} \right) \quad (3.29)$$

şeklindedir. Burada X granül içersindeki nem kesrini [kg_{su} / kg_{kuru}], ρ_s kuru maddenin kütle konsantrasyonunu [kg / m^3], D granül içindeki nemin difüzyon katsayısını [m^2 / s] ve son olarak ν geometrik faktörü gösterir. Granül silindirik bir yapıya sahipse $\nu = 1$, küresel ise $\nu = 2$ değerini alır. Difüzyon model denkleminin başlangıç ve sınır koşullarını tanımlayan denklemler tanımlanacak olursa, başlangıç koşulları

$$t = 0 \quad 0 \leq r \leq R_d \Rightarrow X(0, r) = X_0 \quad (3.30)$$

ve sınır koşulları ise

$$t = 0 \Rightarrow \left. \frac{\partial X}{\partial r} \right|_{r=0} = 0 \quad (3.31)$$

$$t > 0 \Rightarrow j_{m,i} = -D\rho_s \left. \frac{\partial X}{\partial r} \right|_{r=R_d} = k(\rho_{wv,i} - \rho_{wv,g}) \quad (3.32)$$

şeklinde tanımlanır. $j_{m,i}$ granül yüzeyindeki kütle akışını [$kg / m^2 s$], k kütle aktarım katsayısını [m / s], $\rho_{wv,i}$ ve $\rho_{wv,g}$ sırasıyla granül yüzeyindeki su buharı

konsantrasyonunu $[kg/m^3]$ ve yatak içindeki havanın su buharı konsantrasyonunu $[kg/m^3]$ gösterir.

3.2.2. Isı aktarım modeli

Kurutma anında iki değişken söz konusudur. Bunlardan ilki biraz önce anlattığımız nem kesri ve şimdi denklemleri ile açıklayacağımız sıcaklık parametresidir. Isı aktarım modeli yapı olarak difüzyon modeline benzerdir.

$$\frac{\partial(T(\rho_s c_{p,s} + \rho_m c_{p,m}))}{\partial t} = \frac{1}{r^v} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^v \lambda \frac{\partial T}{\partial r} \right) \quad (3.33)$$

Burada T sıcaklığı $[K]$, ρ_m maya içerisindeki su konsantrasyonunu $[kg/m^3]$, $c_{p,s}$ ve $c_{p,m}$ sırasıyla mayanın ve suyun özgül ısılarını $[J/kgK]$ ve λ ise maddenin termal iletkenliğini $[J/smK]$ gösterir. Isı aktarım modelinin başlangıç koşulları

$$t = 0 \quad 0 \leq r \leq R_d \Rightarrow T(0, r) = T_0 \quad (3.34)$$

ve sınır koşulları ise

$$t = 0 \Rightarrow \left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=0} = 0 \quad (3.35)$$

$$t > 0 \Rightarrow j_{T,i} = -\lambda \left. \frac{\partial T}{\partial r} \right|_{r=R_d} = \alpha (T(t, R_d) - T_{a,k}) + \Delta H_v |_{T(t, R_d)} j_{m,i} \quad (3.36)$$

Burada $j_{T,i}$ mayanın yüzeyindeki ısı akışını $[J/m^2s]$, α ısı transfer katsayısını $[J/sm^2K]$, $T_{a,k}$ akışkan yatağa beslenen giriş havasının sıcaklığı $[K]$ ve ΔH_v 'de suyun buharlaşma ısısını $[J/kg]$ gösterir.

3.2.3. Model parametreleri ve sabitler

Difüzyon denklemindeki difüzyon katsayısının, sıcaklık ve nem kesrine bağlı denklemleri aşağıdaki gibidir (Luyben, Liou ve Bruin, 1982 ve Yüzgeç, 2005)

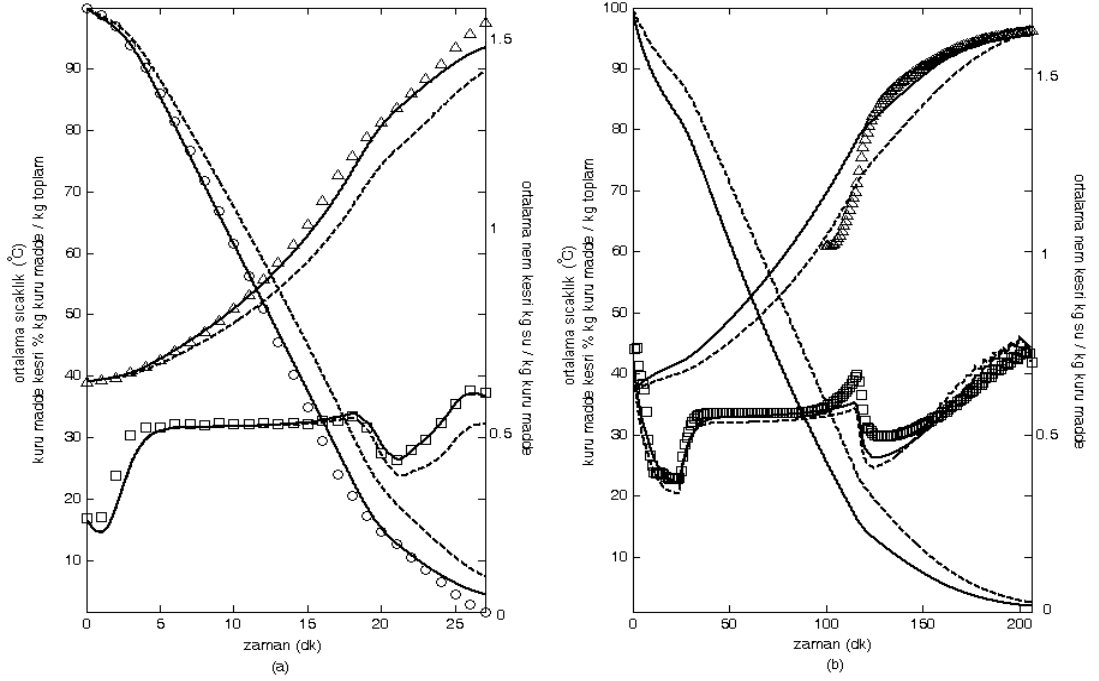
$$D = D_{ref} \exp \left[\frac{E_D}{R} \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T} \right) \right] \left[\frac{X - X_e}{X_0 - X_e} \right]^a \quad (3.37)$$

$$E_D = 80000 \left(\frac{1}{1+10X} + 0,147 \right) \quad (3.38)$$

Burada T_{ref} referans sıcaklığı [K], E_D difüzyon için aktivasyon enerjisini [J / mol], a boyutsuz üs katsayısını ve $R = 8,314J / molK$ gaz sabitini göstermektedir.

Heterojen modellemede kullanılan temel denklemler ve prensipleri bu bölümde kısaca anlatılmıştır. Ayrıca bu anlatılan modellere ek olarak silindirik ve küresel granüller ve bunların büzülmesi ile ilgili denklemlere daha fazla karmaşıklığa mahal vermemek için değinilmemiştir. Fakat büzülme ile ilgili denklemler hakkında detaylı bilgileri Yüzgeç (2005) tarafından hazırlanan tez çalışmasında bulunabilir. Heterojen yaklaşım sonucu elde edilen veriler Şekil 3.4'de verilmiştir.

Şekil 3.4'de görüldüğü gibi benzetim süresi boyunca heterojen model yaklaşımı ile elde edilen modelin benzetim sonuçları gerçek ölçüm değerlerine oldukça yakındır. Heterojen modelleme yaklaşımı daha karmaşık diferansiyel denklemler içermesi ve benzetim süresinin uzun olması gibi dezavantajlara rağmen homojen modellemeden daha başarılı sonuçlar vermiştir. Bu modelin oluşturulması oldukça uzun zaman ve ciddi bir bilgi birikimi ister. Karmaşıklığından gelen bu zorluklara rağmen elde edilen sonuçlar oldukça tatminkardır.



Şekil 3.4: Silindirik (a) ve küresel (b) granüllü ekme mayasının akışkan yataklı kurutma sürecinin granül tabanlı modeli ile homojen modelinin karşılaştırılması Endüstriyel veriler: yatak sıcaklığı (□), % kuru madde kesri (Δ), nem kesri (O), büzülmeyen granül tabanlı model (kesikli çizgi), büzülen granül tabanlı model (sürekli çizgi). (Yüzgeç, 2005)

3.3. Kalite Kaybı Modeli

Bu çalışmadaki kalite modeli, kurutma süresince ürünün zamana göre kalite kaybının modellendiği ve Lievense (1991) tarafından ortaya atılan birinci dereceden diferansiyel denklemden yararlanılarak oluşturulmuştur. Bu yaklaşım

$$\frac{dQ}{dt} = -k_e Q \quad (3.39)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Burada Q aktif ürün aktivitesini, k_e ürün aktivite kaybetme hızını [$1/s$] göstermektedir. Ürün kalite kaybını sıcaklığın bir fonksiyonu olarak düşünülmüş ve aşağıdaki gibi tarif edilmiştir (Liou, Luyben ve Bruin 1984, Liou ve Bruin, 1982ab, Lievense, 1991 ve Yüzgeç, 2005).

$$k_e = k_{\infty} \exp\left(\frac{-E_{a,i}}{RT}\right) \quad (3.40)$$

Burada k_{∞} frekans faktörünü, $-E_{a,i}$ aktivasyon enerjisini göstermektedir. Lievens (1991) tarafından yapılan çalışmada ürünün aktivite kaybetme hızı doğal logaritma ile tanımlanmış ve *Lactobacillus plantarum* bakterisi kullanılmıştır. Sıcaklık ve nem kesrinin fonksiyonu olarak tanımlanan bu denklemdeki parametreler ekmek mayası kurutma sürecindeki veriler ile ayarlanmıştır. Çok fazla sayıda ayarlanabilir parametre içeren ürün aktivite kaybetme hızının denklemi

$$\ln(k_e) = \left[\left(a_1 - \frac{a_2}{RT} \right) X + \left(b_1 - \frac{b_2}{RT} \right) \right] + [1 - \exp(pX^q)] \left[\left(a_3 - \frac{a_3}{RT} \right) X + \left(b_3 - \frac{b_4}{RT} \right) \right] \quad (3.41)$$

şeklinde verilmiştir. Burada p, q, a_i, b_i denklemin ayarlanabilir parametreleridir. Heterojen model ile ilgili detayları Yüzgeç (2005)'de bulunabilir.

Fakat bu kalite modelinin ekmek mayasına uyarlanmamış orijinal halinin geçerli olduğu sıcaklık aralıkları çok sınırlıdır. Ayrıca bu denklemin ayarlanabilir parametrelerinin doğru olarak bulunabilmesi için olağan prosedürler dışında çok fazla sayıda kalite deneyinin yapılması gerekmektedir.

Bu bölümde bahsettiğimiz homojen ve heterojen süreç modelleri ve kalite kaybı modelleri uzun uğraşlar ve ciddi bir bilgi birikimi ile oluşturulmaktadır. Ayrıca herkesin gayet iyi bildiği gibi modellenecek sistemden alınan veriler hangi çalışma bölgesinden alınmış ise oluşturulacak modelde o çalışma bölgesi için geçerliliği güvenilir olur. Çalışma bölgesinin çok fazla genişletilmesi deneysel çalışmaları çok fazla arttırır ve bu artışta sonuçların analizini zorlaştırır. Ayrıca bu şekilde edilen modeller ayarlanabilir bir yapıya sahip değildir. Sistemde veya sistemin çalışma ve ortam şartlarında meydana gelebilecek değişikliklerde bu şekilde oluşturulan fiziksel modeller geçerliliklerin yitirebilmektedirler. Modellerin güncellenebilmesi için başa dönülüp deneylerin tekrar yapılması ve bu deney sonuçlarının tekrar irdelenmesini gerektirir. Bu tarz bir yaklaşım, uygulamaya yönelik çalışmalar için pek uygun değildir.

Fiziksel modelleme yaklaşımının bu eksikliğini ortadan kaldırarak, daha az bir bilgi birikimi ile süreç ve kalite modellerinin oluşturulması ve oluşturulan modellerin ortaya çıkacak her türlü değişiklik sonucu geçerliliklerini yitirmeleri durumunda kendilerini kolaylıkla güncelleyebilmelerini sağlayacak bir yaklaşım ilerleyen bölümlerde anlatılacaktır. Hem modelleme hem de modellerin güncellenmesindeki kolaylıklar uygulamaya yönelik kontrol ve en iyileme problemlerinin çözümünde büyük faydalar sağlayacağı aşikardır.

4. TEMEL KAVRAMLAR

Bu bölümde tez çalışmasında kullanılan yapay sinir ağı (YSA), bulanık kümeler, genetik algoritmalar (GA) ve Uyarlanabilir Ağ Yapısı Temelli Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS - Adaptive Network Fuzzy Inference System) konularına kısa birer giriş yapılacaktır.

4.1. Genetik Algoritmalar

Genetik algoritmaların ana prensiplerini sınırları belirlenmiş şekilde aşağıda bulunabilir. Genetik algoritmanın temeli, doğal seleksiyon ve seksüel üremenin bileşimi sonucu doğanın doğal çevreye yüksek oranda uyum sağlayan canlı organizmalara yaşama izni vermesine dayanır. Doğal seleksiyon ne demektir? Varlıkların yaşamlarını sürdürmelerindeki farklılıklar olarak tanımlanabilir. Bazı varlıklar ölürken bazıları yaşarlar. Doğal seleksiyon, bir popülasyonun yaşamını sürdürebilme (uygunluk) kriterine göre biçimlendirir. Bunun olabilmesi için, üreme potansiyeli olan bir varlık popülasyonu gerekmektedir. En iyileme için biyolojik evrim prensibine dayalı algoritmalar genetik algoritmalarıdır. Evrim, bir araştırma süreci olarak düşünülebilir. Genetik algoritmalar parametreler vasıtasıyla çalışmazlar ama parametre takımını şekillendiren sayı dizileri olarak çalışırlar. Ayrıca araştırmalarına kılavuzluk etmek amacıyla olasılık kurallarını da kullanırlar. Aynı zamanda, arama uzayında pek çok noktayı düşünerek yerel minimuma yakınsama şansını azaltırlar.

Genetik algoritma en iyileme algoritması olarak kullanılır. Genetik algoritma geleneksel bir yol ile çözülemeyen zor problemleri çözmek için bir yaklaşımdır. Bir probleme tekrarlanmış denemelerden elde edilen geri beslemeler ile desteklenmiş bir çözümde düzgün bir cevap bulmak için uygulanan yöntemdir. Son derece sıradan bir yapısı vardır ve bütün problemlere uygulanabilir. Amaç fonksiyon veya “uygunluk fonksiyonu”, genetik algoritma denemelerinin hakimidir. Bir problemin çözümünü

elde etmeyi bilmemelerine rağmen, amaç fonksiyon ile daha iyi bir sonuca ne kadar yakın olduklarını bilirler. Makine öğrenim teknikleri sınıfına girerler ama isimleri doğal biyolojik genlerin etkileşiminde ortaya çıkan belirli işlemlere benzerlikten kaynaklanmaktadır. Biyolojik dünyada evrimsel hayatta kalma problemi gibi hayatta kalmayı sağlayan çözüm, rekabetçi bir ortamda yer alan özel bir gen ile oluşturulur. Dijital dünyada, ortaya çıkan problem bir uygulama programından diğerine amaç fonksiyonu ile değişecektir.

Genetik algoritma bir başlangıç kromozomlar popülasyonu ile başlar. Algoritma ilk olarak popülasyon adı verilen ve kromozomlar ile ifade edilen bir çözüm takımı ile harekete geçer. Oluşturulan çocuk kromozomlar, hedef problemlerin daha iyi çözümlerine ulaşma şansını artırır. Beklenti, çocuk popülasyonunun her iki ebeveynin de en iyi özelliklerini taşımasıdır. Sonuç olarak, bunlar çevresel koşullara daha iyi uyum sağlayacağından probleme daha gelişmiş bir çözüm sağlayacaklardır. Bir popülasyondan elde edilen sonuçlar, bir öncekine kıyasla daha iyi sonuçlara sahip olması beklenen yeni bir popülasyon oluşturmak için kullanılır. Uyumlu olanların daha iyi sonuç verecekleri muhtemel olduğu için yeni bir popülasyon oluşturmak için seçilen çözümler uyumluluklarına göre belirlenir. Arzu edilen çözüme ulaşana dek bu işlem tekrarlanır.

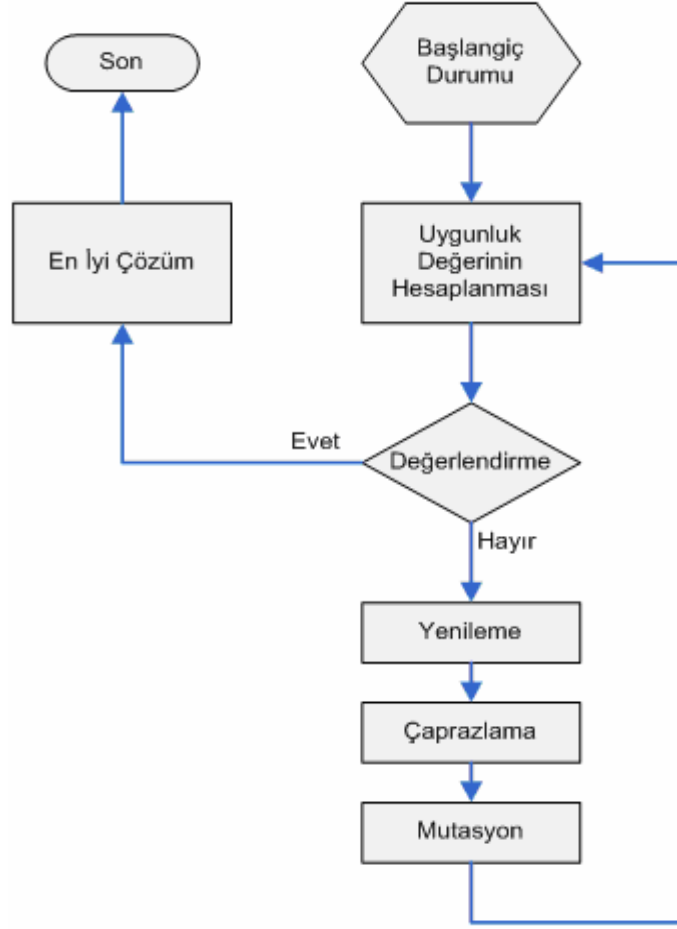
Genetik algoritma tipik ikili sistem sayılarının bir zinciri şeklinde oluşturulmuş olası çözümler takımını (popülasyon) korur. Kromozomların tanımı genellikle ikili sistemde verilir. İki adımlı bir çevrimin tekrarı ile, her jenerasyonda yeni diziler üretilir. Bu ilk olarak her bir birey dizinin (değişken) kodunun çözülmesi ve problemi çözme yeteneğinin hesaplanmasını kapsar. Çevre ortamında ne kadar iyi performans gösterdiğine göre her diziye uyumluluk atanır ve ikinci safhada en uygun formda diziler tekrar birleşme için iki dizinin seçimini de içerecek şekilde tercihen seçilir ve bu iki dizi arasında noktanın sağına doğru yer değiştirir. Bu aynı zamanda çaprazlama (crossover operation) olarak da adlandırılır. Çaprazlama işlemi için kullanılan bireyler en iyi bireylerden seçilir. Bir diğer genetik operatör mutasyondur. Küçük bir dizi popülasyonu içinde genetik çeşitliliği sağlamak için kullanılır ve şimdiki değerinden zıt bir değere (örn. 1 → 0) döner.

Aile jenerasyonunun, yeni çocuk jenerasyondaki en iyi çalışan zincirin otomatik kapsamında olması genetik algoritmaya konan ek bir özelliktir. Bu prosedür, üremenin olası doğası yüzünden iyi bir dizinin kaybolmasını önlemenin yanında yakınsamayı yani iyi bir çözüme ulaşmayı hızlandırır. Genetik algoritma bazı durma kriterlerine ulaşmaya kadar devam eder. Eğer bir problem genetik algoritma ile çözülecekse, ne zaman duracağına kullanıcı karar verir. Genetik algoritma standart bir durma kriterine sahip değildir. Eğer çözüm yeterince iyiye veya yakınsama sağlanmışsa o zaman bunlar durdurma kriteri olarak kullanılabilir.

Bu çalışmada, iki durdurma kriteri ayarlanmıştır. İlki, eğer bulunan sonuçlar belli bir eşik seviyesinin altına düşüyse veya sonuçlarda bir değişiklik yoksa genetik algoritma durdurulacaktır. Zaman sınırlaması bir diğer durdurma kriteri olarak kullanılır. Arama algoritması, sistemimizin örnekleme periyodu olan 30 sn sonunda veya diğer kriterlerin herhangi biri sağlandığında durdurulur.

Durma Kriterleri: (i) # yinelemeler, (ii) istenen uygunluğu karşılama, (iii) yakınsıma karşılanmış veya hiç ilerleme yok, ve (iv) diğer (bu çalışmada –zaman–).

Genetik algoritmaların avantajları: (i) yaratıcı düşünceyi sağlar, (ii) ayrık, tamsayı ve sürekli değişkenlere sahip tasarım uzayı üzerinde en iyileme yapabilme, (iii) doğru bir uygulama ile, optimal çözümlere ulaşmada göreceli olarak hızlı ve verimli bir şekilde kılavuzluk edebilirler, (iv) paralel çalışma ile yerel minimuma takılmayı önler, (v) her kromozom için amaç fonksiyon değeri dışında bir bilgiye ihtiyaç duymaz, (vi) çok karmaşık sistemleri insan faktörü olmadan optimize edebilir (başlangıç durumu belirsiz olsa bile), (vii) parametrelere, kodlama gibi etkilere karşı dayanıklıdır ve (viii) gerçek zaman uygulamaları ile uyumludur. Büyük ve karmaşık problemlerin çözümünde gayet başarılı olan genetik algoritmanın basit bir akış diyagramı Şekil 4.1'deki gibidir.



Şekil 4.1: Genetik algoritma için basit bir akış diyagramı

Genetik algoritma adımları aşağıdaki gibidir:

Datanın kodlanması: verilerin bir dizi ile temsili

Başlangıç durumunu hazırlama: n kromozoma sahip başlangıç popülasyonu rasgele üretilir.

Değerlendirme: Her kromozomun uyumunu hesaplayarak değerlendirme. Tüm anne – babaların ve tüm çocukların uyumunu hesaplama ve depolama. Anne – baba ve çocuklardan oluşan en iyi l kromozomun gen havuzunda kalması ve güncellenmek üzere seçilmesi.

Yeni popülasyon: Yeni popülasyon yaratılana kadar aşağıdaki adımlar tekrar edilir.

Adım 1. Seçme: Uyumluluklarına göre iki anne – baba kromozomunun seçimi.

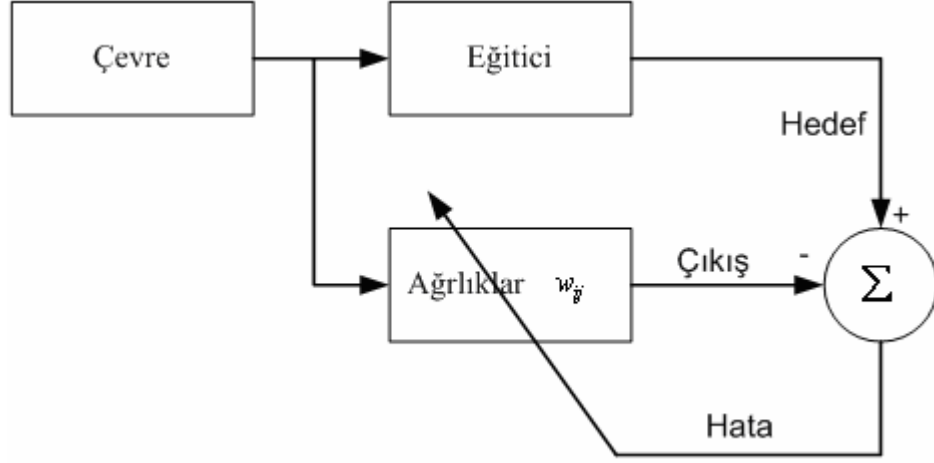
- Adım 2. Çaprazlama: İlk önce, havuzdan rasgele bir çift anne – baba seçeriz ve sonra rasgele pozisyonlarda bir çift çocuk üretmek üzere genlerini değiş – tokuş edilir.
- Adım 3. Mutasyon: p_m , mutasyon olasılığına göre yeni bireyin kromozomdaki yeri değiştirilir.
- Adım 4. Ekleme: Yeni birey populusyona eklenir.
- Adım 5. Değiştirme: Algoritmayı yeniden çalıştırmak üzere yeni populusyonun kullanılması.
- Adım 6. Deneme: Eğer yakınsama görülürse, algoritma duracak ve elde edilen en son populusyon kodu çözülecek çözümdür.
- Adım 7. Yenileme: Yakınsama görülünceye kadar Adım – 2’ye geri dönülür.

4.2. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları doğrusal olmayan sistemlerin tanımlanmasında oldukça başarılı sonuçlar verdiği için modelleme çalışmalarında sıkça tercih edilen bir yöntemdir. Bu çalışmada geri yayımlı ağ kullanıldığı için bu ağ yapısı ve yapay sinir ağı hakkında detaya girilmeden çok kısa temel bilgiler verilecektir. Yapay sinir ağı hakkında detaylı bilgiler (Haykin, 1999)’dan elde edilebilir.

Sinir ağı nasıl öğrenir? Hebb adı verilen öğrenme kuralındaki temel, iki sinir bağlantısı arasındaki kuvvet (ağırlık değeri) sinirlerin aynı zamanda etkinleştirilmesine bağlıdır. Yapay sinir ağlarında bilgi, ağdaki bağlantıların ağırlıklarında toplanır. Bir ağda öğrenme kısaca, istenen bir işlevi yerine getirecek şekilde ağırlıkların ayarlanması sürecidir. Yapay sinir ağlarında öğrenme, sinirler (düğümler) arasındaki ağırlıkların değiştirilmesi ile gerçekleşmektedir. Buna göre sinirler arası bağlantılar üzerindeki ağırlıkların belirli bir yöntem (öğrenme kuralları) uyarınca dinamik olarak değiştirilebilen ağlar eğitilebilir. Yapay sinir ağlarında öğrenme düğümler arasındaki ağırlıkların, düğümlerdeki etkinlik veya aktarım işlevlerinin değişkenlerinin ayarlanmasıyla yapılmaktadır. Yapay sinir ağlarında öğrenme yöntemleri danışmanlı ve danışmansız olmak üzere ikiye ayrılır. Bu

çalışmada danışmanlı öğrenme uygulandığı için bu yöntem üzerinde odaklanılacaktır. Danışmanlı öğrenme yapısı Şekil 4.2’de verilmiştir (Elmas, 2003a).



Şekil 4.2: Danışmanlı öğrenme yapısı (Elmas, 2003a)

Yapay sinir ağlarında gerçek çıkış istenen çıkışla kıyaslanır. Rasgele değişen ağırlıklar ağ tarafından öyle ayarlanır ki, bir sonraki döngüde gerçek çıkış ile istenen çıkış arasında daha yakın karşılaştırma üretebilsin. Öğrenme yöntemi, bütün işleme elemanlarının anlık hatalarını en aza indirmeye çalışır. Bu hata azaltma işlemi, kabul edilebilir doğruluğa ulaşana kadar ağırlıklar devamlı olarak derlenir.

Danışmanlı öğrenmede, yapay sinir ağı kullanılmadan önce eğitilmelidir. Eğitme işlemi, sinir ağına giriş ve çıkış bilgileri sunmaktan oluşur. Bu bilgiler genellikle eğitme kümesi olarak tanımlanır. Yani, her bir giriş kümesi için uygun çıkış kümesi ağa sağlanmalıdır (Elmas, 2003a).

Yapay sinir ağları ile ilgili detaylar Ek – A’da, yapay sinir ağı ile proje geliştirme konusunun detayları ise Ek – B’de bulunabilir.

4.3. Bulanık Mantık

Çevremizde gelişen olayları açıklamada çoğu zaman kesin tanımlamalar yapmak oldukça zordur. Gerçek yaşamdaki gelişmeler ve olaylar çoğu kez belirsizlikler ve

doğrusal olmama gibi durumlar içerir. Bilinen bir örnek verecek olursak, orta yaş kavramında, bu kavramın sınırları kişiden kişiye değişkenlik gösterir. Kesin sınırlar söz konusu olmayınca bu kavramı formülize etmek imkansızlaşır. Uranyumun bozulmasında hangi atomunun ne zaman bozulacağı bir belirsizlik örneğidir. Kurutma süreci ise doğrusal olmama olayına örnek olarak verilebilir. Bazı tabirler kesin olarak tanımlanamadığından insanlar belirsiz ifadeler kullanmak zorunda kalırlar. Klasik mantıkta, "doğru" ve "yanlış" diğer bir şekilde "1" ve "0" değerleri vardır. Bulanık mantıkta, bu iki değer arasında ara değerler ve ifadeler bulunmaktadır. Bu yaklaşım gerçek hayat ile çok iyi örtüşmektedir.

Bulanık mantık, gerçek hayat için kullanılabilir olacak oldukça etkili bir yaklaşımdır. Bulanık mantık, insan düşüncesi ve dil kullanımı açısından klasik mantık yaklaşımından daha yakındır. Bulanık mantık sorulara evet ve hayır cevabının verilemediği durumları kapsamaktadır.

Bulanık mantık (Fuzzy Logic) kavramı 1965 yılında ilk kez California Berkeley Üniversitesinden Prof. Lotfi A. Zadeh tarafından ortaya atılmıştır. Bu tarihten sonra önemi gittikçe artarak günümüze gelen bulanık mantık, belirsizliklerin anlatımı ve tanımlanabilmesi için kurulmuş bir yaklaşımdır.

Bulanık mantık, klasik mantık kurallarının esnek bir şekilde uygulanmasıdır. Gerçek hayatta önermeler genelde kısmen doğru veya belli bir olasılıkla doğru şeklinde değerlendirilir. Bulanık mantığa da zaten klasik mantığın gerçek dünya problemleri için yeterli olmadığı durumlar dolayısıyla ihtiyaç duyulmuştur.

Klasik mantıkta, sıcaklık – soğukluk, uzunluk – kısalık, büyüklük – küçüklük gibi kavramlar kesin sınırlar ile belirlenmiştir. Bir ifade tamamen yanlış ise klasik mantıkta "0" değerinde, tamamen doğru ise "1" değerindedir. Bulanık mantık sisteminde bu değerler dışındaki tüm ifadeler "0" dan büyük "1" den küçük gerçek sayılar ile ifade edilir. Bulanık kümenin üyelik fonksiyonunun değeri 0.43 ise bu ifadenin anlamı %43 olumlu (doğru) diğer bir bakış açısı ile %57 olumsuz (yanlış) olur. Soğukluk ve sıcaklık açısından bir örnek verilecek olunursa. Soğuk su için limit 20°C olsun. Klasik mantık sorusu: "Su soğuk mu?". Klasik mantık cevabı, suyun

sıcaklığı 20°C'nin üstünde ise hayır (0), 20°C'nin altında ise evet (1) olur. Bulanık mantıkta ise, suyun ne kadar soğuk veya sıcak olduğu sorulur. Cevap ise klasik mantıktaki gibi 0 veya 1 değildir. 0 ile 1 arasında (0.1, 0.2, ...) esnek bir değerdir. Tabii ki bu esnekliğinde şartlara göre önceden belirlenmiş sınırları vardır.

Tablo 4.1: Klasik ve bulanık mantık arasındaki farklar

Klasik Mantık	Bulanık Mantık
0 veya 1	0 ve 1 arasında
İkili Birimler (bit)	Bulanık Birimler
Kesin	Kısmi
Tamamı veya Hiçbiri	Belli Derecelerde
Dijital Bilgisayar	Nöral Ağ

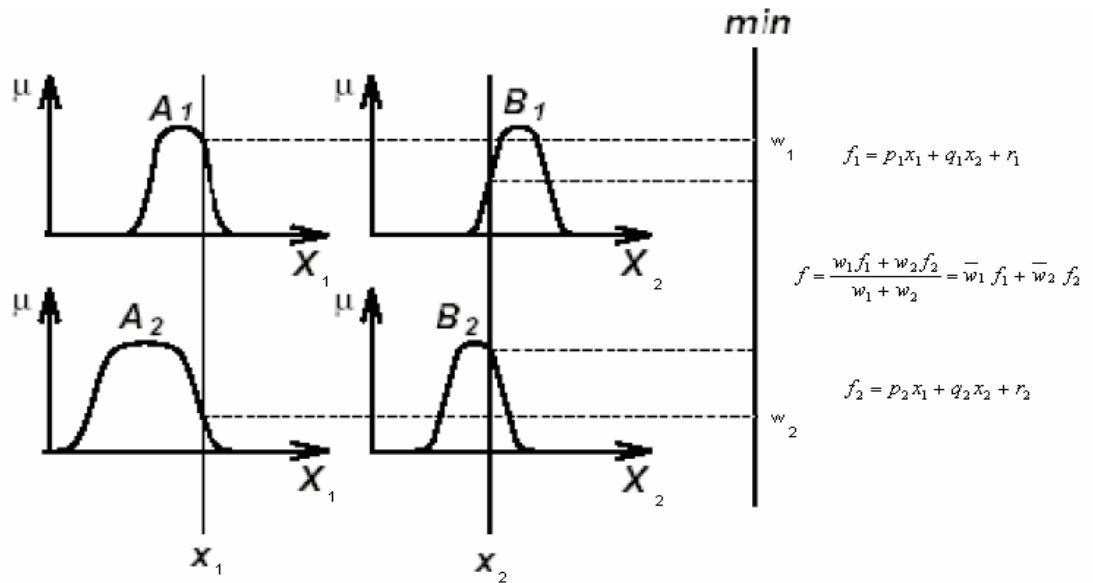
4.4. ANFIS

Bulanık mantık temelli modelleme ve kontrol edici tasarımında yararlandığımız uyarlanabilir ağ yapısı temelli bulanık çıkarım sistemi hakkında kısaca birkaç şey söyleyecek olursak; Bulanık çıkarım sistemleri ve çok katmanlı perceptronlar, uyarlamalı ağların çok genel hesaplama çalışmalarının özel örnekleridir. Her iki örnekte uyarlamalı ağın geriye yayılma öğrenme yeteneğini almıştır. ANFIS uyarlamalı ağların, işlevsel olarak bulanık çıkarım sistemine eşdeğer olan bir sınıfıdır. Açık olarak uyarlamalı ağlara dayanan bulanık çıkarım sistemi veya uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım istemi anlamına gelen ANFIS ismi, adaptive network based fuzzy inference system veya adaptive neuro fuzzy inference system olan özgün adının baş harflerinden oluşmuştur. Aynı zamanda bazı kaynaklarda ANFIS, TSK bulanık kuralları ile sinirsel bulanık denetleyici olarak anılmaktadır. TSK ise Sugeno bulanık modeli veya Takagi, Sugeno, Kant bulanık mantık modeli anlamında kullanılmaktadır. Aynı şekilde karma sinir ağları olarak da anılmaktadır (Elmas, 2003b).

Aslında bulanık çıkarım sistemi çok katmanlı perceptrona göre daha kuvvetlidir. Örnek olarak ANFIS denetleyicilerin bazı eşsiz özellikleri tanımlanabilir:

1. Öğrenme yeteneği,
2. Paralel işlem,
3. Yapılandırılmış bilgi temsili,
4. Diğer denetim tasarım yöntemleriyle daha iyi bütünleşme (Elmas, 2003b).

ANFIS'in yapısındaki bulanık çıkarım sisteminin mimarisinin kolaylıkla anlatılabilmesi için x_1 ve x_2 olmak üzere iki girişi ve f gibi bir çıkışı olduğu kabul edilirse, birinci derece Sugeno bulanık modeli için iki bulanık "EĞER – O HALDE" kuralı denklem 4.1'deki gibi olur.



Şekil 4.3: ANFIS bulanık çıkarım

Kural – 1 : EĞER $x = A_1$ ve $y = B_1$ ise O HALDE $f_1 = p_1 x + q_1 y + r_1$ (4.1a)

Kural – 2 : EĞER $x = A_2$ ve $y = B_2$ ise O HALDE $f_2 = p_2 x + q_2 y + r_2$ (4.1b)

Eşitlikte $i = 1,2$ için x_1 ve x_2 giriş değişkenlerini, f_i çıkış değişkenini, A_i ve B_i bulanık kümeleri, $p_i, q_i, r_i \in \mathbb{R}$ olmak üzere sonuç değişkenleridir. Şekil 4.3’de iki girişli ve iki kurallı Sugeno tip bulanık çıkarım yöntemi verilmiştir.

ANFIS ile ilgili detaylar Ek – C’de verilmiştir.

5. KESİKLİ AKIŞKAN YATAKTA EKMEK MAYASI KURUTMA SÜRECİNİN MATEMATİKSEL MODELLENMESİ

5.1. Genel Bakış

Kesikli akışkan yataklı kurutma süreci ve bu kurutma süreçlerinde kurutulan ürünlerin mekanistik modelleme yaklaşımları ile ilgili literatür çalışmaları homojen modelleme ve heterojen modelleme başlıkları altında toplanabilir. Üçüncü bölümde homojen modelleme ve heterojen modelleme ile ilgili bilgiler detaylı olarak anlatılmıştır.

Homojen ve heterojen modelleme konularındaki en son tez çalışmaları (Kanarya, 2002 ve Yüzgeç, 2005) incelendiğinde, bu çalışmaların gayet başarı ile sonuçlandırıldığı görülmektedir. Fakat bu çalışmalardan elde edilmiş matematiksel modelleri uygulamaya yönelik kullanmak istendiğimizde bu modellerin bazı eksiklikleri ortaya çıkmıştır.

Tekrar altını önemle çizmek gerekirse; biyokimyasal süreçlerin modellenmesi, bu süreçlerin hem çok giriş – çıkışlı olmaları hem de süreç yapılarının karmaşıklığından dolayı oldukça zor ve meşakkatlidir. Bilerek yada bilmeyerek yaptığımız kabuller, ihmaller ve genellemeler bizi yanlış sonuçlara götürebilir. Sistemi etkilemediğini düşündüğümüz parametrelerin ortam veya işletme şartlarına göre düşündüğümüzden ciddi etkileri söz konusu olabilir. Tabii bunun tam terside ihtimal dahilindedir. Yani etkili olduğunu düşündüğümüz parametrelerin etkilerinin düşündüğümüzden az veya hiç olmaması gibi. Ayrıca belirli çalışma şartlarında ve ortam koşullarında yapılan deneyler bazen sadece bu şartlarda ve ortamlarda geçerli sonuçlara ulaşmamıza neden olurlar ve bu sonuçları genellediğimizde bizi yanılgıya sürükleyebilirler.

Bu iki tez çalışması incelendiğinde her ikisindeki temel yaklaşımlar aynıdır. Bu konudaki teorik literatür çalışmalarındaki modeller alınmış ve yapılan deneyler ile bu literatürdeki modellerin parametreleri belirlenmiştir (Schoeber, 1976 ve Temple ve

diğ., 1999a, 1999b, 1999c). Biraz öncede belirtildiği gibi bu modellerin uygulamaya yönelik kullanılmasında veya farklı bir süreçte (çalışma mantığı olarak aynı sistem boyutları olarak farklı olması gibi) doğrulaması yapılmaya çalışıldığında bazı eksiklikleri ortaya çıkmıştır. Ama yinede bu iki tez hem yaklaşım ve düşünce hem de ortaya çıkan sonuçlar ve harcanan emek açısından oldukça başarılı iki çalışmadır. Bu çalışmalardaki çok az sayıda ve hemen hemen aynı şartlarda yapılmış deneyler nedeniyle elde edilen model parametreleri dolayısıyla fiziksel modellerin geneli yansıtması konusunda bir miktar eksiklikleri ortaya çıkmıştır. Bu tarz çalışmalarda deneysel veriler arttırıldığında büyük bir işlem yükü ortaya çıkmaktadır.

Bölüm 3'te detaylı bir şekilde anlatıldığı gibi homojen modellemede sistem hakkında varsayımlar ve kabuller yapılarak kütle ve enerji denklemleri üzerine model denklemleri oluşturulmuştur. Birçok varsayım ve kabuller yapılarak yani bir nevi sistem modellemesi sadeleştirilerek basit denklemler kurulmaya çalışılmıştır. Fakat bu kadar sadeleşmeye rağmen ciddi sayıda denklem içermektedir. Bu fiziksel modellerin çözümlerinin bilgisayar ortamında yapılması ciddi işlem yükü getirmektedir. Ayrıca homojen modelleme çalışmasında kalite faktörü hesaba katılmamıştır. Yani akışkan yatakta kurutmanın ürün kalitesi üzerine etkileri incelenmemiştir (Türker ve diğ., 2006).

Heterojen modellemede, homojen modelleme yaklaşımı geliştirilmiş ve sistem süreç modeli daha gerçeğe yakın hale getirilmiştir (Yüzgeç ve diğ., 2006). Burada temel iki denklem, difüzyon modeli ve ısı aktarım modeli, olmasına karşın bu iki diferansiyel denklemin çözülmesi ve gerekli parametrelerin hesaplanması aşamasında işler çok büyümüştür. Homojen ve heterojen model çözümlerindeki işlem yükünden kasıt ise bir iki benzetim yapılması ve denklemlerin sayısal çözümlenmesi değildir. İlerleyen bölümlerde sistem en iyilemesi (optimizasyonu) ve kontrolünü yapmak istediğimizde çevrim içi (on – line) çalışmada oluşturulan bu süreç ve kalite modellerinden yararlanılacaktır. Uygun şartları ve kontrolü sağlamak için hız çok önemli olacağı için bu modellerin benzetim işlemini çok hızlı yapmaları gerekmektedir. Eğer sistemin optimum çalışma şartlarının bulunması için gerekli hesaplama zamanı örnekleme periyodunu aşarsa sistem kontrolünü yapamayacağımız aşıkardır.

Tekrar edilecek olunursa, sistem tanımlaması yapmak için yapılan deneylerin genel çalışma şartlarını yansıtması ve yeterli sayıda deney yapılmış olması kesinlikle gereklidir. Sistemin belirli bir çalışma bölgesinde yapılmış deneyler ile oluşturulmuş modeller bu bölge için iyi sonuçlar verirken diğer çalışma bölgeleri için yetersiz kalabilirler. Sistemin çalışma bölgesi hakkında yaptığımız yaklaşım ortam ve çevre şartları içinde geçerlidir. Bu çalışmada her ne kadar çok sayıda (çok çeşitli işletme şartları, değişik ortam ve çevre şartları, geniş bir zamana yayılmış denemeler) deney yapılmış olsa bile kendi kendini güncelleyen bir yapı oluşturulması bize göre en sağlam çözümdür. İlerleyen zamanlarda kurutma sürecinde olabilecek yavaş (sistem ekipmanlarından birinin zamanla karakteristiğinin değişmesi gibi) veya ani (sistemde bozulan bir ekipmanın muadili ile değiştirilmesi veya çalışma prensibindeki bir değişiklik gibi) her türlü değişikliğe karşı kontrol yapısı kendini güncelleyerek, operatör ve kullanıcılara hiç bir ek yük getirmeyecek olması bu endüstriyel sürece çok büyük artılar katacaktır.

Akışkan yataklı kurutma sürecinin karmaşık bir dinamiğe sahip olduğu daha önce belirtilmiştir. Bu sürecin mümkün olduğunca genelini kapsayacak bir süreç modeli elde etmek için çok sayıda deney yapılmıştır. Yapılan deneylerin 40-50 tanesi ile süreci modellemek istediğimizde gayet iyi sonuçlar elde edilmiştir. Benzetim sonuçları ile gerçek deney sonuçları neredeyse üst üste örtüşmüştür. Fakat deney sayıları dolayısıyla elde edilen veriler arttıkça benzetim sonuçlarındaki dağılma başlamış ve deney sayıları ile orantılı olarak dağılma artmıştır. Bu sonuçta bize akışkan yataklı kurutma sürecinin karmaşıklığını bir kez daha göstermektedir. Bu nedenden dolayı akışkan yataklı kurutma sürecinin modellenmesi yapılırken hem en iyi tanımlamayı hem de en hızlı benzetimi yapan süreç modelini bulmak için birkaç alternatif yapı üzerinde çalışıldı.

Devamlı çalışan endüstriyel süreçlerde veriden bol bir şey yoktur. Sadece doğru bir yapının oluşturulması ve bu yapının her gün yenileri eklenen bu verileri kendiliğinden analiz etmesi yeterlidir. Süreç modelleri sürecin işleyişi sırasında oluşan verilerle kolaylıkla güncellenir. Fakat kalite modelinin oluşturulması ve güncellenmesinde, ürün kalitesinin kurutma süreci sırasında zamanla değişiminin irdelendiği yaklaşımdan daha verimli çalışacak bir yaklaşımda bulunmak gereklidir.

Daha önceki çalışmalarda ürün kalitesinin kurutma sürecinde zamanla değişiminin incelenebilmesi için belirli periyotta kurutulan üründen örnekler alınarak süreç boyunca ürünlerdeki kalite değişimi modellenmeye çalışılmıştır. Fakat alınan ürünün kalite analizi örnekleme anındaki ürün kuru madde değerine göre analiz yapılması gerekir. Bu şekilde bir yaklaşımda hata yapma veya doğru sonuç bulamama ihtimali yüksektir. Süreç boyunca on tane numune alınması on değişik analiz ortamının hazırlanması anlamına gelir. Bu ortamlarda her bir numunenin alındığı kuru madde değerine göre (tabii ki bu da önce kuru madde ölçümü yapılmasını gerektirir) hazırlanması gerekir. Bu şekilde bir yaklaşım bir kaç deney için yapılabilir. Fakat uzun vadeli kalite takibinde çokta akıllıca bir yöntem olduğu söylenemez.

Bizim kalite yaklaşımımızda bütün süreç boyunca bütün süreç çıkış parametreleri (giriş) ile bir tek kalite değişimi (çıkış) arasında bir ilişki kurulmaya çalışılmıştır.

Kalite Değişimi = (Fırın Giriş Aktivitesi–Fırın Çıkış Aktivitesi)/Fırın Giriş Aktivitesi

Her ürünün kurutma işleminden önce ve sonra ürün aktivite (kalite) değerleri zaten rutin olarak ölçülmektedir. Süreçteki bütün çıkış değerleri de devamlı olarak kaydedilmektedir. Dolayısıyla kalite modelini oluşturacak ve güncelleyecek yapının fazladan hiçbir şeye ihtiyacı yoktur. Operatörlerin ve laboratuvar görevlerinin günlük olağan işlerine devam etmeleri yeterlidir.

Bu yüzden hiçbir kısıtlamaya gitmeden sistemin bütün giriş ve çıkış parametrelerini kullanarak toplanan veriler ile kendi kendini tanımlayan, güncelleyen ve hızlı çalışan akıllı sistem temelli modellemeye dayanan bir yapının kurulması uygun görülmüştür.

Süreç ve kalite modellerinin oluşturulmasında bu tarz bir yaklaşıma yönelme nedenleri sıralanacak olursa:

- 1) Akıllı sistem modelleme yöntemlerinden biri olan yapay sinir ağı (YSA) belirli kabuller yapılmadan modellenmesi oldukça güç olan bu gibi karmaşık sistemlerde, tam ve kesin olmayan bilgiler ışığında oldukça tutarlı sonuçlar

verdiği için son yıllarda mevcut denetim ve modelleme çalışmalarında tercih edilmektedir (Kosko, 1992).

- 2) Çok fazla ve kolay deneysel veri elde edilebilen endüstriyel süreçlerde büyük ve ek bir mühendislik, analiz ve deney maliyeti içermez.
- 3) Çekirdek bir yapı kurulduktan sonra toplanan yeni veriler ile sistem tüm şartlarıyla güncel bir şekilde modellenebilir. Çevrim içi veya çevrim dışı yapılan bazı hatalı ölçümlerin deneysel verilerin artması ile doğru veriler arasında etkinlikleri azalacaktır.
- 4) Bütün bu modelleme bilgisayara kurulacak bir yapı (program) ile otomatik olarak yapılacak ve dolayısıyla modelleme işini bilgisayar yapacağından kişilerin çok fazla zaman harcaması gerekmeyecektir.

Bu bölümde ekmek mayasının akışkan yataklı kurutma sürecinin uyarlanabilir temelli modellemesi yapılacak ve bütün kademeler adım adım açıklanacaktır.

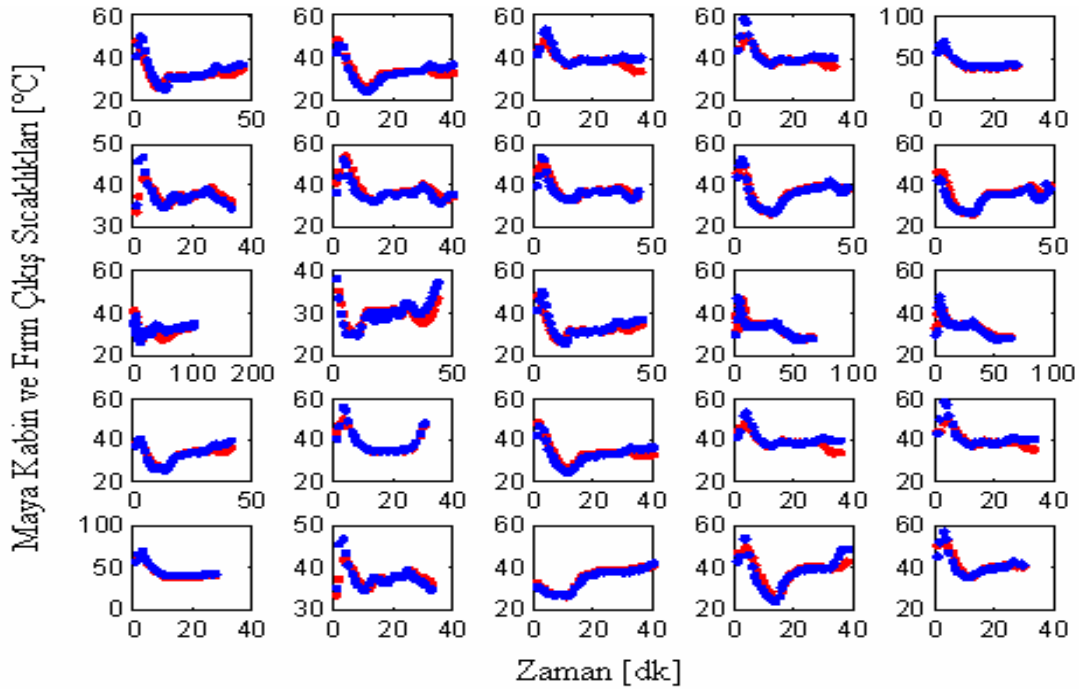
Bu sürecin tanımlanmasında neden bu tarz bir modelleme yaklaşımının seçildiğini açıkladıktan sonra ilk olarak süreçten toplanan deneysel verilerin tutarlılık analizleri yapılacaktır. Bir sonraki adımda geliştirilen yapay sinir ağı ve uyarlanabilir ağ yapısı temelli bulanık çıkarım sistemi yardımıyla oluşturulmuş bulanık modelleme ile oluşturulmuş süreç ve kalite modellerinin tüm detayları ile anlatılacaktır. Bu anlatımları müteakip bütün modellerin sonuçları birbirleri ile mukayeseli olarak topluca verilecektir.

Bu çalışmadaki bütün deneyler endüstriyel boyutlarda ve kontrol olarak tam donanımlı kurutma fırınlarından elde edilmiş toplam 570 deney ile yapılmıştır. Bütün deney sonuçlarının ve mukayeselerinin grafiksel olarak verilmesi mümkün olmadığı için verilen sonuçlar deneyler içinden tamamen rasgele olarak seçilmişlerdir.

5.2. Tutarlılık Analizi

Deneysel verilerin doğruluğu sürecimizin modellenmesinde en önemli unsurdur. Bu gereklilik yüzünden kullanacağımız verilerin doğruluklarını veya diğer bir deyişle ölçüm verilerinin tutarlılıklarını kontrol etmemiz ve onaylamamız gerekmektedir. Bu bölümde ilk olarak bu tutarlılık analizleri yapılacaktır.

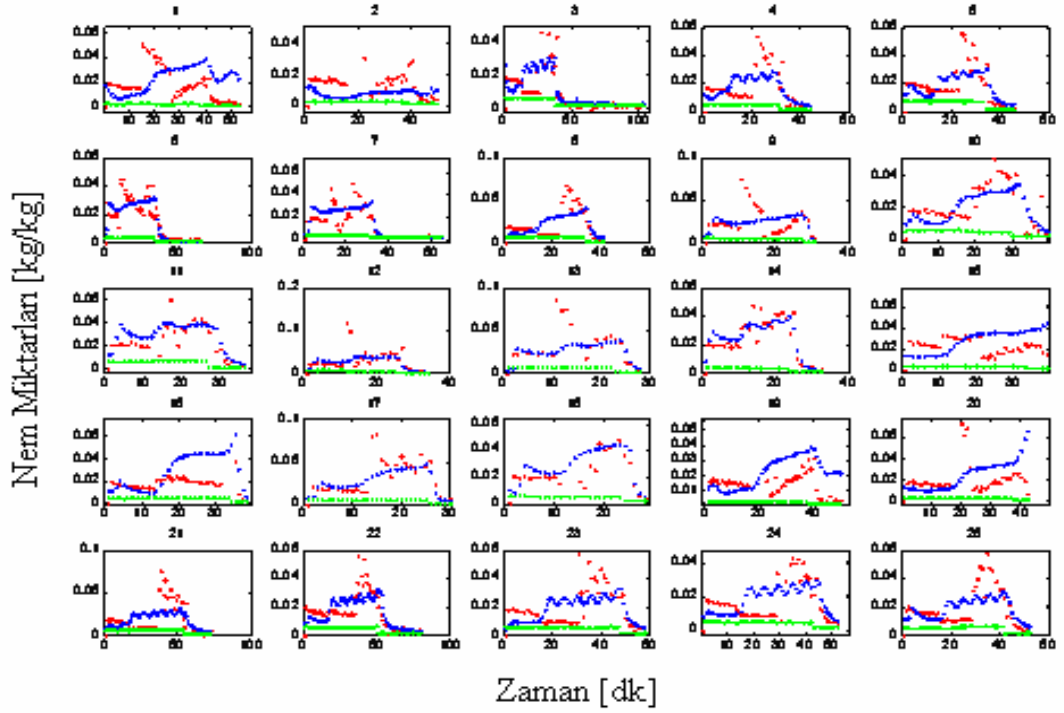
Akışkan yataklı kurutma sürecinin iki temel çıkış parametresi vardır. Ölçülen veya ölçülmeye çalışılan bu iki kritik parametre ürün kuru madde (KM) ve ürün sıcaklığıdır (T_m). Ürün sıcaklığı fırın içindeki Pt-100 algılayıcısı ile ölçülmektedir. Pt-100 ile sıcaklık ölçümü en güvenilir ölçümlerden biridir. Ayrıca fırın çıkışındaki nem ölçüm cihazının içindeki sıcaklık ölçüm algılayıcısı da fırın çıkışındaki sıcaklığı düzenli olarak ölçmektedir. Fırın içi sıcaklık ile fırın çıkış sıcaklığı, bir enerji kaybı olmadığı veya çok cüzi olduğu için yaklaşık olarak birbirinin aynıdır. Dolayısıyla ürün sıcaklığı farklı yerlerdeki iki sıcaklık algılayıcısı ile takip edilmektedir. Biz referans olarak aldığımız maya kabini içindeki sıcaklık ölçüm cihazının değerleridir. Ürün sıcaklığı için yapılan tutarlılık analizi sonuçları Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1: Rasgele seçilen 25 deneyin ürün sıcaklığı tutarlılık analiz grafikleri (mavi : fırın çıkış sıcaklığı – kırmızı : ürün sıcaklığı [°C])

Fakat ürün sıcaklığı için hem teorik hem de pratikteki ölçüm kolaylıklarını kuru madde veya kurutulmuş mayadaki su miktarı için söylemek pek mümkün değildir. Nem ölçümü en zor ölçümlerden biridir. Sürecimizde kuru madde ölçümü fırın hava girişi ve fırın hava çıkış noktalarındaki nem ölçüm cihazları ve infrared kuru madde ölçüm cihazları ile yapılmaktadır. Infrared kuru madde ölçüm cihazı doğrudan akışkan yatak içinde kurutulmuş ürünün (mayanın) kuru madde değerini ölçmektedir. Nem algılayıcıları ile yapılan kuru madde ölçümünde ise, hava giriş ve çıkış noktalarındaki bağıl nem değerleri, sisteme beslenen hava debisi ve sıcaklık değerleri ile bir hesaplama yapılmaktadır. Özellikle fırın çıkışındaki nem ölçümü oldukça sıkıntılıdır. İşletme şartlarından dolayı fırın çıkışındaki nem ölçüm cihazları ile uzun süre sağlıklı ölçüm yapılamamaktadır. Buradaki cihazlar sık sık arızalanmakta ve yanlış ölçümler yapmaktadır. Biz bu çalışmalar sırasında mayadan suyun uzaklaştırılması ile ilgili parametrelerin belirlenmesinde infrared kuru madde ölçüm cihazının ölçümleri referans alınacaktır. Bu cihazın ölçümlerini doğruluğunu kontrol etmek için yapacağımız tutarlılık analizinde kullanmak üzere fırın çıkışındaki nem ölçüm cihazı sadece deneylerimiz sırasında takılmış ve deney bitimlerinde de sökülmüştür.

Kuru madde değerlerinin tutarlılık analizindeki temel prensip şöyle açıklanabilir. Kurutma havasının sisteme aktardığı su miktarı ile üründen uzaklaştırılan su miktarının toplamı fırından çıkan su miktarına eşittir. Bu temel prensipten yola çıkılarak ölçülen ve hesaplanan mutlak nem değerlerine göre yapılan kuru madde tutarlılık analizi sonuçları şekildeki gibidir. Mayadan uzaklaştırılan suyun etkisi giriş havasından gelen suyun etkisi ile toplanarak çıkış havasındaki su miktarı ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca tekrar belirtmeliyim ki deney sayılarımız çok fazla olduğu için deneyler arasından rasgele seçilenlerin kuru madde tutarlılık analizi sonuçları Şekil 5.2'de gösterilmiştir.



Şekil 5.2: Rasgele seçilen 25 deneyin kuru madde tutarlılık analiz grafikleri (mavi : hava ile fırından çıkan su miktarı – kırmızı : mayadan uzaklaştırılan su miktarı ile giriş havasından gelen su miktarının toplamı – yeşil : hava ile fırına giren su miktarı)

5.3. Yapay Sinir Ağı ile Süreç Modeli

Kesikli akışkan yatakta ekmek mayası kurutma sürecinin en önemli iki çıkış parametresi ürün kuru madde değeri (KM) [%] ve ürün sıcaklığıdır (T_m) [$^{\circ}C$]. Kesikli akışkan yatakta ekmek mayası kurutma süreci sırasında bu iki çıkış parametresi izlenmekte ve bu iki parametreye göre süreç yönlendirilmektedir.

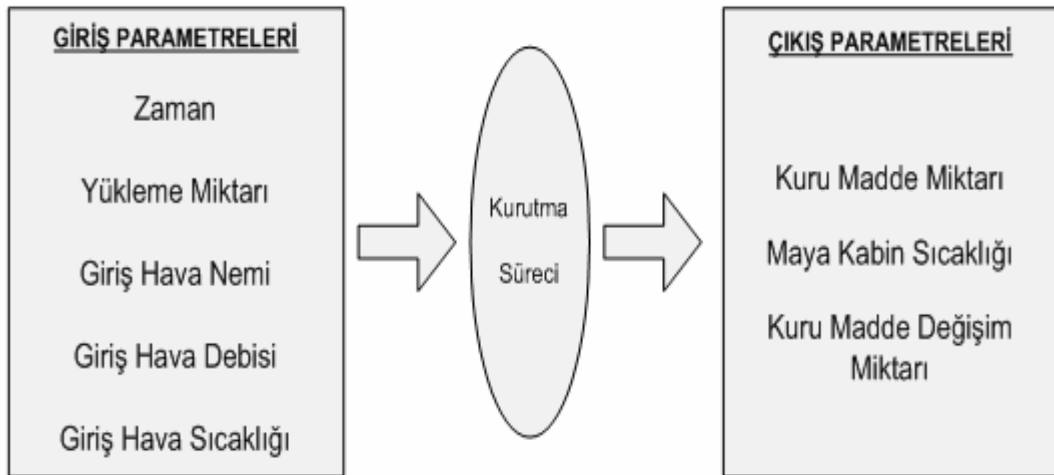
Ekmek mayası kesikli akışkan yatakta kurutulması süreci üç ana evreden oluşur. İlki yaş ekmek mayasının düşük hava debisi ve düşük hava sıcaklığında fırına yüklendiği evredir. Yükleme evresinin hemen arkasından ekmek mayasındaki serbest suyun uzaklaştırıldığı ve maya sıcaklığının yaş termometre sıcaklığında sabit kaldığı sürecin birinci evresi gelir. Birinci evrede kurutma hızı sabit kalmaktadır. Son olarak ekmek mayasındaki serbest suyun uzaklaştırılarak ekmek mayası içindeki bağlı suyun uzaklaştırıldığı ikinci evrede kurutma hızı azalmaktadır. Şu anda kurutma süreci her üç evre boyunca ayrı ayrı evrelerin başında belirlenmiş referans giriş değerleri ile işletilmektedir.

Modelleme, kontrol ve en iyileme esnasında öngörülecek çıkış parametreleri :

- 1) Ürün kuru madde değeri, (KM) [%]
- 2) Ürün sıcaklık değeri (T_m) [$^{\circ}C$]

Giriş parametreleri ise:

- 1) Kurutma zamanı, (t) [s]
- 2) Yükleme miktarı, (W) [kg]
- 3) Giriş havasının nem miktarı, (X_{in}) [kg_{su} / kg_{hava}]
- 4) Giriş hava debisi, (F_a) [m^3/h]
- 5) Giriş hava sıcaklığı, (T_a) [$^{\circ}C$] olarak alınmıştır.



Şekil 5.3: Kesikli akışkan yataklı ekme mayası kurutma süreci temel giriş - çıkış parametreleri

Ek – B’de anlatıldığı gibi yapay sinir ağı ile proje geliştirilirken ilk ve en önemli adım giriş ve çıkış parametrelerinin doğru olarak belirlenmesidir. Kesikli akışkan yataklı ekme mayası kurutma sürecinin temel giriş ve çıkış parametreleri Şekil 5.3’de verilmiştir.

Kesikli akışkan yataklı ekmek mayası kurutmasının süreç modellenmesi ilk olarak yapay sinir ağından (YSA) yararlanarak yapıldı. Kesikli akışkan yataklı ekmek mayası kurutma sürecinin modellenecek en önemli çıkış parametreleri ürünün (ekmek mayası) kuru madde değeri [%] ve ürün sıcaklığıdır [°C]. Kurutulacak maddenin kuru madde değeri ve sıcaklığı genelde bütün kurutma süreçlerinde takip edilen en önemli parametrelerdir. Çalışmada bu iki ana parametre üzerine odaklanılmıştır. Kurutma süreçlerindeki bazı tanımlamalar ve diğer parametreler bu iki ana parametreden kolaylıkla hesaplanabildiklerinden bu iki ana parametrenin süreç içinde en doğru bir şekilde öngörülmesi hedeftir. Doğru ve tam bir modelleme yapıldıktan sonra diğer parametreler ürünün kuru madde ve sıcaklık değerlerinden kolaylıkla hesaplanabilir.

Hem sistemimizi iyi şekilde tanımlayan hem de en hızlı çalışan YSA modelini belirlemek için 15 farklı YSA yapısı bu çalışmamızda incelenmiştir. Bu YSA yapıları arasında giriş katmanında ve katmanlar arasındaki ilişkilerde olmak üzere iki temel farklılık vardır. Bu farklı model yapıları ilerleyen kısımda tek tek detaylı bir şekilde açıklanarak bu yapay sinir ağı yapılarından en iyi sonuç veren modele birbirleriyle mukayeseli olarak karar verilecektir.

Ürün sıcaklığında, sürecin yükleme anından itibaren başlangıç maya kabin sıcaklığı alınarak anlık olarak örnekleme anlarındaki sıcaklık değerleri dikkate alınmıştır.

Ürün kuru madde değeri, sürecin (yükleme evresinin başı) başlangıcında %33 civarındaki kuru madde değeri ile başlayarak infrared kuru madde cihazının anlık olarak örnekleme anlarındaki ölçüm değerleri dikkate alınmıştır.

Ürün kuru madde değişiminde ise, anlık olarak örnekleme anındaki kuru madde değeri ile bir önceki örneklemedeki kuru madde değerleri arasındaki değişim miktarları dikkate alınmıştır. Benzetim ise öngörülen birim kuru madde değişimleri bir önceki kuru madde değeri üzerine eklenerek yapılmıştır. Bu şekildeki yaklaşımda kuru madde değişimi dKM öngörülerek $KM(k) = KM(k-1) + dKM(k)$ formülü ile hesaplanmaktadır.

Kurutma süreci üç ana evreden oluşmaktadır. Yükleme evresi ile birinci evrede süreci etkileyen faktör kurutma havasının debisi ve sıcaklığıdır. Fakat ikinci evrede etkin faktör ise mayanın su verebilme kapasitesi ve kurutma havasının sıcaklığıdır. Dolayısıyla birinci evre ile ikinci evre arasında birbirlerinden farklı iki karakteristik söz konusudur. Bu nedenden dolayı süreç modeli oluşturulurken iki farklı evre için iki farklı yapay sinir ağı yapısı öngörülebilir. Her bir kurutma evresi için ayrı yapılar kullanarak sistem modellenmesi üzerine çalışmalar yapıldı. Fakat gerçek deney verileri ile elde edilen modellerin benzetim çalışmalarının karşılaştırıldığında alınan sonuçlar, kurutma sürecinin tamamını tek bir yapı ile modellenmesi çalışmasında elde edilen sonuçlarla kıyaslandığında bizlere kayda değer pozitif bir katkısı olmadığı gözlenmiştir. Bu nedenle hem en iyi kontrol en basit olanıdır prensibinden yola çıkarak hem de işlemciler için gereğinden fazla işlem yükü oluşturup zaman kaybını önlemek için kurutma sürecinin tamamının tek bir yapı ile modellenmesi yolu seçilmiştir.

Yapay sinir ağı ile bir proje oluşturulurken takip edilmesi gereken bazı adımlar vardır. Bu adımların takip edilmesi bir kural değil fakat makaleler ve bilimsel çalışmalar ile desteklenmiş tavsiyelerdir. Yapay sinir ağı mimarisi birçok parametreden oluşmaktadır. Uygun yapay sinir ağı yapısı oluşturulurken bütün bu parametrelerin deneme yanılma yöntemi ile bulunması çok zordur. Bu sistematik yaklaşım, mimari yapı oluşturulurken bize bir başlangıç noktası teşkil eder. Ek – B’de detaylı olarak verilen yaklaşımdan yararlanarak adım adım model oluşturulmaya başlanabilir.

Akışkan yataklı kurutma sürecini modellerken 15 farklı yapay sinir ağı yapısı oluşturuldu. İlk olarak bu yapay sinir ağı yapılarındaki ortak noktaları topluca anlattıktan sonra ilerleyen kısımlarda her yapının detayındaki farklılıklar ve bu yapılardan elde edilen sonuçlar anlatılacaktır.

Modelleme ve kontrol sistemimizin temelini oluşturacak başlangıç veri tabanı oluşturulurken kesikli akışkan yatakta ekmek mayası kurutma sürecini maksimum şekilde kapsayacak bir deney matrisi ile deneyler yapılmış ve elde edilen sonuçlar

çevrim içi (on – line) olarak bilgisayar ortamına aktarılarak düzgün bir şekilde kaydedilmişlerdir.

Bütün yapay sinir ağlarımızda geri beslemeli ileri yayımlı ağ yapısı kullanılmıştır.

Baum ve Haussler (1989), Dowla ve Rogers (1995) ve Masters (1994) yaklaşımları dikkate alınarak örnek – ağırlık oranlarını (example – to – weight ratio EWR) yakalayabilmek için mümkün olan en fazla sayıda deney yapılmaya çalışılmış ve örnek (veri) sayıları arttırılmıştır. Fakat oluşturulan modelleme sistemi devreye girdiğinde devam eden üretim sayesinde bu istenen oranlar rahatlıkla yakalanacak hatta fazlasıyla aşılacaktır.

Doğru bir veri tanımlaması (giriş ve çıkışların belirlenmesi) yapay sinir ağı ile modellemede önemli rol oynar. Öngörmek istediğimiz çıkış parametreleri ve bu çıkış parametreleri üzerinde etkili olan giriş parametrelerinin belirlenmesi ilk adımımızı oluşturur. Daha sonra bu her bir giriş ve çıkış parametrelerinin ölçüm ve ölçekleme skalalarının belirlenmesi yapılır. Giriş ve çıkış parametreleri ve ilgili detaylar Tablo 5.1 ve 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.1: Giriş parametreleri

Girişler	Birim	Ölçek
Kurutma Zamanı (t)	s	0 – 3600
Yükleme Miktarı (W)	kg	300 – 850
Giriş Hava Nemi (X_{in})	kg_{su} / kg_{hava}	0.0016 – 0.0165
Giriş Hava Debisi (F_a)	m^3 / h	20000 – 60000
Giriş Hava Sıcaklığı (T_a)	$^{\circ}C$	30 – 150

Tablo 5.2: Çıkış parametreleri

Çıkışlar	Birim	Ölçek
Kuru Madde Değeri (KM)	$\%$	33 – 98
Ürün Sıcaklığı (T_m)	$^{\circ}C$	20 – 85

Veritabanı: Eğitim için kullandığımız veri tabanı, problem domenindeki bütün bilinen değişkenleri mümkün olduğunca kapsayacak bir şekilde hazırlanmıştır. Kurulan sistem, uyarlanabilir bir yapıya sahip olduğu için veri tabanını ilerleyen zamanlarda daha doğru ve güncel bir şekilde kendini zaten geliştirecektir. Veri tabanı oluşturulurken gerekli gruplandırma (eğitim veri tabanı, validasyon veri tabanı ve test veri tabanı) deney setleri içinden rasgele olarak yapılmıştır. Looney (1996), Swinger (1996) ve Nelson ve Illingworth (1990) makalelerinin irdelenmesi sonucu, çekirdek yapı (sistem ilk kurulurken oluşturulan deney ve rutin üretim verileri ile modeller) oluşturulurken kullanılan veri tabanı bölümlendirmesi ise şu şekildedir: Dataların %60'ı eğitim, %30'u test ve %10'u validasyon. Yapılan toplam deney sayısı 570 adettir.

Normalizasyon: Verilerin belirli aralıklarda ölçeklendirilmemesi durumunda, büyük rakamların küçük olanları bastırmaları ve öğrenme sürecinde gizli katmanların doygunluğa ulaşmaları gibi iki problem karşımıza çıkar. Bu iki sorundan kurtulmak için verilerin mutlaka ölçeklendirilmesi gerekmektedir. Öğrenmede yavaşlamaya veya öğrenmemeye neden olan sigmoid fonksiyonunun doygunluğunu önlemek için ölçeklendirme [0 1] yerine [0.1,0.9] arasında yapılmıştır (Hassoun, 1995 ve Masters, 1994). u_i giriş veya çıkış değerlerini $[\alpha_1, \alpha_2]$ aralığında ayarlayan transfer fonksiyonu

$$z_i = \alpha_1 + \left(\frac{u_i - u_{i,\min}}{u_{i,\max} - u_{i,\min}} \right) (\alpha_2 - \alpha_1) \quad (5.1)$$

şeklinindedir. z_i , u_i 'nin normalize edilmiş değeri; $u_{i,\min}$ ve $u_{i,\max}$, sırasıyla veri tabanındaki u_i 'nin minimum ve maksimum değerleridir.

Öğrenme oranı (η) ve momentum katsayısı (μ): Geri yayımlı ağda öğrenme oranının belirlenmesi önemli bir noktadır. Yüksek öğrenme oranı, adımlar büyüdüğü için öğrenmeyi hızlandırır. Her bir döngüde ağırlık vektöründe, W_v , kayda değer değişiklikler olur. Bununla birlikte hata yüzeyinde salınımlar meydana gelebilir ve optimum ağırlık vektörü civarında ciddi sapmalar görülebilir. Tam tersinde ise,

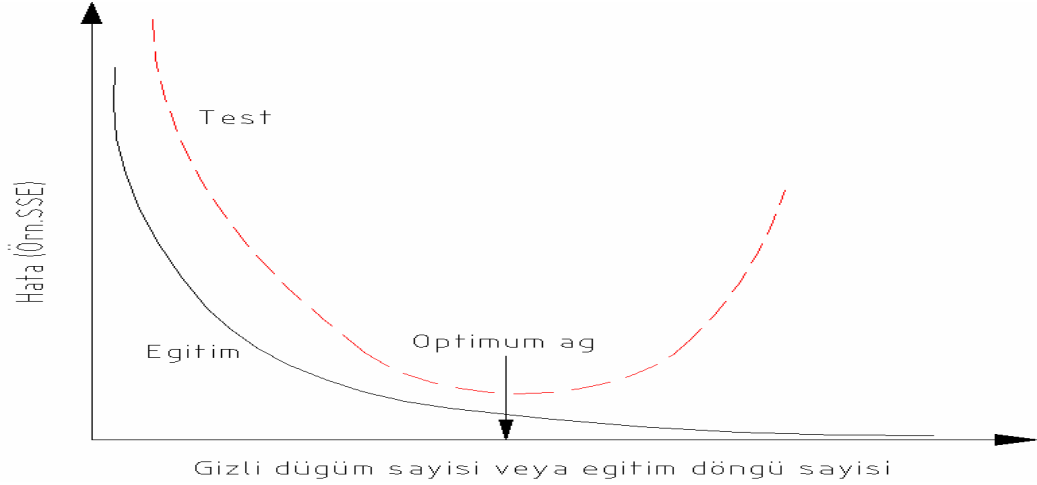
küçük öğrenme adımlarında global minimuma doğru durağan fakat yavaş bir gidiş olur. Whthoff (1993), Zupan ve Gasteiger (1993) ve Fu (1995) öğrenme oranları için çeşitli tavsiyelerde bulunmuşlardır. Uyarlanabilir öğrenme oranı, $[\eta(t)]$, bazı problemlerde optimal ağırlık vektörünün bulunmasında kullanılmaktadır. Burada ki temel mantık, minimumdan uzak noktalarda büyük adımlar, minimuma yaklaştıkça küçük adımlar ile öğrenme oranı değiştirilir. Momentum terimi, lokal minimum ağırlıklar güncellenerek aranırken kararlılığın bozulma ihtimalini azaltmak için kullanılır. Salınımdan kaçınmak için öğrenme oranını azaltmaya gerek kalmaksızın momentum katsayısı ağırlık güncellemesini hızlandırır. Yüksek momentum katsayısı ağırlık lokal minimumda takılma riskini azaltır fakat yüksek öğrenme oranı değerlerinde çözümden sapma riskini artırır. $\mu > 1$ kararlılığın bozulmasına neden olabilir. Son derece küçük momentum katsayısı yavaş öğrenme sonucunu doğurur. Hassoun (1995), Wythoff (1993), Fu (1995), Henseler (1995), Swingler (1996) ve Hertz ve diğ., (1991) makalelerinde momentum katsayısının belirlenmesinde tavsiyelerde bulunmuşlardır. Sabit ve uyarlanabilir momentum katsayısı uygulanabilir. Öğrenme oranı ve momentum katsayısının her ikisi de uyarlanabilir seçilmiştir.

Sonlandırma Kriteri: Yapay sinir ağlarının eğitiminde en çok kullanılan sonlandırma kriteri hataların kareleri toplamıdır (sum of squared errors – SSE). Eğitim ve test kısımları için hesaplama

$$SSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (r_{ij} - s_{ij})^2 \quad (5.2)$$

şeklinde olur.

Burada s_{ij} ve r_{ij} , sırasıyla i . örnekte j çıkış nodunun gerçek ve hedef değerleri, N eğitim örneklerinin sayısı ve M çıkış düğümlerinin sayısıdır. Bizde eğitim sonlandırma işleminde hatayı SSE kriterine göre hesapladık ve Şekil 5.4’de gösterildiği gibi optimum ağ noktasında eğitimler durdurulur.



Şekil 5.4: Eğitim sonlandırma kriteri

Başlangıç ağırlıkları: Ağırlık ve eşik değerleri ilk atamaları rasgele yapılır. Yapay sinir ağlarımızdaki ağırlık ve eşik değerlerinin ilk atamaları Rumelhart (1986), Lee (1991), ASCE (2000), Haykin (1994) ve Wessels ve Barnard (1992)'ın çalışmalarındaki tavsiyeler sonucunda yapılan denemelerde ASCE (2000)'nin yaklaşımı bizim sürecimizin modellemesinde daha iyi sonuç vermiştir. ASCE (2000) rasgele atanan ağırlık ve eşik değerlerinin -0.30 ile +0.30 arasında olmasını tavsiye etmektedir. Bu çalışmada bütün ağ yapılarında ağırlık ve eşik değeri ilk atamalarını [-0.30 ; +0.30] olarak yapılmıştır.

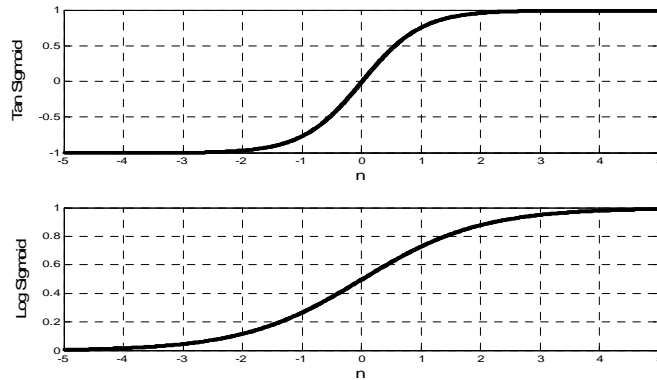
Gizli katmandaki nöron sayıları: Yapay sinir ağı tasarımında en kritik konu, ağdaki gizli katman sayısının ve her bir gizli katmandaki nöron sayılarının doğru olarak belirlenmesidir. Ağdaki gizli düğümlerin optimal değerleri, giriş – çıkış vektörünün boyutunun, eğitim ve test verilerinin bir fonksiyonudur ve daha da önemli olarak problemin doğrusal olmaması ile doğrudan ilişkilidir. Yapay sinir ağı tasarımında en kritik noktalardan biri, her bir gizli katmandaki optimum nöron sayılarının belirlenmesidir. Çok az sayıdaki gizli düğüm karmaşık modelleri tanımlamada yetersiz kalır sadece doğrusal sistemler için uygun olur. Çok fazla sayıda gizli düğüm olması aşırı parametre yüzünden veriler içindeki gürültülerden etkilenilir ve eğitilmemiş verilerde kötü bir genellemeye neden olur. Ayrıca gizli düğümlerin artırılması eğitim zamanında da artışa neden olur. Fonksiyon tahmin problemlerinin çoğunda, sürekli fonksiyonları tahmin etmek için bir gizli katman yeterlidir (Basheer,

2000 ve Hecht ve Nielsen, 1990). Genellikle iki gizli katman sürekli olmayan fonksiyonların öğretilmesinde gerekli olabilmektedir (Masters, 1994). Literatürde gizli düğüm sayısını belirlemesi üzerine çeşitli yaklaşımlar olsa da optimum gizli düğüm sayısını belirlemede en popüler yöntem deneme yanılmadır. Bu çalışmada YSA yapılarının her bir katmanında 5 – 20 arasındaki gizli düğüm sayıları denenmiştir.

Aktivasyon fonksiyonu: Geri beslemeli yapay sinir ağlarına çeşitli transfer fonksiyonları uygulanmaktadır. Fakat yapılan birçok çalışmaya rağmen bir transfer fonksiyonun diğerine karşı üstünlüğü henüz teorik olarak ispatlanamamıştır (Hassoun, 1995). Bu çalışmada Hard-Limit, Simetrik Hard-Limit, Tan-Sigmoid, Üçgen, Log-Sigmoid, Radyal Temelli, Doğrusal, Pozitif Doğrusal, Satlin ve Simetrik Satlin geçiş fonksiyonlarının (Bkz. Tablo A.1) tamamı YSA yapılarının hepsinde denenmiş ve Tan-Sigmoid ile Log-Sigmoid transfer fonksiyonları daha iyi sonuç vermiştir. YSA yapılarımızda aktivasyon fonksiyonu olarak Tan-Sigmoid ve Log-Sigmoid transfer fonksiyonları seçilmiştir. Hiperbolik tanjant sigmoid transfer fonksiyonu ve logaritmik sigmoid transfer fonksiyonu denklemleri sırasıyla denklem 5.3 ve 5.4’de, bu fonksiyonların grafikleri ise Şekil 5.5’de verilmiştir.

$$f(n) = \frac{2}{(1 + e^{-2n})} - 1 \quad (5.3)$$

$$f(n) = \frac{1}{(1 + e^{-n})} \quad (5.4)$$



Şekil 5.5: Çalışmada kullanılan transfer fonksiyonlarının grafikleri

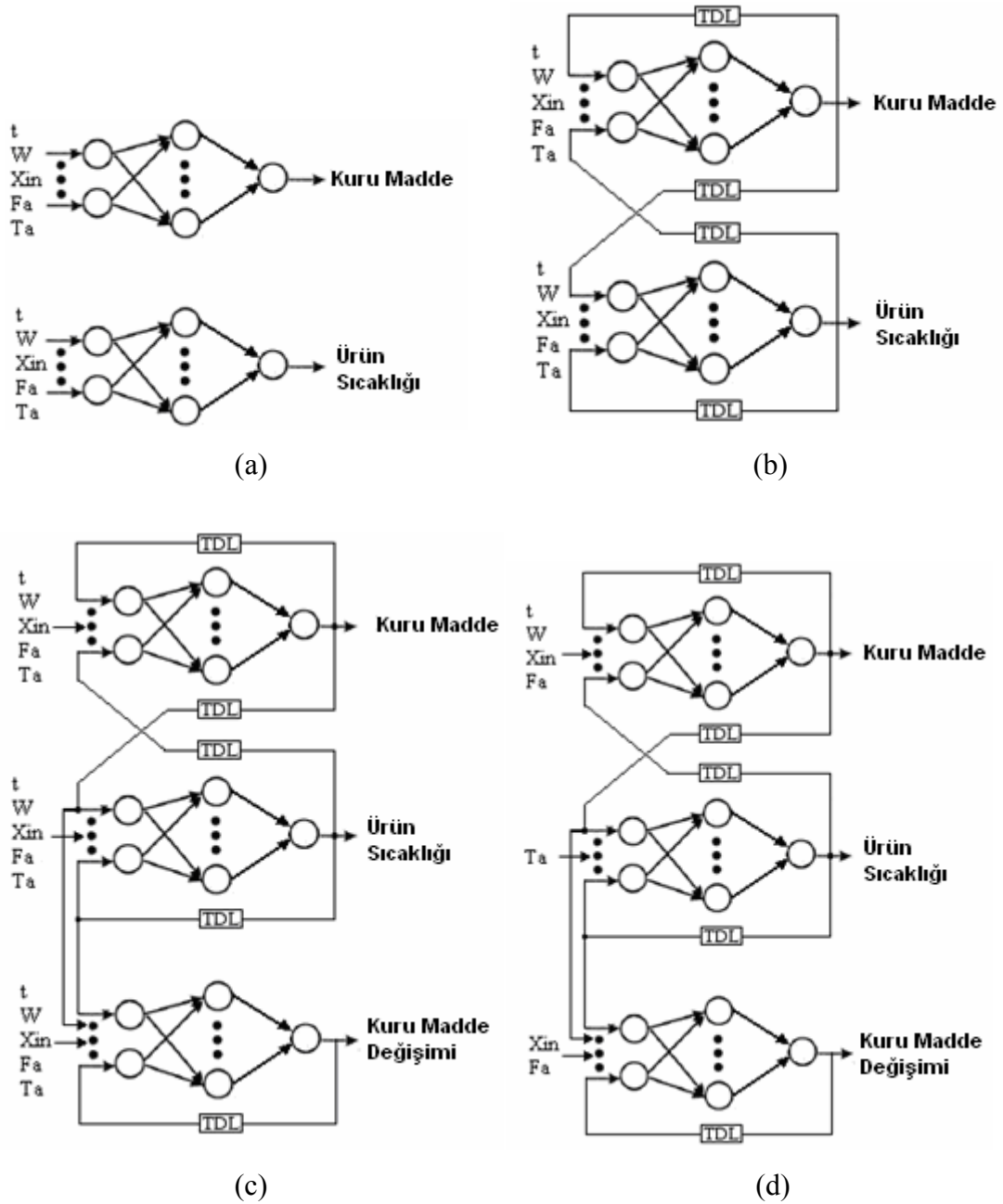
Eğitim modu: Eğitim rneklerinin YSA yapılarına uygulanmasında iki yöntem vardır: (i) rneklerden tek tek (example – by – example training EET) ve (ii) yığın olarak (batch training BT) yararlanılır (Zupan ve Gasteiger, 1993 ve Wythoff, 1993). BT modunun avantajı, hata değişim vektörünün hesaplanmasını ve ihtiyaç duyulan ağırlık değişimlerinin ölçümlerinin daha iyi yapılmasını sağlar. Bununla birlikte, daha fazla bir depolama alanına ihtiyaç duyar ve lokal minimumlara takılma riski daha fazladır. Eğitim modu olarak, depolama alanında herhangi bir kısıtlamamız olmadığı için BT modunu seçtik ve eğitim örneklerinin ağa tanıtılması rasgele olarak yapılmıştır. En iyi çözüm için, başarılı eğitim döngüleri arasında eğitim örneklerinin ağa tanıtılma sırası rasgele olmalıdır (Zupan ve Gasteiger, 1991).

Akışkan yataklı kurutma süreçlerinde öngörülmesi gereken iki temel parametre vardır. Bu iki temel çıkış parametresi ürün kuru madde değeri ve ürün sıcaklığıdır. Diğer bütün değişkenler bu iki parametreden kolaylıkla hesaplanabilir. Bir model oluştururken, modellenecek sistemin giriş ve çıkış parametrelerinin doğru olarak belirlenmesi ilk ve en önemli adımdır. YSA üç ana katmandan oluşur: Giriş, gizli ve çıkış katmanları. Giriş katmanı beş elemandan oluşur; kurutma zamanı (t), yükleme miktarı (W), giriş hava nemi (X_{in}), giriş hava debisi (F_a) ve giriş hava sıcaklığı (T_a). ıkış katmanı elemanları ise: Ürünün kuru madde miktarı (KM), rn sıcaklığı (T_m) ve kuru madde değişim miktarı (dKM).

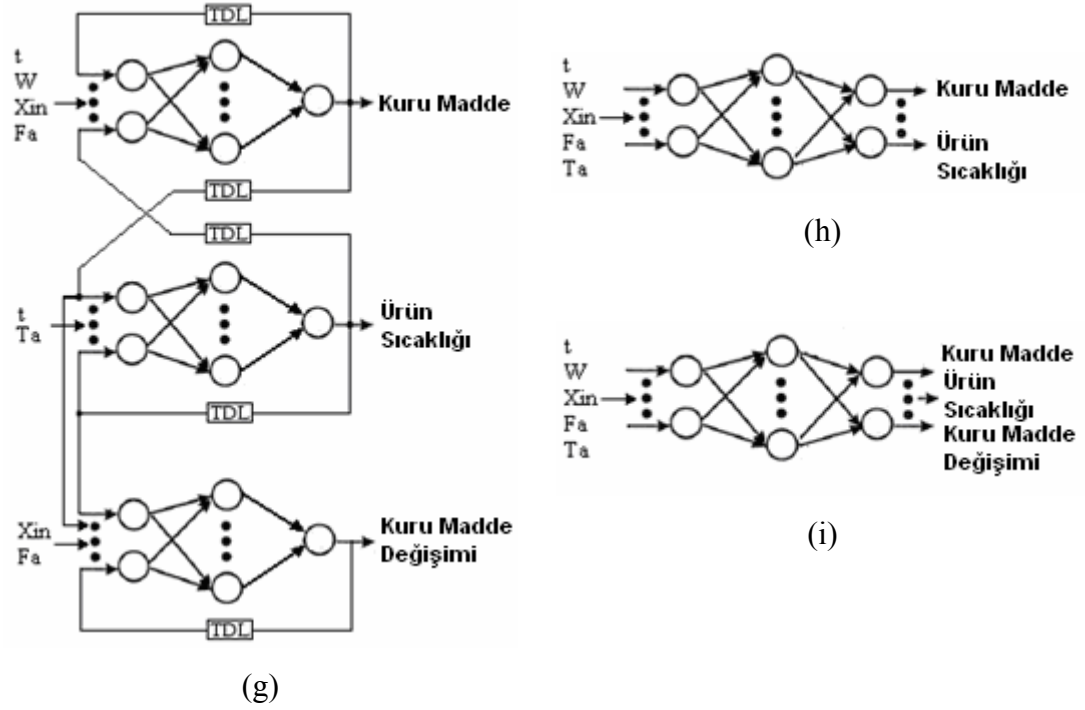
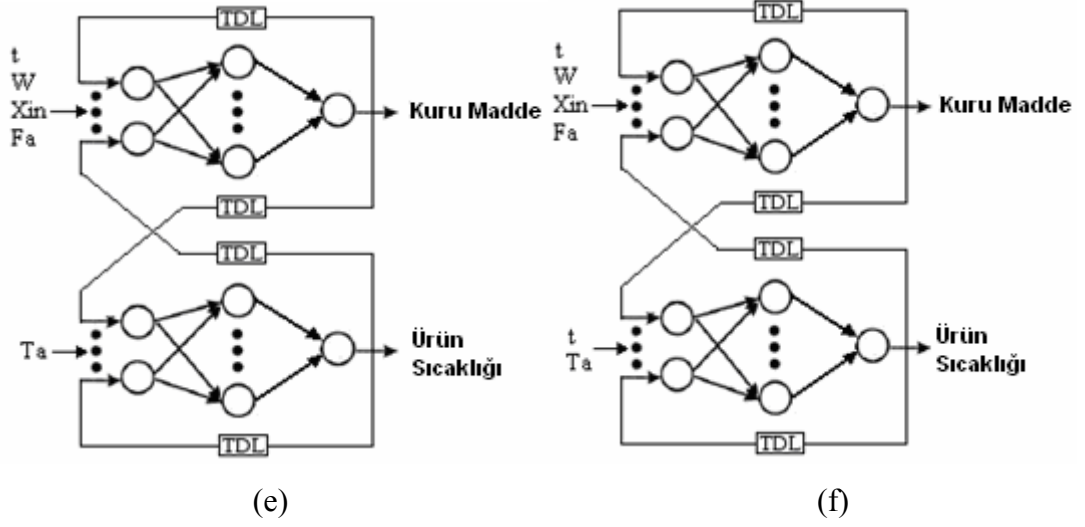
Bu çalışmada, endüstriyel boyuttaki akışkan yataklı kurutma fırınlarından bir yıl içinde eşitli zamanlarda elde edilmiş 570 veri setinin örnekleme periyodu 30 s. dir.

Hem sistemimizi iyi bir şekilde tanımlayan hem de en hızlı alışan YSA modelini belirlemek için 15 farklı YSA yapısı bu çalışmamızda incelenmiştir. Bu YSA yapıları arasında giriş katmanında ve katmanlar arasındaki ilişkilerde olmak üzere iki temel farklılık vardır. Çeşitli gizli katman nöron sayıları ve aktivasyon fonksiyonları bu YSA yapılarına uygulanarak en iyi sonuç veren parametreler belirlenmiştir. Optimum parametreler aranırken, her bir katmanda 5 – 20 arasında değişen düğüm sayısı ile Hard-Limit, Simetrik Hard-Limit, Tan-Sigmoid, gen, Log-Sigmoid, Radyal Temelli, Doğrusal, Pozitif Doğrusal, Satlin ve Simetrik Satlin geçiş

fonksiyonları incelenmiştir. Bütün YSA model yapılarında aynı parametreler uygulanarak 15 YSA yapısından elde edilen sonuçlar kaydedilmiştir. Bir sonraki adımda parametreler değiştirilmiş ve yeni parametreler bütün YSA yapılarına aynı şekilde uygulanmış ve yine sonuçlar kaydedilmiştir. En son olarak elde edilen bu sonuçların karşılaştırmaları neticesinde en uygun parametreler belirlenmiştir. Bu YSA yapılarını Şekil 5.6'da detaylı bir şekilde gösterecek olursak aralarındaki farklılıklar daha iyi anlaşılır. TDL zaman gecikmesini (time delay) göstermektedir.



Şekil 5.6: Çalışmada kullanılan YSA yapıları



Şekil 5.6 (devam): Çalışmada kullanılan YSA yapıları

YSA modellerinin giriş – çıkış ilişkilerini Tablo 5.3’de verecek olursak:

Tablo 5.3: YSA yapılarının giriş / çıkış ilişkileri

Model	Çıkış fonksiyonu
YSA-1	$KM(k) = f(t(k), W(k), X_{in}(k), F_a(k), T_a(k))$
(a)	$T_m(k) = f(t(k), W(k), X_{in}(k), F_a(k), T_a(k))$
YSA-2	$KM(k) = f(t(k), W(k), X_{in}(k), F_a(k), T_a(k), KM(k-1), T_m(k-1))$
(b)	$T_m(k) = f(t(k), W(k), X_{in}(k), F_a(k), T_a(k), KM(k-1), T_m(k-1))$
	$KM(k) = f(t(k), W(k), X_{in}(k), F_a(k), T_a(k), KM(k-1), T_m(k-1))$
YSA-3	$T_m(k) = f(t(k), W(k), X_{in}(k), F_a(k), T_a(k), KM(k-1), T_m(k-1))$
(c)	$\Delta KM(k) = f\left(t(k), W(k), X_{in}(k), F_a(k), T_a(k), KM(k-1), T_m(k-1), \Delta KM(k-1)\right)$
YSA-4	$KM(k) = f(t(k), W(k), X_{in}(k), F_a(k), KM(k-1), T_m(k-1))$
(d)	$T_m(k) = f(T_a(k), KM(k-1), T_m(k-1))$
	$\Delta KM(k) = f(X_{in}(k), F_a(k), KM(k-1), T_m(k-1), \Delta KM(k-1))$
YSA-5	$KM(k) = f(t(k), W(k), X_{in}(k), F_a(k), KM(k-1), T_m(k-1))$
(e)	$T_m(k) = f(T_a(k), KM(k-1), T_m(k-1))$
YSA-6	$KM(k) = f(t(k), W(k), X_{in}(k), F_a(k), KM(k-1), T_m(k-1))$
(f)	$T_m(k) = f(t(k), T_a(k), KM(k-1), T_m(k-1))$
YSA-7	$KM(k) = f(t(k), W(k), X_{in}(k), F_a(k), KM(k-1), T_m(k-1))$
(g)	$T_m(k) = f(t(k), T_a(k), KM(k-1), T_m(k-1))$
	$\Delta KM(k) = f(X_{in}(k), F_a(k), KM(k-1), T_m(k-1), \Delta KM(k-1))$
YSA-8	$KM(k) = f\left(t(k), W(k), X_{in}(k), F_a(k), T_a(k), KM(k-1), T_m(k-1), KM(k-2), T_m(k-2)\right)$
(b)	$T_m(k) = f\left(t(k), W(k), X_{in}(k), F_a(k), T_a(k), KM(k-1), T_m(k-1), KM(k-2), T_m(k-2)\right)$

Tablo 5.3 (devam): YSA yapılarının giriş / çıkış ilişkileri

YSA-9 (c)	$KM(k) = f\left(\begin{array}{l} t(k), W(k), X_{in}(k), F_a(k), T_a(k), \\ KM(k-1), T_m(k-1), KM(k-2), T_m(k-2) \end{array}\right)$ $T_m(k) = f\left(\begin{array}{l} t(k), W(k), X_{in}(k), F_a(k), T_a(k), \\ KM(k-1), T_m(k-1), KM(k-2), T_m(k-2) \end{array}\right)$ $\Delta KM(k) = f\left(\begin{array}{l} t(k), W(k), X_{in}(k), F_a(k), T_a(k), \\ KM(k-1), T_m(k-1), \Delta KM(k-1), KM(k-2), T_m(k-2) \end{array}\right)$
YSA-10 (d)	$KM(k) = f\left(\begin{array}{l} t(k), W(k), X_{in}(k), F_a(k), \\ KM(k-1), T_m(k-1), KM(k-2), T_m(k-2) \end{array}\right)$ $T_m(k) = f(T_a(k), KM(k-1), T_m(k-1), KM(k-2), T_m(k-2))$ $\Delta KM(k) = f\left(\begin{array}{l} X_{in}(k), F_a(k), \\ KM(k-1), T_m(k-1), \Delta KM(k-1), KM(k-2), T_m(k-2) \end{array}\right)$
YSA-11 (e)	$KM(k) = f\left(\begin{array}{l} t(k), W(k), X_{in}(k), F_a(k), \\ KM(k-1), T_m(k-1), KM(k-2), T_m(k-2) \end{array}\right)$ $T_m(k) = f(T_a(k), KM(k-1), T_m(k-1), KM(k-2), T_m(k-2))$
YSA-12 (f)	$KM(k) = f\left(\begin{array}{l} t(k), W(k), X_{in}(k), F_a(k), \\ KM(k-1), T_m(k-1), KM(k-2), T_m(k-2) \end{array}\right)$ $T_m(k) = f(t(k), T_a(k), KM(k-1), T_m(k-1), KM(k-2), T_m(k-2))$
YSA-13 (g)	$KM(k) = f\left(\begin{array}{l} t(k), W(k), X_{in}(k), F_a(k), \\ KM(k-1), T_m(k-1), KM(k-2), T_m(k-2) \end{array}\right)$ $T_m(k) = f(t(k), T_a(k), KM(k-1), T_m(k-1), KM(k-2), T_m(k-2))$ $\Delta KM(k) = f\left(\begin{array}{l} X_{in}(k), F_a(k), \\ KM(k-1), T_m(k-1), \Delta KM(k-1), KM(k-2), T_m(k-2) \end{array}\right)$
YSA-14 (h)	$KM(k) = f(t(k), W(k), X_{in}(k), F_a(k), T_a(k), KM(k-1), T_m(k-1))$ $T_m(k) = f(t(k), W(k), X_{in}(k), F_a(k), T_a(k), KM(k-1), T_m(k-1))$
YSA-15 (i)	$KM(k) = f\left(\begin{array}{l} t(k), W(k), X_{in}(k), F_a(k), T_a(k), \\ KM(k-1), T_m(k-1), \Delta KM(k-1) \end{array}\right)$ $T_m(k) = f(t(k), W(k), X_{in}(k), F_a(k), T_a(k), KM(k-1), T_m(k-1), \Delta KM(k-1))$ $\Delta KM(k) = f\left(\begin{array}{l} t(k), W(k), X_{in}(k), F_a(k), T_a(k), \\ KM(k-1), T_m(k-1), \Delta KM(k-1) \end{array}\right)$

İyi bir modelin temsil ettiği sistemi en genel işletme şartlarında mümkün olduğunca iyi tanımlaması ve kontrol amaçlı kullanımlar içinde hızlı cevap vermesi gerekmektedir. Modellerin yeterliliklerine regresyon analizi ile karar verilmiştir. Aşağıda anlatılacak olan regresyon analizinde elde edilen sonuç 1 (%100) değerine ne kadar yakın ise modelin uygunluğu da o kadar iyidir.

Hataların kareleri toplamı (the sum of squares error – SSE) ölçülen değerler ile öngörülen değerler arasındaki farkların karelerinin toplamını verir. Denklem 5.5 ile hesaplanır.

$$SSE = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (5.5)$$

Hesaplanan değer 0 (sıfır) değerine ne kadar yakınsa uygunluk o kadar iyidir. Burada y ölçüm değerlerini ve \hat{y} ise öngörülen değerleri yani model çıkışlarını göstermektedir. Regresyon analizinde R^2 , regresyon karelerinin toplamı (the sum of squares of the regression – SSR) ile bütün kareler toplamının (the total sum of squares – SST) oranlarından hesaplanır. SSR öngörülen model çıkışlarının gerçek değerlerin ortalamalarının farkının kareleri toplamıdır. SSR denklem 5.6'daki gibi tanımlanır

$$SSR = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 \quad (5.6)$$

SST ise gerçek ölçüm değerlerinin gerçek değerlerin ortalamasının farkının kareleri toplamıdır ve denklem 5.7'deki gibi tanımlanır

$$SST = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (5.7)$$

burada \bar{y} denklem 5.8'deki gibi tanımlanır

$$\bar{y} = \sum_{i=1}^n y_i / n \quad (5.8)$$

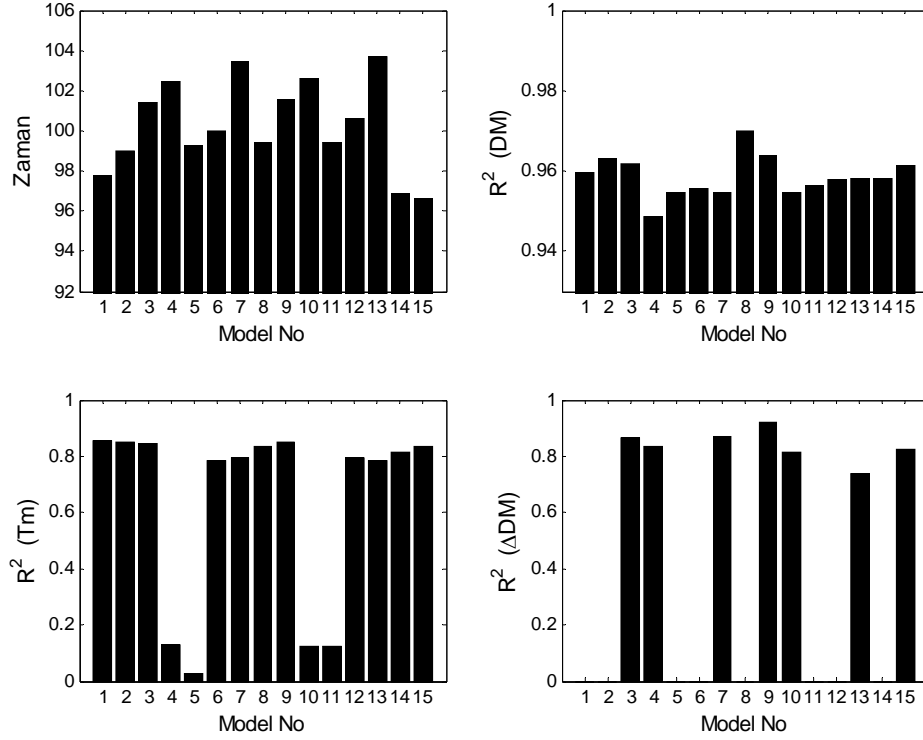
burada optimal çözüm için ($y_i = \hat{y}_i$) $SST = SSR + SSE$ yazılabilir. Regresyon analizi (R -squared , R^2) denklem 5.9'daki gibi tanımlanır

$$R - squared = R^2 = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (5.9)$$

R^2 değeri 0 ile 1 arasında bir değer alır ve 1 değerine yakınlığı uygunluğu gösterir. Örneğin, R^2 değeri 0.836 gibi bir değer almış ise bu bize bütün verilerin ortalamasındaki toplam varyasyon oranının %83.6 olduğunu gösterir.

Ayrıca iyi bir kontrol için modelin hızlı cevap vermesi gerekmektedir. Bu nedenle benzetim zamanları mukayese edilirken, YSA – 6 modelinin benzetim zamanını referans alınmış ve bu değere 100 denilerek diğer YSA modellerinin benzetim zamanları bu referans değere göre hesaplanmıştır. Bütün YSA modellerinin benzetim zamanı oranları ile kuru madde, maya sıcaklığı ve kuru madde değişim çıkışlarının R^2 değerleri hesaplanmıştır. Bu 15 YSA modelini bu kriterlere göre mukayese ettiğimizde elde edilen sonuçlar Şekil 5.7'de verilmiştir.

Bu iki kritere göre inceleme yapıldığında YSA modelleri arasındaki en iyi çözümün iki çıkış parametrelili modelde YSA – 8, üç çıkış parametrelili modelde ise YSA – 9 olduğu görülmüştür. Sonuç olarak süreç modellemesinde YSA – 9 daha uygun olduğuna karar verilmiştir.

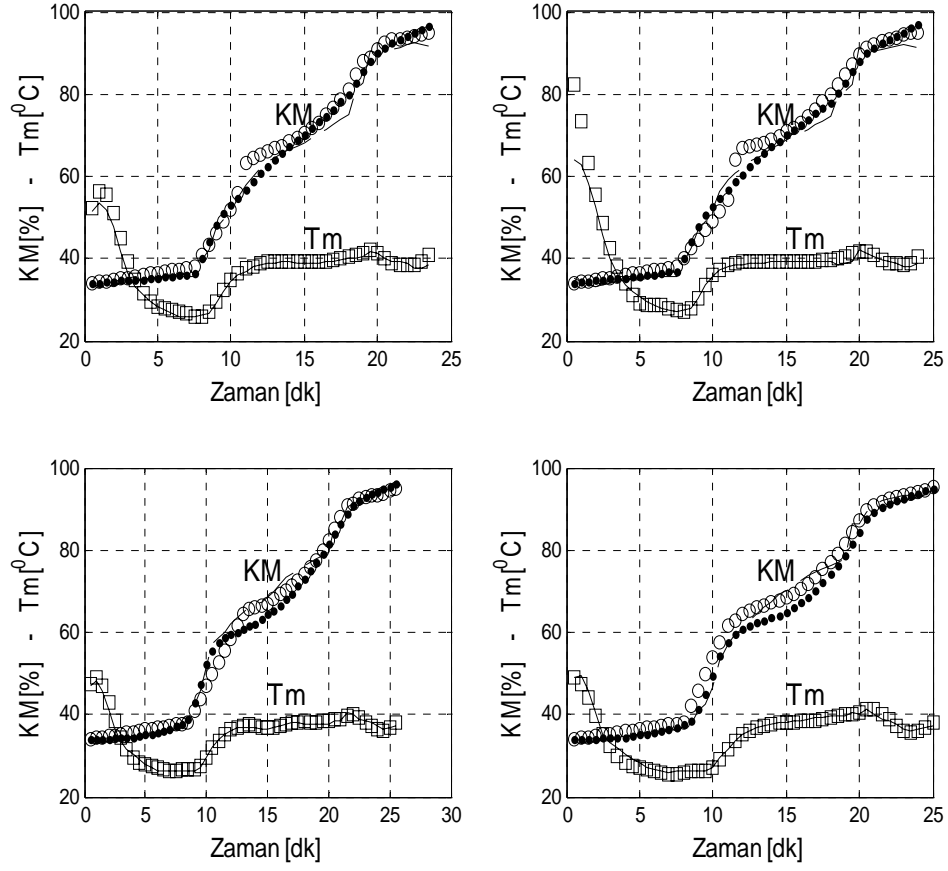


Şekil 5.7: Bütün YSA yapılarının R^2 değerlerinin dağılımı ve benzetim zamanları

Tablo 5.4: Optimum YSA parametreleri (Süreç)

Model No	YSA – 8			YSA – 9		
Çıkışlar	$KM(k), T_m(k)$			$KM(k), T_m(k), \Delta KM(k)$		
Katman Sayısı	6			9		
Katmandaki Düğüm Sayıları	12	12	12	12	12	12
	12	12	12	12	12	12
				12	12	12
Geçiş Fonksiyonları	tansig	tansig	tansig	tansig	tansig	tansig
	tansig	tansig	tansig	tansig	tansig	tansig
				tansig	tansig	tansig

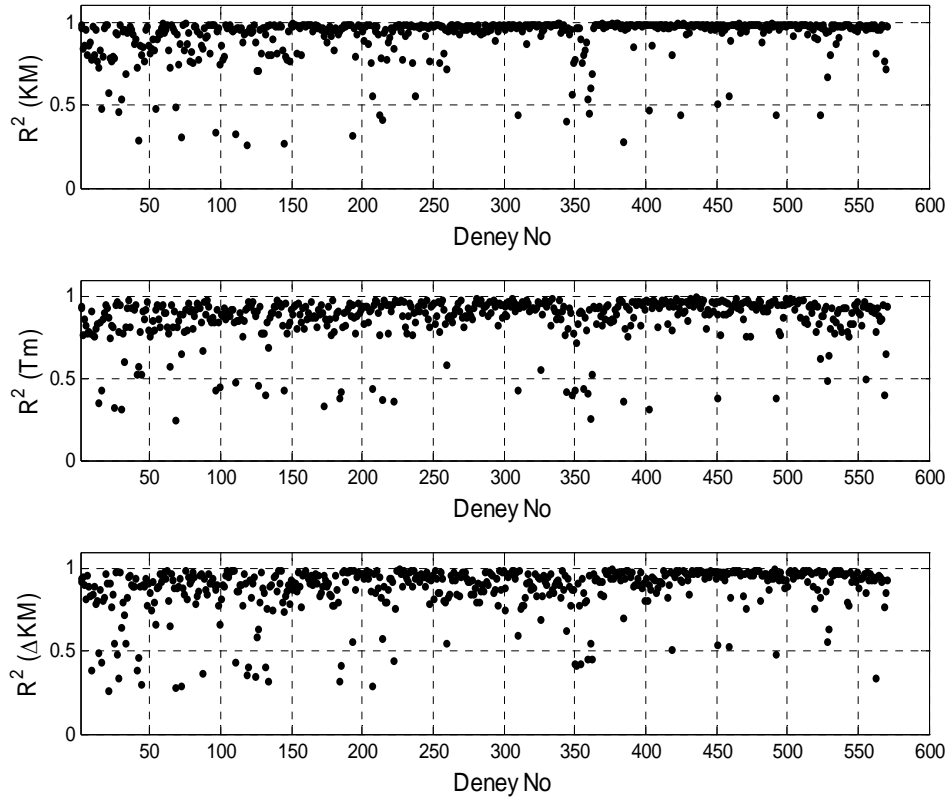
Bu modelin (YSA – 9) test için ayrılmış gerçek veriler ile yapılan benzetim sonuçlarını Şekil 5.8’de gösterilmiştir.



Şekil 5.8: YSA – 9 modelinin dört ayrı gerçek veri ile yapılan benzetim sonuçları (o) KM - ölçüm ; (—) KM - benzetim; (...) dKM - benzetim; (\square) T_m - ölçüm; (—) T_m - benzetim

YSA – 9 modelinin test verileri ile benzetim sonuçlarının R^2 değerlendirmesi Şekil 5.9’da gösterilmiştir.

Doğru bir modelleme için model giriş parametresi olarak sistemimiz girdilerinden kurutma zamanı mutlaka kullanılmalıdır. Örnek olarak 4, 5, 10 ve 11 numaralı modellerde maya sıcaklığı modellemesi sırasında kurutma zamanının giriş olarak kullanılmaması öngörülerin çok kötü olmasına neden olmuştur (Bkz. Şekil 5.7).



Şekil 5.9: YSA – 9 modelinin bütün test verilerindeki R^2 değerlerinin dağılımı

5.4. ANFIS ile Süreç Modeli

Bir önceki başlıkta yapay sinir ağı yapısı (YSA) ile oluşturmaya çalıştığımız akışkan yataкта ekmek mayası kurutma süreç modelini şimdi uyarlanabilir ağı yapısı temelli bulanık çıkarım sistemi, ANFIS (Adaptive Network Fuzzy Inference System) yardımıyla bulanık modelleme yaklaşımı kullanılarak gerçekleştirilmeye çalışılacaktır.

Sistem modellenmesinde bulanık mantık yapıları da kullanılmaktadır. Bulanık modelin performansı üyelik işlevlerin şekline ve aralığına göre değişmektedir. Bu yüzden bulanık mantık denetiminde en uygun üyelik işlevlerinin belirlenmesi çok önemlidir. Bulanık kuralların öğretilmesinde çeşitli yöntemler kullanılır. ANFIS (Adaptive Network Fuzzy Inference System) bu yöntemlerden biridir. ANFIS, giriş – çıkış verileri yardımı bulanık kuralları ve üyelik fonksiyonlarını oluşturan bir yapıdır (Jang, 1993).

Mamdani bulanık mantık yönteminin bir uyarlaması olan Takagi-Sugeno yada sadece Sugeno bulanık mantığı 80'li yıllarda ilk uygulamalarda kullanılmaya başlanmıştır. Sugeno tip bulanık modellemede çıkış üyelik fonksiyonları sabit ve doğrusal olmak üzere iki tiptir. Çıkış üyelik fonksiyonu sıfırcı dereceden olunca sabit, birinci derece doğru denklemi ile ifade edildiğinde birinci dereceden Sugeno bulanık mantık modeli olarak adlandırılır. Mamdani ile Sugeno yapılarında bulanık mantık hesaplamaları ve bulanıklaştırma işlemleri aynıdır. Sugeno tip bulanık mantık modeli, Mamdani yaklaşımından daha karmaşık fakat gösterim açısından daha uygundur (Elmas, 2003b).

Sugeno bulanık mantık yaklaşımının avantajları

- ✓ Çıktı uzayında sürekliliği garantiler
- ✓ Matematiksel analizler için uygundur
- ✓ Doğrusal olmayan sistemlerin kontrol edilmesinde çok elverişlidir
- ✓ Hesaplamalar için uygundur
- ✓ En iyileme ve uyarlanabilir teknikler ile uyumlu çalışır ve çıkış parametrelerini optimize ederek sonuçları iyileştirir

Bunun yanında Sugeno bulanık mantık modelinin kısıtlamaları ve dezavantajlarından bahsedecek olursak

- ✓ Sadece birinci ve sıfırcı dereceden Sugeno tip sistemler
- ✓ Çok girişli olmalarına karşın sadece tek çıkışlıdırlar
- ✓ Kural paylaşımı söz konusu değildir, farklı kurallar aynı çıkış üyelik fonksiyonunu paylaşamazlar
- ✓ Birinci dereceden çıkış üyelik fonksiyonuna haiz Sugeno modeller biraz karmaşık bir yapıya sahiptirler
- ✓ İnsan sezgilerine çok uygun olmadığı

- ✓ Giriş ve alt küme sayılarının artması sonuçları bulunması gereken soncul parametrelerin sayısı arttığı için eğitimi zorlaştırır ve işlem yükü ciddi bir şekilde artar

gibi maddeler sayılabilir (Elmas, 2003b).

Yapay sinir ağı ile süreç modellemesindeki bazı temel yaklaşımlar ANFIS içinde geçerlidir. ANFIS çalışmasında da yapay sinir ağı ile modelleme çalışmalarında kullandığımız aynı deney setleri kullanıldı. ANFIS ve yapay sinir ağı yapıları ile süreç modellemesi yaparken kullandığımız aynı olan yaklaşımları, parametreleri ve temel benzerlikleri detaya girmeden kısaca sıralayacak olursak:

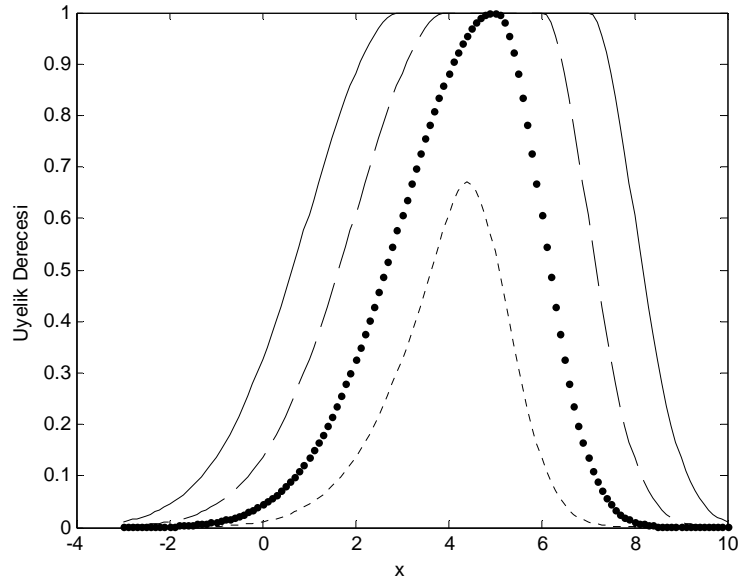
- 1) Giriş ve çıkış parametrelerinin tamamı
- 2) Deney setleri ve veri tabanı
- 3) Deney setlerinin eğitim, test ve validasyon seti olarak ayrılma şekilleri
- 4) Giriş ve çıkış verilerinin normalizasyon şekli ve skalası
- 5) Eğitim modu (BT – Batch Training, Yığın)

Çalışmada üyelik fonksiyonu olarak iki Gauss fonksiyonunun birleşimi kullanılmıştır (Gauss2mf). Bu fonksiyon denklem 5.10'da verilmiştir.

$$f_n(x) = e^{-\frac{(x-a_n)^2}{2\sigma_n^2}} \quad (5.10)$$

Burada $n=1,2$. Parametrelerden a_1 ve σ_1 sırasıyla soldaki eğrinin ortalama ve varyans değerlerini, a_2 ve σ_2 ise sırasıyla sağdaki eğrinin ortalama ve varyans değerlerini göstermektedir. Bu tip üyelik fonksiyonuna birkaç örnek Şekil 5.10'da verilmiştir..

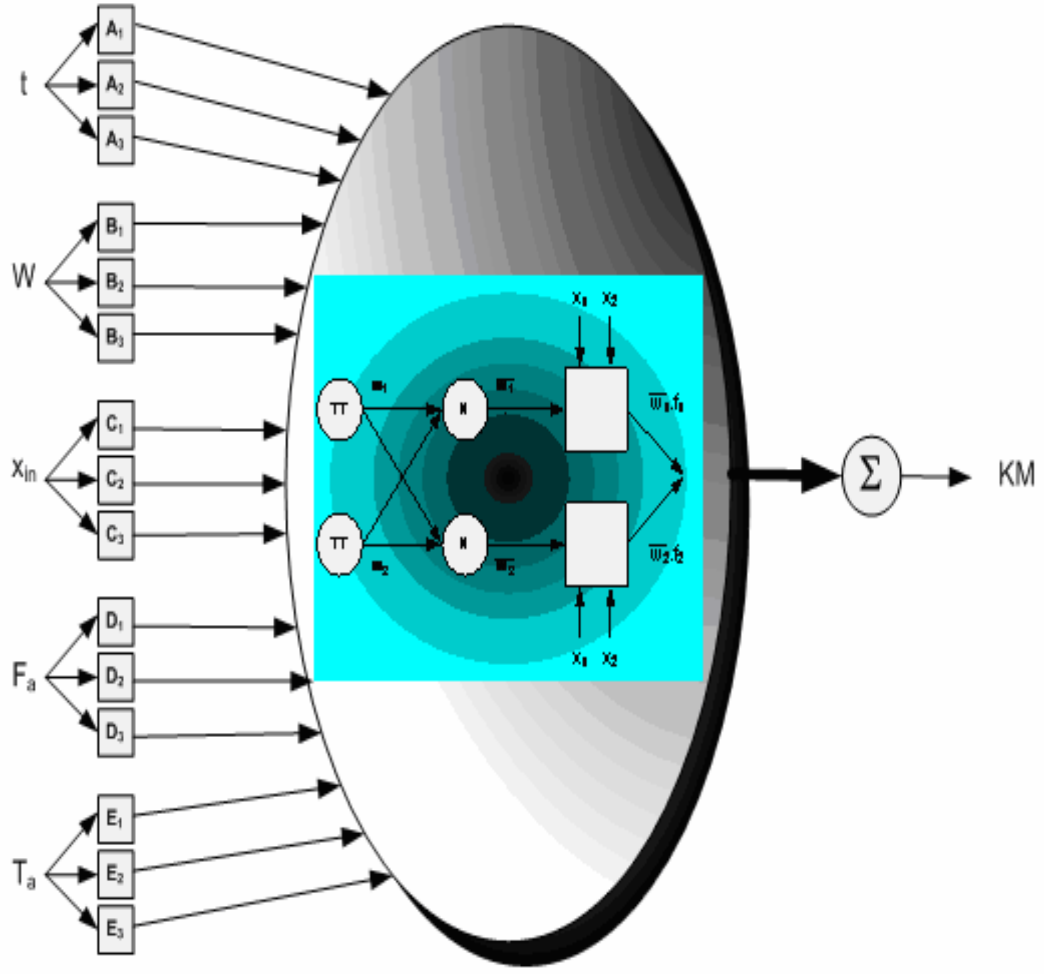
ANFIS hakkında detaylı bilgilere J. S. R. Jang (1993)'dan ulaşılabilir.



Şekil 5.10: Çalışmada kullanılan üyelik fonksiyonunun grafikleri

ANFIS mimarisinin YSA'dan temel farkı tek çıkışlı olmasıdır. Yani öngörülecek her bir çıkış parametresi için ayrı ANFIS yapısı kurmak gerekir. Giriş parametrelerimizde ise bir değişiklik yoktur. Beş temel giriş parametremiz yapay sinir ağı ile tasarladığımız YSA – 1 modelimizdeki gibi doğrudan ANFIS girişimize uygulanmıştır. Kuru madde (KM), maya kabin sıcaklığı (T_m) ve kuru madde değişimlerinin (dKM) bulanık mantık çıkarımını yapacak ANFIS yapıları ayrı ayrı oluşturulmuştur. Kuru madde (KM) kestirimi için oluşturulmuş ANFIS yapısı Şekil 5.11'de detaylı olarak verilmiştir. Diğer iki çıkış parametresi içinde yapı aynıdır. Bu yapılarda girişler aynı kalmakta sadece çıkış parametreleri değişmektedir. Eğitimler sonucu her bir çıkış için farklı üyelik fonksiyonları elde edilmektedir.

Bütün ANFIS yapılarımız beş girişli ve tek çıkışlı olup Sugeno tip bulanık mantık çıkarımını kullanılmıştır. Her bir giriş parametremiz için üç adet üyelik fonksiyonu tanımlanmıştır. Bütün çıkış üyelik fonksiyonlarımız büyük işlem yükü getirmesine rağmen daha iyi sonuçlar elde edildiği için birinci dereceden yani doğrusaldır.



Şekil 5.11: Kuru madde bulanık mantık çıkarım yapısı girişleri ve çıkışı

Burada A_i, B_i, C_i, D_i ve E_i ($i = 1, 2, 3$) sırasıyla kurutma zamanı (t), yükleme miktarı (W), giriş havasının nem miktarı (X_{in}), giriş hava debisi (F_a) ve giriş hava sıcaklığının (T_a) üyelik fonksiyonlarını göstermektedir. Doğrusal olan çıkış fonksiyonları ile de sırasıyla kuru madde (KM), maya kabin sıcaklığı (T_m) ve kuru madde değişimleri (dKM) öngörülmüştür.

Üç ayrı ANFIS yapısı ile sırasıyla kuru madde değeri, ürün sıcaklığı ve kuru madde değişim miktarları öngörülmektedir. Kuru madde (KM) maya kabin sıcaklığı (T_m) ve kuru madde değişimleri (dKM) olan çıkış parametrelerimizi oluşturan girdileri fonksiyon olarak gösterecek olursak,

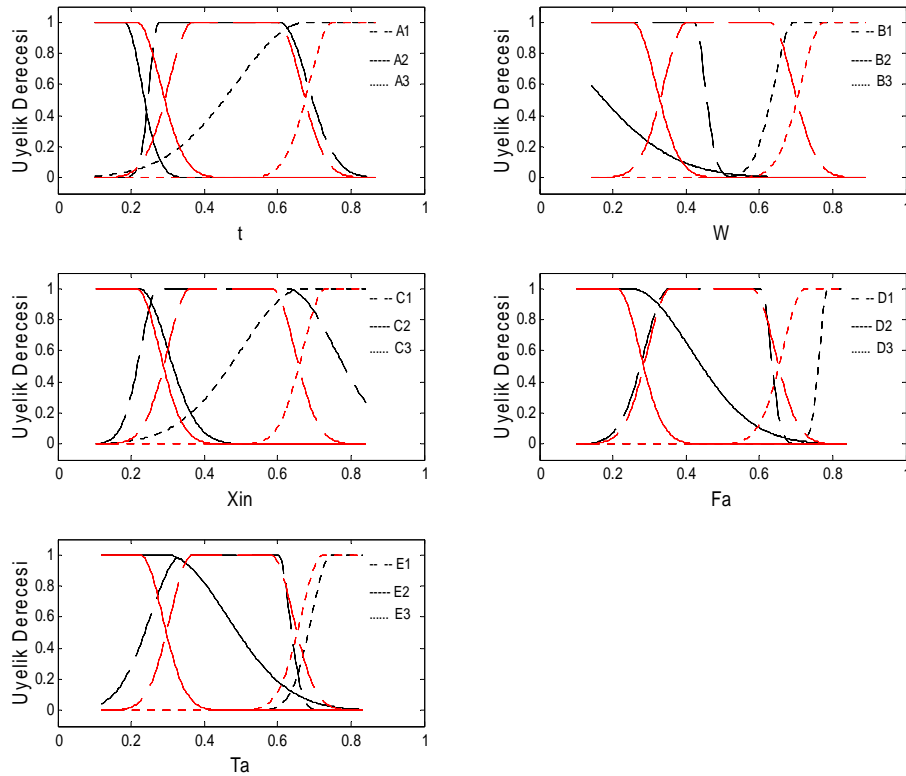
$$KM(k) = f\{t(k), W(k), X_{in}(k), F_a(k), T_a(k)\} \quad (5.11)$$

$$T_m(k) = f\{t(k), W(k), X_{in}(k), F_a(k), T_a(k)\} \quad (5.12)$$

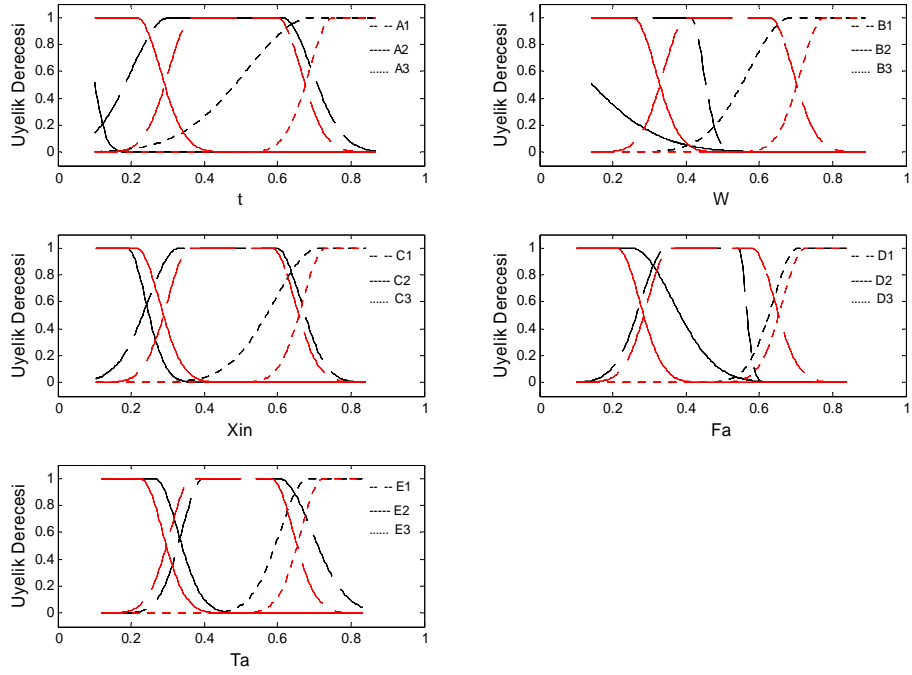
$$\Delta KM(k) = f\{t(k), W(k), X_{in}(k), F_a(k), T_a(k)\} \quad (5.13)$$

şeklindedir.

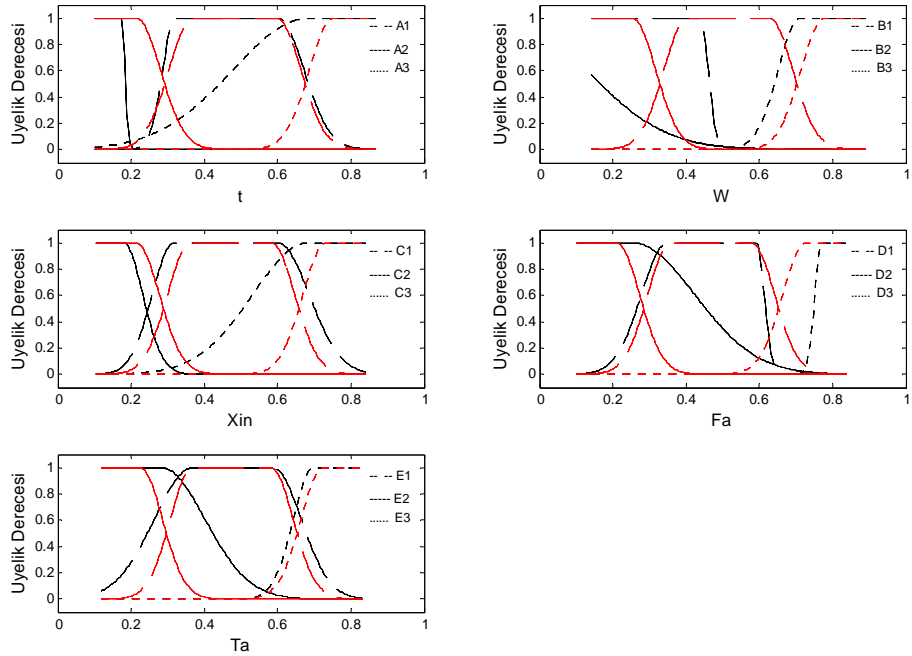
Her bir çıkış parametresini öngörebilmek için yapılan eğitimler sonucunda sırasıyla kuru madde, maya kabin sıcaklığı ve kuru madde değişim miktarlarının tanımlayan bulanık mantık modellerinin her bir giriş için üyelik fonksiyonları Şekil 5.11 – 5.13’de ve bu bulanık mantık modellerinin her üç çıkış için benzetim sonuçları da Şekil 5.14’de verilmiştir.



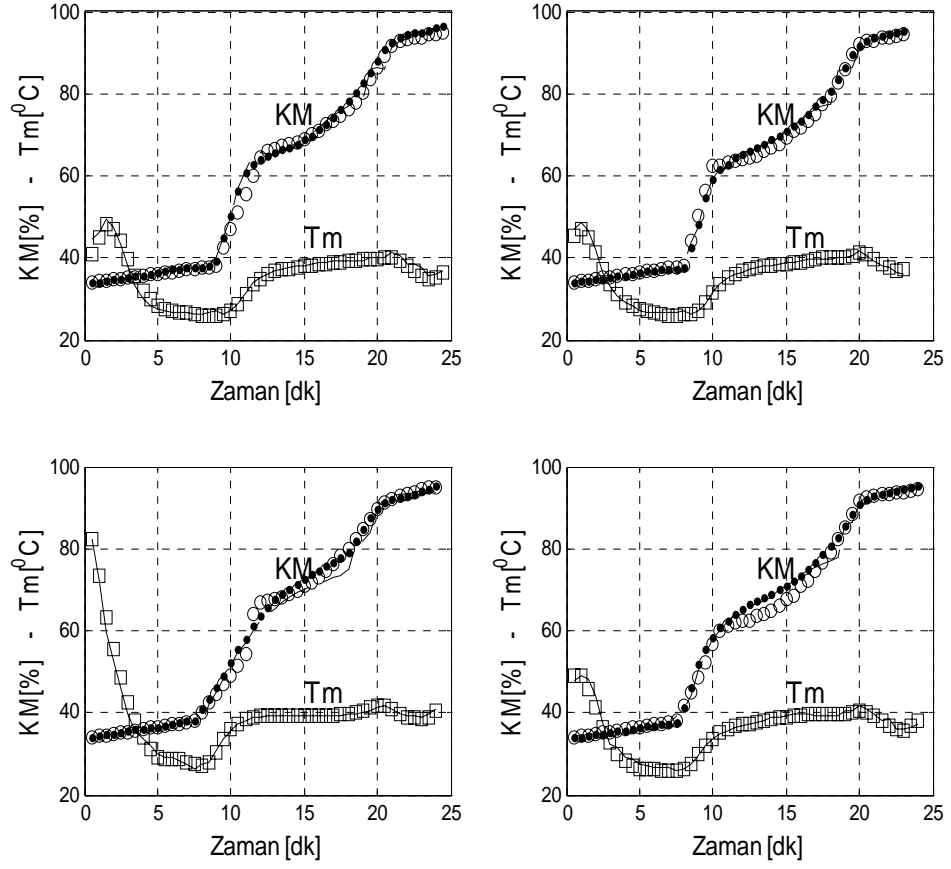
Şekil 5.11: Kuru madde üyelik fonksiyonları. Kırmızı eğitim öncesi, siyah eğitim sonrası



Şekil 5.12: Ürün sıcaklığı üyelik fonksiyonları. Kırmızı eğitim öncesi, siyah eğitim sonrası



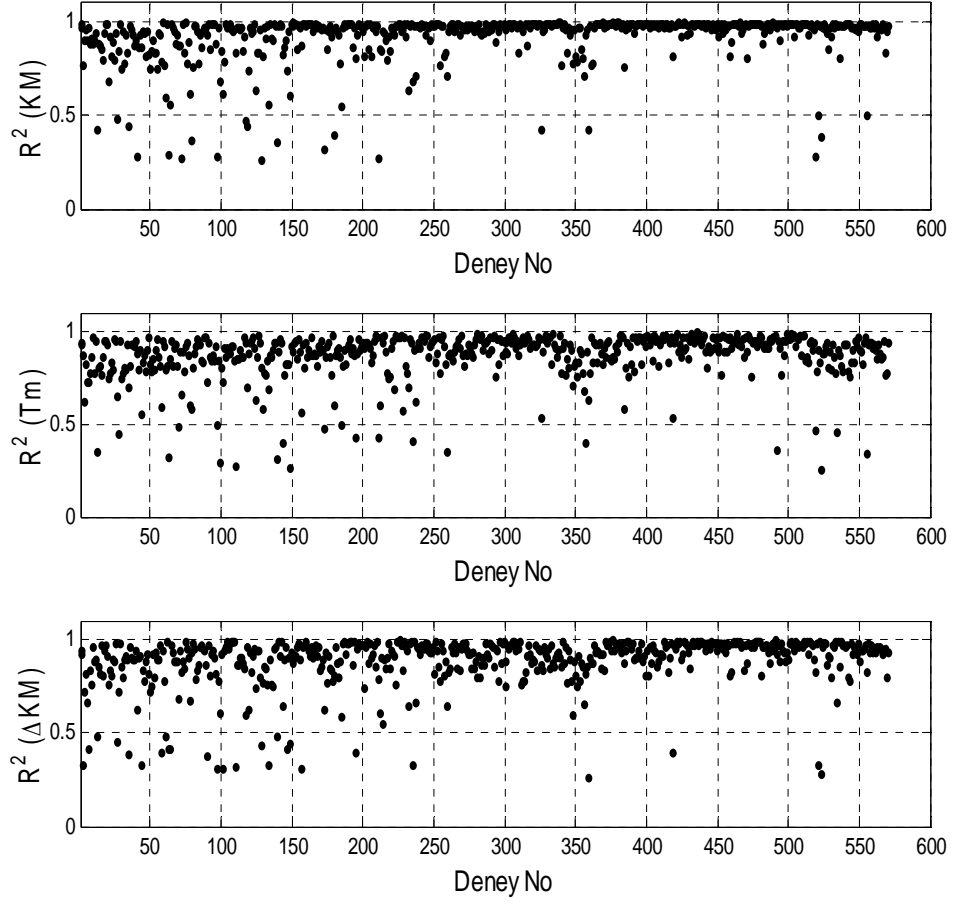
Şekil 5.13: Kuru madde değişimi üyelik fonksiyonları. Kırmızı eğitim öncesi, siyah eğitim sonrası



Şekil 5.14: Bulanık modelinin dört ayrı gerçek veri ile yapılan benzetim sonuçları (o) KM - ölçüm; (—) KM - benzetim; (...) dKM - benzetim; (□) T_m - ölçüm; (—) T_m - benzetim

Tablo 5.5: ANFIS parametreleri (Süreç)

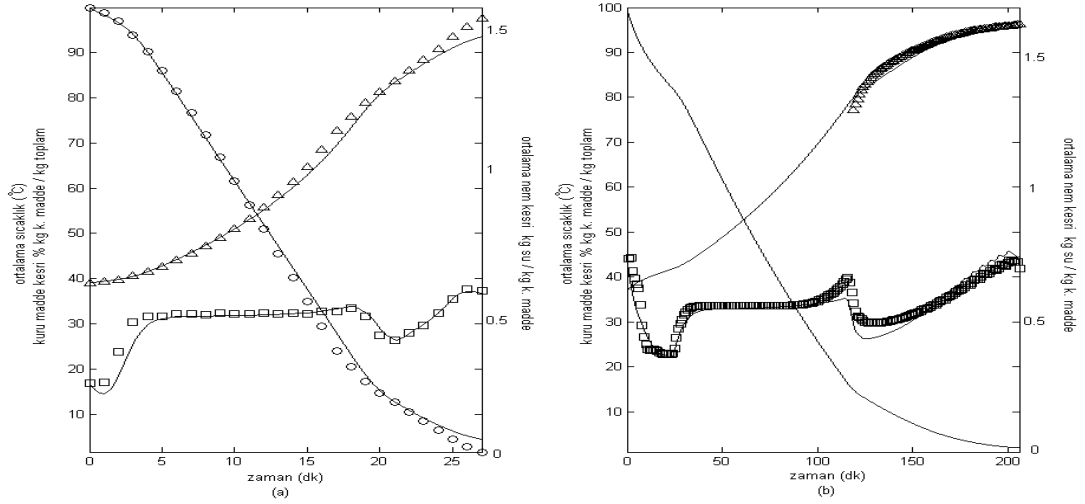
Girişler	$t(k), W, X_{in}(k), F_a(k), T_a(k)$				
Çıktılar	$KM(k), T_m(k), dKM(k)$				
Çıkış Üyelik Fonksiyonu	Doğrusal				
Her bir Giriş için Üyelik Fonksiyonu Sayısı	3				
Her bir Giriş için Üyelik Fonksiyonu Tipleri	Gauss2mf	Gauss2mf	Gauss2mf	Gauss2mf	Gauss2mf
	Gauss2mf	Gauss2mf	Gauss2mf	Gauss2mf	Gauss2mf
	Gauss2mf	Gauss2mf	Gauss2mf	Gauss2mf	Gauss2mf



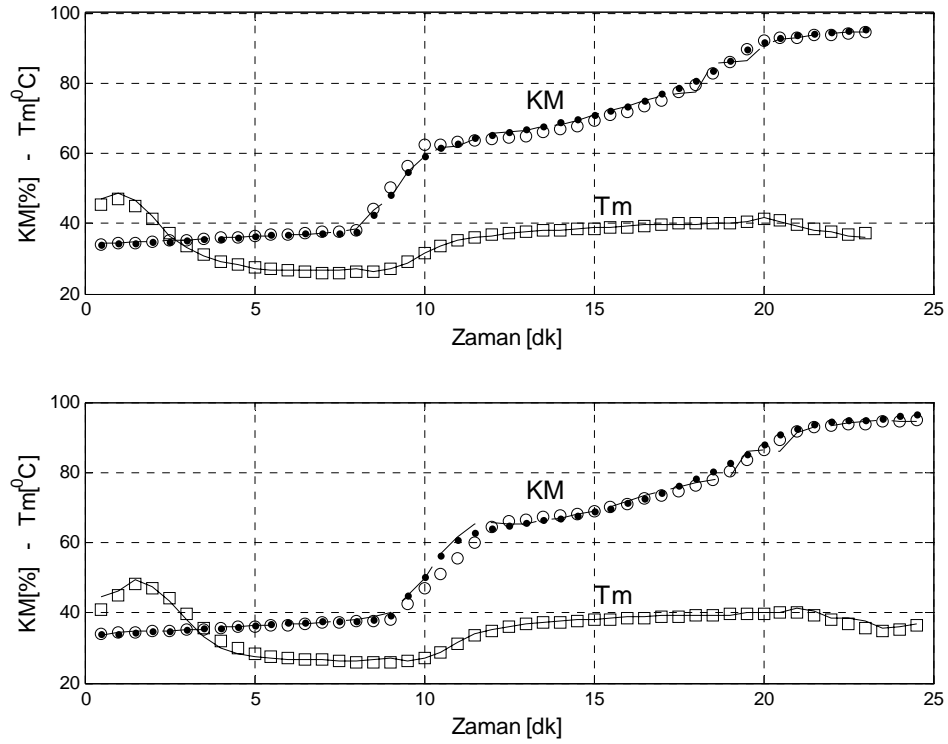
Şekil 5.15: Bulanık modelinin bütün test verilerindeki R^2 değerlerinin dağılımı

Bulanık modelin test verileri ile benzetim sonuçlarının R^2 değerlendirmesi Şekil 5.15’de ve ANFIS parametreleri de Tablo 5.5’de gösterilmiştir.

Yapay sinir ağı ve bulanık modellemeyle elde edilen sonuçların heterojen model sonuçları ile karşılaştırması Şekil 5.16 ve 5.17’de verilmiştir.



Şekil 5.16: Büzülen silindirik (a) ve küresel (b) granüllü ekmek mayasının akışkan yataklı kurutma modelinin benzetim sonuçları. Endüstriyel veriler: ortalama sıcaklık (\square), % kuru madde kesri (Δ), ort. nem kesri (O), model benzetim sonucu (-) (Yüzgeç, 2005)



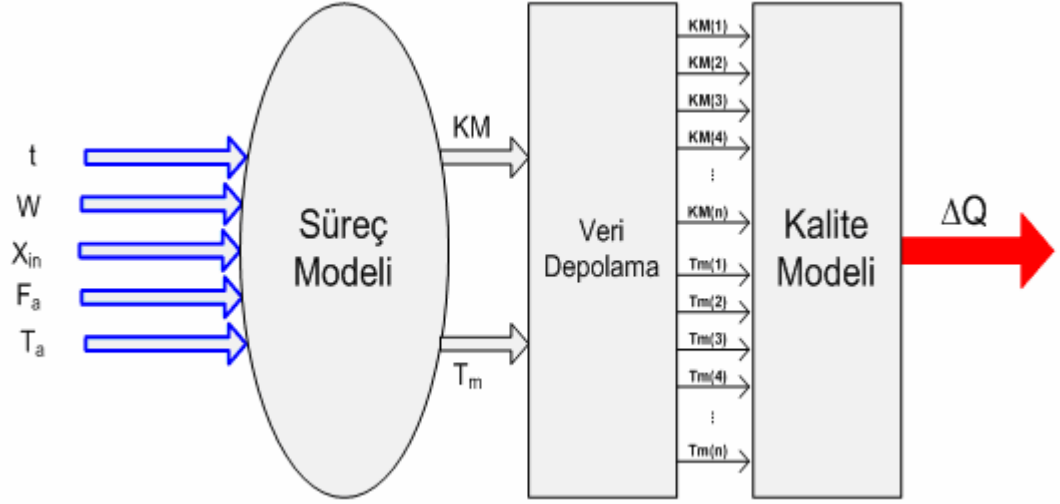
Şekil 5.17: Bu çalışmadaki modelleme çalışmalarının gerçek veri ile yapılan benzetim sonuçları (o) KM - ölçüm ; (\square) KM - benzetim ; (...) dKM - benzetim ; (\square) T_m - ölçüm ; (\square) T_m - benzetim

Şekil 5.16 – 5.17’den görüldüğü gibi uyarlanabilir model yapılarımız süreç tanımlanmasında daha karmaşık ve daha uzun benzetim süresine sahip heterojen model yaklaşımından daha iyi sonuçlar vermiştir. Kurutma sistemi ve kurutulan ürün hakkındaki daha az bilgi, modelin daha geniş bir çalışma bölgesinde geçerli olması, daha kısa benzetim süresi (daha hızlı çalışma sayesinde en iyileme ve kontrolün daha iyi olması), her türlü değişiklik karşısında modellerin kolaylıkla güncellenebilmesi bu yaklaşımın diğer artılarıdır.

5.5. Kalite Modeli

Fermantasyon sonrası elde edilen yaş ekmek mayası kurutulmak üzere kesikli akışkan yatağa beslenir. Akışkan yatakta kurutulan ekmek mayasının kalitesinde fermantasyon sonrası ölçülen kaliteye oranla bir miktar azalma meydana gelmektedir. Diğer bir deyişle kalite kaybı olur. Buradan da anlaşılacağı gibi kurutma sürecinin kalite üzerinde olumsuz bir etkisi vardır ve bu kaçınılmaz bir olaydır. Yapılabilecek tek şey bu olumsuz etkinin minimum düzeyde tutulması ve asgari kalite kaybı ile kurutma sürecinin tamamlanmasıdır. Bunun da ilk adımı bir kalite modeli oluşturulmasıdır. Kurutma süreçlerinin kurutulan ürünün kimyasal ve fiziksel özellikleri ile birlikte ürün kalitesine de etkileri vardır (Strumillo ve diğ., 1995). Bu etlilerin araştırıldığı birçok çalışma olmasına karşın yapılması ve tamamlanması gereken çok fazla eksik vardır. Bu konudaki bilgi eksikleri bizi kesikli akışkan yatakta ekmek mayası kurutma sürecinin kalite modelini yapay sinir ağı yapısı ile oluşturmaya yöneltmiştir. Kalite modellemesi üzerine daha önce yapılmış çalışmalar fiziksel modelleme temelli olup kurutma süreci boyunca üründeki kalite kaybının zamana değişimlerini gösteren modellerdir (Lievence, 1991).

Kalite modelinin oluşturulmasında kullanılacak yapay sinir ağının giriş ve çıkış parametrelerini tanımlamadan önce bazı terimler tekrar açıklamak gerekirse: Ekmek mayası üretim ve kurutma süreçlerinde kalite kavramı maya aktivitesi ile tanımlanmaktadır ve kaliteden kasıt mümkün olan en yüksek maya aktivitesinin sağlanmasıdır. Ekmek mayasının kalitesini aktivite ölçüm değerleri gösterir. Nuce değeri, fermantasyon sonrası yaş ekmek mayasının aktivitesini ve fırın aktivitesi ise kurutma sonrası kuru ekmek mayasının aktivitesi için kullanılan terimlerdir.



Şekil 5.18: Süreç ve kalite modellerinin bütünü

Ekmek mayasının akışkan yatakta kurutma sürecinin hem süreç hem de kalite modelleri beraber Şekil 5.18’de verilmiştir.

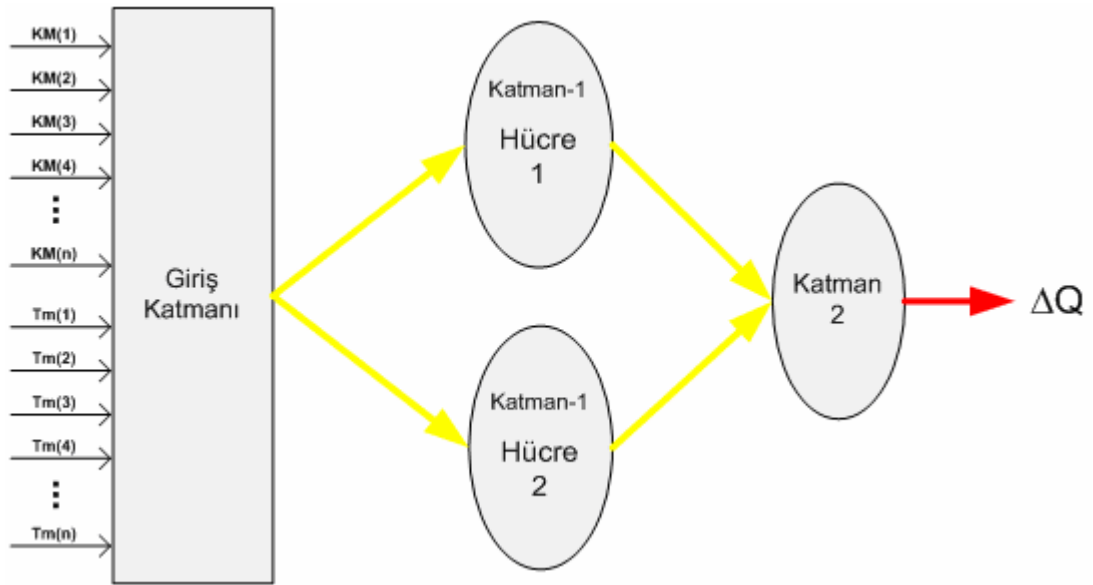
$$\Delta Q = \frac{Q_n - Q_f}{Q_n} \quad (5.14)$$

Burada Q_n kurutma öncesi kalite değeri ve Q_f kurutma sonrası kalite değeridir.

Ekmek mayasının akışkan yataklı kurutma fırınlarında kurutulması sürecinde birçok süreç giriş parametresi söz edilebilir. Bunlar; yükleme miktarı, fırın giriş havası nemi, fırın giriş havasının sıcaklığı ve fırın giriş havasının debisidir. Fırın giriş havasının nem miktarı ortam şartlarına bağlı olduğundan kurutmalar arasında hatta bir kurutma süreci boyunca değişkenlik gösterebilir. Fırın giriş havasının sıcaklığı ve debisi her bir kurutma evresinde farklı bir profil ile süreç yürütülmeye çalışılır.

Kesikli akışkan yataklı kurutma sürecinin kalite modelini oluştururken hem sistemi basitleştirmek hem de dolaylı birçok parametre ile uğraşmak yerine bu giriş parametrelerin etkileri sonucu ortaya çıkan süreç değişkenlerini kalite modelinin girdileri olarak kullanıldı. Biraz önce bahsettiğimiz bir çok dolaylı giriş parametresi yerine bu giriş parametrelerinin sonucu olarak ortaya çıkan iki süreç değişkeni kuru madde değeri, KM , [%] ve ürün sıcaklığıdır, T_m , [°C].

Kesikli akışkan yatağın giriş parametreleri ne olursa olsun bu giriş parametreleri sonucu ortaya çıkan ve doğrudan maya üzerinde etkili olan kuru madde değeri, ürün sıcaklığı değeri ve bu değerlerin zamanla değişimleri dikkate alınmıştır. Çalışmanın yapıldığı üretim tesisinde kurutma öncesi ve sonrası ürün kalite değerleri rutin olarak ölçülmektedir. Kurutma sırasında fırınlarımıza uygulanan giriş parametrelerini sonucu ortaya çıkan kuru madde ve ürün sıcaklıklarının her bir örnekleme anındaki değerleri kurutma boyunca depolanmakta ve kurutma sonrası yine rutin olarak yapılan ürün kalite ölçümünün de sisteme girilmesiyle veri tabanı kendiliğinden oluşmaktadır. Bu şekilde yapılan giriş – çıkış tanımlaması ile kalite modeli oluşturulurken ve ortam şartlarına göre kendiliğinden güncellenirken hem deney hem de üretim aşamalarında üretim tesisine ve çalışanlarına ek bir yük getirmemektedir.



Şekil 5.19: YSA model yapısı (Kalite)

Kurutma süreçlerinin kurutulan ürünlerin kimyasal ve fiziksel özellikleri dışında ürün kaliteleri üzerinde de etkileri vardır. Akışkan yatakta kurutulan ekmek mayası üzerindeki kurutma etkisi kaliteyi düşürücü yöndedir. Bu kalite kaybını arttıran ve azaltan başka bir faktörde vardır. Bu faktör ekmek mayasının üretildiği fermantasyon şartlarına bağlıdır. Fermantasyon sonrası aynı kalite değerlerine sahip yaş ekmek mayaları aynı süreç şartlarında kurutulmalarına rağmen kalite kayıplarındaki oranlar aynı olmamaktadır. Bu durum bazen ölçüm hatalarından kaynaklansa da asıl etki en başa, bu mayaların üretildiği fermantasyon şartlarına dayanmaktadır. Farklı

fermantasyon şartlarında üretilmiş ekmek mayaları fermentasyon sonrası aynı kalite değerlerine sahip olsalar da kurutmaya karşı farklı direnç göstermektedirler ve kurutma sonrası kalite değerlerinde farklılıklar ortaya çıkmaktadır.

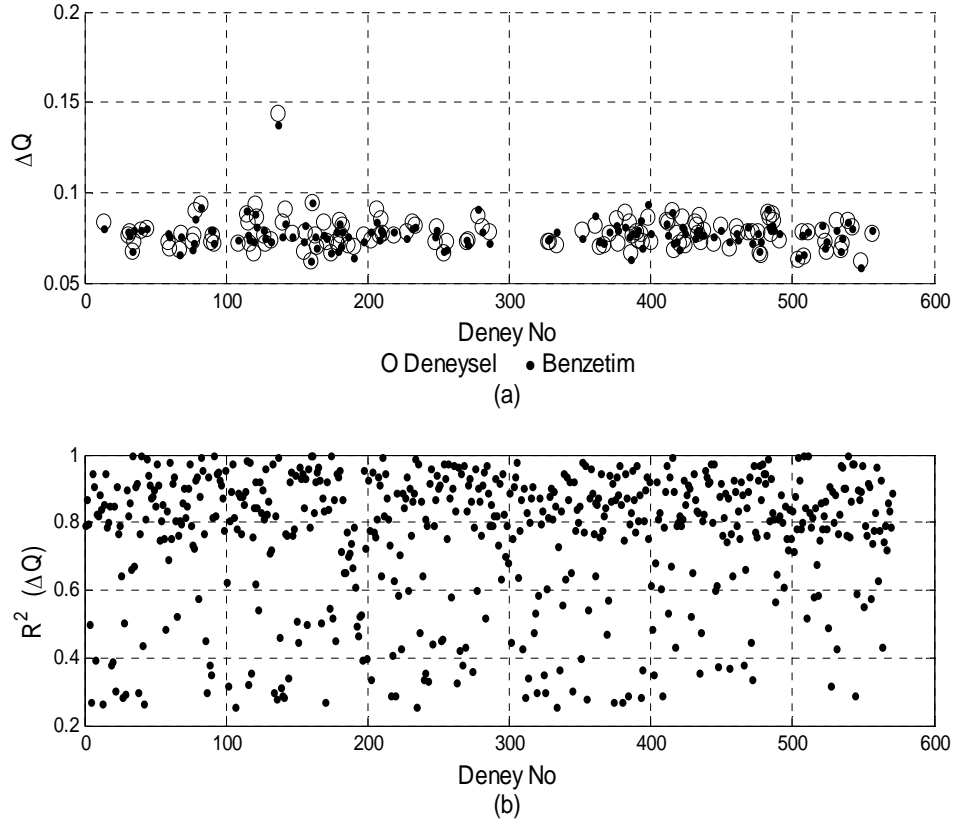
Bu etkilerden dolayı yapay sinir ağındaki ilk katmandaki Hücre – 1 ve Hücre – 2’yi bu iki etkiyi (fermantasyon ve kurutma) modellemek için aynı giriş vektörleri uygulanmış fakat bu iki hücrede birbirlerinden farklı transfer fonksiyonları kullanılmıştır. Hücre – 1 kurutma sürecinin doğrudan maya üzerindeki kalite etkisini ve Hücre – 2’de fermentasyondan gelen etkiyi temsil etmek için kullanılmıştır. Kalite modellemesi için kullanılan YSA yapısı Şekil 5.19’de verilmiştir.

Kalite modelimizin girdileri $KM(i)$ ve $Tm(i)$ ($i=1,2,...n$) tüm kurutma süresi boyunca örneklenen kuru madde ve ürün sıcaklıklarının tamamından oluşur. Kurutma süreci sırasında 1.örneklemede ölçülen değerler sırasıyla $KM(1)$ ve $Tm(1)$, 2.örneklemede ölçülen değerler $KM(2)$ ve $Tm(2)$ ve kurutma sonunda ölçülen değerler $KM(n)$ ve $Tm(n)$ olur. Eğer $n < \text{giriş katman büyüklüğü}$ ise geri kalan $KM(i)$ ve $Tm(i)$ değerleri kurutmanın bitmiş olduğunu tanımlayacak özel birer değer ile doldurulurlar.

Tablo 5.6: YSA parametreleri (Kalite)

Model No	Kalite Modeli		
Çıkışlar	ΔQ		
Katman Sayısı	2		
Katman ve Hücrelerdeki	Hücre-1	Hücre-2	Katman-2
Düğüm Sayıları	10	10	12
Geçiş Fonksiyonları	tansig	logsig	tansig

Gerçek kalite değişim verileri ile kalite modelinin benzetim sonuçlarının karşılaştırma sonuçları Şekil 5.20(a)’da gösterilmiştir. Grafiğin daha iyi gözükmesi için test verileri içinden rasgele seçim yapılmıştır. Şekil 5.20(b)’de ise bütün test verilerinin R^2 değerlerinin dağılımları gösterilmiştir.



Şekil 5.20: Kalite modelinin gerçek veriler ile benzetim sonuçları ve R^2 dağılımları

Akışkan yatakta kurutulan ekmek mayasının en iyilemesi ve kontrolü için gerekli olan süreç ve kalite modelleri oluşturulmuş ve bu modeller gerçek veriler ile sınanmıştır. Süreç modeli oluştururken çeşitli yapay sinir ağı yapıları birbirleriyle mukayese edilmiş ve en başarılı olan yapay sinir ağı yapısı belirlenmiştir. Ayrıca yapay sinir ağı yapısına alternatif olarak süreç modeli için bulanık mantık model yapısıyla da başka bir model oluşturulmuştur. Bütün test verileri için yapay sinir ağı modelimizin benzetim sonuçlarının gerçek veriler ile yapılan regresyon analizi (R-squared - R^2) değerleri; kuru madde için %96.387, ürün sıcaklığı için %85.256 ve kuru madde değişim miktarı için %92.33'dür. Aynı yaklaşımla bulanık mantık modelimizin regresyon analizi sonuçları ise; kuru madde için %90.525, ürün sıcaklığı için %81.776 ve kuru madde değişim miktarı için %95.136'dır. Sonuçlardan da görüldüğü gibi yapay sinir ağı ve bulanık mantık model yaklaşımları arasında çok

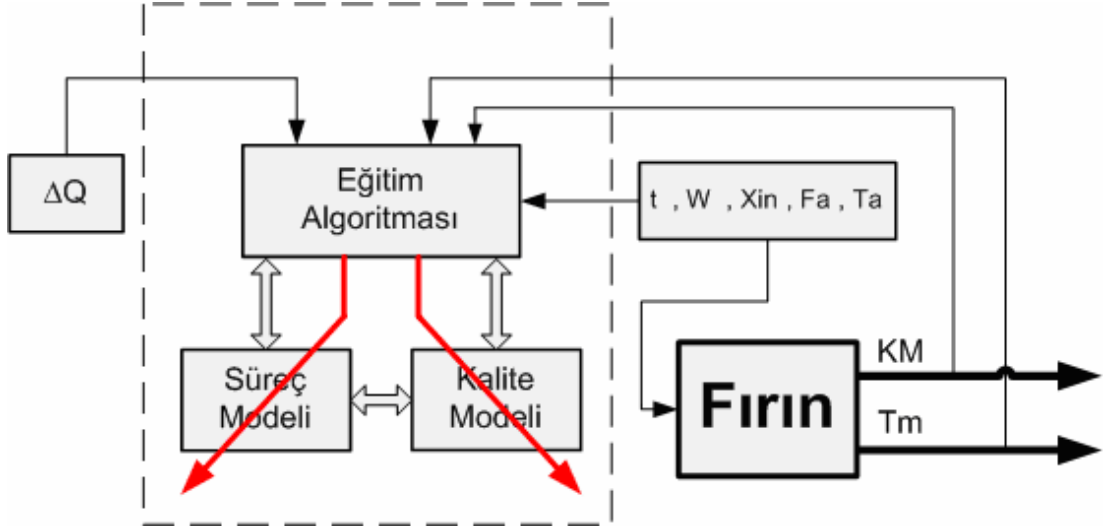
ciddi bir fark yoktur. Hem cevap süresi hem de sistemi tanımlama açısından ikisi de rahatlıkla birbirinin alternatifi olabilir.

Uyarlanabilir yapının üretim sürecinde devamlı çalışması ile işletme ve ortam şartlarına bağlı değişimlerde dikkate alınarak sistem modelleri devamlı güncel kalacaktır. Uyarlanabilir yapının kendini güncellemesi için gerekli olacak veri tabanının oluşturulması işletme ve çalışanları için hiç bir ek yük getirmeyecek şekilde tasarlanmıştır. Genişleyen veri tabanıyla da daha iyi modelleme yapılabileceği kesindir.

Ekmek mayasının fermantasyon üretim şartlarının kurutma sırasında kalite üzerinde ortaya çıkan bir etkisi söz konusudur. Bu yüzden kalite modeli oluşturulurken kurutulan ekmek mayasının üretildiği fermantasyon verilerinin de modelleme çalışmalarında dikkate alınmasının daha iyi sonuçlar vereceği düşünülmektedir.

5.6. Uyarlanabilir Sistem Yapısı

Uzun uğraşlar sonucu oluşturulan modeller, uygulamaya geçildikten sonra zamanla süreçte, ortam şartlarında veya işletme şartlarında meydana gelen yavaş veya ani değişikliklerle geçerliliklerini yitirmektedirler. Sistem modellemesi için yapılan işleri sil baştan tekrar yapmaktansa uyarlanabilir bir sistem kurmak her yönden daha mantıklı ve avantajlıdır. Yapay sinir ağı ve bulanık model yapılarının uyarlanabilir özellikleri bu yaklaşım için çok uygun olduğundan yapay sinir ağı ve bulanık model yapıları ile oluşturulmuş modelleri uyarlanabilir bir sistem haline getirmek akıllıca bir yaklaşımdır. Uyarlanabilir sistem yapısı Şekil 5.21'de basitçe gösterilmiştir. Sonuç olarak, üretimler devam ederken hem veri tabanı zenginleşerek daha iyi bir modelleme yapılabilecek hem de tesis ve çalışanlara fazladan bir yük getirmeden sistem modelimiz devamlı olarak güncel kalacaktır.



Şekil 5.21: Kalite ve süreç modellerinin uyarlanabilir öğrenme yapısı

6. HİBRİD MODELLEME

Akışkan yataklı kurutma sürecinin kritik ve öngörülmesi zor olan parametrelerinin matematiksel modelleme ile öngörüldükten sonra fiziksel modelleri daha kesin olan diğer süreç parametreleri kolaylıkla hesaplanabilir. Hibrid modeller, matematiksel ve fiziksel modellerin beraber uygulandığı yapılardır.

Maddenin taşıdığı kuru madde ve suyun oranı “nem kesri” (moisture content) olarak anılır. Nem kesri iki temele göre tanımlanır; kuru temel (dry basis) ve yaş temel (wet basis). Kuru ve yaş temelli nem kesri değerleri sırasıyla denklem 2.1 ve 2.2 ile hesaplanır.

Kurutma havasının sisteme aktardığı su miktarı ile üründen uzaklaştırılan su miktarının toplamı fırından çıkan su miktarına eşittir. Bunu eşitlik şeklinde yazmak istersek

$$Q_{w,out} = Q_{w,in} + Q_{w,m} \quad (6.1)$$

$Q_{w,out}$ [kg/h], fırından çıkan su miktarı, $Q_{w,in}$ [kg/h], hava ile sisteme aktarılan su miktarı ve $Q_{w,m}$ [kg/h], ise mayadan uzaklaşan su miktarıdır. $Q_{w,out}$ ve $Q_{w,in}$ ile belirtilen su miktarları

$$Q_{w,in} = F_a \cdot X_{in} \cdot \rho_h \quad (6.2)$$

$$Q_{w,out} = F_a \cdot X_{out} \cdot \rho_h \quad (6.3)$$

şeklinde hesaplanır. F_a giriş hava debisini [m^3/h], X_{out} , X_{in} sırasıyla çıkış ve giriş nemlerini [kg_{su}/kg_{hava}] ve ρ_h havanın özgül ağırlığını [kg/m^3] göstermektedir.

$$\rho_h = \frac{101325}{287,15 \cdot (T_a + 273,15)} \quad (6.4)$$

formülü ile bulunur. T_a giriş hava sıcaklığıdır [$^{\circ}C$].

X_{out}, X_{in} çıkış ve giriş nem değerleri ile nem ölçüm cihazlarından okuduğumuz (rH) bağıl nem arasındaki ilişki ise Ashrae (2001)'e göre denklem 6.5'deki formdadır.

$$rH = 100 \frac{101325 \frac{X_{in}}{0.622 + X_{in}}}{\exp(C_1/T_{ak} + C_2 + C_3 T_{ak} + C_4 T_{ak}^2 + C_5 T_{ak}^3 + C_6 \ln(T_{ak}))} \quad (6.5)$$

Burada T_{ak} giriş hava sıcaklığını [K], C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 ve C_6 katsayılarının değerleri ise sırasıyla $-5.8002206e+3$, 1.3914993 , $-4.8640239e-2$, $4.1764768e-5$, $-1.4452093e-8$ ve 6.5459673 'dür. X_{out} parametresi de benzer şekilde kolaylıkla hesaplanabilir.

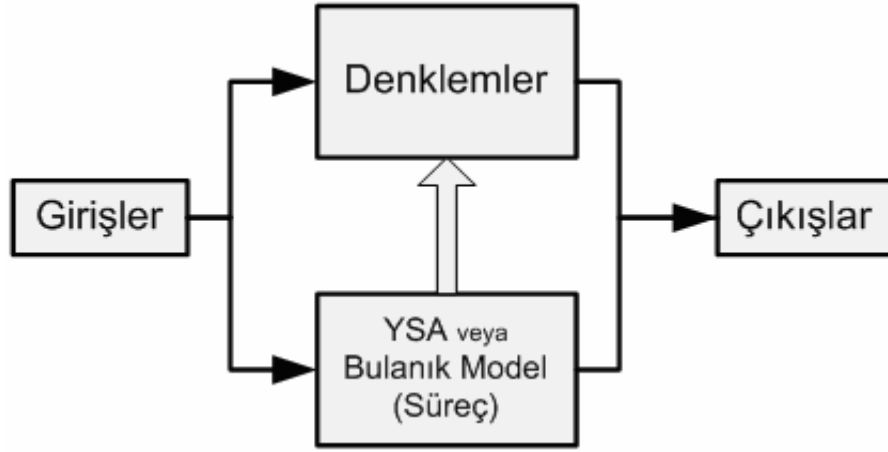
$Q_{w,m}$ değişimini, kuru madde ölçüm cihazından alınan kuru madde, KM , değerleri ile hesaplanır.

$$KM = \frac{M_y}{M_y + W_y} \cdot 100 \quad (6.6)$$

M_y değeri kurutma süreci boyunca sabittir, değişen ise sadece W_y miktarıdır.

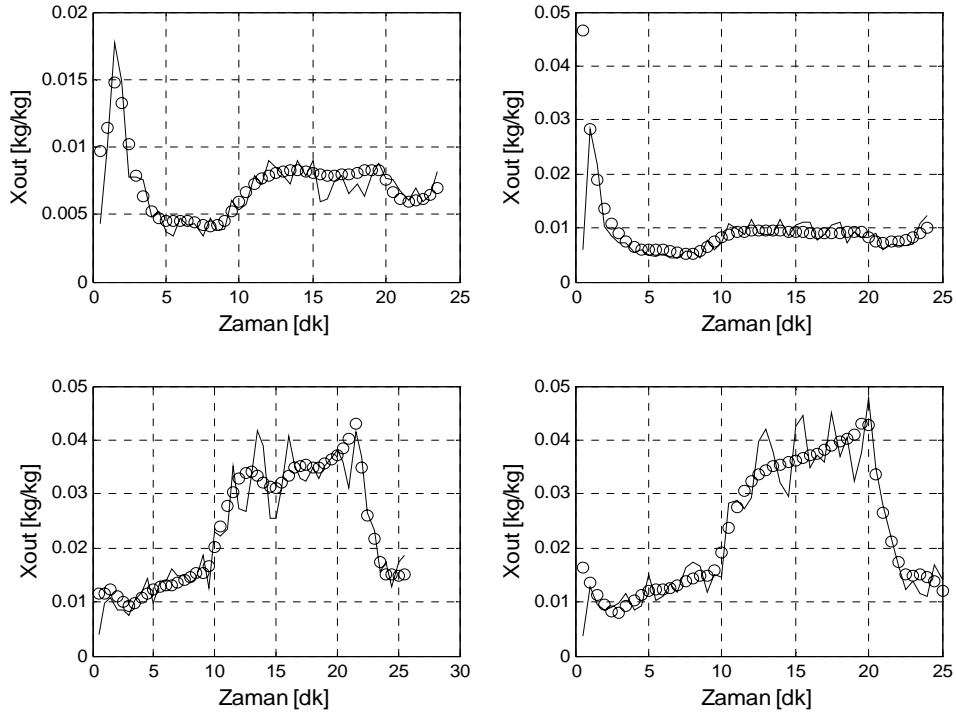
$$\Delta W_y = W_{y,1} - W_{y,2} = - \frac{M_y \cdot 100 \cdot (KM_1 - KM_2)}{KM_1 \cdot KM_2} \quad (6.7)$$

Yapay sinir ağı ve bulanık modeller ile fiziksel denklemlerin birleşimi sonucu ortaya çıkan hibrid model yapısı Şekil 6.1'de gösterilmiştir.

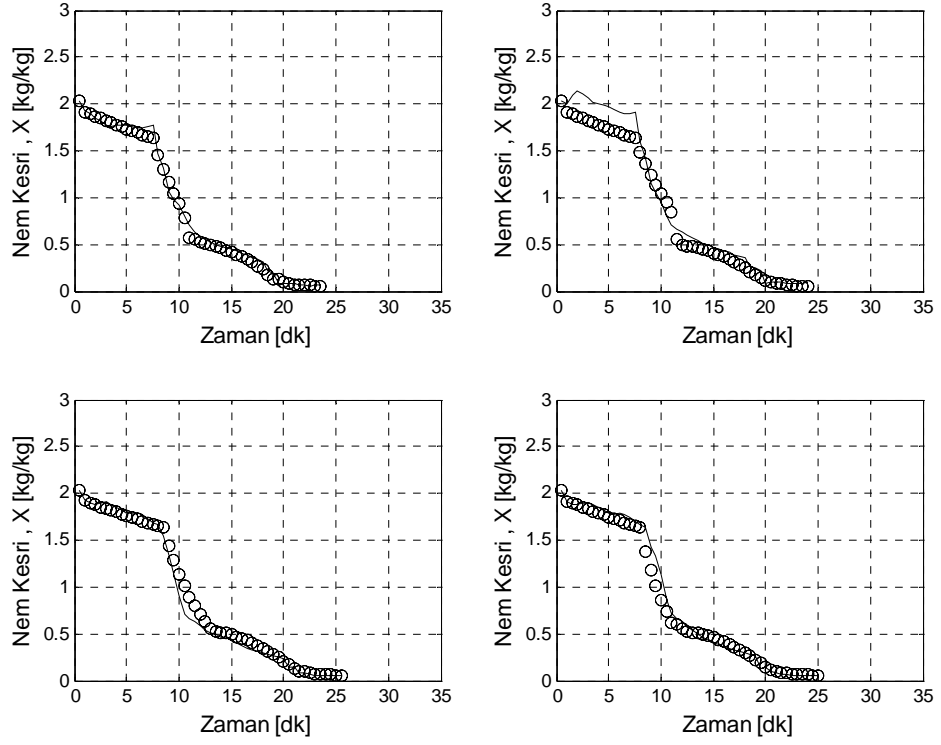


Şekil 6.1: Hibrid model yapısı

Bu hibrid yaklaşım sonucu nem kesri ve fırın çıkış nem miktarı değişimlerinin zamana göre grafikleri sırasıyla Şekil 6.2 – 6.3’de verilmiştir.



Şekil 6.2: Dört ayrı gerçek veri ile yapılan hibrid model (X_{out}) çıkış hava nemi benzetim sonuçları (o) X_{out} - ölçüm ; (—) X_{out} - hesap



Şekil 6.3: Dört ayrı gerçek veri ile yapılan hibrid model (X) ürün nem kesri benzetim sonuçları (o) X - ölçüm ; (—) X - hesap

Fırın çıkışındaki nem miktarı ve ürünün nem kesri değerleri grafiklerden de görüldüğü gibi başarı ile öngörülmüştür. Akışkan yataklı kurutma sistemindeki en kritik iki parametre kuru madde ve ürün sıcaklığı, oluşturduğumuz modeller yardımıyla başarı ile öngörüldükten sonra akışkan yataktaki diğer parametrelerde kütle ve enerji denkliklerinden yararlanılarak benzer yaklaşımla kolaylıkla öngörülebilir.

7. OPTİMİZASYON ve KONTROL YAPILARININ OLUŞTURULMASI

7.1. En iyileme

Bu çalışmadaki temel amacımız, kesikli akışkan yataklı kurutma sürecimizde verimliliği arttırmaktır. Bunun için yapılması gereken daha öncede bahsettiğimiz gibi, minimum enerji harcaması ile maksimum kalite de üretim yapmaktır. Kurutma süreçlerinin her zaman canlı organizmalar üzerinde olumsuz etkileri vardır ve bu kaçınılmazdır. Dolayısıyla kurutma sırasında bir miktar kalite kaybı her zaman vardır. Verimlilik için amaç fonksiyonunu, minimum işletme maliyeti ve minimum kalite kaybı ile üretim üstüne kurmalıyız. Burada minimize edilecek J amaç fonksiyonumuz denklem 7.1 tanımlanmıştır. Akışkan yataklı kurutma sürecimizdeki amaç fonksiyonumuz iki bölümden oluşmaktadır. Bu fonksiyonunun ilk kısmı işletme maliyetinden ve ikinci kısım ise kalite etkisinden oluşmaktadır.

$$J = \beta_1 \cdot \frac{E}{\Delta KM} + \beta_2 \cdot \Delta Q \quad (7.1)$$

burada β_1 (\$/kJ) ve β_2 (\$) sırasıyla enerji maliyeti ve kalitenin ağırlık katsayıları, E enerji maliyeti, ΔKM iki örnekleme arasındaki kuru maddedeki değişim miktarını ve ΔQ kalite kaybını göstermektedir.

Kesikli akışkan yataklı kurutma sürecimizde tanımlanmış olan en iyileme problemimizin çözümünde global arama algoritmalarından biri olan genetik algoritmalarından yararlanılmıştır. Genetik arama algoritmaları karmaşık en iyileme problemlerinin sayısal çözümlerinde oldukça başarılı sonuçlar vermektedir. Ekmek mayası kurutma süreci için tanımlanmış amaç fonksiyonunu ve bu en iyileme probleminin genetik algoritmalarla çözümü detaylı bir şekilde açıklanacaktır.

Sistemimiz kurutma işleminin başında daha önce belirlenmiş yükleme miktarına göre kurutma fırınına ekmek mayası yüklenmektedir. Sistem kesikli (batch) olduğu için yükleme miktarına kurutma başladıktan sonra herhangi bir müdahale söz konusu değildir. Giriş hava nemi ortam şartlarına göre değişkenlik göstermektedir ve tam olarak bizim kontrolümüzde değildir. Bu iki giriş parametresi dışında bizim kontrolümüzde olan ve ayar değişkeni olarak kullanabileceğimiz iki giriş parametresi mevcuttur: Giriş hava debisi (F_a) ve giriş hava sıcaklığı (T_a).

Akışkan yataklı kurutma fırınına gereğinden ne fazla ne de eksik giriş hava debisi ve giriş hava sıcaklığı uygulanmamalıdır. Her iki ayar değişkeni için o andaki çalışma şartlarına göre en uygun değerlerin belirlenip kurutma fırınına uygulanmaları gerekmektedir. Sistem için uygun olan ayar değişkeni değerleri, giriş hava debisi için $F_{a,opt}$ ve giriş hava sıcaklığı için $T_{a,opt}$ ile gösterilecektir.

Amaç fonksiyonundaki, enerji maliyeti (E) terimi

$$E = \int_{t_m}^{t_n} F_a \cdot (T_a + 273.15)(c_{p,a} + c_{p,wv} X_{in}) / 3600 \cdot dt \quad (7.2)$$

şeklinde tanımlanabilir (Yüzgeç, 2005). Burada t_n ve t_m işletme maliyetinin hesaplanacağı zaman aralığı değerlerini, F_a ve T_a sırasıyla giriş hava debisi ve giriş hava sıcaklığı, $c_{p,a}$ ve $c_{p,wv}$ sırasıyla havanın ve su buharının ısı katsayıları ve X_{in} giriş hava nemini göstermektedir.

Birim kuru madde değişiminin hesaplaması ise

$$\Delta KM = KM(k+1) - KM(k) \quad (7.3)$$

Burada, ΔKM birim kuru madde değişimi; $KM(k+1)$, $(k+1)$. adımdaki öngörülecek kuru madde değerini ve $KM(k)$ ise k . adımda ölçülen kuru madde değerini

göstermektedir. $(k + 1)$. adım için yapılan en iyilemede, amaç fonksiyonunun ilk kısmı, E ve ΔKM ile bulunur.

Amaç fonksiyonumuzun kalite kaybı kısmını oluşturan ikinci kısmındaki ΔQ ise, biraz sonra en iyileme adımlarında açıklanacağı gibi kalite modelimizden kalite modeli girişleri neticesinde elde edilen çıkış değeridir.

Genetik algoritmalar maliyet fonksiyonundaki “ $F_{a,opt}$ ” ve “ $T_{a,opt}$ ” ayar değişkenlerini popülasyonlar içinden bulmaktadırlar. Genetik algoritma (GA) bloğuna bulunan maliyet fonksiyonu parametreleri girilir ve genetik adımlar sonrası popülasyon içindeki en iyi bireyler yani ayar değişkenleri belirlenir. Popülasyon içindeki bireyler GA yardımı ile güncellenir ve bu döngü devam eder. Her döngü sonrası bir önceki bulunan sonuç ile aradaki fark hesaplanır ve belirlenen bir eşik seviyesinin altına inilmiş ise veya herhangi bir değişim olmuyorsa GA sonlandırılır. Fakat bizim sistemimizde sonlandırma kriteri olarak zaman kısıtlaması kullanılmıştır. Sistemimizin örnekleme periyodu 30 s olduğu için bu süre sonunda veya diğer sonlandırma kriterlerinden hangisi önce sağlanırsa arama algoritması sonlandırılır. Bulunan en iyi bireyler ayar değişkeni olarak sürece uygulanır.

Şimdi en iyileme işlemimizin hazırlık ve çalışma adımlarını maddeler halinde yazarsak:

- I. Kalite modeli kullanılarak çevrim dışı (off – line) durumda akışkan yataklı kurutma sisteminde kalite kaybını minimum yapan (üretim maliyeti dikkate alınmadan) bütün süreç çıkış değerleri $KM(i)$ ve $T_m(i)$ ($i=1,2,\dots,n$) belirlenir.
- II. İlk kuru madde ve ürün sıcaklığı ölçümü yapılarak en iyileme yapısına girdiğinde en iyileme işlemi başlar
- III. k . adım kuru madde ve ürün sıcaklığı ölçümü yapılarak en iyileme yapısına girdikten sonra $(k + 1)$. adım için en iyileme yapılarak sürece uygulanmak üzere $F_{a,opt}(k + 1)$ ve $T_{a,opt}(k + 1)$ değerleri GA yardımı ile bulunur. Şimdi

kurutma süreci boyunca ($k=1\dots n$) en iyileme yapısının işleyişi adım adım açıklanacak olursa;

Adım 1. GA tarafından (daha önce belirlenmiş skala içinde) ($k+1$). adım için yeni " $F_a(k+1)$ " ve " $T_a(k+1)$ " değerleri üretilir ve süreç modeline uygulanır

Adım 2. Bu " $F_a(k+1)$ " ve " $T_a(k+1)$ " değerleri ile ($k+1$). adımın benzetim sonuçları " $KM(k+1)$ " ve " $T_m(k+1)$ " değerleri hesaplanır

Adım 3. k . adım için ölçülen $KM(k)$ değeri ile ($k+1$). adım için süreç modelinden hesaplanan $KM(k+1)$ arasındaki fark " ΔKM " hesaplanır.

Adım 4. k . adımdan ($k+1$). adıma geçerken uygulanan " $F_a(k+1)$ " " $T_a(k+1)$ " ve " t " ($t=t(k+1)-t(k)=30$) değerlerinden işletme maliyeti hesaplanır.

$$E = \left(\int_{t(k)}^{t(k+1)} F_a(k+1) \cdot (T_a(k+1) + 273.15) \cdot (c_{p,a} + c_{p,wv} X_{in}) / 3600 \cdot dt \right)$$

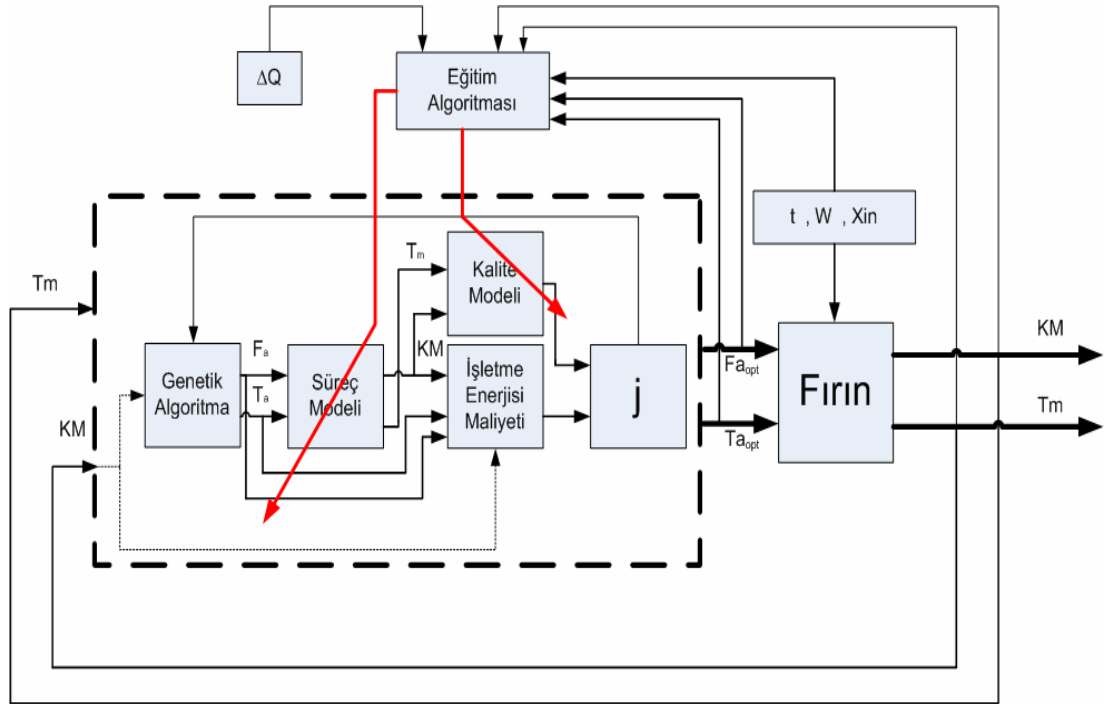
Adım 5. Bulunan enerji maliyeti, E , " ΔKM " değerine bölünerek bir birim " KM " değişiminin maliyeti $\frac{E}{\Delta KM}$ hesaplanır. (Birim kuru madde değişim maliyeti olarak hesaplamadaki amaç, düşük " F_a " ve " T_a " değerlerinin sürece uygulanması durumunda o an için enerji maliyeti düşük bulunur ve bunun sonucunda çok az bir " KM " değişimi olur. KM değerlerindeki ufak değişimlerde kurutma süresinin uzaması anlamına gelir.)

Adım 6. k . adıma kadar (k . adım dahil) kurutma sürecinde çevrim içi (on-line) olarak ölçülen " KM " ve " T_m " değerleri, ($k+1$). adım için hesaplanan " KM " ve " T_m " değeri ile ($k+2$). adım ve sonrası için çevrim dışı olarak bulunmuş " KM " ve " T_m " değerleri ile kalite modelinden kalite kaybı hesaplanır

Adım 7. J amaç fonksiyonundan, $J = \beta_1 \cdot \frac{E}{\Delta KM} + \beta_2 \cdot \Delta Q$ bulduğumuz işletme maliyeti ve kalite kaybı değerleri ile " J " değeri hesaplanır.

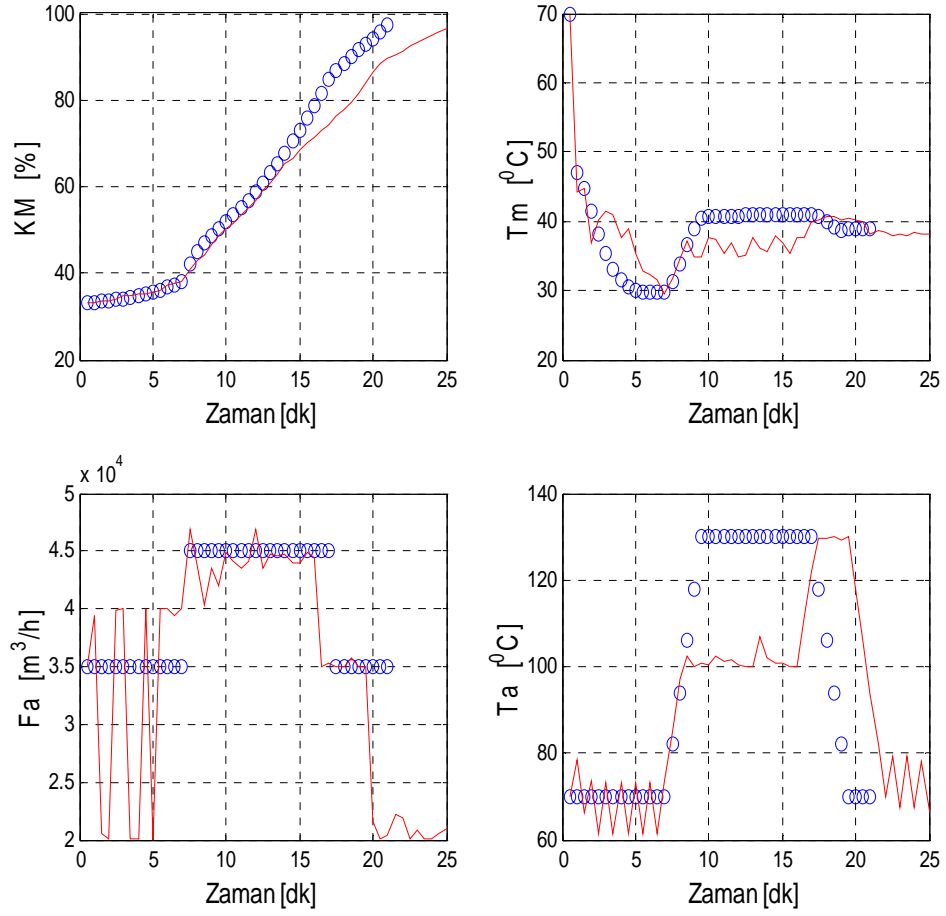
Adım 8. Yukarıda bahsettiğimiz sonlandırma kriterlerinden herhangi biri sağlanmamışsa Adım – 1 ’e geri dönlür. Eğer sağlanmış ise Adım – 9 ’dan devam edilir

Adım 9. Bulunan en düşük “ J ” değerini sağlayan “ $F_a(k+1)$ ” ve “ $T_a(k+1)$ ” değerleri “ $F_{a,opt}(k+1)$ ” ve “ $T_{a,opt}(k+1)$ ” olarak sürece uygulanır. Kurutma sürecimizdeki kuru madde ölçüm değeri belli bir tolerans içinde $KM_{target} = \%96.5$ değerine ulaşmış ise en iyileme işlemi bu yükleme süreci için tamamlanır. Eğer KM_{target} istenen hedefe ulaşmamış ise $k = k + 1$ yapılarak Adım – 1 ’e dönlür.



Şekil 7.1: En iyileme ve kontrol yapısı

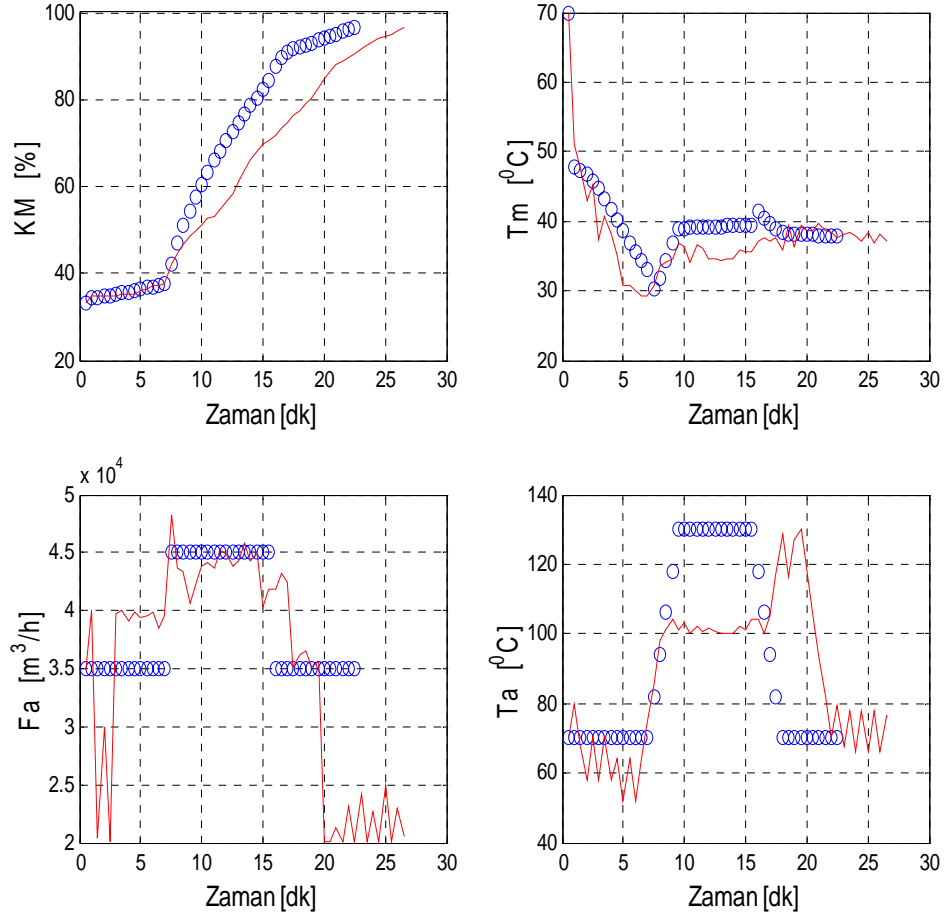
Kesikli akışkan yataklı kurutma fırınının kalite ve süreç modellerini güncelleyen yapıya (Bkz. Şekil 5.20) en iyileme için gerekli blokları da ekleyerek sistem en iyilemesini yapan uyarlanabilir yapımız Şekil 7.1’de detaylı bir şekilde verilmiştir.



Şekil 7.2: Yapay sinir ağı süreç modeli kullanılarak: Çıkış parametreleri ($KM - T_m$) ve giriş parametreleri ($F_a - T_a$). (o) Standart operasyon, (—) en iyileme sonrası (Giriş hava nemi = $0.006 \text{ kg}_{su} / \text{kg}_{hava}$)

Yapay sinir ağı yapısı ile oluşturulan süreç modeli kullanılarak yapılan en iyileme çalışmaları sonucunda elde edilen sonuçlar toplanırken öncelikle şunu belirtmekte fayda vardır. Çalışmaların yapıldığı üretim boyutundaki fırınlarındaki kurutma süreçlerinin her bir kurutma evresi (yükleme, birinci ve ikinci evre) tecrübeler ve denemeler ışığı altında daha önceden belirlenmiş sabit giriş hava debisi ve giriş hava sıcaklığı profilleri ile yürütülmektedir. Bu profiller doğrultusunda beslenen kurutuma fırınlarındaki enerji maliyetleri ve kalite değerleri çeşitli giriş hava nemi değerlerinde hesaplanmış ve daha sonra GA ile yapılan en iyilemeler sonucu ise elde edilen enerji maliyetleri ve kalite değerleri Tablo 7.1’de topluca verilmiştir. Sabit profiller ve en iyileme sonucu sisteme uygulanan giriş hava debileri (F_a) ve giriş hava sıcaklıkları

(T_a) ile bu girişler sonucu elde edilen kuru madde (KM) ve ürün sıcaklığı (T_m) değerlerinin değişimleri farklı hava nemi değerleri için Şekil 7.2 ve 7.3'de verilmiştir.



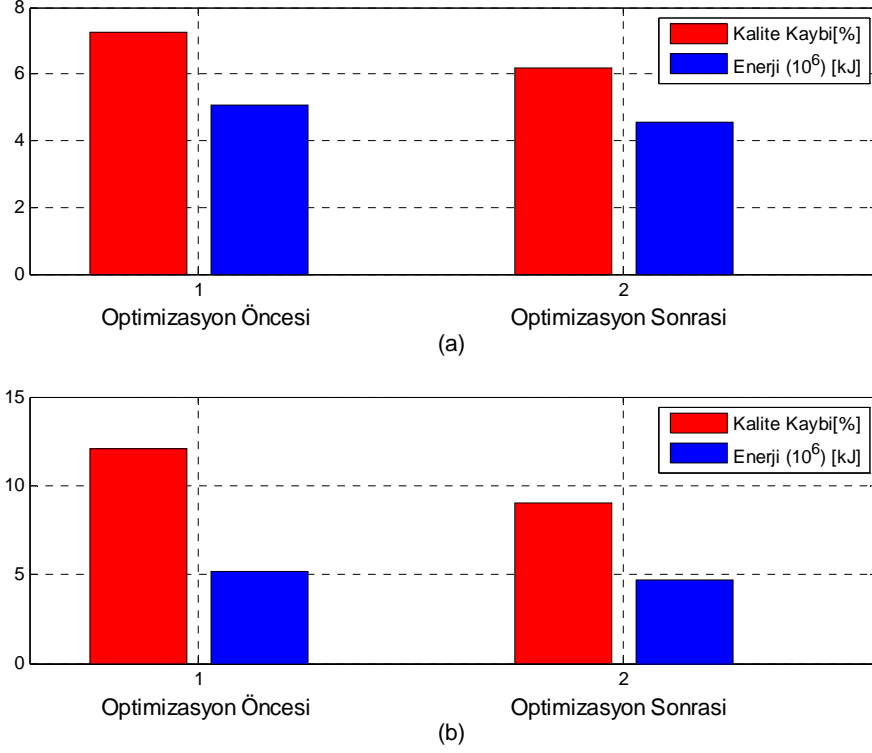
Şekil 7.3: Yapay sinir ağı süreç modeli kullanılarak: Çıkış parametreleri ($KM - T_m$) ve giriş parametreleri ($F_a - T_a$). (o) Standart operasyon, (—) en iyileme sonrası (Giriş hava nemi = $0.008 \text{ kg}_{su} / \text{kg}_{hava}$)

En iyileme sonucu ortaya çıkan yeni giriş hava debisi ve giriş hava sıcaklığı profilleri daha önce kullanılan sabit profillerden bazı yerlerde farklılıklar göstermektedir. En iyileme sonucu bulunan besleme profillerini irdelememiz gerekirse: GA ile her bir örnekleme için belirlenecek giriş (giriş hava debisi ve giriş hava sıcaklığı) değerlerinin başlangıç noktası yükleme evresinde daha önce kullandığımız sabit profil değeri seçilmiştir. Yükleme evresi boyunca en iyileme sonucu elde edilen

değerler eski sabit profil değerlerimiz çevresinde olmuştur. Kurutma sürecinde en çok enerji harcaması, serbest suyun uzaklaştırıldığı birinci kurutma evresidir. En iyileme sonucunda en ciddi farkta burada ortaya çıkmıştır. Hem yüksek giriş hava sıcaklığı hem de yüksek giriş hava debisi ile fırının beslenmesi yüksek enerji maliyetini doğurur. En iyileme yapısı birinci kurutma evresinin başında tamamen serbest suyu yüksek giriş hava debisi ve eski profile nazaran daha düşük bir giriş hava sıcaklığı ile üründen uzaklaştırmaktadır. Kurutulacak ürün içersinden belli bir miktar su uzaklaştırıldıktan sonra kalan suyu daha yüksek giriş sıcaklığı ve daha düşük giriş hava debisi ile üründen uzaklaştırılmaktadır. Havanın su uzaklaştırma kapasitesinde, beslenen havanın sıcaklığı debisinden daha etkin bir faktördür. Dolayısıyla en iyileme yapısı daha düşük hava debisi fakat daha yüksek hava sıcaklığını sisteme uygulamaktadır. Ürün içersinde kalan serbest ve bağlı su yüksek sıcaklıkla daha çabuk uzaklaştırılabilir ki kontrol sistemi de bunu yapmaktadır. Ayrıca ürün içersindeki su miktarı dolayısıyla fırın içersindeki kütle miktarı azalmaktadır. Kütle miktarındaki bu azalma ile besleme hava debisi azalmakta ve akışkan yatak yüksekliği de bu besleme debisine bağlı olarak sabit kalmaktadır. Hava debisindeki azalma bağlı suyun uzaklaştırıldığı ikinci kurutma evresinde de devam etmektedir. Ürün içersindeki su miktarı azalmakta hava debisi de bu azalmayı takip etmektedir. Sistem cevap veremedikten sonra, sisteme gereğinden fazla hava debisi ve hava sıcaklığı uygulamanın bir faydası olmaması yanında enerji maliyetinin artması nedeniyle zararı vardır. En iyileme sonuçları Şekil 7.4 ve Tablo 7.1’de verilmiştir.

Tablo 7.1: En iyileme öncesi ve sonrası kalite kayıpları ve enerji maliyetleri

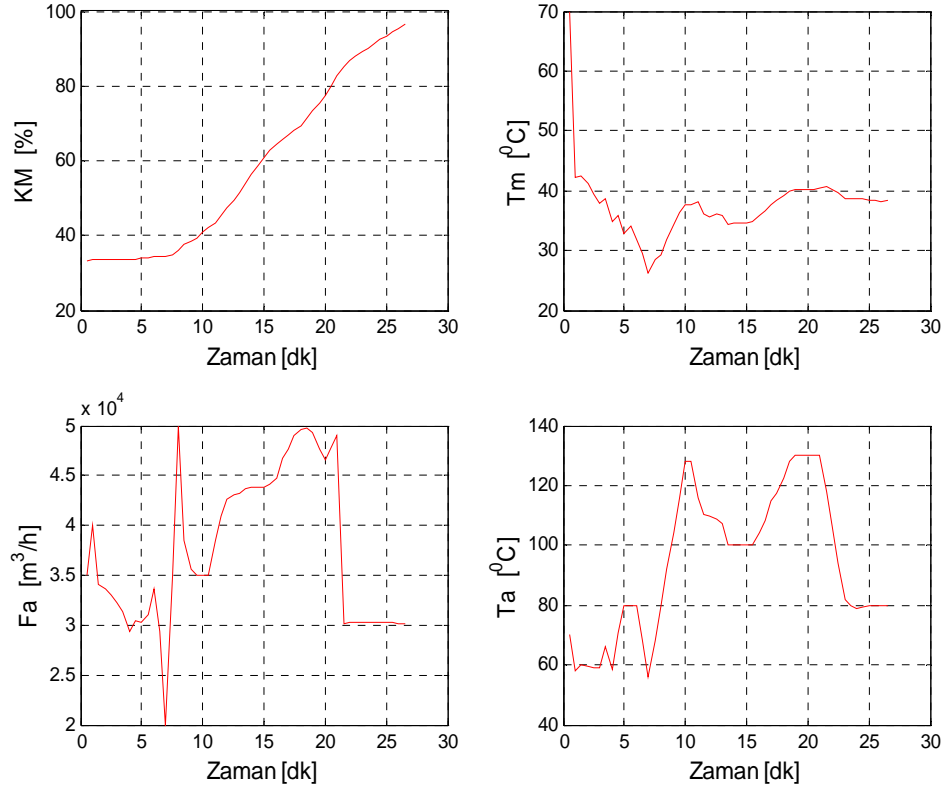
Giriş Hava Nemi [kg_{su} / kg_{hava}]	En iyileme Öncesi		En iyileme Sonrası			
	Kalite Kaybı ΔQ [%]	Enerji Maliyeti E [kJ]	Kalite Kaybı ΔQ [%]	Enerji Maliyeti E [kJ]	Kalite Kaybı Değişimi [%]	Enerji Maliyeti Değişimi [%]
0.006	7.233	5.0761e+6	6.2016	4.5511e+6	16.63	11.54
0.008	12.107	5.1880e+6	9.0513	4.7280e+6	33.75	9.73



Şekil 7.4: En iyileme öncesi ve sonrası kalite ve enerji maliyetlerindeki değişimler. Giriş hava nemi (a) 0.006 kg_{su} / kg_{hava} ve (b) 0.008 kg_{su} / kg_{hava} .

Şimdiye kadar yapılan en iyileme çalışmaları, ürün kalitesi ile enerji maliyeti arasında bir denge kurulması üzerinedir. Denklem 7.1'deki β_1 ve β_2 ağırlık parametrelerini değiştirerek üretim stratejimiz veya önceliklerimize göre ürün kalitesi ile enerji maliyeti arasındaki denge noktası rahatlıkla ayarlayabilir. Fakat öncelikle bir kez daha vurgulamak gerekirse; β_1 ve β_2 ağırlık parametreleri sadece kalite – üretim maliyeti önceliklerine göre değişkenlik göstermezler. Bu parametre değerleri, kurutulan ürüne, kurutma fırınının cinsine, işletme ve ortam şartları gibi birçok değişkene göre farklılık gösterirler.

Şimdi biraz önce bahsedilen kalite – üretim maliyeti açısından sistem en iyilemesi yapılırken optimum bir nokta üzerinde durulmuştur. Şimdi bu çalışma aralığının uç noktaları üzerine odaklanılarak bu çalışma noktaları incelendiğinde elde edilen sonuçları irdelemek gerekir. Bu uç noktaların irdelendiği çalışmada giriş hava nemi (X_{in}) 0.006 kg_{su} / kg_{hava} alınmıştır.



Şekil 7.5: Yapay sinir ağı süreç modeli kullanılarak: Çıkış ($KM - T_m$) ve giriş parametrelerinin ($F_a - T_a$) değişimleri. () $\beta_1 = 0$ yapılarak bulunan en iyileme sonuçları (Giriş hava nemi = $0.006 \text{ kg}_{su} / \text{kg}_{hava}$)

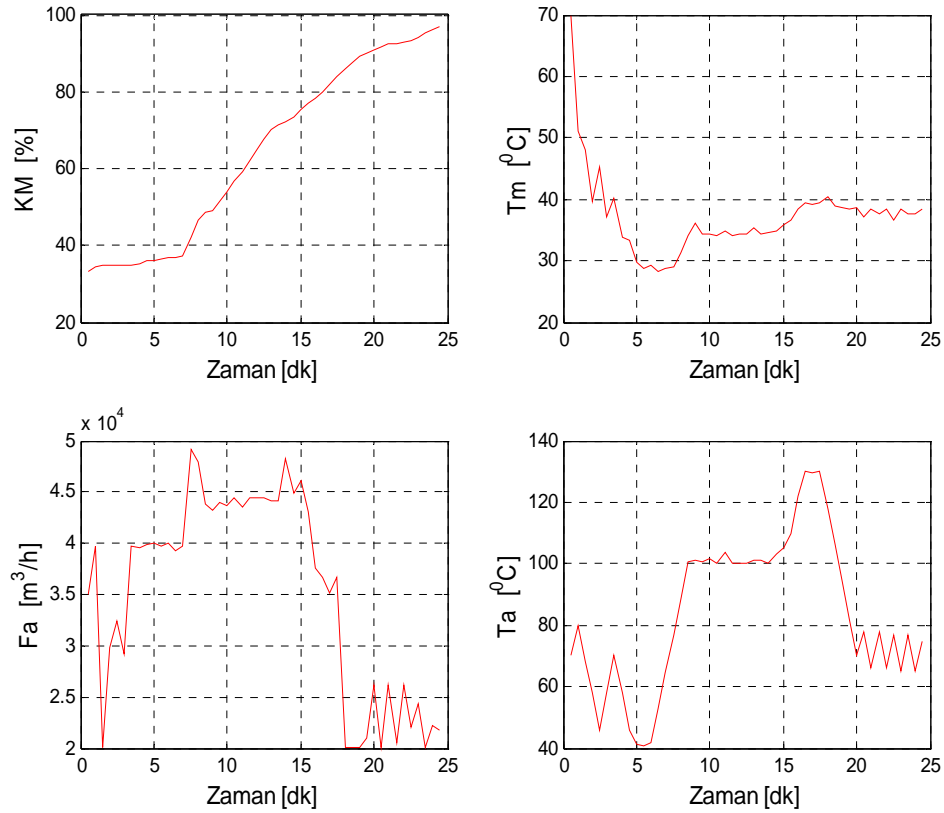
İlk olarak enerji maliyeti ne olursa olsun kalite kaybının minimum olduğu işletme şartları, amaç fonksiyonu ve genetik algoritmalar yardımı ile bulunacaktır. Denklem 7.1'deki $\beta_1 = 0$ yaparsak amaç fonksiyonumuz

$$J = \beta_2 \cdot \Delta Q \quad (7.4)$$

şeklini alır. Buradaki β_2 ağırlık parametresinin değer olarak bir önemi kalmamıştır. En az kalite kaybının sağlandığı işletme şartlarını, yeni amaç fonksiyonumuzu genetik algoritmalar yardımı ile minimize edilerek bulunabilir. Bu en iyileme sonucunda kurutma sürecindeki ürünün kuru madde miktarı, ürün sıcaklığı, giriş hava debisi, giriş hava sıcaklığı ve süreç sonunda toplam enerji maliyeti ve kalite kaybı değişimleri Şekil 7.5 ve Tablo 7.2'de verilmiştir.

Tablo 7.2: Kalite temelli, $\beta_1 = 0$ yapılarak bulunan en iyileme sonuçları

Giriş Hava Nemi [kg_{su} / kg_{hava}]	En iyileme Öncesi		En iyileme Sonrası ($\beta_1 = 0$)			
	Kalite Kaybı ΔQ [%]	Enerji Maliyeti E [kJ]	Kalite Kaybı ΔQ [%]	Enerji Maliyeti E [kJ]	Kalite Değişimi [%]	Enerji Maliyeti Değişimi [%]
0.006	7.233	5.0761e+6	3.4267	5.936e+6	47.37	-16.9



Şekil 7.6: Yapay sinir ağı süreç modeli kullanılarak: Çıkış ($KM - T_m$) ve giriş parametrelerinin ($F_a - T_a$) değişimleri. () $\beta_2 = 0$ yapılarak bulunan en iyileme sonuçları (Giriş hava nemi = $0.006 kg_{su} / kg_{hava}$)

Şimdi de aynı yaklaşımla kalite kaybı ne olursa olsun enerji maliyetinin minimum olduğu işletme şartları amaç fonksiyonumuz ve genetik algoritmalar yardımı ile bulunur. Bu kez denklem 7.1'deki $\beta_2 = 0$ yaparsak amaç fonksiyonumuz

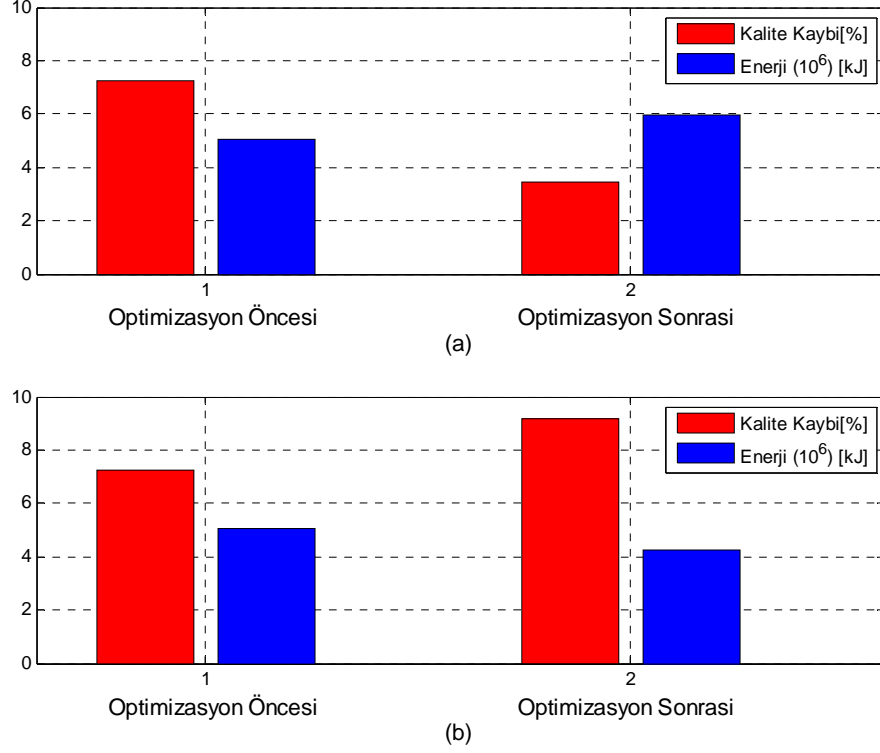
$$J = \beta_1 \cdot \frac{E}{\Delta KM} \quad (7.5)$$

şeklini alır. Buradaki β_1 ağırlık parametresinin değer olarak bir önemi kalmamıştır. En düşük enerji maliyeti ile yapılan kurutmanın işletme şartlarını, yeni amaç fonksiyonu genetik algoritmalar yardımı ile minimize edilerek bulunabilir. Bu en iyileme sonucunda kurutma sürecindeki ürünün kuru madde miktarı, ürün sıcaklığı, giriş hava debisi, giriş hava sıcaklığı ve süreç sonunda toplam enerji maliyeti ve kalite kaybı değişimleri Şekil 7.6 ve Tablo 7.3'de verilmiştir.

Tablo 7.3: Enerji tasarrufu temelli, $\beta_2 = 0$ yapılarak bulunan en iyileme sonuçları

Giriş Hava Nemi [kg_{su}/kg_{hava}]	En iyileme Öncesi		En iyileme Sonrası ($\beta_2 = 0$)			
	Kalite Kaybı ΔQ [%]	Enerji Maliyeti E [kJ]	Kalite Kaybı ΔQ [%]	Enerji Maliyeti E [kJ]	Kalite Kaybı Değişimi [%]	Enerji Maliyeti Değişimi [%]
0.006	7.233	5.0761e+6	9.1818	4.2443e+6	-26.94	16.39

Sadece kalite ve enerji odaklı yapılan denemelerin sonuçları Şekil 7.7'de topluca verilmiştir.



Şekil 7.7: Sadece kalite ve enerji odaklı yapılan en iyileme denemelerinin, en iyileme öncesi ve sonrası kalite ve enerji maliyetlerindeki değişimler. (a) Kalite odaklı ($\beta_1 = 0$) ve (b) enerji odaklı ($\beta_2 = 0$).

7.2. Bulanık Mantık Kontrolü

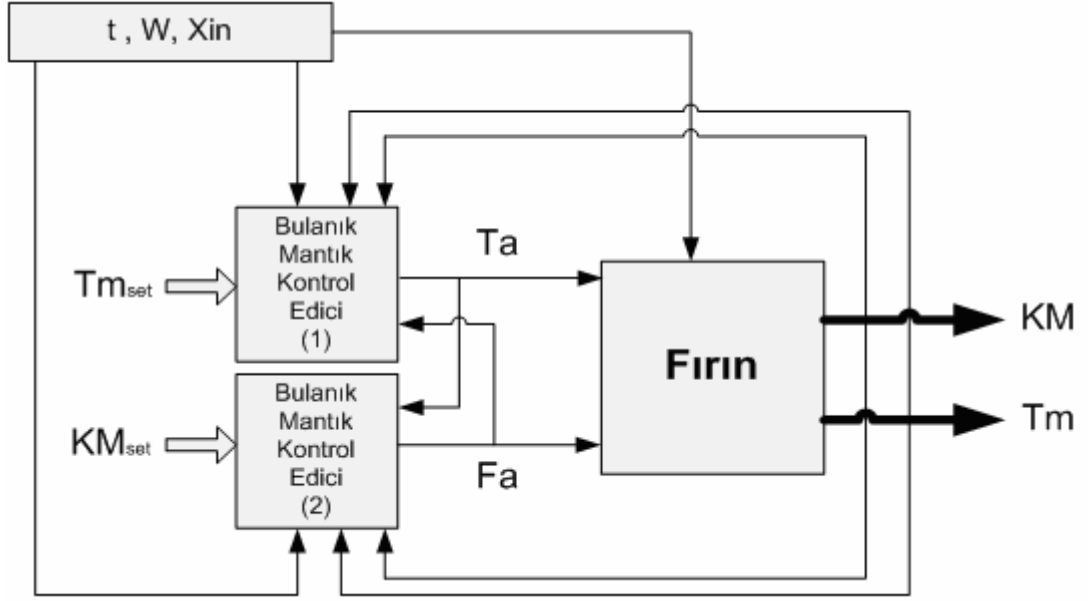
Akışkan yataklı kurutma fırınına kontrolünde ikinci bir alternatif ise bulanık mantık kontrol edicisidir. Genetik algoritmanın çevrim içi çalışma sırasında istenen çözümleri istenen zamanda bulamama ihtimaline karşı alternatif bir yaklaşımdır. Kurutulan ürünün kalite kaybını minimum yapacak şekilde sistemin işletilmesi esasına dayanan bu yaklaşımda, enerji maliyetini hiçbir şekilde dikkate almadan bir kurutma süreci boyunca ürünün kalite kaybını minimum yapan bütün kuru madde $KM(i)$ ve ürün sıcaklığı $Tm(i)$ ($i = 1, 2, \dots, n$) değerleri hem çevrim içi hem de çevrim dışı belirlenir. Kurutma sürecinde belirlenen bu kuru madde ve ürün sıcaklığı değerleri kurutma fırınına referans değerler olarak verilir. Sistemin enerji maliyeti ne olursa olsun bu referans değerleri izlemesi sağlanır. Buradaki en ciddi problem sisteme bu referans değerleri izlemesini sağlayacak kontrol edicinin tasarlanmasıdır.

Sistemin karmaşık ve çok giriş – çıkış parametrelili olması kontrol edici dizaynını zorlaştırmaktadır. Sıradan bir kontrol edici bu işin üstesinden gelemez. Böyle karmaşık bir yapının kontrolünü son yıllarda çok popüler olan bulanık mantık kontrol edicisi (Fuzzy Logic Controller) ile yapılabilir.

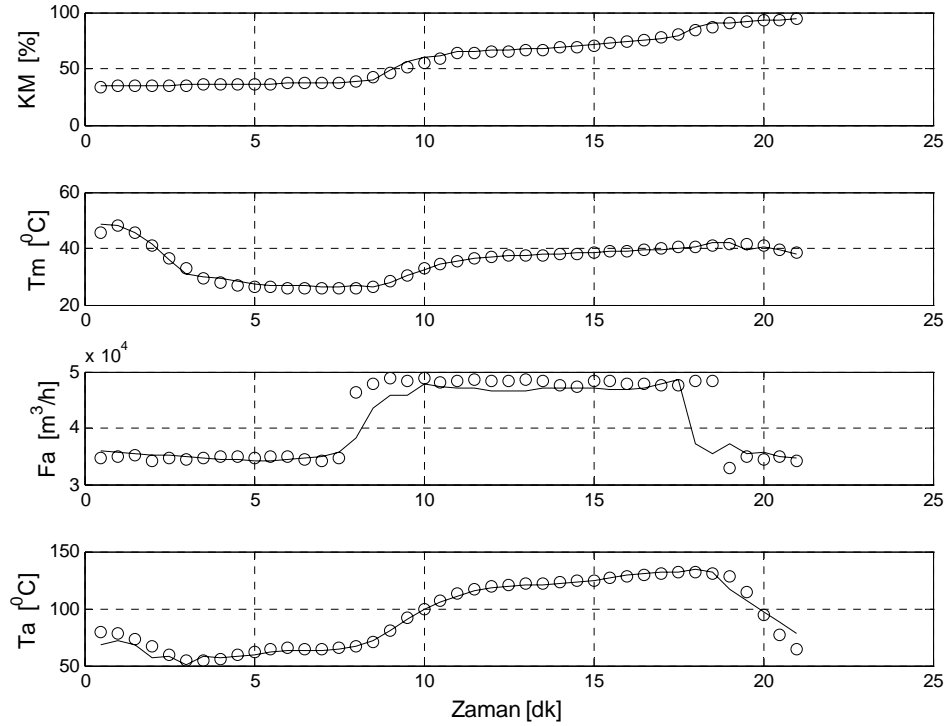
Bulanık mantık yaklaşımı hem modelleme hem de kontrol edici uygulamalarında çok başarılı sonuçlar vermektedir. Asıl mesele bulanık mantık sistemlerinde üyelik fonksiyonlarının ve bu fonksiyonların değerlerinin doğru olarak belirlenmesidir. Kontrol edicinin üyelik fonksiyonlarının ayarlanmasında insan sezgilerinin kullanılması bu derece karmaşık bir sistem için doğru olmaz. Bu nedenle kontrol edici tasarımında üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde modelleme uygulamasındaki gibi ANFIS yapısından faydalanmak en akıllı ve en pratik yöntemdir. Böylelikle kontrol edici tasarımında da insan faktörünü ortadan kaldırarak yine kendini çalışma ve ortam şartlarına göre kolaylıkla güncelleyebilecek bir kontrol edici yapısı tasarlanmış olacaktır. İnsan faktörünün ortadan kalkması ile sistemin daha verimli bir şekilde kendini güncellemesi sağlanır ki bu da yine çalışanlara ek bir yük getirmeyecek olması da artı yönde olumlu bir katkıdır.

Sistemin kontrol edicilerinin yapısına ve bu yapı yardımıyla yapılan çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçlar aktarılacaktır.

İlk olarak şunu belirtmek gerekirse, ürün sıcaklığı üzerinde giriş hava sıcaklığının ve kuru madde değeri üzerinde de giriş hava debisinin baskın bir etkisi vardır. Bu yaklaşımdan yola çıkarak tabii ki aralarındaki ilişkilerde dikkate alınarak ürün sıcaklığını giriş hava sıcaklığı ve kuru madde değerini de giriş hava debisi ile kontrol etme üzerine tasarım prensibi kurulmuştur. Kontrol edici yapısı Şekil 7.6'da verilmiştir.



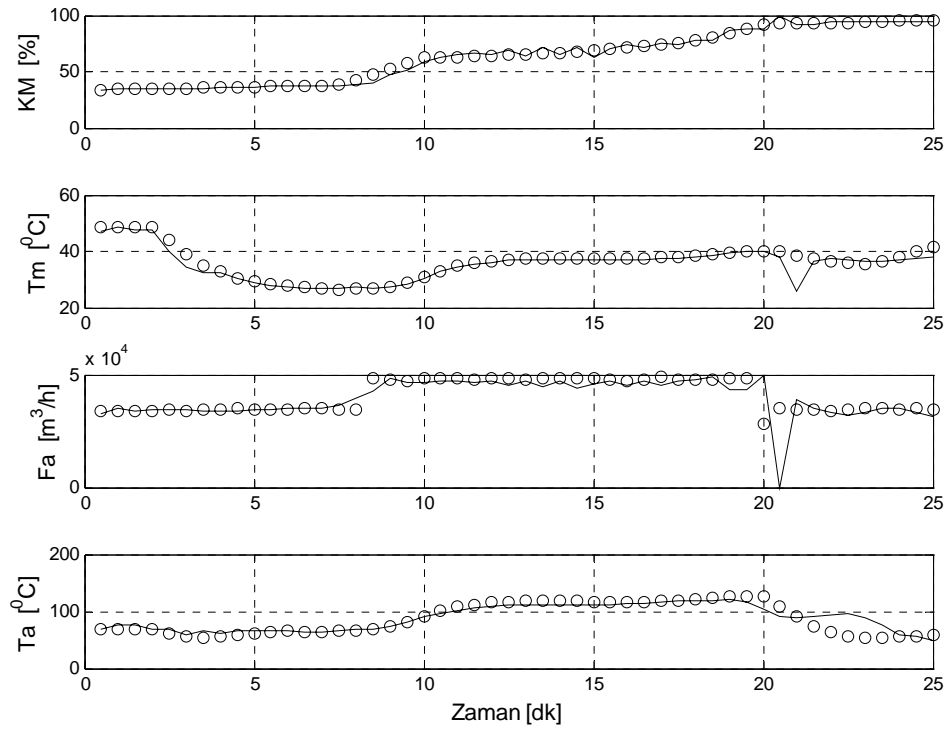
Şekil 7.6: Bulanık mantık kontrol edicili kontrol yapısı



Şekil 7.7: Bulanık mantık kontrol edicisinin kontrol sonuçları: Çıkış parametreleri ($KM - T_m$) ve giriş parametreleri ($F_a - T_a$). (o) Gerçek veriler, (—) Kontrol edici çıkışlarının benzetim sonuçları

Kurulan bu yapı ile gerçekleştirilen iki benzetim çalışmasının sonuçları Şekil 7.7 – 7.8’de verilmiştir. Şekil 7.7. ve 7.8.’den görüldüğü gibi benzetim sonucu bulunan giriş hava debisi (F_a) ve giriş hava sıcaklığı (T_a) gerçek ölçüm değerlerini takip etmiştir.

Uygulamacılar amaç fonksiyonundaki enerji maliyeti ağırlık katsayısı (β_1) ve kalite bileşeninin ağırlık katsayısı (β_2) değerlerini kendi isteklerine, süreç ve işletme şartlarına göre rahatlıkla ayarlayabilirler. Çünkü bu iki ağırlık parametresi, kalite-maliyet dengesi dışında süreç ve işletme şartlarına göre ciddi değişkenlik gösterir. Verimin artırılması için önceliklerimiz doğrultusunda kaliteden çok az bir fedakarlık yapılarak enerji maliyetleri düşürülebilir.



Şekil 7.8: Bulanık mantık kontrol edicisinin kontrol sonuçları: Çıkış parametreleri ($KM - T_m$) ve giriş parametreleri ($F_a - T_a$). (o) Gerçek veriler, (—) Kontrol edici çıkışlarının benzetim sonuçları

Uyarlanabilir yapının üretim sürecinde devamlı çalışması ile işletme ve ortam şartlarına bağlı değişimlerde dikkate alınarak sistem modelleri devamlı güncel kalacaktır. Uyarlanabilir yapının kendini güncellemesi ve bu güncelleme için gerekli olacak veri tabanının oluşturulması işletme ve çalışanları için hiç bir ek yük getirmeyecek şekilde tasarlanmıştır. Önceki çalışmalarda çok sık kullanılan fiziksel modellerin süreç ve işletme şartlarının değişimi ile geçerliliklerini yitirmesi ve tekrar elden geçirilme zorunlulukları bu tarz yaklaşımla ortadan kalkmaktadır. Genişleyen veri tabanı ile da daha iyi modelleme yapılabileceği kesindir. Daha iyi ve devamlı güncel bir modelleme ile en iyilemede daha iyi olacaktır.

8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada kesikli akışkan yatakta kurutulan ekmek mayası kurutma süreci incelenmiştir. Bu kurutma sürecinin incelenmesi ve akabinde süreç modelleme çalışmalarında yapay sinir ağı ve bulanık mantık modelleme yaklaşımlarından yararlanılmıştır. Yapay sinir ağları ve bulanık mantık modelleme yaklaşımlarda, daha önce yapılmış çok fazla bilgi birikimi gerektiren fiziksel modelleme çalışmalarından aşağı kalmayan bazı durumlarda daha iyi sonuçlar veren neticeler elde edilmiştir.

Kesikli akışkan yataklı kurutma sürecine farklı bir en iyileme kriteri getiren bu çalışma aynı zamanda optimum işletme şartlarında kolaylıkla üretim yapılmasını sağlayarak sistem verimliliğini artırma yönünde bir çözüm sunmaktadır.

Yapay sinir ağı ve bulanık modelleme yaklaşımda model oluşturmanın fiziksel modelleme yaklaşımına karşı (i) kurutulan ürün ve kurutma sistemi hakkında detaylı bilgi birikimine ihtiyaç duyulmama, (ii) kolaylıkla güncellenebilen uyarlanabilir bir yapıya sahip olmaları ve (iii) benzetim sürelerinin kısalığı gibi üstünlükleri görülmüştür.

Kalite modeli oluşturulurken daha önce yapılan ve kurutma sürecinde kurutulan ürünün kalite değişiminin zamana göre değişimlerinin incelendiği çalışmalardan farklı bir yaklaşım uygulanmıştır. Kurutma süreci tamamı boyunca ölçülen bütün süreç parametreleri ile tek bir kalite değişimi arasında yapay sinir ağı modeli oluşturulmuştur. Bu tarz bir yaklaşımda, bir kurutmada kalite değişiminin zaman göre modellenmesi için gereken ara analizlerin yapılmasına gerek kalmamıştır. Bu tarz modellemede çalışanlar, normal üretim prosedürlerini takip ederek (hiçbir ekstra iş yapmadan) oluşturulan yapının kolaylıkla güncel kalmasını sağlayabilirler.

Kesikli akışkan yatakta kurutulan ekmek mayasının en iyilemesi ve kontrolü için gerekli olan süreç ve kalite modelleri oluşturulmuş ve bu modeller gerçek veriler ile

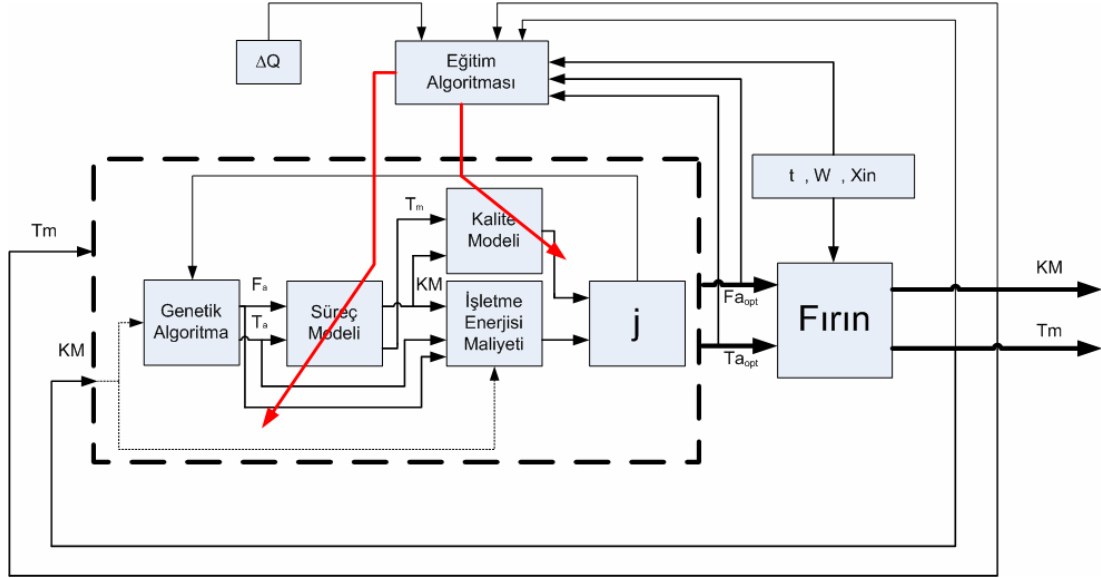
sınanmıştır. Süreç modeli oluştururken çeşitli yapay sinir ağı yapıları birbirleriyle mukayese edilmiş ve en başarılı olan yapay sinir ağı yapısı belirlenmiştir. Ayrıca yapay sinir ağı yapısına alternatif olarak süreç modeli için bulanık mantık model yapısıyla da başka bir model oluşturulmuştur. Bütün test verileri için yapay sinir ağı modelimizin benzetim sonuçlarının gerçek veriler ile yapılan regresyon analizi (R-squared) değerleri; kuru madde için %96.387, ürün sıcaklığı için %85.256 ve kuru madde değişim miktarı için %92.33'dür. Aynı yaklaşımla bulanık mantık modelimizin regresyon analizi sonuçları ise; kuru madde için %90.525, ürün sıcaklığı için %81.776 ve kuru madde değişim miktarı için %95.136'dır. Sonuçlardan da görüldüğü gibi yapay sinir ağı ve bulanık mantık model yaklaşımları arasında çok ciddi bir fark yoktur. Hem cevap süresi hem de sistemi tanımlama açısından ikisi de rahatlıkla birbirinin alternatifi olabilir. Kalite model stratejimiz bulanık mantık modelleme yapısı için pek uygun olmadığı için kalite modelini oluştururken yapay sinir ağı yapılarından yararlandı. Kalite modelini bulanık mantık modeli ile oluşturmak istendiğinde eğitim aşamasında çok ciddi bir işlem yükü oluşmuştur. Bulanık mantık modellerimizin üyelik fonksiyonları (süreç modeli için) ANFIS yapısı ile belirlenmiştir.

Uyarlanabilir yapının üretim sürecinde devamlı çalışması ile işletme ve ortam şartlarına bağlı değişimlerde dikkate alınarak sistem modelleri devamlı güncel kalacaktır. Uyarlanabilir yapısının kendini güncellemesi için gerekli olacak veri tabanının oluşturulması işletme ve çalışanları için hiç bir ek yük getirmeyecek şekilde tasarlanmıştır. Genişleyen veri tabanıyla da daha iyi modelleme yapılabileceği kesindir.

Ekmek mayasının fermantasyon üretim şartlarının kurutma sırasında kalite üzerinde ortaya çıkan bir etkisi söz konusudur. Bu yüzden kalite modeli oluşturulurken kurutulan ekmek mayasının üretildiği fermantasyon verilerinin de modelleme çalışmalarında dikkate alınmasının daha iyi sonuçlar vereceği düşünülmektedir.

Kesikli akışkan yatakta kurutulan ekmek mayası üretim sürecinin en verimli şekilde çalışması için yapılan çalışmada karşımıza çıkan en iyileme probleminin çözümünde sistemin karmaşıklığı nedeniyle genetik algoritmalarından yararlanılmıştır. Burada en

iyileme gerektiren verimli çalışmanın temelinde, minimum enerji harcaması ve minimum kalite kaybı arasındaki dengesinin bulunması yatmaktadır. Oluşturulan uyarlanabilir özelliğe sahip süreç, kalite modelleri ve Şekil 8.1'deki yapı yardımıyla bu en iyileme problemi başarı ile çözülmüştür.



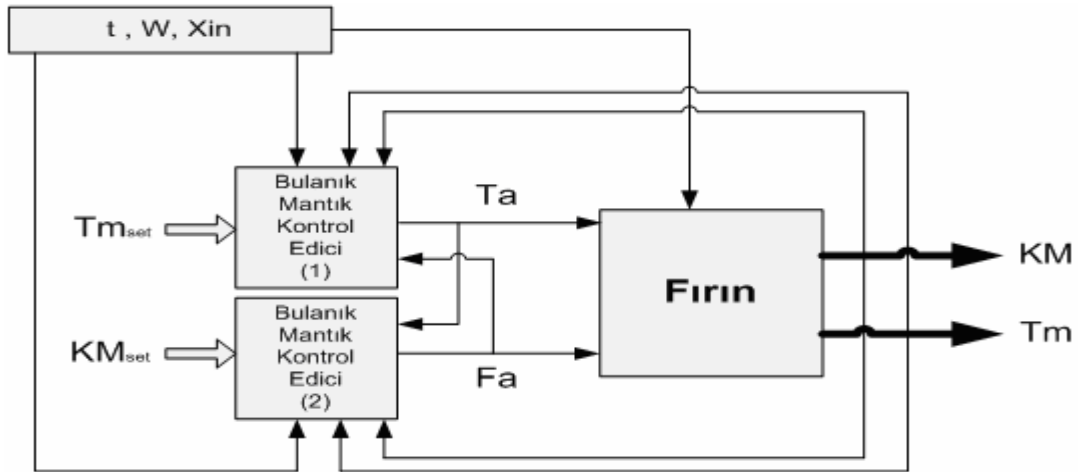
Şekil 8.1: En iyileme yapısı

Yapılan en iyileme sonucunda üretim tesisinde uygulanan işletme şartlarına göre enerji maliyetinde %11.54 ve kalite kaybında %16.63 oranlarında bir iyileştirme yapılmıştır. Ayrıca amaç fonksiyonunda ağırlık katsayılarını sadece enerji tasarrufu için $\beta_2 = 0$ ve kalite kaybını minimum yapmak için $\beta_1 = 0$ yapılarak denemeler yapılmıştır. Üretim tesisinde uygulanan işletme şartlarına göre, enerji tasarrufu çalışmasında ($\beta_2 = 0$); enerji maliyetinde %16.39 azalma sağlanırken kalite kaybında %26.94'lük bir artış olmuştur. Kalite iyileştirme çalışmasında ise ($\beta_1 = 0$); enerji maliyetinde %16.9'luk bir artış olurken kalite kaybında %47.37'lik bir iyileştirme olmuştur.

Uygulamacılar amaç fonksiyonundaki enerji maliyeti ağırlık katsayısı (β_1) ve kalite bileşeninin ağırlık katsayısı (β_2) değerlerini kendi isteklerine, süreç ve işletme şartlarına göre rahatlıkla ayarlayabilirler. Çünkü bu iki ağırlık parametresi, kalite-maliyet dengesi dışında süreç ve işletme şartlarına göre ciddi değişkenlik gösterir. Bu

iki ağırlık parametresinin işlevi, enerji maliyeti ile üründeki kalite kaybının ürün satış fiyatı üzerindeki etkisini aynı paydaya getirmektir.

Ayrıca genetik algoritmanın her zaman en iyi çözümü bulamama ihtimaline karşı kalite kaybını minimize eden ikinci bir yaklaşım denenmiş ve iyi sonuçlar elde edilmiştir. Kalite kaybını minimum yapan süreç parametrelerinin referans değeri olarak sürece uygulanması ve bulanık mantık kontrol edicisi ile bu referans değerlerinin sistem tarafından takip edilmesi sağlanmıştır. Burada yapılması gereken tek şey en iyi kalite değerini sağlayan süreç parametrelerinin sadece çevrim içi (on-line) değil çevrim dışı (off-line) olarak aranması ve devamlı yenilenerek güncel olarak saklanması gerekmektedir. Kalite kaybını minimize eden bulanık mantık kontrollü denetleyici yapısı Şekil 8.2’de verilmiştir. Bu yapı ile yapılan benzetim sonuçları ile gerçek ölçüm verileri birbirlerine oldukça yakın çıkmıştır.



Şekil 8.2: Bulanık mantık kontrol edicili kontrol yapısı

Uyarlanabilir yapının üretim sürecinde devamlı çalışması ile işletme ve ortam şartlarına bağlı değişimlerde dikkate alınarak sistem modelleri devamlı güncel kalacaktır. Uyarlanabilir yapının kendini güncellemesi ve bu güncelleme için gerekli olacak veri tabanının oluşturulması işletme ve çalışanları için hiç bir ek yük getirmeyecek şekilde tasarlanmıştır. Önceki çalışmalarda çok sık kullanılan fiziksel modellerin süreç ve işletme şartlarının değişimi ile geçerliliklerini yitirmesi ve tekrar elden geçirilme zorunlulukları bu tarz yaklaşımla ortadan kalkmaktadır. Genişleyen

veri tabanıyla da daha iyi modelleme yapılabileceği kesindir. Daha iyi ve güncel bir modelleme ile en iyilemesi daha iyi olacaktır.

Bir kıyaslama yapmak istenirse; literatür incelendiğinde akışkan yataklı kurutma sisteminin en iyilemesi konusunda endüstriyel boyutlarda yapılan en son ve nadir çalışmalardan biri Yüzgeç ve diğ. (2006) tarafından yayınlanmıştır. Yüzgeç ve diğ. (2006)'nin çalışmalarında yararlandıkları kurutma sistemi, bu çalışmanın yapıldığı fırınlardan daha düşük ölçekte olup $F_a = 12000 \text{ kg}_{\text{hava}} / h$ ve $T_a \approx 100^\circ C$ seviyesindedir. Bu makalede ürün kalitesinde %9.4'lük artış ve enerji maliyetinde %15.5'lik tasarruf sağlandığı raporlanmıştır. Bu çalışmada ise ürün kalitesinde %16.63'lük artış ve enerji maliyetinde de yaklaşık %11.54'lük tasarruf sağlanmıştır. Enerji maliyeti temelli çalışmada, enerji maliyetinde %16.39 azalma sağlanırken, kalite temelli çalışmada ise kalite kaybında %47.37'lik bir iyileştirme sağlanmıştır.

Kalite kaybının modellenmesinde, literatürde daha önce kalite kaybının kurutma süreci boyunca zamana göre değişimlerin incelendiği çalışmalardan farklı bir yaklaşım ile incelenmiştir. Optimize edilecek amaç fonksiyonu ise farklı bir bakış açısı ile oluşturuldu. Bu yaklaşımlar ışığında kendini kolaylıkla güncelleyebilen ve sistemi en verimli şekilde çalıştırabilen bir kontrol yapısı önerilmiştir. Sistem modellemesinde yapay sinir ağı ve bulanık mantık (ANFIS ile birlikte), en iyileme işleminde de genetik algoritmalarından yararlanılmıştır. En iyileme ve kontrol yapısına alternatif olarak sistemi en verimli şekilde işletecek süreç çıkış parametrelerinin takip edilmesini sağlayan bulanık mantık kontrol edici önerildi. Yapılan en iyileme işlemi, üretim tesisindeki değişiklikler, işletme şartlarına ve kriterlere (önceliklere) göre kolaylıkla revize edilebilmektedir. Sonuç olarak, tasarlanan kontrol sistemi hiçbir şekilde şu ana kadar uygulanan normal üretim sürecine ve çalışanlarına ek bir yük getirmeyecek şekildedir. Oluşturulan yapı, süreci kontrol eden SCADA programı içine veya bu SCADA programı ile haberleşmesi sağlanacak ayrı bir program ile kolaylıkla uygulanabilir. Sahadan toplanan veriler sonucunda oluşturulan yapıda hesaplanan optimum giriş hava debisi ve giriş hava sıcaklığı değerlerinin sisteme referans değer olarak gönderilmesi istenen kontrol ve en iyilemenin yapılması için yeterlidir.

KAYNAKLAR

ASCE, "Artificial Neural Networks in Hydrology. I. Preliminary Concepts", *J. Hydro. Eng.* ASCE 5, 115-123, (2000).

ASHRAE, "Psychrometrics Handbook", Chapter-6, *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc.*, (2001)

Balasubramanian, A., Panda, R.C., Rao, V.S., "Modeling of a Fluidized Bed Drier Using Artificial Neural Network", *Drying Technology*, 14(7-8), 1881-1889, (1996).

Bassher, I., "Selection of Methodology for Modeling Hysteresis Behavior of Soils Using Neural Networks", *J. Comput. Aided Civil Inf. Eng.*, 5 (6), 445-463, (2000).

Basheer, I.A., Hajmeer, M., "Artificial neural network: fundamentals, computing, design and application", *Journal of Microbiological methods.*, 43, 3-31, (2000).

Baum, E., Haussler, D., "What Size Net Gives Valid Generalization?", *Neural Computation*, 1, 151-160, (1989).

Beker, M.J., Rapoport, A.I., "Conservation of yeasts by Dehydration", *in: Biochemical Eng./Biotech*, 35, 128-171, (1987).

Bremner H., Poslethwaite B., "The Implementation of a Relational Fuzzy Model Based Control System on an Industrial Drying Process", *Intelligent Automation and Soft Computing*, 4, AutoSoft Press, (1998)

Castellanos, J.A., Palancar, M.C., Aragon, J.M., "Designing and Optimizing a Neural Network for the Modeling of a Fluidized-Bed Drying Process", *in: Industrial Engineering and Chemical Research*, 41, 2262-2269, (2002).

Chen, C.R., Ramaswamy, H.S., Alli, I., "Prediction of Quality Changes During Osmo-Connective Drying of Blueberries Using Neural Network Models for Process Optimization", *Drying Technology*, 19(3-4), 507-523, (2001).

Ciesielski, K., Zbicinski, I., "Hybrid Neural Modeling of Fluidized Bed Drying Process", *Drying Technology*, 19 (8), 1725-1738, (2001)

Coumans W. J., "Models for Drying Kinetics Based on Drying Curves of Slab", *Chemical Engineering and Processing*, 39, Elsevier, (2000).

Coumans, W.J., "Power Law Diffusion in Drying Processes", Ph.D. Thesis, *Technical University Eindhoven*, The Netherlands, (1987).

- Cubillos, F., Mateo, J., Vega R., "A Generalized Drying Model with Neural Network Structure", *Proc. Inter-American Drying Conference SP*. Brasil, (1997).
- Cubillos, F., Reyes, A., "Drying of Carrots in a Fluidized Bed. II. Design of a Model Based on a Modular Neural Network Approach", *Drying Technology*, 21 (7), 1185-1196, (2003).
- Cubillos, F.A., Alvarez, P.I., Pinto, J.C., Lima, E.L., "Hybrid-Neural Modeling for Particulate Solid Drying Processes", *Powder Technology*, 87, 153-160, (1996).
- Dowla, F.U., Rogers, L.L., "Solving Problems in Environmental Engineering and Geosciences with Artificial Neural Networks", *MIT Press*, Cambridge, MA, (1995).
- Elmas, Ç., "Yapay Sinir Ağları", *Seçkin*, Ankara, (2003a).
- Elmas, Ç., "Bulanık Mantık Denetleyiciler", *Seçkin*, Ankara, (2003b).
- Farkas, I., Remenyi, P., Biro, A., "A Neural Network Topology for Modeling Grain Drying", *Computer and Electronics in Agriculture*, 26, 147-158, (2000a).
- Farkas, I., Remenyi, P., Biro, A., "Modeling Aspects of Grain Drying with A Neural Network", *Computer and Electronics in Agriculture*, 29, 99-113, (2000b).
- Fu, L., "Neural Networks in Computer Intelligence", *McGraw-Hill*, New York, (1995).
- Goldberg, D.E., "Genetic Algorithms in Search, Optimisation and Machine Learning", Reading, *Addison-Wesley*, New York, (1989).
- Hadrich, B., Kechaou, N., "Mathematical and Modelling and Simulation of Heat and Mass Transfer Phenomena in a Shrinking cylinder During Drying", *Drying 2004 Proceedings of the 14th International Drying Symposium*, Sao Paulo, Brazil, 533-541, (2004).
- Han, J., Moraga, C., Sinne, S., "Optimization of Feedforward Neural Networks", *Eng. Appl. Artif. Intell*, 9(2), 109–119, (1996).
- Hassoun, M.H., "Fundamentals of Artificial Neural", *MIT Press*, Cambridge, MA, (1995).
- Haykin, S., "Neural Networks a Comprehensive Foundation", *Prentice Hall*, USA, (1999).
- Haykin, S., "Neural Networks: A Comprehensive Foundation", *Macmillan*, New York, (1994).
- Hecht-Nielsen, R., "Neurocomputing", *Addison-Wesley*, Reading, MA, (1990).

- Heinrich, S., Peglow, M., Henneberg, M., Drechsler, J., Morl, L., "Fluidized Bed Spray Granulation: Analysis of Dynamic Particle Populations and Heat and Mass Transfers", *Drying 2004 Proceedings of the 14th International Drying Symposium*, Sao Paulo, Brazil, 121-128, (2004).
- Henseler, J., "Backpropagation", In: Braspenning, P.J. et al. (Eds.), *Artificial Neural Networks, An Introduction to ANN Theory and Practice. Lecture Notes in Computer Science*, Springer, NY, pp. 37–66 (1995).
- Hernandez-Perez, J.A., Garcia-Alvarado, M.A., Trystram, G., Heyd, B., "Neural Networks for the Heat and Mass Transfer Prediction During Drying of Cassava and Mango", *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 5, 57-64, (2004).
- Hertz, J., Krogh, A., Palmer, R.G., "Introduction to the Theory of Neural Computation", *Addison-Wesley*, Reading, MA, (1991).
- Hoebink, J.H., Rietema, K., "Drying Granular Solids in Fluidised Bed. I: Description on Basis of Mass and Heat Transfer Coefficients", *Chem. Engng. Sci.*, 35, 2135-2140, (1980).
- Honda, H., Kobayashi, T., "Fuzzy Control of Bioprocess", *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 89(5), 401-408, (2000).
- Huang, B., Mujumdar, A., "Use of the Neural Networks to Predict Industrial Dryer Performance", *Drying Technology*, 11(3), 525-541, (1993).
- Islam, Md.R., Sablani, S.S., Mujumdar, A.S., "An Artificial Neural Network Model for Prediction of Drying Rates", *Drying Technology*, Vol. 21, No. 9, 1867-1884, (2003).
- Jadid, M.N., Fairbairn, D.R., "Predicting Moment-Curvature Parameters from Experimental Data", *Eng. Appl. Artif. Intell.*, 9(3), 309–319, (1996).
- Jang, J.S.R., "ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 23(3), 665-685, (1993).
- Jang, J.S.R., Sun, C.T., "Neuro-Fuzzy Modeling and Control", *Proceeding of the IEEE*, 83(3), 378-406, (1995).
- Jinescu, G., Lavric, V., "The Artificial Neural Network and the Drying Process Modeling", *Drying Technology*, 13(5-7), 1579-1586, (1995).
- Jmah, R., Mujumdar, A.S., "Modeling Intermittent Drying Using an Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System", *Drying Technology*, 23, 1075-1092, (2005).
- Kaminski, W., Tomczak, E., "An Integrated Neural Model for Drying and Thermal Degradation of Selected Products", *Drying Technology*, 17(7-8), 1291-1301, (1999).

- Kanarya, A., "Akışkan Yataklı Kurutma Prosesinin Matematiksel Modellemesi", Yüksek Lisans Tezi, **Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü**, Kocaeli, (2002).
- Karakuzu, C., "Nöral Ağ ve Bulanık Mantık ile Endüstriyel Ekmek Mayası Fermantasyonu Modelleme ve Kontrolü", Doktora Tezi, **Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kocaeli, (2003).
- Kerkhof P.J.A.M., "A Test of Lumped Parameter Methods for the Drying Rate in Fluidized Bed Driers for Bioproducts", *in Drying '94*, Ed. Mujumdar A.S., (1994).
- Kerkhof, P.J.A.M., "Some Modeling Aspects of (Batch) Fluid-Bed Drying of Life-Science Products" *in: Chemical Engineering and Processing*, 39, Elsevier Science Publisher, 69-80, (2000).
- Kosko, B., "Neural Networks and Fuzzy Systems", **Prentice-Hall International Editions**, 407-416, London, (1992).
- Lachtermacher, G., Fuller, J.D., "Backpropagation in Time-Series Forecasting", **J. Forecasting**, 14, 381-393, (1995).
- Lai, S.F., Yiming, C., Fan, L.T., "Modelling of Simulation of a Continuous Fluidised Bed Dryer", **Chem. Engng. Sci.**, 41 (9), 2419-2430, (1986).
- Lee, Y., Oh, S.H., Kim, M., "The Effect of Initial Weights on Premature Saturation in Backpropagation Learning", *In: Proceedings of an International Joint Conference on Neural Networks*, Seattle, WA, 765-770, (1991).
- Levenberg, K., "A Method for the Solution of Certain Problems in Least Squares", **Quarterly App. Math.**, vol. 2, 164-168, (1944).
- Liou, J.K, Bruin, S., "An Approximate Method for The Nonlinear Problem with A Power Relation Between Diffusion and Concentration-I Computation of Desorption Times", **Int. J. Heat Mass Transfer**, 25, 1209-1220, (1982a).
- Liou, J.K, Bruin, S., "An Approximate Method for The Nonlinear Problem with A Power Relation Between Diffusion and Concentration-I Computation of Concentration Profiles", **Int. J. Heat Mass Transfer**, 25, 1221-1229, (1982b).
- Lievense, L.C., "The Inactivation of Lactobacillus Plantarum During Drying", Ph.D. Thesis, **Wageningen University**, (1991).
- Liou, J.K., "An Approximate Method for The Nonlinear Diffusion Applied to Enzyme Inactivation During Drying", Ph.D. Thesis, **Wageningen University**, (1982).
- Liou, J.K., Luyben K.Ch.A.M., Bruin S., "A Simplified Calculation Method Applied to Enzyme Inactivation During Drying", **Biotechn. Bioeng.**, 27, 109-116, (1984).

- Looney, C.G., "Advances in Feedforward Neural Networks: Demystifying Knowledge Acquiring Black Boxes", *IEEE Trans. Knowledge Data Eng.*, 8 (2), 211–226, (1996).
- Luyben K.Ch.A.M., Liou, J.K., Bruin, S., "Enzyme Degradation During Drying", *Biotechnology and Bioengineering*, 24, 533-552, (1982).
- Man, K.F., Tang, K.S., Kwong, S., "Genetic Algorithms: Concept and Applications", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 43(5), 518-533, (1996).
- Marquardt, D.W., "An Algorithm for Least Squares Estimation of Nonlinear Parameters", *in: Journal of the Society of Industrial and Applied Mathematics*, vol. 11, 431-441, (1963).
- Masters, T., "Practical Neural Network Recipes in C11", *Academic Press*, Boston, MA, (1994).
- MATLAB®, "Neural Networks User's Guide", *The Mathworks Inc.*, (2005).
- Michalewicz, Z., "Genetic algorithms + Data structures = Evolution Programs", AI Series, *Springer-Verlag*, New York, (1994).
- Mittal, G.S., Zhang, J. "Artificial Neural Network-based Psychrometric Predictor", *Biosystems Engineering*, 85(3), 283-289, (2003).
- Moura, C.P., Masson, M.L., Yamamoto, C.I., "Prediction of Osmotic Pretreatment Parameters using Neural Networks Models for Process Optimization", *Drying 2004 Proceedings of the 14th International Drying Symposium*, Sao Paulo, Brazil, 589-596, (2004).
- Myhara R.M., Sablani, S., "Unification of Fruit Water Sorption Isotherms Using Artificial Neural Networks", *Drying Technology*, 19(8), 1543-1554, (2001).
- Nabiyev, V.V., "Yapay Zeka", *Seçkin*, Ankara, (2003).
- Nelson, M., Illingworth, W.T., "A Practical Guide To Neural Nets", *Addison-Wesley*, Reading, MA, (1990).
- Olmos, A., Trelea, I.C., Poligne, I., Collignan, A., Broyart, B., Trysrtam, G., "Optimal Operating Conditions Calculation for a Pork Meat Dehydration-Impregnation-Soaking Process", *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.*, 37, 763-770, (2004).
- Palancar, M.C., Aragon, J.M., Castellanos J.A., "Neural Network Model for Fluidised Bed Dryers", *Drying Technology*, 19 (6), 1023-1044, (2001).
- Panchariya, P.C., Popovic, D., Sharma, A.L., "Desorption Isotherm Modeling of Black Tea Using Artificial Neural Networks", *Drying Technology*, 20(2), 351-362, (2002).

Panda, R.C., Rao, S.R., "Dynamic Model of a Fluidisation Bed Dryer", *Drying Technology*, 11(3), 589-602, (1993).

Panda, R.C., Rao, S.R., "Fluidized Bed Dryers: Dynamic Modelling and Control", *Chem. Eng. Technol.*, 14, 307-310, (1991)

Pary, J.L., "Mathematical Modeling and Computer Simulation of Heat and Mass Transfer in Agricultural Grain Drying: a Review", *in: Journal of Agricultural Engineering Research*, 32, 1-29, (1985).

Perez, E.B., Carvalho, M.S., "Optimization of Drying Process in the Manufacturing of Adhesive Tapes", *Drying 2004 Proceedings of the 14th International Drying Symposium*, Sao Paulo, Brazil, 333-340, (2004).

Perry, R.H., "Perry's Chemical Engineers' Handbook", 6.Ed., *M.Hill*, (1984).

Quirijns E.J., van Willigenburg L.G., van Boxtel A.J.B., van Straten G., "New Perspectives for Optimal control of Drying Processes", *International Symposium on Advanced Control of Chemical Processes ADCHEM 2000*, Pisa, Italy, 437-442, (2000b).

Quirijns E.J., van Willigenburg L.G., van Boxtel A.J.B., van Straten G., "The Significance of Modelling Spatial Distributions of Quality in Optimal Control of Drying Processes", *Journal A, Benelux Quarterly Journal on Automatic Control*, vol.41, (2000a).

Quirijns, E.J., van Boxtel, A.J.B. Van, S.G., "The Use of Moisture and Temperature Profiles in Predicting Product Quality for Optimal Control of Drying Process", *in: Skjöldebrand, C. and G. Trystam (Eds.), Proceedings on Automatic Control of Food and Biological Processes IV*, Göteborg, Sweden, 485-490, (1998).

Ramesh, M.N., Kumar, M.A., Rao, P.N.S., "Application of Artificial Neural Network to Investigate the Drying of Cooked Rice", *Journal of Food Process Engineering*, 19, 321-329, (1996).

Rizzo, D.M., Dougherty, D.E., "Characterization of Aquifer Properties Using Artificial Neural Networks: Neural Kriging", *Water Res.*, 30 (2), 483-497, (1994).

Robbins, P.T., Fryer, P.J., "The Spouted-Bed Roasting of Barley: Development of a Predictive Model for Moisture and Temperature", *in: Journal of Food Engineering*, 59, 199-208, (2003).

Roubos, J.A., Straten, G. Van and Boxtel, A.J.B. Van, "An Evolutionary Strategy for Fed-Batch Bioreactor Optimization; Concepts and Performance", *in: Journal of Biotechnology*, vol. 67, 173-178, (1999).

Rumelhart, D.E., Hinton, G.E., Williams, R.J., "Learning Representations by Back-Propagating Errors", *Nature*, 323, 1533-536, (1986).

- Sarkar, D., Modak, J.M., "Optimization of fed-batch bioreactors using genetic algorithms", *in: Chemical Engineering Science*, vol. 58, Elsevier Science Publisher, 2283-2296, (2003).
- Schoeber, W.J.A.H., "Regular Regimes in Sorption Processes", Ph.D. Thesis, *Technical University Eindhoven*, The Netherlands, (1976).
- Sietsma, J., Dow, R.J.F., "Neural Net Pruning - Why and How", *IEEE Int. Conf. Neural Networks 1*, 325-333, (1998).
- Strumillo, C., Grabowski, S., Zbicinski, I., Bartczak, Z., *IDS'88*, PD17, (1988).
- Strumillo, C., Kudra, T., "Drying: Principles, Applications and Design", *Gordon and Breach Science Publishers*, (1986).
- Strumillo, C., Kaminski, W., Zbicinski, I., "Some Aspects of the Drying of Protein Products", *The Chemical Engineering Journal and the Biochemical Engineering Journal*, 58 (2), 197-204, (1995).
- Swingler, K., "Applying Neural Networks: A Practical Guide", *Academic Press*, New York, (1996).
- Temple, S.J., Van Boxtel, A.J.B., "Equilibrium Moisture Content of Tea", *in: Journal of Agricultural Engineering Research*, 74, 83-89, (1999a).
- Temple, S.J., Van Boxtel, A.J.B., "Modelling of Fluidized Bed Drying of Black Tea", *in: Journal of Agricultural Engineering Research*, 74, 203-212, (1999b).
- Temple, S.J., Van Boxtel, A.J.B., "Thin Layer Drying of Black Tea", *in: Journal of Agricultural Engineering Research*, 74, 167-176, (1999c).
- Thyagarajan, J.T., Panda, R.C., Shanmugam, J., Rao, P.G., Ponnaivaikko, M., "Development of ANN Model for Non-Linear Drying Process", *Drying Technology*, 15(10), 2527-2540, (1997).
- Trelea, I.C., Courtosis, F., Trystram, G., "Dynamic Models for Drying and Wet-Milling Quality Degradation of Corn Using Neural Network", *Drying Technology*, 15(3-4), 1095-1102, (1997).
- Trivedi N. B., Jacobson G., "Recent Advances in Baker's Yeast", *Progress in Industrial Microbiology*, (Ed. Adams M. R.), Elsevier, vol. 23, (1986)
- Türker, M., Kanarya, A., Yüzgeç, U., Kapucu, H., Şenalp, Z., "Drying of Baker's Yeast in Batch Fluidized Bed", *Chemical Engineering and Processing*, 45, 1019-1028, (2006).
- Ulkü, S., Uckan, C., "Corn Drying in Fluidized Beds", *Proc. Drying'86*, 531-538, (1987)

- Upadhaya, B., Eryureka, E., "Application of Neural Network for Sensory Validation and Plant Monitoring", *Neural Technology*, 97, 170-176, (1992).
- van Boxtel A. J. B., Knol L., "A Preliminary Study on Strategies for Optimal Fluid Bed Drying", *Drying Technology* 14, Marcel Dekker, (1996).
- Viswanatthan, K., "Model for Continuous Drying of Solids in Fluidized/Spouted Beds", *Can. J. Chem. Engng.*, 64(2), 87-95, (1986)
- Watano S., Sato Y., Miyanami K., "Application of a Neural Network to Granulation Scale Up", *Powder Technology* 90, Elsevier, (1997)
- Widrow, B., Lehr, M.A., "30 Years of Adaptive Neural Networks: Preceptron, Madaline and Backpropagation", *Proc. IEEE* 78 (9), 1415-1442, (1990).
- Wythoff, B.J., "Backpropagation Neural Networks: A Tutorial", *Chempmetr. Intell. Lab. Syst.*, 18, 115-155, (1993).
- Yüzgeç, U., "Kurutma Sürecinin Modellenmesi ve Akıllı Öngörülü Denetimi", Doktora Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, (2005).
- Yüzgeç, U., Becerikli Y., Türker, M., "Nonlinear Predictive Control of a Drying Process Using Genetic Algorithms", *The Instrumentation, Systems, and Automation Society*, 45(4), 589-602, (2006).
- Zahed, A.H., Zhu, J.X., Grace, J.R., "Modeling and Simulation of Batch and Continuous Fluidized Bed Dryers", *Drying Technology*, 13(1-2), 1-28, (1995).
- Zbincski, I., Strumillo, P., Kaminski, W., "Hybrid-Neural Model of Thermal Drying in a Fluidized Bed", *Computers Chem. Engng.*, 20, 695-700, (1996).
- Zhang, Q., Litchfield J.B., "Fuzzy Logic Control for A Continuous Crossflow Grain Dryer", *Journal of Food Process Engineering*, 16, 59-77, (1993)
- Zimmermann, K., Bauer, W., "The influence of Drying Conditions upon Reactivation of Baker's Yeast", *Proc. 4th International Congress of Engineering and Food (ICEF 4), Edmonton*, 425-437, (1985)
- Zupan, J., Gasteiger, J., "Neural Networks for Chemists: An Introduction", *VCH*, New York, (1993).
- Zupan, J., Gasteiger, J., "Neural Networks: A New Method for Solving Chemical Problems or just A Passing Phase?", *Vanal. Chim. Acta* 248, 1-30, (1991).

EK A. YAPAY SİNİR AĞLARI HAKKINDA AYRINTILAR

A.1. Bir Yapay Sinir Ağı Nöronunun Ana Öğeleri (Elmas, 2003a)

Yapay sinir ağları, birbirine bağlı çok sayıda işlem elemanlarından oluşmuş, genellikle paralel işleyen yapılar olarak adlandırılabilir. Yapay sinir ağlarındaki temel işlem elemanları (düğüm) basit sinirlerdir. Bir yapay sinir ağı, birbirleriyle bağlantılı çok sayıda düğümlerden oluşur. Yapay sinir ağı nöron yapısı Şekil A.1'de verilmiştir.

Yapay sinir ağları, insan beyni gibi, öğrenme, hatırlama ve genelleme yeteneğine sahiptirler. İnsan beyninde öğrenme üç şekilde olur.

- Yeni aksonlar üreterek
- Aksonların uyarılmasıyla
- Mevcut aksonların güçlerini değiştirerek

Her aksonun, üzerinden geçen işaretleri değerlendirebilecek yetenekte olduğu savunulmaktadır. Aksonun bu özelliği, bir işaretin belli bir sinir için ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.

Yapay sinir ağlarının temel birimi, işlem elemanı veya düğüm olarak adlandırılan yapay bir sinirdir. Bir yapay sinir, biyolojik sinirlere göre daha basit olmasına karşın, biyolojik sinirlerin dört temel işlevini taklit ederler. Girişler x_i sembolüyle gösterilmiştir. Bu girişlerin her biri ağırlık w ile çarpılır. Basitçe, bu sonuçlar eşik değeri b_j ile toplanır ve sonucu oluşturmak için etkinlik işlevi ile işlem yapılır ve a_i çıkışı alınır.

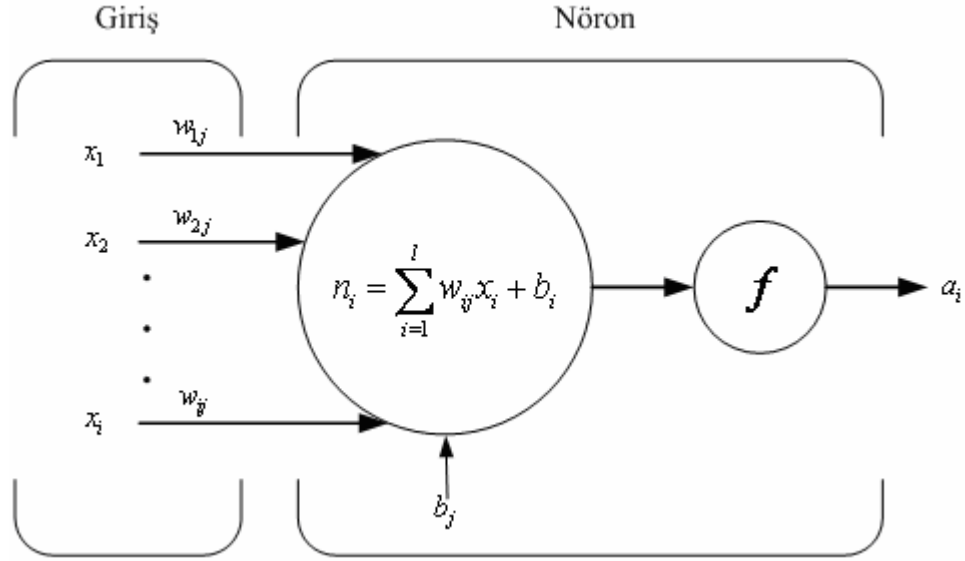
Tüm yapay sinir ağları bu temel yapıdan türetilmiştir. Bu yapıdaki farklılıklar yapay sinir ağlarının farklı sınıflandırmalarını sağlar. Bir yapay sinirin öğrenme yeteneği, seçilen öğrenme algoritması içerisinde ağırlıkların uygun şekilde ayarlanmasına bağlıdır.

A.1.1. Girişler

Girişler (x_1, x_2, \dots, x_i) çevreden aldığı bilgiyi sinire getirir. Girişler, kendinden önceki sinirlerden veya dış dünyadan sinir ağına gelebilir. Bir sinir genellikle rasgele bir çok girdilerden oluşabilir.

A.1.2. Ağırlıklar

Ağırlıklar ($w_{1j}, w_{2j}, \dots, w_{ij}$), yapay sinir tarafından alınan girişlerin sinir üzerindeki etkisini belirleyen uygun katsayılardır. Her bir giriş kendine ait bir ağırlığa sahiptir. Bir ağırlık değerinin büyük olması, o girişin yapay sinire güçlü bağlanması veya önemli olması, küçük olması ise zayıf bağlanması veya önemli olmaması anlamına gelmektedir.



Şekil A.1: Basit bir yapay sinir ağı nöron yapısı

A.1.3. Toplama işlevi

Toplama işlevi x_i sembolüyle gösterilmiştir. Bu girişlerin her biri ağırlık w ile çarpılır. Basitçe, bu ürünler eşik değeri (b_j) ile toplanır. Yapay sinirde her bir ağırlığın ait olduğu girişlerle çarpımının toplamlarını eşik (b_j) değeri ile toplayarak etkinlik işlevine gönderir. Bazı durumlarda toplama işlevi bu kadar basit bir işlem yerine, en az (min), en çok (max), çoğunluk veya birkaç normalleştirme algoritması gibi çok daha karmaşık olabilir.

A.1.4. Etkinlik işlevi

Toplama işlevinin sonucu, etkinlik işlevinden f (etkinlik) geçirilip çıkışa iletilir. Bir etkinlik işlevinin kullanım amacı, zaman söz konusu olduğunda toplama işlevinin çıkışının değişmesine izin vermektir. Etkinlik işlevi, Tablo A.1'de gösterilen eğrilerin biri şeklinde olabilmektedir.

Bu eğrilerden eşik veya basamak işlevleri, etkinlik işlevinin nasıl çalıştığını basit bir şekilde açıklamaktadır. Yapay sinir, etkinlik işlevinin eşik seviyesinin altında çıkış üretmez. Sinir, etkinlik işlevinin eşik seviyesinin üzerinde çıkış üretir.

A.1.5. Ölçekleme ve sınırlama

Düğümelerde, etkinlik işlevinin sonuçları ölçek veya diğer sınırlara gönderildiği yerdir. Bir sinirin bir tek çıkışı vardır. Sinirin bu çıkışı, kendinden sonra gelen herhangi bir sayıdaki diğer sinirlere giriş olabilir.

A.1.6. Çıkış işlevi

Çıkış $a_i = f(n_i)$, etkinlik işlevi sonucunun dış dünyaya veya diğer sinirlere gönderildiği yerdir. Bir sinirin bir tek çıkışı vardır. Sinirin bu çıkışı, kendinden sonra gelen herhangi bir sayıdaki diğer sinirlere giriş olabilir.

Her bir düğümde bir çıkış işaretine izin verilir. Bu işaret diğer yüzlerce sinir hücrelerinin girişi olabilir. Bu durum biyolojik sinirde olduğu gibidir. Biyolojik sinirde de bir çok giriş varken sadece bir çıkış etkinliği vardır. Düğüm çıkışı etkinlik işlevinin sonucuna eşdeğerdir. Fakat bazı ağ yapıları, komşu düğümler arasında yarışma oluşturmak için etkinlik sonuçlarını düzenleyebilir. Böylece yarışmacı girişler hangi düğümün öğrenme veya uyma işlemine katılacağına karara vermesinde yardımcı olur.

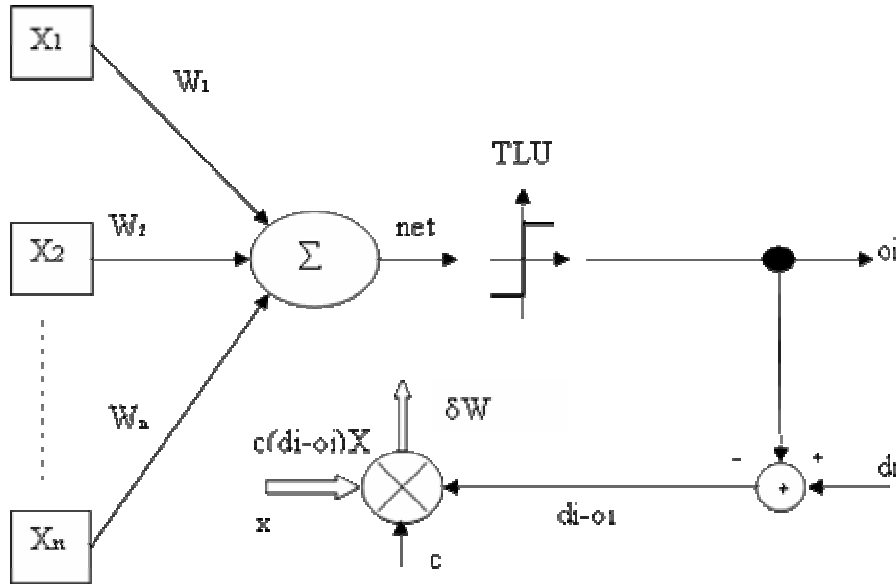
Yapay sinir ağı nöronu iki temel elemandan oluşur: Toplayıcı kısım ve aktivasyon fonksiyonu. Bu nöronun çalışmasını daha doğrusu hesaplama prensibini kısaca özetlenirse: Girişlerden gelen değerler (x_1, x_2, \dots, x_i) ayarlanabilir ağırlıklar ile çarpılır $(w_{1j}, w_{2j}, \dots, w_{ij})$ ve elde edilen sonuca bias adı verilen ağırlıklar gibi ayarlanabilen değerler eklenir. Elde edilen sonuç (n_i) geçiş fonksiyonundan geçerek (a_i) çıkış sonucu bulunur.

A.2. Perceptron Öğrenme Kuralı

Perceptronların öğrenme algoritmasında, onun her çıkışının veya “tahmin ettiği” sonucun öğretmen tarafından onaylanması istenmektedir. Perceptron öğrenmesi, arzu edilen çıkışlar elde edilene kadar ağırlık değerleri, yapılan geri beslemelerle ayarlanarak gerçekleşir. Burada eşik olarak $\text{sgn}()$ fonksiyonu kullanılır. $\text{Sgn}()$ fonksiyonunun özelliğinden dolayı; bir perceptron ya tam öğrenir ya da öğrenemez.

Şekil A.2’deki ağa verilen girişlerden ve rasgele olarak seçilen ağırlık değerlerinden, net değer elde edilip $\text{sgn}()$ fonksiyonuna uygulanır. Elde edilen çıkış, arzu edilen çıkışla karşılaştırılır. İstenilen sonuç elde edilmemişse, hata değeri, “c” öğrenme sabiti ile çarpılıp, önceki ağırlık değerlerine eklenir. Yani ağırlık matrisi oluşturulmuş olur. İşlemler, istenen çıkışa ulaşılıncaya kadar devam eder. Kullanılan öğrenme sabitinin işlevi öğrenmenin hızını belirlemektedir. Öğrenme sabitinin dikkatlice seçilmesi gerekir. Bu sabitin çok küçük seçilmesi öğrenmeyi önemli

ölçüde geciktirir. Fazla büyük seçilmesi ise öğrenmeyi sağlayacak ideal ağırlık matrisinin göz ardı edilmesine neden olabilir (Nabiyev, 2003).



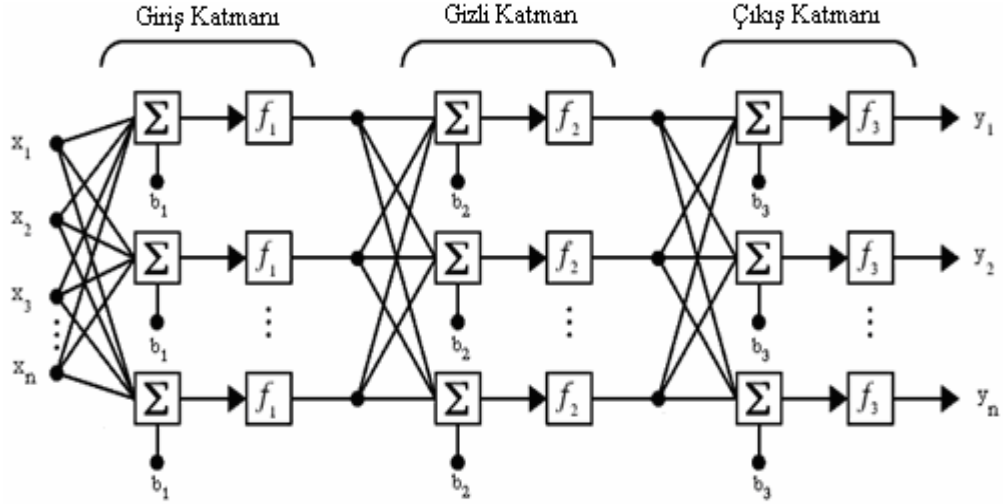
Şekil A.2: Perceptron öğrenme yapısı (Nabiyev, 2003)

A.3. Geri Yayılımlı Öğrenme

Şekil A.3'den de görüldüğü gibi çok katmanlı bir sinir ağı temelde üç katmandan oluşmaktadır. Giriş katmanı (input layer), gizli katman (hidden layer) ve çıkış katmanı (output layer). Giriş katmanına öğretilecek vektörler karışık bir düzende uygulanır. Gizli katmanda yapılan işlemlerden ağı kendisi sorumludur. Gizli katman bir anlamda ağı zeka içeren kısmıdır. Bu tabakadaki perceptron sayısı fazla olursa ağ ezberlemeye yönelir. Bu insanların beyindeki nöronların bilgi tutmasına benzer. Bir görüntüyü veya metni hatasız olarak belleğinde tutan bir insan, beyindeki çok fazla nöronu bu iş harcamış demektir. Ancak hatırlaması gerekenleri beyinde bilgi grupları arasında kurmuş olduğu ilişkilerden yola çıkarak hatırlayan insanlar az sayıda nöronla fazla miktarda bilgiyi belleklerinde tutabilirler. Yani insan genellikle bilgi depolarken kodlama yapar. Kodlanarak öğrenilmeyen bilgi ezberlenmiştir ve bu bilgiye dayalı bir problemde küçük bir değişiklik yapıldığında çözüme ulaşamayacaktır (Nabiyev, 2003).

Çok katmanlı perceptronların öğrenmesinde kullanılan yöntemlerden birisi de geri yayılımlı (back propagation) öğrenmedir. Geri yayılımlı öğrenme perceptron öğrenme kuralından farklı olarak, 0 ile 1 arasında gerçek bir değer üreten sigmoid fonksiyonunu, aktivasyon fonksiyonu olarak kullanır. Perceptronda olduğu gibi geri yayılım ağıda rasgele ağırlıklar kümesi ile başlar. Bu rasgele değerlerin üretilmesi de önemlidir. Bazı uygulamalarda yakınsamanın tek koşulu rasgele değerlerin uygun seçilmesidir. En uygun rasgele değer üretecek fonksiyonun bulunması, ağı çok kez eğitilmesine bağlıdır. Yani, değerlerin başlangıçta rasgele seçilmesi küçümsenecek bir işlem değildir. Bu değerler ağı öğrenme hızını da büyük ölçüde etkileyecektir. Ağı çalışmasında, ağı içerisinde ileri geri gezilerek optimum ağırlıkların elde edilmesi

amaçlanır. Çıkıştaki değerlerden elde edilen hatalar ağı tekrar uygulanarak tüm ağırlık değerleri tekrar güncellenir. Bu şekilde yapılan devirlerle hata değeri seçilen hatanın altına indiğinde ağ öğrenme işlemini tamamlamıştır (Nabiyev, 2003).



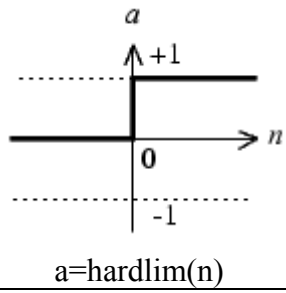
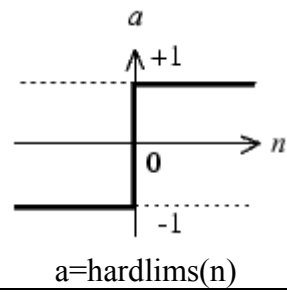
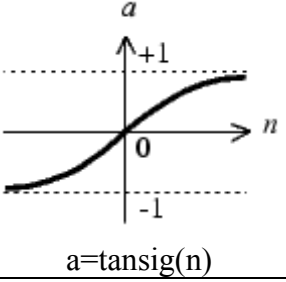
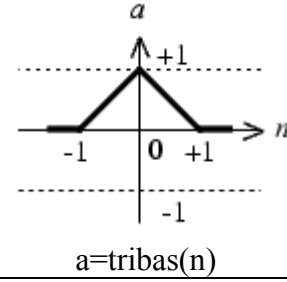
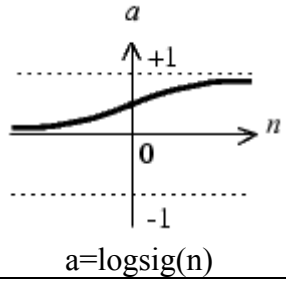
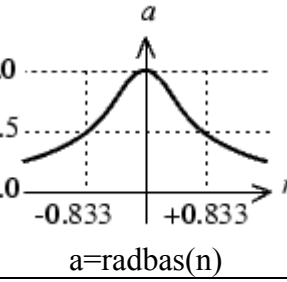
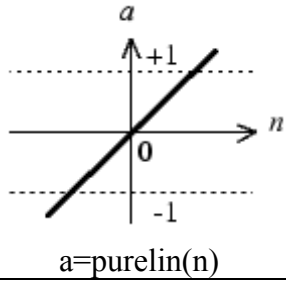
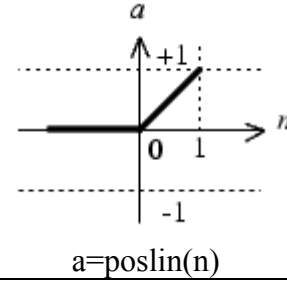
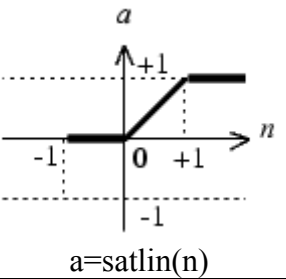
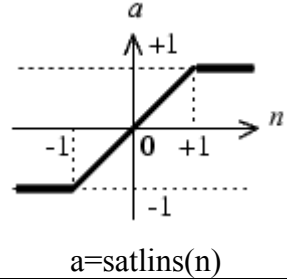
Şekil A.3: Çok katmanlı yapay sinir ağı

Geri yayılım algoritmasının işlem adımlarını aşağıdaki gibidir (Nabiyev, 2003):

1. Ağırlıklar girişler ve gizli katmanlar için rasgele olarak belirlenir. Aralığın küçük olması öğrenme başlangıcında küçük adımlar atılması gerektiğindedir.
2. Öğretilecek vektör girişe uygulanır.
3. Doğrusal olmayan sigmoid fonksiyonu kullanılarak değerler giriş seviyesinden gizli seviyeye ve yine sigmoid fonksiyonuyla bu değerlerler (aktivasyon) çıkış seviyesine yayılır.
4. İstenilen çıkışla gerçek çıkış karşılaştırılır ve hata değeri hesaplanır. Bu değer ağda; çıkış tabakasından gizli tabakaya ve gizli tabakadan giriş tabakasına doğru geriye yayılır.
5. Ağırlıklar hata değerine göre yeniden düzenlenir ve 2. adıma geçilir.

Geri yayımlı öğrenmede ağın eğitilmesi (ideal ağırlık matrislerinin belirlenmesi) çok sayıda döngü gerektirir. Hatta döngü sayısının çok büyük değerlere ulaşmaması için ağdaki çıkış değerlerinde 0 için 0.1 ve 1 için 0.9 değerlerini kullanmak iyi bir yaklaşımdır. Bu iyileştirme, ağın sınırlı olduğu uzayda sınır değerlerine (0 ve 1) tamamen ulaşması için yapılan döngü sayısını büyük ölçüde azaltmaktadır. Ağ çok yavaş öğrenir. Perceptron öğrenme kuralından farklı olarak ağın öğrenemediği durum çok azdır. Yani ağ, seçilen başlangıç değerlerine de bağlı olarak yerel minimuma daha az düşer (Nabiyev, 2003).

Tablo A.1: Aktivasyon fonksiyonları (Matlab 2005).

Hard-Limit Geçiş Fonksiyonu	 <p>$a = \text{hardlim}(n)$</p>	Simetrik Hard-Limit Geçiş	 <p>$a = \text{hardlims}(n)$</p>
Tan-Sigmoid Geçiş Fonksiyonu	 <p>$a = \text{tansig}(n)$</p>	Üçgen Geçiş Fonksiyonu	 <p>$a = \text{tribas}(n)$</p>
Log-Sigmoid Geçiş Fonksiyonu	 <p>$a = \text{logsig}(n)$</p>	Radyal Temelli Geçiş Fonksiyonu	 <p>$a = \text{radbas}(n)$</p>
Doğrusal Geçiş Fonksiyonu	 <p>$a = \text{purelin}(n)$</p>	Pozitif Doğrusal Geçiş Fonksiyonu	 <p>$a = \text{poslin}(n)$</p>
Satlin Geçiş Fonksiyonu	 <p>$a = \text{satlin}(n)$</p>	Simetrik Satlin Geçiş Fonksiyonu	 <p>$a = \text{satlins}(n)$</p>

Sigmoid fonksiyonunun perceptron öğrenme kuralında kullanılan signum fonksiyonundan önemli bir üstünlüğü vardır. Birbirine benzeyen iki şekil için perceptron öğrenme kuralı yanlış sonuçlar verebilir. Geri yayımlı öğrenmede ise sigmoid fonksiyonu sayesinde reel çıkışlara izin verildiğinden yakın iki değer arasında bile doğru karar verilir. Bu sonuçta geri yayımlı öğrenmenin doğrusal olmayan problemler için kaçınılmaz olduğunu göstermektedir.

Yapay sinir ağı ile ilgili üç önemli nokta vardır: (i) gizli katmandaki nöron sayısı, (ii) aktivasyon (geçiş) fonksiyonu ve (iii) öğrenme algoritması.

Literatürde yapay sinir ağı öğrenme algoritmaları hakkında birçok yöntem tanımlanmıştır. Bu çalışmada kullanılan öğrenme algoritması Levenberg – Marquardt yöntemidir (Levenberg, 1944 ve Marquardt, 1963). Kullanılan temel aktivasyon (geçiş) fonksiyonları ise Tablo A.1’de topluca verilmiştir. Bu aktivasyon fonksiyonlarından modellenen sistem için en uygun olanı seçilerek kullanılır.

EK B. YAPAY SİNİR AĞI İLE PROJE GELİŞTİRME

Geri beslemeli ileri yayımlı bir ağ yapısı ile model oluştururken izlenecek prosedürü Basheer (2000)'den yararlanarak kesikli akışkan yataklı kurutma sistemi için uyarlanacak olursa;

B.1. Veri Tabanı Boyutu ve Bölümlendirme

Eğitim için kullanılacak veri tabanı, problem domenindeki bütün bilinen değişkenleri mümkün olduğunca kapsayabilecek büyüklükte olmalıdır. Bütün veri tabanı; eğitim veri tabanı, validasyon veri tabanı ve test veri tabanı olmak üzere üç gruba ayrılır. Veri tabanı bölümlere ayrılırken, test kısmının büyük tutulması genelleştirme kapasitesi bakımından iyidir. Eğitim kısmının küçük tutulması ağın doğru bir şekilde eğitimi için uygun olmaz. Looney (1996), veri tabanının %65'nin eğitim, %25'inin test ve %10'unun validasyon; Test için Swinger (1996), %20 ve Nelson ve Illingworth (1990), %20-30'luk kısmının ayrılmasını tavsiye ederler.

Baum ve Haussler (1989), minimum eğitim veri tabanının büyüklüğünü hedeflenen minimum hatanın tersi ile ağ içindeki toplam ağırlıkların çarpımına eşit olması şeklinde önermiştir. Dowla ve Rogers (1995), örnek – ağırlık oranını (example – to – weight ratio EWR) $\text{ÖAO} > 10$, Masters (1994), $\text{ÖAO} > 4$ olabileceğini söylemişlerdir.

B.2. Veri Tabanı Önişlemesi, Dengeleme ve Zenginleştirme

Veri tabanını büyütmenin en olağan ve genel yolu (eğer mümkünse) yeni veriler toplamaktır. Diğer bir yol ise, eldeki örneklere rasgele gürültüler ekleyerek yeni veri seti oluşturulabilir. Gürültü eklenerek ölçüm hatalarına karşı dayanıklı olan yapay sinir ağı zenginleştirilir (örneğin, gürültü = \pm ölçüm hassasiyeti). Eğer veri zenginleştirilmesi mümkün değil ise M tane veriden bir (veya k) adet geliştirme için ayrılır. M adet örnekten $M - 1$ (veya $M - k$) tanesi eğitim, kalan bir (veya k) tane test için kullanılır (Hecht ve Nielsen, 1990 ve Rizzo ve Doughrty, 1994).

B.3. Veri Normalizasyonu

Verilerin belirli aralıklarda ölçeklendirilmemesi durumunda, büyük rakamların küçük olanları bastırmaları ve öğrenme sürecinde gizli katmanların doygunluğa ulaşmaları gibi iki problem karşımıza çıkar. Bu iki sorundan kurtulmak için verilerin mutlaka ölçeklendirilmesi gerekmektedir. Giriş ve çıkış değerlerinin normalizasyonu için standart bir prosedür yoktur. Birçok normalizasyon prosedürü olmakla birlikte sistemimizde z_i giriş veya çıkış değerini $[\alpha_1, \alpha_2]$ aralığında ayarlayan transfer fonksiyonu

$$z_i = \alpha_1 + \left(\frac{u_i - u_{i,\min}}{u_{i,\max} - u_{i,\min}} \right) (\alpha_2 - \alpha_1) \quad (\text{B.1})$$

şeklindedir. z_i , u_i 'nin normalize edilmiş değeri; $u_{i,\min}$ ve $u_{i,\max}$, sırasıyla veri tabanındaki u_i 'nin minimum ve maksimum değerleridir. Normalizasyon için $[\alpha_1 = 0, \alpha_2 = 1]$ yerine kısmen bir offset verilmesi ($[\alpha_1 = 0.1, \alpha_2 = 0.9]$ gibi) yavaşlama veya öğrenmemeye neden olan sigmoid fonksiyonun doygunluğunu engeller (Hassoun, 1995 ve Masters, 1994). Daha fazla hesaplama içeren teknikler de mevcuttur (Masters, 1994, Swingler, 1996 ve Dowla ve Rogers, 1995).

B.4. Giriş – Çıkış Tanımlaması

Doğru bir veri tanımlaması başarılı bir yapay sinir ağı tasarımında önemli rol oynar (Masters, 1994). Giriş ve çıkışlar, sürekli, ayırık veya her ikisinin karışımı olabilir. Örneğin, bir sınıflandırma probleminde bütün giriş ve çıkışların ikili sayılar 0 ve 1 gibi (veya 0.1 ve 0.9 doygunluğu önlemek için) ile temsil edilebilir. Öngörmek istediğimiz çıkış parametreleri ve bu çıkış parametreleri üzerinde etkili olan giriş parametrelerinin belirlenmesi ilk adımımızı oluşturur. Daha sonra bu her bir giriş ve çıkış parametrelerinin ölçüm ve ölçekleme skalalarının belirlenmesi yapılır.

B.5. Ağ Ağırlık Değerlerinin İlk Ataması

Ağırlık ve eşik değerlerinin ilk atamaları, tek biçimli ve göreceli olarak küçük bir ölçekte sıfır ortalama değerli rasgele sayılar olur (Rumelhart ve diğ., 1986). Bununla beraber çok küçük ölçek değerleri başlangıç öğrenme süreçlerinin yavaşlamasıyla sonuçlanan küçük hata gradientlerine neden olur. Küçük numaraların seçiminin temelinde, nöronların zamansız doyuma ulaşma ihtimalini azaltma nedeni vardır (Lee ve diğ., 1991). ASCE (2000), rasgele atanan ağırlık ve eşik değerlerinin -0.30 ile +0.30 arasında olmasını tavsiye etmektedir. Haykin (1994), ilk ağırlık atamalarını nöron bazında yapmaktadır. Burada atama aralığını $(-r/N_j, +r/N_j)$ olarak söylemiştir. r , nöron aktivasyon fonksiyonuna bağlı reel bir sayı; N_j , j . nörona gelen bağlantı sayısıdır. Wessels ve Barnard (1992), sıfır ortalama ve birim standart sapmadan faydalanarak beslenen nöronların ağırlıklarını $[-3M^{-1/2}, +3M^{-1/2}]$ ile belirlemiştir. Burada M , katmandaki ağırlıkların sayısıdır.

B.6. Geri Yayılımlı Ağda Öğrenme Oranı

Yüksek öğrenme oranı, η , adımlar büyüdüğü için öğrenmeyi hızlandırır. Her bir döngüde ağırlık vektöründe, W , kayda değer değişiklikler olur. Bununla birlikte hata yüzeyinde salınımlar meydana gelebilir ve optimum W civarında ciddi sapmalar görülebilir. Tam tersinde ise, küçük öğrenme adımlarında global minimuma doğru durağan fakat yavaş bir gidiş olur. Öğrenme oranını, Whthoff (1993), $\eta = 0.1 - 10$, Zupan ve Gasteiger (1993) $\eta = 0.3 - 0.6$ ve Fu (1995), $\eta = 0.0 - 1.0$ olarak tavsiye etmişlerdir. Uyarlanabilir öğrenme oranı, $[\eta(t)]$, bazı problemlerde optimal ağırlık

vektörünün bulunmasında kullanılmaktadır. Burada ki temel mantık, minimumdan uzak noktalarda büyük adımlar, minimuma yaklaştıkça küçük adımlar ile öğrenme oranı değiştirilir. Minimumdan uzaklık tahmin edilemeyeceğinden bu sorun için çeşitli yöntemler sunulmuştur (Hassoun, 1995 ve Haykin, 1994).

B.7. Geri Yayılımlı Ağda Momentum Katsayısı

Momentum terimi, μ , lokal minimum ağırlıkları güncellenerek aranırken kararlılığın bozulma ihtimalini azaltmak için kullanılır (Haykin, 1994 ve Zupan ve Gasteiger, 1993). Salınımlardan kaçınmak için öğrenme oranını azaltmaya gerek kalmaksızın momentum katsayısı ağırlık güncellemesini hızlandırır. Yüksek momentum katsayısı ağırlık lokal minimumda takılma riskini azaltır fakat yüksek öğrenme oranı değerlerinde çözümden sapma riskini artırır. $\mu > 1$ kararlılığın bozulmasına neden olabilir. Son derece küçük momentum katsayısı yavaş öğrenme sonucunu doğurur. Sabit ve uyarlanabilir momentum katsayısı uygulanabilir. Wythoff (1993) $\mu = 0.4 - 0.9$, Hassoun (1995) ve Fu (1995) $\mu = 0.0 - 1.0$, Henseler (1995) ve Hertz ve diğ. (1991), $\mu \approx 1.0$ ve Zupan ve Gasteiger (1993), $\eta + \mu \approx 1$ önermişlerdir. Swingler (1996) bütün problemlerin çözümünde iyi bir sonuç elde etmemesine rağmen $\mu = 0.9$ ve $\eta = 0.25$ değerlerini kullanmıştır.

B.8. Transfer Fonksiyonu

Geri beslemeli yapay sinir ağlarına çeşitli transfer fonksiyonları uygulanmaktadır (basamak, sigmoid gibi). Yarmin (1992), verilerin lineer olmama ve gürültü oranına bağlı olarak farklı transfer fonksiyonları ile elde edilmiş çeşitli başarı oranlarını raporlamıştır. Han ve diğ. (1996) üç ayarlanabilir parametrelili çeşitli lojistik fonksiyonlardan yararlanmıştır. Bir transfer fonksiyonun diğerine karşı üstünlüğü henüz teorik olarak ispatlanamamıştır (Hassoun, 1995).

B.9. Eğitim Durdurma Kriteri

Üç farklı kriter mevcuttur: (i) eğitim hatası ($\rho \leq \epsilon$), (ii) hatanın gradyanı ($\nabla \rho \leq \delta$), ve (iii) cross validasyon, burada ρ gelişigüzel seçilmiş hata fonksiyonu ϵ ve δ küçük reel sayılardır. Üçüncü kriter daha kabul edilebilirdir.

Yapay sinir ağlarının eğitiminde en çok kullanılan sonlandırma kriteri hataların kareleri toplamıdır. Eğitim veya test kısımları için hesaplama

$$SSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (r_{ij} - s_{ij})^2 \quad (B.2)$$

şeklinde olur.

Burada s_{ij} ve r_{ij} , sırasıyla i . örnekte j çıkış nodunun gerçek ve hedef değerleri, N eğitim örneklerinin sayısı ve M çıkış düğümlerinin sayısıdır. Bazı SSE kriterleri ağ yapısının karmaşıklığının bir ölçümünü içerir. Genellikle eğitim verisindeki hatanın

azalması şekilde görüldüğü gibi artan gizli katman veya eğitim döngülerinin sayısı ile ilgilidir. Başlangıçta öğrenmeye bağlı olarak hatadaki büyük azalma fakat akabinde hatadaki azalmanın yavaşlaması iki nedenle ilgili olabilir: (i) fazla sayıda eğitim döngüsünden yararlanılmasıyla ağı çok iyi öğrenmesi ve/veya (ii) fazla sayıda gizli katman kullanılması ile aşırı öğrenme.

B.10. Eğitim Döngülerinin Sayısı

Eğitim döngülerinin sayısına deneme yanılma ile karar verilebilir. Belli bir yapay sinir ağının hem eğitim hem de test verilerinin hataları her bir eğitim döngüsü için takip edilir. Uzun süren ağ eğitimlerinde ortaya çıkan sonuçlar bir tablo ile sunulur. Diğer bir yöntem ise Şekil 5.4'deki optimum ağ noktasında eğitimin durdurulması şeklindedir.

B.11. Eğitim Modları

Eğitim örneklerinin ağa öğretilmesinde ya tek tek yada verilerin kombinasyonu şeklinde olmak üzere iki mod vardır: (i) örneklerden tek tek (example – by – example training EET) ve (ii) yığın olarak (batch training BT) yararlanır (Zupan ve Gasteiger, 1993 ve Wythoff, 1993).

EET modunda, eğitim örnekleri ağa tanıtıldıktan sonra ağırlıklar anında güncellenir. Bu çalışma modunda, ilk örnek ağa tanıtıldıktan sonra geri yayımlı ağda ileri ve geri besleme adımları ya belirli bir iterasyon sayısı kadar yada hata miktarı istenen bir seviyeye düşünceye kadar uygulanır. Böylelikle ilk örnek ağ tarafından öğrenildikten sonra ikinci örnek ağa tanıtılır ve prosedür bu şekilde devam eder.

EET modunun avantajı, BT modunun aksine daha az bellek alanına ihtiyaç duyar ve daha iyi rasgele arama yaparak lokal minimumlara takılmayı engeller. EET modunun dezavantajı ise, kötü olan bir ilk örnek ile eğitim bir yere takılıp kalabilir veya tarama yanlış yönlere gidebilir.

BT modunun avantajı, hata değişim vektörünün hesaplanmasını ve ihtiyaç duyulan ağırlık değişimlerinin ölçülmesini daha iyi yapılmasını sağlar. Bununla birlikte, daha fazla bir depolama alanına ihtiyaç duyar ve lokal minimumlara takılma riski daha fazladır.

En iyi çözüm için, başarılı eğitim döngüleri arasında eğitim örneklerinin ağa tanıtılma sırası rasgele olmalıdır (Zupan ve Gasteiger, 1991). Şartlara ve problem spesifikasyonuna göre her iki eğitim modunda efektif bir şekilde kullanılabilir.

B.12. Gizli Katmanın Büyüklüğü

Fonksiyon tahmin problemlerinin çoğunda, sürekli fonksiyonları tahmin etmek için bir gizli katman yeterlidir (Basheer, 2000 ve Hecht ve Nielsen, 1990). Genellikle iki gizli katman sürekli olmayan fonksiyonların öğretilmesinde gerekli olabilmektedir (Masters, 1994).

Yapay sinir ağı dizaynında en kritik konu, ağıdaki gizli katman sayısının ve her bir gizli katmandaki nöron sayılarının doğru olarak belirlenmesidir.

Çok az sayıdaki gizli düğüm karmaşık modelleri ayırma da yetersiz kalır sadece doğrusal sistemler için uygun olur. Çok fazla sayıda gizli düğüm olması aşırı parametre yüzünden veri içindeki gürültülerden etkilenilir ve eğitilmemiş verilerde kötü bir genellemeye neden olur. Ayrıca gizli düğümlerin arttırılması eğitim zamanını da arttırır.

Ağıdaki gizli düğümlerin optimal değerleri, giriş/çıkış vektörünün boyutunun, eğitim ve test verilerinin bir fonksiyonudur ve daha da önemli olarak problemin doğrusal olmaması ile doğrudan ilişkilidir.

Gizli katman boyutunun (N_{HN}), giriş (N_{INP}) ve çıkış (N_{OUT}) katmanlarındaki düğümler ile doğrudan ilgili olduğuna dair literatürde birçok kural vardır. Jadid ve Fairbairn (1996)'e göre gizli düğümlerin sayısının üst limitinin $N_{TRN} / [R + (N_{INP} + N_{OUT})]$ formülü ile bulunan sayıya eşit olduğunu söylemiştir. Burada, N_{TRN} eğitim örneklerinin sayısı ve $R = 5 - 10$ arasında bir sayıdır. Lachtermacher ve Fuller (1995), yapay sinir ağında bir çıkış için gizli düğüm sayısına $0.11N_{TRN} \leq NHN(N_{INP} + 1) \leq 0.30N_{TRN}$ ile karar verir. Masters (1994), yapay sinir ağı yapısının piramidi andırması gerektiği ve $NHN = (N_{INP} \cdot N_{OUT})^{1/2}$ olduğunu söylemiştir. Hecht ve Nielsen (1990), $NHN \leq N_{INP} + 1$ yaklaşımını Kolmogrov teoremi ile ispatlamıştır. Widrow ve Lehr (1990), $(N_w / N_{OUT}) \leq N_{TRN} \leq (N_w / N_{OUT}) \log_2(N_w / N_{OUT})$ bağıntısı ile Upadhaya ve Eryureka (1992), gizli düğüm sayısının (toplam ağırlık sayısı üzerinden, N_w) N_{TRN} ile ilişkisini $N_w = N_{TRN} \log_2(N_{TRN})$ şeklinde göstermişlerdir.

Optimum gizli düğüm sayısını belirlemede en popüler yaklaşım, yukarıdaki kurallardan birinden yararlanarak başlangıç noktasını belirlemek ve daha sonra deneme yanılma ile devam etmektir.

Diğer bir yol ise, ihtiyaç duyulan model doğruluğunu sağlayacak minimum gizli düğüm sayısı ile başlanır. Doğru gizli katman boyutuna daha önce bahsettiğimiz şekildeki eğitim sonlandırma ile benzer biçimde hem eğitim hem de test verilerinin hataları izlenerek çapraz doğrulama ile karar verilir. Ağ büyüklüğünü optimize etmek için birçok sofistike teknik geliştirilmektedir (Sietsma ve Dow, 1988).

Yukarıda anlatılan yaklaşımlar kesinlikle katı kurallar değildir. Fakat bu yaklaşımlar gizli katman büyüklüklerinin belirlenmesinde tasarımcının başlangıç noktasını oluşturmasında fikir verici kriterlerdir.

EK C. ANFIS YAPISININ AYRINTILARI

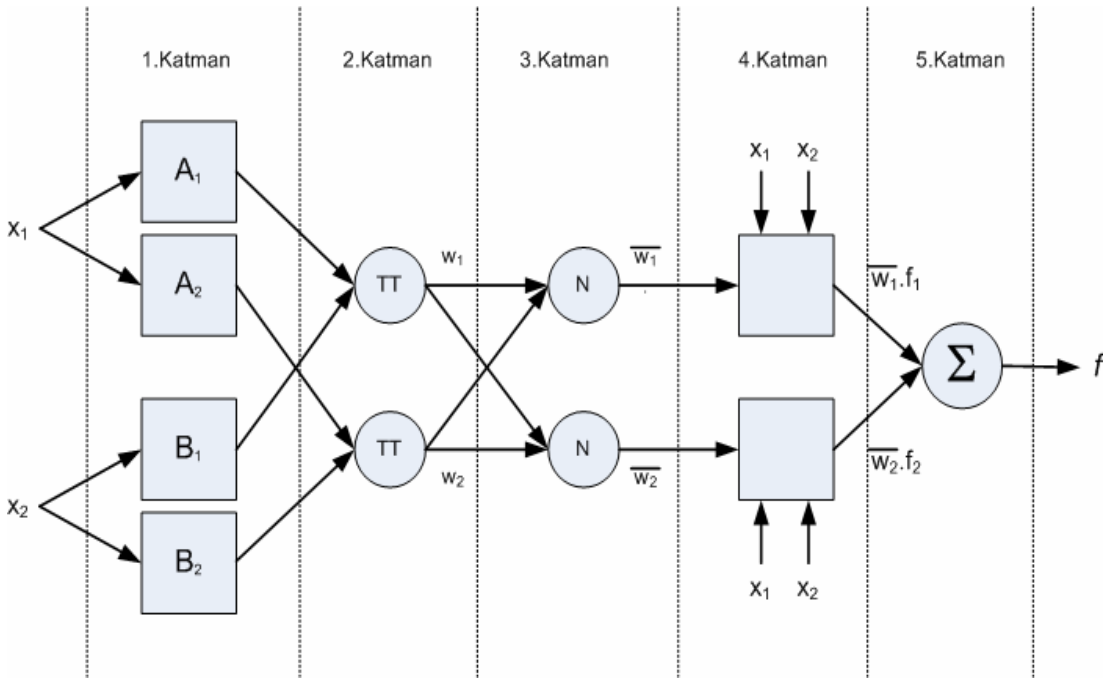
ANFIS mimarisinin çalışma şeklini kısaca gösterecek olursak; Şekil C.1’de iki girişli ve iki kurallı Sugeno tip bulanık çıkarım yöntemine eşdeğer olan ANFIS mimarisi görülmektedir. ANFIS mimarisi içerisindeki, her katmana ait düğüm işlevleri ve dolayısıyla katmanların işlevleri aşağıda verilmiştir (Elmas, 2003b).

1. Katman: Bu kademedeki her düğüm, giriş sinyallerin diğer katmanlara aktarıldığı giriş düğümleridir. Bu düğümde herhangi bir toplam yada etkinlik işlevi kullanılmamaktadır.

2. Katman: Bu katmandaki her bir düğüm A_i ve B_i bir bulanık kümeyi ifade eder. Bu katmandaki düğümlerin çıkışı giriş örneklerine ve kullanılan üyelik işlevine bağlı olan üyelik dereceleridir. Bu düğümlerden elde edilen üyelik dereceleri veya düğüm çıkışları denklem C.1 ve C.2’deki gibidir.

$$o_i^2 = \mu_{A_i}(x) \quad (C.1)$$

$$o_{i+2}^2 = \mu_{B_i}(y) \quad (i=1,2) \quad (C.2)$$



Şekil C.1: ANFIS eşdeğeri

Denklem C.1 ve C.2’de görüldüğü gibi iki farklı düğüm çıkışı yazılmıştır. Bunun nedeni ağın x_1 ve x_2 gibi iki farklı girişe sahip olmasıdır. Bu katmanda her iki giriş için toplam dört düğüm vardır. Her bir düğümde üyelik işlevi olarak en çoğu 1 ve en azı 0 olan çan eğrisi üyelik işlevleri kullanılabilir ve sonuç işlevi denklem C.3 ve C.4’de verilmiştir.

$$\mu_{A_i}(x) = \frac{1}{1+|x-m_i|^2} \quad (C.3)$$

$$\mu_{A_i}(x) = \exp \frac{1}{1+|x-m_i|^2} \quad (C.4)$$

Burada m_i ve σ_i çan eğrisi şekilli üyelik işlevinin sırasıyla orta noktasını (mean) ve standart sapmasını (standard deviation) gösterir. Bu değişkenler ağ eğitilirken ayarlanır.

3. Katman: Bu katmandaki her düğüm, \prod ile etiketlenmiştir ve giren tüm işaretlerin çarpımını gösterir. Düğüm çıkışı denklem C.5’deki gibi ifade edilebilir.

$$o_i^3 = \mu_i = \mu_{A_i}(x_1)\mu_{B_i}(x_2) \quad i=1,2 \quad (C.5)$$

Her bir düğümün çıkışı bir kuralın tetiklenme seviyesini temsil eder. Genelleştirilmiş bulanık VE’yi (AND) yerine getiren t-norm operatörlerden herhangi biri, bu katmandaki düğümler için düğüm işlevi olarak kullanılabilir.

4. Katman: Bu katmandaki her düğüm N ile etiketlenmiştir ve bir kuralın normalleştirilmiş tetikleme seviyesi hesaplanır. Bu denklem C.6’da görüldüğü gibi i , düğüm için, i kuralın tetiklenme seviyesinin, bütün kuralların tetiklenme seviyelerinin toplamına eşittir.

$$o_i^4 = \bar{\mu}_i = \frac{\mu_i}{\mu_1 + \mu_2} \quad i=1,2 \quad (C.6)$$

5. Katman: Bu katmandaki her i düğümü, düğüm işlevi ile uyarlamalı bir düğümdür. Her i düğümü için sonuç ağırlıkları değerlerini hesaplar. Düğüm çıkış işlevi denklem C.7’deki gibi yazılabilir.

$$o_i^5 = \bar{\mu}_i f_i = \bar{\mu}_i (p_i x_1 + q_i x_2 + r_i) \quad (C.7)$$

Burada, 4. katmanın çıkışıdır ve normalleştirilmiş tetiklenme seviyesidir ve $\{p_i, q_i, r_i\}$ ayar edilebilmesi için gerekli olan, ayar değişken kümesidir. Bu katmandaki değişkenler sonuç değişkenlere karşılık gelir.

6. Katman: Bu katmanda sadece bir düğüm vardır ve \sum ile etiklendirilmiştir. Burada, 5. Katman çıkışından alınan sinyaller toplanır ve elde edilen sonuç sistemin gerçek çıkışı f değerini verir. Ağın gerçek çıkışı denklem C.8’de verilmiştir.

$$o^6 = f_1 = \sum_i \mu_i^- f_1 = \frac{\sum_i \mu_i f_1}{\sum_i \mu_i} \quad (C.8)$$

Böylece Sugeno bulanık çıkarım modeline işlevsel olarak eşdeğer olan, örnek ANFIS yapısı tanımlanmıştır. Ağın yapısı tamamen sabit değildir. Ağın oluşturulması ve düğüm işlevlerinin görevlerine göre ayrılması, her katmandaki her bir düğümün sağladıklarına ve modüler işlevselliğine göre keyfi olarak seçilebilir.

ANFIS'te genellikle yaygın olarak Sugeno ve Tsukamoto tip kullanılır. Mamdani tip bulanık çıkarıma karşılık gelen ANFIS için, Max – Min kompozisyonu ve çıkış için ağırlık merkezi durulama yöntemi ile elde edilebilir. Fakat bu yaklaşım Sugeno veya Tsukamoto tip ANFIS'e göre çok daha karmaşık ve zordur. Ayrıca öğrenme yeteneğine ve yaklaşım gücüne önemli bir katkı sağlamamaktadır.

EK D. SU BUHARI ÖZGÜL İSİSİNİN HESAPLANMASI

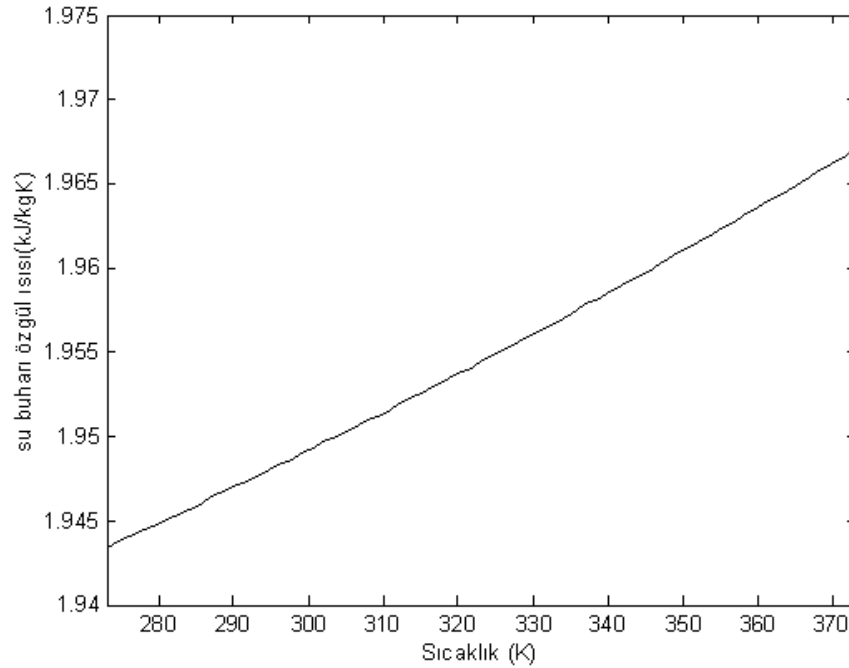
Perry (1984)'e göre su buharı özgül ısısı, hava sıcaklığına bağlı değişim gösterir. Denklem D.1'de $c_{p,wv}$ 'nin ifadesi verilmiştir:

$$c_{p,wv}(k) = 4.184/18(C_0 + C_1T_a(k) + C_2T_a^2(k)) \quad (D.1)$$

Denklem D.1'deki sabit C değerleri Tablo D.1'de verilmiştir. Su buharı özgül ısının sıcaklığa bağlı değişimi Şekil D.1'de gösterilmiştir.

Tablo D.1: Su buharı özgül ısısı ($c_{p,wv}$) denkleminde kullanılan C sabit değerleri.

C_0	8.22
C_1	1.50e-4
C_2	1.34e-6



Şekil D.1: Su buharı özgül ısısının sıcaklığa göre değişimi

EK E. KESİKLİ AKIŞKAN YATAKLI KURUTMA SÜRECİNİN OPTİMİZASYONU ve KONTROLÜ İÇİN YAZILAN MATLAB PROGRAMLARI

```
%%%%%%%% En iyileme Ana Programı %%%%%%%%%%
%%%%%%%%%

clear; clc;

global nem_kesrini_ayarla E
global En_iyi_ag_KM_Tm_dKM_OZEL1_Gecikmeli En_iyi_ag_Kalite out_fismat_KM_3
out_fismat_Tm_3 out_fismat_dKM_3
global YSA_KM_Tm_dKM_OZEL1_Gecikmeli_YuklemeEvresi
YSA_KM_Tm_dKM_OZEL1_Gecikmeli_I_Evre YSA_KM_Tm_dKM_OZEL1_Gecikmeli_II_Evre
global Opt_Sonucu i Gercek_Datalar fsatir Kuru_Madde_Ortalama c_t c_W c_Xin L1 L2 TimeLimit
gecis
global xx_1_min xx_1_max xx_2_min xx_2_max xx_3_min xx_3_max xx_4_min xx_4_max
xx_5_min xx_5_max
global yy_1_min yy_1_max yy_2_min yy_2_max yy_7_min yy_7_max Kalite_Set_Par x
global Kuru_Madde_Surec_Sonucu Kuru_Madde_Surec_Sonucu_Adim
Maya_Sicak_Surec_Sonucu_Adim Maya_Sicak_Surec_Sonucu
global X_Sonuc J_kayip c_t c_W c_Xin x c_W1 Adim_f Adim_f_t Adim Yukleme_Nem
I_Evre_Nem
global Aktiviteler_K1_K2_1_max Aktiviteler_K1_K2_1_min
global P1 Fa_7_min Fa_7_max Ta_8_min Ta_8_max En_iyi_ag_GA_Baslangic
global t_3_min t_3_max Xin_4_min Xin_4_max KM_10_min KM_10_max Tm_9_min Tm_9_max
Fa_7_min Fa_7_max Ta_8_min Ta_8_max
global dWsu su_mik su_mik Mmax
n = 10000; L1 = 0.1; L2 = 0.9; warning off
Sure = 1;
Giris_Hava_Sicakligi = 3;
Maya_Kabin_Sicakligi = 4;
Giris_Hava_Debisi = 5;
Kuru_Madde = 6;
Giris_Hava_Nemi = 34; % (20) AHU Giris Sic.'dan - (34) AHU Cikis Sic.'dan
Cikis_Hava_Nemi = 23; % (23) Sic Nem sensorunden - (37) Sic. Maya Kabininden
Yukleme_Miktari = 26; % (25) Artan - (26) Sabit-max.

load Kalite_Set_Par.mat
load En_iyi_ag_GA_Baslangic.mat
load Giris_Cikis_Min_Max_Degerleri.mat
load En_iyi_ag_Kalite.mat

load En_iyi_ag_KM_Tm_dKM_OZEL1_Gecikmeli.mat
% load ANFIS_Proces_Sonuc_33.mat

Tutarlilik_Analizi_Hesap_2_Kademe
Verileri_Alma

Mmax = 600; dWsu(1) = 0; su_mik = []; su_mik(1) = Mmax*0.67;
X_Sonuc = []; x = []; gecis = 1;
```



```

t_3_min = 0; t_3_max = 3600;
Xin_4_min = 0.0016; Xin_4_max = 0.0165;
KM_10_min = 33; KM_10_max = 98;
Tm_9_min = 20; Tm_9_max = 85;
Fa_7_min = 20000; Fa_7_max = 60000;
Ta_8_min = 30; Ta_8_max = 150;
nem_kesrini_ayarla = 0.006;

Kuru_Madde_Surec_Sonucu(1) = 33;
Yukleme_Nem = nem_kesrini_ayarla;
I_Evre_Nem = nem_kesrini_ayarla;
TimeLimit = 30;
E = 0;
a=clock;
x(1,1) = 0; x(1,2) = 600; x(1,3) = Yukleme_Nem; x(1,4) = 35000; x(1,5) = 70;
Maya_Sicak_Surec_Sonucu(1) = x(1,5);
X_Sonuc = [1 0 x(1,1) x(1,3) x(1,4) x(1,4) x(1,5) x(1,5) x(1,5) Kuru_Madde_Surec_Sonucu(1) 0 0 0];

for Adim = 2:1:100;
    Adim_f = Adim;
    Adim_f_t = 1;
    if (Adim >= 4)
        Adim_f = 3;
    end
    if (Kuru_Madde_Surec_Sonucu(Adim-1) > 96.5)
        break
    end
    GA_En iyileme_Yeni(Adim)
end

b=clock;
NeKadarSurdu = etime(b,a)

if (Adim >= 10)
    X_Sonuc_Dogru = X_Sonuc;
    [sat_n sut_n] = size(X_Sonuc);
    for kay = sat_n+1:-1:2
        X_Sonuc(kay,10) = X_Sonuc(kay-1,10);
        X_Sonuc(kay,9) = X_Sonuc(kay-1,9);
    end
    X_Sonuc1 = X_Sonuc(2:sat_n,:);
    X_Sonuc_Dogru1 = X_Sonuc_Dogru;

    X_Sonuc_Dogru = [];
    s = ['E:\PROJE OZEL\DOKTORA TEZI\MATLAB
PROGRAMLAR\ANA_UYGULAMA\Sonuclar\X_Sonuc_Dogru.mat'];
    s_varmi = dir(s);
    s_var = size(s_varmi);
    if (s_var (1,1) == 1)
        load X_Sonuc_Dogru.mat
    end

    X_Sonuc_Dogru = [X_Sonuc_Dogru ; X_Sonuc_Dogru1];
    save('E:\PROJE OZEL\DOKTORA TEZI\MATLAB
PROGRAMLAR\ANA_UYGULAMA\Sonuclar\X_Sonuc_Dogru.mat','X_Sonuc_Dogru')
end
save('E:\PROJE OZEL\DOKTORA TEZI\MATLAB
PROGRAMLAR\ANA_UYGULAMA\Sonuclar\Kal_Set_Par_Den.mat','Kalite_Set_Par')
clear

```

```

function [X,FVAL,REASON,OUTPUT,POPULATION,SCORES] = GA_En iyileme_Yeni(Adim);

global J_kayip1 J_kayip2 E
global En_iyi_ag_KM_Tm_dKM_OZEL1_Gecikmeli En_iyi_ag_Kalite out_fisimat_KM_3
out_fisimat_Tm_3 out_fisimat_dKM_3
global YSA_KM_Tm_dKM_OZEL1_Gecikmeli_YuklemeEvresi
YSA_KM_Tm_dKM_OZEL1_Gecikmeli_I_Evre YSA_KM_Tm_dKM_OZEL1_Gecikmeli_II_Evre
global Opt_Sonucu i Gercek_Datalar fsatir Kuru_Madde_Ortalama c_t c_W c_Xin L1 L2 TimeLimit
gecis
global xx_1_min xx_1_max xx_2_min xx_2_max xx_3_min xx_3_max xx_4_min xx_4_max
xx_5_min xx_5_max
global yy_1_min yy_1_max yy_2_min yy_2_max yy_7_min yy_7_max Kalite_Set_Par x
global Kuru_Madde_Surec_Sonucu Kuru_Madde_Surec_Sonucu_Adim
Maya_Sicak_Surec_Sonucu_Adim Maya_Sicak_Surec_Sonucu
global X_Sonuc J_kayip c_t c_W c_Xin x c_W1 Adim_f Adim_f_t Adim Yukleme_Nem
I_Evre_Nem
global Aktiviteler_K1_K2_1_max Aktiviteler_K1_K2_1_min
global P1 Fa_7_min Fa_7_max Ta_8_min Ta_8_max En_iyi_ag_GA_Baslangic
global t_3_min t_3_max Xin_4_min Xin_4_max KM_10_min KM_10_max Tm_9_min Tm_9_max
Fa_7_min Fa_7_max Ta_8_min Ta_8_max
global dWsu su_mik su_mik Mmax

options = gaoptimset;
options = gaoptimset(options,'PopulationSize',30);

c_t = (Adim-1)*30;

if (Adim <= 14)
    c_W1 = (Adim-1) * 46.15;
    c_W = 600;
    c_Xin = Yukleme_Nem;
    LB = [ 20000    40 ];
    UB = [ 40000    80 ];

    % if (gecis == 1)
    %     options = gaoptimset(options,'InitialPopulation',[ 32500    70 ]);
    %     gecis = 2;
    % else
    %     options = gaoptimset(options,'InitialPopulation',[ X_Sonuc(Adim-1,6) X_Sonuc(Adim-1,8)
    % ]);
    % end

    P1_3 = L1 + (L2-L1)*((c_t - t_3_min) / (t_3_max - t_3_min));
    P1_4 = L1 + (L2-L1)*((c_Xin - Xin_4_min)/(Xin_4_max - Xin_4_min));
    P1_10 = L1 + (L2-L1)*((X_Sonuc(Adim-1,10) - KM_10_min)/(KM_10_max - KM_10_min));
    P1_9 = L1 + (L2-L1)*((X_Sonuc(Adim-1,9) - Tm_9_min)/(Tm_9_max - Tm_9_min));
    P1 = transpose([P1_3 P1_4 P1_10 P1_9]);
    [Y2_bas,Pf_,Af_,E_perf_] = sim(En_iyi_ag_GA_Baslangic,(P1));
    Y2_bas(1,1) = ((Y2_bas(1,1) - ones(size(Y2_bas(1,1)))*L1)*(Fa_7_max - Fa_7_min) - (L1-
L2)*Fa_7_min) / (L2-L1);
    Y2_bas(2,1) = ((Y2_bas(2,1) - ones(size(Y2_bas(2,1)))*L1)*(Ta_8_max - Ta_8_min) - (L1-
L2)*Ta_8_min) / (L2-L1);
    Y2_bas;
    options = gaoptimset(options,'InitialPopulation',[Y2_bas(1,1) Y2_bas(2,1)]);
end
if (Kuru_Madde_Surec_Sonucu(Adim-1) <= 82.5 & Adim > 14)
    c_W = 600;

```

```

c_Xin = I_Evre_Nem;
LB = [ 25000    90 ];
UB = [ 50000    140 ];

% if (gecis == 2)
%     options = gaoptimset(options,'InitialPopulation',[ 40000  125 ]);
%     gecis = 3;
% else
%     options = gaoptimset(options,'InitialPopulation',[ X_Sonuc(Adim-1,6) X_Sonuc(Adim-1,8)
]);
% end

P1_3 = L1 + (L2-L1)*((c_t - t_3_min) / (t_3_max - t_3_min));
P1_4 = L1 + (L2-L1)*((c_Xin - Xin_4_min) / (Xin_4_max - Xin_4_min));
P1_10 = L1 + (L2-L1)*((X_Sonuc(Adim-1,10) - KM_10_min) / (KM_10_max - KM_10_min));
P1_9 = L1 + (L2-L1)*((X_Sonuc(Adim-1,9) - Tm_9_min) / (Tm_9_max - Tm_9_min));
P1 = transpose([P1_3 P1_4 P1_10 P1_9]);
[Y2_bas,Pf_,Af_,E_,perf_] = sim(En_iyi_ag_GA_Baslangic,(P1));
Y2_bas(1,1) = ((Y2_bas(1,1) - ones(size(Y2_bas(1,1))))*L1)*(Fa_7_max - Fa_7_min) - (L1-
L2)*Fa_7_min) / (L2-L1);
Y2_bas(2,1) = ((Y2_bas(2,1) - ones(size(Y2_bas(2,1))))*L1)*(Ta_8_max - Ta_8_min) - (L1-
L2)*Ta_8_min) / (L2-L1);
Y2_bas;
options = gaoptimset(options,'InitialPopulation',[ Y2_bas(1,1) Y2_bas(2,1) ]);
end

if (Kuru_Madde_Surec_Sonucu(Adim-1) > 82.5)
c_Xin = 0.002;
LB = [ 20000    40 ];
UB = [ 40000    80 ];

% if (gecis == 3)
%     options = gaoptimset(options,'InitialPopulation',[ 32500  70 ]);
%     gecis = 4;
% else
%     options = gaoptimset(options,'InitialPopulation',[ X_Sonuc(Adim-1,6) X_Sonuc(Adim-1,8)
]);
% end

P1_3 = L1 + (L2-L1)*((c_t - t_3_min) / (t_3_max - t_3_min));
P1_4 = L1 + (L2-L1)*((c_Xin - Xin_4_min) / (Xin_4_max - Xin_4_min));
P1_10 = L1 + (L2-L1)*((X_Sonuc(Adim-1,10) - KM_10_min) / (KM_10_max - KM_10_min));
P1_9 = L1 + (L2-L1)*((X_Sonuc(Adim-1,9) - Tm_9_min) / (Tm_9_max - Tm_9_min));
P1 = transpose([P1_3 P1_4 P1_10 P1_9]);
[Y2_bas,Pf_,Af_,E_,perf_] = sim(En_iyi_ag_GA_Baslangic,(P1));
Y2_bas(1,1) = ((Y2_bas(1,1) - ones(size(Y2_bas(1,1))))*L1)*(Fa_7_max - Fa_7_min) - (L1-
L2)*Fa_7_min) / (L2-L1);
Y2_bas(2,1) = ((Y2_bas(2,1) - ones(size(Y2_bas(2,1))))*L1)*(Ta_8_max - Ta_8_min) - (L1-
L2)*Ta_8_min) / (L2-L1);
Y2_bas;
options = gaoptimset(options,'InitialPopulation',[ Y2_bas(1,1) Y2_bas(2,1) ]);
end

fitnessFunction = @Model_YSA_3;
nvars = 2 ;
Aineq = []; Bineq = [];
Aeq = []; Beq = [];

nonconFunction = [];

```

```

% options = gaoptimset(options,'InitialPopulation' ,[ 25000 42 ]);
options = gaoptimset(options,'Generations' ,4000);
options = gaoptimset(options,'PopulationSize' ,20);
options = gaoptimset(options,'EliteCount' ,1 );
options = gaoptimset(options,'TimeLimit' ,TimeLimit);
options = gaoptimset(options,'CrossoverFraction' ,0.005);
options = gaoptimset(options,'MigrationDirection' ,'both');
options = gaoptimset(options,'MigrationInterval' ,5 );
options = gaoptimset(options,'MigrationFraction' ,0.002);
options = gaoptimset(options,'CrossoverFcn' ,{ @crossoverintermediate 0.05 });
options = gaoptimset(options,'MutationFcn' ,@mutationadaptfeasible);
options = gaoptimset(options,'Display' ,'off');
options = gaoptimset(options,'SelectionFcn' ,@selectionroulette);
% options = gaoptimset(options,'PlotFcns' ,{ @gaplotbestf @gaplotbestindiv });
options = gaoptimset(options,'StallGenLimit' ,5000);
options = gaoptimset(options,'StallTimeLimit' ,2000);
%%Run GA

[X,FVAL,REASON,OUTPUT,POPULATION,SCORES] =
ga(fitnessFunction,nvars,Aineq,Bineq,Aeq,Beq,LB,UB,nonlconFunction,options);

Kuru_Madde_Surec_Sonucu(Adim) = Kuru_Madde_Surec_Sonucu_Adim;
Maya_Sicak_Surec_Sonucu(Adim) = Maya_Sicak_Surec_Sonucu_Adim;
if (X(1,2) >= x(Adim-1,5) & (X(1,2) - x(Adim-1,5) > 12))
    x = [x(1:Adim-1,:); c_t c_W c_Xin X(1,1) x(Adim-1,5)+12];
end
if (X(1,2) >= x(Adim-1,5) & (X(1,2) - x(Adim-1,5) <= 12))
    x = [x(1:Adim-1,:); c_t c_W c_Xin X(1,1) X(1,2)];
end
if (X(1,2) <= x(Adim-1,5) & (X(1,2) - x(Adim-1,5) < -12))
    x = [x(1:Adim-1,:); c_t c_W c_Xin X(1,1) x(Adim-1,5)-12];
end
if (X(1,2) <= x(Adim-1,5) & (X(1,2) - x(Adim-1,5) >= -12))
    x = [x(1:Adim-1,:); c_t c_W c_Xin X(1,1) X(1,2)];
end

cpa = (1.04841 - 3.83719e-4*(X(1,2)+273.15) + 9.45378e-7*(X(1,2)+273.15)^2 - 5.49031e-
10*(X(1,2)+273.15)^3 + ...
7.92981e-14*(X(1,2)+273.15)^4);
cpwv = (8.22 + 1.5e-4*(X(1,2)+273.15) + 1.34e-6*(X(1,2)+273.15)^2)*4.184/18.01508;
E = E + X(1,1)/3600*(X(1,2)+273.15)*(cpa+cpwv*c_Xin)*30;
X_Sonuc = [X_Sonuc ; Adim FVAL x(Adim,1) x(Adim,3) x(Adim,4) X(1,1) x(Adim,5) X(1,2) ...
Maya_Sicak_Surec_Sonucu(Adim) Kuru_Madde_Surec_Sonucu(Adim) J_kayip1 J_kayip2 E]
J_kayip = 8888;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

%%%%%%%% Amaç Fonksiyonu (Yapay Sinir Ağı Modeli için) %%%%%%%%%%
%%%%%%%%%

function [J_kayip] = Model_YSA_3(c_g)

global J_kayip1 J_kayip2 E
global En_iyi_ag_KM_Tm_dKM_OZEL1_Gecikmeli En_iyi_ag_Kalite out_fismat_KM_3
out_fismat_Tm_3 out_fismat_dKM_3
global Opt_Sonucu i Gercek_Datalar fsatir Kuru_Madde_Ortalama c_t c_W c_Xin L1 L2 TimeLimit
gecis
global xx_1_min xx_1_max xx_2_min xx_2_max xx_3_min xx_3_max xx_4_min xx_4_max
xx_5_min xx_5_max
global yy_1_min yy_1_max yy_2_min yy_2_max yy_7_min yy_7_max Kalite_Set_Par x
global Kuru_Madde_Surec_Sonucu Kuru_Madde_Surec_Sonucu_Adim
Maya_Sicak_Surec_Sonucu_Adim Maya_Sicak_Surec_Sonucu
global X_Sonuc J_kayip c_t c_W c_Xin x c_W1 Adim_f Adim_f_t Adim Yukleme_Nem
I_Evre_Nem
global Aktiviteler_K1_K2_1_max Aktiviteler_K1_K2_1_min
global P1 Fa_7_min Fa_7_max Ta_8_min Ta_8_max En_iyi_ag_GA_Baslangic
global t_3_min t_3_max Xin_4_min Xin_4_max KM_10_min KM_10_max Tm_9_min Tm_9_max
Fa_7_min Fa_7_max Ta_8_min Ta_8_max

Sim_Sonuc = []; Sim_Sonuc(1) = Kuru_Madde_Surec_Sonucu(1);
% *****
% ***** Giriş Verilerinin Düzenlenmesi ve Normalizasyonu *****
% *****
x = [x(1:Adim-1,:); c_t c_W c_Xin c_g(1) c_g(2)];
% -----

if (c_g(2) >= x(Adim-1,5) & (c_g(2) - x(Adim-1,5) > 12))
 x = [x(1:Adim-1,:); c_t c_W c_Xin c_g(1) x(Adim-1,5)+12];
end
if (c_g(2) >= x(Adim-1,5) & (c_g(2) - x(Adim-1,5) <= 12))
 x = [x(1:Adim-1,:); c_t c_W c_Xin c_g(1) c_g(2)];
end
if (c_g(2) <= x(Adim-1,5) & (c_g(2) - x(Adim-1,5) < -12))
 x = [x(1:Adim-1,:); c_t c_W c_Xin c_g(1) x(Adim-1,5)-12];
end
if (c_g(2) <= x(Adim-1,5) & (c_g(2) - x(Adim-1,5) >= -12))
 x = [x(1:Adim-1,:); c_t c_W c_Xin c_g(1) c_g(2)];
end

% -----
x1 = [L1+(L2-L1)*((x(:,1)-xx_1_min)/(xx_1_max-xx_1_min)) L1+(L2-L1)*((x(:,2)-
xx_2_min)/(xx_2_max-xx_2_min)) L1+(L2-L1)*((x(:,3)-xx_3_min)/(xx_3_max-xx_3_min)) L1+(L2-
L1)*((x(:,4)-xx_4_min)/(xx_4_max-xx_4_min)) L1+(L2-L1)*((x(:,5)-xx_5_min)/(xx_5_max-
xx_5_min))];

x_01_n = transpose(x1);
% *****
% ***** Süreç Modeli Simulasyonu *****
% *****

if (Adim >= 3)
 [Proses_Model_Cikis_Norm,Pf_Af_E_perf_] =
 sim(En_iyi_ag_KM_Tm_dKM_OZEL1_Gecikmeli,x_01_n(:,Adim-2:Adim));
 Proses_Model_Cikis(1,1:3) = ((Proses_Model_Cikis_Norm(1,1:3) -
 ones(size(Proses_Model_Cikis_Norm(1,1:3))) * L1) * (yy_1_max - yy_1_min) - (L1-L2) * yy_1_min) /
 (L2-L1);

```

Proses_Model_Cikis(2,1:3) = ((Proses_Model_Cikis_Norm(2,1:3) -
ones(size(Proses_Model_Cikis_Norm(2,1:3))) * L1) * (yy_2_max - yy_2_min) - (L1-L2) * yy_2_min) /
(L2-L1);
Proses_Model_Cikis(3,1:3) = ((Proses_Model_Cikis_Norm(3,1:3) -
ones(size(Proses_Model_Cikis_Norm(3,1:3))) * L1) * (yy_7_max - yy_7_min) - (L1-L2) * yy_7_min) /
(L2-L1);
if (Adim >= 3)
    for sss = 3:1:3
        Sim_Sonuc(sss) = Kuru_Madde_Surec_Sonucu(Adim-1) + Proses_Model_Cikis(3,sss);
    end
    Evre_Sonu_icin = max(Sim_Sonuc(sss), Proses_Model_Cikis(1,3));
else
    Evre_Sonu_icin = max(Sim_Sonuc(1), Proses_Model_Cikis(1,3));
end
end
if (Adim == 2)
    [Proses_Model_Cikis_Norm, Pf, Af, E_perf_] =
sim(En_iyi_ag_KM_Tm_dKM_OZEL1_Gecikmeli, (x_01_n(:, Adim-1:Adim)));
    Proses_Model_Cikis(1,1:2) = ((Proses_Model_Cikis_Norm(1,1:2) -
ones(size(Proses_Model_Cikis_Norm(1,1:2))) * L1) * (yy_1_max - yy_1_min) - (L1-L2) * yy_1_min) /
(L2-L1);
    Proses_Model_Cikis(2,1:2) = ((Proses_Model_Cikis_Norm(2,1:2) -
ones(size(Proses_Model_Cikis_Norm(2,1:2))) * L1) * (yy_2_max - yy_2_min) - (L1-L2) * yy_2_min) /
(L2-L1);
    Proses_Model_Cikis(3,1:2) = ((Proses_Model_Cikis_Norm(3,1:2) -
ones(size(Proses_Model_Cikis_Norm(3,1:2))) * L1) * (yy_7_max - yy_7_min) - (L1-L2) * yy_7_min) /
(L2-L1);
    Sim_Sonuc(2) = Proses_Model_Cikis(1,2);
    sss = 2;
end
if (Sim_Sonuc(sss) > Kuru_Madde_Surec_Sonucu(Adim-1))
    Kuru_Madde_Surec_Sonucu_Adim = Sim_Sonuc(sss);
    if (Adim >= 3)
        Maya_Sicak_Surec_Sonucu_Adim = Proses_Model_Cikis(2,3);
    end
    if (Adim == 2)
        Maya_Sicak_Surec_Sonucu_Adim = Proses_Model_Cikis(2,2);
    end
    if (Adim < 66)
        Kalite_Set_Par(Adim) = L1 + (L2-L1) * ((Kuru_Madde_Surec_Sonucu_Adim -
yy_1_min) / (yy_1_max - yy_1_min));
        if (Adim == 2)
            Kalite_Set_Par(Adim + 65) = Proses_Model_Cikis_Norm(2,2);
        else
            Kalite_Set_Par(Adim + 65) = Proses_Model_Cikis_Norm(2,3);
        end
    end
end

[Kalite_Model_Cikis, Pf, Af, E_perf_] = sim(En_iyi_ag_Kalite, Kalite_Set_Par);

cpa = (1.04841 - 3.83719e-4 * (c_g(2) + 273.15) + 9.45378e-7 * (c_g(2) + 273.15)^2 - 5.49031e-
10 * (c_g(2) + 273.15)^3 + ...
7.92981e-14 * (c_g(2) + 273.15)^4);
cpwv = (8.22 + 1.5e-4 * (c_g(2) + 273.15) + 1.34e-6 * (c_g(2) + 273.15)^2) * 4.184 / 18.01508;

J_kayip1 = Beta1 * c_g(1) / 3600 * (c_g(2) + 273.15) *
(cpa + cpwv * c_Xin) / (Kuru_Madde_Surec_Sonucu_Adim - Kuru_Madde_Surec_Sonucu(Adim-1));
J_kayip2 = Beta2 * (((Kalite_Model_Cikis(1,:)) - ones(size(Kalite_Model_Cikis(1,:))) * L1) * ...

```

```

        (Aktiviteler_K1_K2_1_max - Aktiviteler_K1_K2_1_min) - (L1-
L2)*Aktiviteler_K1_K2_1_min)/(L2-L1));
    J_kayip = J_kayip1 + J_kayip2;
else
    J_kayip = 8888;
end

```

%%%%%%%%% Amaç Fonksiyonu (Bulanık Model için) %%%%%%%%%%
%%%%%%%%% %%%%%%%%%%

```
function [J_kayip] = Model_YSA_3(c_g)
```

```

global J_kayip1 J_kayip2 E
global En_yiyi_ag_KM_Tm_dKM_OZEL1_Gecikmeli En_yiyi_ag_Kalite out_fismat_KM_3
out_fismat_Tm_3 out_fismat_dKM_3
global Opt_Sonucu i Gercek_Datalar fsatir Kuru_Madde_Ortalama c_t c_W c_Xin L1 L2
TimeLimit gecis
global xx_1_min xx_1_max xx_2_min xx_2_max xx_3_min xx_3_max xx_4_min xx_4_max
xx_5_min xx_5_max
global yy_1_min yy_1_max yy_2_min yy_2_max yy_7_min yy_7_max Kalite_Set_Par x
global Kuru_Madde_Surec_Sonucu Kuru_Madde_Surec_Sonucu_Adim
Maya_Sicak_Surec_Sonucu_Adim Maya_Sicak_Surec_Sonucu
global X_Sonuc J_kayip c_t c_W c_Xin x c_WI Adim_f Adim_f_t Adim_Yukleme_Nem
I_Evre_Nem
global Aktiviteler_K1_K2_1_max Aktiviteler_K1_K2_1_min
global P1 Fa_7_min Fa_7_max Ta_8_min Ta_8_max En_yiyi_ag_GA_Baslangic
global t_3_min t_3_max Xin_4_min Xin_4_max KM_10_min KM_10_max Tm_9_min Tm_9_max
Fa_7_min Fa_7_max Ta_8_min Ta_8_max

```

```

Sim_Sonuc = []; Sim_Sonuc(1) = Kuru_Madde_Surec_Sonucu(1);
% *****
% ***** Giriş Verilerinin Düzenlenmesi ve Normalizasyonu *****
% *****
x = [x(1:Adim-1,:); c_t c_W c_Xin c_g(1) c_g(2)];
% -----

```

```

if (c_g(2) >= x(Adim-1,5) & (c_g(2) - x(Adim-1,5) > 12))
    x = [x(1:Adim-1,:); c_t c_W c_Xin c_g(1) x(Adim-1,5)+12];
end
if (c_g(2) >= x(Adim-1,5) & (c_g(2) - x(Adim-1,5) <= 12))
    x = [x(1:Adim-1,:); c_t c_W c_Xin c_g(1) c_g(2)];
end
if (c_g(2) <= x(Adim-1,5) & (c_g(2) - x(Adim-1,5) < -12))
    x = [x(1:Adim-1,:); c_t c_W c_Xin c_g(1) x(Adim-1,5)-12];
end
if (c_g(2) <= x(Adim-1,5) & (c_g(2) - x(Adim-1,5) >= -12))
    x = [x(1:Adim-1,:); c_t c_W c_Xin c_g(1) c_g(2)];
end

```

```

% -----
x1 = [L1+(L2-L1)*((x(:,1)-xx_1_min)/(xx_1_max-xx_1_min)) L1+(L2-L1)*((x(:,2)-
xx_2_min)/(xx_2_max-xx_2_min)) L1+(L2-L1)*((x(:,3)-xx_3_min)/(xx_3_max-xx_3_min)) L1+(L2-
L1)*((x(:,4)-xx_4_min)/(xx_4_max-xx_4_min)) L1+(L2-L1)*((x(:,5)-xx_5_min)/(xx_5_max-
xx_5_min))];
x_01_n = transpose(x1);
% *****
% ***** Süreç Modeli Simulasyonu *****

```

```

% *****
if (Adim >= 3)
    KM_AY_Norm = evalfis((x_01_n(:,Adim-2:Adim)),out_fisimat_KM_3);
    Tm_AY_Norm = evalfis((x_01_n(:,Adim-2:Adim)),out_fisimat_Tm_3);
    dKM_AY_Norm = evalfis((x_01_n(:,Adim-2:Adim)),out_fisimat_dKM_3);

    KM_AY = ((KM_AY_Norm(1:3,1) - ones(size(KM_AY_Norm(1:3,1))) *L1) * (yy_1_max -
yy_1_min) - (L1-L2)*yy_1_min) / (L2-L1);
    Tm_AY = ((Tm_AY_Norm(1:3,1) - ones(size(Tm_AY_Norm(1:3,1))) *L1) * (yy_2_max -
yy_2_min) - (L1-L2)*yy_2_min) / (L2-L1);
    dKM_AY = ((dKM_AY_Norm(1:3,1) - ones(size(dKM_AY_Norm(1:3,1))) *L1) * (yy_7_max -
yy_7_min) - (L1-L2)*yy_7_min) / (L2-L1);

    KM_AY = transpose(KM_AY); Tm_AY = transpose(Tm_AY); dKM_AY =
transpose(dKM_AY);
% -----
    if (Adim >= 3)
        for sss = 3:1:3
            Sim_Sonuc(sss) = Kuru_Madde_Surec_Sonucu(Adim-1) + dKM_AY(1,sss);
        end
        Evre_Sonu_icin = max(Sim_Sonuc(sss),KM_AY(1,3));
    else
        Evre_Sonu_icin = max(Sim_Sonuc(1),KM_AY(1,3));
    end
% -----
end
if (Adim == 2)
    KM_AY_Norm = evalfis((x_01_n(:,Adim-1:Adim)),out_fisimat_KM_3);
    Tm_AY_Norm = evalfis((x_01_n(:,Adim-1:Adim)),out_fisimat_Tm_3);
    dKM_AY_Norm = evalfis((x_01_n(:,Adim-1:Adim)),out_fisimat_dKM_3);

    KM_AY = ((KM_AY_Norm(1:2,1) - ones(size(KM_AY_Norm(1:2,1))) *L1) * (yy_1_max -
yy_1_min) - (L1-L2)*yy_1_min) / (L2-L1);
    Tm_AY = ((Tm_AY_Norm(1:2,1) - ones(size(Tm_AY_Norm(1:2,1))) *L1) * (yy_2_max -
yy_2_min) - (L1-L2)*yy_2_min) / (L2-L1);
    dKM_AY = ((dKM_AY_Norm(1:2,1) - ones(size(dKM_AY_Norm(1:2,1))) *L1) * (yy_7_max -
yy_7_min) - (L1-L2)*yy_7_min) / (L2-L1);

    KM_AY = transpose(KM_AY); Tm_AY = transpose(Tm_AY); dKM_AY =
transpose(dKM_AY);
    Sim_Sonuc(2) = KM_AY(1,2);
    sss = 2;
end
% -----
if (Sim_Sonuc(sss) > Kuru_Madde_Surec_Sonucu(Adim-1))
    Kuru_Madde_Surec_Sonucu_Adim = Sim_Sonuc(sss);
    if (Adim >= 3)
        Maya_Sicak_Surec_Sonucu_Adim = Tm_AY(1,3);
    end
    if (Adim == 2)
        Maya_Sicak_Surec_Sonucu_Adim = Tm_AY(1,2);
    end
    if (Adim < 66)
        Kalite_Set_Par(Adim) = L1+(L2-L1)*((Kuru_Madde_Surec_Sonucu_Adim -
yy_1_min)/(yy_1_max - yy_1_min));
        if (Adim == 2)
            Kalite_Set_Par(Adim + 65) = Tm_AY_Norm(2,1);
        else
            Kalite_Set_Par(Adim + 65) = Tm_AY_Norm(3,1);
        end
    end
end

```



```

end
end
% *****
[Kalite_Model_Cikis,Pf_Af_E_perf_] = sim(En_iyi_ag_Kalite,Kalite_Set_Par);

cpa = (1.04841 - 3.83719e-4*(c_g(2)+273.15) + 9.45378e-7*(c_g(2)+273.15)^2 - 5.49031e-
10*(c_g(2)+273.15)^3 + ...
7.92981e-14*(c_g(2)+273.15)^4);
cpwv = (8.22 + 1.5e-4*(c_g(2)+273.15) + 1.34e-6*(c_g(2)+273.15)^2)*4.184/18.01508;

J_kayip1 = Beta1 *
c_g(1)/3600*(c_g(2)+273.15)*(cpa+cpwv*c_Xin)/(Kuru_Madde_Surec_Sonucu_Adim -
Kuru_Madde_Surec_Sonucu(Adim-1));
J_kayip2 =Beta2 * (((Kalite_Model_Cikis(1,:) - ones(size(Kalite_Model_Cikis(1,:))) *L1)* ...
(Aktiviteler_K1_K2_1_max - Aktiviteler_K1_K2_1_min) - (L1-
L2)*Aktiviteler_K1_K2_1_min)/(L2-L1));
J_kayip = J_kayip1 + J_kayip2;
else
J_kayip = 8888;
end

%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%

```

EK F. KESİKLİ AKIŞKAN YATAKLI KURUTMA SÜRECİNİN SÜREÇ MODELİNİN OLUŞTURULMASI ve EĞİTİMİ İÇİN YAZILAN MATLAB PROGRAMLARI

```
%%%%%%%%% Bulanık Model Tasarımı (Süreç Modeli) %%%%%%%%%%  
%%%%%%%%%  
function [] = ANFIS_Secimi_Proces_33(Tekrar_Sayisi)  
clc;  
%-----  
load Butun_Veriler_3__1_570_Sirasiz.mat  
%-----  
trnData_KM = Anfis_Train_KM;  
trnData_Tm = Anfis_Train_Tm;  
trnData_dKM = Anfis_Train_dKM;  
  
% 'trimf' - 'trapmf' - 'gbellmf' - 'gaussmf' - 'gauss2mf' - 'pimf' - 'dsigmf' - 'psigmf'  
numMFs = [3*ones(1,5)];  
inmfType = str2mat('gauss2mf','gauss2mf','gauss2mf','gauss2mf','gauss2mf');  
outmfType = 'linear';  
  
in_fisimat_KM = genfis1(trnData_KM , numMFs , inmfType , outmfType)  
in_fisimat_Tm = genfis1(trnData_Tm , numMFs , inmfType , outmfType)  
in_fisimat_dKM = genfis1(trnData_dKM , numMFs , inmfType , outmfType)  
  
a = clock  
out_fisimat_KM_3 = anfis(trnData_KM , in_fisimat_KM , Tekrar_Sayisi);  
save('E:\PROJE OZEL\DOKTORA TEZI\MATLAB  
PROGRAMLAR\ANA_UYGULAMA\Sonuclar\ANFIS_Proces_Sonuc_33.mat', ...  
    'out_fisimat_KM_3')  
b = clock  
out_fisimat_Tm_3 = anfis(trnData_Tm , in_fisimat_Tm , Tekrar_Sayisi);  
save('E:\PROJE OZEL\DOKTORA TEZI\MATLAB  
PROGRAMLAR\ANA_UYGULAMA\Sonuclar\ANFIS_Proces_Sonuc_33.mat', ...  
    'out_fisimat_Tm_3','-append')  
c = clock  
out_fisimat_dKM_3 = anfis(trnData_dKM , in_fisimat_dKM , Tekrar_Sayisi);  
save('E:\PROJE OZEL\DOKTORA TEZI\MATLAB  
PROGRAMLAR\ANA_UYGULAMA\Sonuclar\ANFIS_Proces_Sonuc_33.mat', ...  
    'out_fisimat_dKM_3','-append')  
d = clock  
clear
```

%%%%%%%% Yapay Sinir Ağı Tasarımı (Süreç Modeli) %%%%%%%%%
 %%%%%%%%%

function [] = YSA_KM_Tm_dKM_OZEL1_Gecikmeli(Dug_Say,Don_Say)

```

clc
%-----
load Butun_Veriler_3_1_570_Sirasiz.mat
%-----
P1 = xx_norm_train;
T1 = yy_norm_train;
VV1.P = xx_norm_valid;
TV1.P = xx_norm_test;
VV1.T = yy_norm_valid;
TV1.T = yy_norm_test;
%-----
Gizli_Katman_Sayisi = 9;
Dugum_Sayisi = Dug_Say;
Giris_Sayisi_1 = 5;
Cikis_Sayisi = 1;
CS = Cikis_Sayisi;
DS = Dugum_Sayisi;
%=====
Dongu_Sayisi_LM = Don_Say;
Agirlik_Aralik = 0.30;
Maximum_Fail = 5.0e+420;
Memory_Reduc = 1;
Minimum_Gradient = 1.0e-0300;
%=====
%*****
a = clock;
jj = 0;
enaz1 = 100000; enaz2 = 100000; Kotu = []; Iyi = []; Siralama = []; Toplam_Dongu = 1;
Transfer_Fonksiyonu_1 = 'hardlim'; Transfer_Fonksiyonu_2 = 'poslin';
Transfer_Fonksiyonu_3 = 'hardlims'; Transfer_Fonksiyonu_4 = 'purelin';
Transfer_Fonksiyonu_5 = 'satlin'; Transfer_Fonksiyonu_6 = 'satlins';
Transfer_Fonksiyonu_7 = 'tribas'; Transfer_Fonksiyonu_8 = 'logsig';
Transfer_Fonksiyonu_9 = 'tansig'; Transfer_Fonksiyonu_0 = 'radbas';

% Network Type
% -----
Ag = newff([0.1 0.9;0.1 0.9],[DS DS DS CS CS]);

Ag.adaptFcn = 'trains'; % trains
Ag.initFcn = 'initlay'; % initlay
Ag.performFcn = 'sse'; % mae mse msereg sse

Ag.adaptParam.passes = 100;
Ag.initParam = [];
Ag.performParam = [];

Ag.numInputs = 1; % Number of Inputs
Ag.numLayers = Gizli_Katman_Sayisi; % Number of Layers

Ag.biasConnect = ones(Gizli_Katman_Sayisi,1);
Ag.inputConnect = [1 ; 0 ; 0 ; 1 ; 0 ; 0 ; 1 ; 0 ; 0];
Ag.layerConnect = [0 0 1 0 0 1 0 0 ; 1 0 0 0 0 0 0 0 ; 0 1 0 0 0 0 0 0 ; ...
  0 0 1 0 0 1 0 0 ; 0 0 0 1 0 0 0 0 ; 0 0 0 0 1 0 0 0 ; ...

```

```

                0 0 1 0 0 1 0 0 0 ; 0 0 0 0 0 0 1 0 0 ; 0 0 0 0 0 0 0 1 0 ];
Ag.outputConnect = [0 0 1 0 0 1 0 0 1];
Ag.targetConnect = [0 0 1 0 0 1 0 0 1];

% Giris Katmani Ozellikleri
% -----
Ag.inputs{1}.range = transpose([L1 ; L2] * ones(1,Giris_Sayisi_1)); % Input Ranges
Ag.inputs{1}.size = Giris_Sayisi_1; % Input Size

% Giris.1 - 1. Katman Arasi Agirliklarin Ozellikleri
% -----
Ag.inputWeights{1,1}.delays = 0;
Ag.inputWeights{1,1}.initFcn = "";
Ag.inputWeights{1,1}.learn = 1;
Ag.inputWeights{1,1}.learnFcn = 'learngd';
Ag.inputWeights{1,1}.weightFcn = 'dotprod';

% Giris.4 - 1. Katman Arasi Agirliklarin Ozellikleri
% -----
Ag.inputWeights{4,1}.delays = 0;
Ag.inputWeights{4,1}.initFcn = "";
Ag.inputWeights{4,1}.learn = 1;
Ag.inputWeights{4,1}.learnFcn = 'learngd';
Ag.inputWeights{4,1}.weightFcn = 'dotprod';

% Giris.7 - 1. Katman Arasi Agirliklarin Ozellikleri
% -----
Ag.inputWeights{7,1}.delays = 0;
Ag.inputWeights{7,1}.initFcn = "";
Ag.inputWeights{7,1}.learn = 1;
Ag.inputWeights{7,1}.learnFcn = 'learngd';
Ag.inputWeights{7,1}.weightFcn = 'dotprod';

% Katmanlarin Ozellikleri
% -----
for j=1:1:Gizli_Katman_Sayisi

    Ag.layers{Gizli_Katman_Sayisi-jj}.dimensions = DS;
    Ag.layers{Gizli_Katman_Sayisi-jj}.size = DS;
    Ag.layers{Gizli_Katman_Sayisi-jj}.transferFcn = Transfer_Fonksiyonu_9;

    if (jj == 0 || jj == 3 || jj == 6)
        Ag.layers{Gizli_Katman_Sayisi-jj}.dimensions = Cikis_Sayisi;
        Ag.layers{Gizli_Katman_Sayisi-jj}.size = Cikis_Sayisi;
        Ag.layers{Gizli_Katman_Sayisi-jj}.transferFcn = Transfer_Fonksiyonu_9;
    end

    Ag.layers{Gizli_Katman_Sayisi-jj}.distanceFcn = "";
    Ag.layers{Gizli_Katman_Sayisi-jj}.initFcn = 'initnw';
    Ag.layers{Gizli_Katman_Sayisi-jj}.netInputFcn = 'netsum';
    Ag.layers{Gizli_Katman_Sayisi-jj}.topologyFcn = 'hextop';
    jj = jj + 1;
end
jj = 0;

% Katmanlar Arasi Agirliklarin Ozellikleri ve Gecikmeler
% -----
for j=2:1:Gizli_Katman_Sayisi
    Ag.layerWeights{Gizli_Katman_Sayisi-jj,Gizli_Katman_Sayisi-1-jj}.delays = 0;

```

```

Ag.layerWeights{Gizli_Katman_Sayisi-jj,Gizli_Katman_Sayisi-1-jj}.initFcn = "";
Ag.layerWeights{Gizli_Katman_Sayisi-jj,Gizli_Katman_Sayisi-1-jj}.learn = 1;
Ag.layerWeights{Gizli_Katman_Sayisi-jj,Gizli_Katman_Sayisi-1-jj}.learnFcn = 'learngd';
Ag.layerWeights{Gizli_Katman_Sayisi-jj,Gizli_Katman_Sayisi-1-jj}.weightFcn = 'dotprod';
jj = jj + 1;
end
jj = 0;

% Bias (Katmanlar) Ozellikleri ve Degerleri
% -----
for j=1:1:Gizli_Katman_Sayisi
    Ag.biases{Gizli_Katman_Sayisi-jj}.initFcn = "";
    Ag.biases{Gizli_Katman_Sayisi-jj}.learn = 1;
    Ag.biases{Gizli_Katman_Sayisi-jj}.learnFcn = 'learngd';
    jj = jj + 1;
end
jj = 0;
for j=1:1:Gizli_Katman_Sayisi
    if ( (jj == 0) || (jj == 3) || (jj == 6) )
        Ag.b{Gizli_Katman_Sayisi-jj} = -Agirlik_Aralik+(Agirlik_Aralik+Agirlik_Aralik)*rand(CS,1);
    else
        Ag.b{Gizli_Katman_Sayisi-jj} = -Agirlik_Aralik+(Agirlik_Aralik+Agirlik_Aralik)*rand(DS,1) ;
    end
    jj = jj + 1;
end
jj = 0;

Ag.layerWeights{1,3}.delays = [1,2];
Ag.layerWeights{1,6}.delays = [1,2];
Ag.layerWeights{4,3}.delays = [1,2];
Ag.layerWeights{4,6}.delays = [1,2];
Ag.layerWeights{7,3}.delays = [1,2];
Ag.layerWeights{7,6}.delays = [1,2];
Ag.LW{1,3} = -Agirlik_Aralik+(Agirlik_Aralik+Agirlik_Aralik)*rand(DS,2*CS);
Ag.LW{1,6} = -Agirlik_Aralik+(Agirlik_Aralik+Agirlik_Aralik)*rand(DS,2*CS);
Ag.LW{4,3} = -Agirlik_Aralik+(Agirlik_Aralik+Agirlik_Aralik)*rand(DS,2*CS);
Ag.LW{4,6} = -Agirlik_Aralik+(Agirlik_Aralik+Agirlik_Aralik)*rand(DS,2*CS);
Ag.LW{7,3} = -Agirlik_Aralik+(Agirlik_Aralik+Agirlik_Aralik)*rand(DS,2*CS);
Ag.LW{7,6} = -Agirlik_Aralik+(Agirlik_Aralik+Agirlik_Aralik)*rand(DS,2*CS);
Ag.IW{1,1} = -Agirlik_Aralik+(Agirlik_Aralik+Agirlik_Aralik)*rand(DS,Giris_Sayisi_1);
Ag.IW{4,1} = -Agirlik_Aralik+(Agirlik_Aralik+Agirlik_Aralik)*rand(DS,Giris_Sayisi_1);
Ag.IW{7,1} = -Agirlik_Aralik+(Agirlik_Aralik+Agirlik_Aralik)*rand(DS,Giris_Sayisi_1);
Ag.LW{2,1} = -Agirlik_Aralik+(Agirlik_Aralik+Agirlik_Aralik)*rand(DS,DS);
Ag.LW{3,2} = -Agirlik_Aralik+(Agirlik_Aralik+Agirlik_Aralik)*rand(CS,DS);
Ag.LW{5,4} = -Agirlik_Aralik+(Agirlik_Aralik+Agirlik_Aralik)*rand(DS,DS);
Ag.LW{6,5} = -Agirlik_Aralik+(Agirlik_Aralik+Agirlik_Aralik)*rand(CS,DS);
Ag.LW{8,7} = -Agirlik_Aralik+(Agirlik_Aralik+Agirlik_Aralik)*rand(DS,DS);
Ag.LW{9,8} = -Agirlik_Aralik+(Agirlik_Aralik+Agirlik_Aralik)*rand(CS,DS);
Ag.trainFcn = 'trainlm';
Ag.trainParam.epochs = Dongu_Sayisi_LM;
Ag.trainParam.show = 1;
Ag.trainParam.goal = 0;
Ag.trainParam.time = Inf;
Ag.trainParam.min_grad = Minimum_Gradient;
Ag.trainParam.max_fail = Maximum_Fail;
Ag.trainParam.mem_reduc = Memory_Reduc;
Ag.trainParam.mu = 0.000010;
Ag.trainParam.mu_dec = 0.1000;
Ag.trainParam.mu_inc = 1.1;

```

```

Ag.trainParam.mu_max = 1.0000e+550;
Ag.trainParam.lr = 0.01;
Ag.trainParam.lr_inc = 1.01;
Ag.trainParam.lr_dec = 0.1;

% ===== Egitim =====
[net1,tr1,Y,E,Pf,Af] = train(Ag,P1,T1,[],[],VV1,TV1);
% =====

b = clock;
if (enaz1 > min(tr1.tperf))
    enaz1 = min(tr1.tperf);
    En_iyi_ag1 = net1;
end
En_iyi_hata_1 = enaz1;
c = clock;
Toplam_Zaman = etime(c,a)

% *****
% *****

En_iyi_ag_KM_Tm_dKM_OZEL1_Gecikmeli = En_iyi_ag1;
save('E:\PROJE OZEL\DOKTORA TEZI\MATLAB
PROGRAMLAR\ANA_UYGULAMA\Sonular\En_iyi_ag_KM_Tm_dKM_OZEL1_Gecikmeli_uyar
lanabilir_lr.mat', ...
'En_iyi_ag_KM_Tm_dKM_OZEL1_Gecikmeli')

```

EK G. KESİKLİ AKIŞKAN YATAKLI KURUTMA SÜRECİNİN BENZETİMİ İÇİN YAZILAN MATLAB PROGRAMLARI

%%%%%%%% Yapay Sinir Ağı (Süreç Benzetim) %%%%%%%%%%
%%%%%%%%%

```
function [] =  
Simulasyon_YSA_DortDeney(Proses_Modeli,Kalite_Modeli,DeneyNo_1,DeneyNo_2,DeneyNo_3,DeneyNo_4)
```

```
global i  
clear figure; clc;  
cd('E:\PROJE OZEL\DOKTORA TEZİ\MATLAB VERİLER\Veriler')  
a = clock; a(4:6);
```

```
xx = []; yy = [];  
xx_n = []; yy_n = [];  
xx_norm = []; yy_norm = [];  
xx_norm_Y = []; yy_norm_Y = [];  
xx_norm_Y1 = []; yy_norm_Y1 = [];  
xx_norm_1 = []; yy_norm_1 = [];  
xx_norm_2 = []; yy_norm_2 = [];  
xx_norm_12 = []; yy_norm_12 = [];  
Aktiviteler_K1 = []; Aktiviteler_giris_K1 = [];  
Aktiviteler_K2 = []; Aktiviteler_giris_K2 = [];  
Aktiviteler_FT = []; Aktiviteler_giris_FT = [];  
Aktiviteler_norm_K1 = []; Aktiviteler_norm_in_K1 = [];  
Aktiviteler_norm_K2 = []; Aktiviteler_norm_in_K2 = [];  
Aktiviteler_norm_FT = []; Aktiviteler_norm_in_FT = [];  
Controller_Ta_Giris = []; Controller_Ta_Cikis = [];  
Controller_Fa_Giris = []; Controller_Fa_Cikis = [];
```

```
Sure = 1;  
Giris_Hava_Sicakligi = 3;  
Maya_Kabin_Sicakligi = 4;  
Giris_Hava_Debisi = 5;  
Kuru_Madde = 6;  
Giris_Hava_Nemi = 34; % (20) AHU Giris Sic.'dan - (34) AHU Cikis Sic.'dan  
Cikis_Hava_Nemi = 23; % (23) Sic Nem sensorunden - (37) Sic. Maya Kabininden  
Yukleme_Miktari = 26; % (25) Artan - (26) Sabit-max.
```

```
L1 = 0.1; L2 = 0.9;
```

```
if (Kalite_Modeli == 1)  
    Calisma = 'Kalite.....';  
    load En_iyi_ag_Kalite.mat  
    load Giris_Cikis_Min_Max_Degerleri.mat  
end  
if (Proses_Modeli == 1)  
    Calisma = 'Proses.....';  
    load Giris_Cikis_Min_Max_Degerleri.mat
```

```

load En_iyi_ag_KM_Tm_dKM_OZEL1_Gecikmeli.mat
% load ANFIS_Proces_Sonuc_33.mat
end

nnd = [DeneyNo_1 DeneyNo_2 DeneyNo_3 DeneyNo_4];
ns = 1; nss = 1; figure_no = 1;
figure(figure_no)
load Rasgele.mat
% =====
% ===== PROSES MODELI - YSA =====
% =====
if (Proses_Modeli == 1)
for nn = 1:1:4
n = nnd(nn);
[' ' 'Simulasyon ' 'Calisma ' 'int2str(nn)' 'int2str(n)]

% ***** Program *****
Tutarlilik_Analizi_Hesap_2_Kademe
Normalize

x_01_n = transpose(x1);
y_01_n = transpose(y1);
size(x_01_n);

Aktiviteler_icin_giris_01_K1 = transpose(Aktiviteler_icin_giris_K1);
Aktiviteler_Farki_01_K1 = transpose(Aktiviteler_Farki_K1);
Aktiviteler_norm_in_K1 = [Aktiviteler_norm_in_K1 Aktiviteler_icin_giris_01_K1];
Aktiviteler_norm_K1 = [Aktiviteler_norm_K1 Aktiviteler_Farki_01_K1];

Aktiviteler_icin_giris_01_K2 = transpose(Aktiviteler_icin_giris_K2);
Aktiviteler_Farki_01_K2 = transpose(Aktiviteler_Farki_K2);
Aktiviteler_norm_in_K2 = [Aktiviteler_norm_in_K2 Aktiviteler_icin_giris_01_K2];
Aktiviteler_norm_K2 = [Aktiviteler_norm_K2 Aktiviteler_Farki_01_K2];

Aktiviteler_icin_giris_01_FT = transpose(Aktiviteler_icin_giris_FT);
Aktiviteler_Farki_01_FT = transpose(Aktiviteler_Farki_FT);
Aktiviteler_norm_in_FT = [Aktiviteler_norm_in_FT Aktiviteler_icin_giris_01_FT];
Aktiviteler_norm_FT = [Aktiviteler_norm_FT Aktiviteler_Farki_01_FT];

Controller_Ta_Giris = [Controller_Ta_Giris transpose(Controller_Ta_icin_Giris)];
Controller_Ta_Cikis = [Controller_Ta_Cikis transpose(Controller_Ta_icin_Cikis)];
Controller_Fa_Giris = [Controller_Fa_Giris transpose(Controller_Fa_icin_Giris)];
Controller_Fa_Cikis = [Controller_Fa_Cikis transpose(Controller_Fa_icin_Cikis)];

% -----
% ----- Proses Modeli - YSA -----

[Y3_Ozel1,Pf_Af_E_perf_] = sim(En_iyi_ag_KM_Tm_dKM_OZEL1_Gecikmeli,(x_01_n));

Verileri_Alma

Y3_Ozel1(1,:) = ((Y3_Ozel1(1,:) - ones(size(Y3_Ozel1(1,:)))*L1)*(yy_1_max - yy_1_min) -
(L1-L2)*yy_1_min) / (L2-L1);
Y3_Ozel1(2,:) = ((Y3_Ozel1(2,:) - ones(size(Y3_Ozel1(2,:)))*L1)*(yy_2_max - yy_2_min) -
(L1-L2)*yy_2_min) / (L2-L1);
Y3_Ozel1(3,:) = ((Y3_Ozel1(3,:) - ones(size(Y3_Ozel1(3,:)))*L1)*(yy_7_max - yy_7_min) -
(L1-L2)*yy_7_min) / (L2-L1);

Sim_Sonuc_dKM_3_Ozel1 = []; Sim_Sonuc_dKM_3_Ozel1(1) = y(1,1);

```



```

for sss = 2:1:i(n)
    Sim_Sonuc_dKM_3_Ozel1(sss) = Sim_Sonuc_dKM_3_Ozel1(sss-1) + Y3_Ozel1(3,sss);
end

figure(figure_no)
[nsat nsut] = size(y(:,1));
subplot(2,2,ns),plot((1:nsut)/2,y(:,1),'kO')           % ----- Gerçek KM
xlabel('Zaman','FontSize',12)
ylabel('KM[%] - Tm[^0C]','FontSize',12)
str1 = {'KM'};
str2 = {'Tm'};
text(13,75,str1,'FontSize',13)
text(15,45,str2,'FontSize',13)
grid
hold on
[nsat nsut] = size(Y3_Ozel1(1,:));
subplot(2,2,ns),plot((1:nsut)/2,Y3_Ozel1(1,:),'k--')   % KM (YSA)
xlabel('Zaman [dk]','FontSize',12)
ylabel('KM[%] - Tm[^0C]','FontSize',12)
hold on
grid
[nsat nsut] = size(Sim_Sonuc_dKM_3_Ozel1);
subplot(2,2,ns),plot((1:nsut)/2,Sim_Sonuc_dKM_3_Ozel1,'k.') % +dKM (YSA)
xlabel('Zaman [dk]','FontSize',12)
ylabel('KM[%] - Tm[^0C]','FontSize',12)
hold on
grid
[nsat nsut] = size(y(:,2));
subplot(2,2,ns),plot((1:nsut)/2,y(:,2),'ks')           % ----- Gerçek Tm
xlabel('Zaman [dk]','FontSize',12)
ylabel('KM[%] - Tm[^0C]','FontSize',12)
hold on
[nsat nsut] = size(Y3_Ozel1(2,:));
subplot(2,2,ns),plot((1:nsut)/2,Y3_Ozel1(2,:),'k')     % Tm (YSA)
xlabel('Zaman [dk]','FontSize',12)
ylabel('KM[%] - Tm[^0C]','FontSize',12)
grid

hold off
ns = ns + 1;
nss = nss + 1;
end
end

% =====
% ===== KALİTE MODELİ =====
% =====

if (Kalite_Modeli == 1)

    Sim_Type = 1;
    if (Sim_Type == 1)
        [En_iyi_ag_outputs,Pf_,Af_,E_perf_] = sim(En_iyi_ag_Kalite,(P));
        En_iyi_ag_outputs(1,:) = (((En_iyi_ag_outputs(1,:)-
        ones(size(En_iyi_ag_outputs(1,:)))*L1)*(Aktiviteler_K1_K2_1_max - Aktiviteler_K1_K2_1_min) -
        (L1-L2)*Aktiviteler_K1_K2_1_min)/(L2-L1));
        Aktiviteler_norm_train_ger(1,:) = (((Aktiviteler_norm_train_K2(1,:)-
        ones(size(Aktiviteler_norm_train_K2(1,:)))*L1)*(Aktiviteler_K1_K2_1_max -
        Aktiviteler_K1_K2_1_min) - (L1-L2)*Aktiviteler_K1_K2_1_min)/(L2-L1));
    end
end

```

```

subplot(3,1,1),plot(En_iyi_ag_outputs(1,:),'*r')
hold
plot(Aktiviter_norm_train_ger(1:),'ob')
ylabel ('Akt. TRAIN');
grid
end
if (Sim_Type == 1)
    [En_iyi_ag_outputs,Pf_,Af_,E_,perf_] = sim(En_iyi_ag_Kalite,(VV.P));
    En_iyi_ag_outputs(1,:) = (((En_iyi_ag_outputs(1:)-
ones(size(En_iyi_ag_outputs(1,:)))*L1)*(Aktiviter_K1_K2_1_max - Aktiviter_K1_K2_1_min) -
(L1-L2)*Aktiviter_K1_K2_1_min)/(L2-L1));
    Aktiviter_norm_valid_ger(1,:) = (((Aktiviter_norm_valid_K2(1:)-
ones(size(Aktiviter_norm_valid_K2(1,:)))*L1)*(Aktiviter_K1_K2_1_max -
Aktiviter_K1_K2_1_min) - (L1-L2)*Aktiviter_K1_K2_1_min)/(L2-L1));

    subplot(3,1,2),plot(En_iyi_ag_outputs(1,:),'*r')
    hold
    plot(Aktiviter_norm_valid_ger(1:),'ob')
    ylabel ('Akt. VALID');
    grid
end
if (Sim_Type == 1)
    [En_iyi_ag_outputs,Pf_,Af_,E_,perf_] = sim(En_iyi_ag_Kalite,(TV.P));
    En_iyi_ag_outputs(1,:) = (((En_iyi_ag_outputs(1:)-
ones(size(En_iyi_ag_outputs(1,:)))*L1)*(Aktiviter_K1_K2_1_max - Aktiviter_K1_K2_1_min) -
(L1-L2)*Aktiviter_K1_K2_1_min)/(L2-L1));
    Aktiviter_norm_test_ger(1,:) = (((Aktiviter_norm_test_K2(1:)-
ones(size(Aktiviter_norm_test_K2(1,:)))*L1)*(Aktiviter_K1_K2_1_max -
Aktiviter_K1_K2_1_min) - (L1-L2)*Aktiviter_K1_K2_1_min)/(L2-L1));

    subplot(3,1,3),plot(En_iyi_ag_outputs(1,:),'*r')
    hold
    plot(Aktiviter_norm_test_ger(1:),'ob')
    ylabel ('Akt. TEST');
    grid
end
end

% =====

cd('E:\Proje Ozel\DOKTORA TEZI\Matlab Programlar')
c = clock;
c(4:6);
Toplam_Zaman = etime(c,a);

```

%%%%%%%% Bulanık Model (Süreç Benzetim) %%%%%%%%%
%%%%%%%%

```
function [] =  
Simulasyon_ANFIS_DortDeney(Proses_Modeli,Kalite_Modeli,DeneyNo_1,DeneyNo_2,DeneyNo_3,  
DeneyNo_4)  
  
global i  
clear figure; clc;  
cd('E:\PROJE OZEL\DOKTORA TEZI\MATLAB VERILER\Veriler')  
a = clock; a(4:6);  
  
xx = []; yy = [];  
xx_n = []; yy_n = [];  
xx_norm = []; yy_norm = [];  
xx_norm_Y = []; yy_norm_Y = [];  
xx_norm_Y1 = []; yy_norm_Y1 = [];  
xx_norm_1 = []; yy_norm_1 = [];  
xx_norm_2 = []; yy_norm_2 = [];  
xx_norm_12 = []; yy_norm_12 = [];  
Aktiviteler_K1 = []; Aktiviteler_giris_K1 = [];  
Aktiviteler_K2 = []; Aktiviteler_giris_K2 = [];  
Aktiviteler_FT = []; Aktiviteler_giris_FT = [];  
Aktiviteler_norm_K1 = []; Aktiviteler_norm_in_K1 = [];  
Aktiviteler_norm_K2 = []; Aktiviteler_norm_in_K2 = [];  
Aktiviteler_norm_FT = []; Aktiviteler_norm_in_FT = [];  
Controller_Ta_Giris = []; Controller_Ta_Cikis = [];  
Controller_Fa_Giris = []; Controller_Fa_Cikis = [];  
  
Sure = 1;  
Giris_Hava_Sicakligi = 3;  
Maya_Kabin_Sicakligi = 4;  
Giris_Hava_Debisi = 5;  
Kuru_Madde = 6;  
Giris_Hava_Nemi = 34; % (20) AHU Giris Sic.'dan - (34) AHU Cikis Sic.'dan  
Cikis_Hava_Nemi = 23; % (23) Sic Nem sensorunden - (37) Sic. Maya Kabininden  
Yukleme_Miktari = 26; % (25) Artan - (26) Sabit-max.  
  
L1 = 0.1; L2 = 0.9;  
  
if (Kalite_Modeli == 1)  
    Calisma = 'Kalite.....';  
    load En_iyi_ag_Kalite.mat  
    load Giris_Cikis_Min_Max_Degerleri.mat  
end  
if (Proses_Modeli == 1)  
    Calisma = 'Proses.....';  
    load Giris_Cikis_Min_Max_Degerleri.mat  
    % load En_iyi_ag_KM_Tm_dKM_OZEL1.mat  
    load ANFIS_Proces_Sonuc_33.mat  
end  
mnd = [DeneyNo_1 DeneyNo_2 DeneyNo_3 DeneyNo_4];  
ns = 1; nss = 1; figure_no = 1;  
figure(figure_no)  
load Rasgele.mat  
% =====  
% ===== PROSES MODELI - ANFIS =====  
% =====
```

```

if (Proses_Modeli == 1)
    for nn = 1:1:4
        n = nnd(nn);
        ['      '' Simulasyon ''      ' Calisma '      ' int2str(nn)'      ' int2str(n)]

        % ***** Program *****
        Tutarlilik_Analizi_Hesap_2_Kademe
        Normalize

        x_01_n = transpose(x1);
        y_01_n = transpose(y1);
        size(x_01_n);

        Aktiviteler_icin_giris_01_K1 = transpose(Aktiviteler_icin_giris_K1);
        Aktiviteler_Farki_01_K1 = transpose(Aktiviteler_Farki_K1);
        Aktiviteler_norm_in_K1 = [Aktiviteler_norm_in_K1 Aktiviteler_icin_giris_01_K1];
        Aktiviteler_norm_K1 = [Aktiviteler_norm_K1 Aktiviteler_Farki_01_K1];

        Aktiviteler_icin_giris_01_K2 = transpose(Aktiviteler_icin_giris_K2);
        Aktiviteler_Farki_01_K2 = transpose(Aktiviteler_Farki_K2);
        Aktiviteler_norm_in_K2 = [Aktiviteler_norm_in_K2 Aktiviteler_icin_giris_01_K2];
        Aktiviteler_norm_K2 = [Aktiviteler_norm_K2 Aktiviteler_Farki_01_K2];

        Aktiviteler_icin_giris_01_FT = transpose(Aktiviteler_icin_giris_FT);
        Aktiviteler_Farki_01_FT = transpose(Aktiviteler_Farki_FT);
        Aktiviteler_norm_in_FT = [Aktiviteler_norm_in_FT Aktiviteler_icin_giris_01_FT];
        Aktiviteler_norm_FT = [Aktiviteler_norm_FT Aktiviteler_Farki_01_FT];

        Controller_Ta_Giris = [Controller_Ta_Giris transpose(Controller_Ta_icin_Giris)];
        Controller_Ta_Cikis = [Controller_Ta_Cikis transpose(Controller_Ta_icin_Cikis)];
        Controller_Fa_Giris = [Controller_Fa_Giris transpose(Controller_Fa_icin_Giris)];
        Controller_Fa_Cikis = [Controller_Fa_Cikis transpose(Controller_Fa_icin_Cikis)];

        % -----
        % ----- Proses Modeli - ANFIS -----

        KM_AY_3 = evalfis((x_01_n),out_fisimat_KM_3);
        Tm_AY_3 = evalfis((x_01_n),out_fisimat_Tm_3);
        dKM_AY_3 = evalfis((x_01_n),out_fisimat_dKM_3);

        Verileri_Alma

        KM_AY_3(:,1) = ((KM_AY_3(:,1)-ones(size(KM_AY_3(:,1))))*L1)*(yy_1_max - yy_1_min) -
(L1-L2)*yy_1_min) / (L2-L1);
        Tm_AY_3(:,1) = ((Tm_AY_3(:,1)-ones(size(Tm_AY_3(:,1))))*L1)*(yy_2_max - yy_2_min) -
(L1-L2)*yy_2_min) / (L2-L1);
        dKM_AY_3(:,1) = ((dKM_AY_3(:,1)-ones(size(dKM_AY_3(:,1))))*L1)*(yy_7_max -
yy_7_min) - (L1-L2)*yy_7_min) / (L2-L1);

        KM_AY_3 = transpose(KM_AY_3);
        Tm_AY_3 = transpose(Tm_AY_3);
        dKM_AY_3 = transpose(dKM_AY_3);

        A_Sim_Sonuc_dKM_3 = []; A_Sim_Sonuc_dKM_3(1) = y(1,1);

        for sss = 2:1:i(n)
            A_Sim_Sonuc_dKM_3(sss) = A_Sim_Sonuc_dKM_3(sss-1) + dKM_AY_3(1,sss);
        end

```

```

% -----

figure.figure_no
[nsat nsut] = size(y(:,1));
subplot(2,2,ns),plot((1:nsut)/2,y(:,1),'kO')           % ----- Gerçek KM
xlabel('Zaman [dk]',FontSize,12)
ylabel('KM[%] - Tm[^0C]',FontSize,12)
str1 = {'KM'};
str2 = {'Tm'};
text(13,75,str1,FontSize,13)
text(15,45,str2,FontSize,13)
grid
hold on
[nsat nsut] = size(KM_AY_3(1,:));
subplot(2,2,ns),plot((1:nsut)/2,KM_AY_3(1,:),'k--')   % KM (ANFIS)
xlabel('Zaman [dk]',FontSize,12)
ylabel('KM[%] - Tm[^0C]',FontSize,12)
grid
hold on
[nsat nsut] = size(A_Sim_Sonuc_dKM_3);
subplot(2,2,ns),plot((1:nsut)/2,A_Sim_Sonuc_dKM_3,'k.') % +dKM (ANFIS)
xlabel('Zaman [dk]',FontSize,12)
ylabel('KM[%] - Tm[^0C]',FontSize,12)
grid
hold on
[nsat nsut] = size(y(:,2));
subplot(2,2,ns),plot((1:nsut)/2,y(:,2),'ks')         % ----- Gerçek Tm
xlabel('Zaman [dk]',FontSize,12)
ylabel('KM[%] - Tm[^0C]',FontSize,12)
grid
hold on
[nsat nsut] = size(Tm_AY_3(1,:));
subplot(2,2,ns),plot((1:nsut)/2,Tm_AY_3(1,:),'k')    % Tm (ANFIS)
xlabel('Zaman [dk]',FontSize,12)
ylabel('KM[%] - Tm[^0C]',FontSize,12)
grid

hold off
ns = ns + 1;
nss = nss + 1;
end
end

% =====
% ===== KALİTE MODELİ =====
% =====

if (Kalite_Modeli == 1)

    Sim_Type = 1;
    if (Sim_Type == 1)
        [En_iyi_ag_outputs,Pf_,Af_,E_perf_] = sim(En_iyi_ag_Kalite,(P));
        En_iyi_ag_outputs(1,:) = (((En_iyi_ag_outputs(1,:)-
        ones(size(En_iyi_ag_outputs(1,:)))*L1)*(Aktiviteler_K1_K2_1_max - Aktiviteler_K1_K2_1_min) -
        (L1-L2)*Aktiviteler_K1_K2_1_min)/(L2-L1));
        Aktiviteler_norm_train_ger(1,:) = (((Aktiviteler_norm_train_K2(1,:)-
        ones(size(Aktiviteler_norm_train_K2(1,:)))*L1)*(Aktiviteler_K1_K2_1_max -
        Aktiviteler_K1_K2_1_min) - (L1-L2)*Aktiviteler_K1_K2_1_min)/(L2-L1));
    end
end

```

```

subplot(3,1,1),plot(En_iyi_ag_outputs(1,:),'*r')
hold
plot(Aktiviter_norm_train_ger(1:),'ob')
ylabel ('Akt. TRAIN');
grid
end
if (Sim_Type == 1)
    [En_iyi_ag_outputs,Pf_,Af_,E_,perf_] = sim(En_iyi_ag_Kalite,(VV.P));
    En_iyi_ag_outputs(1,:) = (((En_iyi_ag_outputs(1:)-
ones(size(En_iyi_ag_outputs(1,:)))*L1)*(Aktiviter_K1_K2_1_max - Aktiviter_K1_K2_1_min) -
(L1-L2)*Aktiviter_K1_K2_1_min)/(L2-L1));
    Aktiviter_norm_valid_ger(1,:) = (((Aktiviter_norm_valid_K2(1:)-
ones(size(Aktiviter_norm_valid_K2(1,:)))*L1)*(Aktiviter_K1_K2_1_max -
Aktiviter_K1_K2_1_min) - (L1-L2)*Aktiviter_K1_K2_1_min)/(L2-L1));

    subplot(3,1,2),plot(En_iyi_ag_outputs(1,:),'*r')
    hold
    plot(Aktiviter_norm_valid_ger(1:),'ob')
    ylabel ('Akt. VALID');
    grid
end
if (Sim_Type == 1)
    [En_iyi_ag_outputs,Pf_,Af_,E_,perf_] = sim(En_iyi_ag_Kalite,(TV.P));
    En_iyi_ag_outputs(1,:) = (((En_iyi_ag_outputs(1:)-
ones(size(En_iyi_ag_outputs(1,:)))*L1)*(Aktiviter_K1_K2_1_max - Aktiviter_K1_K2_1_min) -
(L1-L2)*Aktiviter_K1_K2_1_min)/(L2-L1));
    Aktiviter_norm_test_ger(1,:) = (((Aktiviter_norm_test_K2(1:)-
ones(size(Aktiviter_norm_test_K2(1,:)))*L1)*(Aktiviter_K1_K2_1_max -
Aktiviter_K1_K2_1_min) - (L1-L2)*Aktiviter_K1_K2_1_min)/(L2-L1));

    subplot(3,1,3),plot(En_iyi_ag_outputs(1,:),'*r')
    hold
    plot(Aktiviter_norm_test_ger(1:),'ob')
    ylabel ('Akt. TEST');
    grid
end
end

% =====

cd('E:\Proje Ozel\DOKTORA TEZI\Matlab Programlar')
c = clock;
c(4:6);
Toplam_Zaman = etime(c,a);

```

EK H. KESİKLİ AKIŞKAN YATAKLI KURUTMA SÜRECİNİN BULANIK MANTIK KONTROL EDİCİ TASARIM ve EĞİTİMLERİ İÇİN YAZILAN MATLAB PROGRAMLARI

%%%%%%%% Bulanık Mantık Kontrol Edicisi (1) %%%%%%%%%%

```
function [] = Controller_Secimi_Fa(Tekrar_Sayisi)
clc;
%-----
load Butun_Veriler_Fa_Ta_1_570.mat
%-----
a = clock;
trnData = Anfis_Controller_Fa;

% 'trimf' - 'trapmf' - 'gbellmf' - 'gaussmf' - 'gauss2mf' - 'pimf' - 'dsigmf' - 'psigmf'
numMFs_1 = [2*ones(1,7)];
inmfType_1 = str2mat('gauss2mf','gauss2mf','gauss2mf','gauss2mf','gauss2mf','gauss2mf','gauss2mf');
outmfType_1 = 'linear';

in_fismat_Fa = genfis1(trnData , numMFs_1 , inmfType_1 , outmfType_1)

out_fismat_Fa = anfis(trnData , in_fismat_Fa , Tekrar_Sayisi);

b = clock;
save('E:\PROJE OZEL\DOKTORA TEZ\MATLAB
PROGRAMLAR\ANA_UYGULAMA\Sonuc\Contoller_Secimi_Fa_Yeni.mat', ...
    'out_fismat_Fa','a','b')
Gecen_Sure = etime(b,a)
clear
```

%%%%%%%% Bulanık Mantık Kontrol Edicisi (2) %%%%%%%%%%

```
function [] = Controller_Secimi_Ta(Tekrar_Sayisi)
clc;
%-----
load Butun_Veriler_Fa_Ta_1_570.mat
%-----
a = clock;
trnData = Anfis_Controller_Ta;

% 'trimf' - 'trapmf' - 'gbellmf' - 'gaussmf' - 'gauss2mf' - 'pimf' - 'dsigmf' - 'psigmf'
numMFs_1 = [2*ones(1,7)];
inmfType_1 = str2mat('gauss2mf','gauss2mf','gauss2mf','gauss2mf','gauss2mf','gauss2mf','gauss2mf');
outmfType_1 = 'linear';

in_fismat_Ta = genfis1(trnData , numMFs_1 , inmfType_1 , outmfType_1)
```

```
out_fisimat_Ta = anfis(trnData , in_fisimat_Ta , Tekrar_Sayisi);

b = clock;
save('E:\PROJE OZEL\DOKTORA TEZI\MATLAB
PROGRAMLAR\ANA_UYGULAMA\Sonuclar\Controller_Secimi_Ta_Yeni.mat', ...
    'out_fisimat_Ta','a','b')
Gecen_Sure = etime(b,a)
clear
```


EK I. KESİKLİ AKIŞKAN YATAKLI KURUTMA SÜRECİNİN BULANIK MANTIK KONTROL EDİCİLERİNİN BENZETİMİ İÇİN YAZILAN MATLAB PROGRAMLARI

%%%%%%%% Bulanık Mantık Kontrol Edicisi Benzetim Programı %%%%%%%%%
%%%%%%%%

```
function [] = Controller_Simulasyon_ANFIS_Yeni(n,Fa,Ta,Tek)
```

```
global i
```

```
clear figure; clc
```

```
cd('E:\PROJE OZEL\DOKTORA TEZI\DatalarHepsi\DENEYLER\Veriler')
```

```
a = clock; a(4:6);
```

```
xx = []; yy = [];
```

```
xx_n = []; yy_n = [];
```

```
xx_norm = []; yy_norm = [];
```

```
xx_norm_Y = []; yy_norm_Y = [];
```

```
xx_norm_Y1 = []; yy_norm_Y1 = [];
```

```
xx_norm_1 = []; yy_norm_1 = [];
```

```
xx_norm_2 = []; yy_norm_2 = [];
```

```
xx_norm_12 = []; yy_norm_12 = [];
```

```
Aktiviter_K1 = []; Aktiviter_giris_K1 = [];
```

```
Aktiviter_K2 = []; Aktiviter_giris_K2 = [];
```

```
Aktiviter_FT = []; Aktiviter_giris_FT = [];
```

```
Aktiviter_norm_K1 = []; Aktiviter_norm_in_K1 = [];
```

```
Aktiviter_norm_K2 = []; Aktiviter_norm_in_K2 = [];
```

```
Aktiviter_norm_FT = []; Aktiviter_norm_in_FT = [];
```

```
Controller_Ta_Giris = []; Controller_Ta_Cikis = [];
```

```
Controller_Fa_Giris = []; Controller_Fa_Cikis = [];
```

```
Sure = 1;
```

```
Giris_Hava_Sicakligi = 3;
```

```
Maya_Kabin_Sicakligi = 4;
```

```
Giris_Hava_Debisi = 5;
```

```
Kuru_Madde = 6;
```

```
Giris_Hava_Nemi = 34; % (20) AHU Giris Sic.'dan - (34) AHU Cikis Sic.'dan
```

```
Cikis_Hava_Nemi = 23; % (23) Sic Nem sensorunden - (37) Sic. Maya Kabininden
```

```
Yukleme_Miktari = 26; % (25) Artan - (26) Sabit-max.
```

```
L1 = 0.1; L2 = 0.9;
```

```
load Giris_Cikis_Min_Max_Degerleri.mat
```

```
load Butun_Veriler_Fa_Ta_1_570.mat
```

```
load ANFIS_Proces_Sonuc_33.mat
```

```
load Controller_Secimi_Ta_Yeni.mat
```

```
load Controller_Secimi_Fa_Yeni.mat
```

```
ns = 1; nss = 1; figure_no = 1;
```

```
figure(figure_no)
```

```

% ===== SIMULATION =====
Tutarlilik_Analizi_Hesap_2_Kademe
Normalize

x_01_n = transpose(x1);
y_01_n = transpose(y1);
[sutun sure] = size(x_01_n);

for Sim_Time = 1:1:sure
    if (Ta == 1 && Fa == 0)
        %%% ===== Controller - GİRİS HAVA SICAKLIGI (Ta) =====
        ANFIS_KM_plant(:,Sim_Time) = evalfis(x_01_n(:,Sim_Time),out_fismat_KM_3);
        ANFIS_Tm_plant(:,Sim_Time) = evalfis(x_01_n(:,Sim_Time),out_fismat_Tm_3);
        ANFIS_dKM_plant(:,Sim_Time) = evalfis(x_01_n(:,Sim_Time),out_fismat_dKM_3);
        Controller_Ta_icin_Giris(Sim_Time,2) = ANFIS_Tm_plant(1,Sim_Time);
        Controller_Cikis_Ta(:,Sim_Time) =
    evalfis(Controller_Ta_icin_Giris(Sim_Time,:),out_fismat_Ta);
        x_01_n(5,Sim_Time+1) = Controller_Cikis_Ta(:,Sim_Time);
        %%% -----
        %%% -----
    end
    if (Ta == 0 && Fa == 1)
        %%% ===== Controller - GİRİS HAVA DEBÝSÝ (Fa) =====
        ANFIS_KM_plant(:,Sim_Time) = evalfis(x_01_n(:,Sim_Time),out_fismat_KM_3);
        ANFIS_Tm_plant(:,Sim_Time) = evalfis(x_01_n(:,Sim_Time),out_fismat_Tm_3);
        ANFIS_dKM_plant(:,Sim_Time) = evalfis(x_01_n(:,Sim_Time),out_fismat_dKM_3);
        Controller_Fa_icin_Giris(Sim_Time,2) = ANFIS_KM_plant(1,Sim_Time);
        Controller_Cikis_Fa(:,Sim_Time) =
    evalfis(Controller_Fa_icin_Giris(Sim_Time,:),out_fismat_Fa);
        x_01_n(4,Sim_Time+1) = Controller_Cikis_Fa(:,Sim_Time);
        %%% -----
        %%% -----
    end
end

ANFIS_KM_plant = transpose(ANFIS_KM_plant);
ANFIS_Tm_plant = transpose(ANFIS_Tm_plant);
ANFIS_dKM_plant = transpose(ANFIS_dKM_plant);
ANFIS_KM_plant = ((ANFIS_KM_plant - ones(size(ANFIS_KM_plant))*L1) * (yy_1_max -
yy_1_min) - (L1-L2)*yy_1_min) / (L2-L1);
ANFIS_Tm_plant = ((ANFIS_Tm_plant - ones(size(ANFIS_Tm_plant))*L1) * (yy_2_max -
yy_2_min) - (L1-L2)*yy_2_min) / (L2-L1);
ANFIS_dKM_plant = ((ANFIS_dKM_plant - ones(size(ANFIS_dKM_plant))*L1) * (yy_7_max -
yy_7_min) - (L1-L2)*yy_7_min) / (L2-L1);

%% -----

if (Ta == 1 && Fa == 0)
    Controller_Cikis_Ta = ((Controller_Cikis_Ta - ones(size(Controller_Cikis_Ta))*L1) * (xx_5_max
- xx_5_min) - (L1-L2)*xx_5_min) / (L2-L1);
    x1(:,5) = ((x1(:,5) - ones(size(x1(:,5)))*L1)*(xx_5_max - xx_5_min) - (L1-L2)*xx_5_min) / (L2-
L1);
end

if (Ta == 0 && Fa == 1)
    Controller_Cikis_Fa = ((Controller_Cikis_Fa - ones(size(Controller_Cikis_Fa))*L1) * (xx_4_max -
xx_4_min) - (L1-L2)*xx_4_min) / (L2-L1);

```

```

    x1(:,4) = ((x1(:,4) - ones(size(x1(:,4))) * L1) * (xx_4_max - xx_4_min) - (L1-L2) * xx_4_min) / (L2-
L1);
end

% ===== PLOT =====
figure.figure_no

if (Tek == 1)
    [nh ng] = size(y(:,1));
    subplot(4,1,1),plot((1:nh)/2,y(:,1),'ok')           % ----- Gerçek KM
    hold on
    [nh ng] = size(ANFIS_KM_plant(:,1));
    subplot(4,1,1),plot((1:nh)/2,ANFIS_KM_plant(:,1),'k')   % KM (ANFIS)
    hold on
    [nh ng] = size(ANFIS_KM_plant1(1,:));
    % subplot(4,1,1),plot((1:ng)/2,ANFIS_KM_plant1(1,:),'b')   % KM (ANFIS)
    % hold on
    % xlabel('Zaman [dk]', 'FontSize', 12)
    % ylabel('KM [%]', 'FontSize', 12)
    grid

    [nh ng] = size(y(:,2));
    subplot(4,1,2),plot((1:nh)/2,y(:,2),'ok')           % ----- Gerçek Tm
    hold on
    [nh ng] = size(ANFIS_Tm_plant(:,1));
    subplot(4,1,2),plot((1:nh)/2,ANFIS_Tm_plant(:,1),'k')
    hold on
    [nh ng] = size(ANFIS_Tm_plant1(1,:));
    % subplot(4,1,2),plot((1:ng)/2,ANFIS_Tm_plant1(1,:),'b')
    % hold on
    % xlabel('Zaman [dk]', 'FontSize', 12)
    % ylabel('Tm [°C]', 'FontSize', 12)
    grid
end

if (Ta == 0 && Fa == 1)
    [nh ng] = size(Controller_Cikis_Fa);
    subplot(4,1,3),plot((1:ng)/2,Controller_Cikis_Fa,'k')
    hold on
    [nh ng] = size(x1(:,4));
    subplot(4,1,3),plot((1:nh)/2,x1(:,4),'ok')
    % xlabel('Zaman [dk]', 'FontSize', 12)
    % ylabel('Fa [m^3/h]', 'FontSize', 12)
    grid
end

if (Ta == 1 && Fa == 0)
    [nh ng] = size(Controller_Cikis-Ta);
    subplot(4,1,4),plot((1:ng)/2,Controller_Cikis-Ta,'k')
    hold on
    [nh ng] = size(x1(:,5));
    subplot(4,1,4),plot((1:nh)/2,x1(:,5),'ok')
    xlabel('Zaman [dk]', 'FontSize', 12)
    ylabel('Ta [°C]', 'FontSize', 12)
    grid
end

```

KİŞİSEL YAYINLAR ve ESERLER

M. Köni, H. Diñer, M. Türker, S.Yılmaz, A. Bir, Fermantasyon Ürünlerinin Kurutma Proseslerinin Modellenmesi ve Kontrolü, Elektrik, Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği 11. Ulusal Kongresi ve Fuarı, Bildiriler Kitabı, 478 – 481, Cevahir Otel, İstanbul, 22 – 25 Eylül 2005

ÖZGEÇMİŞ

1971 yılında İstanbul'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini İstanbul'da tamamladı. 1988 yılında Behçet Kemal Çağlar Lisesini bitirdi. 1993 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünden mezun olduktan sonra İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisansını yaptı. 1996-1997 yılları arasında Entek A.Ş.'de çalıştı. 1998 yılında askerlik görevini bitirdikten sonra 2004 yılına kadar Pakmaya, Pak Biyoteknoloji Merkezinde araştırma-geliştirme mühendisi olarak çalıştı. 2004 yılından beri Takosan Otomobil Göstergeleri San. ve Tic. A.Ş.'de metot mühendisi olarak çalışmaktadır.