

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

129024

ÇİMENTO HAMMADDE KARIŞIM PROSESİNİN
YAPAY SİNİR AĞLARI İLE
MATEMATİKSEL MODELLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Aysun EĞRİSÖĞÜT

129024

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : MAKİNA TASARIM VE İMALATI

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Recep KAZAN

TC. YÜKSEKÖĞRETİM BAKANLIĞI
DOKÜMAN YERİNE KALDIRILMIŞTIR

HAZİRAN 2002

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇİMENTO HAMMADDE KARIŞIM PROSESİNİN
YAPAY SİNİR AĞLARI İLE
MATEMATİKSEL MODELLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Aysun EĞRİSÖĞÜT

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

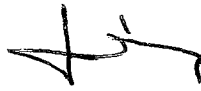
Enstitü Bilim Dalı : MAKİNA TASARIM VE İMALATI

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Recep KAZAN

Bu tez .. / .. / 20.. tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


Jüri Başkanı

Doç. Dr.
Recep KAZAN



Jüri Üyesi

Doç. Dr.
Ümit KOCABIÇAK



Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr.
Ayhan ÖZDEMİR

TEŞEKKÜR

Yapılan bu tez çalışması süresince her türlü teşvik ve yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım değerli hocam Doç. Dr. Recep KAZAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çimento prosesini tanıtan ve modelleme için gerekli olan kimyasal analiz sonuçlarının temininde yardımcı olan Nuh Çimento Fabrikası yetkililerine, ayrıca daha önce çimento harmanlama prosesi ile ilgili çalışmalar yapan ve bilgilerini esirgemeyen sayın Prof. Dr. Can ÖZSOY'a ve Arş. Gör. Ayhan KURAL'a teşekkür ederim.

Yapay sinir ağları konusunda bilgilerinden faydalandığım Yrd. Doç. Dr. Cemil ÖZ'e teşekkürlerimi sunarım. Verdikleri desteklerden dolayı meslektaşım Arş. Gör. Cemil YİĞİT'e ve Arş. Gör. Hüseyin PEHLİVAN'a teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında sabırla benden yardımlarını esirgemeyen, her türlü konuda büyük özveride bulunan ve tezin yazım aşamasında oldukça fazla emeği olan nişanlım İnşaat Mühendisi Serhat Yasin TİRYAKİ'ye, manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme, ayrıca programlama ve çeviriler konusunda yardımcı olan kardeşim Hülya EĞRİSÖĞÜT'e teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii

BÖLÜM 1.

GİRİŞ	1
-------------	---

BÖLÜM 2.

ÇİMENTO HAMMADDELERİ	3
2.1. Çimentonun Tanımı	3
2.2. Çimento Hammaddelerinin Tanımı	3
2.2.1. Kalker	4
2.2.2. Kil	5
2.2.3. Marn	6
2.2.4. Demir cevheri	7
2.2.5. Alçı taşı	8
2.2.6. Silis	8

BÖLÜM 3.

ÇİMENTO ÜRETİM TEKNOLOJİSİ	9
3.1. Çimento Üretimi	9
3.2. Çimento Üretim Sistemleri	11
3.2.1. Yaş sistem çimento üretimi	11

3.2.2. Kuru sistem çimento üretimi	13
3.2.2.1. Ön ısıtıcı siklonlu kuru sistem	13
3.2.2.2. Ön kalsinatörlü kuru sistem	14
3.2.3. Yarı yaş sistem çimento üretimi	15

BÖLÜM 4.

ÇİMENTO HAMMADDE KARIŞIMI	16
4.1. Fiziksel Parametreler	16
4.1.1. Hammaddenin homojenlik derecesi	16
4.1.2. Hammaddenin inceliği	17
4.1.3. Farinin homojenliği	17
4.2. Hammadde Karışım Miktarının Tayini	18
4.2.1. Kimyasal parametreler	18
4.2.1.1. Hidrolik modül (HM)	18
4.2.1.2. Silika modülü (SM)	19
4.2.1.3. Alümin modülü (AM)	20
4.2.1.4. Kireç standardı (LS)	21
4.2.1.5. Kireç doygunluk faktörü (LSF)	22
4.2.2. X-RAY floresan analizörü	22
4.2.3. GAMMA-MATRİCS analizörü	24
4.2.4. XRF ile GAMMA-MATRİCS analizörlerinin karşılaştırılması	25

BÖLÜM 5.

YAPAY SİNİR AĞLARI	27
5.1. Yapay Sinir Ağlarının Tanımı	27
5.2. Yapay Sinir Ağları'nın Tarihi Gelişimi	28
5.3. Yapay Sinir Ağlarının Uygulama Alanları	29
5.4. Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri	31
5.4.1. Bellek ve genelleme	32
5.4.2. Eksik bilgilerle çalışabilme ve hata toleransı	33
5.4.3. Nonlineerlik ve paralellik	33

5.5. Biyolojik Sinir Sistemi ve Nöron Yapısı	34
5.6. Yapay Nöron	35
5.6.1. Ağırlıklar	36
5.6.2. Birleştirme fonksiyonu	37
5.6.3. Transfer fonksiyonu	37
5.7. Yapay Sinir Ağının Yapısı	39
5.8. Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme ve Eğitim	40
5.8.1. Yapay Sinir Ağlarının Eğitilmesi	41
5.8.1.1. Öğretici eğitim	41
5.8.1.2. Skor ile eğitim	42
5.8.1.3. Kendini düzenleme ile eğitim	42
5.8.2. Öğrenme Kuralları	42
5.8.2.1. Yapay sinir ağlarında ağırlık uzayı	43
5.8.2.2. Hata minimizasyonu ve gradient descent tanımı	44
5.9. Yapay Ağ Modelleri	45
5.9.1. Adaline	47
5.9.2. Geri yayılım algoritması	48
5.9.2.1. Öğrenme oranı, momentum katsayısı ve bias	53

BÖLÜM 6.

ÇİMENTO HAMMADDE KARIŞIM PROSESİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE MODELLENMESİ	54
6.1. Hammaddelerin Oranlanması	54
6.2. Prosesin Sistem Olarak Tanımlanması	56
6.3. Hammadde Karışım Prosesi İçin Model YSA Tasarımı ve Uygulaması	56
6.3.1. Model YSA'yı eğitimle ilgili çalışmalar	58
6.3.2. Eğitilen YSA'nın testi ile ilgili çalışmalar	61

BÖLÜM 7.

SONUÇLAR	65
-----------------------	-----------

BÖLÜM 8.

TARTIŞMA VE ÖNERİLER	67
KAYNAKLAR	68
ÖZGEÇMİŞ	72



SİMGELER LİSTESİ

Si	Silisyum
Al	Alüminyum
Ca	Kalsiyum
Fe ₂ O ₃	Demir oksit
CaO	Kalsiyum Oksit
SiO ₂	Silisyum Oksit
Al ₂ O ₃	Alüminyum Oksit
Fe ₂ O ₃	Demir Oksit
MgO	Magnezyum Oksit
Na	Sodyum
K	Potasyum
Ti	Titanyum
Mn	Mangan
CaCO ₃	Kalsiyum Karbonat
K ₂ O	Potasyum Oksit
SO ₃	Kükürt Oksit
Na ₂ O	Sodyum Oksit
H ₂ O	Su
O ₂	Oksijen
CaSO ₄	Kalsiyum Sülfat
CO ₂	Karbondioksit
Z _{-inj} , Y _{-ink}	Ağırlıklı Girişler Toplamı
V _{0j} , W _{0k}	Bias
X _i	Giriş İşareti
V _{ij} , W _{jk}	Ağırlıklar
Z _j	Aktivasyon Fonksiyonu Uygulanmış Çıkış İşareti
Y _k	Çıkış İşareti

δ_k	Hata Bilgisi
t_k	İstenen Çıkış
Δw_{jk}	Ağırlık Düzeltme Katsayısı
α	Öğrenme Oranı
μ	Momentum Katsayısı
Δw_{0k}	Bias Düzeltme Katsayısı

Kısaltmalar

YSA	Yapay Sinir Ağları
BG	Baca Gazı
FG	Fırın Gazı
PÇ	Portland Çimento
C ₃ S	Tri-Kalsiyum Silikat
HM	Hidrolik Modül
SM	Silika Modülü
AM	Alümin Modülü
C ₃ A	Tri-Kalsiyum Alüminat
C ₄ AF	Tetra-Kalsiyum Alümino Ferrit
LS	Kireç Standardı
LSF	Kireç Doygunluk Faktörü
XRF	X-Ray floresan
ART	Adaptif Rezonans Teori

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1 Klinker üretimi akış şeması blok diyagramı	9
Şekil 3.2 Ana hatlarıyla çimento üretimi şeması	11
Şekil 3.3 Ana hatları ile yaş sistem çimento üretimi	12
Şekil 3.4 Önisıttıcı siklonlu kuru sistem çimento üretimi	14
Şekil 3.5. Ana hatlarıyla yarı yaş çimento üretimi	15
Şekil 4.1 X-ışını analizi ile çalışan harmanlama kontrolünün şematik gösterimi	23
Şekil 4.2 GAMMA-MATRİCS'in Nuh Çimento'daki uygulaması	25
Şekil 5.1 Tipik olarak sinir ağının fiziksel bağlantı şekli	31
Şekil 5.2 Üç katmanlı bir yapay sinir ağı	32
Şekil 5.3 Biyolojik sinir sisteminin blok gösterimi	34
Şekil 5.4 Bir nöronun şematik yapısı	34
Şekil 5.5 Bir yapay nöronun yapısı	36
Şekil 5.6 Eşik fonksiyonları	38
Şekil 5.7 Çok katmanlı nöral ağ	39
Şekil 5.8 Çok katmanlı bir sinir ağı ve katmanları	40
Şekil 5.9 Ağırlık vektörünün değişimi	43
Şekil 5.10 Hata minimizasyonu ve "Gradient Descent" geometrik yorumu	44
Şekil 5.11 Yapay sinir ağının sınıflandırılması	45
Şekil 5.12 Basit adaline	47
Şekil 5.13 Geriye yayılım ağ mimarisi	48
Şekil 6.1 Tipik karışım analizi	55
Şekil 6.2 Prosesin blok diyagramı	56
Şekil 6.3 Çimento hammadde karışım prosesinin yapay sinir ağı modeli	57
Şekil 6.4 Gerçek SiO ₂ verileri ile YSA'nın eğitim sonucu elde edilen SiO ₂ değerleri arasındaki grafik	59
Şekil 6.5 Gerçek Al ₂ O ₃ verileri ile YSA'nın eğitim sonucu elde edilen Al ₂ O ₃ değerleri arasındaki grafik	59

Şekil 6.6 Gerçek Fe_2O_3 verileri ile YSA'nın eğitim sonucu elde edilen Fe_2O_3 değerleri arasındaki grafik	59
Şekil 6.7 Gerçek CaO verileri ile YSA'nın eğitim sonucu elde edilen CaO değerleri arasındaki grafik	60
Şekil 6.8 Eğitimdeki ağ parametreleri için iterasyon ile hatanın değişimi	60
Şekil 6.9 Gerçek SiO_2 verileri ile YSA'nın testi sonucu elde edilen SiO_2 değerleri arasındaki grafik	62
Şekil 6.10 Gerçek Al_2O_3 verileri ile YSA'nın testi sonucu elde edilen Al_2O_3 değerleri arasındaki grafik	62
Şekil 6.11 Gerçek Fe_2O_3 verileri ile YSA'nın testi sonucu elde edilen Fe_2O_3 değerleri arasındaki grafik	63
Şekil 6.12 Gerçek CaO verileri ile YSA'nın testi sonucu elde edilen CaO değerleri arasındaki grafik	63
Şekil 6.13 Eğitimi tamamlanmış model YSA'nın testi sonucu oluşan hata ile iterasyon arasındaki	63

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 5.1 En çok kullanılan birleştirme fonksiyonları	37
Tablo 5.2 En çok kullanılan transfer fonksiyonları	38
Tablo 6.1 Eğitimde kullanılan ağ parametreler	58
Tablo 6.2 Verilen iterasyona karşılık gelen hata değerleri	61
Tablo 6.3 Verilen iterasyon ile test sonucu oluşan hata değerleri	64



ÖZET

Anahtar kelimeler: Yapay Sinir Ağları, Çimento Harmanlama Prosesi, Farin

Bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerin sonucu, klasik yöntemler ile çözümü zor olan veya çözümsüz kalan problemler etkin bir sonuca ulaşabilmektedir.

Çimento hammaddesini oluşturan kimyasal bileşimi en uygun şekilde ayarlamak gerekmektedir. Çimento fabrikalarında verimli ve kârlı bir üretimin anahtarı, istenilen kimyasal kompozisyonda hammadde karışımını elde etmek ve bu özelliğin korunarak harmanlanmış malzemenin fırına beslenmesinde yatmaktadır. Bu çalışmada, çimento harmanlama prosesinin Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemi kullanılarak modellenmesi gerçekleştirilmiş ve bu sayede farindeki oksit karışımları için istenen değerlerin ideale yakın olarak elde edilmesi amaçlanmıştır.

Bu amaçla oluşturulan program girdileri; çimento hammaddeleri olan kalker, kil ve demir cevheridir. Program çıktıları ise farindeki dört ana oksit SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve CaO 'dir. Böylece Yapay Sinir Ağı için üç giriş nöronu, dört çıkış nöronu bulunmaktadır. Yapay Sinir Ağını oluşturmak için geri yayılım ağı modeli kullanılmıştır. Eğitim setindeki giriş-çıkış verileri ile ağın eğitimi, test setindeki giriş-çıkış verileriyle de ağın testi gerçekleştirilmiştir. Eğitim ve test sırasında verilen iterasyon sayısı ile programın çalışması sonucu oluşan hata değeri arasındaki eğri oluşturulmuştur. Ayrıca programa ait sonuçlar ile istenen çıkış değerleri karşılaştırılarak grafikleri elde edilmiştir.

SUMMARY

MATHEMATICAL MODELLING OF MIXTURE OF CEMENT RAW MATERIAL WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

Key Words: Artificial Neural Networks, Mixture of Cement Raw Material, Farin

Development in computer technology cause to conclude problems can not solve or solve difficulty with classical method.

Chemical composition form raw material of cement need to regulated most suitable. Key of profitable and adavantageous, a production in factories of cement is caused of obtaining mixture of raw material wanted in chemical composition and blending material.

In this study, to be modelled of mixture of cement raw material with using artificial neural networks is made real. In that way forming of values, are wanted, for mixture of oxide in farin, with minimum error is armed.

Program inputs, which formed for the aim, are low material, high material and iron ore that are raw material of cement. Program outputs are SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 and CaO that are four main oxide in farin, however. In this way, artificial neural networks there is three input neurons and four output neurons for the artificial neural networks. Back propagation network model is used the form artificial neural networks. Training of network with input-output data in training set and test of network with input-output data in test set is made real. Crooked is between error value that take form and of running of program and number of iteration that take during the training and test. Besides; resuts which is belonging to program, and output value, was compared and their graphics was obtained.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Çimentonun temel inşaat malzemelerinden biri olması ve fabrika, yol, köprü hava alanı, baraj, konut vb. gibi yapıların inşaatında önemli oranda kullanılması çimento teknolojisini, en fazla gelişme gösteren alanlardan biri haline getirmiştir.

Ülkemizde de önemli sanayi ürünlerinden biri olan çimentonun portlant, beyaz, traslı ve cürüflü gibi çeşitli türleri üretilmekte ve yurt içi ihtiyacını karşıladığı gibi diğer ülkelere de ihraç edilmektedir. Fakat çimento sektörü her ne kadar büyük bir pazara sahip gibi görünse de dünyadaki tüm sektör göz önüne alındığında oldukça büyük bir rekabetin ortaya çıkması kaçınılmaz olmaktadır.

Rekabet ortamının büyük bir hız ile geliştiği günümüzde, hammadde kullanarak mamul üreten firmaların varlıklarını sürdürebilmelerinin ve pay sahibi oldukları pazarda genişleyebilmelerinin ana şartının daha iyi üretmek olduğu anlaşılır [1]. Bu da kontrollü üretimi ve beraberinde otomasyonu getirir.

Bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler günümüzde bir çok konuda uygulama alanı bulmuştur. Bu sayede personel maliyetlerinin düşürülmesi, hammadde, enerji ve diğer üretim girdilerinde maksimum tasarruf sağlanması, ürünün kalitesi ve kapasitesinin artırılması gibi faydalar sağlanmıştır. Bu gelişmelere paralel olarak bilgisayar çimento teknolojisine de girmiştir.

Çimento fabrikalarında kullanılan hammaddelerin genellikle % 100'ü doğal oluşumlardır. Hammaddenin çıkarıldığı kaynaktaki jeolojik değişiklikler nedeniyle, hammaddenin kimyasal, fiziksel ve mineralojik özellikleri farklılık göstermektedir. Her hammadde karışımının, üretim süreci içerisindeki davranışı farklı olmaktadır.

İstene kalitede çimento üretimi için; kaliteli hammaddeden başlayarak, uygun karışım, iyi pişirme, seri soğutma, ince öğütme gibi istenen fiziki özellikleri ve kimyasal yapıyı sağlamak gerekir [2].

Çimento kalitesine etki eden en önemli faktörlerden biri de, çimento hammaddesini oluşturan kimyasal bileşimi en uygun bir şekilde ayarlamaktır. Çimento fabrikalarında verimli ve karlı bir üretimin anahtarı, istenen kimyasal kompozisyonda hammadde karışımını elde etmek ve bu özelliğin korunarak harmanlanmış malzemenin fırına beslenmesinde yatmaktadır. Bu nedenle harmanın doğru bileşimini elde etmek için, bilgisayar kontrollü harman oranlama sistemleri gerekmektedir.

Hammadde karışım prosesinde kullanılan kontrol sistemleri, üretilen klinker kalitesinin yüksek olmasını sağlamanın yanında fırının kararlı çalışmasında da etkilidir. Ayrıca fırında pişirme esnasında harcanan yakıt miktarını önemli derecede etkilemektedir. Fırına istenilen incelik ve kimyasal kompozisyonda hammadde verilebilmesi fırın kapasitesinin ve dolayısıyla ısı verimliliğinin artmasına neden olur.

Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında, hammadde karışımını kontrol etme imkanı sağlayacak bir matematik model geliştirilmiştir. Matematik model Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemi kullanarak gerçekleştirilmiş ve bu sayede çimento harmanlama prosesi için farindeki oksit karışımlarına ait istenen değerlerin ideale yakın olarak elde edilmesi amaçlanmıştır.

Çalışmada sırası ile, ikinci bölümde çimento hammaddeleri, üçüncü bölümde çimento üretimi, dördüncü bölümde çimento hammadde karışımı, beşinci bölümde yapay sinir ağları, altıncı bölümde çimento hammadde karışım prosesinin yapay sinir ağları ile modellenmesi, yedinci bölümde sonuçlar ve sekizinci bölümde tartışmalar ve öneriler bulunmaktadır.

BÖLÜM 2. ÇİMENTO HAMMADDELERİ

2.1. Çimentonun Tanımı

Çimento; başlıca silisyum (Si), alüminyum (Al), kalsiyum (Ca), ve demir oksitleri (Fe_2O_3) içeren hammaddelerin, teknolojik metotlarla sinterleşme derecesine kadar pişirilmesi ile elde edilen yarı mamul madde klinkerin, tek veya daha fazla cins katkı maddesi ile öğütülmesi sonucu elde edilen hidrolik bağlayıcıdır. [3]

Havada veya su altında sertleşebilen ve sertleştikten sonra suda çözünmeyen bağlayıcı maddeler için " hidrolik bağlayıcı" deyimini kullanılmaktadır. Çimento da bir çeşit hidrolik bağlayıcıdır.

2.2. Çimento Hammaddelerinin Tanımı

Çimento üretiminde kullanılan ana hammaddeler jeolojide sedimenter kayalar olarak bilinen kalker, kil ve marndır. Klinker üretiminin ana komponentleri olan oksitlerden; CaO için kalker, SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 için de kil mineralleri temel kaynaklardır. Marn gibi bu dört oksidi bünyesinde bulunduran diğer malzemeler de çimento hammaddesi olarak kullanılmaktadır [4].

Bunun yanında hammadde karışımının demir oksit miktarı yetersizliğinde demir cevheri de hammadde karışımının bir bileşeni olarak kullanılmaktadır. Bunların dışında çimentonun içinde az miktarda MgO, Na, K, Ti, Mn ve kükürt oksitleri de bulunmaktadır.

2.2.1. Kalker

Kalker, kimyasal birleşiminde % 90'a kadar kalsiyum karbonat (CaCO_3) bulunan kayalara denir. Çimento yapıtaşı oluşturan ana bileşiklerin (klinker minerallerinin) hepsinin CaO li bileşikler olması nedeniyle kalker, çimento sanayinin en önemli ve yüzde olarak en yüksek miktarda kullanılan hammaddesidir. Genellikle yüksek miktarda kalsit (CaCO_3) ve çok az miktarda kuvars (SiO_2) minerallerini içerir.

Kalkerin doğada bulunan en saf şekilleri kalsit ve argonittir. Kalker karasal olarak oluşmuş bulunabilse de bir kısmı deniz altında oluşarak (değişik etkenler ile) yeryüzü üzerinde dağılmış olarak bulunur.

Kalkerlerin hangi yolla oluştuğuna bakılmaksızın, doğada buldukları durumları ile bileşimlerinde kalsiyum karbonatın yanında silikat asidi (SiO_2), kil mineralleri, demir silikat-oksit ve sülfürleri, magnezyum karbonat gibi bileşikler içerirler. Kalkerlerin içerdikleri CaCO_3 ve CaO % miktarları saflıklarını gösterir. Bileşimindeki CaCO_3 miktarı % 90'dan fazla olduğunda kalker (kireç taşı), %98,5'den fazla olduğunda saf kalker sınıfına girmektedir [5].

Ülkemizde bölgeler genelinde kalker örneklerinin kimyasal analizleri incelendiğinde, CaO miktarlarının % 51,06 ile 54,95 arasında, SiO_2 miktarlarının ise % 1,12 ile 3,87 arasında değiştiği görülmektedir [6].

Çimento sanayinde hammadde ve düzenleyici (korrektör) olarak kullanılacak kalkerlerin kalitesine, içerdikleri yabancı unsurların neden olduğu safsızlıklar doğrudan etkili olmaktadır. Çimento içerisindeki safsızlıkların, gerek klinker gerek çimentoda bulunan miktarlarını sınırlayan norm ve standartlar bulunmaktadır. Hammadde içerisindeki safsızlıkların klinkere yansımaları genel olarak hesaplamalarla değerlendirilmektedir [5].

2.2.2. Kil

Çimento üretiminin ikinci önemli hammaddesi kildir. Killerin kimyasal bileşimlerinde ana bileşen alüminyum oksit ve sulu alüminyum silikatlardır.

Killer; kaolin, montmorillonit ve illit gibi kil minerallerinin yanında önemli ölçüde demir oksit, demir sülfür, kum ve kalsit gibi kil dışı mineraller ve az miktarda organik madde içermektedir.

İçinde yabancı madde bulunmayan killer genellikle beyaz renktedir. Yabancı organik maddelerin miktar ve cinsine göre killerde renk sarıdan gri siyaha kadar değişmektedir [7].

Killer kütlece en çok SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 , bunlara göre daha az miktarda da CaO , MgO , K_2O , SO_3 ve Na_2O içerirler [7,8]. Killerin özellikleri içerdikleri kil minerallerine göre farklılık göstermektedir.

Çimento sektöründe kullanımda belirli bir standardı olmayan kil örneklerinin ülkemizde bölgeler genelinde mineralojik yapıları incelendiğinde çoğunlukla kuvars, kalsit, feldspat (albit, sanidin), dolomit, illit, muskovit, montmorillonit ve klorit mineralojik ve kimyasal özellikleri bakımından bölgelere göre çok büyük farklılıklar göstermemektedir [6].

Bölgeler genelinde kil örneklerinin kimyasal analizleri incelendiğinde,

SiO_2 % 39,47 ile 54,08

CaO % 8,08 ile 22,24

Al_2O_3 % 6,95 ile 14,53

Fe_2O_3 % 3,8 ile 7,39

MgO % 0,63 ile 2,87

aralığında değiştiği görülmektedir [6].

Killerin sertleşerek kayaç haline gelmesiyle oluşan kil taşı da çimento üretiminde kullanılır [9]. Çimento sanayinde kullanılacak killerde 900-1050⁰ C' de sinterleşme olması tercih edilir.

2.2.3. Marn

İçinde değişik oranlarda SiO₂, kil mineralleri ve demir oksit gibi safsızlıklar bulunan kireç taşına marn denir [10]. Doğada %50-70 oranında kalker, %30-50 oranında kil karışımından oluşan kayaçlar şeklinde bulunur. Kalker ve kil karışımlarını birlikte bulundurması nedeniyle marn çimento hammaddesi olarak kullanılır.

Kalker ve kil, oranlarına göre çeşitli bileşimler meydana getirir. Bunlar:

-	Kalker	: % 96-100	CaCO ₃	
-	Marnlı Kalker	: % 90-96	CaCO ₃	
-	Kalkerli Marn	: % 75-90	CaCO ₃	
-	Marn	: % 40-75	CaCO ₃	
-	Killi Marn	: % 10-40	CaCO ₃	
-	Marnlı Kil	: % 4-10	CaCO ₃	
-	Kil	: % 4' den az	CaCO ₃	içermektedir [9].

Ülkemizde çimento fabrikalarında kullanılan marn örnekleri kuvars, kalsit, feldspat (albit, sanidin), illit, muskovit, klorit ve montmorillonit içeriklidir. Kil örneklerinde olduğu gibi marn örneklerinde de bölgelere göre çok büyük değişikliklere rastlanmamıştır. Bölgeler genelinde marn örneklerinin kimyasal analizleri incelendiğinde,

CaO % 29,26 ile 40,22

SiO₂ % 17,73 ile 28,70

Al₂O₃ % 4,03 ile 7,46

Fe₂O₃ % 1,61 ile 3,16

MgO % 0,95 ile 2,57

aralığında değiştiği görülmektedir [6].

Çimento yapımında, genellikle %70 kalker ve %30 kil içeren marnlı kalker kullanılması klinkerin kimyasal bileşimine en yakın doğal kayaç olduğu için tercih edilmektedir.

2.2.4. Demir cevheri

Sanayinin en önemli hammaddelerinden biri olan demir, saf halde gümüş parlaklığında olup kolayca oksitlendiğinden doğada serbest durumda çok az bulunur.

Demirin oksijen ile birleşmesi suretiyle içinde Fe_2O_3 bulunan bileşimler şunlardır:

- Wüstit : % 12 Fe_2O_3
- Manyetit : Fe_3O_4
- Hematit : Fe_2O_3
- Limonit : $Fe_2O_3, 3H_2O$

Çimento sanayinde kullanılması gereken demir oksit, hematit veya limonittir. [9]Hematitin bileşiminde % 70 Fe ve % 30 O_2 vardır. Hematitin değişiminden limonit oluşur. Saf limonitte % 82 Fe_2O_3 ve %14 H_2O vardır.

Demir cevheri, çimento üretiminde kullanılan hammaddelerdeki demir yetersizliğinde düzeltme maddesi olarak kullanılır. Demirin klinkerdeki sıvı fazı oluşturan ana bileşenlerden biri olduğu bilinmektedir. Yetersiz olduğunda klinkeri olumsuz yönde etkileyeceğinden eksikliğini telafi etmek için hammadde karışımına diğer hammaddelere göre daha az miktarda demir cevheri ilave edilir.

Çimento üretiminde kullanılan demir cevherinin mineralojik ve kimyasal bileşiminde çimentoya değişik nedenlerle zarar verecek maddelerin bulunmaması gerekir. Demir cevherinden gelebilecek yabancı ve zararlı maddeler ile bunların çimento için genel düzeydeki sınırları; kükürt için % 0,25-1,00, arsenik için % 0,5, fosfor için % 0,5'dir. Ayrıca klor korozif etkisi yarattığı için gerek demir cevheri, gerekse çimento hammaddesi içinde istenmez.

2.2.5. Alçı taşı

Kimyasal bileşimi kalsiyum sülfat (CaSO_4) olan alçı taşı, deniz suyunun buharlaşması neticesinde oluşan bir tortul kayadır. Lif taneli, levha, yaprak veya kompakt olarak bulunabilir. Alçı taşı çimento üretiminde genellikle maden ocağından çıktığı kalitesi ile bir işleme tabi tutulmadan kullanılır.

Ülkemizde bölgeler genelinde alçı taşı örneklerinin kimyasal analizleri incelendiğinde, SO_3 miktarlarının %42,40 ile 44,83 arasında, CaO miktarlarının ise %31,72 ile 32,90 arasında değiştiği görülmektedir [6].

2.2.6. Silis

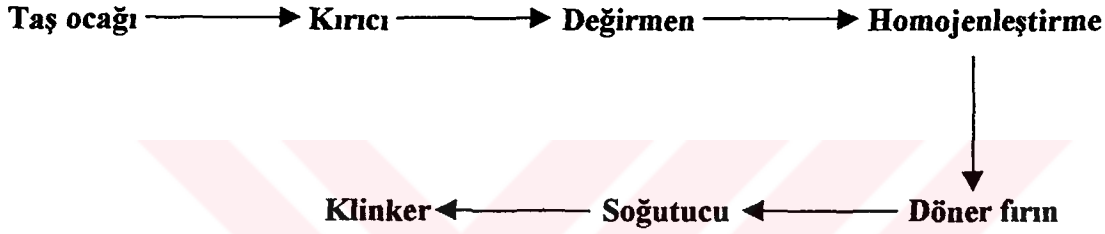
Kimyasal bileşimi SiO_2 olan ve doğada hidrotermal şekilde oluşan silis, bu oluşumların tabii bir neticesi olan kuvarstır. Birçok magmatik kayacın bileşiminde önemli bir yeri vardır. Yer kabuğunda silis kristalleri kütleler halinde bulunur ve en çok bulunan minerallerden biri olan kuvars üç sınıfa ayrılabilir.

- Kristalin kuvars
- Gizli kristalin kuvars
- Opal

BÖLÜM 3. ÇİMENTO ÜRETİM TEKNOLOJİSİ

3.1. Çimento Üretimi

Çimento fabrikalarında klinker üretimi akış şeması Şekil 3.1'de verilmiştir [11].



Şekil 3.1 Klinker üretimi akış şeması blok diyagramı

Çimento üretim sistemi genel olarak aşağıdaki sıralamayla özetlenebilir.

1. Çimento hammaddesi kalker, kil veya marn, genel olarak hammadde ocakları denilen yerlerde tabakalar, tortul kütleler veya yığılmalar halinde bulunur. Bu hammaddeler ocaklarından alınarak kırıcıya gönderilir.
2. Kırıcıdan boyutları küçülerek geçen hammadde stoklanır.
3. Stoktan alınan hammadde değirmende öğütülür. Kullanım amacına uygun çimentonun üretimi, klinkerin kimyasal bileşim yüzdesine bağlı olduğundan hammadde bileşiminin önceden belirlenip buna göre hazırlanması gerekir. Kalker ve kilin bileşen yüzdelere göre hammadde içindeki oranları çeşitli metotlarla belirlenir. Belirli oranlarda kil ve kalker karışımından oluşan hammadde karışımına "farin" adı verilir.

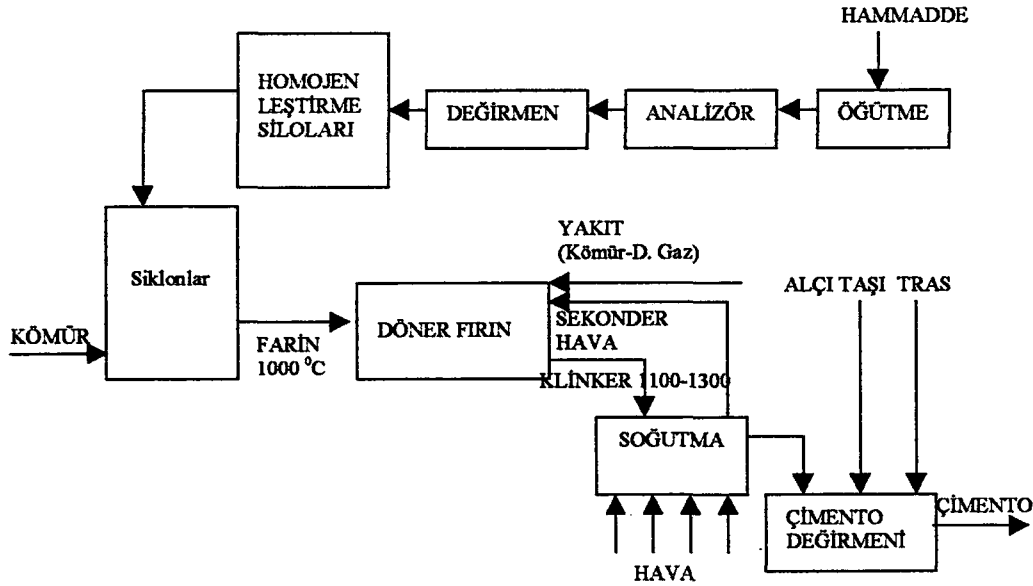
O halde istenen kalitedeki çimentoyu üretmek için hammadde karışım oranlarını iyi ayarlayıp farin içindeki oksit karışımlarına ait ideal değerleri elde etmek gerekir.

4. Elde edilen farin silolarda depolanır.
5. Daha sonra, döner fırına girmeden önce ön ısıtma için ısı değiştiricilerinden geçirilir.
6. Döner fırına verilen farin 1400-1500 °C sıcaklıkta pişirilir. Hammaddenin karışım oranı ve pişirme sıcaklığı mukavemet açısından önemli bir faktördür. Yaklaşık 700-900 °C arasında kalsiyum karbonat (CaCO_3) kalsine olmaktadır. Kalsinasyon; CaCO_3 'teki CO_2 'in alınarak CaO 'in oluşturulmasıdır. Kalsinasyon sonucu oluşan kalsiyum oksit (CaO) kuvvetli bir bazik oksit olup sıcaklığı yükseldikçe diğer maddelerle doğrudan doğruya reaksiyona girer ve böylece silikatlar ve alüminatlar teşekkül eder. Fırındaki hammadde sıcaklığı 1200 °C' nin üzerine çıktığında farin gri renk alır. Sıcaklık 1350 °C' ye gelirken sinterleşme başlar ve 1400-1500 °C' de tamamlanır [9].

Böylece farinin pişmesi sonucu elde edilen, yeşilimsi siyah renk alan ürüne "klinker" adı verilir.

7. Fırından 1200-1300 °C sıcaklıkta çıkan klinker, soğutucuda 50-150 °C sıcaklığa kadar soğutulur.
8. Soğutulan klinker depolanır.
9. Çimento değirmeninde klinker, eklenen alçı taşı ve katkı maddeleri ile öğütülerek çimento elde edilir.
10. Son olarak çimento pompalanarak silolara doldurulur, torbalanarak veya dökme çimento olarak pazarlanır.

Ana hatlarıyla çimento üretimi şeması Şekil 3.2'de görülmektedir [9].



Şekil 3.2 Ana hatlarıyla çimento üretimi şeması

3.2. Çimento Üretim Sistemleri

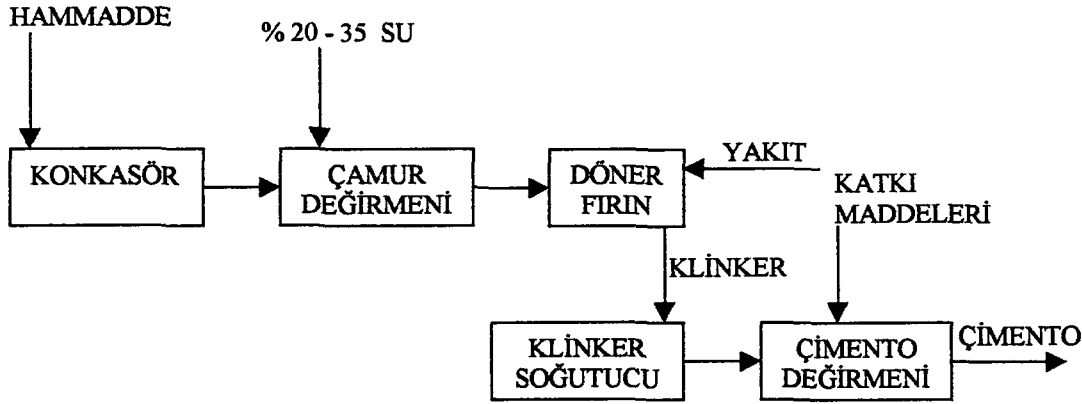
Çimento üretiminde genellikle yaş ve kuru sistem olmak üzere iki yöntem kullanılmaktadır. Bu iki sistemin yanında bunların karışımından oluşan yarı yaş bir sistem daha bulunmaktadır.

Hangi üretim yönteminin seçileceği, malzeme özellikleri ve daha çok yakıt ekonomisine bağlıdır. Yaş sistem daha fazla yakıt gerektirdiğinden yeni kurulan fabrikalarda eğer malzeme uygunsa kuru ve yarı yaş yöntemler tercih edilmelidir. Buna karşılık malzemeleri kuru halde üretmek daha zordur [12].

3.2.1. Yaş sistem çimento üretimi

Yaş sistem çimento üretiminde hammaddelerin öğütülmesi ve karıştırılması su içinde yapılır. Hammadde döner fırına çamur halinde verilir. Çamurun içerdiği su miktarı hammaddenin yapısına göre % 20-35 arasında değişmektedir.

Yaş sistem çimento üretimi şematik olarak Şekil 3.3'de gösterilmiştir [9].



Şekil 3.3 Ana hatları ile yaş sistem çimento üretimi

Ocaklardan alınmış olan hammadde konkasörlerde kırılır ve öğütme değirmenine gönderilir. Burada su ile karıştırılıp öğütüldükten sonra çakıl ve iri parçalardan ayrılması için eleklerden geçirilir ve çamur havuzlarında toplanan çamur, pompalarla çamur silolarına gönderilir. Silolarda karıştırıcılarla homojene edilen çamur, silo altlarında bulunan çamur tahliye boruları ile çamur pompa havuzlarına ve buradan pompalar yardımıyla döner fırına gönderilir. Hafif eğimli yatay bir silindir görünüşündeki döner fırına üst başından çamur verilirken, alt başından sıcak hava ve ateşlenmiş yakıt püskürtülür.

Yaş sistem ile üretim yapan bir döner fırın; kurutma, ön ısıtma, kalsinasyon ve sinterleme olmak üzere dört bölgeden oluşur.

Kurutma ve ön ısıtma bölgesi; çamurun karıştırılması, kurutulması, ön ısıtılması ve fırın içerisine doğru hareketini sağlar. Bu bölge 20-25 m uzunluğundadır [9].

Kurutma ve ön ısıtma bölgesinin bitiminden sonraki 45-50 m'lik kısım kalsinasyon bölgesidir. Bu bölgede sıcaklık 800-900 °C kadardır. Bundan sonraki 15-20 m'lik kısım sinter bölgesidir. Bu kısım fırının en yüksek sıcaklığa (1300-1500 °C) sahip olduğu bölgedir. Sinter bölgesinin sonunda, klinker ısıısının bir kısmının fırın gazlarına transfer olduğu kesim "klinker havuzlama bölgesi" olarak adlandırılır ve klinker burada soğutucuya gönderilir [9].

3.2.2. Kuru sistem çimento üretimi

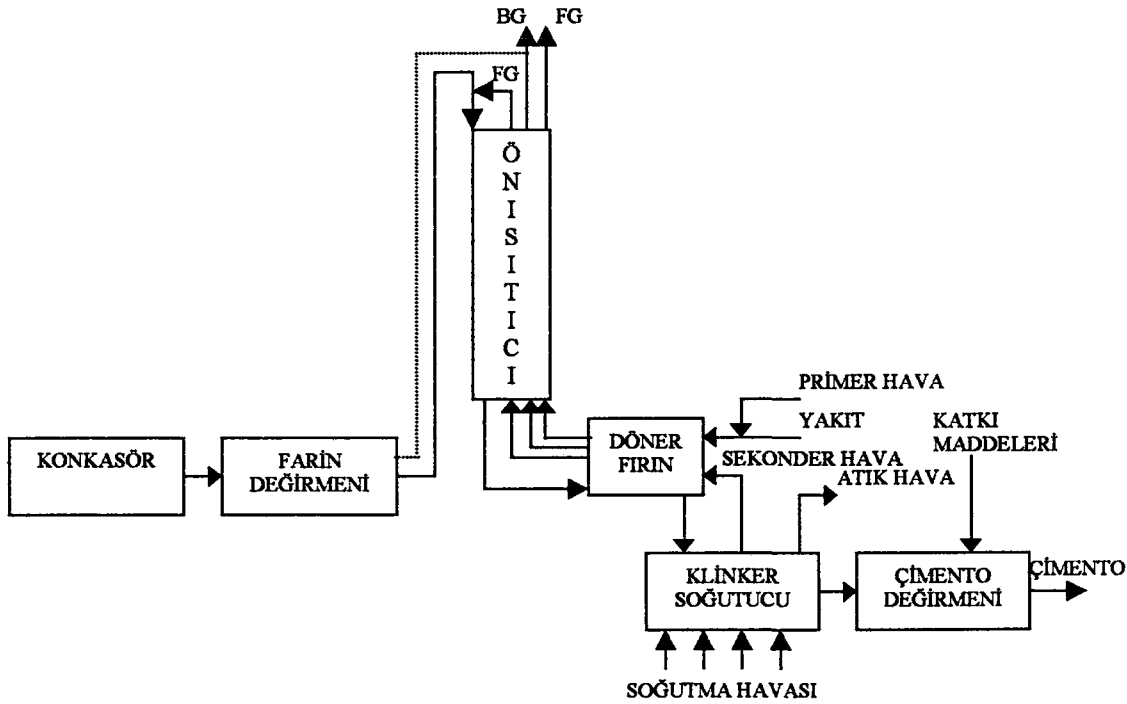
Kuru sistem çimento üretimi, yaş sistemdeki fazla enerji tüketimi ve ısı maliyetindeki artışlar nedeniyle ortaya çıkmıştır. Hammadde fırına kuru olarak beslendiğinden yaş sistemde olduğu gibi çamurdaki suyun buharlaştırılması için gerekli ısıya ve dolayısıyla enerjiye gerek yoktur. Ayrıca kuru sistem fırınlarda kurutma ve ön ısıtma süreçleri fırın dışında gerçekleşir.

Kuru sistem çimento üretiminde daha çok ön ısıtıcı siklonlu ve ön kalsinatörlü yöntemler kullanılmaktadır.

3.2.2.1. Ön ısıtıcı siklonlu kuru sistem

Çimento üretiminde ön ısıtıcı siklonların kullanılmasıyla fırını 900-1150 °C'de terk eden sıcak fırın gazlarının enerjisinden faydalanılmaktadır. Bu gerçekleşirken hammaddenin kurutulması, ön ısıtılması ve kısmen kalsinasyonu fırın dışında olmakta, dolayısıyla fırının üretim kapasitesi yaş sisteme kıyasla oldukça fazla artmaktadır. Ayrıca fırın boyutlarında azalma sağlanmaktadır.

Şekil 3.4'de şematik olarak verilen ön ısıtıcı siklonlu kuru sistem çimento üretiminde, taş ocaklarından getirilen hammadde, konkasörde kırıldıktan sonra farin değirmenlerinde hem kurutulması hem de ince öğütülmesi yapılır. İnce öğütülen farin, silolara alınarak burada istenen titrasyonda homojene edilerek ön ısıtıcı siklon ünitesine gönderilir. Bu üniteye farin, kalan nemden kurutma, ön ısıtma ve kısmen kalsinasyon (yaklaşık % 30-50'ye kadar) işlemine tabi tutularak döner fırına girer. Döner fırında kalsinasyon ve sinterleşme süreçlerinden geçerek klinker halini alan farin soğutucuya verilerek soğutulduktan sonra çimento değirmeninde katkı maddeleriyle öğütülerek çimento elde edilir [9].



Şekil 3.4. Ön ısıtıcı siklonlu kuru sistem çimento üretimi

3.2.2.2. Ön kalsinatörlü kuru sistem

Ön kalsinatörlü sistem, ön ısıtıcılı sistem ile hemen hemen aynıdır. Yalnız bu sistemde, ön ısıtıcı siklon ile fırın arasında kalsinatör ünitesi bulunmaktadır. 1970'lerde başlayan büyük kapasiteli fırınlara doğru olan akım, dolayısıyla büyüyen fırın ebatları, fırındaki refakter malzeme aşınmasında büyük artışlara sebep olmuş ve problemlere yol açmıştır. Fırın çapı, ısı yüküne ve gaz hızına göre belirlendiğinden kalsinasyon için ön ısıtıcıya yakıt verme fikri doğmuştur. Böylece kalsinatörlü ön ısıtıcılar ortaya çıkmış ve farin, fırın gazlarının yanında yakıtın direkt ateşlenmesiyle oluşan ısıdan da yararlanarak ısıtılma ve kalsine edilmeye başlanmıştır [9].

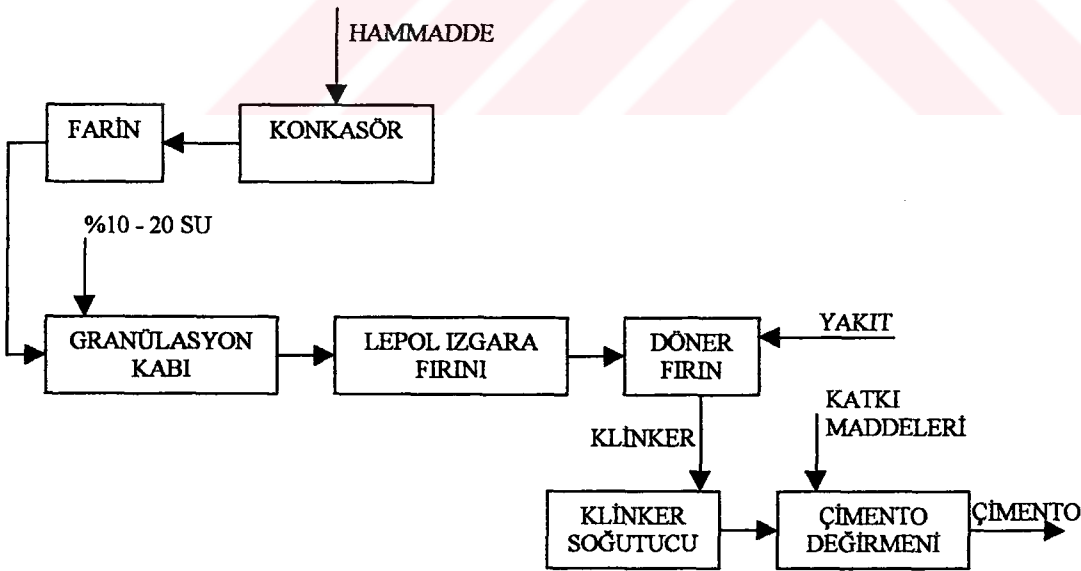
Kalsinatörde kalsinasyon işleminin yanında yanma olayı da gerçekleşmektedir. Yakıtın yanmasıyla ortaya çıkan ısı belirli bir sıcaklıktan sonra farin kalsinasyonu için kullanılarak gazın sıcaklığı sabit kalmaktadır. Yakıttan elde edilen ısının uzatılan kalsinasyon süresine göre ayarlanması özellikle iri taneler için önemlidir.

Ön kalsinasyon yaş ve kuru sistem fırınlara uygulanmaktadır. Bu durumda aynı fırın boyu için kapasite dört katına kadar artırılabilmekte ve özgül ısı tüketiminde kayda değer miktarlarda azalma sağlanabilmektedir [9].

3.2.3. Yarı yaş sistem çimento üretimi

Yaş sistemde ısı ve dolayısıyla enerji tüketiminin çok fazla olması nedeniyle hammaddeye ilave edilen suyun azaltılması yönünde yapılan çalışmalar, fırın girişine bir ön ısıtıcı ızgara ilavesiyle daha kısa bir fırına sahip yarı yaş sistemi ortaya çıkarmıştır.

Yarı yaş sistem çimento üretimi Şekil 3.5'de şematik olarak gösterilmiştir. Isıtma ve kurutma işlemleri fırın çıkışındaki baca gazlarıyla gerçekleştirilmekte ve fırın boyu 40-70 m'ye düşürülmektedir. Yarı yaş sistemde değirmenden alınan hammadde sırasıyla hammadde silolarına, bunkere ve granülasyon ünitesine alınmaktadır. Burada üzerine belli miktarda su püskürtülen farin daha döner fırına beslenir [9].



Şekil 3.5. Ana hatlarıyla yarı yaş çimento üretimi

BÖLÜM 4. ÇİMENTO HAMMADDE KARIŞIMI

4.1. Fiziksel Parametreler

Fiziksel parametrelerin hammadde ocaklarından itibaren dikkate alınması gerekmektedir. Bunlar birbirine bağlı olmakta ve fırın rejimini etkilemektedir. Fırına verilmek üzere hazırlanan çimento hammadde karışımı olan farinin fiziksel parametreleri su özellikleri etkilenmektedir.

4.1.1. Hammaddenin homojenlik derecesi

Fırına verilen bileşimin homojenliği, farinin iyi bir şekilde sinterleşmesinde oldukça önemli bir faktördür. Karmaşık ve homojen olmayan malzemeden hazırlanan bir karışım kullanıldığında fırının performansını denetim altında tutmak mümkün olmamaktadır. Homojen olmayan malzeme kullanılacaksa genelde tesis kurulurken bir ön karıştırıcı da ilave edilmektedir. Ön karıştırma işlemi, hammaddenin heterojenlik düzeyine, otomatik denetim sistemlerinin olup olmasına ve karıştırma derecesine göre yapılmalıdır [9].

Ön karıştırıcı sistemler maliyeti oldukça artırmaktadır. Bunun yanında sistem otomatik kontrollü olursa, analiz sistemi ile değirmene giriş arasındaki geri besleme devresi çok duyarlı olmalı ve hammaddedeki tenör dalgalanmalarını hemen düzeltebilecek hızda çalışmalıdır ki, heterojen karakter gösteren bir hammadde karışımından homojen bir değirmen ürünü almak mümkün olabilsin. Bu sistemler de maliyete etki edecek ve daha da artıracaktır.

Bütün bu faktörler göz önüne alındığında, tesis, işletme, bakım ve üretim maliyetlerinin etkilendiği görülmektedir.

4.1.2. Hammaddenin inceliği

Hammaddenin ince öğütülmesi ile yüzey alanın büyük olması sağlanmakta ve dolayısıyla sinterleşme daha kolay olmaktadır. Ayrıca farinin inceliğiyle orantılı olarak yakıt tüketimi ve pişirme ısı azalmakta ve bunun sürekliliğinin sağlanmasıyla ekonomik anlamda büyük faydalar sağlanmaktadır.

Tane büyüklüğü dağılımı kullanılan hammaddenin özelliğine ve içindeki komponentlere göre değişik olmaktadır. Genellikle PÇ'da fırına verilen malın inceliğinin 170-BSS elek üstünün % 12 ve 72-BSS üstünün de % 2,6 olacak şekilde ayarlanması istenir [9]. Hammaddenin gereğinden fazla öğütülmesi de yakıttan tasarruf etmek isterken fazla enerji kullanmayı gerektireceğinden önerilmemektedir.

4.1.3. Farinin homojenliği

Enerji tüketimini azaltmak ve homojen kalitede bir çimento üretmek için; yakıttan en yüksek ölçüde yararlanacak şekilde fırın etkinliğini artırmak, öğütmeden önce hammaddenin kimyasal özellikleri açısından fazla farklılık göstermemesini sağlamak, öğütme sırasında farin bileşimini denetleyebilmek ve pişirmek için malı fırına vermeden iyi bir karıştırma ve harmanlama yapabilmek gözetilmesi gereken en önemli konulardadır. İyi bir harmanlama ile fırına sabit bileşim özellikte mal verilmesi sağlanır [9].

Fırına verilen malın % CaCO_3 cinsinden titrasyonun %0,2'den fazla oynamaması gerekir. CaCO_3 miktarında %1'lik bir artış C_3S 'in %13'e çıkmasına ve C_2S 'in da %11,5 civarında azalmasına neden olur. Fırına homojen olmayan mal verildiği zaman klinker kalitesi bozulacağı gibi pişme sırasında da sorunlar ortaya çıkacaktır. Harmanlama faktörü de değirmenden çıkan malın değişkenlerine bağlı olarak fabrikadan fabrikaya değişmektedir.

Homojenizasyon, çimento üretiminde klinker ve çimento kalitesini ve ayrıca ana üretim birimlerinin ekonomik çalışmasını büyük ölçüde etkilemektedir.

4.2. Hammadde Karışım Miktarının Tayini

Çimentoyu oluşturan hammadde karışımının ana bileşenlerinin kütle yüzdelerine göre CaO, SiO₂, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ şeklinde olduğu bilinmektedir.

Çimento hammadde karışımının hesaplanmasındaki amaç, klinkerin istenen kimyasal ve mineralojik kompozisyonda olmasını sağlamak ve böylece üretilen çimentonun özelliklerini belirli sınırlar içerisinde tutabilmektedir.

4.2.1. Kimyasal parametreler

İstenen özelliklerde çimento üretimine uygun bir hammadde karışımını hazırlamak için kullanılan kil ve kalkerin karışım oranları, hidrolik modül, silika modülü, alümin modülü, kireç doygunluk faktörü ve kireç standardı gibi kimyasal modüllere bağlı olarak belirlenmektedir.

4.2.1.1. Hidrolik modül (HM)

$$HM = \frac{CaO}{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3} = 1,7 - 2,3 \quad \text{veya kısaca} \quad HM = \frac{C}{S + A + F} \quad (4.1)$$

Hidrolik modül (HM) genellikle 1,7–2,3 değerleri arasında sınırlandırılmaktadır. Kalitesi iyi olan çimentolarda genellikle hidrolik modülün 2 civarında olduğu görülmüştür [7,14]. Hidrolik modülü 1,7'den küçük olan çimentoların çoğunlukla yeterli dayanıma sahip olmadığı tespit edilmiştir. Hidrolik modülü 2,3'den daha yüksek olan çimentolarda ise hacim stabiliteilerinin (dengeleri) oldukça kötü olduğu görülmüştür.

HM yükseldikçe, klinkerin pişmesi için daha fazla ısı gerekmekte, mukavemetler özellikle başlangıç dayanımı ve hidrasyon ısısı artmakta, buna karşın kimyasal etkilere karşı direnç kabiliyeti azalmaktadır [7].

Çimento hakkında daha iyi karar verebilmek için hidrolik modülü tamamlayan silika ve alümin modülleri de kullanılmaktadır.

4.2.1.2. Silika modülü (SM)

Silika modülü farinin fırın içerisindeki durumunu ve klinker kalitesini etkilemesi açısından önemli bir parametredir [13].

Çimentodaki SiO_2 miktarının, Al_2O_3 ve Fe_2O_3 miktarına oranı olup şöyle ifade edilmektedir.

$$SM = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3} = 1,9 - 3,2 \quad \text{veya kısaca} \quad SM = \frac{S}{A + F} \quad (4.2)$$

Silika modülü (SM) genellikle 1,9-3,2 değerleri arasında değişmektedir. SM için en uygun değerler 2,2-2,6 arasındadır [10,7,14]. Silika modülü farinin fırın içindeki durumunu ve klinker kalitesini etkilemesi açısından en önemli parametrelerden biridir.

Al_2O_3 ve Fe_2O_3 miktarının azalıp SiO_2 miktarının artması döner fırındaki yanma işlemlerinin yetersiz olmasına yani pişme gücüne, daha fazla yakıt kullanımına, sinterleşmenin zor olmasına ve daha yüksek ısılarda pişirme gerekliliğine neden olmaktadır. Ayrıca yüksek SM, çimentonun donma başlangıcını geciktirmesi (yavaş priz olması) ve geç dayanım kazanması, fırın astarının aşınması gibi istenmeyen etkiler yapmaktadır.

Düşük silika modülüne sahip farinler, kolay sinterleşir, kolay anzast oluşturur ve erken dayanım değerleri veren çabuk sertleşen çimento üretimine uygundur. Silika modülü çok düşük olan hammadde karışımları ile çalışıldığında zaman zaman üretimi sekteye uğratabilecek kadar kemer oluşumu nedeniyle fırının bloke olması tehlikesi ortaya çıkmaktadır [9].

SM değeri her fabrikaya göre değişik olabilmektedir. Buna gerek farinin mineralojik bileşimi, gerekse diğer kimyasal parametreler neden olmaktadır. Bu yüzden silika modüllerinde problemi olan fabrikalar için, hammadde karışımlarına ait en ekonomik ve optimum pişmeyi sağlayacak oranları, değişik hammadde karışımlarını sinterleştirerek deneysel olarak saptamalarının en uygun yol olduğu önerilmektedir.

4.2.1.3. Alümin modülü (AM)

Alümin modülü çimentoyu alüminyum oksidin demir okside olan ağırlık oranısıyla karakterize eder.

$$AM = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3} = 1,3 - 1,6 \quad \text{veya kısaca} \quad AM = \frac{A}{F} \quad (4.3)$$

Genellikle iyi kalitede bir klinker elde etmek ve en ekonomik sinterleşmeyi sağlamak için AM'nün 1,3-1,6 arasında olması istenmektedir. Yapılan deney ve gözlemler en iyi klinkerleşmenin , en düşük ısıda en çok sıvı oluşumunun sağlandığı AM'nün 1,38 değerinde meydana geldiğini göstermiştir [15].

Alümin modülünün düşük olması çimento bileşenlerinin düşük ıslarda oluşmasını sağlar. Bu modülün yüksek olması halinde pişme güçleşir ve yakıt sarfiyatı fazla olur [13]. Demir oranının yüksek değerleri, demirin çoğunlukla çimento bileşiklerinin oluşumunu kolaylaştırması nedeniyle, pişmeyi kolaylaştırır ve maliyetin düşmesini sağlar. Buna karşın yine demir oranının yüksek olması sert ve yoğunluğu fazla bir klinker oluşturur ki bu da öğütmede zorluklara sebep olarak üretim maliyetini artırır.

İçeriğinde yüksek miktarda alüminyum bulunduran bir farin, çimentonun çabuk priz olmasına (donmasına) ve ilk dayanımların yüksek olmasına neden olmaktadır. Fe₂O₃ miktarının artırılmasıyla C₃A oranı düşerken C₄AF oranı da artmaktadır. Çimentonun içeriğindeki C₃A miktarının düşük olması, düşük hidrasyon ısıları nedeniyle deniz suyuna ve benzer aşındırıcı etkilere karşı çimentonun dayanımının yüksek olmasını sağlamaktadır.

Alümin modülü klinkerdeki likit faz bileşimini tayin etmektedir. AM 0,637 civarında ise her iki oksit (Al_2O_3 ve Fe_2O_3) moleküler oranlarında bulunuyorlar demektir. Böylece klinkerde sadece C_4AF oluşabilir ve bu yüzden çimento içinde C_3A bulunamaz. Bu, çimentonun düşük hidratasyon ısı, yavaş yavaş donma ve az büzülme gibi özelliklere sahip olmasına neden olur [7].

4.2.1.4. Kireç standardı (LS)

CaO miktarının, hammadde karışımında bulunan diğer bileşenlere göre dikkatle hesaplanması gerekmektedir. Fırına verilen kireç miktarı yüksek olduğunda farinin çok zor pişmesinin yanında üretilen çimentoda çürük ve kalitesi düşük olur, geç donar ve daha ilk günlerde yüksek dayanım değerleri verir. Buna karşılık, kireç miktarı düşük olursa, C_3S fazının az oluşumu nedeniyle dayanımları da düşük olur ve eğer karışım fazla pişirilmişse çabuk donma olur [9,15].

Kireç standardı (LS) C_3S miktarı için kullanılmaktadır. Çünkü bütün normal çimentolarda, hiçbir komponente bağlanmamış olan serbest kireç bulunmaktadır ki bunun C_3S üretimine hiçbir katkısı yoktur. Bu yüzden kireç standardı (LS) kullanılmaktadır ve bu faktörü kireç doygunluk faktöründen (LSF) ayıran fark sadece serbest kirecin hesaba katılmasıdır.

$$LS = \frac{CaO}{2,8(SiO_2) + 1,18(Al_2O_3) + 0,65(Fe_2O_3)} = 0,92 - 0,96 \quad (4.4)$$

Genellikle portland çimentosu üretiminde iyi kalitede bir klinker elde etmek için LS 0,92-0,96 değerleri arasında tutulmakta ve en uygun değer 0,94 civarında olmaktadır [9,14,16].

LS düşük hammadde karışımlarındaki SiO_2 , C_3S şeklinde bağlıdır ve C_2S değeri de yüksektir. Bu şekilde üretilen çimentoların alüminyum ve silisyumu yüksek, kalitesi düşüktür. Eğer LS yüksek bir farin ise yüksek ısılarda pişebildiğinden klinkerin serbest kireç miktarı fazla olur.

4.2.1.5. Kireç doygunluk faktörü (LSF)

$$LSF = \frac{CaO - 0,7(SO_3)}{2,8(SiO_2) + 1,2(Al_2O_3) + 0,65(Fe_2O_3)} = 0,66 - 1,20 \quad (4.5)$$

Kireç doygunluk faktörü 0,66 ile 1,20 arasında değişen değerlere sahip olabilir [10,7,14]. 1,00'in üstündeki LSF, çimentoda serbest kireç bulunduğunun göstergesidir.

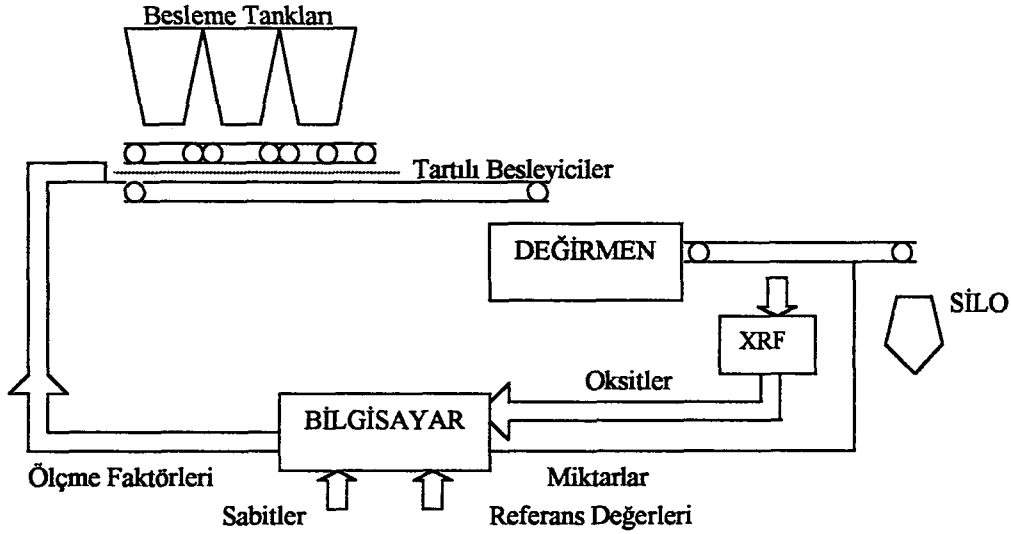
Kireç doygunluk faktörü (LSF) klinker için değil, alçı taşı ilave edilmiş çimento için kullanılmaktadır. Formülün payında görülen 0,7(SO₃) çimentodaki alçı taşından gelen ve SO₃ ile bağlı olan CaO'ü toplam CaO'den çıkarmak içindir. Buna bağlı olarak burada toplam SO₃'ün çimentoya ilave edilen alçı taşından geldiği, klinkerden gelmediği farz edilmiştir. Klinkerin tam bir doygunluğa ulaşması için toplam SiO₂'in C₃S halinde, bütün Fe₂O₃'ün eşdeğer Al₂O₃ ile C₄AF halinde ve geri kalan Al₂O₃'ün de C₃A halinde bağlanması gerekmektedir [10,14].

4.2.2. X-RAY fluoresan analizörü

X-ışını sürekli analiz yöntemi 50'li yıllarda General Elektrik tarafından geliştirilmiş ve cevher işleme ile çimento endüstrisinde uygulanabileceği düşünölmüştür [16]. Bir çimento tesisi için ilk defa 1963 yılında İsviçre'de kullanılmıştır. Halen birçok ölkede X-ışını analiz yöntemi çimento endüstrisinde harmanlama otomatik kontrolünde nihai ürün kalitesini belirleyen oksit oranlarındaki sapmaları belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. X-Ray fluoresan analiz (XRF) kontrolü ile çalışan basit bir şema Şekil 4.1'de verilmiştir [17].

Çimento prosesi için uygulanan X-ışını analiz yönteminde, kırıcı ile homojene siloları arasındaki hammadde akımından saatte 20 kg alınması uygun olmaktadır. Alınan malzeme işlenir ve X-ışını analiz yöntemine tabi tutulur. Araştırılan oksit değerleri proses bilgisayarları tarafından düzenli aralıklarla alınarak yüzde olarak hesaplanır ve hammadde karışım yığınının ortalama değerleri tespit edilir. Yığın analizi sırasında bulunan sapmalar, yeni karışım oranlarını hesaplamada ve bunlara

göre ağırlık federlerinden değirmene giden konveyör üzerine dökülecek olan hammadde miktarını hesaplamada kullanılır.



Şekil 4.1 X-ışını analizi ile çalışan harmanlama kontrolünün şematik gösterimi

Analiz için gerekli olan örnek alma işlemi yığın ve sürekli analiz olmak üzere iki türdür. Analiz için gerekli örnekler değirmen girişinden ve çıkışından alınmalıdır. Yığın analizinde değirmene giden malzeme hattı üzerinden ton başına 0,025 kg ile 0,100 kg malzemenin direkt alınması uygundur. Sürekli analiz yönteminde ise malzeme örnek alma istasyonlarından ton başına bu değerın 20 ile 40 katı kadar daha fazla alınır. Elde edilen numune homojene edildikten sonra 0,025 kg/ton ile 0,100 kg/ton arasında dökülür ve en yaygın olarak kullanılan X - ışını spektrometresi dökülen malzemeyi okur. Bu yöntem ile genellikle 6-8 kadar elementin analizi yapılır (CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ vs.). X-ışını spektrometrelerinin analiz süresi 0,5 ile 5 dakika arasında değişir. Yığın analizi belli zaman aralıklarıyla yapılırken, sürekli analiz sürekli yapılır. Bu yüzde iki yöntemin de çimento prosesinde kullanım yerleri farklıdır [18].

Çimento üretiminde değirmene giren karışımın değişimi 10-30 dakika sonra çıkış üzerinde etkisini göstermektedir. Siloya giren malzeme bileşimindeki değişimin etkileri ise 8 ile 10 saat sonra ortaya çıkmaktadır. Buna bağlı olarak değirmenin

sürekli analiz yöntemiyle silonun ise yığın analiz yöntemiyle analiz edilmesi daha uygun olmaktadır.

4.2.3. GAMMA-MATRİCS analizörü

GAMMA-MATRİCS analizörleri hızlı gama nötron aktivasyon yöntemi (Prompt Neutron Activation Analysis veya PGNA) ile çalışmaktadır. GAMMA-MATRİCS proses kontrol analizörü, 1000 ton/h akış hızına kadar bant üzerinde içinden geçen malzemeyi almaksızın doğrudan doğruya analiz eden ve her dakikada bir 12 analizin ortalamasını bildiren bir on-line analizördür. Bu analizöre bağlanan bir RAMOS software ise analizörün verdiği sonuçları değerlendirerek hammadde besleyicisine kumanda etmek suretiyle kendisine verilen hedefe en yakın karışımı sürekli olarak hazırlayan bir fonksiyona sahiptir.

Analizörler şu analizleri ve hesaplamaları otomatik olarak yapmaktadır [19].

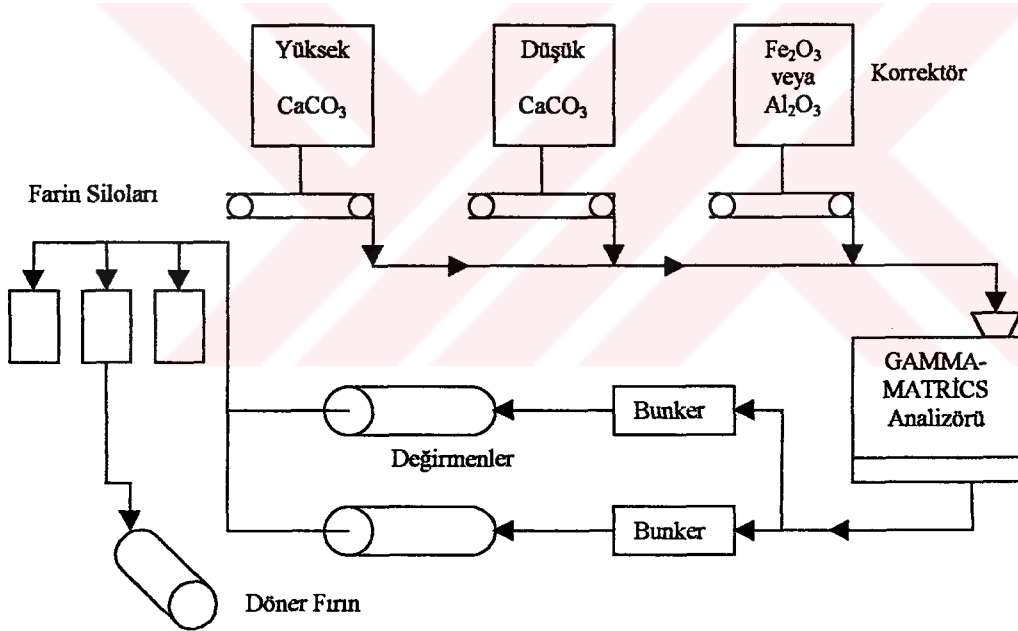
<u>Direkt</u>	<u>Bilgisayar ile</u>
Kalsiyum	Kireç doygunluk derecesi
Silisyum	Silikat faktörü
Demir	Alümin faktörü
Alüminyum	Likit faz
Magnezyum	SO ₂ oranı
Potasyum	Hidrolik faktörü
Sodyum	C ₃ S
Kükürt	C ₂ S
Klor	C ₃ A
	C ₂ F
	C ₄ AF
	Kızdırma payı

Çimento üretiminde ana hedef, en yüksek kaliteyi yakalamak ve ürünü sürekli olarak sabit kalitede üretebilmek olduğuna göre, çimento kalitesinde etkili olan oksit değerlerinden olan sapmalara hakim olarak sürekli istenen sınırlar içerisinde tutmak gerekmektedir. Bu da ancak hammaddenin değişikliklerinin kesintisiz bir şekilde

sürekli olarak takip edilmesi ve ayarlanması sonucunda fırına beslenmesiyle mümkün olmaktadır. Bu hedefe GAMMA-MATRİCS analizörü ve software kontrol sistemiyle ulaşılabılır.

GAMMA-MATRİCS analizörü kullanılarak kontrollerin yapılmasının sonucu, sadece kalitenin yüksek ve sürekli olması ve hammaddenin en verimli şekilde kullanılmasını sağlamakla kalmaz, çimento fabrikalarındaki ısıl proses sistemlerinin verimliliğini de artırır.

Şekil 4.2'de, bu çalışmanın konusu olan çimento hammadde karışımının yapay sinir ağları ile matematiksel modellenmesi için kullanılan verilerin (giriş-çıkış değerleri) alındığı Nuh Çimento A.Ş.'de GAMMA-MATRİCS cihazının uygulaması görülmektedir.



Şekil 4.2 GAMMA-MATRİCS'in Nuh Çimento'daki uygulaması

4.2.4. XRF ile GAMMA-MATRİCS analizörlerinin karşılaştırılması

1. XRF analizörleri röntgen spektrometreler olduğundan bu cihazlar analiz yapabilmeleri için numune alınmasını ve pahalı örnekleme kulelerini gerektirir. GAMMA-MATRİCS analizörü nükleer kaynaklıdır ve numune almaya ihtiyaç yoktur.

2. XRF analizörü için alınan numuneler gerçek malı tam olarak temsil edememelerine karşın GAMMA-MATRİCS analizörü kullanıldığında alınan sonuçlar, bütün mal analiz edilmiş olduğu için, hammadde yığınlarının en doğru analizlerini verir.
3. X-ışını analizinde örnekleme ve kontrol arasında uzun zaman gecikmesi vardır. Kısmen manuel kontrol gerektirir. Hızlı gama nötron aktivasyon analizi sürekli yapılır ve analiz zamanı kısadır. Bu yüzden çok hızlı kontrol sağlar, on-line uygulamalarda kullanılabilir.
4. XRF analizöründe kaliteli personele ihtiyaç duyulmaktadır. GAMMA-MATRİCS analizörünü kullanabilmek için herhangi bir özel personele ihtiyaç yoktur. analizörün konsolu merkezi kontrol odasına yerleştirilir ve analiz sonuçları, diyagramları vs. buradan takip edilir.
5. XRF analizörü sık sık kalibre edilirken GAMMA-MATRİCS analizörünü yılda bir kez kalibre etmek yeterlidir ve kalibrasyonu oldukça kolaydır.

BÖLÜM 5. YAPAY SİNİR AĞLARI

5.1. Yapay Sinir Ağlarının Tanımı

Yapay sinir ağları yada kısaca YSA; insan sinir sisteminin biyolojik yapısının ve insan beynindeki çalışma sisteminin yapay olarak benzetimi çalışmalarının bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Genel anlamada bir yapay sinir ağı insanın beynindeki bir çok nöronun, yada yapay olarak basit işlemcilerin bir birine değişik etki seviyeleriyle paralel olarak bağlanmasıyla oluşan bir bilgi işleme sistemi olarak tanımlanabilir. Kısaca, beynin bir işlevi yerine getirme yöntemini modellemek için tasarlanan bir sistemdir.

Önceleri temel tıp bilimlerinde insan beynindeki nöronların matematiksel modellenmesi çabalarıyla başlayan çalışmalar son yıllarda oldukça disipline bir hal almıştır. YSA, bugün fizik, matematik, elektrik ve bilgisayar mühendisliği vs. gibi çok farklı bilim dallarında araştırma konusu haline gelmiş ve çeşitli meslek gruplarında çalışanlar, YSA'nı kendi uzmanlık alanlarına taşımışlardır. Böylece insan zekasına has görünen bazı kavramların sayısal olarak ifade edilebileceği ve böylece makinaların insan zekasına şaşırtıcı derecede benzer yollarla öğrenme ve hatırlama işlemlerini yapabileceği görülmüştür.

YSA'nın pratik kullanımı, genelde çok farklı yapıda ve formlarda bulunabilen verileri hızlı bir şekilde tanımlama ve algılama üzerinedir [20]. YSA'nın mühendislik uygulamalarındaki geniş çaplı kullanımının en önemli nedeni, klasik tekniklerle çözümü zor olan problemlerin çözümünde etkin bir yol olmasıdır.

5.2. Yapay Sinir Ağları'nın Tarihi Gelişimi

İnsan daima kendi beyinlerinin yapısı ve çalışması hakkında merak sahibi olmuşlardır. Beynin üstün özellikleri, bilim adamlarını üzerinde çalışmaya zorlamış ve insan sinir sisteminin yapısı ve fonksiyonları hakkındaki bilgi zamanla artmıştır. Birbiri ile bağlantılı olan ve sayıları milyarları bulan nöronlar, en gelişmiş bilgisayarla kıyaslandığında bile, dev bir sistemi oluşturmaktadır. Araştırmacılar, nöronların fonksiyonları ve birbiri ile olan bağlantıları daha iyi anladıkça teorilerini test etmek amacı ile matematiksel modeller geliştirme imkanı bulmuştur. Böylece sinir modellemenin, birincisi insan sinir sisteminin fizyolojik ve psikolojik işleyişini anlamak, ikincisi de beynine benzeyen fonksiyonlar gerçekleştiren yapay sinir ağları üretmek üzere birbirini karşılıklı olarak destekleyen iki ana hedefi belirlenmiştir.

Bu gelişmelerle birlikte yapay sinir ağları ile ilgili çalışmalar 1943 yılında başlamıştır. Mc Culloch ve Pitts tarafından yapılan çalışmayla yapay nöronlardan oluşan bir ağın matematiksel ve mantıksal işlevleri yapabileceği gösterilmiştir. 1949 yılında Hebb, ağı oluşturan bağlantıları ayarlamak için ilk öğrenme kurallarını önermiştir [21].

1950 ve 1960'lı yıllarda, bir grup araştırmacı bu biyolojik gelişmeleri birleştirerek ilk yapay sinir ağını üretmişlerdir. İlk olarak elektrik devreleri şeklinde üretilen ağ, daha sonra bilgisayar simülasyonu haline dönüştürülmüştür. Marvin Minsky, Frank Rosenblatt, Bernard Winrow ve daha bir çok bilim adamları tek yapay nöron katmanından oluşan ağlar geliştirdiler. Perceptron adı verilen bu ağlar, hava tahmini, elektrokardiogramlar analizleri ve yapay görme gibi çeşitli alanlarda kullanıldı. Bu dönemde bilim adamları zekanın anlaşıldığı, çözüldüğü düşüncesine beynin benzerini üretmenin yeterince büyük bir ağın oluşturulmasından ibaret olduğu iyimserliğine kapıldılar [22].

1969'larda yapılan çalışmalar, ağların o güne kadar çözebildiği problemlere genel hatları ile benzeyen farklı problemleri çözümleyememiştir. Bu sebeple bilinmeyen başarısızlıklar sonunda Marvin Minsky, matematiksel teknikleri kullanarak, ağ

işlemleriyle ilgili sağlam teoriler geliştirmiş ve Perceptrons adlı kitabıyla , Minsky ve Papert o zaman kullanımda olan tek katmanlı ağların teorik olarak oldukça basit problemleri çözemeyeceğini ispatlamışlardır. Sonuçta Minsky yapay sinir ağlarının başarılı olacağı fikrine karşıydı. Bu sonuçlar karşısında yapay sinir ağları ile ilgili olan çalışmalara teşvik destekleri çekilmiş ve bu alandaki araştırmalar durma noktasına gelmiş, 20 yıllık karanlık bir döneme girmiştir. Ancak bazı bilim adamları çalışmalarına devam etmiştir. 1976'da Grossberg, Adaptif Rezonans Teori (ART)' yi, 1982'de Hopfield dinamik Hopfield ağını (recurrent network) geliştirmiştir.

1986 yılında, Rumelhart ve Mc Clelland çok katmanlı ileri beslemeli ağlarda geriye yayılma algoritmasını ortaya koyarak Minsky ve Papert tarafından ortaya konan problemi çözmüş ve yapay sinir ağlarına olan ilgiyi bir anda artırmışlardır [23].

Son yıllarda, bu alanda yapılan araştırmalar büyük bir ivme kazanmış ve yapay sinir ağları günümüzde de devamlı gelişme göstermektedir. Hatta bu teknolojinin ticari kısmıyla ilgilenen şirketler ortaya çıkmış ve bir çok alana uygulanmıştır.

5.3. Yapay Sinir Ağlarının Uygulama Alanları

Son yıllarda yapay sinir ağları, çözümü güç ve karmaşık olan yada ekonomik olmayan çok farklı alanlardaki problemlerin çözümüne uygulanmakta ve genellikle başarılı sonuçlar alınmaktadır. Yapay sinir ağları çok farklı alanlara uygulanabildiğinden burada genel bir sınıflandırma ile yapay sinir ağlarının uygulama alanları aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- **Arıza analizi ve tespiti**

Bir sistemin, cihazın veya elemanın (doğru) çalışma şeklini öğrenen bir YSA yardımıyla bu sistemlerde meydana gelebilecek arızaların tanımlanma olanağı vardır. Bu amaçla YSA; elektrik makinalarının, uçakların yada bileşenlerinin, entegre devrelerin v.s. arıza analizinde kullanılmıştır [24].

- **Tıp alanında**

EEG ve ECG gibi tıbbi sinyallerin analizi, kanserli hücrelerin analizi, protez tasarımı, transplantasyon zamanlarının optimizasyonu ve hastanelerde giderlerin optimizasyonu v.s. gibi uygulama yeri bulmuştur [24].

- **Savunma sanayi**

Silahların otomasyonu ve hedef izleme, nesnelere/görüntüleri ayırma ve tanıma, yani algılayıcı tasarımı ve gürültü önleme vs. gibi alanlara uygulanmıştır [24].

- **Haberleşme**

Gürültü ve veri sıkıştırma, otomatik bilgi sunma servisleri, konuşmaların gerçek zamanda çevirisi vs. gibi alanlarda uygulama örnekleri vardır [24].

- **Üretim**

Üretim sistemlerinin optimizasyonu, kimyasal proseslerin dinamik modellenmesi, ürün analizi ve tasarımı, ürünlerin (entegre, kağıt, kaynak vs.) kalite analizi ve kontrolü, planlama ve yönetim analizi vs. alanlarına uygulanmıştır.

- **Otomasyon ve kontrol**

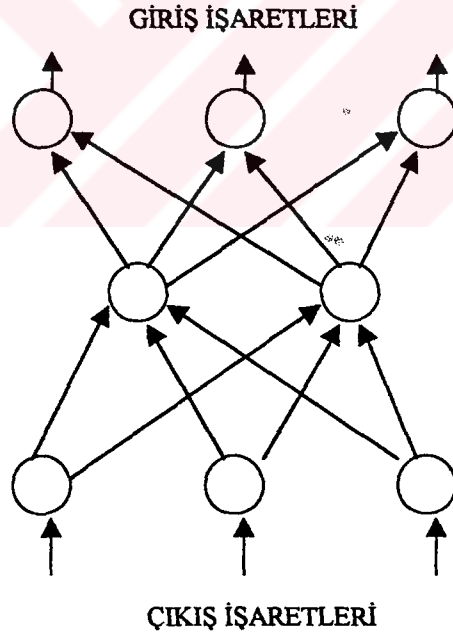
Uçaklarda otomatik pilot sistemi otomasyonu, ulaşım araçlarında otomatik yer bulma/gösterme, robot sistemlerin kontrolü, doğrusal olmayan sistem modelleme ve kontrolü, elektrikli sürücü sistemlerin kontrolü vs. gibi yaygın bir uygulama yeri bulmuştur [24].

Ayrıca yapay sinir ağları bankacılık ve finans, maliyet analizi, performans değerlendirmesi gibi daha birçok uygulama alanına sahiptir.

5.4. Yapay Sinir Ağlarının Özellikleri

Yapay sinir ağları, insan sinir sistemindeki nöronların (sinir hücresi) fonksiyonunu gören yapı taşlarından oluşmaktadır.

Her nöron tipik olarak kendi bağlantılarından çeşitli işaretler alır. Bu işaretlerin bazıları diğer nöronlardan olduğu gibi bazıları da dış dünyadan olabilir. Nöronlar birden fazla çıkış işareti üretirler. Bu işaretler, çok küçük bağlantı parçalarına ayrılan farklı uzaklıklarda son bulan kollardan oluşan çıkış bağlantısı üzerinden gönderilirler. Çıkış bağlantısının her kolu aynı işareti gönderir işaret kollar arasında bölünmez. Dışarı çıkan kolların büyük çoğunluğu ağdaki diğer nöronlardan gelen bazı kollarda son bulmaktadır. Diğerleri ise ağın dışında son bulmakta ve kontrol işareti veya cevap işareti üretmektedir. Şekil 5.1 tipik olarak sinir ağının fiziksel bağlantı şeklini göstermektedir [25].



Şekil 5.1 Tipik olarak sinir ağının fiziksel bağlantı şekli

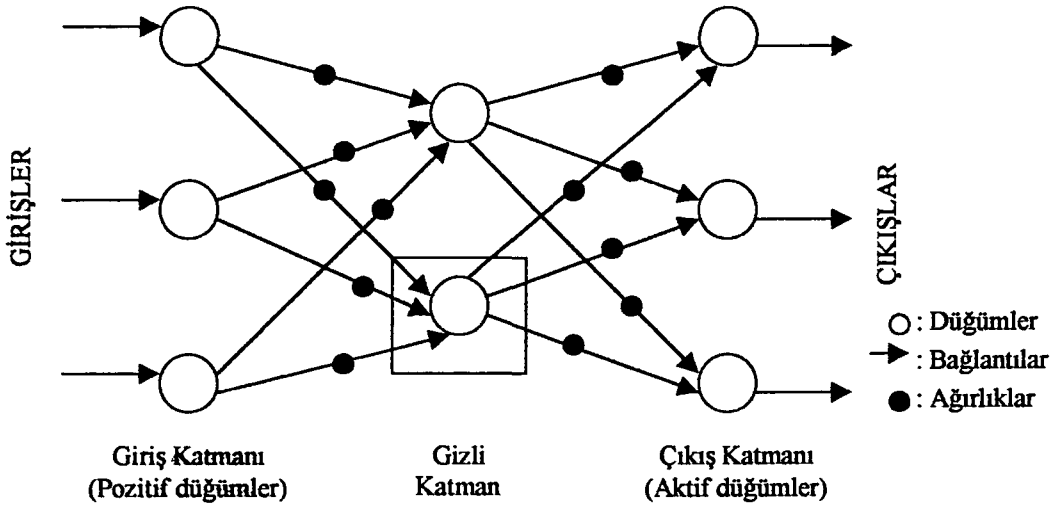
Yapay sinir ağı bağlantıları insan beyninin mimarisinden esinlenmiştir. Ancak yapay sinir ağı nöronları biyolojik nöronların kabataslak benzerleri olduğundan biyolojik

nöronların işlevini tam olarak görmezler. YSA'nın temel özellikleri şu şekilde sıralanabilir.

5.4.1. Bellek ve genelleme

Yapay sinir ağları, verilen giriş bilgisini ağ içerisinde yerel bellekler oluşturarak diğer nöronlara dağıtırlar. Şekil 5.2'de görüldüğü gibi bir yapay nöral ağda her nöronun bir yerel belleği ve sinir ağının o andaki bilgi durumunu belirten nöronlar arası bağlantı ağırlıkları bulunmaktadır. Ağda çıkışı oluşturan giriş bilgisi, ağın içinde bir çok yerel bellek şeklinde dağıtılmış olup nöron ağın bilgiyi bu şekilde saklaması en önemli özelliklerindedir.

Öğrenme işlemi tamamlanmış yani ilgilendiği problemi öğrenmiş bir yapay sinir ağı eğitim sırasında karşılaşmadığı örnekler içinde istenen tepkiyi (çıkışı) üretebilir. Bu özellik, gerçek dünyadaki, çevreden gelen faktörlerle ufak bozulmalara uğramış girdileri fark edebilmek açısından da önemlidir. Kısaca, yapay sinir ağ belleğinin yapısı; eksik, gürültülü ve tam seçilemeyen bir giriş uygulandığı zaman da anlamlı çıkışlar elde etmeye uygundur ki buna genelleme denir.



Şekil 5.2 Üç katmanlı bir yapay sinir ağı

5.4.2. Eksik bilgilerle çalışabilme ve hata toleransı

Yapay sinir ağı, eğitilme esnasında problemdeki değişikliklere ağırlıklarını ayarlar. Yani ağ, ağırlıkların değiştirilmesiyle eğitilir. Sistem, eğitim kümesinin özünü çıkartır ve saklar. Böylece eksik girişlere uygun şekilde cevap verilebilir. Nöral ağlar, ağdaki her işlem elemanı (nöron) kendi kendine yeterli olduğu ve diğer nöronlarda yapılan işlemlere kayıtsız kendi işini sürdürdüğü için aynı zamanda hata toleranslıdır.

YSA, çok sayıda hücrenin çeşitli şekillerde bağlanmasından oluştuğundan paralel dağıtılmış bir yapıya sahiptir ve bilgi bütün ağ boyunca yayılı durumdadır [25]. Yani bilgi tek bir yerde saklanmayıp, yerel belleklere dağıtılmıştır. Bu nedenle ağda bazı bağlantıların hatta bazı işlem elemanlarının (nöronların) zarar görmesi veya etkisiz hale gelmesi sistem performansının kötü sonuçlar doğurmayacak şekilde azalmasına yol açmasına rağmen, tamamen başarısız olmasına sebep olmaz. Bunun aksine klasik yöntemlerde, az bir zarar bile sistemi durma noktasına getirir. Bu yüzden klasik yöntemlere göre yapay sinir ağlarının hatayı tolere etme yetenekleri son derece yüksektir.

5.4.3. Nonlineerlik ve paralellik

Yapay sinir ağlarının temel işlem elemanı olan hücre (nöron) lineer değildir. Dolayısıyla hücrelerin birleşmesinden meydana gelen YSA da lineer değildir ve bu özellik bütün ağa yayılmış durumdadır [24]. Bu özellikleri nedeniyle daha karmaşık problemleri lineer tekniklerden daha doğru çözerler. Matematiksel olarak çözümün zor olduğu nonlineer davranışlar, yapay nöral ağ ile hissedilebilir, algılanabilir ve bilinebilir. Yapay nöral ağlar aynı zamanda son derece paralellığe sahiptir. Bağımsız işlemleri aynı anda çok hızlı yürütebilirler. Paralel donanımlar yapıları gereği yapay nöral ağlara uygun olduğundan alternatiflerinden daha elverişlidirler [22].

5.5. Biyolojik Sinir Sistemi ve Nöron Yapısı

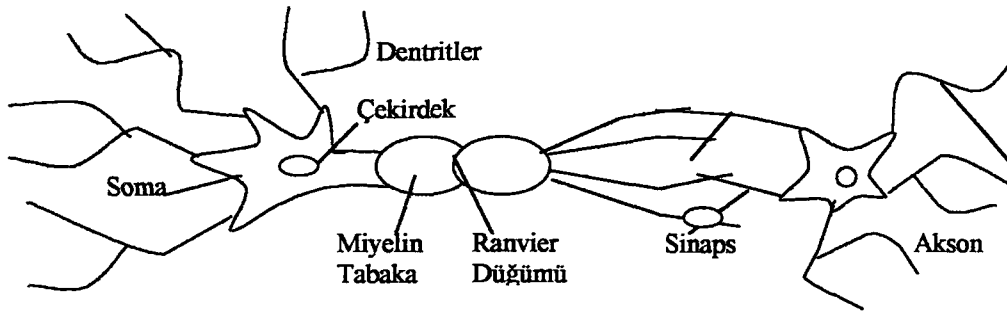
Biyolojik sinir sistemi, merkezinde sürekli olarak bilgiyi alan, yorumlayan ve uygun bir karar üreten beyin (merkez sinir ağı) bulunduğu üç katmanlı bir sistemdir. Alıcı sinirler organizma içerisinde veya dış dünyadan algıladıkları uyarıları, beyne bilgi üreten elektriksel sinyallere dönüştürür. Tepki sinirleri ise beyin tarafından üretilen elektriksel darbeleri uygun tepkilere dönüştürür. Şekil 5.3'de sinir sisteminin blok gösterimi verilmiştir.



Şekil 5.3 Biyolojik sinir sisteminin blok gösterimi

İnsan beyninde yaklaşık olarak 10^{10} sinir hücresi (nöron) vardır. Yine hücre başına bağlantı sayısı 10^2 mertebesinde. Beynin temel yapısı sinir hücrelerinden oluşur [20]. Nöronlar beyin haberleşme sistemini oluşturur ve görevi sinyal alma, işlem yapma ve elektro kimyasal sinyallerin sinir ağları içerisinde iletilmesini sağlamaktır.

Bir biyolojik nöron, hücre gövdesi, dendritler, aksonlar olmak üzere üç bileşenden oluşmaktadır. Şekil 5.4'de bir biyolojik nöronun şematik yapısı görülmektedir.



Şekil 5.4 Bir nöronun şematik yapısı

Dendritler diğer hücrelerden elektriksel bilgi alan pasif nöron girişleridir. Aksonlar ise diğer hücrelere karşı darbelerin yani çıkış darbelerinin üretildiği elektriksel olarak

aktif nöron çıkışlarıdır. Bir hücrenin dendriti ile diğer hücrenin aksonunun bağlantı noktasına da sinaps denir. Miyelin tabaka işaretin yayılma hızını artırmak için çekirdek ile hücreler arası sıvı kapasitesini düşüren bir yalıtım maddesidir. Ranvier düğümü ise işareti periyodik olarak yeniden üretmeye yarayan boğumlardır.

Sinapsa gelen ve dendritlerin aldığı bilgiler genellikle elektriksel darbelerdir, fakat sinapsdaki kimyasal ileticilerden etkilenir. Belirli bir sürede bir hücreye gelen girişlerin değeri, belirli bir eşik seviyesine ulaştığında hücre bir tepki üretir. Hücrenin tepkisini artırıcı yöndeki girişlere uyarıcı, azaltıcı yöndeki girişlere ise önleyici girişler adı verilir ve bu etkiyi sinaps belirler.

Mühendislik dilinde nöron giriş lojik bir olduğu durumlarında elektriksel darbeler üreten ve lojik sıfır durumunda ise çıkış vermeyen bir elemandır [22].

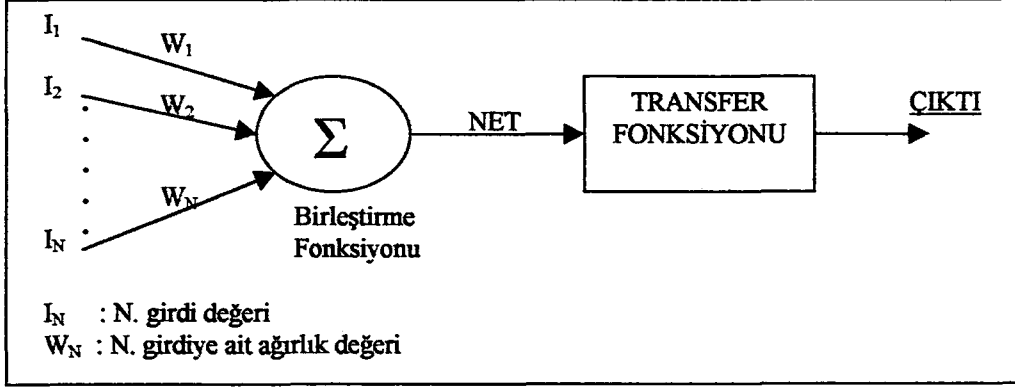
İnsan beyni; öğrenme, birleştirme, uyarılma ve genelleştirme yeteneği nedeniyle son derece karmaşık, doğrusal olmayan ve paralel dağıtılmış bir bilgi işleme sistemi olarak tanımlanabilir [24].

5.6. Yapay Nöron

Yapay nöron, biyolojik nöronun girdi, işlem ve çıktı karakteristiğini taklit ederek tasarlanmıştır. Tıpkı biyolojik nöron gibi, işlem elemanına (nöron) birden fazla giriş gelmekte ve sadece bir çıkış gitmektedir. Bu çıkış işareti diğer işlem elemanlarına giriş oluşturmak üzere bir çok yola dağılır veya dış dünyaya aktarılır.

Her işlem elemanının yerel belleği bulunur. Bu bellekte uyarılan katsayıların önceki hesaplamalar ile belirlenen değerleri saklanır [22].

Yapay sinir ağının en temel birimi olan işlem elemanı olarak da adlandırılan bir yapay nöronun yapısı Şekil 5.5'de gösterilmiştir.



Şekil 5.5 Bir yapay nöronun yapısı

Girdiler ağ dışı veya diğer işlem elemanlarından bir işlem elemanına gelen bilgilerdir. Bir nörona uygulanan girişler, $I = [I_1 \ I_2 \ \dots \ I_N]^T$ vektörü şeklinde gösterilebilir.

Yapay nöron ağın giriş veri tipleri ikili (binary) 0-1 veya sürekli değerlerdir. Sürekli değer girişlerinde giriş bilgi değerleri 0-1 arasında olacak şekilde normalize edilmelidir [22].

5.6.1. Ağırlıklar

İşlem elemanları arasında bağlantılar bulunur ve her bağlantının bir ağırlığı vardır. Ağırlıklar girdilerin işlem elemanı üzerinde etkisini kontrol ederler. W_1, W_2, \dots, W_N ağırlıkları vektörel olarak w ile gösterilebilir ve sabit veya değişken değerler olabilir. Değişken değer alan ağırlıklar, öğrenme sırasında sürekli olarak değişerek ağın girdi ve çıktı arasındaki ilişkiyi yakalayabilmesine çalışırlar. Yani bu ağırlıklar öğrenme sırasında optimize edilir.

Ağırlık büyüdükçe bir işlem elemanının değeri üzerindeki etkisi de artar. Ağırlığın sıfır olması hiçbir etkinin olmaması demektir.

5.6.2. Birleştirme fonksiyonu

Bir işlem elemanından gelen bilgileri birleştirme görevi yapar. Yani birleştirme fonksiyonu, bir nörona gelen net girdiyi hesaplayan bir fonksiyondur. En çok kullanılan birleştirme fonksiyonu tipleri Tablo 5.1'de gösterilmiştir.

Bunlardan en yaygın kullanılanı, gelen bilgilerin (girdilerin) ilgili bağlantıların ağırlıkları ile çarpılıp toplanması ile net girdiyi belirleyen "toplam fonksiyon" dur.

Tablo 5.1 En çok kullanılan birleştirme fonksiyonları

Toplam	$Net_i = \sum_j w_{ij} I_j$	Çarpım	$Net_i = \prod_j w_{ij} I_j$
Maksimum	$Net_i = Max(w_{ij} I_j)$	Minimum	$Net_i = Min(w_{ij} I_j)$
Çoğunluk	$Net_i = \sum_j Sgn(w_{ij} I_j)$	Kümülatif Toplam	$Net_i = Net_{eski} + \sum_j w_{ij} I_j$
<p>Net_i = İşlem elemanına giren net girdi I_j = İşlem elemanının çıktısı w_{ij} = i ve j işlem elemanları arasındaki bağlantının ağırlığı</p>			

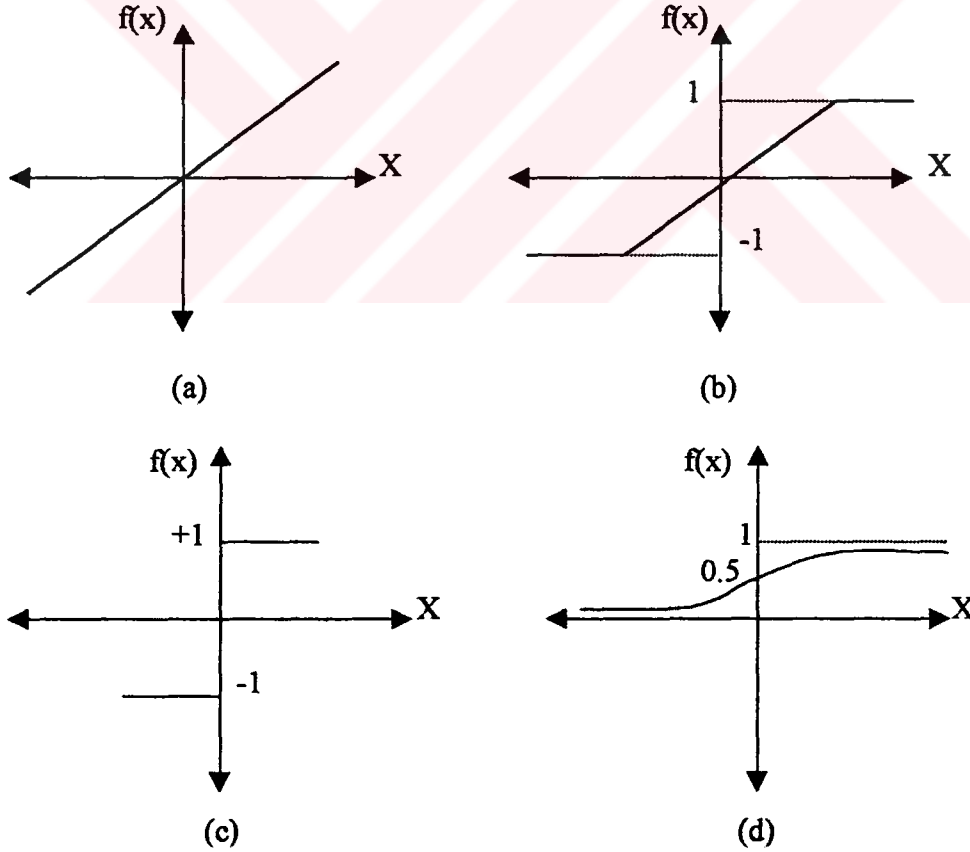
5.6.3. Transfer fonksiyonu

Eşik veya işaret fonksiyonları diye de adlandırılan transfer fonksiyonu, birleştirme fonksiyonunun sonucunu değerlendirir. Yani birleştirme fonksiyonu tarafından belirlenen net girdiyi alarak işlem elemanının çıkışını belirleyen fonksiyondur. Genel olarak türevi alınabilen bir fonksiyon olması tercih edilir. Değişik transfer fonksiyonları Tablo 5.2'de verilmiştir. birleştirme ve transfer fonksiyonları problemin yapısına göre seçilir.

Tablo 5.2 En çok kullanılan transfer fonksiyonları

Lineer Fonksiyon $f(x) = x$	Sinusoidal Fonksiyon $f(x) = \sin(x)$
Sigmoid Fonksiyon $f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$	Hiperbolik Tanjant Fonksiyonu $f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$
Eşik Mantıksal Fonksiyon $f(x) = \begin{cases} 0 & x \leq 0 \\ x & 0 < x < 1 \\ 1 & x \geq 1 \end{cases}$	Adım Fonksiyonu $f(x) = 1$ eğer $x >$ eşik değeri $f(x) = 0$ diğer durumlar

En yaygın kullanılan eşik fonksiyonları Şekil 5.6'da görülmektedir. Bu çalışmada transfer fonksiyonu olarak kullanılan sigmoid fonksiyonu türevli, lineer olmayan çıkış veren, sınırlı ve monoton artan bir fonksiyondur [20].



Şekil 5.6 Eşik fonksiyonları

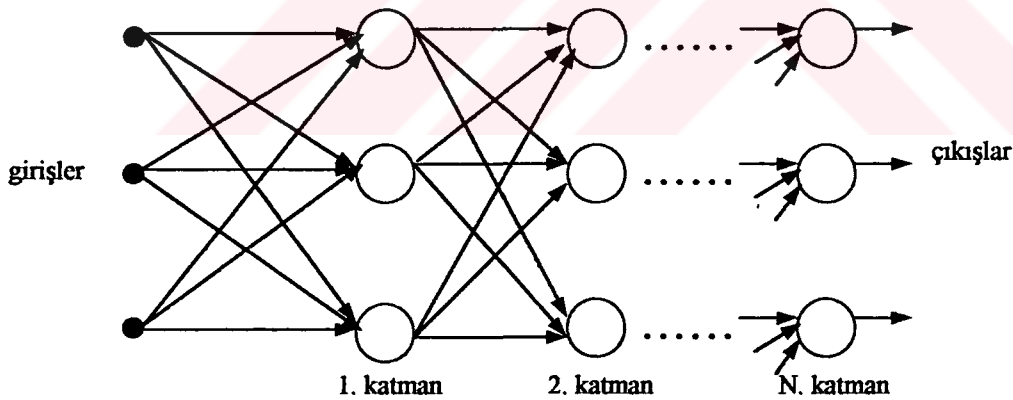
- a Lineer
- b Rampa
- c Basamak
- d Sigmoid

5.7. Yapay Sinir Ağının Yapısı

Bir işlem elemanı (nöron) hiçbir zaman tek başına çalışmaz. Nöronlar çok sayıda bağlantı içeren bir ağ içinde bulunur.

Nöronlar arasındaki bağlantıların nasıl oluşturulduğu ağın yapısını belirler [26]. Nöronların bir grubu, katman olarak adlandırılan bir yapı oluşturur. Katmanlarda bulunan nöronlar, tam bağlantılı, kısmi bağlı veya ikisinin kombinasyonu halinde olabilir. Genellikle bir katmandaki tüm işlem elemanları, aynı birleştirme ve transfer fonksiyonu ile aynı öğrenme kuralına sahiptir.

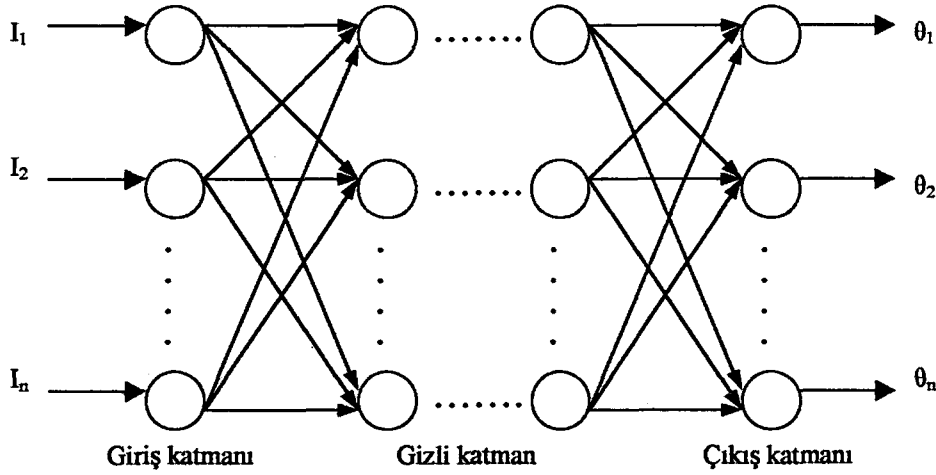
Araştırmacılar tek katmanlı ağların çeşitli uygulamalarda sınırlı yetenekler gösterdiklerini ispatlamışlardır. Bu ağlar, iki veya daha fazla nöral katmanını kaskat bağlayarak oluşturulan çok katmanlı ağlara yol açmışlardır. Çok katmanlı ağların çalışması, tek katmanlı ağların çalışmasına benzer şekilde her katmanın çıkışı, önceki katmanın çıkışlarından ağırlıklı toplam olarak üretilir. Çok katmanlı nöral ağ Şekil 5.7'de gösterilmiştir [22].



Şekil 5.7 Çok katmanlı nöral ağ

Bir yapay sinir ağı temel olarak, giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanı olmak üzere birbirine bağlanan üç katmandan oluşur. Şekil 5.8'de bir yapay sinir ağı ve katmanları verilmiştir.

Giriş katmanı dışarıdan gelen bilgiyi kabul eder ve diğer katmanlara iletir. Bu katmanda bilgi işlenmez.



Şekil 5.8 Çok katmanlı bir sinir ağı ve katmanları

Gizli katman bilgiyi işler. Girdi çıktı ilişkisini kavramada asıl ağırlık gizli katman üzerindedir. Gizli katman sayısı birden fazla olabilir.

Çıkış katmanı ise sorgulanan problem üzerinde ağıın kararını dış ortama bildiren işlem elemanlarından oluşan tabakadır.

5.8. Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme ve Eğitim

Klasik bilgi işleme yöntemlerinin çoğu programlama yoluyla hesaplamaya dayanmaktadır. Yani bir problemin çözümü için probleme yönelik bir algoritma geliştirilmelidir. Bunu yanında bu yöntemler tam tanımlı olmayan problemleri çözemez. Yapay sinir ağları ise belirli bir probleme göre programlanmadığı halde o problemi çözmeyi öğrenebilir.

Genel anlamda öğrenme, sinir ağının, giriş uyarıcılarını kullanarak kendini istenen sonuçları vermek üzere adapte etmesidir [27].

İşlem elemanı ve ağ yapısı tasarlandıktan sonra, YSA'nın öğrenme işlemi başlatılabilir. Eğitim ve öğrenme hemen hemen bütün nöral ağların temelidir. Öğrenme, ağdaki nöronların değiştirilmesi ile değil, nöronlar arasındaki bağlantı ağırlıklarının değiştirilmesi ile sağlanır. Tek bir nöronun çıkışının nasıl belirlendiği göz önüne alındığında; nöronun transfer fonksiyonunun sabit olması koşuluyla çıkışını

yalnızca, gelen işaretin ve nörona giriş bağlantı ağırlıklarının belirlediği bilinmektedir. Nöronun gelen işarete doğru cevap vermesinde ve performansının artırılmasında en önemli eleman bağlantı ağırlıklarıdır [22].

Öğrenme ile eğitime aynı anlama gelmez. Öğrenme, ağıın içerisinde geliştirilen bir aktivite iken eğitime ağa dışarıdan bir etkidir. Eğitime algoritması eldeki problemin özelliklerine göre öğrenmeyi yapay sinir ağına nasıl adapte edeceğimizi belirtir.

5.8.1. Yapay Sinir Ağlarının Eğitilmesi

Yapay sinir ağlarının örnekler ile eğitilmesi üç ayrı yol ile gerçekleştirilebilir.

1. Öğreticili eğitime (supervised training)
2. Skor ile eğitime (graded training)
3. Kendini düzenleme ile eğitime (self - organization training)

Yapay sinir ağları üç yöntemde de insan beyni gibi örnekler ile eğitilir. Ağ, bağlantı ağırlık değerleri değiştirilerek örneklere göre eğitilir ve herhangi bir örnek ile yeniden karşılaştırıldığında uygun cevabı üretir. Öğrenmede iyi bir model kullanılarak ağırlıkların bu modele göre değiştirilmesi esastır.

5.8.1.1. Öğretici eğitime

Öğretici eğitimde ağ giriş ve çıkış bilgisi (hedef vektörü) verilir. Ağ, verilen girişlere karşı doğru (hedeflenen) çıkışı üretmek hedefiyle kendini ayarlamaktadır. Ağ kendi çıkışını doğru cevaplar ile karşılaştırır ve hatayı bulur. Çıkış hatası istenen düzeye ininceye kadar ağ nöronlar arasındaki ağırlıkları değiştirerek iterasyona devam eder. Bağlantı ağırlıklarındaki değişim, geri besleme olarak gelen hatayı azaltacak ve hatta mümkünse sıfırlayacak şekilde ayarlanır. Bunun için de çeşitli öğrenme kuralları bulunur.

Öğreticili eğitime şu örnekle açıklanabilir; yabancı bir dil öğrenirken, öğretmenden duyulan bir kelimenin telaffuzu beyne kaydedilir. Bu kelime öğrenci tarafından

tekrar söylenir ve kayıtlı olan sesle karşılaştırma yapılır. Tekrarlama işlemi kelimenin doğru telaffuzu yakalanana kadar devam eder. Kelime doğru söylenmeye başladığında tekrarlama durur [27].

5.8.1.2. Skor ile eğitime

Skor ile eğitime, öğretici eğitmeye benzemektedir. Ancak, bu yöntemde giriş işaretlerine karşılık çıkış işaretleri ağa tam olarak verilmez. Çıkış işareti yerine skor verilerek ağın değerlendirmesi yapılır. Yani ağ çıkışının durumuna göre, "doğru", "yanlış" veya "başarılısın", "başarısızsın" gibi değerlendirmelerle ağ performansı ile ilgili geri besleme bilgisi verilir. Kontrol uygulamalarında yaygın olarak kullanılır.

5.8.1.3. Kendini düzenleme ile eğitime

Kendini düzenleme ile eğitime, ağa giriş bilgisi verilir, fakat ağın ürettiği çıkışın doğruluğuna dair bir geri besleme gelmemektedir. Yani hedef çıkışlar verilmemektedir. YSA'nın bağlantı ağırlık katsayıları, oluşan hatayı göz önüne almadan bir amaç ölçüt uyarınca, sadece girişlere göre değişmektedir.

5.8.2. Öğrenme Kuralları

Yapay sinir ağlarında öğrenme; giriş örneklerine ve tercihen bu girişlerin çıkışlarına bağlı olarak ağın bağlantı ağırlıklarını değiştiren veya ayarlayan öğrenme kuralı ile gerçekleştirilir. En çok kullanılan öğrenme kuralları aşağıda verilmiştir [20].

- Rastlantısal (Hebb) öğrenme kuralı
- Performans (Widrow ve ADALİNE) öğrenme kuralı
- Kompetif (Kohonen) öğrenme kuralı
- Filtreleme (Grossberg) öğrenme kuralı
- Spotitemporal öğrenme kuralı
- Genelleştirilmiş Delta öğrenme kuralı

Bu çalışmada " Genelleştirilmiş Delta" öğrenme kuralı kullanılmıştır. Bu öğrenme kuralı ileride ele alınacak geri yayılım ağı ile birlikte kullanılır.

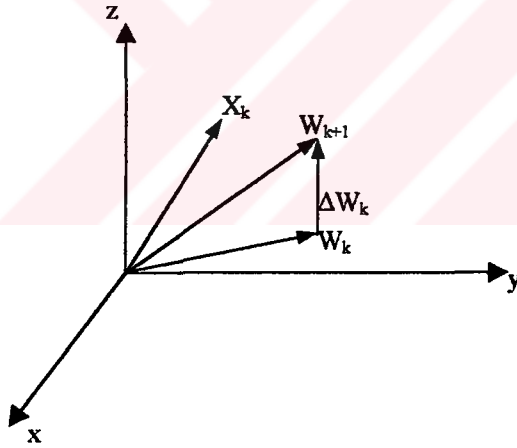
5.8.2.1. Yapay sinir ağlarında ağırlık uzayı

Her bir işlem elemanının "n" adet gerçek ağırlığı ve "N" adet işlem elemanı (nöronu) olduğu göz önüne alınırsa;

$$W = (W_{11}, W_{12}, \dots, W_{1n}, W_{21}, \dots, W_{2n}, W_{N1}, W_{N2}, \dots, W_{Nn})^T$$

$$W = (W_1^T, W_2^T, \dots, W_n^T)$$

Burada; W_1, W_2, \dots, W_n işlem elemanlarının (nöronların) ağırlık vektörleridir. Şekil 5.9'da eğitim süresince ağırlıkların düzeltiliminin vektörel çizimi verilmiştir [22].



Şekil 5.9 Ağırlık vektörünün değişimi

Şekil 5.9'da;

X_k : Giriş işaret vektörü

W_{k+1} : Gelecekteki ağırlık vektörü

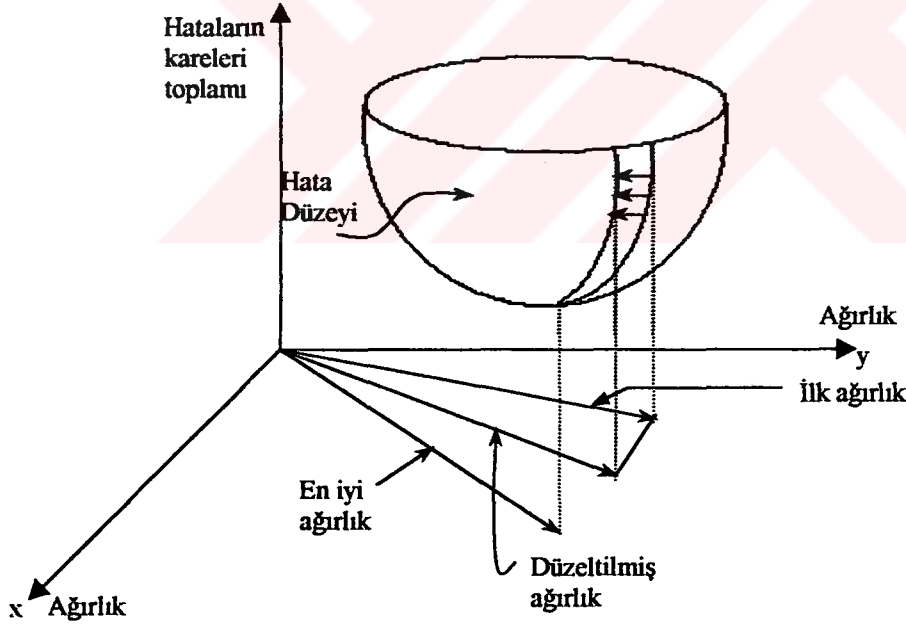
ΔW_k : Ağırlık vektörünün değişimi

W_k : Şimdiki ağırlık vektörüdür.

Ağırlık vektörüyle çalışan yapay sinir ağında en önemli noktalardan biri bir öğrenme kuralı geliştirerek "W" yı hedeflenen ağ performansını verecek noktaya yönlendirmektir. Öğrenme kuralı için bir performans veya maliyet fonksiyonu tanımlanır. Ağırlık değiştirme denklemi, ağıdaki hataların karelerinin toplamını minimize edecek şekilde olmalıdır.

5.8.2.2. Hata minimizasyonu ve gradient descent tanımı

Hata minimizasyonunun geometrik yorumu yapılabilir. Bunun için, ağırlıkların mümkün olan tüm değerleri hataların kareleri toplamına karşılık gelecek şekilde (xyz) koordinat sistemine çizilir. Şekil 5.10'da görüldüğü gibi hata yüzeyi bir tase benzemektedir ve tasın en alt kısmı hataların kareleri toplamının minimum değerlerine karşılık gelmektedir. Eğitim sırasında ağırlıklar kümesinin en iyisi olan en alt kısmı bulmak amaçlanmaktadır.



Şekil 5.10 Hata minimizasyonu ve "Gradient Descent" geometrik yorumu [22]

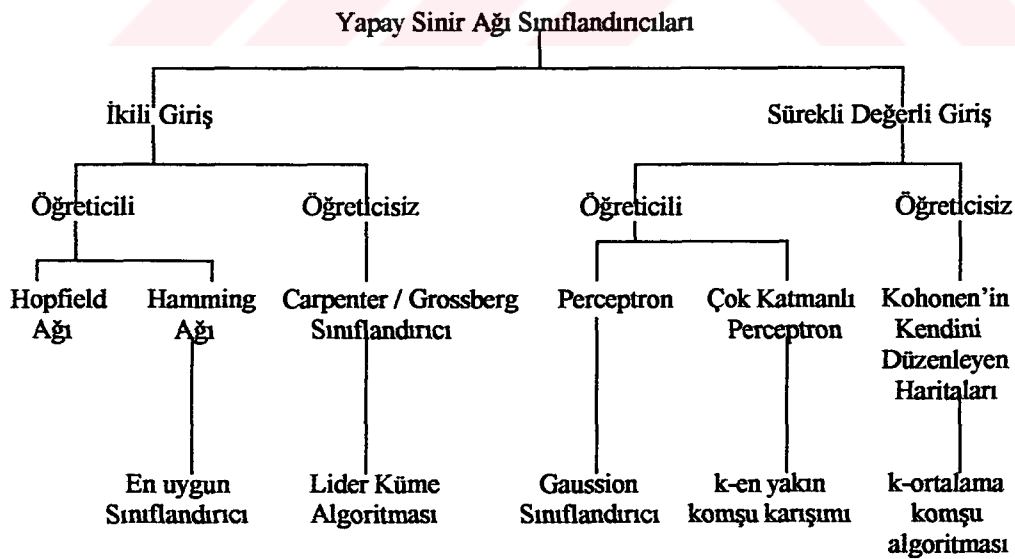
İlerideki konularda ele alınacak bir yapay sinir ağı modeli olan geri yayılma (Back Propagation) algoritması, o andaki ağırlıkları değil yüzey hatasının eğimini hesaplayarak amacına ulaşır.

Şekil 5.10'dan da görüldüğü gibi ağırlıkları tasın alt kısmına doğru artımsal olarak değiştirir. İşte bu artımsal olarak tasın üst kısmından alt kısmına doğru ilerleme işlemine Gradient Descent denir. Bir fonksiyonun Gradient'i (burada, hata fonksiyonudur ve değişkenler ise ağ ağırlıklarıdır) fonksiyonun en hızlı arttığı doğrultuyu verir [22].

5.9. Yapay Ağ Modelleri

Yapay sinir ağlarını şekil 5.11 deki gibi sınıflandırmak mümkündür.

Yapay sinir ağlar temelinde ileri ve geri beslemeli ağlar olmak üzere ikiye ayrılır. İleri beslemeli ağlar işaretin ağ girişinden çıkışına doğru tek yönlü olarak iletiildiği ağlardır. Bir katmandaki nöronlar, sadece bir önceki katmandaki nöronların çıkışını giriş olarak alabilir. Geri beslemeli ağlarda ise bir katmandaki nöronlar, bir önceki katmandaki çıkışların yanında o katmanın veya daha sonraki katmanların da çıkışlarını giriş olarak alabilirler. Geri beslemeli ağlar optimizasyon problemlerinde etkin sonuçlar vermektedir. İleri ve geri beslemeli ağları da sınıflandırmak mümkündür.



Şekil 5.11 Yapay sinir ağının sınıflandırılması

Yapay sinir ağında, ilgili araştırma ve geliştirmeler sonucunda, birçok ağ modeli ve eğitim algoritmaları bulunmuştur. Şimdiye kadar geliştirilen yapay sinir ağ

modellerinin her biri, belli uygulama alanlarında başarılı olmuşlardır. Tüm bu modeller yoğun ara bağlantılar tarafından bir araya getirilen işleme elemanlarından oluşmalarına rağmen birbirlerinden, öğrenme kuralı, bağlantı topolojisi ve kullanılan nöral modeli ile farklı olmaktadır [28].

Genellikle kullanılan yapay sinir ağ modelleri kısaca aşağıda verilmiştir.

Perceptron : Bu model 1958 yılında Frank Rosenblatt tarafından insan gözünün görüntü tanıma (pattern recognition) yeteneğinin modellenmesi ile ortaya konmuştur [23]. Yazılı karakter tanıyabilir, fakat karmaşık karakterleri tanıyamaz.

Madaline : Radar bozucuların etkisizleştirilmesi, telefon hatlarında uyarlamalı dengeleyici olarak uygulama alanı bulmuştur. Giriş çıkış arasında lineer ilişki olduğunu kabul eder. Güçlü bir öğrenme kuralı vardır. Halen kullanılmaktadır.

Uyarlamalı rezonans teorisi : Şekil tanımlamada etkilidir. Ölçekteki etkileşimlere ve gürültüye karşı duyarlıdır. Fazla karmaşık problemlere uygulanmamıştır.

Hopfield : Parçalanmış kısımlardan bilginin tümünün oluşturulmasında etkilidir. Öğrenme yoktur. Ağırlıklar önceden belirlenmektedir.

Geri yayılım : Yazılı metinden söz sentezi, robot kollarının uyarlamalı denetimi ve otomatik kontrol alanında çok geniş uygulama alanı bulmuştur. Günümüzde en popüler ağdır.

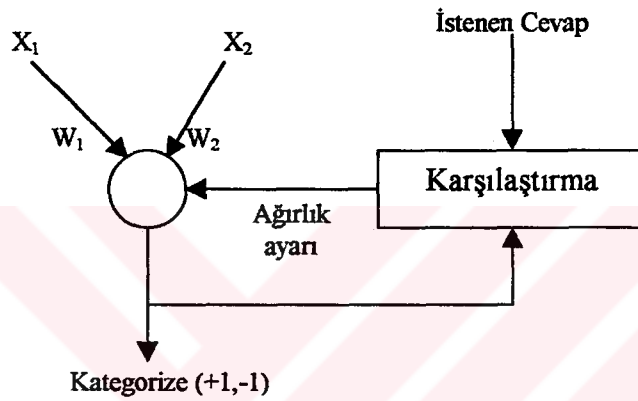
Bu çalışmada, sadece tezde kullanılan "geri yayılım" (back propagation) modeli incelenecektir.

Geri yayılım ağı, Adaline öğrenme yönteminin değiştirilmiş bir şeklidir. Adaline, en küçük kareler toplamı veya delta kuralı denen bir öğrenme kuralını kullanırken geri yayılım ağı, bu kuralın çok katlı ağa göre uyarlanmış hali olan genelleştirilmiş delta kuralını kullanır.

5.9.1. Adaline

Uyarlamalı lineer elemanlar için minimum hata ile öğrenme tekniği olan Adaline, 1960'da Bernard Widrow ve Ted Hoff tarafından geliştirilmiş bir özel filtredir. Adaline, basit iki kutup çıkışlıdır. Eğer girişin net ağırlıklı toplamı 0'dan büyük ise çıkış +1, buna karşın girişin net ağırlıklı toplamı 0'dan küçük ise çıkış -1'dir.

Tipik olarak +1 çıkış A ve -1 çıkış B olarak kategorize edilebilir. Şekil 5.12'de iki giriş vektörü olan basit bir Adaline gösterilmiştir [22].



Şekil 5.12 Basit adaline

Adaline gerçek çıkış ile istenen cevabı karşılaştırmaktadır. Elde edilen bu bilgi ile ağırlık ayarları yapılır. Adaline hatası aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\text{Hata} = [\text{istenen değer}] - [\text{gerçek çıkış}] \quad (5.1)$$

Hata bulunduktan sonra ağırlık ayarları delta kuralı öğrenme yöntemiyle yapılır. Delta kuralı, ağırlıklardaki değişimi;

$$w = w^{\text{eski}} + \frac{\beta E_x}{|x|^2} \quad (5.2)$$

ifadesi ile hesaplar [22].

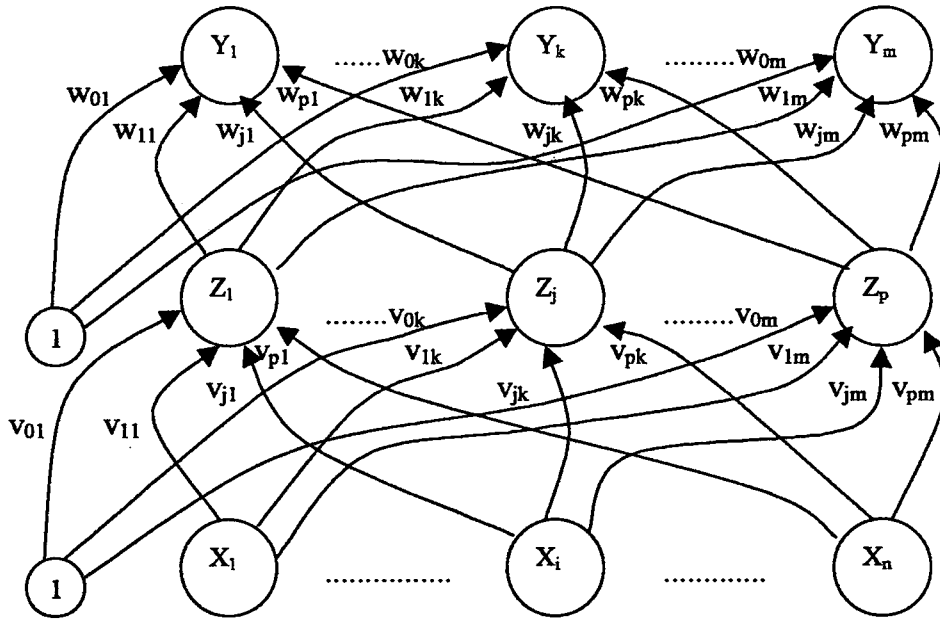
Bu ifadeye β , 0 ve 1 arasında alınan sabit bir öğrenme katsayısıdır. E, hesap edilen hata değeri, x ise (X_1 ve X_2) bileşenlerinden oluşan giriş vektörü, w da (W_1 ve W_2) bileşenlerinden oluşan ağırlık vektörüdür [25].

5.9.2. Geri yayılım algoritması

Geriy yayılım algoritması çok katmanlı yapay sinir ağlar için günümüzde en çok kullanılan sistematik bir metottür. Çok güçlü bir matematik esasa sahiptir. Geriy yayılım algoritması yapay sinir ağların uygulanabildiği problem aralığının genişlemesine yol açmıştır. Çok sayıda başarılı ve güçlü uygulamaların üretilmesine imkan vermiştir.

Geriy yayılım ağı algoritmasını ilk olarak 1974 yılında Paul Werbos ortaya atmıştır. Ancak bilim dünyasında kabulü 1986 yılında Rummelhart ve Parker tarafından geliştirilmesiyle mümkün olmuştur. Geriy yayılım yöntemi günümüzde, ses tanıma problemlerinden non-lineer sistem tanımlama ve kontrolü problemlerine kadar yapay sinir ağı kullanılarak çözüm bulan birçok alanda başarıyla kullanılmaktadır.

Şekil 5.13'de geriy yayılım ağı yapısı verilmiştir [22].



Şekil 5.13 Geriy yayılım ağı mimarisi

Diğer ağlarda olduğu gibi geri yayılım ağını, nöronlar arası bağlantılar, nöronların kullandığı transfer fonksiyonları ve ağı eğitimi sağlayan ağırlıkların değişim kuralları belirler. Geri yayılım ağı çok katmanlı ileri beslemeli yapıya sahip bir ağıdır ve bir katmandaki nöronlar bir önceki ve bir sonraki katmanlardaki nöronlarla bağlantılıdır. Ancak katmanlardaki nöronlar arasında ve bir katmandan öteki katmana geriye doğru bağlantı bulunmaz. Geriye yayılım ağı, ağ çıkışı ile istenen çıkışın karşılaştırılması ile bulunan hatayı dikkate alarak, karesi alınmış hata fonksiyonunu minimize eden kodlu bir algoritmadır. Ayrıca genelleştirilmiş delta kuralını eğitmek için kullanır.

Veri girişleri, giriş düğümleri $X_1 \dots X_i \dots X_n$ 'den yapılıdır. Giriş düğümleri pozitifdir ve hesaplanabilir değildir. Her nöron için nöronun Bias'ı ya da referans seviyesi olarak adlandırılan, bir eşik değer girişi mevcuttur. Bütün saklı nöronlar tüm veri girişlerini alırlar. Fakat her biri farklı ağırlık kümesine sahip oldukları için, değerler kümesi de farklıdır. Her bir nöron kendisine gelen işareti işleyerek sonucu çıkış nöronuna iletir. Çıkışlar da farklı ağırlık kümesine sahiptir.

Geri yayılım ağında eğitim; giriş eğitim örneklerinin ileri yayılması, hesaplama ve ilgili hataların geriye yayılımı ve son olarak ağırlıkların ayarlanması olmak üzere üç aşamada gerçekleşir. Eğitim tamamlandıktan sonra sadece ileri yayılım fazı kullanılır. Eğitilmiş ağ oldukça hızlı çıkış üretebilir. Bir gizli katmanın genellikle yeterli olmasına rağmen bazı uygulamalarda birden fazla gizli katman faydalı olabilir.

Geri yayılım ağında çıkış katmanını eğitmek bağıl olarak basittir. Sorun hiçbir hedef vektörünün olmadığı ara katman ağırlıklarını eğitirken ortaya çıkar. Bunun çözümü, hata işaretinin çıkıştan daha iç katmanlara yayılımını sağlamakla bulunur. Aktivasyon fonksiyonu olarak sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır.

Bu tezde kullanılan genelleştirilmiş delta kuralına göre öğrenme aşağıdaki aşamalarda gerçekleşir [29].

1. Ağı yapısı belirlenir.

- Giriş (nöron) sayısı
 - Çıkış (nöron) sayısı
 - Gizli katman sayısı ve gizli katmandaki nöron sayıları
2. Ağın başlangıç parametreleri belirlenir.
 - Başlangıç ağırlıkları
 - Öğrenme katsayısı
 - Momentum katsayısı
 3. Giriş ve çıkış verileri ağın değerlendirebileceği şekilde düzenlenir (normalize edilir).
 4. İleri beslemeli ağ yapısına göre ağ çıktıları hesaplanır.
 5. Ağ çıktısı ile gerçek çıktı arasındaki hata bulunur.
 6. Hata minimum ise ağ problemi öğrendi. Öğrenmeyi durdur.
 7. Hata minimum değilse; geri yayılım ağ yapısına göre hatayı minimize edecek şekilde ağırlıklar hesaplanır.
 8. Adım 3'e gidilerek işleme devam edilir.

Geri yayılım ağının eğitime algoritması ise ana hatlarıyla şöyledir;

Adım 0 : Tüm ağırlıkların ilk değerlerini küçük rastlantısal değerlere ayarla.

Adım 1 : Döngü şartları sağlanmıyorsa adım 2-9 tekrar et.

Adım 2 : Her eğitim çiftleri için adım 3-8 tekrar et.

İleri Besleme :

Adım 3 : Her giriş birimi (x_i , $i = 1, \dots, n$) giriş işaretleri x_i 'leri al ve üst katman birimine ilet (Gizli katmana).

Adım 4 : Her gizli birim (z_j , $j = 1, \dots, p$) ağırlıklı işaretleri topla.

$$Z_{-inj} = V_{0j} + \sum_{i=1}^n X_i V_{ij} \quad (5.3)$$

z_j çıkış işaretini hesap etmek için aktivasyon fonksiyonuna uygula,

$$Z_j = f(Z_{-inj}) \quad (5.4)$$

Bu işaretleri bir üst katmandaki çıkış birimlerine gönder.

Adım 5 : Her çıkış birimi (Y_k , $k = 1, \dots, m$) ağırlıklı girişlerini topla

$$Y_{-ink} = W_{0k} + \sum_{j=1}^p Z_j W_{jk} \quad (5.5)$$

Y_k çıkış işaretini hesaplamak için aktivasyon fonksiyonunu uygula,

$$Y_k = f(Y_{-ink}) \quad (5.6)$$

Hatanın Geriye Yayınımı :

Adım 6 : Her çıkış birimi için (Y_k , $k = 1, \dots, m$) kendi çıkışı y_k ile istenen çıkış t_k 'dan hata bilgisi

$$\delta_k = (t_k - y_k) f'(y_{ink}) \quad (5.7)$$

hesaplanır. Daha sonra W_{jk} 'lar güncelleştirilmek üzere ağırlık düzeltme katsayısı

$$\Delta w_{jk}(t+1) = \alpha \delta_k z_j + \mu \Delta w_{jk}(t), \mu \text{ pozitif küçük bir sayıdır.} \quad (5.8)$$

ve bias düzeltme katsayısı

$$\Delta w_{0k} = \alpha \delta_k \text{ hesaplanır ve ilk alt katmana gönderilir.} \quad (5.9)$$

Adım 7 : Her gizli birim ($Z_j, j = 1, \dots, p$) bir üst katman birimlerinden delta işaretini toplar.

$$\delta_{-inj} = \sum_{k=1}^m \delta_k w_{jk} \quad (5.10)$$

Hata bilgisinin hesabı için aktivasyon fonksiyonunun türevi ile çarpılır.

$$\delta_j = \delta_{-inj} \times f'(Z_{-inj}) \quad (5.11)$$

Daha sonra V_{ij} 'ler güncelleştirilmek üzere ağırlık düzeltme katsayısı

$$\Delta V_{ij}(t+1) = \alpha \delta_j x_i + \mu \Delta V_{ij}(t), \mu \text{ pozitif küçük bir sayıdır.} \quad (5.12)$$

ve bias düzeltme katsayıları

$$\Delta V_{0j} = \alpha \delta_j \text{ hesaplanır.} \quad (5.13)$$

Ağırlık ve biasların güncelleştirilmesi :

$$\text{Adım 8 : } \begin{aligned} w_{jk}(t+1) &= w_{jk}(t) + \Delta w_{jk}(t+1) \\ v_{ij}(t+1) &= v_{ij}(t) + \Delta v_{ij}(t+1) \end{aligned} \quad (5.14)$$

Adım 9 : Stop durumunu test et

Geriye yayılım öğrenme algoritmasının en büyük özelliği görüldüğü gibi, hatalara karşı verdiği cevapta, ağırlıkların değerini değiştirebilmesidir. Ağ çıkış hatalarının türevi çıkış katmanından geriye doğru saklı katmanlara iletilir. Geriye yayılım algoritmasına ismini veren de hataların geriye doğru yayılması özelliği olmuştur.

Geri yayılım ağının matematiksel temeli bölüm, 5.8.2.2'de açıklanan "Gradient Descent" optimizasyon tekniğine dayanmaktadır. Bu tekniğe göre geri yayılım algoritması hataların kareleri toplamını minimize eden ağırlıkları bulmada oldukça etkilidir.

5.9.2.1. Öğrenme oranı, momentum katsayısı ve bias

Öğrenme oranı (α), bağlantı ağırlıklarındaki değişim oranını belirler ve 0-1 arasında değer alır. Öğrenme oranı büyüdükçe değişim miktarı artmakta ve çok büyük değerleri kararsızlığa neden olmaktadır. Öğrenme oranının çok küçük değerleri ise öğrenme işleminin yavaşlamasına yol açar.

Momentum katsayısı (μ), ağın daha hızlı toparlanmasına yardım eden ve bir önceki değişimin bir kısmını bir sonraki değişime ekleyerek ağırlıkları yenilemek için kullanılan bir faktör şeklinde ifade edilebilir. Bunun yapılmasının, öğrenme esnasında lokal minimum değerlerinin bulunmasını yani ağın salınımını engellemektir. 0-1 arasında değerler alabilen momentum katsayısının yüksek değerleri çoğunlukla öğrenme işlemini hızlandıracağından daha uygundur.

Bias sabit aktivasyon değeriyle özel işlem elemanıdır. Bir geri yayılım ağında bias girdileri kullanılarak, daha iyi öğrenmeye neden olacak, aktivasyon fonksiyonunun orijini dengeye getirilmeye çalışılır.

BÖLÜM 6. ÇİMENTO HAMMADDE KARIŞIM PROSESİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE MODELLENMESİ

6.1. Hammaddelerin Oranlanması

İyi bir klinker kalitesi için hammadde karışım oranları aşağıdaki gibi olmalıdır [9,16].

CaO.....	% 64.5
SiO ₂	% 23.5
Al ₂ O ₃	% 5.3
Fe ₂ O ₃	% 3.5
MgO.....	% 2.5
K ₂ O ve Na ₂ O.....	% 0.5

İstenen hammadde karışımındaki en küçük değişimler bile klinker içerisindeki C₂S, C₃S, C₃A ve C₄AF oluşumunu değiştirmektedir. Hammadde karışım oranlarının ayarlanmasının karmaşık bir problem olmasının nedeni kullanılan hammadde çeşidinden ve bunların bileşimindeki farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Çoğu çimento fabrikası 3-5 ana hammadde kullanmaktadır. Ancak bazı çimento fabrikaları da 8 ile 10 arasında farklı malzeme kullanmayı tercih etmektedir. Tezde kullanılan verilerin alındığı Nuh Çimento Fabrikası'nda 3 ana hammadde kullanılmaktadır. Bunlar Nuh Çimento Fabrikası'ndaki isimlerine göre Düşük Mal, Yüksek Mal ve Demir Cevheridir. Düşük mal ve yüksek mal içeriğinde şunları bulundurmaktadır:

Düşük Mal

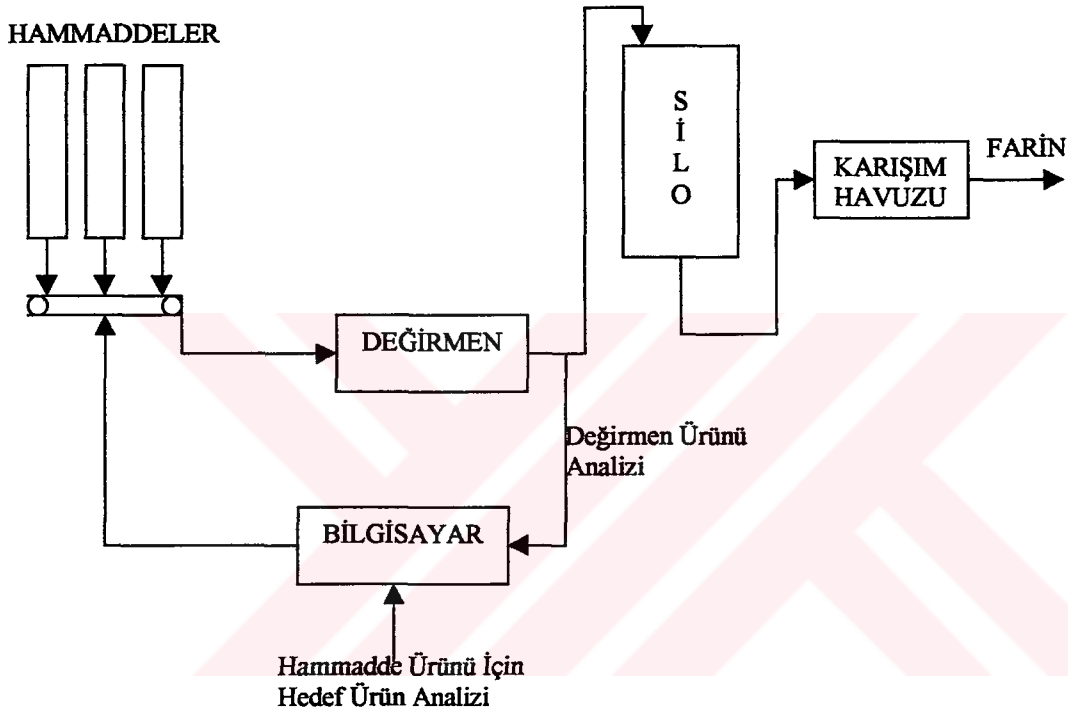
% 50 Marn
% 50 Silisli Marn

Yüksek Mal

% 12 Kalker
% 1 Kil
% 87 Marn

Demir cevheri ise % 100 demir içermektedir.

Çimento fabrikalarında, üretim sırasında değirmenden çıkan ürün analiz edilir ve hammadde için hedef ürün analizi ile karşılaştırılarak tekrar ayar yapılırsa daha iyi sonuçlar alınabilir. Hammadde karışımına ait karşılaştırma Şekil 6.1' de görülmektedir.



Şekil 6.1 Tipik karışım analizi [9]

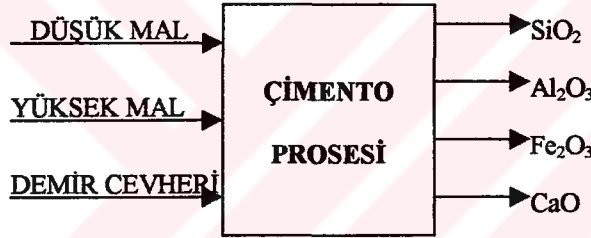
Bilgisayar kontrollü harman oranlama sistemlerinin temel amacı, harmanın doğru bileşimini elde etmektir. Kuru yöntem ile çimento üreten Nuh Çimento Fabrikası'nda; hammadde karışımı fırına gönderilmeden önce, iyice öğütülmüş malzemenin toplandığı silolarda havalı kompresörler ile homojenizasyon yoluyla bileşimindeki değişimler giderilmekte ve daha sonra gama ışınlarıyla analiz yapan GAMMA-MATRİCS cihazından geçirilmektedir. Hammadde karışımı içerisindeki oksit analizleri değerleri kumanda odasındaki bilgisayarlara gönderilmektedir. İstenen karışım oranları bu şekilde sağlanmaktadır.

Oranlama ve harmanlama kontrol sistemlerinden beklenen, fırın beslemesinin istenen özelliklerde sürekli olmasıdır. Bir çimento fabrikasında bilgisayar kontrolüne olan talebi, bu fabrikanın malzemenin düzgün olarak oranlanmasında maruz kaldığı güçlüklerin derecesi belirler.

6.2. Prosesin Sistem Olarak Tanımlanması

Çimento fabrikalarında kullanılan hammaddelerin karışımlarının matematiksel modellenmesi için, tez içinde daha önceki konularda anlatılan analiz yöntemleri ışığında prosese ait giriş ve çıkış bilgilerinin değerlendirilmesi gerekir.

Tezde kullanılan giriş ve çıkış bilgileri Nuh Çimento Fabrikası'ndan alınmıştır. Prosesin giriş ve çıkışları Şekil 6.2'de bir blok diyagramı ile gösterilmiştir.



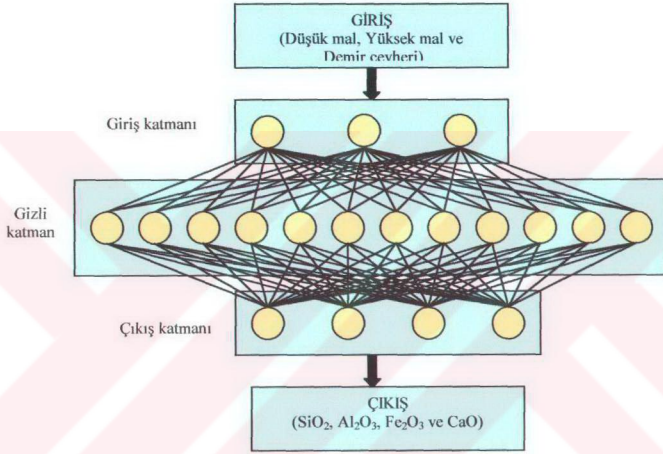
Şekil 6.2 Prosesin blok diyagramı

Şekil 6.2'de görüldüğü gibi sistemin girişleri düşük mal, yüksek mal ve demir cevheri, çıkışları ise silisyum oksit (SiO_2), alüminyum oksit (Al_2O_3), demir oksit (Fe_2O_3) ve kalsiyum oksit (CaO)'tir. Nuh çimento fabrikası giriş olarak 3 ana hammadde kullanırken bazı fabrikalar 5-6 hammadde kullanmaktadır. Çimento fabrikaları farklı analiz yöntemleri kullanabilir. Nuh Çimento Fabrikası daha önce de bahsedildiği gibi analiz için GAMMA-MATRİCS cihazını kullanmaktadır. Yapılan analiz sonucunda oranlar % cinsinden elde edilir. Tezde kullanılan giriş ve çıkış verileri de % olarak alınmıştır.

6.3. Hammadde Karışım Prosesi İçin Model YSA Tasarımı ve Uygulaması

Ağ tasarımı için giriş değişkenleri, çimento hammaddeleri olan düşük mal, yüksek mal ve demir cevheridir. Bunlar ağın giriş katmanını oluşturmakta ve böylece ağın 3

giriş nöronuna sahip olmaktadır. Ağ tasarımında çıktı değişkenleri farinde bulunan 4 ana oksit SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve CaO 'tir. Çıkış katmanı da dört çıkış nöronundan oluşmuştur. Yani prosese ait girişler ağına giriş katmanındaki nöron sayısını, prosese ait çıkışlar da ağına çıkış katmanındaki nöron sayısını belirlemektedir. Yapılan çalışmada bir adet gizli katman kullanılmıştır. Gizli katmanda ise on iki tane nöron kullanılarak YSA tasarımı gerçekleştirilmiştir. Prosesin yapay sinir ağı modeli Şekil 6.3'deki gibi gösterilebilir.



Şekil 6.3 Çimento hammadde karışım prosesinin yapay sinir ağı modeli

Giriş ve çıkış değişkenlerinin sayısal değerleri Nuh Çimento Fabrikası'nda yapılan analizler neticesinde elde edilmiştir. Bu veriler yardımıyla hammadde girişinden fırına gönderilmeye hazır farine kadar olan kısmın modellenmesi YSA yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Elde bulunan giriş-çıkış değişkenlerinin sayısal değerleri normalize edilerek (0-1 arasında olacak şekilde); bunlardan bir kısım giriş-çıkış verisi eğitim setinde, diğer kısım da test setinde kullanılmak üzere iki ayrı set oluşturulmuş ve bu sayede, ağda eğitim seti kullanılarak ağına eğitimi gerçekleştirilmiştir. Eğitilen ağa test setindeki veriler verilerek de ağ test edilmiştir.

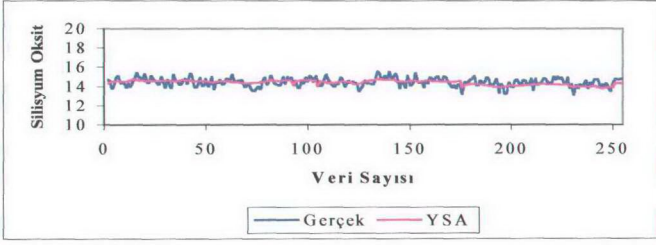
6.3.1. Model YSA'yı eğitime ile ilgili çalışmalar

Yapay sinir ağının eğitilmesi, en yaygın kullanılan öğreticili eğitime ile gerçekleştirilmiştir. Ağa, elde bulunan giriş ve çıkış verileri bu tekniğe göre verilmiştir. Yapay sinir ağında geri yayılım algoritması kullanılmıştır. Her denemeden sonra ağ kendi çıkışını doğru cevaplar (Nuh Çimento Fabrikası'ndan random olarak alınan çıkış değerleri) ile karşılaştırmış ve çıkış hatası kabul edilebilecek seviyeye ininceye kadar ağırlıklarını değiştirerek programda verilen iterasyona devam etmiştir. Ayrıca öğrenme katsayısı 0.3, momentum katsayısı da 0.8 olarak verilmiştir. Eğitim sırasında kullanılan parametreler Tablo 6.1'de verilmiştir.

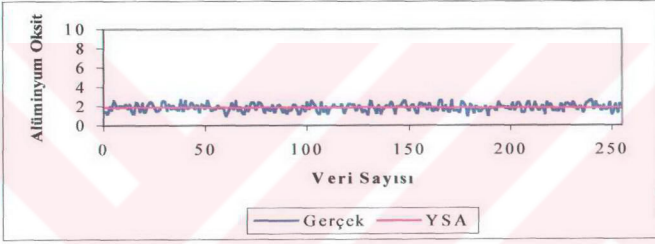
Tablo 6.1 Eğitimde kullanılan ağ parametreleri

Parametreler	Değerleri
Giriş katmanı nöron sayısı	3
Çıkış katmanı nöron sayısı	4
Gizli katman nöron sayısı	12
Öğrenme katsayısı	0.3
Momentum katsayısı	0.8
Eğitimde kullanılan veri sayısı	255
Testte kullanılan veri sayısı	255

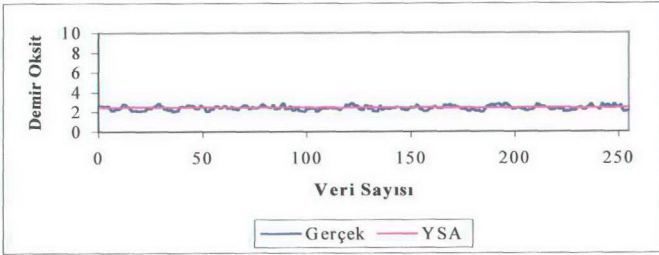
Yapay sinir ağının eğitimi sonucu elde edilen çıkışlar ile istenen çıkış değerleri karşılaştırılarak SiO_2 (Silisyum Oksit), Al_2O_3 (Alüminyum Oksit), Fe_2O_3 (Demir Oksit) ve CaO (Kalsiyum Oksit)'e ait grafikler elde edilmiştir. Şekil 6.4'de SiO_2 için, Şekil 6.5'de Al_2O_3 için, Şekil 6.6'da Fe_2O_3 için ve Şekil 6.7'de de CaO için grafikler gösterilmiştir.



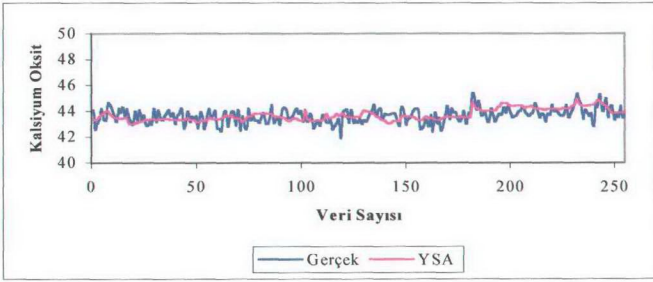
Şekil 6.4 Gerçek SiO_2 verileri ile YSA'nın eğitim sonucu elde edilen SiO_2 değerleri arasındaki grafik



Şekil 6.5 Gerçek Al_2O_3 verileri ile YSA'nın eğitim sonucu elde edilen Al_2O_3 değerleri arasındaki grafik

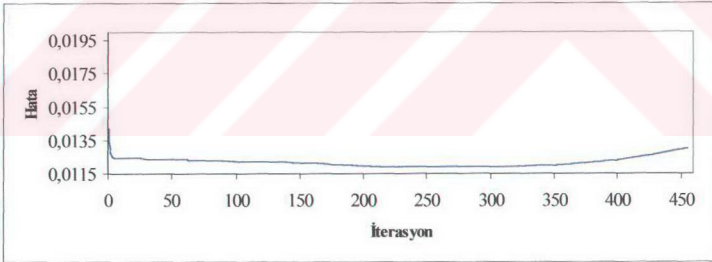


Şekil 6.6 Gerçek Fe_2O_3 verileri ile YSA'nın eğitim sonucu elde edilen Fe_2O_3 değerleri arasındaki grafik



Şekil 6.7 Gerçek CaO verileri ile YSA'nın eğitim sonucu elde edilen CaO değerleri arasındaki grafik

Verilen iterasyon ile ağı eğitimi sırasında oluşan hata arasındaki grafik Şekil 6.8'de gösterilmiştir. Grafiklerde verilen hata, hataların kareleri toplamının ortalaması şeklindedir. Ayrıca her bir iterasyonda ağı, verilen eğitim setindeki veri çifti sayısı kadar işlem yapmıştır. Yani 1 iterasyon verildi ise program, eğitim kümesindeki veri çifti sayısı kadar çalışmıştır, iterasyon sayısı 2 verildiğinde veri çifti sayısının iki katı işlem yapılmıştır.



Şekil 6.8 Eğitimdeki ağı parametreleri için iterasyon ile hatanın değişimi

Tablo 6.2 Verilen iterasyona karşılık gelen hata değerleri

İTERASYON	HATA
1	0.01422229252865
2	0.01273624248640
4	0.01250278393167
6	0.01248522209865
9	0.01247541761160
12	0.01246699590846
16	0.01245600796623
22	0.01243975333007
32	0.01241316685769
47	0.01237427427273
60	0.01234132486989
65	0.01232880149444
80	0.01229161213158
100	0.01224266197770
125	0.01218204565058
155	0.01210988359950
195	0.01201625142586
240	0.01192378919816
290	0.01186840859987
350	0.01196267796993
400	0.01228974303675
455	0.01301463230785

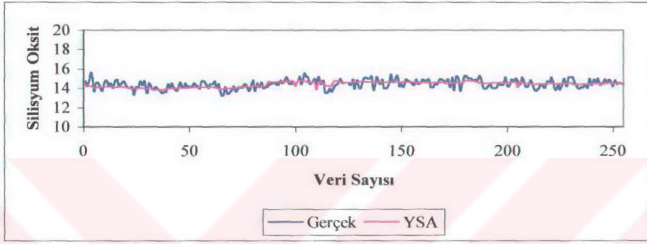
6.3.2. Eğitilen YSA'nın testi ile ilgili çalışmalar

YSA'nın eğitimi tamamlandıktan sonra, ağı test etmek amacıyla "Tgirdi.dat" ve "Tcikti.dat" dosya isimleri altında ölçeklendirilmiş şekliyle saklanan test setindeki giriş-çıkış verileri ağa verilmiştir. Ağ daha önce hiç görmediği giriş verilerini kullanarak bunlara ait çıkışlar üretmiştir. İstenen çıkış verilerini ve kendi çıkışlarını kullanarak da hataların kareleri toplamının ortalamasını bulmuştur.

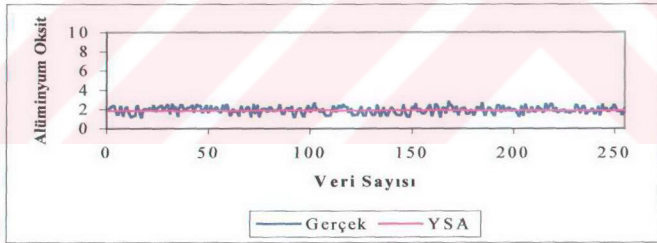
YSA'nın testi sonucu elde edilen çıkışlar ile gerçek çıkışlar karşılaştırılarak Şekil 6.9'da SiO_2 (Silisyum Oksit)'e ait, Şekil 6.10'da Al_2O_3 (Alüminyum Oksit)'e ait, Şekil

6.11'de Fe_2O_3 (Demir Oksit)'e ait ve Şekil 6.12'de CaO (Kalsiyum Oksit)'e ait grafikler gösterilmiştir.

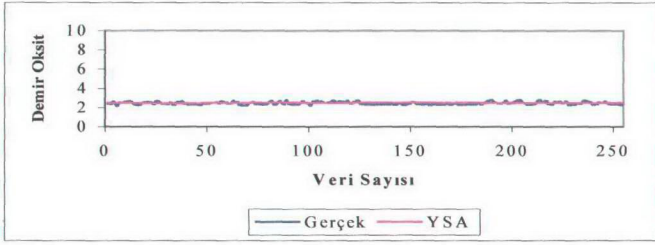
Ayrıca Şekil 6.13'de ağırlık testi sırasında bulunan hata ile iterasyon arasındaki grafik görülmektedir. Tablo 6.3'de de iterasyon ile test sırasında oluşan hata değerleri görülmektedir.



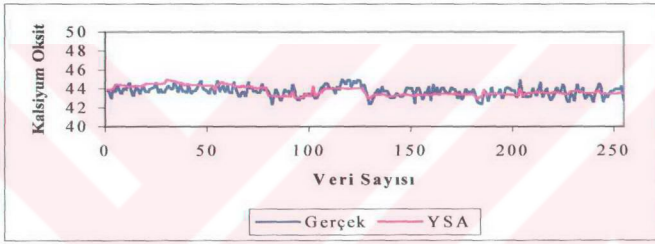
Şekil 6.9 Gerçek SiO_2 verileri ile YSA'nın testi sonucu elde edilen SiO_2 değerleri arasındaki grafik



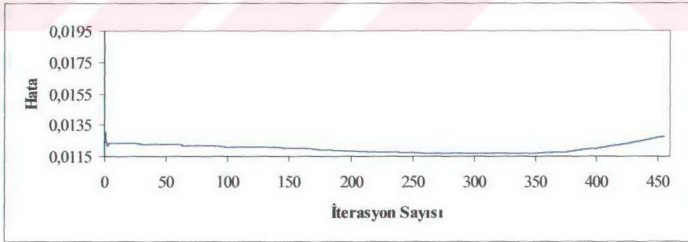
Şekil 6.10 Gerçek Al_2O_3 verileri ile YSA'nın testi sonucu elde edilen Al_2O_3 değerleri arasındaki grafik



Şekil 6.11 Gerçek Fe₂O₃ verileri ile YSA'nın testi sonucu elde edilen Fe₂O₃ değerleri arasındaki grafik



Şekil 6.12 Gerçek CaO verileri ile YSA'nın testi sonucu elde edilen CaO değerleri arasındaki grafik



Şekil 6.13 Eğitimi tamamlanmış model YSA'nın testi sonucu oluşan hata ile iterasyon arasındaki grafik

Tablo 6.3 Verilen iterasyon ile test sonucu oluşan hata değerleri

İTERASYON	HATA
1	0.01298423601724
2	0.01221501266511
4	0.01230282143548
6	0.01234183376436
9	0.01234597999658
12	0.01233924404491
16	0.01232871616029
22	0.01231287654666
32	0.01228686880633
47	0.01224856571483
60	0.01221580077200
65	0.01220325557550
80	0.01216565685760
100	0.01211525018685
125	0.01205111259497
155	0.01197183295151
195	0.01186313708565
240	0.01174577563066
290	0.01165491363460
350	0.01170738315254
400	0.01202000562379
455	0.01277858800122

BÖLÜM 7. SONUÇLAR

Çimento üretiminde klasik metotların modernleştirilmesi ve kontrol sistemlerine geçiş ile birlikte üretim artışının yanında kalitede artış ve giderlerde azalma sağlanması mümkündür. Çimento üretiminde kaliteyi etkileyen en önemli faktörlerden birinin de hammadde karışımının iyi ayarlanması olduğu bilinmektedir. Çimento prosesinde verimli ve ekonomik bir çalışma kontrol sistemleri ile sağlanabilir. Kontrol sistemleri için de bir matematiksel modelin oluşturulması şarttır.

Bu tez çalışmasında, hammadde karışım prosesi için yapay sinir ağı yöntemi kullanılarak matematiksel model gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Matematiksel modeli elde etmek için MATLAB 5.2 paket programı, programlama dili olarak kullanılmış ve YSA için bir program yazılmıştır. Kurulan matematiksel modelde giriş olarak 3 hammadde kullanılmış, çıkış olarak ise 4 oksit değeri göz önüne alınmıştır. Bölüm 4.2.1'de kimyasal parametreler olarak verilen ve çimentonun kalitesini belirleyen modüller, çıkış olarak alınan oksit değerlerine bağlı olmaktadır.

Yapay sinir ağlar örnekler yoluyla öğrenme sağladıkları için model YSA'nın eğitimi ve testi örnek data setleri (girişler ve çıkışlar) verilerek yapılmıştır. Yapay sinir ağı ile modelleme performansının yüksek olması için, hataların kareleri toplamının hem eğitim hem de test seti için minimum değerlerde olması istenmektedir. Fakat genelleştirme yeteneği dikkate alınacak olunursa, test seti verileri daha fazla önem taşımaktadır. Bu nedenle test seti için elde edilen hataların küçük olması daha önemlidir.

Bölüm 6'da, eğitim seti ve test seti için elde edilen grafiklerden de görüldüğü gibi, kurulan modelden elde edilen (programdan eğitim ve test sonucu çıkan) çıkış değerleri, Nuh Çimento Fabrikası'ndan alınan referans değerlerini çoğu kez

yakalamış veya yaklaşık sonuçlar vermiştir. İterasyon ile hata arasındaki grafikler göz önüne alınacak olunursa verilen iterasyon arttıkça hatanın oldukça azaldığı görülmektedir. Ayrıca test setindeki veriler ile ağın testi sonucu oluşan hata, eğitimi sonucu oluşan hatadan daha da küçük olmuştur. Şekil 6.8 ve Şekil 6.13'deki iterasyon ile hatanın değişimi arasındaki grafiklerde belirli iterasyonlardan sonra hatanın arttığı görülmüştür ki, YSA bu noktadan sonra öğrendiklerini unutmaya başlamaktadır.



BÖLÜM 8. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, hammadde karışım prosesinin yapay sinir ağları ile matematiksel modellenmesi sonucunda, istenen değerlere çoğu kez yaklaşılmasına rağmen çıkış değerlerinin istenen değerlerde olmasını yani eğitim performansını çok sayıda parametre etkilemiştir. Bu parametreler öğrenme katsayısı, momentum katsayısı, gizli nöron sayısı, rasgele ağırlık değerleri şeklinde verilebilir.

Yapay sinir ağların eğitilmesi sırasında başlangıç ağırlıkları rasgele alınmakta ve bunların değerleri ağ eğitimi etkilemektedir. Bunun yanında öğrenme ve momentum katsayısının değeri ve gizli katmandaki nöron sayısı ağ eğitiminde etkili olmaktadır.

Parametrelerin tezde kullanılan değerleri, literatürden araştırılarak ve bazı denemeler sonucu optimum olarak seçilmeye çalışılmıştır. Bahsedilen parametrelerin düşük değerlerde alınması ile ağın daha iyi bir öğrenme göstermesi mümkün olabilir. Böylece daha iyi bir öğrenme sağlanabilir.

Ayrıca hammadde karışım prosesinin, dolaylı olarak YSA'nın çıkışları, 4 ana oksit yerine bunlardan elde edilen modüller olarak alınabilir.

Çimento hammadde karışım prosesi için elde edilen matematiksel model göz önüne alınarak uygun bir kontrol algoritmasının seçilmesi ile hammadde karışım prosesinin kontrolü yapılabilir. Böylece kısmi bir bölgede de olsa çimento fabrikasında, ürün kalitesinin ve kapasitesinin iyileşmesini ve birçok konuda maliyetin düşürülmesini sağlayan otomasyona geçilebilir.

KAYNAKLAR

[1] DATEM A.Ş., "Hazır Beton'da Otomasyon", Nuh Dünyası, Sayı 21, Ağustos, 1995.

[2] YAPICI, S., BOYBAY, M., EKMEKYAPAR, A., "Çimento Fabrikalarında Farini Oluşturan Hammadde Miktarlarının ve Klinker Bileşiminin Bilgisayar ile Hesaplanması", Çimento Bülteni, Cilt 27, Sayı 280, s. 1-15, Ekim, 1990.

[3] <http://www.karcimsa.com.tr/üretim>

[4] ERGIN, H., "Çimento Hammadde Üretiminin Bilgisayar Destekli Tasarımla Optimizasyonu", Çimento ve Beton Dünyası, Vol 2, No 16, December, 1998.

[5] <http://www.odevsitesi.com>

[6] SİPAHİ, F., KANTAŞ, F., "Türkiyedeki Çimento Fabrikalarında Kullanılan Hammaddelerin Özellikleri", TÇMB, Çimento ve Beton Dünyası, Sayı 28, s. 15-26, Ankara, 2000.

[7] ÖZDEN, N., "Çimento Teknolojisi", Türkiye Çimento Sanayii T.A.Ş., s. 1-24, Ankara, 1981.

[8] TAYLOR, H.F., "Chemistry of Cement and Concrete", Imperial University of London, Second Addition, U.K., 1992.

[9] KILIÇ, R., "Çimento Hammadde Karışım Prosesinin Matematiksel Modellenmesi", Yüksek Lisans Tezi, SAÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Ocak, 1996.

[10] KULA, İ., "Bor Endüstri Atıklarının Çimento Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi", Doktora Tezi, SAÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Ekim, 2000.

[11] NEVILLE, A.M., "Properties of Concrete", Third Edition, Wiley and Sons, Newyork, USA, 1990.

[12] YAVUZ, B., "Çimentonun Mukavemetine Etki Eden Faktörler", Yüksek Lisans Tezi, SAÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Temmuz, 2000.

[13] GOUDA, R., "Raw Material Blending", World Cement Technology, Vol 10, Nun. 9, 1979.

[14] TARGAN, Ş., "Kula Cürüflü, Bentonit, Kül ve Kolemanit Atıklarının Çimento Üretiminde Değerlendirilmesi", Doktora Tezi, SAÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Ocak, 2002.

[15] GOUNDE, G.R., (Çev. BURIAN, K.), "Başarılı ve Karlı Bir Çimento Fabrikasının Altın Anahtarı: Hammadde Karışımı", TÇMB Çimento Bülteni, 19(178), s. 3-19, Ankara, 1983.

[16] KABAHASANOĞLU, Ş., "Çimento Endüstrisinde Harmanlama Prosesinin Öz Uyarlamalı Kontrolü", Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Eylül, 1995.

[17] LIN, P.&YUN, Y.S., BARBIER, J.P., BABEY, Ph.&PREVOT, P., "Intellegent Tuning and Adaptive Control for Cement Raw Meal Blending Process", IFAC Intellegent Tuning and Adaptive Control, 1991.

[18] EMİROĞLU, M., "Otomatik XLF Spektrometrelerle Çimento Yu Teşkil Eden Maddelerin Proses Kontrolüne Yönelik Elementsel Analizi", Çimento Bülteni, Cilt 28, Sayı 293, 1991.

[19] AYBEK, G., "Otomatik Proses Kontrolünde Yeni Bir Adım", Çimento Bülteni, Cilt 4, Sayı 315, 1994.

[20] KAYA, S., "Yapay Sinir Ağları ile Ünite Planlaması ve Paylaşımı", Yüksek Lisans Tezi, SAÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Kasım, 1997.

[21] KIZILASLAN, K., "Çimento Endüstrisinde Harmanlama Prosesinin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi", Bitirme Tezi, İTÜ, Makine Fakültesi, İstanbul, Haziran, 2001.

[22] ÖZ, C., "Üç Eklemlili Bir Robot Kolunun Yapay Sinir Ağları ile Eklem Esaslı Yörünge Kontrolü" Doktora Tezi, SAÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Eylül, 1998.

[23] HAGAN, M.T., DEMUTH, H.B., BEALE, M., "Neural Network Design", PWS Publishing, Boston, 1995.

[24] <http://www.firat.edu.tr/sanalunv/ysa>

[25] CAUDILL, M. and BUTLER C., "Understanding Neural Networks Computer Explorations", Vol 1, The MIT Press, 1992.

[26] TOSUN, N., GÜNEŞ, N., "Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Tornalama Zamanının Tahmini", 8. Uluslararası Makina Tasarım ve İmalat Kongresi, ODTÜ, Ankara, Eylül, 1998.

[27] KARTALOPOULOS, S.V., "Understanding Neural Networks and Fuzzy Logic; Basic Concepts and Applications", IEEE Press, Newyork, 1996.

[28] CARPENTER, G.A., GROSSBERG, S., "ARTZ Selforganization of Stable Category Recognition Cads for Analog Input Patterns", Applied Optics, pp. 4919-4930, Des. 1.,1987.

[29] ŐENGÖRÖR, B., ÖZ, C., "Kültür Balıkçılığının Su Kirliliğine Etkisinin Yapay Sınır Ağları ile Belirlenmesi", Turkish J. Eng. Env. Sci., 26, 2002.



ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında Akhisar'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Akhisar'da tamamladı. 1995 yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümüne girdi. 1999 yılında lisans eğitimini tamamladı. 2000 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Makina Tasarım ve İmalatı Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Aynı yıl Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümüne Araştırma Görevlisi olarak girmeyi hak kazandı. Halen bu göreve devam etmektedir.