

57099

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ


ÇİMENTO HAMMADDE KARIŞIM PROSESİNİN
MATEMATİK MODELLENMESİ


YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mak.Müh. Recep KILIÇ

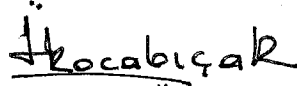
Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜH.

Enstitü Bilim Dalı : MAKİNA TASARIM VE İMALAT

Bu tez .. / .. / 19.. tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


Yrd. Doç. Dr. Recep KARAN
Jüri Başkanı


Yrd. Doç. Dr. Ömer K. Moray
Jüri Üyesi


Yrd. Doç. Dr. İsmail KOCABIŞAK
Jüri Üyesi

TEŐEKKÜR

Yapmış olduğum bu çalıőmayı titizlikle yöneten, çalışma süresince her türlü teővik ve fedakrlığı esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden istifade ettiğim değerli Hocam Yrd. Doç. Dr. Recep KAZAN'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Çalıőmalarıma yakın ilgi ve alaka gösteren, değerli fikirleriyle beni her zaman destekleyen ve yardımlarını esirgemeyen sayın Prof. Dr. Can ÖZSOY'a ve Nuh imento A.Ő. yetkililerine teőekkürlerimi sunarım.

Tez esnasında maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen Makina Müh. Bölüm Başkanı sayın Doç. Dr. Ahmet OĐUR'a ve bölüm elemanlarına ve çalıőmama büyük bir özveriyle katlanan eŐime teőekkürlerimi sunarım.

Recep KILIÇ

İÇİNDEKİLER

SİMGELER VE KISALTMALAR.....	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
ÖZET.....	VIII
SUMMARY.....	X
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 ÇİMENTO HAMMADDESİ	3
2.1 Hammadde Tanımı	3
2.1.1 Bazık Karakterli Hammaddeler.....	3
2.1.1.1 Kireç Taşı	3
2.1.1.2 Alçı Taşı	4
2.1.2 Asit Karakterli Hammaddeler.....	4
2.1.2.1 Kil	4
2.1.2.2 Marn	4
2.1.2.3 Silis	5
2.1.2.4 Demiroksit	5
2.1.3 Fiziksel Parametreler	5
2.1.3.1 Hammaddelerin Homojenlik Dereceleri	5
2.1.3.2 Hammaddelerin İnceliği	6
2.1.3.3 Farinin Homojenliği	7
BÖLÜM 3 ÇİMENTO TEKNOLOJİSİ	8
3.1 Çimento Üretimi	8
3.2 Çimento Üretim Sistemleri	9
3.2.1 Yaş Sistem Çimento Üretimi	9
3.2.2 Yarıyaş Sistem Çimento Üretimi	11
3.2.3 Kuru Sistem Çimento Üretimi	11

3.2.3.1 Önisıttıcı Siklonlu Kuru Sistem ,	12
3.2.3.2 Önkalsinatörlü Kuru Sistem	14
BÖLÜM 4 HAMMADDE KARIŞIM MİKTARININ TAYINI	16
4.1 Kimyasal Parametreler	16
4.1.1 Silis Modülü	16
4.1.2 Alüminyum Modülü	17
4.1.3 Kireç Standardı	18
4.2 X-Ray Floresan Analizi	19
4.3 Gamma - Matrics Analizörü	20
4.4 XRF ve Gamma - Matrics Analizörünün Karşılaştırılması	23
4.4.1 XRF Analizörü	23
4.4.2 Gamma - Matrics Analizörü	24
BÖLÜM 5 PARAMETRE TAHMİN YÖNTEMLERİ	27
5.1 Genel Bilgiler	27
5.2 Problemin Formülasyonu	28
5.3 Ardışık Parametre Kestirim Metodları	29
5.3.1 Ardışık En Küçük Kareler Metodu	29
5.3.2 Ardışık Kare Kök Metodu	30
BÖLÜM 6 ÇİMENTO HAMMADDESİNİN MODELLENMESİ	32
6.1 Sistem Tanımlama Nedir	32
6.2 Hammaddelerin Oranlanması	33
6.3 Sistemin Matematik Modeli	35
6.4 Çimento Prosesinin Bir Sistem Olarak Tanımlanması	36
6.5 Bilgisayar Programı ve Sonuçları	37
6.5.1 Nuh Çimento A.Ş. 'ye Ait Sistemin ARX Modeli ile Tanımlanması	39
6.5.2 Nuh Çimento A.Ş. 'ye Ait Sistemin ARX Modeli ile Tanımlanmasına Ait Grafikler	41
6.5.3 Nuh Çimento A.Ş. 'ye Ait Sistemin İV4 Modeli ile Tanımlanması	43

6.5.4 Nuh Çimento A.Ş.'ye Ait Sistemin İV4 Modeli ile Tanımlanmasına

Grafikler	45
BÖLÜM 7 SONUÇ VE ÖNERİLER	47
KAYNAKLAR	49
ÖZGEÇMİŞ.....	51



SİMGELER LİSTESİ

PÇ	Portlant Çimento
S	Silisyumoksit
A	Aluminyumoksit
F	Demiroksit
C	Karbonmonoksit
BG	Baca Gazı
FT	Farin Tozu
BT	Baca Tozu
K	Düşük Mal
Ka	Yüksek Mal
D	Demir Cevheri
SM	Silikat Modülü
AM	Alüminyum Modülü
KS	Kireç Standardı
U	Sistem Girişi
Y	Sistem Çıkışı
E	Hata Kriteri
ε	Kestirim Hatası
P(t)	Parametre Kestirim Vektörü
X(t)	Veri Vektörü
I _N	Tanım Matrisi
e(t)	Sıfır Ortalamalı Beyaz Gaussian Gürültü Sinyali
d	Proses Zaman Gecikmesi
m,n	Proses Mertebesi

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 3.1 Ana Hatlarıyla Çimento Üretim Şeması	9
Şekil 3.2 Ana Hatlarıyla Yaş Sistem Çimento Üretimi	10
Şekil 3.3 Ana Hatlarıyla Yarıyaş Sistem Çimento Üretimi.....	11
Şekil 3.4 Önısıstıcı Siklonlu Kuru Sistem Çimento Üretimi	14
Şekil 4.1 GAMMA-MATRİCS'in Nuh Çimento A.Ş. 'deki Uygulaması.....	24
Şekil 4.2 Bir XRF Cihazına Verilen Numunelerin Bir GAMMA-MATRİCS Cihazından Alınan Gerçek Sonuçlarla Karşılaştırılması	25
Şekil 4.3 Nuh Çimento Fabrikasında Kontrol Edilen Parametreler.....	26
Şekil 6.1 Tipik Karışım Analizi	34
Şekil 6.2 Prosesin Blok Diyagramı	37
Şekil 6.3 Fabrikadan Alınan SiO ₂ Dataları ile Sistemin Bulduğu SiO ₂ Arasındaki Grafikler	41
Şekil 6.4 Fabrikadan Alınan Al ₂ O ₃ Dataları ile Sistemin Bulduğu Al ₂ O ₃ Arasındaki Grafikler	41
Şekil 6.5 Fabrikadan Alınan Fe ₂ O ₃ Dataları ile Sistemin Bulduğu Fe ₂ O ₃ Arasındaki Grafikler	42
Şekil 6.6 Fabrikadan Alınan CaO Dataları ile Sistemin Bulduğu CaO Arasındaki Grafikler	42
Şekil 6.7 Fabrikadan Alınan SiO ₂ Dataları ile Sistemin Bulduğu SiO ₂ Arasındaki Grafikler	45
Şekil 6.8 Fabrikadan Alınan Al ₂ O ₃ Dataları ile Sistemin Bulduğu Al ₂ O ₃ Arasındaki Grafikler	45
Şekil 6.9 Fabrikadan Alınan Fe ₂ O ₃ Dataları ile Sistemin Bulduğu Fe ₂ O ₃ Arasındaki Grafikler	46
Şekil 6.10 Fabrikadan Alınan CaO Dataları ile Sistemin Bulduğu CaO Arasındaki Grafikler	46

ÖZET

Anahtar kelimeler: Çimento endüstrisi, Hammadde, Sistem tanımlama, öğütme

Çimento üretim teknolojisinin kuru sisteme yönelmesi, farin hazırlamada kullanılan hammaddelerdeki hızlı ve aşırı kompozisyon dalgalanmalarını işletmelerin önemli bir sorunu haline getirmiştir. Katkı oranının artırılabilmesi için yüksek ve sabit kalitede bir klinker üretimi gerekmektedir. Üretim maliyetini düşürmek için ise kesintisiz ve sabit rejimli döner fırın işletmesine ihtiyaç vardır. Bunları sağlayacak koşul, fırına verilen malzemenin kimyasal kompozisyonunun ayarlanmış ve sabit olmasıdır.

Farin silolarında istenilen kompozisyonun sürekli ve hassas olarak elde edilebilmesi, üretimde kullanılan hammaddelerin kompozisyon stabilitesine bağlıdır. Farin değirmenine beslenen hammaddelerin toplam değişkenlik miktarının belli limitleri aştığı fabrikalarda silo kapanış kompozisyonlarında amaçtan ciddi sapmalar olmaktadır. Bu durumda çözüm önhomogenizasyon tesis veya tesislerinin kurulmasıdır.

Çimento hammaddesini oluşturan kimyasal bileşimi eniyi bir şekil de ayarlamak gerekir. Bunun için bir matematiksel model geliştirilmiştir. Bu matematiksel model kullanılarak Matlab'ta bir bilgisayar programı yapılmıştır. Amaç 1980'li yıllardan sonra çimento teknolojisine de giren bilgisayar imkanlarını kullanmaktır. Bu sayede sistemin daha stabil ve efektif bir hale gelmesini sağlamak suretiyle üretim girdilerinde en büyük payı oluşturan yakıt ve elektrik enerjisi tüketiminin düşürülmesi ve duruşların minimize edilerek üretimin artırılması gibi vazgeçilmez iki büyük avantajı da beraberinde getirecektir.

Sistem tanımlama konusunda farklı iki yöntem olan ARX ve İV4 modeli bu çalışmanın ana amacını teşkil etmişlerdir. Çalışma içerisinde bu iki yöntemin neler oldukları, formülasyonların nasıl elde edildikleri, karşılaştırmaları ve değişik özellikleri incelenmiştir. Bu incelemeler ve yorumlamalar Nuh Çimento A.Ş. nin verdiği datalar uygulanarak ilgili çimento prosesinin modellenmesinde kullanılmıştır. Bunlara ait bilgisayar programları ve sonuç grafikleri yine bu çalışma da sunulmaktadır. Yine bu çalışmada çimento endüstrisinde bilgisayarlı analizler, bu analizlerin nasıl uygulandıkları hakkında ayrıntılı bilgiler verilmiştir.

Bunların yanısıra bilgisayar kontrolü ile çalışmaya başlayan bir çimento fabrikasında;

- Mevcut hammalzemenin en rasyonel bir şekilde uzun süre kullanılmasını sağlamak,
- En kaliteli klinkeri sürekli olarak üretmek,
- Bu üretimi yaparken kullanılacak enerjiyi enaza indirmek,
- Manual müdahaleleri enaza indirmek,
- Döner fırın refrakter tuğla tüketiminin azaltılması gibi küçümsenemeyecek bir dizi avantajı da beraberinde getirerek, bilgisayar otomasyonunu vazgeçilmez kılmıştır.

SUMMARY

MATHEMATICAL MODELLING OF MIXTURE OF CEMENT RAW MATERIAL

Key Words: Blending control; grinding; feedstream concentration estimation

In cement manufacturing, as well as, in many other industrial processes, measurements are frequently made of various pertinent variables, yet rarely is all the information contained in these measurements extracted. Present in many cement raw material milling operations are the x-ray fluorescence analyzer and digital computer, the primary functions of which are to analyze raw meal samples. The object of this study is to present a method whereby the x-ray fluorescence raw meal analysis normally made can be processed optimally to yield estimates of changing feedstream oxide concentrations. These estimates may be used in further optimizing and controlling the process.

The cement manufacturing process is composed of two main parts; (1) blending and grinding of raw materials, and (2) kiln firing and finish grinding to a fine powder containing four compounds in the following approximate weight fractions: tri-calcium silicate, C_3S (%60), di-calcium silicate, C_2S (%25), tri-calcium aluminat, C_3A (%5), and tetra-calcium aluminoferrite, C_4AF (%10). The concentrations of these four cement compounds in weight percent or expressed as a decimal fraction are related to the concentrations of the four ignited oxides after firing (CaO , SiO_2 , Fe_2O_3 and Al_2O_3) by the Bogue equation

$$\begin{bmatrix} C_3S \\ C_2S \\ C_3A \\ C_4AF \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4.07 & -7.6 & -4.43 & -6.72 \\ -3.07 & 8.60 & 1.08 & 5.07 \\ 0.0 & 0.0 & -1.69 & 2.65 \\ 0.0 & 0.0 & 3.04 & 0.0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} CaO \\ SiO_2 \\ Fe_2O_3 \\ Al_2O_3 \end{bmatrix}$$

The final strength and quality of cement are strong functions of the concentrations of the cement compounds. Examination of equation (1) reveals the high sensitivity of the cement compounds to ignited oxide variations. Any composition restrictions imposed on the cement compounds result in even more stringent restrictions on ignited oxide compositions. Thus the precise regulation of the output concentrations of the raw mill is absolutely essential in the manufacture of high quality cement with specified strength characteristics. The constancy of the kiln feed composition is of great importance not only from the standpoint of product quality control and the magnifying effects of the kiln reactions, but also because constant kiln feed composition allows coating on the inside of the kiln protecting the refractory lining.

The main purpose of the raw meal quality control is to maintain closer to the standard set values and to decrease the variation of the chemical composition (in terms of composition module, as lime deficiency, silica modulus and aluminium modulus) of the raw meal by using some raw materials called “ correction products”. The clinker of desired chemical composition is expected to satisfy the following modules related to the chemical composition of the raw mix:

- Lime Saturation Factor (LSF):

$$LSF = \frac{100CaO}{2.8SiO_2 + 1.2Al_2O_3 + 0.65Fe_2O_3}$$

- Silica Modulus (SM):

$$SM = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

- Alumina Modulus (AM):

$$AM = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$$

A high LSF requires high heat consumption for clinker burning inside the kiln, and thus gives more strength to the cement. A higher SM decreases the liquid phase content, which impairs the burnability of the clinker and reduces the cement setting time. The value of AM determines the composition of liquid phase in the clinker.

The goal is to achieve a desired level of LSF, SM and AM of the raw mix, to produce a particular quality of the cement by controlling the mix proportions of the raw materials. To achieve an appropriate raw mix proportion is very difficult, due to the inconsistencies in the chemical composition of the raw material.

The cement production plant of Nuh Çimento A.Ş. in Hereke is taken as an application process. The process is explained with details and the data of input and output are used. In cement industry they used four main raw materials. These are the clay, chalkstone, iron and kaolin. The four raw materials are mixed in a predetermined proportion and so it is obtained a clinker of a known quality. These raw materials are taken as the system inputs. For a good quality the proportionality of these raw materials should be in a standard interval. To make an analysis for quality one takes samples of the blended material in some points of the process. The samples are analyzed in two ways. One is to make a chemical analysis. Another approach is the GAMMA-MATRİCS analysis. The raw materials are brought into a crusher to crush in small pieces. After then they are conveyed to a stockhall where a reclaimer makes a prehomogenization. In the stockhall the samples of the raw material are taken and analyzed. There is also an analysis in the silo after the mill. There are looked for four main oxides. These oxides are calcium oxide (CaO), silicon oxide (SiO₂), aluminium oxide (Al₂O₃) and iron oxide (Fe₂O₃). The sizes of their percentile proportion are criteria for the quality. The chemical analysis is made and GAMMA-MATRİCS analysis is made one per five minutes. The four main oxides are thought as the system outputs.

These input and output data are used to identify the system. They build the vector of known quantities and the vector of unknown quantities (system parameters) is calculated in two different computer programs. One program is written for computing the system parameters using the ARX model and IV4 model.



BÖLÜM 1 GİRİŞ

Ülkemizde otoyollar, fabrikalar ve hızlı nüfus artışına paralel olarak konut yapımı son 15-20 yılda daha önceki yıllara nazaran hissedilir oranda artmıştır. Ayrıca komşu ülkelerimizde meydana gelen savaşlar nedeniyle ilgili bölgelerde çok sayıda fabrika, yol, köprü, hava alanı, konut v.b. yapılar kullanılmayacak derecede hasar görmüştür.

Yukarıda saydığımız sebepler, ülkemizde çimento sektörünün pazar açısından son derece avantajlı konumda olduğunu göstermektedir. Fakat bu her ne kadar bölgemiz için büyük bir pazar gibi görünse de dünyadaki çimento sektörü gözönüne alınınca çok şiddetli bir rekabetin olacağı anlamına gelmektedir. Bu rekabette teknolojisi en iyi olan ve kaliteli ve en ucuz üretim yapan üreticiler karlı çıkacaktır [1].

Ülkemizde üretilen çimentonun kalitesi, Avrupa ülkeleri ve diğer gelişmiş ülkelerde üretilen çimentonun kalitesiyle kıyaslandığında arada aleyhimize bariz bir farkın olduğu görülmektedir. Yine ülkemizde çimento sektöründe birim üretim başına tüketilen enerji değerleri Avrupa ülkeleri ve diğer gelişmiş ülkelerin değerleriyle kıyaslandığında oldukça yüksek seviyededir. Türk çimento sektörü bunun bilincinde olup bu dengesizliğin giderilmesi için ciddi çabalar içerisine girmiş bulunmaktadır. Nuh Çimento A.Ş ve Ak Çimento buna bir örnek olarak gösterilebilir. Bir çok sektör fabrika otomasyonunu öncelikli konular arasına almıştır. Otomasyon vasıtasıyla personelden tasarruf sağlanması, servislerin dikkatsizliği ve iş makinalarının aşırı yüklenmesi v.b nedenlerle meydana gelebilen arızaların önlenmesi, çimentoyu oluşturan hammadde karışımının en iyi şekilde pişirilmesi istenmektedir.

Genellikle çimento fabrikalarında kullanılan hammaddelerin % 100'ü doğal oluşumlardır. Hiçbir ocak bir diğerine kimyasal, fiziksel ve minerolojik özellikleri yönünden eşdeğer değildir. Üretim sırasında bir başka endüstrinin yan ürününün

kullanıldığını varsayarsak, bu bile hergün başka özellik göstermektedir. Aynı hammadde ocağında dahi özellikler değişmektedir. Aynı hammaddeyi kullanan iki çimento fabrikası gösteremezsiniz; çok ender olarak iki fabrikanın kullandığı hammaddeler eşdeğer olsa dahi, aynı üretim süreci bile kullansalar her iki fabrikanın enerji tüketiminin farklı olduğunu görürsünüz. Her hammadde karışımının üretim süreci içerisindeki davranışı farklı olmaktadır.

Her çimento fabrikasında verimli ve karlı bir üretimin anahtarı; hammadde karışımı ve fırına homojen bir mal vermede yatmaktadır. Her fabrika kullandığı hammaddelerin niteliğine göre üretimini ayarlamalıdır, çünkü bu nitelikler ancak bir başka ocaktan alınan değişik hammaddelerle karıştırılarak değiştirilebilecek türdedir. Bu nedenle bir fabrika kurulurken, en ekonomik işletmeye uygun hammadde seçimi yapabilmek için hammadde etütlerinin titizlikle yapılması gerekir [2].

Kaliteli bir çimento üretiminin yolu, çimentoyu oluşturan bileşimin iyi ayarlanmasıdır. Bunu yapabilmek için de ham karışımın iyi bir şekilde kontrol edilmesi gerekmektedir. Geliştireceğimiz bir matematik model bize bu karışımı kontrol etme imkanı sağlayacaktır. Hammadde hazırlamada kullanılan otomatik kontrol fırında pişirme esnasında harcanan yakıt miktarını önemli derecede etkilemektedir. Hammadde hazırlamada kullanılan otomatik kontrol sistemleri yalnızca üretilen klinker kalitesinin yüksek olmasını sağlamakla kalmaz aynı zamanda fırının stabil çalışmasını da temin ederler. Fırına istenilen incelik ve kimyasal kompozisyonda hammadde verilebilmesi fırın kapasitesini ve dolayısıyla ısı verimliliğinin artmasına neden olur.

Çalışmamızın ikinci bölümünde çimentoyu oluşturan hammaddeler tanıtılmış, bölüm 3'de çimento teknolojisinden bahsedilmiştir. Bölüm 4'de hammadde karışım miktarının tayininden, bölüm 5'te parametre tahmin yöntemleri ve ARX, İV4 modellerinden bahsedilmiştir. Bölüm 6'da ise çimento ham karışımının modellenmesi yapılmıştır.

BÖLÜM 2 ÇİMENTO HAMMADESİ

2.1 HAMMADELERİN TANIMI

Magmatik, tortul ve metamorfik olmak üzere üç gruba ayrılan kayalardan çimento üretiminde kullanılanlar genellikle tortul kayalardır. Çimento üretiminde kullanılan hammaddelerin ana bileşenleri Kireç(CaO), Kum(SiO₂), Kil(Al₂O₃), Demir oksit(Fe₂O₃)'tir. Bunların dışında MgO, Na, K, Ti, Mn, ve kükürt oksitleri de az miktarda bulunmaktadır. Bu maddeler çimento içinde serbest halde olmayıp, kimyasal bileşimler yapmış haldedirler. Bunlar arasında CaO, SiO₂, ve biraz daha az olmak üzere Al₂O₃ ana madde rolünü oynarlar. Çimento sanayi maddeleri, bazik karakterli ve asit karakterli hammaddeler olarak gruplandırılabilir.

2.1.1 Bazik Karakterli Hammaddeler

2.1.1.1 Kireçtaşı

Çimento sanayinin ana hammaddesi kireçtaşıdır. Kimyasal bileşimi (CaCO₃) Kalsiyum karbonattan meydana gelmektedir. Karasal olarak oluşmuş bulunabilirse de en önemli kısmı deniz altında oluşarak yeryüzü üzerinde bütün heryere dağılmış olarak bulunur. Genellikle az miktarda yabancı madde ihtiva eden kireçtaşının yüksek oranda MgCO₃ ile pirit ve alçıtaşı ihtiva edenlerinin çimento üretiminde kullanılması elverişli değildir. Kireçtaşı kil ile çeşitli oranlarda birleşerek değişik bileşimler meydana getirir. Kireçtaşı tortul kayalar içinde en çok kullanılanıdır.

2.1.1.2 Alçı Taşı

Kimyasal bileşimi Kalsiyumsülfat'tan (CaSO_4) oluşan alçı taşına Karstenit de denir. Deniz suyunun buharlaşması ile çökelen bir tortul kayadır. Levha, yaprak, lif taneli veya kompakt olarak bulunabilir. Kalsit, magnezit, siderit ve kuars ihtiva edebilir.

2.1.2 Asit Karakterli Hammaddeler

2.1.2.1 Kil

Değişik alüminyum silikat hidratlarından oluşmuştur. Tanecikleri 0.00025 cm den daha küçüktür. Çoğu zaman kuars tozu, feldispat, klorit ve mika karışmıştır. Başlıca bileşeni olan Alümina (Al_2O_3) doğada serbest olarak az bulunur. Daha ziyade değişerek tortulaşan kil minarelli olarak bulunur. Killerin sertleşerek kayaç haline gelmesiyle oluşan kiltası da çimento üretiminde kullanılır.

2.1.2.2 Marn

Kireç taşı ve kilden meydana gelen doğal karışıma Marn denir. Bir tür doğal çimento olarak düşünülebilir. Tortul kayaların %84'ünü teşkil eder. 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

2.1.2.3 Silis

Doğada hidrotermal şekilde meydana gelen silis (SiO_2), bu oluşumların tabii bir neticesi olan kuarstır. Birçok mağmatik kayacın bileşiminde önemli bir yer tutar. Yer kabuğunda silis kristalleri kütleler halinde bulunur. Yer kabuğunda en çok bulunan minarellerden biri olan kuars üç sınıfa ayrılabilir.

- Kristalin Kuars
- Gizli Kristalin Kuars
- Opal

2.1.2.4 Demiroksit

Demir oksijen ile birleşmek suretiyle üç değişik bileşim halinde bulunur. İçerisinde Fe_2O_3 bulunan bu bileşimler:

- Wüstit : %12 Fe_2O_3 çözülmüş durumda
- Manyatit : Fe_3O_4
- Hematit : Fe_2O_3
- Limonits : $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

Çimento sanayiinde kullanılması gereken demiroksit Hematit veya Limonittir.

2.1.3 Fiziksel Parametreler

Fiziksel parametrelerin hammadde ocaklarından itibaren dikkate alınması gerekmektedir. Bu parametreler birbirlerine bağımlı olup hepsi de fırın rejimini etkilemektedir. Farinin fiziksel parametreleri şu özellikleri etkilemektedir.

2.1.3.1 Hammaddenin Homojenlik Derecesi

Farinin iyi bir şekilde sinterleşmesini sağlayan en önemli faktör fırına verilen malın homojenliğidir. Karmaşık ve homojen olmayan malzemedan hazırlanan bir karışım kullanıldığında fırının performansını denetim altında tutmak hemen hemen olanaksızdır. Homojen olmayan bu tür malzeme ile çalışmak gerekiyorsa genellikle

tesis kurulurken bir önkarıştırıcı da ilave edilmelidir. Önkarıştırma işlemi, hammaddenin heterojenlik düzeyine, otomatik denetim sistemlerinin olup olmasına ve karıştırma derecesine göre yapılmalıdır.

Önkarıştırıcı sistemlerde kullanılan ekipman oldukça pahalı olup yatırım ve ton başına üretim maliyetini oldukça artırmaktadır. Üstelik sistemin otomatik kontrollü olması istenirse bu maliyet daha da artacaktır. Analiz sistemi ile değirmene giriş arasındaki feedback (geri besleme) devresi çok duyarlı olmalı ve hammaddedeki tenör dalgalanmalarını derhal düzeltebilecek bir hızda çalışmalıdır, ancak bu şekilde, heterojen karakter gösteren bir hammadde karışımından homojen bir değirmen ürünü almak mümkün olabilir. Böyle yapıldığı takdirde homojenizasyon silolarının harmanlama faktörünü en aza indirmek mümkün olmaktadır.

Bütün bu faktörler, tesis, işletme, bakım ve üretim maliyetlerini özellikle geliştirmekte olan ülke koşullarında çok etkilemektedir.

2.1.3.2 Hammaddenin İnceliği

Yakıt tüketimi ve pişme ısısı, farinin inceliğiyle orantılı olarak azalır. Farinin inceliğini sürekli olarak denetim altında tutmakla büyük ekonomik yararlar sağlanır. Hammadde ne kadar ince öğütülürse yüzey alanı o kadar büyük olur ve dolayısı ile de o kadar kolay sinterleşir.

Pişme sırasında klinker oluşumunda rol oynayan en büyük etken, farinin reaktivitesi olup, bu da tane büyüklüğü dağılımı ile sıkı sıkıya bağlantılıdır. Hammaddeyi gereğinden fazla ince öğütmek de yakıttan tasarruf edeyim derken fazla enerji kullanmayı gerektireceğinden önerilmez. Tane büyüklüğü dağılımı her fabrikaya göre değişik olup kullanılan hammaddenin özelliğine ve içindeki komponentlere (bileşenlere) göre farklılık gösterir. Genellikle PÇ da fırına verilen malın inceliğinin 170-BSS elek üstünün % 12 ve 72-BSS üstünde %2.6 olacak şekilde ayarlanması istenir. Fakat yine de önceden belirtildiği gibi, bu incelik değerleri sabit olmayıp

fabrikadan fabrikaya değişir. Kaba öğütölmüş farinde serbest kireç miktarı da yüksek olup; % 1 kuvarz, klinkerde serbest kirece tekaböl eden % 6 kalsite eşdeğerdir.

2.1.3.3 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 konulardır. İyi bir harmanlama ile fırına sabit bileşim özellikte mal verilmesi sağlanır.

Fırına verilen malın % CaCO_3 cinsinden titrasyonunun % 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 değişkenliğine bağlı olarak fabrikadan fabrikaya değişmektedir[2].

Homojenizasyon, çimento üretiminde klinker ve çimento kalitesini büyük ölçüde etkileyen en önemli operasyondur. Fırına verilen malın iyi homojene edilmesi ana üretim birimlerinin ekonomik çalışmalarını da geniş ölçüde etkilemektedir.

BÖLÜM 3 ÇİMENTO TEKNOLOJİSİ

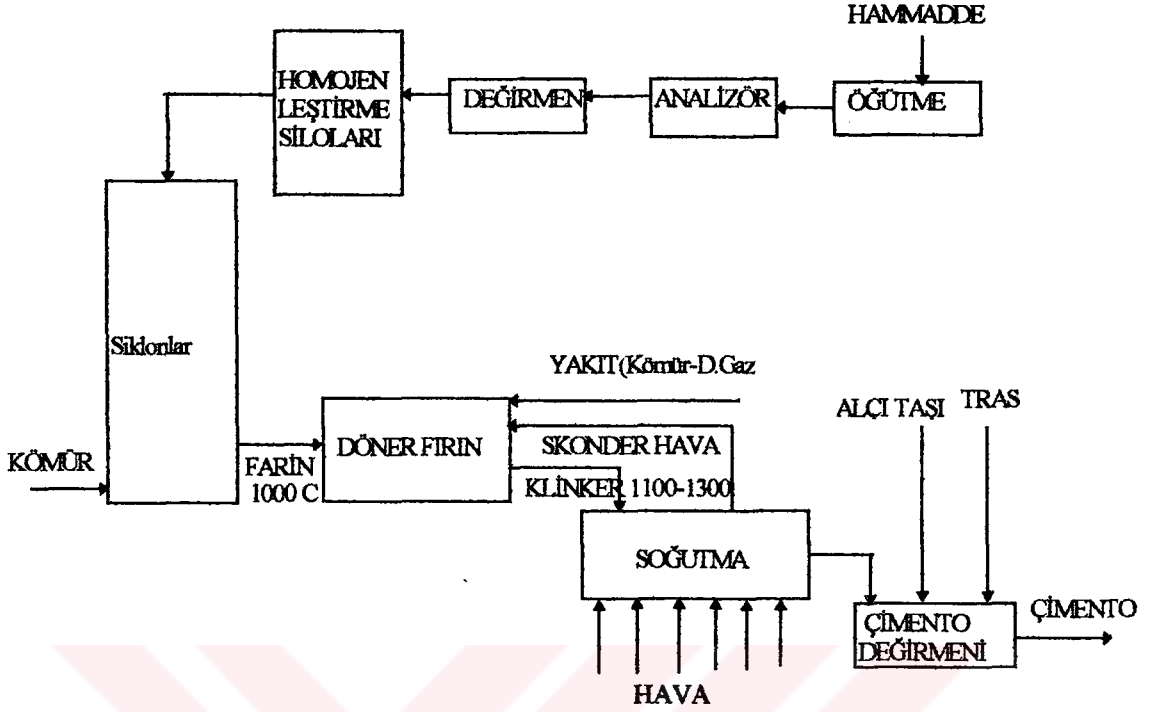
3.1. Çimento Üretimi

Kullanım amacına uygun çimento üretimi, klinkerin bileşen yüzdesine bağlıdır. Bu sebepten hammadde bileşiminin önceden belirlenerek buna göre hazırlanması gerekir. Kalker ve kilin bileşen yüzdelerine göre hammadde içindeki oranları çeşitli metotlarla belirlenir.

Döner fırına verilen hammadde yaş sistemde kurutma, önısıtma, kalsinasyon ve sinterleme; kuru sistemde ise kalsinasyon ve sinterleme süreçlerinden geçer. Hammaddenin karışım oranı ve pişirme sıcaklığı mukavemet için önemli bir faktördür. Kalsiyumkarbonat (CaCO_3) yaklaşık 700-900 °C arasında kalsine olmaktadır. Kalsinasyon; CaCO_3 'teki CO_2 'nin alınarak CaO 'in oluşturulmasıdır. Kalsinasyon sonucu oluşan kalsiyumoksit (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 bu madde gri renk alır. Sıcaklık 1350 °C'ye gelirken sinterleşme başlar ve 1400-1500 °C de tamamlanır. Böylece yeşilimsi siyah renk alan bu parçalara "klinker" adı verilir. Klinker esas olarak trikalsiyumsilikat ve dikalsiyumsilikat mineralleriyle trikalsiyumalüminat, tetrakalsiyumalüminat, çeşitli demiroksit ve sülfatlardan oluşur [3].

Fırını 1200-1300 °C de terkeden klinker, soğutucuda süratle 50-150 °C'ye kadar soğutulur. Daha sonra çimento değirmeninde alçı taşı ve katkı maddeleriyle öğütülerek çimento elde edilir.



Şekil 2.1 Ana hatlarıyla çimento üretimi şeması

3.2 Çimento Üretim Sistemleri

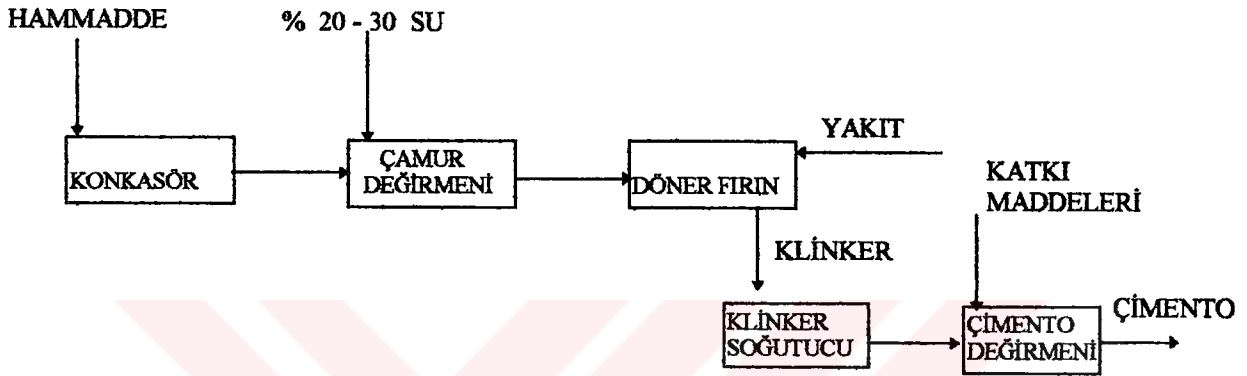
Çimento üretimi yaş, yarıyaş ve kuru sistem olmak üzere üç farklı usulde yapılmaktadır. Burada kısaca bu metotlardan bahsedilecektir.

3.2.1 Yaş Sistem Çimento Üretimi

Yaş sistem çimento üretiminde hammadde döner fırına girmeden önce su ile karıştırılarak çamur halinde verilir. Çamurun su içeriği hammaddenin yapısına bağlı olarak % 20-35 arasında değişmektedir. Bu sistemde en önemli sorun ısı sarfiyatının çok yüksek olmasıdır.

Yaş sistem çimento üretimi şematik olarak şekil 3.2'de gösterilmiştir. Ocaklardan getirilen hammadde konkasörlerde kırılarak öğütme değirmenine gönderilir. Burada su ile karıştırılarak öğütüldükten sonra çakıl ve iri parçalardan ayrılması için eleklerden

geçirilerek çamur havuzlarında toplanan çamur, çamur pompalarıyla çamur silolarına sevk edilir. Silolarda karıştırıcılarla homojene edildikten sonra silo altlarında bulunan çamur tahliye boruları ile çamur, çamur pompa havuzlarına ve buradan da pompalar yardımıyla döner fırına gönderilir.



Şekil 2.1 Ana hatları ile yaş sistem çimento üretimi

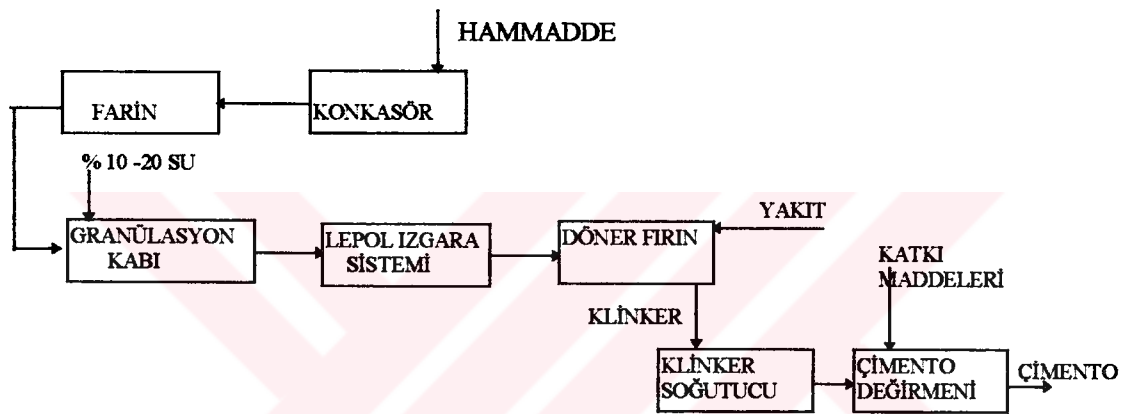
Yaş sistem ile üretim yapan döner fırınlar dört bölgeden meydana gelir. Bunlar; kurutma, önısıtma, kalsinasyon ve sinterleme bölgeleridir.

Kurutma ve önısıtma bölgesi; çamurun karıştırılması, kurutulması, önısıtılması ve fırın içersine doğru hareketini sağlar. Bu bölge 20 -25 m uzunluğundadır.

Kurutma ve önısıtma 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 ısısının bir kısmının fırın gazlarına transfer olduğu kesim "klinker havuzlama bölgesi" olarak adlandırılır ve klinker burada soğutucuya gönderilir.

3.2.2 Yarı Yaş Sistem Çimento Üretimi

Enerji (ısı) tüketiminin çok fazla olmasından dolayı hammaddeye katılan suyun azaltılması yönünde yapılan çalışmalar sonucu, fırın girişine bir önısıtıcı ızgara ilavesiyle daha kısa fırınlı yarıyaş sistem ortaya çıkmıştır. Isıtma ve kurutma işlemleri fırın çıkışındaki baca gazlarıyla gerçekleştirilmekte ve fırın boyu 40 -70 m'ye düşürülmektedir.



Şekil 3.3 Ana hatlarıyla yarıyaş çimento üretimi

Yarıyaş sistemde değirmenden alınan hammadde sırasıyla hammadde silolarına, bunkere ve granülasyon ünitesine alınır. Burada üzerine belli miktarda su püskürtülen farin daha sonra döner fırına beslenir.

3.2.3 Kuru Sistem Çimento üretimi

Enerji, özellikle ısı maliyetindeki artışlar ve yaş sistemin fazla enerji tüketmesi kuru sistem fırınları ortaya çıkarmıştır. Yaş usulde fırına verilen çamurdaki suyun buharlaştırılması için gerekli ısıyı geri kazanmak üzere hammaddenin fırına kuru olarak beslendiği kuru sistem fırınlar gitgide yaygınlaşarak bugün en fazla kullanılan

sistem olmuşlardır. Bu sistem fırınlarda hammaddeye su katılmadığı gibi kurutma ile önisıtma süreçleri fırın dışında gerçekleştirilir.

Prosesin en çok ısı harcamasını gerektiren dekarbonatlaşma olayını en kısa sürede, en etkili ve en az ısı tüketimiyle gerçekleştirebilmek için çeşitli modeller denenmektedir. Böylece günlük 7200 ton klinker kapasitelerine ulaşabilen ve özgül ısı tüketimi 2900 kj/kg.klin. değerlerine kadar düşen fırın modelleri geliştirilmiştir.

Isı tüketiminin azaltılmasında proses teknolojisi üzerindeki gelişmeler yanında yakıt hazırlama ve yakma sistemleri, fırın ve fırın tesisatı ısı yalıtımlarının iyileştirilmesi , soğutma havasından ısı geri kazanılması, fırın atık gazlarının değerlendirilmesi, hammaddelerin klinkerleşmeye daha uygun hazırlanması gibi konularda da gelişmeler sürekli devam etmektedir.

Kuru sistem çimento üretiminde en fazla önisıtıcı siklonlu ve önkalsinatörlü usuller kullanılmaktadır.

3.2.3.1 Önisıtıcı Siklonlu Kuru Sistem

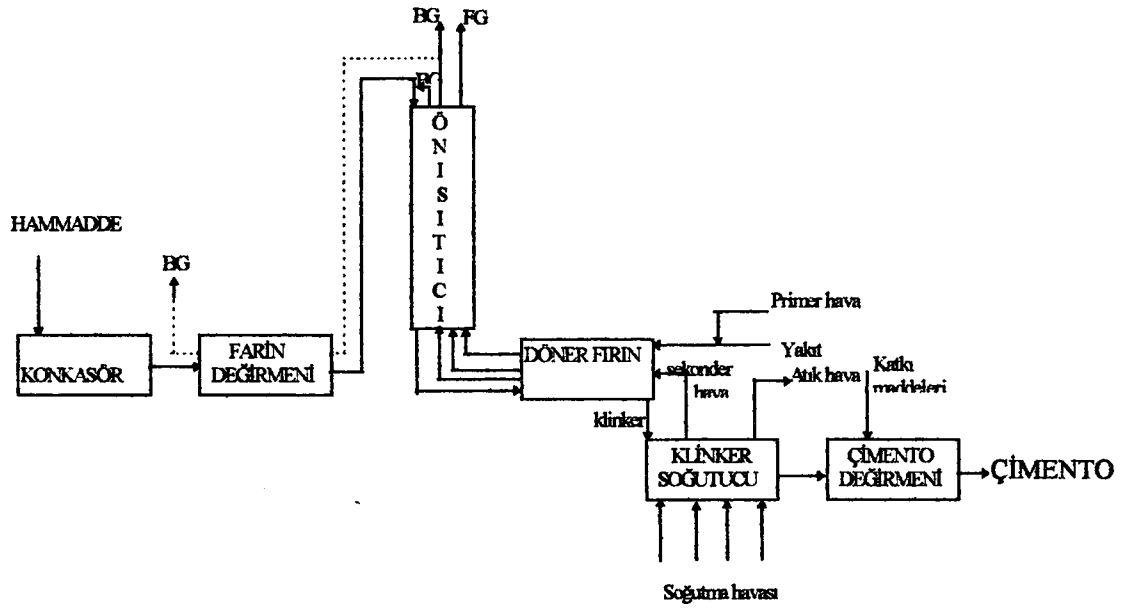
Önisıtıcı siklonların çimento fabrikalarında kullanılmasındaki esas amaç fırını 900-1150 °C de terk eden sıcak fırın gazlarının enerjisinden istifade etmektir. Bu amaç gerçekleşirken hammaddenin kurutulması, önisıtılması ve kısmen kalsinasyonu da fırın dışında olmakta dolayısıyla fırının üretim kapasitesi yaş sisteme göre çok fazla artmaktadır.

Çeşitli tiplerdeki önisıtıcı sisteme hammadde kuru olarak verilerek özgül ısı tüketiminde ve fırın boyutlarında azalma sağlanır. Önisıtıcı fırın üniteleri şu avantajları sağlar.

a) Tüm tesiste ve döner fırın verimliliğinde artma,

- b) Kuru hammadde kullanılmasının bir sonucu olarak fırın gazları ile süspansiyon edilmiş katı partiküller arasındaki ısı değişiminin iyileşmesi ile her kg klinker için ısı tüketiminde 3500 kJ'ün altına düşebilme,
- c) Kil, fırın çürüğü vb. non-plastik hammaddelerin kullanılabilirliği,
- d) Nem durumu % 0.5-1.0 den fazla olmayan hammaddelerin 0.09 mm'lik eleklerde % 20 incelikte tutularak öğütülebilirliği,
- e) Daha üniform ve daha çok önisıtmının bir sonucu olarak klinker kalitesinde iyileşme,
- f) Bir çok hareketli kısımların eliminasyonu ile daha iyi ve güvenilir işlem,
- g) Daha az konstrüksiyon ve bakım masrafları.

Şekil 3.4'te şematik olarak verilen önisıtmacı 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 arzu edilen titrasyonda homojene edilerek önisıtmacı siklon ünitesine gönderilir. Bu üniteye farin; kalan nemden kurutma, önisıtma ve kısmen kalsinasyon (yaklaşık % 30 -50 'ye kadar) işlemine tabi tutularak döner fırına girer. Döner fırında kalan kalsinasyon ve sinterleşme süreçlerinden geçerek klinker halini alan farin soğutucuya verilerek soğutulduktan sonra çimento değirmeninde katkı maddeleriyle öğütülerek çimento elde edilir.



Şekil 3.4 Önisitci siklonlu kuru sistem çimento üretimi

3.2.3.2 Önkalsinatörlü Kuru Sistem

Önkalsinatörlü sistem, tamamen önisitci siklonlu sisteme benzemektedir. Yalnız burada önisitci siklon ile fırın arasında kalsinatör ünitesi bulunmaktadır. 1970'lerden başlayan büyük kapasiteli fırınlara doğru olan akım, büyüyen fırın ebatları, fırındaki refrakter malzeme aşınmasında büyük artışlara sebep olmuş ve problemlere yol açmıştır. Fırın çapı, ısı yüküne ve gaz hızına göre belirlendiğinden kalsinasyon için önisitciye yakıt verme fikri doğmuştur. Böylece kalsinatörlü önisitçiler ortaya çıkmış ve farin sadece fırın gazları ile değil aynı zamanda yakıtın direkt ateşlenmesiyle meydana gelen ısıdan da yararlanarak ısıtılma ve kalsine edilmeye başlanmıştır.

Kalsinatörde farin kalsinasyonu; farin inceliğine, gazın sıcaklığına, farinin bu sıcaklıkta kalma süresine, gaz akımındaki farin dağılımının homojenliğine ve reaktördeki (kalsinatör) CO_2 kısmi basıncına bağlıdır.

Farinin inceliğini ve tane iriliğinin dağılımını etkilemek sınırlıdır ve ayrıca aynı boyutta tane iriliği elde etmek mümkün değildir. Tanelerin kalsinatörde kalma süresi birkaç saniyeden fazla uzatılmayacağı gibi 850 -900 °C arasında iri tanelerin incelerine

kıyasla kalsinasyonu için gerekli süre en azından 10 katı daha uzundur. Dolayısıyla önkalsinatörde kalsinasyon oranını yükseltmek için 900 °C'yi aşmak gerekir.

Kalsinatörde kalsinasyon işleminin yanısıra yanma olayı da gerçekleşmektedir. Bu durumda kalsinasyon işlemi yakıt oksidasyonunun seyrine uymakta yani yakıtın yanmasıyla açığa çıkan ısı belirli bir sıcaklıktan sonra farin kalsinasyonu için kullanılarak gazın sıcaklığı sabit kalmaktadır. Yakıttan elde edilen ısının uzatılan kalsinasyon süresine göre ayarlanması bilhassa iri daneler için önemlidir.

Konvansiyonel tesislerde fırına giren malzeme % 30 -50 kalsine olduğundan fırında toplam kalsinasyon ısısının yaklaşık yarısı malzemeye transfer olur. Herhangi bir metodla fırın beslemesindeki kalsinasyon oranı artırılırsa döner fırında aktarılan ısı önemli miktarda azaltılabilir (kg klinker başına) . Böylece aynı fırında daha fazla üretim imkanı doğar veya aynı üretim için daha fazla bakım yapılabilir.

Önkalsinasyon prosesinde kalsinasyonun % 80 -95'i en alt kademede (kalsinatörde) meydana gelmektedir. Bu kademede farin, önkalsinasyonun gerektirdiği reaksiyon sıcaklığından dolayı önsıttıcıdan çıkan atık gazın sıcaklığı klasik sisteme göre yaklaşık 30 °C daha yüksek olmaktadır. Öte yandan daha küçük boyutta olan döner fırının cidarından olan ısı kaybının azalmasıyla yakıt tasarrufu sağlanmakta ve gazların fırından çıkış sıcaklığında bir artış gözlenmektedir.

Önkalsinasyon, mevcut çalışan yaş ve kuru sistem fırınlara uygulanmaktadır. Bu durumda aynı fırın boyu için kapasite dört katına kadar artırılabilen ve özgül ısı tüketiminde kayda değer azalma sağlanabilmektedir.

BÖLÜM 4 HAMMADDE KARIŞIM MİKTARININ TAYINI

4.1 Kimyasal Parametreler

Elde edilecek çimentonun özelliklerini belirli bir sınır içinde tutabilmek için, o ülkenin standartlarını sağlayacak şekilde hammadde karışım miktarı önceden tayin edilir. Bu hususta çeşitli metodlar mevcuttur.

4.1.1 Silis Modülü (SM)

Silis modülü, farinin fırın içersindeki durumunu ve klinker kalitesini etkilemesi açısından en önemli parametrelerden biridir. Silis modülünü aşağıdaki amprik formül yardımıyla hesaplayabiliriz [2].

$$SM = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3} \quad (4.1)$$

Al_2O_3 ve Fe_2O_3 azaldıkça SiO_2 miktarının artması pişme güçlüğüne, daha fazla yakıt kullanımına, sinterleşmenin güç olması nedeniyle daha yüksek ısılarda pişirme gereğine neden olur. Yüksek silis modülü, aynı zamanda fırın astarının aşınarak harabiyetine de yol açtığı gibi donma başlangıcını geciktirmesi ve çimentonun dayanım kazanmasını yavaşlatması gibi istenmeyen bir takım etkiler de yapar. Ancak bu tür çimentoların zamanla giderek iyi bir dayanım kazandığı da vurgulanmalıdır. Öte yandan, bu tip klinkerler silisleri çok iyi öğütülmedikçe serbest kireç miktarının yüksek olması nedeniyle sakıncalıdır. Bütüm bu yukarıda sayılan faktörler üretilen çimentonun pazarlanması açısından bir engel olarak karşımıza çıkmaktadır.

Silis modülü düşük farinler kolay sinterleşir, kolay anzast oluşturur ve erken dayanım değerleri veren çabuk sertleşen çimento üretimine uygundur. Bu tür çimentolarda

dayanım değerlerinde zamanla büyük bir artış olmaktadır. Buna karşılık silis modülü çok düşük olan hammadde karışımları ile çalışıldığında zaman zaman üretimi sekteye uğratabilecek kadar kemer oluşumu nedeniyle fırının bloke olması tehlikesi ortaya çıkmaktadır.

Silis modülü için ideal bir sayı vermek olanaksızdır, fakat genellikle bu modülün 2.3 - 2.7 arasında bulunması gerektiği söylenebilir. Pek çok çimento fabrikası bu değerlerin altında ya da üstündeki sınırlar arasında ekonomik bir üretimi gerçekleştirmektedir; gerek farinin mineralojik bileşimi, gerekse öteki kimyasal parametreler bu değerlerin her fabrikaya göre değişik olmasına neden olmaktadır. Bundan ötürü, hammadde karışımları için en ekonomik ve optimum pişmeyi sağlayacak oranları, özellikle silis modüllerinde sorunu olan fabrikaların, değişik hammadde karışımlarını sinterleştirmek suretiyle ampirik olarak kendilerinin saptamaları en uygun yol olarak önerilmektedir.

4.1.2 Alüminyum Modülü (AM)

Alüminyum modülünün düşük olması, çimento bileşinlerinin düşük ısılarda oluşmasını sağlar. Bu modülün yüksek olması halinde pişme güçleşir ve yakıt sarfıyatı fazla olur. Alüminyum modülü de aşağıdaki ampirik ifadeyle hesaplanabilir [2].

$$AM = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3} \quad (4.2)$$

Genellikle demir, çimento bileşiklerinin oluşumunu kolaylaştırır, yani, demir oranının yüksek olması pişmeyi kolaylaştırır maliyetin düşmesine yol açar. Az oranda bulunan demiroksit bile silisi yüksek bir hammaddenin kolay ergimesini sağlamaktadır. Demir oranının yüksek olması sert ve yoğunluğu fazla bir klinker oluşturur ve dolayısı ile öğütmede zorluklara neden olarak üretim maliyetini artırır.

Yüksek alüminyum içeren bir fırın, çimentonun çabuk donmasına ve ilk dayanımların yüksek olmasına yol açar. Al_2O_3 ve Fe_2O_3 'ün konulması ile, ya da Fe_2O_3 miktarı artırılmak yoluyla tri-kalsiyumalüminat (C_3A) oranı düşürülür ve tetra-alüminyum

ferrit (C_4AF) artar. Düşük C_3A içeren çimentolar deniz suyuna karşı dayanımı yüksek olan çimentolardır. Düşük hidratasyon ısıları nedeniyle deniz suyuna ve benzeri aşındırıcı etki gösteren ortamlara karşı iyi bir dayanım gösterir.

Aluminyum modülü düşük olan hammadde karışımları klinkerleşme ısını düşürerek daha az yakıt kullanılmasını sağlar. Bu tür karışımlar, aynı zamanda sıvı fazın oluşmasını artırarak fırın verimini de olumlu yönde etkiler ve ortamda çok fazla serbest kireç olmasına karşılık yüksek C_3S içeren çimento elde edilmesini sağlar. Eğer AM çok düşük ve hammadde karışımında serbest silis de bulunmuyorsa klinkerde topaklanma gözlenir.

4.1.3 Kireç standardı (KS)

Hammadde karışımında bulunan diğer bileşenlere göre CaO miktarının çok dikkatle hesaplanması gerekmektedir. Fırına verilen kireç miktarı yüksek olursa farin çok güç piştiği gibi üretilen çimento da çürük ve kalitesi düşük bir çimento olur ve geç donar, 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 pişirilmiş ise yavaş, az pişirilmişse çabuk donma olur.

$$KS = \frac{CaO}{2.8SiO_2 + 1.18Al_2O_3 + 0.65Fe_2O_3} \quad (4.3)$$

Kireç standardının % 1.0 kadar değişmesi aynı karışımında silis modülünün 0.1 değişmesine eşdeğer olarak pişmeyi etkilemektedir.

KS düşük hammadde karışımlarındaki bütün SiO_2 , C_3S şeklinde bağlı olup, C_2S değeri de yüksektir. Bu tür fırınlardan üretilen çimentolar, aluminyum ve silisyumu yüksek, kötü kalitede çimentolardır. Kireç standardı yüksek bir farin ancak yüksek ısı derecelerinde pişebildiğinden üretilen klinkerin serbest kireç miktarı fazla olmaktadır. CaO'ü azaltıp SiO_2 'yi yükseltmekle de çimentonun dayanım değerleri düşmektedir.

Genellikle portland çimentosu üretiminde iyi kalitede bir klinker elde etmek için kireç standardı 0.92 ile 0.96 arasında tutulur. Kireç standardı ve silis modülü yüksek veya MgO ve alkali miktarları düşük olursa farinin pişmesi zorlaşmaktadır [4].

4.2 X - RAY Floresan analizörü

X-Ray analizi 15 yıldır çok iyi bilinen bir sistemdir. X-ray sürekli analiz yöntemi 50'li yıllarda General Elektrik tarafından geliştirilmiş ve cevher işleme ile çimento endüstrisinde uygulanabileceği düşünülmüştür. 45 seneden bu yana çimentoyu teşkil eden maddelerin elementer analizinde x-ray floresan spektrometresinin kullanılması önemli proses kontrol uygulamalarından biridir. Dünyada ilk defa İsviçre'de 1963 yılında bir çimento tesisi için kullanılmıştır. Halen Almanya, İsviçre, Avusturalya, Macaristan, Cezayir, İran, Tayvan, Küba ve Arjantin'de X-ray analiz yöntemi çimento endüstrisinde harmanlama otomatik kontrolünde nihai ürün kalitesini belirleyen oksit oranlarındaki sapmaları belirlemek amacıyla kullanılmaktadır.

Sadece bir kaç element analizinin önemli olduğu günlerde bu analiz imkanı sabit element kanallı spektrometrelerle sağlanmakta idi. Mekanik basitliği, yüksek güvenilirliği, kararlı ve yüksek analiz hızı ile bu spektrometreler çimento sanayinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Dalga boyu yayımlı x-ray floresan spektrometresi periyodik tabloda bordan (No 5) uranyuma (No 92) kadar bütün elementlerin analizine imkan verir. Analiz hızı ve çok iyi uzun zaman kararlılığı yönünden XRF cihazı çimento sanayiinde kimyasal analiz yönünden tercih edilen bir cihaz olmuştur. Fabrika kontrolünde kritik olan hammadde, klinker ve mamül çimentodaki ana oksitlerin tayininde kullanılmaktadır. Bu bileşikler tipik olarak Al, Ca, Fe, S, Si, oksitleridir. MgO, Na₂O, K₂O gibi katkı bileşikleri de analiz edilmektedir. Dolayısı ile çimento fabrikalarında ilgi duyulan oksitlerin analizi için cihazlar genellikle 8 sabit kanalla techiz edilir[5].

Analiz için gerekli örnek alma işlemi iki türdür. Yığın ve sürekli analiz. 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 değerin 20 ile 40 katı kadar daha fazla alınır. Elde edilen numüne homojene edilir ve 0.025 kg/ton ile 0.100 kg/ton arasında dökülür ve en yaygın olarak kullanılan X-ray spektrometresi dökülen malzemeyi okur. Bu yöntemle genellikle 6 ile 8 kadar elementin analizi yapılır (CaO, MgO, Al₂O₃, Fe₂O₃ vs.). X-ray spektrometrelerinin analiz süresi 0.5 ile 5 dakika arasında değişir. Yığın analizi belli zaman aralıklarıyla yapılırken, sürekli analiz sürekli olarak yapılır. Bu nedenle her iki yönteminde çimento prosesinde kullanım yerleri farklıdır [5].

Bir çimento değirmenine giren karışımın değişimi 10 ile 30 dakika sonra çıkış üzerinde etkisini gösterir. Siloya giren malzeme bileşimindeki değişimin etkileri 8 ile 10 saat sonra belli olur. Bu nedenle değirmenin sürekli analiz yöntemiyle, silonun ise yığın analizi yöntemiyle analiz edilmesi daha uygundur.

4.3 GAMMA - MATRİCS Analizörü

GAMMA - MATRİCS analizörleri bir yüksek teknoloji ürünüdür. PGNA (Prompt Gamma Neutron Activation) teknolojisi ile çalışırlar. GAMMA-MATRİCS proses kontrol analizörü, bant üzerinde içinden geçen karışımı her 5 saniyede bir numune almaksızın doğrudan doğruya analiz eden ve her dakikada bir 12 analizin ortalamasını bildiren bir on-line analizörüdür. Bu analizöre bağlanacak bir RAMOS software'i ise analizörün verdiği sonuçları değerlendirerek hammadde besleyicisine kumanda etmek suretiyle kendisine verilen hedefe en yakın karışımı sürekli olarak hazırlayan bir fonksiyona sahiptir. Bu analizörler çimento fabrikalarının proses kontrol tekniğinde köklü bir değişiklik yapmıştır. 1992 yılında analizör talebi ve satışındaki artış bunun bir kanıtıdır.

Analizörler şu analizleri ve hesapları otomatik olarak yapmaktadır[6].

<u>Direkt</u>	<u>Bilgisayar ile</u>
Kalsiyum	Kireç doygunluk derecesi
Silisyum	Silikat Faktörü
Demir	Alümin Faktörü
Aluminyum	Likit Faz
Magnesyum	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 üreticisinin ana hedefi yalnızca en yüksek kaliteli çimentoyu üretmek değil aynı zamanda hammaddenin değişkenliğine hakim olarak bu üretimi sürekli olarak sabit kalitede yapabilmektir. Bu da ancak hammaddenin değişkenliklerinin kesintisiz bir biçimde sürekli olarak takibi ve ayarlanması suretiyle fırın beslenmesine hakim olmakla mümkündür. Bu hedefe ulaşabilmek için GAMMA-MATRİCS kesintisiz analizörü ve software kontrol sisteminden başka bir sistem mevcut değildir. Şekil 4.1'de GAMMA-MATRİCS cihazının Nuh Çimento A.Ş. de uygulanması görülmektedir.

Şimdiye kadar, pişirme prosesinde sıcaklık, havanın yakıtı oranı gibi kontroller sürekli ve kesintisiz olarak yapılırken fırına verilen hammadde, alınan ve çimentoyu oluşturan ham karışıma benzemeyen kısmi numunelerin, zaman yitirici analizleri ile üstün körü kontrol ediliyordu.

Ham karışımın ve fırına gidecek farinin kompozisyonunun ayarlanmış olması aşağıdaki avantajları getirir.

1. Değişkenlik gösteren bir farin kimyası endotermik ve egzotermik fırın içi ısıl reaksiyonların proses optimumunun dengesini alt üst eder. Döner fırın içindeki egzotermik ve endotermik reaksiyonların optimize edilerek sürekli stabil hale getirilmesi fırında ısı kullanımını azaltır.

2. Fırın içindeki ateş tuğlalarının üzerinde teşekkül eden anzasta, tuğlanın üzerinde ısı geçirgenliği az olan koruyucu bir tabaka oluşturur. Şayet istenilen kireç doygunluk derecesi temin edilirse bu anzastın ömrü daha uzun olur ve bu da fırın tuğlalarının ömrünü artırır, fırının tamir için duruşlarını azaltır.

3. Hammadde karışımının hazırlanması ve fırının beslenmesi hedef alınan kimyada ve düzende sağlanırsa ve bu sabit tutulabilirse buna eşdeğer olarak fırının yakıt tüketimi azalır. Bu sonuç baca gazlarındaki azot oksitleri, karbon monoksidi ve diğer uçucuları önemli ölçüde azaltır.

4. Bir diğer avantaj fırın içindeki toz oluşumunun azaltılmasıdır. Uygun bir oranda karıştırılarak harmanlanmış bir hammadde fırın içinde klinker olarak kolayca kalsine olur ve bu sayede klinker tane büyüklüğünü kontrol altına almak mümkün olur ve fırın içindeki toz oluşumu da azalır.

5. İyi kalitede bir klinker içindeki C_3S , C_2S , C_4AF vs.'nin oranlarının uygun hale getirilmesi kesin olarak gereklidir. Bu komponentlerin farindeki oranları dinamik kontrolla çok kolay bir şekilde kontrol edilebilir.

6. Dinamik bir ham karışım kontrol sistemi olursa fırın homojanasyon silolarında istenen hedef homojenizasyonu elde etmek için kullanılacak karıştırma süresi enaza indirgenebilir.

Yukarıda belirtilen hususları göz önünde tutarak fırına sevk edilecek malın istenilen kompozisyonda olmasının ve bunun hergün aynı stabilitede temin edilmesinin önemi ve gereği açıkça ortaya çıkmaktadır. Bu kontrollerin GAMMA-MATRİCS on-line analizörü kullanılarak yapılmasının sonucu, sadece hammaddenin en verimli şekilde kullanılmasını sağlamakla kalmaz, çimento fabrikalarındaki ısıl proses sistemlerinin verimliliğini de artırır [7].

Bu analizör, genellikle kırıcı ile ön homojenasyon arasına, kırılmış hammadde siloları ile değirmenler arasına, bazı hallerde de hammadde değirmenlerinin çıkışına yerleştirilerek kullanılmaktadır.

En iyi çözüm olarak bir çimento fabrikasında, biri ön homojenasyondan önce, diğeri farin değirmenleri ile ön homojenasyondan geçmiş stok arasında olmak üzere iki analizör kullanılmasıdır.

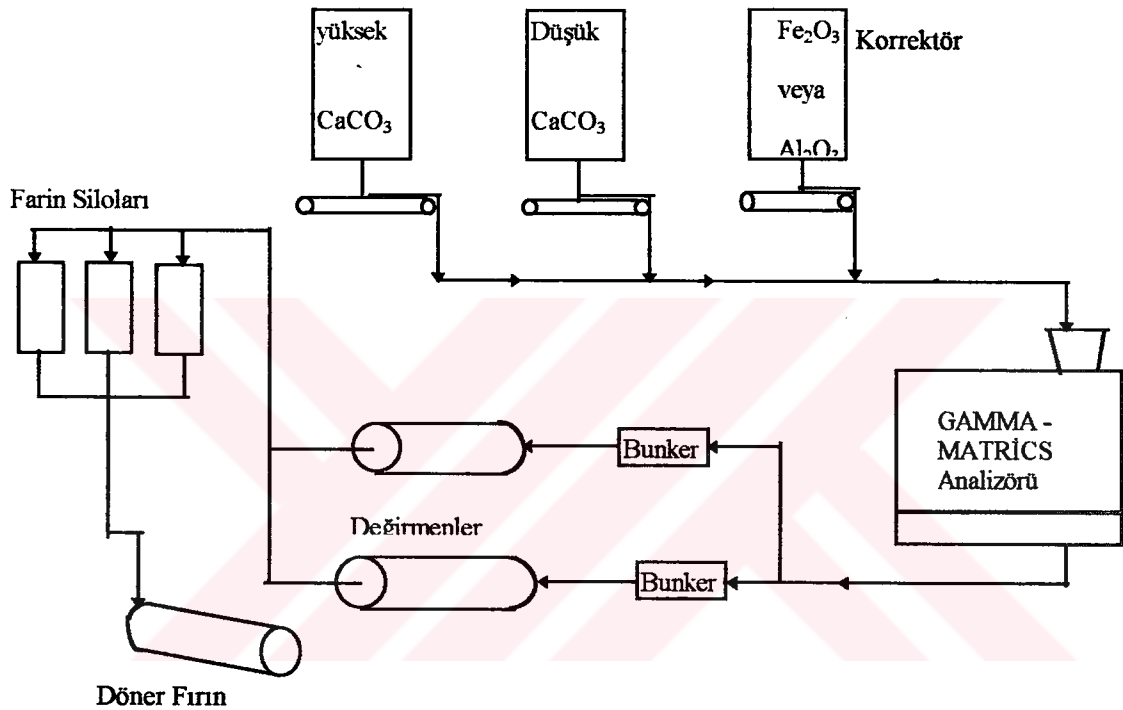
4.4 XRF ve GAMMA -MATRİCS Analizörlerinin Karşılaştırılması

4.4.1 XRF Analizörü

1. XRF analizörleri röntgen spektrometreleridir. Bu cihazların analiz yapabilmeleri için hammaddeden numune alınması, numunenin azaltılması, kurutulması, öğütülmesi, tekrar azaltılarak 0.6 gramlık bir miktara indirilmesi, preslenerek veya ergitilerek analizöre verilmesi gerekir. Yani böyle bir sistemle kesintili bir analiz yapılabilir ve numunenin ana kütleyi temsil ettiği kabul edilir. Bütün bu işlemlere rağmen yapılan analiz kesintisiz bir analiz değildir. Böyle bir analizi, bir ölçüde de olsa on-line analiz haline getirebilmek için çağdaş numune alma, hazırlama ve otomatik olarak analizöre verme sistemleri geliştirilmiştir. Böylelikle teorik olarak 15 dakikada bir, sürekli uygulamada 30 dakikada bir analiz sonucu veren yöntemler oluşturulmuştur. Hepsindeki ana problem numune alma istasyonlarından kaynaklanmaktadır.

2. Alınan numuneler gerçek malı tam olarak temsil edememektedir.

3. Otomatik numune alma tesislerinin yatırım değeri yüksektir.
4. Kaliteli personele ihtiyaç vardır. Bu yüzden zaman zaman personel duygusallığı problem olabilmektedir.
5. Bu analizörlerin sık sık kalibre edilmeleri gerekmektedir.



Şekil 4.1 GAMMA -MATRİCS'in Nuh çimento'daki Uygulaması

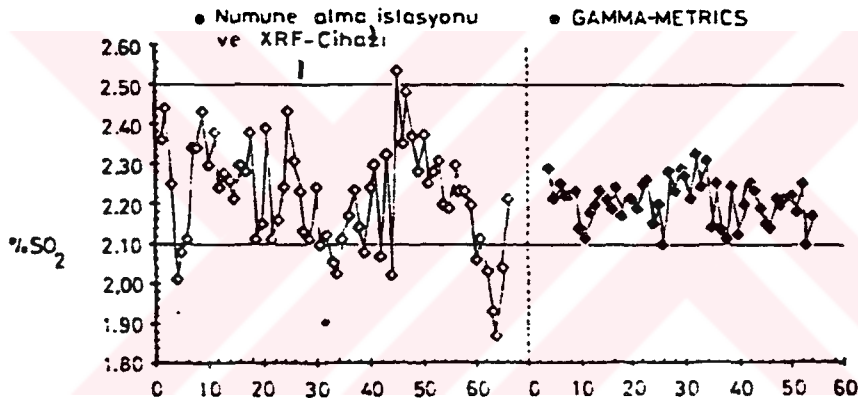
4.4.2 GAMMA - MATRİCS Analizörü

1. Nükleer kaynaklı olan bu analizörlerin analiz yapabilmesi için numune almaya ihtiyaç yoktur. 100 mm'den küçük boyutta kırılmış hammadde, saatte 1000 tona kadar varan bir hızla analizörden geçirilirken analizör her 5 saniyede bir analiz yaparak aldığı 12 sonucun ortalamasını dakikada bir bildirir. Analizör bir software ile birlikte çalıştırılırsa dozaj kantarına kumanda ederek kendisine verilen hedefe en yakın karışımın sürekli olarak hazırlanmasını sağlar.

2. Alınan sonuçlar, bütün mal analiz edilmiş olduğu için, hammadde yığınlarının en doğru analizini verir.

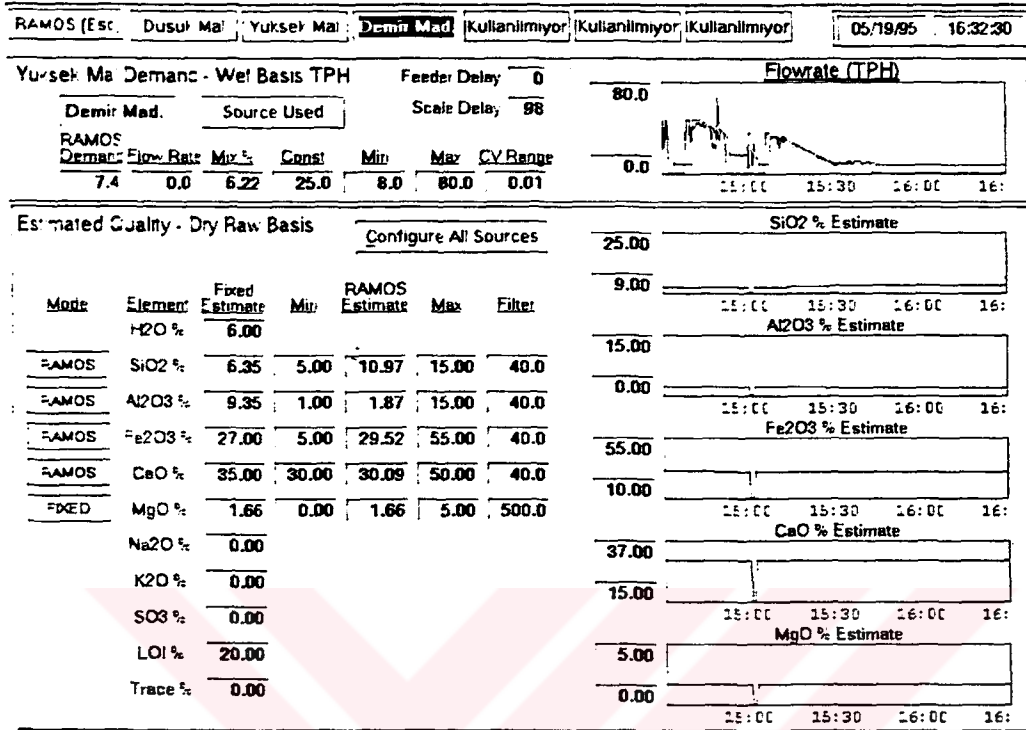
3. Analizörü kullanabilmek için herhangi bir özel personele ihtiyaç yoktur. Analizörün konsolu merkezi kontrol odasına yerleştirilir. Analiz sonuçları, bunların diyagramları v.s. buradan takip edilir.

4. Sık kalibrasyon ihtiyacı yoktur. Yılda bir kere kalibre edilmeleri yetmektedir. Kalibrasyonu çok kolaydır[6].



Şekil 4.2 Bir XRF Cihazına verilen numunelerin bir GAMMA - MATRİCS cihazından alınan gerçek sonuçlarla karşılaştırılması

GAMMA- MATRİCS cihazının Nuh çimento A.Ş. de uygulaması şekil 4.1 gösterilmiştir. Yine bu cihazın çalışması esnasında kontrol edilen parametreler aşağıdaki şekil 4.3 de gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Nuh Çimento fabrikasında kontrol edilen parametreler.

BÖLÜM 5 PARAMETRE TAHMİN YÖNTEMLERİ

5.1 Genel Bilgiler

Kontrol algoritmalarında proses parametreleri bilinmiyor kabul edildiğinden bu parametrelerin bir kestirim algoritması kullanılarak tanınması gerekmektedir. Bu tanılama işlemi, ölçülen giriş - çıkış bilgileri kullanılarak ve değişik yöntemler uygulanarak yapılabilir.

Parametre kestirme metodları arasında, en küçük kareler (Least squares, LS) metodu bilinmeyen parametrelili sistemlerin parametre kestirimlerini elde etmek için kullanılan en yaygın tekniklerden birisidir. Ardışık en küçük kareler (Recursive Least squares, RLS) metodu Placketi tarafından klasik LS kestirme metodunun genişletilmiş hali olarak önerilmiş ve Kalman tarafından çevrim-içi tanılama ve kontrol durumunda yaygın olarak kullanılacak bir şekilde getirilmiştir [8].

Değişik parametre tanılama metodları vardır. Örneğin; Ardışık en küçük kareler (RLS), Kare kökler (SQR) ve ardışık U - D faktörizasyonu metodu [8].

Bu bölümde; en çok kullanılan ve tezde değişik simülasyon çalışmalarında da uygulanan RLS parametre kestirme metodu incelenmiş ve ana hatları ile aşağıda özetlenmiştir.

Parametre tahmini probleminin çözümü için şu bilgilerin elde edilmesi gerekir;

- Proses aiti giriş ve çıkış verileri,
- Modelin türü,
- Performans ölçütü,

Parametre tahmini problemi, en iyi modelin, eldeki veriler ile verilen bir kritere göre en iyi sonuç verdiği bir optimizasyon problemi olarak formüle edilebilir. Çok miktarda uygun ve farklı tanımlama metodları bulunmaktadır. Kaba bir ayırım olarak bunlar on-line metodlar ve off-line metodlar olarak nitelenebilir. On-line metodlar, tahminleri ölçümler elde edilirken rekürsif olarak verirler. Proses sistemi zamanla değişen türden ise veya bir adaptif kontrolör ile kullanılırsa on-line metodlar tek alternatiflerdir. Off-line metodlar birçok durumda daha yüksek hassasiyetli ve güvenilir tahminler verirler.

Bir model oluşturmaya yönelik bir problemle ilgilenen bir endüstriyel mühendis için var olan metodların çokluğu zorluk çıkarır. Farklı tanımlama metodlarını karşılaştırmak için bazı girişimler olmuştur. Yapılan karşılaştırma sonuçları kesin değildir ve evrensel anlamda en iyi olan yoktur. Buna göre kullanılan metodlar sistemden sisteme farklı performanslar göstermektedir [9].

5.2 Problemin Formülasyonu

İncelenecek proses, aşağıdaki giriş -çıkış ilişkisi ile ifade edilmektedir.

$$Y(t) + a_1 Y(t-1) + \dots + a_n Y(t-n) = b_0 U(t-d) + \dots + b_m U(t-d-m) + \zeta(t) \quad (5.1)$$

Burada; U giriş, Y çıkış, ζ gürültü (beyaz veya renkli), d proses zaman gecikmesi, m, n proses mertebesi, a_i ($i=1, \dots, n$) ve b_j ($j=1, \dots, m$) bilinmeyen proses parametreleridir.

Proses parametreleri bilinmiyor kabul edildiğinden, onlar bir kestirim algoritması kullanılarak tanımlanmalıdır. Bu tanımlama adımı giriş -çıkış ölçülen değerler bilgisi ile en küçük kareler model uydurma metodu ile yapılabilir. Kestirilecek (5.1) modelini aşağıdaki formda yeniden yazmak mümkündür.

$$Y(t) = P^T(t) \cdot X(t) + \varepsilon(t) \quad (5.2)$$

Burada;

$$P = [-a_1, -a_2, \dots, -a_n; b_0, b_1, \dots, b_m]^T$$

parametre vektörü ve

$$X(t) = [Y(t-1), \dots, Y(t-n); U(t-d), \dots, U(t-d-m)]^T$$

giriş ve çıkış verilerini içeren veri vektörüdür. $\epsilon(t)$ kestirme hatasıdır [10].

$P(t)$, parametre kestirim vektörü, çevrim içi veya çevrim dışı olarak genellikle ardışık en küçük kareler algoritması veya benzer yöntemlerle (t) anına kadar mevcut giriş - çıkış verileri kullanılarak elde edilir. $X(t)$ veri vektörü kullanılacak proses modeline bağlı olarak değişik formlarda ortaya çıkabilir. (örneğin; AR modeli, ARX modeli, İV4 modeli ve PEM modeli vs.)

Parametreler kestirilirken (5.2) ifadesindeki hata terimi $\epsilon(t)$ 'nin karesel toplam hassasiyetinde küçük olması istenir. Hata kriteri, P parametre kriterine bağlı olarak;

$$E(P) = \frac{1}{N+1} \sum_{t=1}^N e_i^2(t) \quad (5.3)$$

şeklinde seçilmektedir. N ölçüm sayısını göstermektedir ve $e_i(t)$, e hata vektörünün i. bileşenidir. Problem P parametre vektörüne göre $E(P)$ 'yi minimize etme işlemidir. Problemin çözümü farklı algoritmalar için aşağıdaki şekilde elde edilmektedir [11].

5.3 Ardışık Parametre Kestirme Metodları

5.3.1 Ardışık En Küçük Kareler Metodu

Bu metod, kendi kendini ayarlayan kontrolörlerde parametre kestirme aşamasında en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Özet olarak işlemleri, aşağıdaki ardışık sıra içerisinde gerçekleştirilmektedir.

$$1. \text{ Kazanç,} \quad K(t) = \frac{R(t-1)X(t)}{w + X^T(t)R(t-1)X(t)} \quad (5.4)$$

2. Matris,
$$R(t) = \frac{R(t-1) - K(t)X^T(t-1)R(t-1)}{W} \quad (5.5)$$

$$R(t) = [I - K(t)X^T(t-1)] \cdot \frac{R(t-1)}{w}$$

3. Hata,
$$\varepsilon(t) = Y(t) - P(t-1)X(t) \quad (5.6)$$

4. Kestirme,
$$P(t) = P(t-1) + \varepsilon(t)K^T(t) \quad (5.7)$$

$$P(t) = P(t-1) + K^T(t)[Y(t) - P(t-1)X(t)]$$

ifadesi ile hesaplanmaktadır.

Başlangıç değeri olarak $P(0) = I_N/\delta$ olarak seçilmektedir. I_N tanım matrisi ve δ küçük bir değerdir ($\delta > 0$). w unutmama faktörüdür. $0 < w < 1$ değerlerini almaktadır [12].

5.3.2 Ardışık Kare Kök Metodu

Kare kök algoritması Peterka tarafından $P(y)$ matrisinin her kestirme aşamasında pozitif tanım özelliğini kaybetmemesi için önerilmiştir. $R(t)$ matrisinin $R(t) = \delta(t) S^T(t)$ şeklinde çarpanlara ayrılmış hali kullanılmaktadır. $S(t)$ her bir örnekleme anında yenilenen üst tarafi üçgen bir matris oluşturmaktadır. Ardışık kare kök kestirimcisi aşağıdaki ardışık sıra içerisinde çalışmaktadır.

1. Kare kök
$$f = S^T(t-1)X(t-1) \quad (5.8)$$

$$\sigma_j = (\sigma_{j-1}^2 + f_j^2)^{1/2} \quad j=1 \dots N$$

$$\sigma_0 = \sqrt{w}$$

N, P ve X vektörlerinin boyutudur. Burada;

$$S(t)_{ij} = (\sigma_{j-1} / \sigma_0 \sigma_j) \left[S(t-1)_{ij} - (f_j - \sigma_{j-1}^2) \sum_{k=1}^N S(t-1)_{ik} f_k \right]$$

$$2. \text{ Kazanç, } K_i(t) = \frac{\sum_{k=1}^N S(t)_{ik} f_k}{\sigma_n^2} \quad i=1, \dots, N \quad (5.9)$$

$$3. \text{ Hata, } \varepsilon(t) = Y(t) - P(t-1)X(t-1) \quad (5.10)$$

$$4. \text{ Kestirim, } P(t) = P(t-1) + \varepsilon(t)K^T(t) \quad (5.11)$$

Ardışık kare kök algoritması self-tuning kontrolörler de kullanılmıştır.

Yukarıda anlatılanlara ilave olarak değişik parametre kestirme algoritmaları bulunmaktadır. Ancak yapılan tezde, ARX ve İV4 modellerinde bu iki algoritmalar kullanıldığından diğer algoritmalar ayrıca incelenmemiştir.

BÖLÜM 6 ÇİMENTO HAM KARIŞIMININ MODELLENMESİ

6.1 Sistem Tanımlama Nedir?

Bir matematik modelin izahı bilim ve mühendisliğin temelinde yatmaktadır. Bir modeli incelemek, bir proses hakkında bilginin toplanması için en kullanışlı ve düzenli yoldur. Matematik model aynı zamanda eğitim ve iletişim için oldukça etkin bir yöntemdir.

Tasarım metodu için ihtiyaç duyulan modeller ya durum uzayı (state-space) model veya giriş-çıkış (input-output) model tipindedir. Pratikte modelleri elde etmek için iki farklı yol vardır. Birincisi fiziksel kurallar çerçevesinde modeli araştırmaktır. İkincisi ise deneysel verilere dayanarak modeli elde etmektir. Özgün bir modeli elde etmek için her iki yaklaşımı kombine olarak kullanmak çoğunlukla yararlı sonuçlar verir. Bir çok durumda komple bir modeli elde etmek yalnız fiziksel bilgileri değerlendirerek mümkün olmaz. Model ile ilgili bazı parametreleri deneylerden elde etmek gerekir [13].

Sistem tanımlama, bir prosesin matematik modelinin oluşturulması çalışmasına deneysel bir yaklaşımdır. Sistem tanımlama çalışması, bünyesinde şu aşamaları içeren bir çalışmadır [14].

- Deneysel planlama
- Model yapısının(mertebesinin) seçimi
- Parametre kestirimi
- Kurulan modelin geçerliliği (Modelin fiziksel sistemi karakterize edip etmediği belirlenir.)

Sistem tanımlama işlemi sonucunda elde edilen matematik modelin parametrelerinin tahmin edilmesi gerekir. Parametre tahmin problemi için gerekli bilgiler;

- Sistemin elde edilen giriş-çıkış bilgileri,
- Modelin türü,
- Performans ölçütüdür.

Yapılan çalışmada çimentoyu teşkil eden hammadde karışımı bir proses olarak tanımlanmıştır. Yapılan bu tanımlama işlemi Nuh Çimento A.Ş.'den alınan datalarla test edilmiş sistemin uyuşup uyuşmadığı grafikler halinde gösterilmiştir. Bundan amaç en iyi bir şekilde hammadde ayarını yapmaktır.

6.2 Hammaddelerin Oranlanması

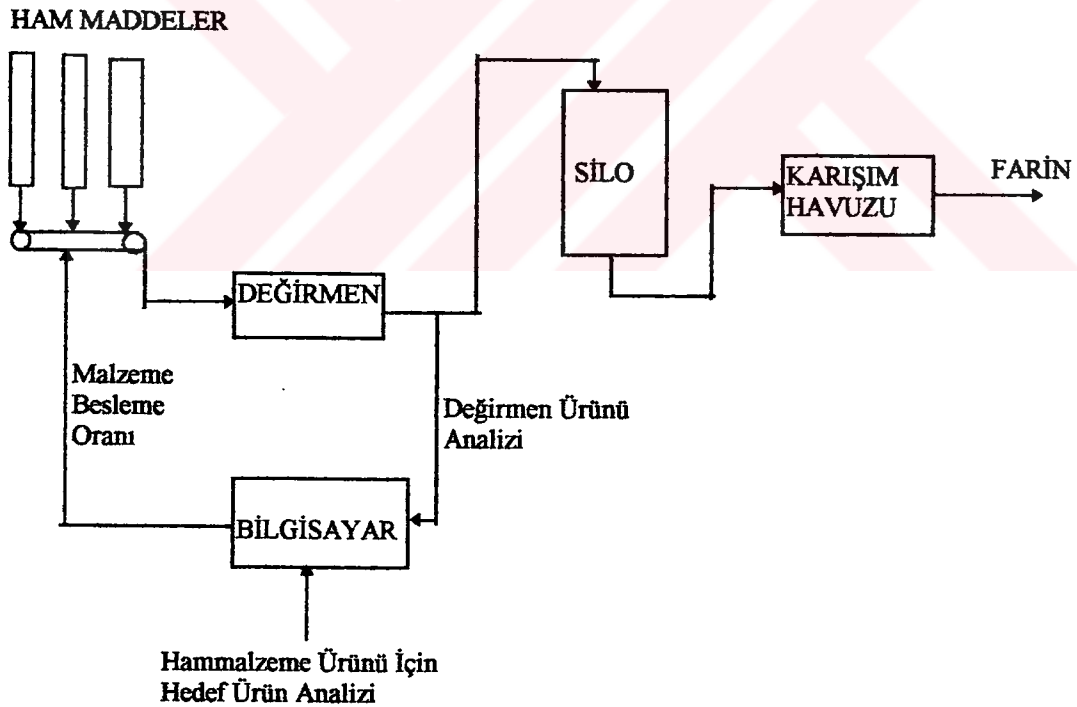
İyi bir klinker kalitesi için hammadde karışım oranları aşağıdaki gibi olmaktadır [13].

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

İstediğimiz hammadde karışımındaki en küçük değişimler bile klinker içerisindeki C₂S, C₃S, C₃A ve C₄AF oluşumunu değiştirir. Oranlama probleminin karmaşıklığı kaç çeşit hammadde kullanılacağına, üretim gereksinimlerine ve her malzemenin bileşimindeki farklılıklara bağlıdır. Çoğu çimento fabrikası 3-5 ana hammadde kullanırken, bazıları 8 ile 10 arasında farklı malzeme kullanmayı tercih etmektedir. Verileri incelenen Nuh Çimento Fabrikası da 3 ana madde kullanılmaktadır. Bunlar; Kil, Kalker ve Demir cevheridir. Eğer hammaddenin eşit olmayan kombinasyonları kullanılırsa malzeme oranlamada ekonomik çözümler oluşmaz. Şekil 6.1 deki

değirmen ürünü analiz edilir ve hedef ürün analizi ile karşılaştırılarak tekrar ayar yapılırsa daha iyi neticeler alınabilir.

Karışımın kimyasal özelliklerine sahip tek bir hammadde kullanımı söz konusu ise karışım oranlarının hesaplanmasında ekonomiyi düşünmek gereksizdir. Ekonomi, hammaddelerin seçimi ve taş ocağından çıkarılmasında yönetim düzeyinde göz önünde tutulmalıdır. Bununla beraber bazı işletmelerde değişik kombinasyonlar ile kullanılacak birçok farklı hammadde mevcut olduğundan istenen karışım oranlarını minimum maliyette belirleyecek hammaddelerin optimal seçimi önem kazanmaktadır. Japonya Kumogaya'daki Chichibu çimento fabrikasında kireçtaşı, kil, silisyumoksit ve cüruf, malzemeyi öğütüçülere götüren bir bant üzerinde oranlanmaktadır. Değirmende öğütülen ürün periyodik olarak analiz edilmekte ve 4x4 'lük matris algoritmasını kullanabilen bir bilgisayar, istenen karışım bileşimini elde etmek üzere besleyici miktarlarını ayarlamaktadır [14].



Şekil 6.1 Tipik Karışım Analizi

Bilgisayar kontrollü harman oranlama sistemlerinin başlıca amacı, harmanın doğru bileşimini elde etmektir. Harmanın hazırlanması sırasında oluşan bileşimdeki değişimler, kuru metodla çalışan Nuh Çimento Fabrikasında, fırına gönderilmeden önce, iyice öğütülmüş malzemenin toplandığı silolar da havalı kompresörler ile homojenizasyon yoluyla bileşimdeki değişimler giderilip, daha sonra gama ışınlarıyla analiz yapan GAMMA-MATRİCS cihazından hammadde geçiriliyor. Karışım içerisindeki oksit analizleri değerleri kumanda odasındaki bilgisayara gönderilmektedir. İstenen karışım oranı bu şekilde sağlanmaya çalışılmaktadır [15].

Eğer hammadde bileşimindeki değişimler kabul edilebilir ölçüde ve kontrol sisteminin performansı yeterli ise yığın çalışmadan ziyade sürekli çalışacak harman kontrol sistemleri kullanılabilir ve homojenizasyon gereksinmesi ortadan kalkarak ana donanımda, işletme maliyetlerinde ve stok mevcudun da tasarruf elde edilebilir. Sürekli oranlama ve karıştırma bir digital kontrol bilgisayarla ayarlanabilir. Yukarıda sözü edilen bilgisayar sistemlerinin çoğu periyodik olarak laboratuvar analizlerini gerektirmektedir. Oranlama ve harmanlama kontrol sistemlerinden beklenen, fırın beslemesinin istenen özelliklerde sürekli üretimidir. Bir çimento fabrikasında bilgisayar kontrolüne olan talebi, bu fabrikanın mevcut malzemenin düzgün olarak oranlanmasında maruz kaldığı güçlüklerin derecesi belirler [12].

6.3 Sistemin Matematik Modeli

Uygulamada sistemin girdisini çıktısını teşkil edebilmek için ayrık zamanlı ve çok giriş çok çıkışlı (MIMO) model seçilmiştir. Yaptığımız çalışmada bu modellerden lineer ARX ve İV4 modelleri kullanılmıştır. Kullanılan lineer ARX modeli;

$$A(z^{-1})Y(t)=Z^{-d}B(z^{-1})U(t) + e(t) \quad (6.1)$$

Burada; $Y(t)$: Yüzde olarak sistemin çıkışları olan SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve CaO verileri,

$U(t)$: Yüzde olarak sistemin girişleri olan kil, kalker ve demir cevheri

$e(t)$: Sıfır ortalamalı beyaz Gaussian gürültü sinyali,

d : Gecikme zamanıdır,

A ve B Polinomları geriye doğru kaydırma operatörü z^{-1} ile gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} A(z^{-1}) &= 1 + (a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_n z^{-n}) \\ B(z^{-1}) &= b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_m z^{-m} \end{aligned} \quad (6.2)$$

A ve B polinomlarının dereceleri sırasıyla n ve m dir. Bu sabitler ve gecikme zamanı belirlendikten sonra bilinmeyen parametreler $a_1 \dots a_n$ ve $b_0 \dots b_m$ ardışık en küçük kareler kestirme algoritmasıyla bulunur [13].

Kullanılan lineer İV4 modeli;

$$A(q)Y(t) = B(q)U(t-nk) + v(t)$$

$Y(t)$: Yüzde olarak sistemin çıkışları olan SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve CaO verileri,

$U(t)$: Yüzde olarak sistemin girişleri olan kil, kalker ve demir cevheri

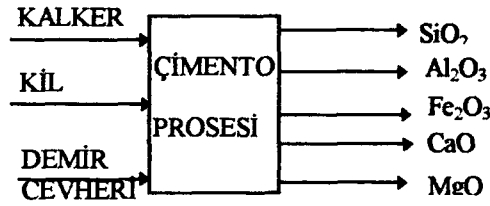
$v(t)$: Sıfır ortalamalı beyaz Gaussian gürültü sinyali,

A ve B Polinomları geriye doğru kaydırma operatörü q ile gösterilmiştir.

Yaptığımız çalışmada sistemimize Nuh Çimento Fabrikasından aldığımız analiz sonuçları U giriş, Y çıkış olarak verilecektir. Buna karşılık modelimizdeki A ve B parametreleri hesaplanacaktır. Bu parametreler hesaplandıktan sonra sistemimiz bu parametrelere bağlı olarak en uygun oksit değerlerini hesaplayacak ve bizim değerlerimizle sistemin değerlerini simüle edecektir [16].

6.4 Çimento Prosesinin Bir Sistem Olarak Tanımlanması

Çimento fabrikalarında kullanılan hammaddelerin matematiksel olarak modellenmesi için tez içinde anlatılan analiz yöntemi ışığında, çimento prosesinin tanımlanması için prosese ait giriş ve çıkış bilgilerinin değerlendirilmesi gerekir. Prosesin giriş ve çıkışlarını aşağıdaki şekilde bir blok diyagramı ile göstermemiz mümkündür [14].



Şekil 6.2. Prosesin Blok Diyagramı

Şekilde görüldüğü gibi sistemin girişleri kil, kalker ve Demir cevheri, çıkışları Silisyumoksit (SiO_2), kalsiyumoksit(CaO), Alüminyumoksit(Al_2O_3) ve demiroksit(Fe_2O_3) dir. Bu girişler 3 ile 8 arasında değişmektedir. Bazı fabrikalar 3 hammadde kullanırken bazıları ise 5-6 hammadde kullanmaktadır. Çanakkale Çimento Fabrikası 4 hammadde; kil, kalker, demir cevheri ve kaolen kullanmakta, Nuh Çimento fabrikası 3 hammadde; kil, kalker ve demir cevheri kullanmaktadır. Bu fabrikalarda değişik analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Nuh Çimento Fabrikasında GAMMA-MATRİCS cihazı ile analiz yapmaktadır. Analiz neticesinde oranlar yüzde cinsinden elde edilir. Bu, girişteki karışım oranlarının adaptif kontrol algoritmaları ile kontrol edilebilmeleri için sistemin ardışık olarak tanımlanması gerekir. Sistemin bilgisayar ile tanımlanmasında yöntem olarak önceki bölümlerde geçen algoritmalar kullanılır. Bu çalışmada da açıklanan; ARX ve İV4 modeli kullanılarak sistem tanımlanmıştır. Buna ilişkin bilgisayar programları ve sonuçları grafik olarak sonuçlar bölümünde verilmiştir.

6.5 Bilgisayar Programları ve Sonuçları

Matematik modelleme konulu tez çalışmasının bu bölümünde ele alınan konular ile ilgili bilgisayar programları ve bunların çalıştırılması neticesinde elde edilen deneysel sonuçlar açıklanmaktadır.

Öncelikli olarak Nuh Çimento A.Ş. den alınan datalar yardımıyla bu işletmeye ait hammadde girişinden fırına gönderilmeye hazır farine kadar olan kısım tanımlanmaya çalışılmıştır. Tanımlama çalışması çerçevesinde sisteme giriş olarak hammadde karışım yüzdeleri verilmiş ve buna karşılık çimento kalitesinin doğrudan bir kriteri olan

farindeki beş ana oksite ait karışım yüzdeleri çıkış olarak girilmiştir. Hammaddeler kil, kalker ve demir cevheri iken farındaki dört ana oksit SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve CaO dür.

Bilgisayar paket programı olarak Matlab(ver.4.0) kullanılmıştır. Programlamada ilk olarak bir ARX model için en küçük kareler yöntemi ile bir tanımlama yapılmıştır. Yönteme ait program 6.5.1’de buna ait çıkış eğrileri ve sonuçları 6.5.2’de verilmiştir.

İkinci olarak İV4 modeli için en küçük kareler yöntemi ile bir tanımlama yapılmıştır. Buna ilişkin program Nuh Çimento A.Ş. verileri için bölüm 6.5.3’te verilmiştir. Buna ait sonuçlar ve çıkış eğrileri ise 6.5.4’te verilmiştir.



6.5.1 Nuh Çimento A.Ş. ye Ait Sistemin ARX Modeli İle Tanımlanması

```

load nuh.dat
%
%*****giriş sayısı
%
Ninp=3;
%
%*****çıkış sayısı
%
%
Noutp=3;
%
S=nuh(:,4);
A=nuh(:,5);
F=nuh(:,6);
C=nuh(:,7);

%
Y=[S A F C];
U=[nuh(:,1) nuh(:,2) nuh(:,3)];
Z=[Y U];
%
%*****sisteme mertebelerinin verilmesi
%
a=2;b=2;d=4;
naa=a*ones(4,4);
nbb=b*ones(3,4);
ndd=d*ones(3,4);
na=naa';
nb=nbb';
nd=ndd';
NN=[na nb nd];
%
%*****sistemin tanımlanması
TH=arx(Z,NN);
%
%*****P matrisini oluşturmak için A ve B parametre matrisleri
%
[A,B]=th2arx(TH);
[A B]
%
[YH,fit]=compare(Z,TH,3)

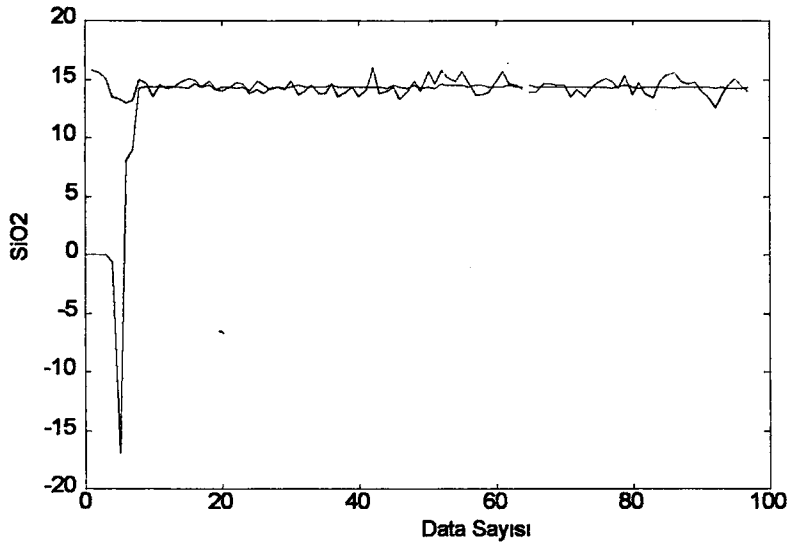
plot(Y(:,1),'r')
hold
plot(YH(:,1))

```

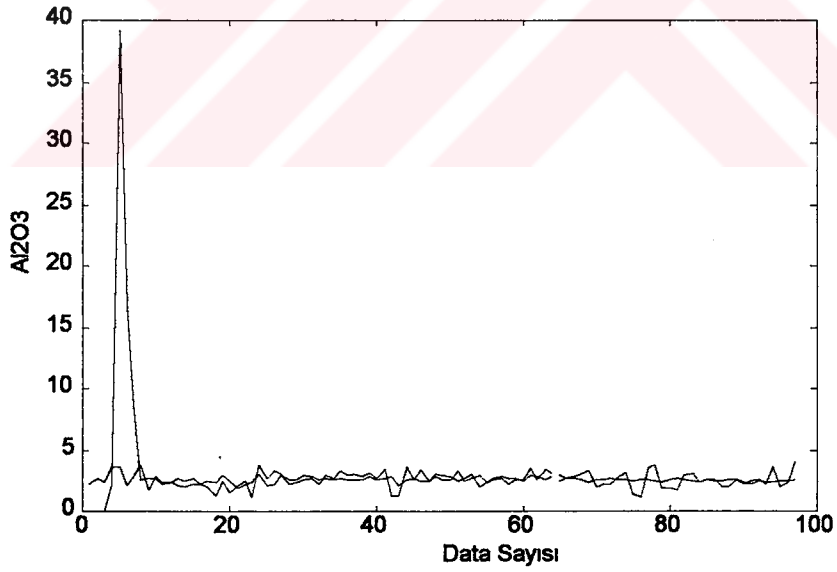
```
axis([0 100 12.5 15])  
figure  
plot(Y(:,2),'r')  
hold  
plot(YH(:,2))  
axis([0 100 1.5 4])  
figure  
plot(Y(:,3),'r')  
hold  
plot(YH(:,3))  
axis([0 100 2 3])  
figure  
plot(Y(:,4),'r')  
hold  
plot(YH(:,4))  
axis([0 100 2 3])
```



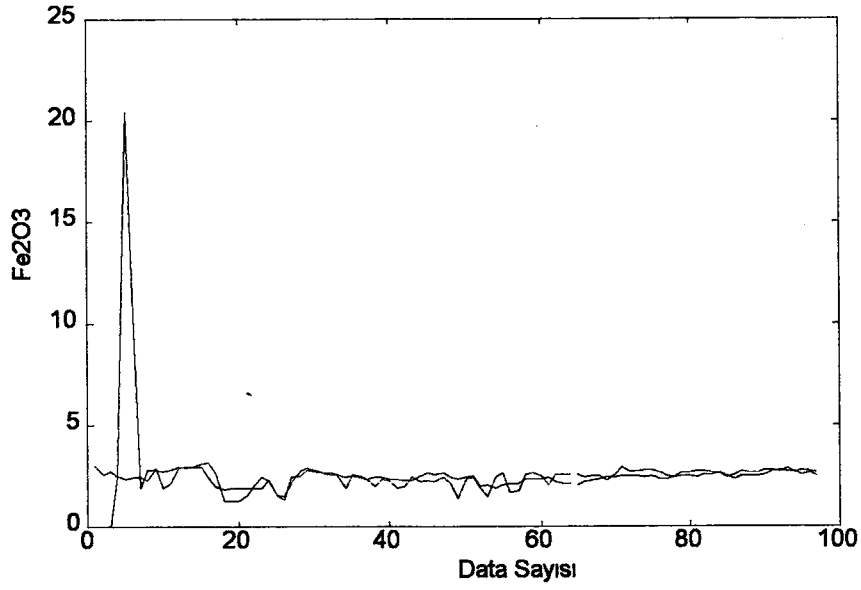
6.5.2 Nuh Çimenyo A.Ş'ye Ait Sistemin ARX Modelinin Grafikleri



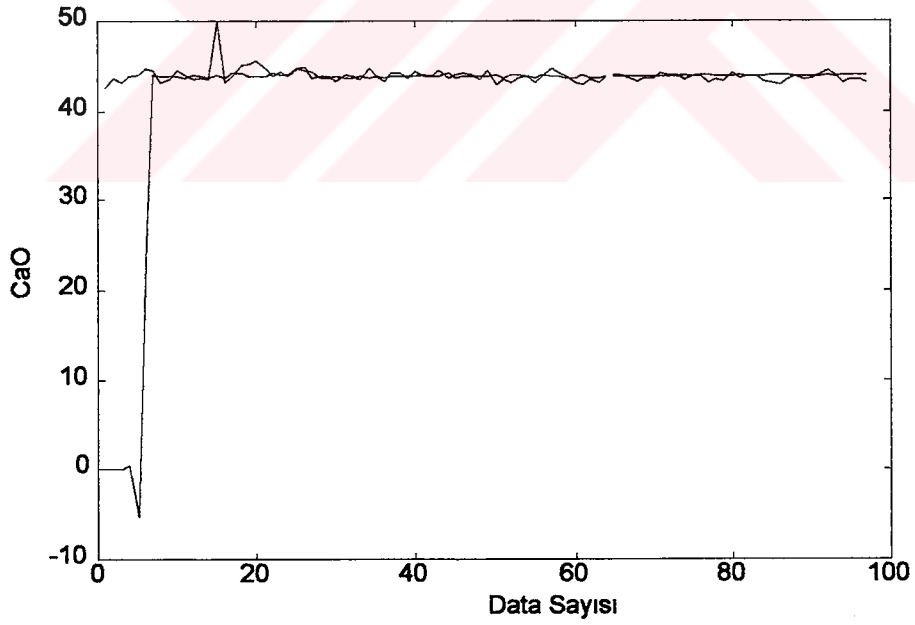
Şekil 6.3 Fabrikadan Alınan SiO₂ Dataları ile Sistemin Bulduğu SiO₂ Arasındaki Grafikler



Şekil 6.4 Fabrikadan Alınan Al₂O₃ Dataları ile Sistemin Bulduğu Al₂O₃ Arasındaki Grafikler



Şekil 6.5 Fabrikadan Alınan Fe₂O₃ Dataları ile Sistemin Bulduğu Fe₂O₃ Arasındaki Grafikler



Şekil 6.6 Fabrikadan Alınan CaO Dataları ile Sistemin Bulduğu CaO Arasındaki Grafikler

6.5.3 Nuh Çimento A.Ş. ye Ait Sistemin İV4 Modeli İle Tanımlanması

```

load nuh.dat
%
%*****giriş sayısı
%
Ninp=3;
%
%*****çıkış sayısı
%
Noutp=3;
%
S=nuh(:,4);
A=nuh(:,5);
F=nuh(:,6);
C=nuh(:,7);

%
Y=[S A F C];
U=[nuh(:,1) nuh(:,2) nuh(:,3)];
Z=[Y U];
%
%*****sisteme mertebelerinin verilmesi
%
a=2;b=2;d=4;
naa=a*ones(4,4);
nbb=b*ones(3,4);
ndd=d*ones(3,4);
na=naa';
nb=nbb';
nd=ndd';
NN=[na nb nd];
%
%*****sistemin tanımlanması
TH=iv4(Z,NN);
%
%*****P matrisini oluşturmak için A ve B parametre matrisleri
%
[A,B]=th2arx(TH);
[A B]
%
[YH,fit]=compare(Z,TH,3)

plot(Y(:,1),'r')
hold
plot(YH(:,1))
axis([0 100 12.5 15])
figure

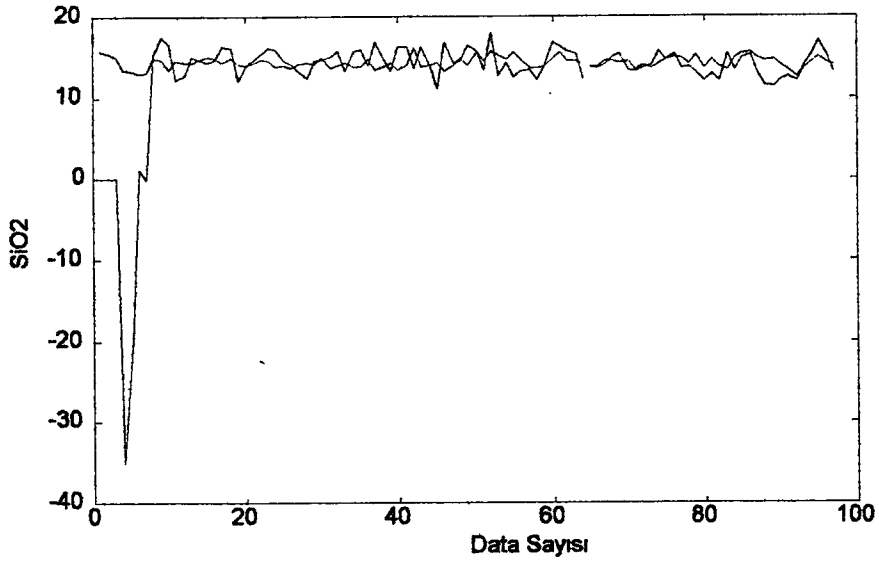
```



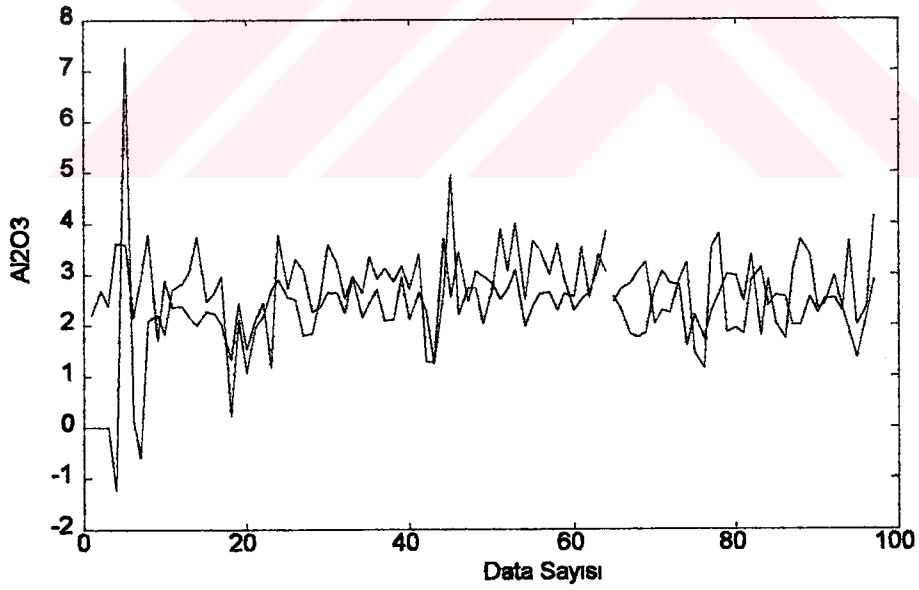
```
plot(Y(:,2),'r')
hold
plot(YH(:,2))
axis([0 100 1.5 4])
figure
plot(Y(:,3),'r')
hold
plot(YH(:,3))
axis([0 100 2 3])
figure
plot(Y(:,4),'r')
hold
plot(YH(:,4))
axis([0 100 2 3])
```



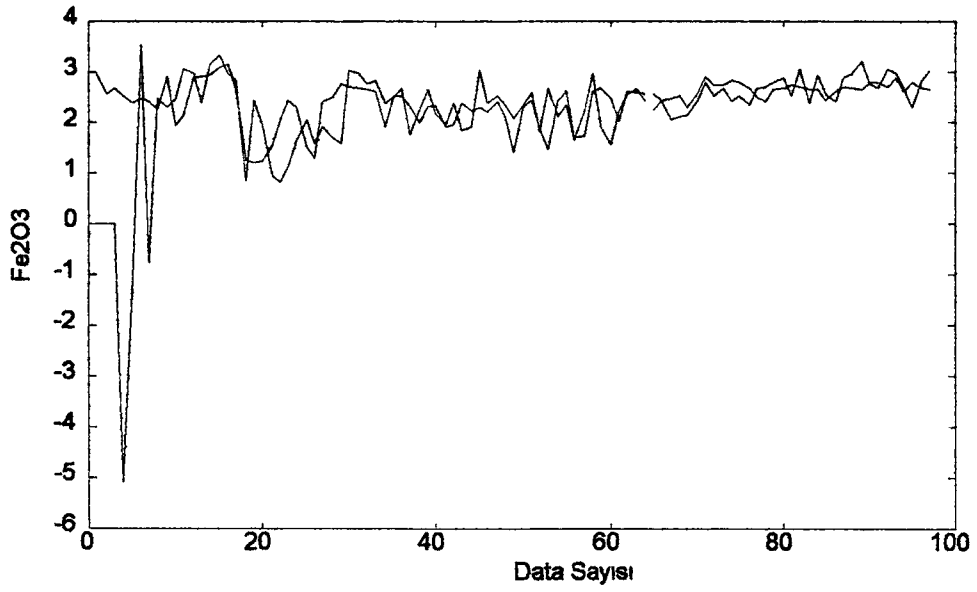
6.5.3 Nuh Çimenyo A.Ş'ye Ait Sistemin İV4 Modelinin Grafikleri



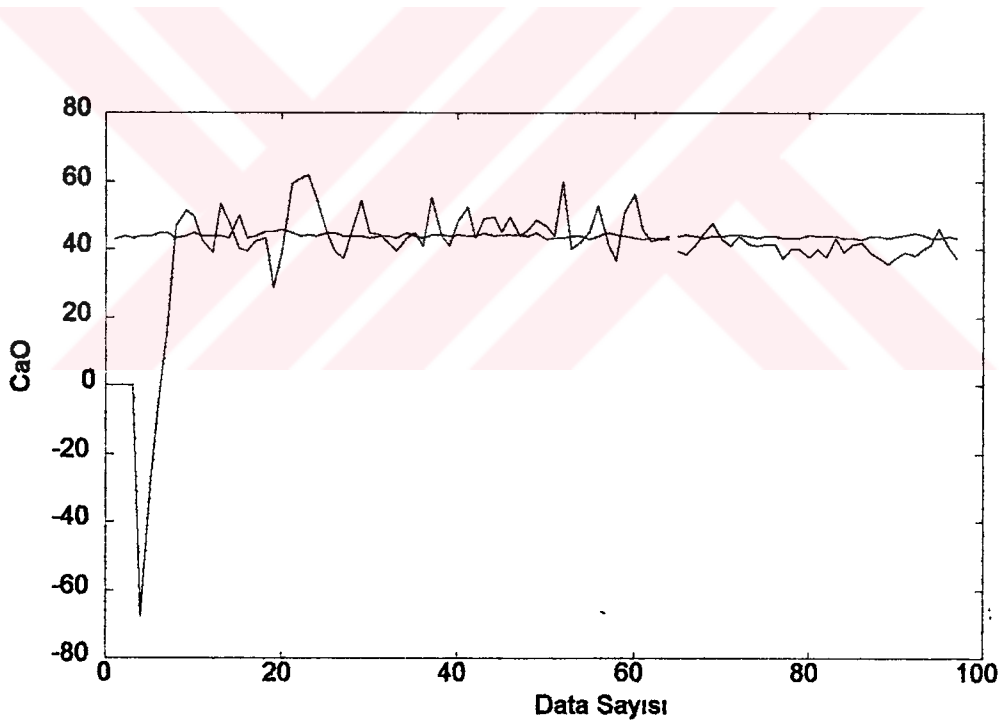
Şekil 6.7 Fabrikadan Alınan SiO₂ Dataları ile Sistemin Bulduğu SiO₂ Arasındaki Grafikler



Şekil 6.8 Fabrikadan Alınan Al₂O₃ Dataları ile Sistemin Bulduğu Al₂O₃ Arasındaki Grafikler



Şekil 6.9 Fabrikadan Alınan Fe₂O₃ Dataları ile Sistemin Bulduğu Fe₂O₃ Arasındaki Grafikler



Şekil 6.10 Fabrikadan Alınan CaO Dataları ile Sistemin Bulduğu CaO Arasındaki Grafikler

BÖLÜM 7 SONUÇ ve ÖNERİLER

Çimento üretimi ve tüketimi, bir ülkenin gelişimini karakterize eden en önemli kriterlerden biridir. Kalkınmanın gerçekleşmesi üretim artarken kalitenin artması ve giderlerdeki azalma ile mümkündür. Bu, ancak endüstrimizdeki klasik metodların modernleştirilmesi ile mümkündür.

Çimento prosesinin verimli ve ekonomik çalışması otomasyon ile sağlanır. Bunu sağlayabilmek için sistemde Adaptif kontrol ve Self-Tuning kontrol stratejileri uygulanmalıdır. Bu kontrol sistemlerinin uygulanması için de sistemi tanımlamaya ihtiyaç vardır.

Sağlıklı bir sistem tanımlama için modelin doğru ve uygun seçilmesi ve kullanılacak algoritmanın uygun olması gerekmektedir. Bunun analizi içinde sistemin simüle edilmesi gerekir. Nuh Çimento A.Ş. den alınan verilerin sıhhatliliği çerçevesinde sistem simüle edilmiştir.

Yaptığımız bu çalışma çerçevesinde görülmüştür ki çimento üretiminde kaliteyi etkileyen en önemli faktörlerden biri hammadde karışımının ayarlanmasıdır. Bunu sağlayabilmek için de en iyi çözüm olarak analizör(GAMMA-MATRİCS) cihazının bir çimento fabrikasında biri önhomojeizasyondan önce, diğeri farin değirmenleri ile ön homojenesyondan geçmiş stok arasında olmak üzere iki yerde kullanılmasıdır.

Yapılan bu çalışmada fabrikadan alınan değerlere çok yakın bir matematik model kuruldu. Bunlar gerek grafik halinde gerekse değer olarak Bölüm 6 da gösterilmiştir. Alınan sonuçlardan da görülebileceği gibi ARX modeli İV4 modeline nazaran daha iyi sonuç vermiştir. Kurulan matematiksel modelde giriş olarak 3 hammadde kullanılmış, çıkış olarak ise 4 oksit değeri gözönüne alınmıştır. Gerekirse bu girişler ve çıkışlar artırılabilir.

Yine kurulan matematiksel modelde mertebeler ARX modeli için $n=2$, $m=2$, $d=4$ dereceden seçilmiş, İV4 modelinde $a=2$, $b=2$, $d=4$ dereceden seçilmiştir. Eğer model mertebesini değiştirirsek sonuçlarımız değişecektir.

İstenildiği takdirde kurulan matematiksel model gözönüne alınarak bir sonraki çalışma olarak hammadde karışımının kontrolü yapılabilir. Böylelikle kısmi bir bölgede de olsa fabrikada otomasyona geçilmiş olabilir.



KAYNAKLAR

1. GÜRER, S., “ Önhomojenizasyon Ne Zaman Gerekli Çimento Hammadde Kompozisyon Değişkenliğinin Tayini 1”, Çimento Bülteni, Cilt 30, Sayı 308, 1993
2. GOUDA, R., “Raw Material Belending”, World Cement Technology, Vol 10, Num. 9 , 1979
3. KOLİP, A., “ Çimento Fabrikalarında Enerji Analizi Ve Ekserji”, Doktora, Yıldız Teknik Üniversitesi, pp. 5-17, 1993
4. SWAIN, A.K., “Material Mix Control in Cement Plant Automation”, IEEE Control System, August 1995
5. EMİROĞLU, M., “Otomatik XRF Spektrometrelerle Çimentoyu Teşkil Eden Maddelerin Proses Kontrolüne Yönelik Elementsel Analizi”, Çimento Bülteni, cilt 28, sayı 293, 1991
6. AYBEK, G., “ Otomatik Proses Kontrolünde Yeni Bir Adım”, Çimento Bülteni, Cilt 4, Sayı 315, 1994
7. GÖKSALTIK, S., “ Çimento Fabrikalarında Proses Kontrolü İçin GAMMA-MATRİCS Dökme Mal Analizörü”, Nuh Dünyası, sayı 118, 1995
8. KAZAN, R., “ Bir Robotik Manüplatörün Eklem ve Kartezyen Esaslı Öngörülü Kontrolü”, Doktora, İTÜ, Makina Fakültesi, pp. 38-42, 1992
9. GENCER, A.S., “ Çimento Hammadde Prosesinde Sistem Tanımlama”, Yüksek Lisans, İTÜ Makina Fakültesi, sayfa 8, 1995
10. LİN, P., Yun, Y. S., BARBIER, J.P., BABEY, P. and PREVOT, P., “ Intelligen Tuning and Adaptive Control For Cement Raw Meal Belending Process”, IFAC Inteligent Tuning and Adaptive Control, Singapore, pp. 301-306, 1991
11. YUN, V.S., and LİN, P., “Adaptive and Predictive Control of the Raw Meal Composition in Cement İndustry”, Lasted Control'90, Lugano, 1990
12. CHEN, H.F., “ Recursive System İdentification and Adaptive Control by USA of the Modified Least Squares Algorithm”, Control and Optimization , vol. 22, No. 5, 1984

13. KAISER, A. V., “ Computer Control in the Cement Industry”, Proceedings of the IEEE, vol. 58, No 1, pp. 70-77, 1970
14. HUBBARD, M. and DASILVA, T., “Estimation of Feedstream Concentrations in Cement Raw Material Belending”, Automatica, vol. 18, No. 5, pp. 595-606, 1982
15. KİREÇCİ, A., and TOPALBEKİROĞLU, M., “ Self-Tuning Adaptif Kontrolun Servo Sistemlere Uygulanması”, 7.Ulusal Makina Teorisi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, pp. 464-470, 1995
16. ASTRÖM, K.J., and WITTENMARK, B., “ Computer Controlled System”, Prentica Hall International, 1991



ÖZGEÇMİŞ

Recep KILIÇ 1973 yılında Trabzon- Şalpazarı'nda doğdu. İlkokulu doğum yeri olan Şalpazarı'nda, Ortaokulu Rize İmam-Hatip Lisesinde tamamladı. Lise eğitimine Bursa-Gemlik'te devam ederek 1990 yılında bitirdi ve aynı yıl girdiği İTÜ Sakarya Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünden 1994 yılında mezun oldu. 1994 yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümüne Araştırma Görevlisi olarak girmeyi hak kazandı ve halen bu göreve devam etmektedir. Evli ve bir çocuk babasıdır.