

Çimento Hammadde Üretim Optimizasyonu için Yeni Teknolojiler

KErgin, S.Erçelebi, CKirmanli

İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZET: Çimento üretiminde hammadde kompozisyonu ve homojenliği üretim prosesinin ekonomisini ve çimentonun kullanım aşamasında kalitesini etkileyen önemli bir faktördür. Bu nedenle, çimento hammaddelerinin istenilen kimyasal kompozisyonda ve homojen olarak üretilmesi, üretim aşamalarında üretilen çimento türüne bağlı olarak, bu özelliklerin üretim aşamalarında da korunması sağlanmalıdır. Son yıllardaki teknolojik gelişmeler bu amaca ulaşmada iki yeni sistemin kullanılmasını mümkün kılmıştır. Bunlardan ilkinde; gelişen bilgisayar teknolojisi ve madencilik paket programları kullanılarak, hammadde üretiminin planlama ve üretim sırasında optimizasyonuna imkan verecek blok, solid ve jeostatistik modelleme tekniklerinin kullanılmasıdır. Surpac2000 Madencilik paket programı kullanılarak yapılan bir saha çalışması ve bu yöntem modelleme tekniklerinin prensipleri sunulmaktadır. İkinci teknolojik gelişme ise, on-line analizörlerin çimento endüstrisinde kullanılmasıdır. Bu analizörler, Gamma Nötron Aktivasyonu tekniği ile hammadde kimyasal kompozisyonunu derhal belirlemektedir. Bu yeni teknolojik gelişme ve Nuh Çimento Fabrikasındaki uygulamalarından elde edilen sonuçlar bu çalışmada yer almaktadır.

ABSTRACT: In cement manufacturing, the chemical composition and the uniformity of raw materials play an important role in the process economics and on finished cement quality. Therefore, it is necessary to achieve uniformity and desired chemical composition and maintains these at all production stages according to the type of cement produced. To achieve these goals, the new technological development has recently allowed using die two systems. The first one is the use of the computer technology and the sophisticated mining software, which leads to use block, solid and geostatistical modelling techniques in order to optimise the cement raw material production- at the mine planning, and production stages. The new modelling techniques employed and the results of a case study performed on Surpac2000 Mining Software are given. Second one is the use of revolutionary on-line analyser in cement manufacturing process as it uses the Prompt Gamma Neutron Activation technique to measure the material composition. The new technological development and the experimental results obtained from the, implementation of an on-line analyser in Nuh Cement Factory are also illustrated in this paper.

1. GİRİŞ

Çimento üretim aşamaları ana hatları ile "hammadde üretimi ve hazırlama ", pişirme prosesi" ve "çimento öğütme ve paketleme prosesi" olarak sıralanabilir. Hammadde üretim maliyetlerinin toplam maliyetler içerisinde %4-10 'a tekabül etmesine rağmen, diğer üretim aşamalarını da önemli derecede etkilemesi dolayısıyla çimento üretiminde toplam maliyetler ve

nihai ürün kalitesinin uniform ve yüksek olmasında önemli bir yeri vardır.

Çimento üretiminde kullanılan hammaddelerin kompozisyonu ve homojenliği, gerek üretim prosesi sırasında (kolay öğütülebilirlik, kolay pişme vb.), gerekse kullanım aşamasında istenen (dayanım, donma süresi, sertleşme süresi vb.) özelliklere etkileriyle çimento kalitesini doğrudan etkileyen faktörlerin başında gelir (Ergin, 1998).

Çimento kalitesi açısından, uzun araştırmalar sonucu elde edilmiş olan ve geniş bir kabul gören kalite modüllerinin yanısıra, çok çeşitli amaçlara yönelik üretilen farklı tip çimentoların istenen mineral faz oranlarının elde edilmesi için de hammadde kompozisyonunun ve homojenliğinin önemi büyüktür.

Keza, farindeki problemler, değişik türde çimento üretimi yapılması, kullanılan yakıtın başka daha ekonomik bir yakıtla değiştirilmesi, modernizasyon ile daha optimum işletme şartlarına geçilmesi durumlarında da hammadde üretim prosedüründe değişiklik yapılması söz konusudur.

Çimento üretiminin optimizasyonu için; hammadde üretiminden, çimento öğütülmesine kadar bütün üretim aşamalarında kimyasal kompozisyonun kontrol edilerek istenilen seviyede kalması sağlanmalıdır. Bu amaçla yapılan analitik çalışmalardan en doğru ve yararlı sonuçları elde etmek için mekanize olarak tam ve yarı otomatik numune alınması, hazırlanması ve X-ray fluorescence tekniği ile kimyasal analizler yapılması günümüze kadar kullanılan yaygın bir tekniktir. Bu teknikte, numunelerin alınması, laboratuara götürülerek analiz edilmesi ve sonuçların değerlendirilmesi aşamaları sonucunda prosese yön verilmesi mümkün olmaktadır. Ancak bu teknik, alman numunelerin malzemeyi tam olarak temsil etmemesi sakıncası ve bu işlemlerin fazla zaman alması sonucu gecikmiş ve değeri azalmış bir bilgiye ulaşılması gibi dezavantajları beraberinde getirmektedir. Son yıllarda, çimento fabrikalarının hammadde ocaklarında üretilen hammaddeler stoklanarak istenilen kimyasal özelliğe sahip kullanım oranlarının sağlanması; modern fabrikalarda gerçek zamanında analiz yapılarak (on-line olarak) hammadde ocaklarından ve stoklarından bandlarla fabrikaya beslenen hammaddenin istenilen özellikler çerçevesinde kimyasal kompozisyonunda olması sağlanmaktadır.

Bu yeni sistem; beslenen hammaddelerin kimyasal özelliklerinin uniform olmasına direk bağlıdır ve hammadde ocağından gelen ve/veya hammadde stoklarından fabrikaya bandlarla beslenen malzemenin on-line olarak analizlerinin yapılması ve bandlardan geçen malzemelerin oranlarını ayarlama prensibine dayanmaktadır. Uniform yapıda olmayan hammadde üretimleri ve yığımları için bu sistemler verimli olmamaktadır. Eğer çimento türüne bağlı olarak gerekli kimyasal kompozisyon

sağlanamıyorsa, yüksek nitelikli hammadde yanında Al ve Fe cevheri ilaveleri yapılmasını gerektirmektedir ki bu durum hammadde maliyetini artırıcı rol oynamaktadır. Ayrıca, hammadde içerisinde bulunan diğer metallerin ve impuriteelerin dağılımlarının bilinmesi; çimento türüne bağlı olarak en uygun hammaddenin fabrikaya beslenmesinde ve dolayısıyla çimento üretim prosesinin bir bütün olarak değerlendirilip optimize edilmesinde ve nihai ürün kalitesinin artırılmasında önemli bir yeri vardır. Bu çalışmada, on-line analizörlerle birlikte, son yıllarda gelişen madencilik paket programlarının çimento hammadde üretiminde kullanılan sofistike metodların metodolojisi ve bir çimento fabrikasında ki uygulamalarına yer verilmektedir. Bu yöntemler kullanılarak hammadde üretim aşamasında, fabrikaya beslenecek malın ön homojenasyonu sağlanacak ve üretim optimum şekilde gerçekleştirilebilecektir.

2. ÇİMENTO HAMMADDELERİ VE HAZIRLAMA KRİTERLERİ

Çimento üretiminde kullanılan ana hammaddeler jeolojide sedimentler kayaçları olarak bilinen kalker, kil ve marndır. Klinker üretiminin ana bileşenleri CaO için kalker; SiO₂, Al₂O₃, ve Fe₂O₃ içinde kil mineralleri temel kaynaklardır. Marn gibi bu dört oksit bünyesinde bulunduran diğer malzemelerde çimento hammaddesi olarak kullanılmaktadır. Bu doğal hammaddelerin içerisinde az miktarlarda diğer bazı bileşenlerin bulunması kaçınılmaz olup, bu maddeler çimento üretim prosesini ve çimentonun performansını etkilemektedir. Son yıllarda çimento piyasasında ihtiyaç duyulan çimento türleri giderek artmakta olup, eğer üretilen çimento türüne bağlı olarak kullanılan hammaddenin istenilen hammadde kalite kontrol parametreleri (modüller) sağlanamıyorsa; SiO₂ açığı için kum, Al₂O₃ için boksit, Fe₂O₃ açığı için ise demir cevheri veya kavrulmuş pirit uygun oranlarda farine ilave edilir. Çimento üretirken temel amaç; mevcut hammaddenin beraberinde getirdiği kısıtlamalara rağmen, üretim prosesinin ekonomik olmasının sağlanması, çimento dayanımları, çalışabilirlik ve donma karakteristikleri gibi pazarlanacağı ülkenin kalite standartlarındaki testlerde yeterli performansı sağlayacak çimentoyu üretmektir.

Çimento endüstrisinde hammadde karışımları yaygın olarak kalite kontrol parametreleri olarak tanımlanan hammadde ve/veya klinker içerisindeki değişik oksitlerin oranları ile belirlenir. Bunlar arasında farin kompozisyonunun belirlenmesinde en çok kullanılan

oranlar; Kireç Standartı (LSF), Silikat Modülü (SM), Alüminyum-Demir oranı (İM) 'dır.

$$LSF = \frac{(CaO)}{2.8(SiO_2) + 1.18(Al_2O_3) + 0.65(Fe_2O_3)} \dots\dots(1)$$

$$SM = \frac{(SiO_2)}{(Al_2O_3) + (Fe_2O_3)} \dots\dots(2)$$

$$İM = \frac{(Al_2O_3)}{(Fe_2O_3)} \dots\dots(3)$$

$$SM = \frac{2.8(5(O_2) + U_{804/2O_3}) + 0.65(Fe_2O_3)}{(Al_2O_3) + (Fe_2O_3)} \dots\dots(2)$$

$$M^{Al_2O_3} = \frac{IFe_2O_3}{IFe_2O_3} \dots\dots(3)$$

Bu oranların önemi sadece ulaşılabilecek komponentlerin kompozisyonları ile sınırlı kalmayıp; böylelikle üretilen çimentonun potansiyel olarak kalitesini de göstermektedir. Ayrıca bu oranlar klinkerleşme ve diğer proses karakteristikleri ile de yakından ilişkilidir.

Bilindiği gibi, klinker bazında silikat modülündeki geniş dalgalanmalar farine beslenen hammadde ve/veya kömürün uniform olmamasından kaynaklanmaktadır. Kural olarak da, yüksek silikat modülü pişirmenin zor olmasının ve koatmg özelliklerinin zayıf olmasının göstergesidir. Düşük silikat modülleri de ring oluşumu ve çimentoda erken dayanımın düşük olmasının göstergesidir.

Yüksek Alüminyum-Demir Oranı, üretilen çimentonun yüksek erken dayanıma sahip olmasına rağmen, pişirme esnasında silikat ve kalsiyum oksit reaksiyonunu zorlaştırıcı bir rol oynar.

Kireç Standartı l'e yaklaştıkça klinker zor pişirilir ve yüksek miktarda serbest kireç ortaya çıkar. Pişirme Index ve Faktörü, klinkerin pişirilme özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Modern çimento teknolojisinde; Hidrolik Modül ve Likit Faz' da farine yapılan beslemenin kontrolünde seyrek olarak da olsa kullanılmaktadır (Bye, 1983; Maas and Kupper, 1993; Schafer, 1989).

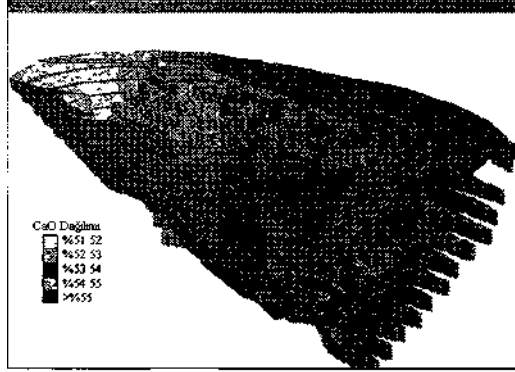
Bununla birlikte, klinkerdeki magnezyum konsantrasyonları tüm dünyada sınırlandırılmıştır. Yüksek magnezyum konsantrasyonları harçta ve betonda genişleterek tahribata sebep olurlar. Çeşitli ülkelerde çimentoda izin verilen max MgO miktarları % 3-6 arasında sınırlandırılmış olup; İngiltere ve İtalya'da %4; Türkiye, Almanya, Rusya, İspanya ve Fransa'da %5; Orta Amerika, USA, Hindistan ve Yunanistan'da % 6 seviyesindedir.

3. MADENCİLİK YAZILIMLARI İLE ÇİMENTO HAMMADDE YATAĞININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÜRETİMİN OPTİMİZASYONU

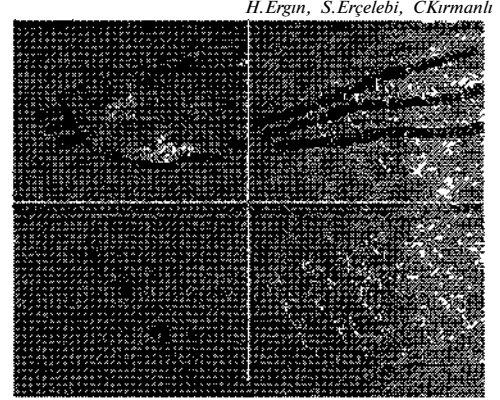
Bu çalışmada; SURPAC2000 Madencilik paket programı kullanılarak bir çimento hammadde sahasından elde edilen topografik, jeolojik ve sondaj verileri programa yüklenmekte ve sahaya ait veri tabanı oluşturulmaktadır. Blok, solid ve jeostatistik modelleme teknikleri kullanılarak sahanın iki ve üç boyutlu fiziksel modelleri oluşturulmakta ve bu modeller kullanılarak hammadde sahasında CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ gibi ana komponentlerin ve MgO, SO₃, K₂O, Na₂O ve diğer az miktarlarda bulunan fakat çimento üretimi açısından önemli olan küçük komponentlerin, oluşturulan bloklardaki miktarları ve/veya kimyasal dağılım haritaları elde edilmektedir. Bu şekilde hammaddenin üretim aşamasında optimum karışımları verecek üretim planlarının hazırlanması için gerekli sayısal ve grafik veriler elde edilmekte, sınıflandırılmış rezervler hesaplanabilmektedir (Griffin, 1997; Ergin ve Akbulut, 1997; Surpac2000 User References, 1998). Bu veriler kullanılarak hammadde üretim aşamasında üretilmek istenen çimento türüne uygun kompozisyonda hammadde üretilmesi, hammadde stoklama ve harmanlama maliyetlerini düşürecek gibi, istenen çimento türü için hammadde kalite kontrol modüllerinin sağlanması ve fabrikaya uniform hammadde beslenmesi ile de üretimin daha sonraki aşamalarında, özellikle pişirme ve çimento öğütme işlemlerinde "enerji tüketimi" nin azaltılması ve "nihai ürün kalitesinin" artırılmasında önemli derecede iyileştirmeler sağlanması mümkün olmaktadır.

3.1 Block Model

Block modellemede, "Block Model" modülü kullanılarak saha belirlenen sınırlar içerisinde bloklara ayrılır. Blokların boyutları data sıklığına bağlı olarak planlamacı tarafından belirlenir. Örneğin: x=10, y=10 ve z=5 m. Bloklardaki sahaya ait bilgiler sayısal ve tanımlayıcı yapıda olmakta ve her blok için hesaplanıp depolanacak data sayısında teorik olarak bir kısıtlama bulunmamaktadır. Örneğin, her blok değişik jeolojik formasyon için tanımlayıcı bir renk, CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, K₂O, SO₃, Na₂O v.b. kimyasal analiz değerleri gibi çok sayıda datanın ayrı ayrı veya birlikte



Şekil 1. Uç Boyutlu Block Model ve CaO Dağılımları.



Şekil 2 Solid Modelin Oluşturulması

elde edilip görüntülenebilmesi ve çıktılarının alınması mümkündür Şekil 1'de bir çimento hammadde sahasının üretim basamaklarında CaO dağılımını uç boyutlu bloklarda gösteren diyagram verilmiştir. Data noktasından uzak blokların değerlerinin atanmasında çok sayıda değişik matematik ve mühendislik yaklaşımları kullanılıp en çok kullanılan teknikler;

- kriging
- 'n' cı dereceden uzaklığın tersi (inverse distance to 'n'nt power)
- en yakın komşu (nearest neighbour)
- direk atama (direct assignment)
- stnnlerden atama 'dır.

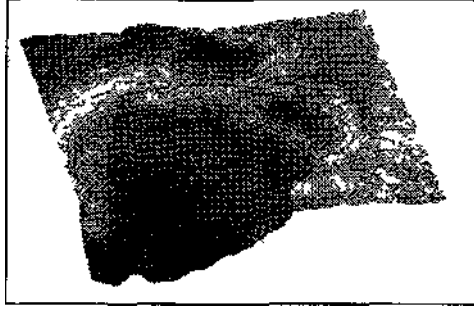
Üretimin optimizasyonu için bloklar sondaj sıklığına bağlı olarak daha küçük bloklara ayrılabilir (sub-blocking).

3.2 Solid Model

Sahanın solid modeli "Jeolojik database modülü" kullanılarak dikey ve yatay kesitler alındıktan sonra "Solid Model " modülü kullanılarak grafik ortamda jeolojik kodların ve kimyasal analiz verilerinin kesitler arasında interpolasyonu yapılarak Şekil 2' de görüldüğü gibi stringier kullanılarak sahanın solid modeli elde edilmektedir. Bu modeller rezerv ve dekapaj hesaplarında ve üretim planlamasında kullanılabilir.

3.3 Jeostatistik Model

"Jeostatistik modül", veritabanına yüklenen kimyasal analiz datalarının interpolasyonunda çok sayıda tekniğin kullanılmasına imkan verir, ilk aşamada, temel istatistik konseptleri kullanılarak sahaya ait data setinin yapısı incelenir ve kimyasal dağılımların elde edilmesi için data setinin ileri jeostatistik için uygunluğu test edilir. Temel istatistikle, min.ve max. değerler, histogram, cumulative frequency plot, ham ve transform edilmiş değerlerin dağılımı v.b. durumlar incelenir. Daha sonra ileri istatistik modülü ile variogram hesaplama (variogram calculation), variogram modelleme (variogram modelling) ve variogramın geçerliliği (variogram validation) yapılır. Elde edilen sahaya ait variogram modeliert, yatay veya düşey düzlemlerde oluşturulan blokların değerlerinin atanmasında kullanılabilir gibi dağılım haritalarının elde edilmesinde de kullanılır Variogram modelleme (normal variogram, logarithmic variogram v.d.) grafik ortamda nugget, sill ve range değerlerinin belirlenmesini içerir Şekil 3' de bir çimento hammadde sahasının bir üretim basamağındaki MgO dağılımları değişik renklerle gösterilmiştir. Şekil 4 de bir üretim basamağına ait bloklardaki kimyasal analiz değerleri istenilen aralıklarda sınıflandırılarak bloklar renklendirilmiş ve aynı zamanda her blok'a tenor değerleri sayısal olarak atanmıştır.



Şekil 3 Çimento Hammadde Sahasının Bir Üretim Basamağındaki MgO Dağılımları

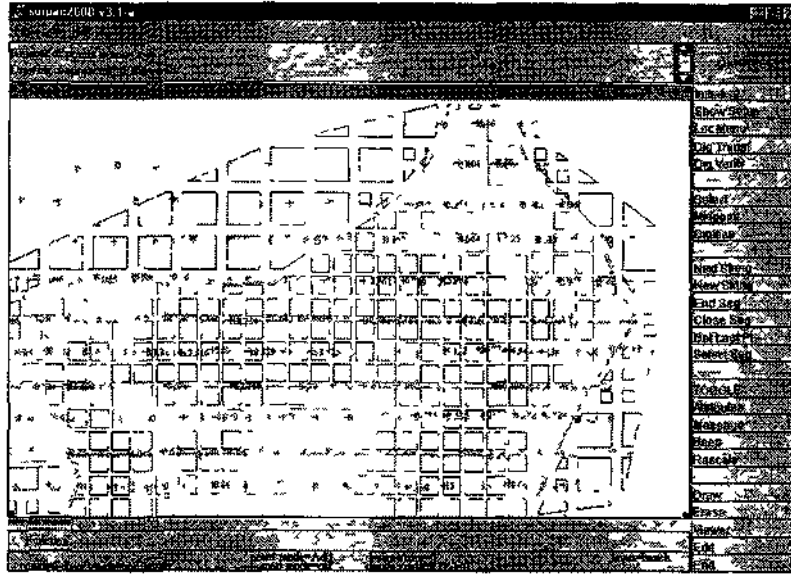
3.4 Çimento Hammadde Ocağının Tasarımı, Üretim Planlaması ve Optimizasyonu

Oluşturulan blok, solid veya jeostatistik modeller, Surpac2000 yazılımının "pit design" ve "scheduler" modülleri kullanılarak hammadde üretiminin planlanması ve optimizasyonu mümkündür. Pit design modülü bilgisayarda, interaktif olarak grafik ortamda hammadde ocağının değişik şekilleri,

basamak genişlikleri, ulaşım yollarının farklı eğim, genişlik ve yönlerini göz önüne alarak hammadde ocağının planlamasını yapar. Oluşturulacak üretim basamaklarına ait kimyasal dağılımlar sayısal veya tanımlayıcı formatta daha önce oluşturulan modellerden transfer edilir ve basamak rezerv ve kaliteleri grafik ve sayısal olarak hemen rapor edilebilmektedir. Ocak planlanmasında kullanılan iki ve üç boyutlu modeller ile topografik model birlikte kullanılarak amaçlanan üretimlerin gerçekleşmesi için yapılması gereken dekapaj miktarları üretim periyoduna bağlı olarak kısa ve uzun vadeli olarak planlanmaktadır.

Bu yazılımlar kullanılarak, değişik varyasyonların çok kısa sürede test edilmesi teknik ve ekonomik açıdan değişen şartlar ve istekler doğrultusunda optimum çözümün bulunması mümkün olmaktadır.

Sahaya ait modeller kullanılarak bilgisayarda digitizer ile seçilen bölgenin kimyasal dağılımı ve malzeme miktarı anında hesaplanıp üretimin amaca uygun olarak kontrollü bir şekilde yapılması sağlanmaktadır. Bu şekilde çimento hammadde sahalarının bir bütün olarak değerlendirilip amaca uygun optimum üretimlerin yapılması sağlanabilmektedir.



Şekil 4 Blok Modelin Hammadde Üretim Optimizasyonunda Kullanılması

4. ON-LINE ANALİZÖRLERİN ÇİMENTO HAMMADDE ON HOMOJENASYONUNDA KULLANILMASI

1 Çimento Endüstrisinde Kullanılan On-Line Analizörlerin Gelişimi

Çimento endüstrisine 1983 yılında sunulan ilk on-line analizör Gama-Metrics tarafından yapılan gamma-notron aktivasyonu ile derhal analitik sonucu veren (Prompt Gamma Neutron Activation Analysis) teknolojidir. Aslında bu cihaz o zamanlar komur analizi için yapılmış ve prototip durumunda bir cıto izdir Amerika'da Portland Cement Association ile Gilford-Hill fabrikasının ortak girişimi ile değişik çimento hammaddelerinin örneklen bu komur analizöründen tekrar tekrar sirküle edilerek elde edilen sonuçlar aynı yığınlardan alınan örneklerin XRF cihazı analizinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış ve sonuçların mükemmel bir şekilde birbirine uymaları neticesinde de testlerde kullanılan bu analizörün çimento fabrikalarında kullanılacak 3612L diye isimlendirilen ilk tipi üretilmiştir ilk yapılan on-line analizörlerin içinden geçen dikey bir şut mevcut olup, material yerçekiminin etkisi ile bu şütten geçerken analiz edilmektedir 900x300 mm kesitinde olan bu şütten, mazemenin nemliliğine, yapışkanlığına ve diğer faktörlere bağlı olarak saatte en fazla 800 - 1000 ton mazeme geçebilmektedir. Bu analizörün denemelerin yapıldığı prototipten tek farkı ise, not onların on ısıtmasını sağlamak amacı ile nötron kaynaklarının etrafındaki kısmın değişik olmasıdır. Bunun nedeni, çimento hammaddesinin kömürdeki kadar bol miktarda hidrojen içermemesidir. Komur analizörleri nötronların ısıtılabilmesi için hidrojenden faydalanmaktadır.

1985 ten 1989 a kadar bu teknolojinin olgunlaşması için çalışmalar, analizörün tasarımında kullanılan desekleyici ekipmanların geliştirilmesi ve ağırlıklı olarak analiz edilecek malzemenin analizörden akışı ve enstrümanın analitik doğruluğu yönünde olmuştur. Tasarımların ilkinde, malzemenin yapışkanlığının analizör besleme bunkerinde ve şütte yapacağı tıkanmaların ortadan kaldırılması için, hammadde değirmen çıkışına konulacak şekilde sıcak fanın için özel olarak imal edildi. Bir başka ifadeyle, analizörün değirmenin çıkışındaki fanını analiz edebilecek duruma getirilmesi gerçekleştirildi. Bir diğer üretim modelinde ise, analiz edilecek malzeme 1000 ton/saat'i seçtiği taktirde karşılaşılan darboğazı aşmak

amacıyla bu malın %10-20'sini bir numune alıcısı ile ayırarak bu numuneyi analiz etmek maksadıyla geliştirilen cihaz modeli oldu.

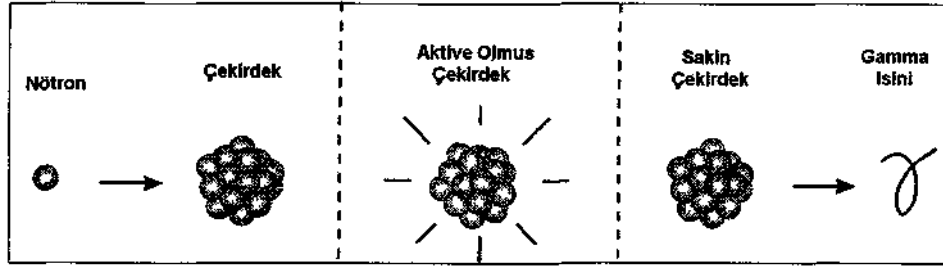
Gamma-Metrics, 1993 yılında tamamıyla yeni bir tasarım olan CrosBelt on-line analizörü (CBA) çimento endüstrisine sundu. Şekil 6' da görüldüğü gibi bu yeni makınada, taşıma bandı üzerindeki malzeme tam hızla analizörün içinden geçerken bu malzemeyi analiz etmektedir. Bu analiz cihazı taşıma bandını kuşatan ve bir tuncu olan bir alettir. Mal analiz edilirken analizöre değmediği için, malın nemi, yapışkanlığı veya başka problemleri olan bir malzeme yapısında olsada, analizör bunların hiçbirinden etkilenmemektedir. Malzeme akış miktarı ise, band genişliği ve bandın üzerine yüklenmiş malın yüksekliği ile sınırlıdır. Taşıma band hızı analiz prosesini etkilemediği için, band hızının yükseltilmesi suretiyle daha fazla malın analizi de mümkün olmaktadır (Woodward and Ackerman, 1996).

4.2 Çimento Endüstrisinde Kullanılan On-Line Analizörlerin Çalışma Prensipleri

Çimento endüstrisinde kullanılan CrossBelt on-line analizörü (CBA), gamma-notron aktivasyonu ile derhal analitik sonucu veren (Prompt Gamma Neutron Activation Analysis - PGNA) bir teknoloji ile çalışmaktadır. PGNA prosesinin prensibi Şekil 5' de görüldüğü gibi, bir nötron ile herhangi bir elementin atomu arasındaki yarı otomatik reaksiyona dayanır. Termal veya yavaş hareket eden nötron bir çekirdeğe yaklaşırsa bu çekirdek tarafından absorbe edilir. Bu absorpsiyon süreci, çekirdeği uyarır ve çekirdek bu durumdan kurtulmak için aynı anda bir gamma ışını şeklinde enerji yayar. Her element nötron aktivasyonu sürecine iki açıdan farklı olarak cevap verir. Bazı elementler aktive olmaya diğerlerine nazaran daha yatkındırlar. Örneğin demir, kükürt ve klor çok aktif, karbon ve oksijen inaktifdir. Elementlerin birbirinden ayrılmasını sağlayan ikinci özellik ise her elementin yaydığı gamma ışınları demetinin enerjisinin bir başka elementkinden farklı olmasıdır (Woodward, 1989).

Elementlerin yaydığı gamma ışınlarının enerjisi sodyum iyodür kristalleri içeren bir detektör yardımı ile elektrik enerjisi haline dönüştürülerek bir enerji «pektrumu elde edilir. Bu spektrum sofistike bir mikro işlemci yardımı ile değerlendirilerek analiz

edilen maldaki elementlerin yüzde miktarları hesaplanır. Oksitler, elementlerin yüzde oranı



Şekil 5. On-line Analizörlerde Gamma Nötron Aktivasyonu

kullanılarak bir bilgisayar programı tarafından hesaplanır. Çimento kalite parametreleri de oksit esasına dayalı olarak bilgisayar programı tarafından hesaplanır.

Analizör aşağıdaki parametreleri bulmaktadır,

1. Elementlerin oksitlen:

- SiO_2
- Al_2O_3
- Fe_2O_3
- CaO
- MgO
- TiO_2
- K_2O
- Na_2O
- Mn_2O_3
- SO_3
- Cl
- Nem

2. Bilgisayar Programı ile hesaplanan kalite kontrol parametreleri:

- Kireç doygunluk derecesi (LSF)
- Silikat modülü (SM)
- Alüminyum/Demir oranı (İM)
- Tri-kalsiyum silikat (C3S)
- Di-kalsiyum silikat (C2S)
- Tri-kalsiyum alüminat (C3A)
- Di-kalsiyumjerrit (C2F)
- Tetra-kalsiyum alumina rerrit (C4AF)
- Pişme indeksi
- Pişme Faktörü
- Serbest kireç miktarı

4.3 Çimento Endüstrisinde Uygulamalar ve Sağladığı Faydalar

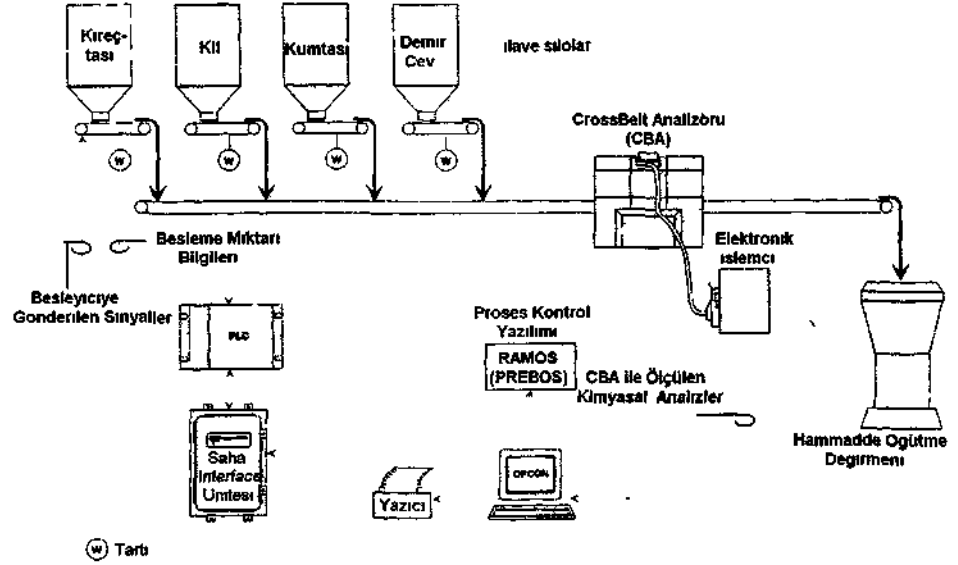
Hammaddenin işletmedeki akışı esnasında yapılan on-line analizlerden elde edilen sonuçlar konvansiyonel sistemle yapılan yapılan analizlerden elde edilen sonuçlara nazaran daha doğrudur. Çimento endüstrisinde on-line analizörlerin esas itibariyle iki uygulama şekli mevcuttur (Galdeano, 1994; Woodward and Ackermann, 1996).

Ön Homojenasyon Stoku Hazırlama:

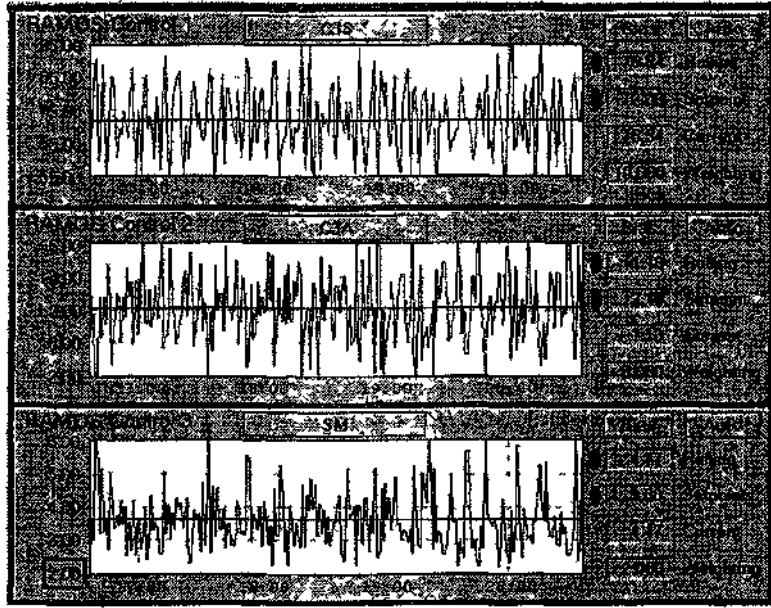
Ham karışımın kamyon hesabı bir ölçümleme ile yapılmasında On Homojenasyon Optimizasyon Sistemi (Pre-Blending Optimization System) diye isimlendirilen bir yazılım (PREBOS) kullanılır. Hammadde oranlamasının kamyon hesabı ile yapıldığı uygulamalarda PREBOS manuel olarak kullanılır. Ocak şefi hammadde oran değerlerini operatör konsolundan izler ve hammadde ocağına hangi malın hangi oranda sevk edileceği talimatını verir. Otomatik PREBOS ise bunkerlenn altındaki dozaj kantarlarına kumanda ederek hamkanşımın oranlamasını sağlar ve elde edilen değerleri işletme içi haberleşme (PLC şebekesi veya discrete analog signal) sistemi ile işletme merkezi kontrol sistemine bildirir.

PREBOS yazılımına;

- CBA tarafından yapılan stok analizleri
- Çıkacak ana ürünün kimyasal yapısı
- Kontrol parametrelerinin (LSF, SM, IM, C3S, C3A v d.) hedef değerleri veri olarak girilir. Bu verilere bağlı olarak;



Şekil 6 On-line Analizörle Çimento Hammadde Harmanlama Prosesinin Akım Şeması



Şekil 7 On-line Analizörle Fabrikaya C3S=%72, C3A=2 10 ve SM=3 60 Kontrol Parametrelerine Uygun Hammadde Beslenmesi

- Altı avrı cms hammaddenin oranlanması,
- Bir stok yığınının istenilen kimyaya getirilebilmesi için gereken mal miktarını ve bu malın kompozisyonu,
- Her bir hammadde yığınının kompozisyonunun gözden geçirilmesi ve değerlendirilmesi yapılır

ister otomatik olsun ister manuel, PREBOS yazılımı stoka girmiş malda yapılan bütün analizlerin ortalaması PREBOS'tan çıkacak olan sonuçtur. Bu sonuç hedef olarak belirlenen kompozisyona küçük varvasonlarla yaklaşmış bir malın kalitesini gösterir

Farm Değirmenlerine Girecek Olan Ham Karışımın Kontrolü

Ham karışımın oranlanmasını sağlamak amacıyla Ham karışımın optimizasyonunu (Raw Mı\ Optimization System) sağlamak amacıyla diğer bir yazılım (RAMOS) geliştirilmiştir. Farn değirmenlerinden önceki noktaya yerleştirilen CBA'ya kumanda eden bu sistem dozaj kantarlarına sinyaller göndererek ham karışımın kimyasına zamanında müdahale ederek istenilen yapıya getirmektedir. Bu yazılımda tıpkı PREBOS gibi, kalker kıl, demir cevheri v d altı başlangıç maddesini kontrol eder ve bunu yaparken LSF, SM, IM, C3S, C3A gibi kontrol hedeflerim gözetir. CBA eğer hammadde değirmeni ile bunkerlerin altındaki dozaj kantarları arasına konulmuşsa RAMOS kullanılması gereken yazılımdır.

RAMOS un çalışması aşağıdaki prensipte olmaktadır,

- 1- CBA ile yapılan her bir dakikalık analiz süreci içinde elde edilen sonuçlara dayanarak silo altı dozaj kantarları ve band kantarlarından geçecek malın oranlarını hesaplar,
- 2- Buraları kumanda ederek malın optimum oranda analizorden geçmesini sağlar

RAMOS, Programlanabilir Mantıki Kontrol (PLC) sistemi ile veya analog sinyaller tertibatı ile beraber çalışarak dozaj aletlerine kumanda eder. Şayet PLC besleyicilerine kumanda edebiliyorsa PLC interface diye isimlendirilir.

Şayet sozkonusu fabrikada PLC yoksa bu taktirde Saha Interface Ünitesi (Field Interface Unit) denilen bir sistemle hammadde besleyicileri kumanda edilir.

Tartı kantarları ile irtibat, verilen bu cihazdan çıkarak 4-20 mA veya 0-10 VDC sinyalleri ile sağlanır. Hammadde karışımının kalitesi ve hammadde akışının değerleri ile ilgili önemli bilgiler Şekil 7'de görüldüğü gibi bilgisayar ekranından izlenebilmektedir.

5. SONUÇLAR

Çimento piyasasında giderek artan ürün çeşitliliği, artan kalite standartları, enerji fiyatları ve çevre kısıtlamalarındaki artışlar, çimento üretim prosesinin bütün kademeleri yanında nihai ürün kalitesi ve proses ekonomisini önemli derecede etkileyen çimento hammaddelerin üretim optimizasyonunu daha da önemli hale getirmiştir. Bu perspektifte, hammadde sahalarının değerlendirilmesinde ve optimum üretimlerin sağlanmasında madencilik paket programları kullanılabilir. Paket programların değişik modülleri kullanılarak kimyasal dağılım haritalarının oluşturulması, üretim planlaması ve optimizasyonu mümkün hale gelmiştir.

Aynı zamanda, on-line analizörler kullanılarak hammadde karışımlarının optimum oranlarda doğru ve hassas olarak ayarlanarak fabrikaya beslenmesi sağlanabilmektedir.

Bu yem teknolojiler kullanılarak çimento hammadde üretiminin optimal şartlarda yapılması beraberinde aşağıdaki faydaları getirmektedir,

- Farn homojenasyon silosu boyutları küçülür,
- Farn homojenasyon silolarındaki homojenasyon ihtiyacı ortadan kalkar, çünkü CBA hammadde akışını ayarlamaktadır,
- Fırına giden farn'deki kimyasal oynamalar azaldığından yakıt tasarrufu sağlanır,
- Klinker öğütmedeki elektrik sarfiyatı azalır,
- Doner Fırındaki refrakter omru uzar,
- Siklon tıkanmaları azalır

Bunlara ilave olarak, nihai ürün kalitesi önemli ölçüde artırılmaktadır.

6. KAYNAKLAR

Bye, G , C , 1983 *Portland Cement - Composition, Production and Properties*, Pergamon Press
Ergin, H , 1998 *Hammadde Kimyasal*

- Kompozisyonunun Çimento Üretimine ve Özelliklerine Etkileri*, Çimento ve Beton Dünyası, TÇMB., Vol:1, No:15, s:11-16.
- Ergin, H., Akbulut, C., 1997. *Entegre Hammadde Sahasının Malzeme Oluşanı Yapısı ve Rezervinin Belirlenmesi, Optimum Üretim Stratejilerinin Oluşturulması*, Teknik rapor, İTÜ, 87 sayfa.
- Galdeano, V., 1994. *Start-up and Operation of cementos Apasco 's Ramos Arizpe Plant*, World Cement, April: 25.
- Griffin, P., 1997. *Practical Computer Modelling and Planning of Mineral Reserves*, Mine Planning and - Equipment Selection, pp:675-679.
- Maas, U., Kupper, D., 1993. *Assessing the Burnability of Cement Raw Meal and Its Behaviour in the Rotary Kiln*, Zement-Kalk-Gips, vol: 12, pp:715-720.
- Schafer, H.U., 1989. *Çimento Endüstrisinde Hammaddelerin Seçimi*, TÇMB Bülteni, Sayı 263, s:14-33
- SURPAC2000 *User References*, (1998).
- Woodward, R., 1989. *On-line Elemental Analysis*, World Cement, August: 272.
- Woodward, C., R., Ackermann, R., 1996. *On-line Analysers Transform Cement Industry Pre-Blending Strategy*, Cemtech Proceedings, Istanbul, pp:205-219.