



Yerbilimleri, 2021, 42 (2), 261-286, 10.17824/yerbilimleri.899857

Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni

Bulletin of the Earth Sciences Application and Research Centre of Hacettepe University

Hammadde Proses Optimizasyonu ve Çimento Üretimine Etkisi

Raw Material Process Optimization and Its Effect on Cement Production

ABDUL VAHAP KORKMAZ¹


¹ Afyon Kocatepe Üniversitesi, İncehisar MYO, İnşaat Bölümü, 03100, Afyonkarahisar

Geliş (received): 19 Mart (March) 2021 Kabul (accepted): 10 Ağustos (August) 2021

ÖZ

Çimento endüstrisinde hammadde kimyasal bileşiminin büyük ölçüde değiştiği durumlarda, ön homojenleştirme işlemlerine gerek duyulmaktadır. Ham maddelerin hem ön homojenizasyonu hem de yüksek kapasitelerde stoklanması için ideal olan yöntem istifleyici ve geri kazanım sistemlerinin etkili bir şekilde kullanılmasıdır. En yaygın kullanılan istifleme yöntemleri Chevron, Windrow ve Cone Shell'dir. Fakat çimento sektöründe yaygın olarak Chevron sistemine ait dairesel ve boyuna yığın hazırlama yöntemleri tercih edilmektedir. Her iki yöntemin de ham madde karışımlarının doğru bir şekilde hazırlanmasında ve kullanılmasında kendine göre avantaj ve dezavantajları vardır. Bu çalışma da iki farklı çimento fabrikasına ait iki farklı hammadde harmanlama yöntemi ile oluşturulan ham karışım yığınlarının çimento üretimine etkileri incelenmiştir. Bunun için farin üretimi performans kriterleri ve hedefleri belirlenerek optimizasyon öncesi ve sonrasında elde edilen kalite parametrelerinin karşılaştırılmasıyla performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Performans değerlendirmelerinde klinker üretiminin en kritik unsurlarından olan kireç doyumluk faktörü (LSF), silikat modülü, alümina modülü ve alit (C₃S) parametresi dikkate alınmıştır. Performans kriteri olarak farin üretimindeki standart sapmaların %6'nın altına düşürülmesi amaçlanmıştır. Bunun için ilk olarak ocak üretim

<https://doi.org/10.17824/yerbilimleri.899857>

 A. V. KORKMAZ, avkorkmaz@aku.edu.tr

Afyon Kocatepe Üniv., İncehisar MYO, İnşaat Bölümü, 03100, Afyonkarahisar, ORCID: 0000-0001-8691-1937.

aynaları, patlatmalar ve delik paternleri, hammadde hazırlama prosesi, kırıcı, istifleyici ve kazıyıcı ekipman operasyonları gözden geçirilerek Netcad Netpromine programından yararlanılmıştır. Farin standart sapmaları her iki harmanlama yönteminde de %6' nın altına düşürülmüş ve daha istikrarlı homojen bir üretim gerçekleştirilmesi sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ham madde, Homojenizasyon, Optimizasyon, Chevron, Çimento.

ABSTRACT

In cases where the chemical composition of the raw material changes significantly in the cement industry, pre-homogenization processes are required. The ideal method for both pre-homogenization of raw materials and stocking at high capacities is the effective use of stacker and recovery systems. The most common stacking methods are Chevron, Windrow and Cone Shell. However, circular and longitudinal batch preparation methods of the Chevron system are widely preferred in the cement industry. Both methods have advantages and disadvantages in the correct preparation and use of raw material mixtures. In this study, the effects of raw mixture batches formed by two different raw material blending methods belonging to two different cement factories on cement production quality were examined. For this purpose, raw meal production performance criteria and targets were determined and performance evaluation was made by comparing the quality parameters obtained before and after optimization. Lime saturation factor (LSF), Silicate module and alumina module and alite (C_3S) parameters module, which are among the most critical elements of clinker production, were taken into consideration in performance evaluations. As a performance criterion, it is aimed to reduce the standard deviation in raw meal production below 6%. For this purpose, firstly, Netcad Netpromine program was used by reviewing the quarry bench blasting and hole patterns, raw material preparation process, crusher, stacker and reclaimer equipment operations. The raw meal standard deviations were reduced below 6% in both blending methods, resulting in a more stable and homogeneous production.

Keywords: Raw material, Homogenization, Optimization, Chevron, Cement.

GİRİŞ

Çimento fabrikaları, fırın beslemesindeki varyasyon aralığını en aza indirmek ve stabil kalitede bir ürün elde etmek için önemli miktarda para, emek ve zaman harcamaktadır. Örneğin;

- Jeolojik araştırmalar ve taş ocakları hammadde modelleme çalışmaları
- Farklı hammadde türleri için homojen hale getirilmiş yığın harmanlarının kullanılması
- Farin değirmenlerden sonra ham karışım için harmanlama silolarının kullanılması
- Ham karışım bileşimindeki değişimi izlemek ve kontrol etmek için çevrimiçi analizör
- Ham karışımın kimyasal analizini düzeltmek için ilave katkı maddelerinin kullanılması
- Klinker kalite kontrolü ve kalite varyasyonunun en aza indirilmesi, bu çabalar için önemli bir gerektir.

Düzenli kalitede klinker elde etmek için farin kimyasal bileşiminin istikrarlı ve homojen olmasının sağlanması gerekmektedir. Kaliteli klinker eldesi ilk olarak homojenizasyon silosundan farin çıkarılmasıyla başlamaktadır (Bavdaž ve Kocijan, 2007). Taş ocaklarından gelen ham maddelerin boyutunun 1 metrelik çaplardan 1 inçten daha küçük partiküllere kırılarak küçültülmesi homjenizasyonu kolaylaştıran ve akla ilk gelen yöntemlerden biridir (Li vd., 2012). Ham maddeler çimento üretiminin sürdürülebilirliği için olabildiğince homojen hale getirilerek bir sonraki üretimde kullanılmaya hazır olacak şekilde 15.000 ton kadar büyük yığınlar halinde uzun ve dairesel ön homojenizasyon alanlarında stoklanmaktadır (Kizilaslan vd., 2003).

Ham madde karışımının kimyasal bileşimi, farin (öğütülmüş ham madde karışımı) değirmene girmeden önce (öğütme işlemi öncesi) malzemelerin karışım oranlarının sürekli olarak ayarlanmasına izin vermektedir (Bányász vd., 2003). Çimento üretim kalitesi için öncelikli yaklaşım; belirli bir tip çimento üretimi için gerekli olan kimyasal bileşimin taş ocağı ile kırma ve öğütme tesisine beslenen ham maddenin kontrolüdür. Her ham maddenin çeşitli kimyasal ve mineralojik bileşimleri vardır. Ürün kalitesi ve işlem süreleri son derece değişkendir ve sahip olduğu bileşimlere bağlıdır. Ham madde kalite kontrolünün temel amacı sinterleme reaksiyonlarını hızlandırmak ve farinin pişirilmesi için gereken enerjiyi azaltmaktır. Oluşturulan karışım yığınlarının malzeme kalite kontrol süreci, düzeltici kireçtaşı (saf kireç taşı) veya kum taşı gibi düzeltici malzemeler eklenerek gerçekleştirilebilmektedir (Korkmaz, 2017).

Ham maddeler tipik olarak üç ila yedi günlük üretimi temsil eden yığınlarda depolanmakta ve farin, üç ila dört günlük üretimi kesintisiz olarak gerçekleştirebilecek silolarda stoklanmaktadır. Ön harmanlama için çeşitli hammadde depolama düzenleri vardır. Örneğin kireç taşı istiflemenin birkaç yolu vardır. En yaygın olanı, malzemelerin hammadde yığınının uzunlamasına yönünde birçok katman halinde istiflendiği şerit veya yığın yöntemleridir. Malzeme, yığının tüm enine kesitinden geri kazanılır ve enine kesitteki geri kazanılış katmanlarının sayısı, harmanlama verimliliği için önemli parametredir.

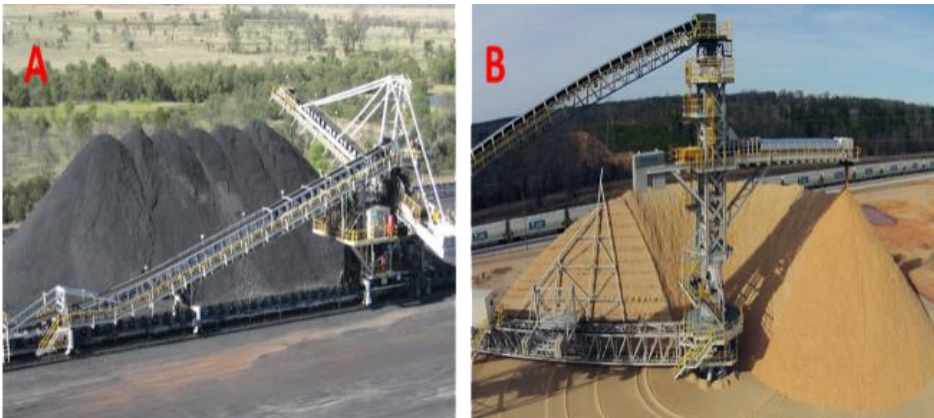
Ön homojenleştirme sistemlerinin iki ana işlemi vardır:

- 1) depolama veya istifleme
- 2) malzemelerin geri kazanılması.

Bu nedenle, ön homojenizasyon tesisleri genellikle "istifleyici-yeniden toplama sistemleri" olarak da bilinir, homojenleştirme yeteneklerine bağlı olarak, bu sistemler için iki geniş kategori düşünülebilir (Global Kawasaki, 2021).

İstifleyici ve Geri Kazandırma Makineleri

Stacker (istifleyici) kırıcıdan kırılan malzemeleri bantlı konveyör marifetiyle almaktadır. Stacker önerilen stok yığınları boyunca hareket eden hareketli bir arabadan oluşmaktadır. İstifleme bandı bu hareketli arabanın üzerinden geçmekte ve malzemeyi düşürmektedir. Yaklaşık 120 derece kendi ekseninde dönebilmektedir. Dairesel yığını malzeme beslemek için istifleyici kapasitesi 600 ton/ saattir. Ayrıca, istifleyici, dökme malzeme işlemede kullanılan büyük bir makinedir. İşlevi, kireçtaşı, alçıtaşı, kum taşı, pomza, boksit, demir cevheri ve kömür gibi dökme malzemeleri önerilen stok sahasına yığmaktır. Dairesel ve uzunlamasına olmak üzere iki tip istifleyici vardır (Şekil 1) (Bedeschi, 2021).



Şekil 1. Chevron sistemi boyuna (A) ve dairesel (B) yığın hazırlama.

Figure 1. Chevron system longitudinal (A) and circular (B) stack preparation.

Reclaimer, kazıyıcının tüm kesitinden küçük kalınlıklarda katmanlar halinde malzemeyi yerinden çıkaran bir çapa veya tırmıktan oluşmaktadır. Yerinden çıkan malzeme değirmenlerin bunkerlerine götürmek için bir bant konveyöre düşmektedir (Şekil 2). Bant konveyörün besleme kapasitesi ortalama 1,250 ton / saattir.



Şekil 2. Stacker (Yığıcı) ve Reclaimer (Kazıyıcı) Makineleri (Bedeschi, 2021).
Figure 2. Stacker and Reclaimer Machines (Bedeschi, 2021).

Çimento fabrikalarında üretim proseslerinde istifleyici ve reclaimer ile bir kireçtaşı yığını, yüksek LSF (kireç doygunluk faktörü) ile düşük dereceli ham maddeler karıştırarak homojenleştirme işlemleri kolaylıkla ve düzgün bir şekilde gerçekleştirilmesine yardımcı olmaktadır. Reclaimer sadece kaliteli ham madde girdisi elde etmekle kalmaz, aynı zamanda düşük kaliteli ham madde kullanarak doğal kaynakların korunmasını da sağlayabilir. Kırılan kalker istifleyiciye gönderilmekte ve bu sayede ön harmanlamayı artıracak reclaimer, orantı ünitesine taşınan konveyöre malzemeleri hazırlamaktadır (Kural ve Özsoy, 2004).

Ön homojene yığınlarından geri kazanma işlemi, reclaimerin bulunduğu yığının karşı ucunda gerçekleşir. Reclaimer, kazıyıcıların yarıçap çizgisine paralel enine kesiti boyunca ileri geri hareket yaparak çalışır. Reclaimer üzerine monte edilmiş tırmığının süpürme hareketleri, kalker parçalarının yığının tabanına kaymasına neden olur. Oradan toplama zincir sistemi daha sonra malzemeyi istifleyici geri kazanıcının merkezi sütununun altındaki bir huniye sürükler. Homojenleştirilmiş kireçtaşı, bir yeraltı konveyöründe merkezi

hazneden ayrılır ve farin değirmeni bunkerlerine premix malzemesi olarak sevk edilir (Thyssenkrupp, 2021.)

MALZEME VE YÖNTEM

Endüstriyel test çalışmaları iki farklı çimento fabrikasına ait ham maddeler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan ham maddeler A fabrikası için kalker, kil, demir cevheri, boksit ve silis kumudur. B fabrikası ise ham madde olarak kalker, kil taşı, demir cevheri ve boksit cevherini kullanmaktadır. Her iki fabrikada da kalker ve kil ham maddelerini kendilerine ait ocaklardan temin ederken, demir cevheri, boksit cevheri ve silis kumu gibi düzenleyici hammaddeleri tedarikçi tarafından satın alma yoluyla temin edilmektedir.

Her iki tesiste ocak üretim aynalarından alınan örnekler de dahil olmak üzere kullanılan ham maddeler kimyasal bileşenlerinin belirlenmesi ham madde karışım oranlarının hesaplanabilmesi ve farin kalite parametrelerinin tespiti için Panalytical marka Axios model X-Ray spektrometresi marka XRF cihazı ile kimyasal analizleri test edilmiştir.

Ham karışımdaki bileşimin hesaplanmasındaki amaç, klinkerin istenen kimyasal ve mineralojik bileşimini verebilmek için ham bileşenin kantitatif oranlarını belirlemektir. Hesaplamaların temeli, ham maddelerin kimyasal bileşimine dayanmaktadır. İstenilen klinkerin kireç doygunluk faktörü [LSF), İstenilen klinkerin silis modülü (SM), Alümina fodülü (AM) vb. gibi parametreleri kullanarak farklı ham maddelerin ham karışımdaki oranını hesaplamak mümkündür. Ham karışım tasarımı, üretilen çimento türlerinin ham karışım oranlarının standart özelliklerini içermektedir (Bond, 2000).

Çimento üretiminin optimizasyonu için; ham madde 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 (TS EN 196-2, 2013). Bu teknikte sonuçların değerlendirilmesi aşamalarında prosese yön verilmesi mümkün olmaktadır (Bye, 1983). Ham maddelerin kimyasal analiz sonuçlarından yola çıkılarak çimento ham madde

uygunluk kriterleri hesaplanmış ve buna göre her bir yığın için homojen karışım oluşturabilmek amacıyla farklı karışım reçeteleri hazırlanarak ham karışım ve farin üretimi gerçekleştirilmiştir. Farin kalite parametrelerinin standart sapma değeri excel programı modülünden otomatik olarak hesaplanmıştır.

Çimento Ham Maddesi Hazırlama Parametreleri

Çimento üretiminde ham madde kompozisyonu ve homojenliği üretim prosesinin ekonomisini ve çimentonun kullanım aşamasında kalitesini etkileyen en önemli faktördür. Bu nedenle, çimento ham maddelerinin istenilen kimyasal kompozisyonda ve homojen olarak üretilmesi, üretim aşamalarında üretilen çimento türüne bağlı olarak, bu özelliklerin üretim aşamalarında da korunması sağlanmalıdır. Çimento üretiminde kullanılan ham maddelerin kompozisyonu ve homojenliği, gerek üretim prosesi sırasında (kolay öğütülebilme, kolay pişme vb.), gerekse kullanım aşamasında istenen (dayanım, donma süresi, sertleşme süresi vb.) özelliklere etkileriyle çimento kalitesini doğrudan etkileyen faktörlerin başında gelir (Ergin vd., 1998).

Çimento kalitesi açısından, uzun araştırmalar sonucu elde edilmiş olan ve geniş bir kabul gören kalite modüllerinin yanı sıra, çok çeşitli amaçlara yönelik üretilen farklı tip çimentoların istenen mineral faz oranlarının elde edilmesi için de ham madde kompozisyonunun ve homojenliğinin önemi büyüktü (Adıgüzel, 2020). Farindeki problemler, değişik türde çimento üretimi yapılması, kullanılan yakıtın başka daha ekonomik bir yakıtla değiştirilmesi, modernizasyon ile daha optimum işletme şartlarına geçilmesi durumlarında da ham madde üretim prosedüründe değişiklik yapılması söz konusudur (Maas ve Kupper, 1993).

Silikat modülü (SM)

Klinker ürün kalitesini belirleyen en kritik modüllerden biridir. Bu modül, çimentodaki SiO₂ miktarının, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ toplamına bölünmesiyle bulunur.

$$\text{Silikat Modülü (SİM)} = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3} \quad (2.1).$$

Silikat modülü düşük farinler düşük sıcaklıklarda kolay pişmekte, çabuk kabuk

oluşturmakta ve ilk dayanım değerleri yüksek hızlıca sertleşen çimento üretimine olanak tanımaktadır. Silikat modülü düşük çimentoların basınç dayanım değerlerinde zamanla büyük bir artış olmamaktadır. Bunun yanı sıra çimento ham madde karışımlarının silikat modülünün çok düşük olması durumlarında üretimi bloke edecek derecede kabuk oluşumunun artması nedeniyle fırının ani duruşuna sebep olmaktadır (Duda,1985).

Ham maddeler için SİM hedef bir değer belirlemek imkânsızdır, ancak bu modülün mümkün olduğunca 2,-2,5 arasında olması kabul görür. Çimento ham maddelerinin minerolojik bileşimindeki farklılıklar nedeniyle, farin ve diğer kimyasal özellikler kalite modüllerinin fabrikaların kendine has değişiklik göstermesine yol açmaktadır. Sonuç olarak her çimento fabrikası optimum silikat modülünü ham madde karakteristiklerine göre, en uygun klinker pişme şartlarına ve çimento üretim standartlarına göre belirlemelidir (Schafer, 1989).

Alüminyum modülü (AM)

Alüminyum modülü, çimentoda ihtiyaç duyulan alüminyum oksit bileşeninin demir oksit bileşenine bölünmesi sonucu bulunup eşitlik 2.2’te verilmiştir.

$$\text{Alüminyum Modülü (ALM)} = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3} \quad (2.2)$$

Alüminyum modülünün düşük olması, çimento bileşiklerinin, çimento döner fırınlarında daha az yakıt tüketilerek düşük ısılarda meydana gelmesini sağlamaktadır. Demir oksit, fırın içerisindeki malzemenin likit faz oranını arttırdığı için çimento bileşiklerinin meydana gelmesini kolaylaştırmakta, demir oranının yüksek olması pişmeyi kolaylaştırarak daha az yakıt tüketimi sağlayarak işletme maliyetinin düşmesine olanak tanımaktadır. Ayrıca demir oranının yüksek olması dansite miktarı yüksek, yoğun abrasif bir klinker oluşturmakta ve bu nedenle klinkerin değirmenlerde öğütülmesini zorlaştırarak yüksek enerji tüketimine neden olup üretim maliyetini artırmaktadır. Likit faz oluşumunu arttıran düşük alüminyum modüllü ham madde karışımları, döner fırın verimini olumlu yönde etkilemekte ve iyi pişmenin sağlanması sonucu ortamda fazla serbest kireç oluşmayacağından yüksek alit kristallerini (C₃S) meydana getirerek yüksek kaliteli çimentolar üretilmesini sağlamaktadır. Alüminyum modülü çok düşük ve ham madde karışımında yeteri kadar silis bulundurmayan klinkerler fırında pişme esnasında topaklanmalar meydana getirmekte ve

oluşan topaklar fırında üretim kayıpları ve performans düşüşlerine neden olmaktadır (Duda,1985). Alüminyum modülünün 1,4-2,2 civarında olması istenmektedir (Wilcox, 1995).

Kireç doygunluk faktörü (LSF)

Tüm çimento üreticilerin ortak amacı olabildiğince yüksek C₃S içerikli yani yüksek kaliteli klinker elde etmektir, elbette bu, kullanılan toplam malzemenin ham madde karışımına ve üretim şartlarına göre değişen bir durumdur. Çimento üretimi için CaO olmazsa olmaz bir kimyasal oksit olup tenörünün çok özenle hesap edilmesi gerekmektedir.

LSF değerlerinin hesaplama formülleri denklem 2.3 ve 2.4'te verilmiştir.

$$\text{Eğer Alüminyum Modülü} > 0.64 \quad \text{LSF} = \frac{\text{CaO}}{2,8\text{SiO}_2+1,65\text{Al}_2\text{O}_3+0,35\text{Fe}_2\text{O}_3} \quad (2.3).$$

$$\text{Eğer Alüminyum Modülü} < 0.64 \quad \text{LSF} = \frac{\text{CaO}}{2,8\text{SiO}_2+1,1\text{Al}_2\text{O}_3+0,7\text{Fe}_2\text{O}_3} \quad (2.4).$$

Ham madde karışım oranlarının LSF miktarı yüksek olan malzemeler, yüksek sıcaklıklarda pişirilebilmesi için oldukça yüksek yakıt miktarına ihtiyaç duymakta, farin zor sinterleşmekte, pişmemiş kireç oranı yüksek olmakta ve yüksek erken dayanımları yakalamakta fakat serbest kireç miktarının fazla olması betonlarda ani hacim genleşmeleri yaparak beton kütlelerin çatlamasına, dayanımlarının zayıflamasına yol açmaktadır. LSF miktarı düşük olan ham madde kompozisyonlarında ise pişme oldukça basittir, lakin C₃S miktarının düşük, C₂S miktarının çok yüksek olması durumunda çimento dayanımlarında düşük olur. Kaliteli bir Portland çimentosu eldesi için LSF 0,88-0,95 arasında olması istenmektedir (Duda, 1985). Çimento modüllerin birbirleri ile de uyum içerisinde olması yüksek kaliteli bir klinker üretmek için en önemli koşuldur (Duda,1985).

Madencilik Yazılımı ve Paket Programı

Bu çalışmada Netpromine madencilik paket programı kullanılmıştır. Netpromine programı ile çimento ham madde ocaklarında modelleme yapılarak basamak tasarımı ve ham madde ocak optimizasyon süreçlerinde madencilik operasyonları üç boyutlu olarak gerçekleştirilmiştir. Hammadde sahasında CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ gibi ana

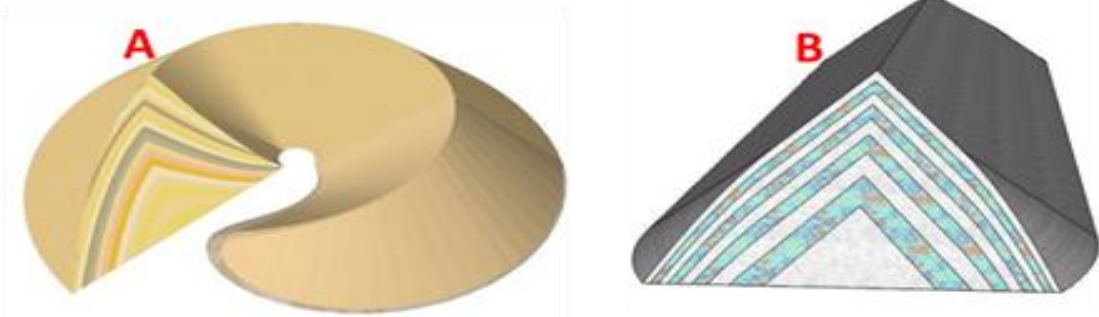
komponentlerin ve MgO, SO₃, K₂O, Na₂O ve diğ er az miktarlarda bulunan fakat çimento üretimi açısından önemli olan küçük komponentlerin, oluşturulan bloklardaki miktarları ve/veya kimyasal dağılım haritaları elde edilmiştir.

Ham Madde Tane boyut Analizi

Kırıcı performansının ölçülmesi ve düzgün tane boyut dağılımının homojen olarak oluşturulması amacıyla kırıcı çıkışı konveyör bant üzerinden (1 m'lik kısım) kalker örnekleri alınarak tane boyut analizi yapılmıştır.

Kırıcı çekiçleri aşındığında kırıcı ızgaralarından geçen iri parçalar stacker konveyör bandına düşmekte otomatik numune alıcıların (Şekil 3) kürekleri büyük parçaları alamadığı için yığına düşen iri parçalar ham madde homojenizasyonunu olumsuz etkilemekte ve yığında segragasyon yapmaktadır.

Endüstriyel test çalışmaları iki farklı homojenizasyon yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3a ve Şekil 3b). Bunlardan birincisi uzun kolon yöntemidir.



Şekil 3a. A Fabrikası: Dairesel Yöntemi; Şekil 3b. B Fabrikası: Uzun kolon yöntemi.

Figure 3a. Factory A: Circular Method; Figure 3b. Plant B: Long column method.

Her iki yığın da homojenliğin tam olarak görülebilmesi için toplam 15.000 ton olarak seçilmiştir.

BULGULAR

Ham Madde Hazırlama Operasyonları

Çimento sektöründe yaygın olarak chevron sistemi ile homojenizasyon çalışmaları yapılmaktadır. Bazı çimento fabrikaları chevron metoduna göre dairesel harmanlama

sistemleri ile homojenizasyon yapmayı tercih ederken, bazı fabrikalar ise boyuna köprü kazıyıcı sistemler ile homojenizasyon yapmayı tercih etmektedirler.

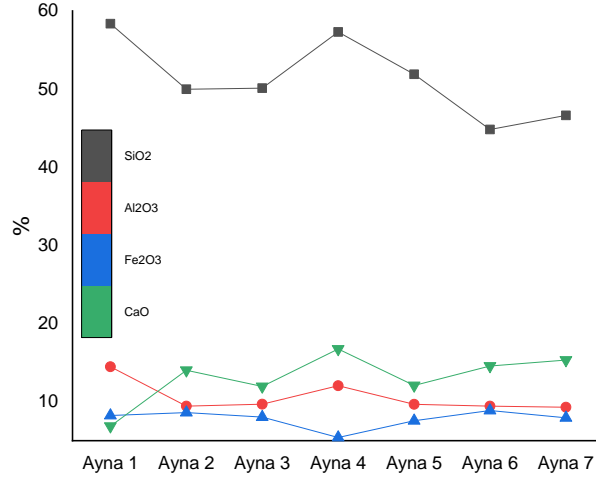
İlk olarak hazırlanmak istenen ham madde karışım reçetesine göre beslemenin nasıl yapılması gerektiğine karar verilmiştir (Çizelge 1). Her iki yöntem içinde iki farklı varyasyon seçilmiştir. Bunlar sırasıyla;

Çizelge 1. Ham madde karışım metodu ve kodları.

Table 1. Raw material mixing method and codes.

Sistem Tipi	Yığın No	Homojene Malzemesi	Bunker1	Bunker2	Bunker3	Bunker4
Dairesel	A1	Saf Kalker	Saf Kalker	Kil + silis kumu	Demir cevheri	Boksit
Dairesel	A2	Katmanlı kil	Katmanlı kil	Kalker	Demir cevheri	Boksit
Uzun kolon yöntemi	B1	Saf kalker	Saf kalker	Kil taşı	Demir cevheri	Boksit
Uzun kolon yöntemi	B2	Katmanlı kil	Katmanlı kil	Saf kalker	Demir cevheri	Boksit

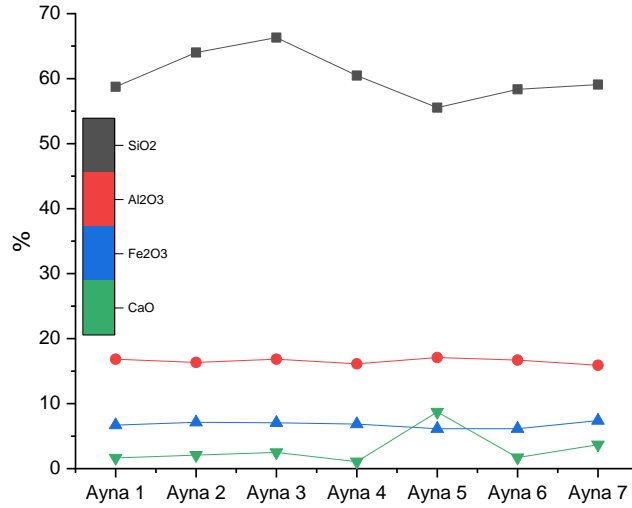
Bazı literatür çalışmalarında ön homojenizasyon işlemlerinin çoğunlukla çimento ham maddesinin ana bileşeni olan kalkere uygulandığı, kilin bileşen olarak genelde homojen olduğu ifade edilmektedir. Bazı çalışmalar da ise birçok çimento fabrikasının killi bileşenleri ocaktan istihraç edildikten sonra yine ocakta kırıcıya beslemeden homojenize edilmesi gerektiği yönündedir (Adıgüzel, 2020; Bedeschi, 2021). Silis kumu ve demir cevheri gibi bu tür ham madde bileşenleri hemen hemen her zaman homojen kabul edilmiş ve ön homojenizasyon gerektirmeyeceği belirtilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan her iki çimento üretim fabrikasına ait kalker ocak aynalarının kil ocağı üretim aynalarına göre daha homojen olduğu ve homojene gerektirmeden farin bunkerlerine beslendiği görülmüştür. Homojenizasyon işlemlerinin ağırlıklı olarak kil hammaddesine uygulandığı görülmüştür. Çalışma kapsamında her iki metotunda farin üretim kalitesine etkilerini ortaya çıkarmak açısından kalker ve kil ön homojene sahasında ayrı ayrı homojene edilerek yığınlar oluşturulmuştur. A ve B fabrikasına ait kil ocakları üretim aynalarının kimyasal bileşenleri ile ilişkisi Şekil 4 ve Şekil 5’de, kalker ocak aynalarının kimyasal bileşenleri ile ilişkisi ise Şekil 6’ da gösterilmiştir.



Şekil 4. A Tesisine ait kil ocağı üretim aynalarının kimyasal içerikleri.

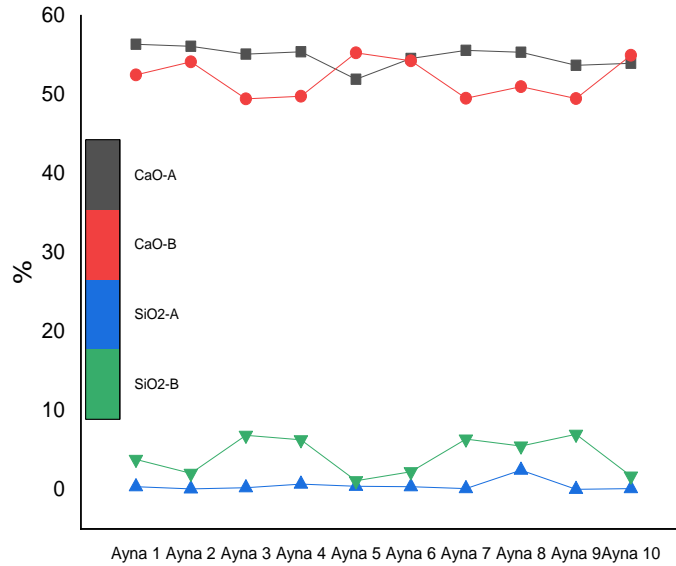
Figure 4. Chemical properties of clay kiln production bench of Plant A.

Şekil 4' ya göre A kil ocağının üretim aynalarının farklı noktalarından alınan örneklerin kimyasal analiz sonuçlarına göre ocak aynalarının silis oranlarında değişkenlik olduğu görülmektedir. Kil ocağının silis içeriği üretim aynaları arasında %45 ile %60 arasında değişmektedir. Burada ilk olarak göze çarpan kil ocağının silis içeriğinin düşük olması nedeniyle ham madde karışımına silis içeriği yüksek bir düzenleyici malzemenin ilave edilmesi gerektiğidir. Buna paralel olarak A fabrikasına ait kil ocağında silisin yanı sıra demir ve alüminyum içeriğinde de dalgalanmalar söz konusu olup kil mineraline kıyasla yüksek miktar da CaO içermekte ve yine CaO içeriği de kararlı olmayıp yoğun dalgalanmalar göstermektedir. Böyle bir kil ham maddesi ile harmanlama yapılmadan önce kil ocağında mevcut homojenleştirme işlemlerine ek olarak loder veya ekskavatör marifetiyle ön bir harmanlamaya tabi tutulması farin kalite parametrelerinin düzenliliğinin sağlanması ve ham karışımın standart sapmasının düşürülmesi açısından olumlu katkılar sağlayacaktır. Fakat ön harmanlama işlemi esnasında ekstra loder ve ekskavatör çalışması hammadde üretim ve harmanlama maliyetinin artmasına neden olacaktır.



Şekil 5. B Tesisine ait Kil ocağı üretim aynalarının kimyasal içerikleri.

Figure 5. Chemical properties of clay kiln production area of Plant B.



Şekil 6. A ve B Tesislerine ait kalker ocağı üretim aynalarının kimyasal özellikleri.

Figure 6. Chemical properties of limestone quarry production bench of A and B.

Şekil 5' e göre B tesisine ait kil ocağı üretim aynalarından alınan örneklerin kimyasal analiz sonuçları değerlendirildiğinde bünyesindeki SiO₂ içeriğinin A kil ocağına göre daha az dalgalandığı fakat silis düzensizliklerinin devam ettiği görülmektedir. B tesisine ait kil ocağı yüksek Al₂O₃ içeriğine sahip olup değerler dengeli ilerlemiştir. Aynı durum demir içeriği içinde söz konusudur. Kil ocağında CaO içeriğinin çoğu ayna da kararlı olmasına karşın bazı aynalarda yüksek CaO içerdiği ve bu aynalarda çalışırken seçimli üretim yapılması gerektiği görülmektedir. Aksi taktirde düzgün harmanlanmış bir yığına kil aynalarından

CaO içeriği yüksek bir malzemenin karışması ham karışım yığınının homojenliğini bozacak ve farin kalite parametrelerinin standart sapmasını arttıracaktır.

A tesisine ait kalker ocağı CaO içeriğinin B tesisine ait kalker ocağı CaO miktarına göre daha yüksek ve daha kararlı olduğu görülmektedir (Şekil 6). Burada en önemli husus kil ham maddesi ocakta kendi içerisinde veya kırıcıdan sonra yığınlar vasıtasıyla homojenleştirilmeye çalışılırken kalker ocaklarından CaO ile birlikte düzensiz silis yada diğer bileşenlerin yığın karışımına yada bunkerlerden değirmen beslemesine katılarak girerek farin karışım değerlerini bozmasıdır. Bu nedenle gerek kalker ocaklarının gerekse kil ocaklarının çok iyi taranıp analiz edilerek ham madde karışımlarının buna göre ayarlanması gerekmektedir. A kalker ocağı bünyesinde bulunan silis daha kararlı bir yapı gösterdiği için ham madde karışımına düzenli olarak düşük oranlarda dahil edilmesinde sakınca görülmemektedir. B tesisine ait kalkerin bünyesinde bulunan silis hem yüksek hem de değişken olduğu için ve harman yada doğrudan farin değirmeni bunkerlerine beslenilecek ürün karışımındaki CaO oranını düşüreceği için ocaktan üretime dahil edilmeden uzaklaştırılması farin kalitesi açısından üretime daha olumlu sonuçlar sağlayacaktır. Şöyleki; hammaddelerin karışım yoluyla homojenleştirilmesi hiçbir zaman mükemmel değildir. Amaç en ideal karışımın oluşturulmasıdır. Farinin hesaplanan silikat modülünden fazla silis içermesi farinin pişirilmesini zorlaştıracak, enerji tüketimini arttıracak ve klinker kalitesini olumsuz etkileyecektir. Stabil kalite de klinker üretebilmek için ham madde karışımının hesaplanan haricinde ekstra bir bileşen ilavesinin yapılması tüm hesaplamaları ve düzeni bozmuş olacaktır.

Endüstriyel test çalışmalarına başlamadan önce A ve B çimento fabrikasına ait mevcut çalışma düzeninde oluşturulan ham karışım yığınlarından örnekler alınarak kimyasal analiz sonuçları ve bu sonuçlar doğrultusunda hazırlanan kalite parametreleri ve farin standart sapma değerleri Çizelge 2' de gösterilmiştir. Çizelge 2' ye göre her iki tesise ait ham karışımların standart sapmalarının yüksek olduğu görülmektedir. Ham karışımların standart sapmalarının yüksek olması ham maddelerin yeterince homojenleştirilemedikleri anlamına gelmektedir. Standart sapmaların düşürülmesi ve belirlenen kalite hedeflerinin ulaşılabirliği için bir dizi optimizasyon çalışmaları yapılmıştır.

A ve B fabrikaları tarafından hazırlanan ham karışım yığınlarının ham madde karışım oranları ve yığınların ortalama kalite parametreleri ve bu parametrelerin standart sapmaları

Çizelge 2. Optimizasyon öncesi farin değirmeni kalite parametrelerinin standart sapması.

Table 2. Standard deviations of raw meal quality parameters before optimization.

A1	SM	AM	LSF	C ₃ S	Premix	Demir	Boksit	Kil
Ortalama	2,28	1,53	98,49	68,88	79,71	1,85	0,00	18,43
Standart Sapma	0,08	0,05	6,24	15,38	0,40	0,13	0,00	1,71
A2	SM	AM	LSF	C ₃ S	Premix	Demir	Boksit	Kil
Ortalama	2,37	1,45	98,20	69,19	77,16	2,18	0,42	20,25
Standart Sapma	0,09	0,10	5,28	12,55	0,20	0,16	0,44	2,48
B1	SM	AM	LSF	C ₃ S	Premix	Demir	Boksit	Kil
Ortalama	2,75	1,81	103,65	65,08	80,00	2,00	2,00	16,00
Standart Sapma	0,49	0,09	16,73	22,84	0,96	0,37	0,01	3,00
B2	SM	AM	LSF	C ₃ S	Premix	Demir	Boksit	Kil
Ortalama	2,51	1,61	102,57	69,19	78,50	2,00	1,50	18,00
Standart Sapma	0,23	0,04	14,15	11,65	0,67	0,26	0,01	2,48

Çizelge 2’de verilmiştir. Çizelge 2’ ye göre A fabrikasında hazırlanan yığınların kalite parametreleri ve düzenlilikleri B tesisinde hazırlanan hammadde karışımlarından daha homojen olduğu görülmektedir. Bu nedenle A fabrikasının kalite parametrelerinin standart sapmalarının B fabrikasının kalite parametrelerinin standart sapmalarından daha düşük sonuçlanmıştır. Yine A fabrikasına ait A2 ham karışımının standart sapması da A1 ham karışımından daha düşük çıkmıştır. Fakat hazırlanan yığınların bu şekilde ideal karışıma ulaşılmadığı sonucuna varılmış (Tesislerin standart sapma hedefi<5%) ve standart sapmaları daha aza indirilmesi ve düzenliliğinin daha kararlı hale getirilmesi için her iki tesis te de sistem ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

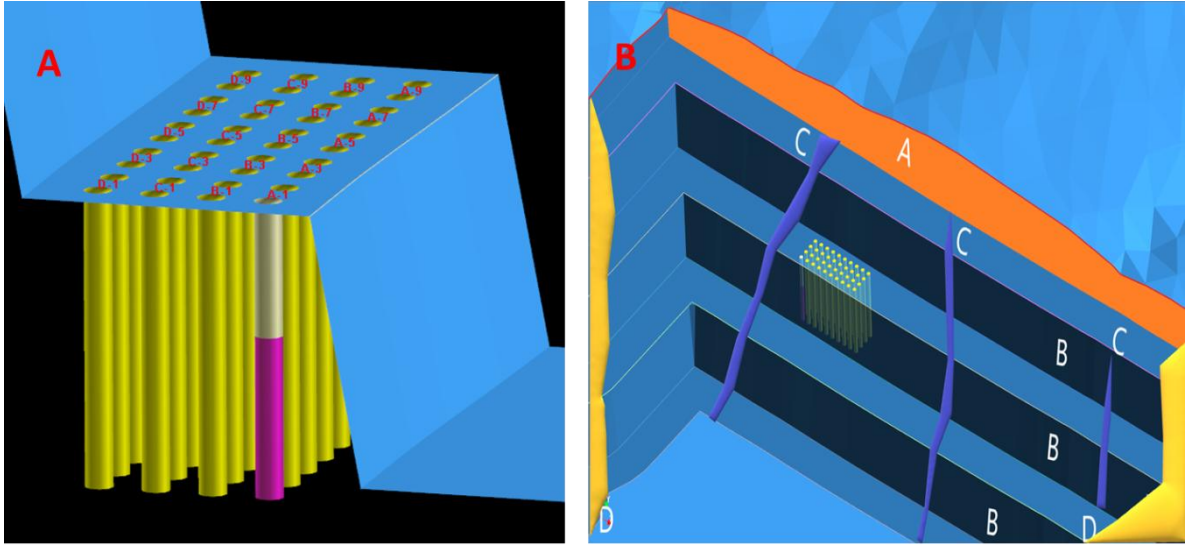
Ocaklarda Numune Hazırlanması ve Patlayıcı Deliklerin Optimizasyonu

A ve B fabrikalarında mevcut çalışma düzenleri ile kalker ocaklarında patlatma öncesi numunelerin tüm deliklerden konileme dörtleme yöntemi ile ortak tek bir numune

şeklinde alındığı fakat temsili numunenin patlatma yapılacak malzemenin kimyasal özelliklerini tam anlamıyla yansıtmadığı ve bu nedenle de ham karışım reçetesinde belirlenen CaO oranıyla gerçekte yığına beslenen malzemenin CaO oranlarında farklılıklar olduğu ortaya konulmuştur.

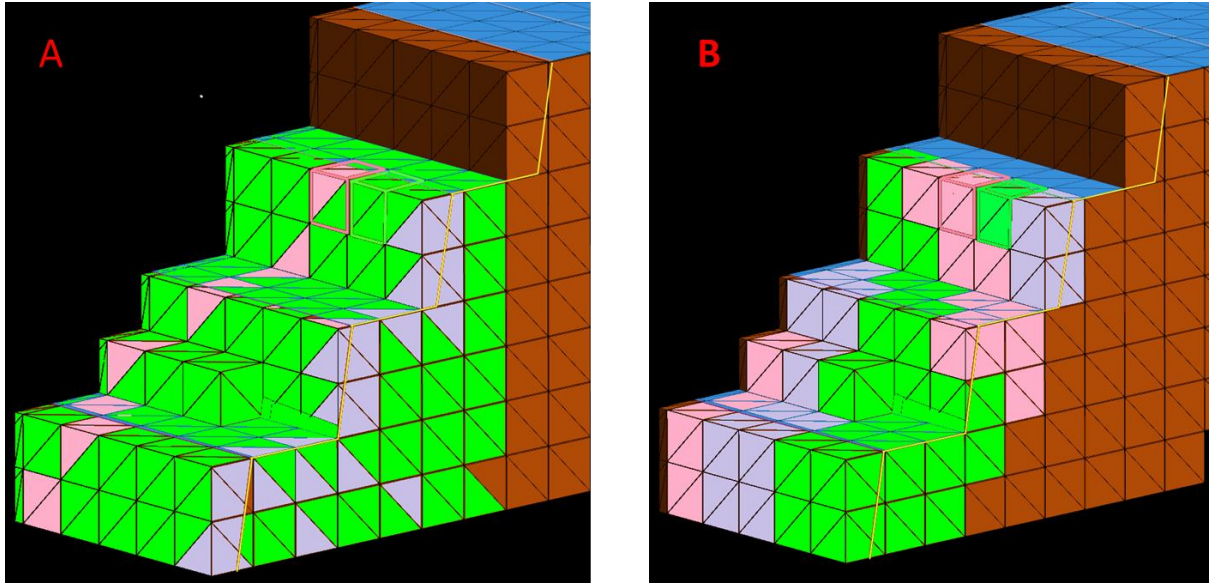
Üretim çalışmalarının gerçekleştirildiği kalker ocaklarında patlatma yapılacak panolarda 4 sıralı delikler delinmiştir. Her bir sırada ise 9 delik olmak üzere patlatma sonucu tane boyutunun düşürülmesi amacıyla mevcut çalışma düzeninde 3-3,5 m olan delikler arası mesafe 2,5 metreye düşürülmüştür. Böylelikle ocakta patlatma sonucu daha küçük tane boyutlu malzeme elde edilerek kendi içerisinde de harmanlanması ve karışım hesaplamaları için katkı sağlaması amaçlanmıştır. Tane boyutunun düşük olması sonucu patarlı malzemeler ne kadar az olursa kırıcı kapasitesi de o kadar artmakta ve kırıcı stabil bir şekilde çalışmaktadır. Üretim yapılacak basamaklarda her bir delikten tek bir numune alınmış ve toplamda her sıradan 9 adet olmak üzere toplamda 36 adet patlatma deliği numunesi hazırlanarak kimyasal özelliklerinin tespiti için analiz edilmiştir. Alınan örneklerin kimyasal özelliklerine göre ocak patlatma planı hazırlanmış ve gelecek patlatmalar bu plan dahilinde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca ocaktan üretime sevk edilecek malzemeler hakkında bir ön bilgi edinilerek üretim kalite planının da bu bilgiler doğrultusunda işletilmesi sağlanmıştır. Delme patlatma, kalite çalışmalarında Netcad Netpromine programından yararlanılmıştır.

A ve B tesislerine ait kalker Ocaklarında 80 metrelik ve kil ocaklarında ise 40'ar metrelik sondaj çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Karaotlardan alınan örnekler ve üretim aynalarından alınan örneklerin kimyasal içerikleri tespit edilmiştir. Kimyasal özellikleri bilinen örnekler Netcad programında işlenerek üretim planı çıkarılmıştır. Daha sonra gerek kalker ve gerek kil ocaklarındaki üretim çalışmaları ve hazırlanan ham madde karışım reçetelerinde bu haritalardan yararlanılmıştır. Program dahilinde ham maddelerin üretim basamaklarının kimyasal içerik ve kalite kodlamaları çıkarıldıktan sonra yığın kalite parametreleri ve üretim hedefleri doğrultusunda karışım reçeteleri hazırlanmıştır.



Şekil 7. Netpromine ile optimum delik paternlerin hazırlanması.

Figure 7. Preparation of optimum hole patterns with Netpromine.



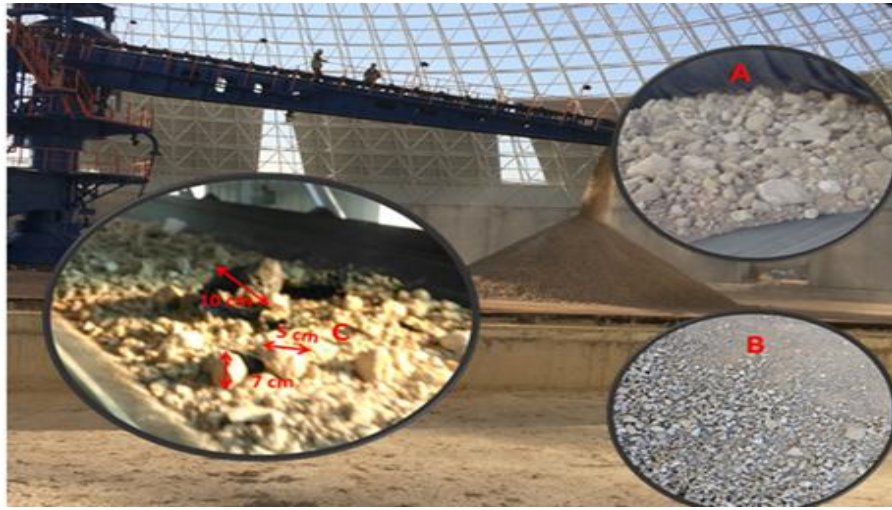
Şekil 8. A ve B kil ocaklarının Netpromine ile ocak kalite kodlamalarının hazırlanması.

Figure 8. Display of A and B clay quarries with Netpromine quarry quality codes.

Malzemelerin Tane Boyut Analizi

Optimizasyon işlemlerinin diğer bir aşaması, taş ocaklarından gelen malzemelerin boyutunun 1 metre çapından 1 inçten küçük parçacıklara doğru kırılarak küçültülmesini içermektedir. Malzeme besleme miktarındaki kalite dalgalanmaları yerel olarak yığında dağıtılmaktadır. Malzeme parçacıkları yetersiz boyutlandırılırsa, bu yöntemle, daha iri parçacıkların eğim üzerinde harmanlama yatağının tabanına yuvarlanması ve böylece bu alanda iri parçacıkların birikmesine neden olabilmektedir.

Yığınlar fiziksel olarak muayene edildiklerinde yığınların eteklerinde büyük çaptaki kalker tanelerinin biriktiği ve yığınlarda segragasyon oluşturdukları görülmüştür. Yığıcı kalibre edilmiş fakat segragasyonun değişmediği görülmüştür. Bunun üzerine Kırıcı çıkışı konveyör bant çalışırken ani duruş verilerek bandın 1 m'lik kısmından tane boyut analizi için kalker numuneleri alınmıştır.



Şekil 9. Yığın segragasyon görüntüsü.

Figure 9. Stack segregation image.

Alınan örneklerle yapılan elek analiz sonucunda A tesisine ait yığınların % 10,57 'sının >90mm' den büyük olduğu ve B tesisine ait yığınların ise %37,76 'sının >90mm' den büyük olduğu görülmüştür. Reclaimerın ham karışım yığınının malzemeleri kazıması (farin değirmeni bunkerlerini beslemesi) esnasında yığının eteklerindeki iri tane boyutlu malzemelerin kazıyıcı elemanların tırnaklarını kırdığı gibi farin değirmeni beslemesini olumsuz etkileyerek gerek homojenliği gerekse farin değirmeni ürün kalitesini olumsuz etkilediği ve belirlenen ürün reçetesinin tam olarak uygulanmasında problemler ortaya çıkardığı görülmüştür. Elek analizi sonucunda kırıcı rotorlarındaki çekiçler kontrol edilmiş ve B tesisindeki kırıcı rotor çekiçlerinde 4-5 cm aşınma olduğu tespit edilmiş ve çekiçlerin bazılarında dolgu yapılırken aşınma oranı yüksek olan çekiçler ise değiştirilmiş bu şekilde kırıcı kapasitesi %13 arttırılmıştır.

Çizelge 3. Çekiçli rotorlu kırıcı çıkışı ince taneli kalker elek analizi sonuçları.

Table 3. Hammer rotor crusher output sieve grained limestone sieve analysis results.

Tane boyutu	A miktar	%	B miktar	%
mm	kg		kg	
31,5	15,474	17,72	14,082	16,15
25	6,064	6,95	9,162	10,51
16	10,856	12,43	14,434	16,56
10	12,162	13,93	13,375	15,34
5	13,816	15,82	13,852	15,89
2	11,384	13,04	9,982	11,45
1	6,188	7,09	4,578	5,25
0,5	5,124	5,87	3,055	3,5
Tava	6,238	7,14	4,663	5,35
Toplam	87,306	100	87,183	100

Çizelge 4. Çekiçli rotorlu kırıcı çıkışı kalın taneli kalker elek analizi sonuçları.

Table 4. Hammer rotor crusher output coarse-grained limestone sieve analysis results.

Tane Boyutu	Miktar	Elek üstü	Tane Boyutu	Miktar	Elek üstü
mm	gr	%	mm	gr	%
>90	5856	37,79	>90	1465	10,57
80-90	1356	8,75	80-90	895	6,46
70-80	2303	14,86	70-80	2091	15,09
60-70	2730	17,62	60-70	3697	26,69
50-60	1739	11,22	50-60	2921	21,08
40-50	1034	6,67	40-50	2343	16,91
31,5-40	477	3,08	31,5-40	442	3,19
Total	15495	100	Total	13854	100

Operasyonel Uygulamalar

B fabrikasında uzunlamasına boyuna yığın hazırlamak için hareketli yığıcı(stacker) marifetiyle hazırlanan yığın ilk olarak belli bir yükseklik kazanılana kadar hareket etmemekte ve mevcut konumunu bozmadan sabit bir şekilde yığın yapmaya devam etmektedir. Yığında belli bir yükseklik kazanıldıktan sonra yığıcı hareket etmeye başlamakta hareket bitiş noktasında yaklaşık 7-8 saniye bekleyerek beslemeye devam etmektedir Bu süre içerisinde sabit şekilde yığını beslemeye devam etmesi özellikle kil katmanlı hazırlanan yığının homojenliğini azaltmakta ve standart sapmasını

arttırmaktadır. Bu bekleme noktalarından alınan malzeme örneklerinin kimyasal analiz sonuçları ile yığının diğer noktalarından alınan örneklerin kimyasal analiz sonuçları karşılaştırıldığında, yığıcı bekleme noktalarında % 15-20 oranlarında standart sapmaların olduğu görülmüştür. Ayrıca kil katmanlı oluşturulan ham karışım yığınlarında kazıyıcı (reclaimer), yığından değirmeni beslemeye başladığı ilk 5 ve son 5 metresinde standart sapmaların en yüksek olduğu ve homojenizasyonun en az olduğu, farin değirmeni kimyasal analiz sonuçlarından ve kalite parametreleri hesaplamalarından (Silikat modülü, LSF, alüminyum modülü vs.) tespit edilmiştir. Kil katmanlı yığınlarda ilk 5 metrelik kısım aşıldıktan sonra kalite değerlerinin stabil hale geldiği ve homojenizasyonun arttığı son 5 metrede ise tekrar kalite problemleri yaşanarak homojenizasyonun azaldığı, farin standart sapmalarının anlık olarak pik yaptığı görülmüştür.

Kalite sapmaları yüksek olan kil katmanlı yığınların ilk 5 metresi (yaklaşık 200 ton kadar harmanlanmış malzeme) loder marifetiyle kamyonlara yüklenerek üretimi planlanan başka bir yığına beslenmesi ve yeniden harmanlanması için ayrı bir stok alanına sevk edilmiştir. Fakat bu çözüm üretim maliyetini olumsuz etkilediği gibi ayrıca ekstra zaman harcamaktadır.

Ham karışım yığınlarının homojenliğini bozan diğer bir endüstriyel problem ise ocaklardan rutubeti yüksek malzemelerin beslenmesi sonucu kırıcı ızgaralarının sarmasıdır. Özellikle kışın yüksek rutubetli malzemelerin kırıcıya beslenmesi sonucu kırıcı ızgaraları tıkanarak, nemli malzemeler tarafından preslenmekte ve kırıcıda duruşlara neden olmaktadır. Bunun sonucunda kırıcının temizlenmesi ve tekrar devreye alınması saatler sürebilmektedir. Ayrıca kırıcıda yaşanan kesikli üretim sonucunda yığına yeterince uygun oranda ve kalitede malzeme beslenemediği için karışım reçetesi tam olarak uygulanamamakta ve yığın homojenizasyonu da tam olarak gerçekleştirilememektedir.

Endüstriyel uygulamalardaki diğer önemli nokta kil katmanlı yığınlarda kilin aşağı yönde akması sonucu ya da yüksek rutubetli malzemelerin birleşerek kendine belli bir yatak yapması sonucu reclaimer sıyırıcı kazığının temas açısının düşmesine yol açmasıdır. Bu sayede değirmene beslenen kilin homojenliği düşerek kalite sapmaları artmakta ve uygunsuz ham karışımın değirmene girmesine ve farin ürün kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. Diğer bir durum kalker ve kilin birlikte tek bir ham karışım olarak hazırlanan yığınlarında ise reclaimer sıyırıcı kazığın yüksek tane

boyutlu kalkerlere temas ederek kalker tanelerini kil tanelerinden daha fazla beslemesine ve ham karışımının homojenliğinin ve karışım oranlarının bozulmasına neden olmaktadır.

Reclaimer ile ilgili diğer bir operasyonel problem ise yığına beslenen kalkerin tane boyunun yüksek olması sonucu kazıyıcı küreklerinin, tırnaklarının ve kürek tutucu zincirlerinin kırılarak üretimde gecikmelerin yaşanmasıdır.

Her iki çimento fabrikasında ocaklar ve hammadde hazırlama proseslerinde düzeltici faaliyetlerde bulunularak ham karışım yığınlarında oluşan varyasyonlar minimuma indirilmiş ve yığın içeriklerinin bir optimum denge içerisinde kalite parametreleri göz önüne alınarak farin üretimi gerçekleştirilmiştir. Hazırlana ham karışımlara ait varyasyonlar ve farin kalite parametrelerinin (LSF, SM, AM) sonuçları Çizelge 5'de verilmiştir.

Çizelge 5. Optimizasyon sonrası farin kalite parametrelerinin standart sapmaları.

Table 5. Standard deviations of raw meal quality parameters after optimization.

A1	SM	AM	LSF	C ₃ S	Premix	Demir	Boksit	Kil
Ortalama	2,47	1,40	96,65	67,85	78,44	2,81	1,00	17,76
Standart Sapma	0,08	0,06	2,29	4,23	0,52	0,15	0,00	0,54
A2	SM	AM	LSF	C ₃ S	Premix	Demir	Boksit	Kil
Ortalama	2,29	1,26	98,62	66,91	78,26	2,51	1,00	18,23
Standart Sapma	0,06	0,04	1,76	3,31	0,49	0,26	0,00	0,60
B1	SM	AM	LSF	C ₃ S	Premix	Demir	Boksit	Kil
Ortalama	2,73	1,50	103,30	68,32	78,44	2,81	1,00	17,76
Standart Sapma	0,16	0,05	3,03	5,59	0,52	0,15	0,00	0,54
B2	SM	AM	LSF	C ₃ S	Premix	Demir	Boksit	Kil
Ortalama	2,66	1,49	101,41	71,18	78,26	2,51	1,00	18,23
Standart Sapma	0,12	0,04	2,01	4,27	0,49	0,26	0,00	0,60

Çizelge 3'den görüleceği üzere düzeltici faaliyetler ve optimum çalışmalar sonrasında ham karışım yığınlarının homojenliği artırılarak farin kalite sapmaları minimum seviyeye düşürülerek kontrol altına alınmıştır.

SONUÇLAR

Yığın hazırlama yöntemlerinin çimento üretim performansına etkileri araştırılmadan önce tüm hammadde hazırlama prosesi, ocaklar ve proste görev alan ekipmanlar gözden geçirilerek optimum çalışma düzeni belirlenmiştir. Uygulanan müdahaleler neticesinde her iki yöntemle hazırlanan yığınların homojenizasyonunda iyileşmeler görüldüğü ve kararlı şekilde devam ettiği ayrıca farin üretiminde standart sapmaların düştüğü soncuna varılmıştır. Her iki yöntemle elde edilen ham madde homojenleştirme işlemlerinin çimento üretimine etkileri karşılaştırmalı olarak aşağıda verilmiştir.

Dairesel harmanlama da istifleme nispeten uzunlamasına karıştırma yataklarının hazırlanmasından daha basittir. Bununla birlikte, dairesele stokların yatırım maliyetleri, karşılaştırılabilir uzunlamasına stoklardan yaklaşık% 30-40 daha yüksektir. Bunun en büyük nedenlerden biri yığın kapasitesinin yüksek oluşu ve devamlı olarak aynı yığına çalışılması, yığın bitince diğer bir yığın hazırlamak için yığıcıyı değiştirmeye gerek olmamasıdır. Ön homojenizasyon için dairesele harmanlama yatakları boyuna istifleme yöntemine göre daha fazla uygulanmaktadır. Bu kısmen çatılı boyuna harmanlama yataklarına göre karışım yığınlarının hazırlanması için %25-30 düşük maliyet – fiyat oranı içermesi ve bir dereceye kadar operasyonun devamlılığından ve ayrıca mevcut operatöre entegre edilebilmelerinin daha kolay olmasından kaynaklanmaktadır.

Dairesel harmanlama sistemleri, yatağının aynı çapa entegre olmuş daha büyük hacimde tamamen homojenleştirilmiş stok malzeme sağlamaktadır. Tamamen ve sürekli istifleme sonucu yeni bir yığın açılmasına gerek yoktur. Dairesel harmanlama yatağının istifleme bölgesi, karıştırmayı sağlamak için sonsuz değişkendir. Fakat uzunlamasına yani boyuna yığın oluşturmak için her yeni yığın hazırlamak için sürekli zaman kaybı yaşanmaktadır. Kimyasalda geçiş bölgelerinde dalgalanmalar dairesele yığınlarda daha az görülmüştür. Her yığın için sahip olunan maksimum depolama kapasitesi sistemin kesiksiz çalışmasını sağlamaktadır. Dairesel harmanlama yatağı ne kadar küçükse, homojenlik daha az ve varyasyonlar ise o kadar büyük bulunmuştur. Dolayısıyla dairesele yığınların büyük kapasitelerde hazırlanması yığın

homojenliği açısından oldukça önemlidir.

Boylamasına harmanlama yataklarının depolama kapasitesi kolaylıkla genişletilebilmekte, ancak bu tür bir kapasite artışının genellikle istifleyiciler, geri kazanıcılar ve taşıma bantları gibi kurulu makinelerin kapasitesinde karşılık gelen bir artışı gerektirmektedir. Karıştırma yataklarının kapasitesinin artırılması her zaman önemli zorluklar ve masraflar içermektedir.

Dairesel harmanlama yatağı, l bölgeler bırakmadan çalışma avantajına sahiptir. Ayrıca normal çalışma koşullarında ve 40.000 t ve üzeri kapasitelerde verimli şekilde daha düşük maliyetlerde çalışılabilmektedir. Gerekli stok alanları ile ilgili olarak, dairesele harmanlama yatakları, uzunlamasına boyuna versiyonlara kıyasla daha yüksek stok seviyelerine izin vermektedir. Dahası, dairesele versiyon, özellikle yer, saha söz konusu olduğunda inşaat işleri için daha düşük maliyetler, daha kısa taşıma mesafeleri ve makineler ve elektrikli ekipman için daha düşük yatırım seviyeleri içermektedirler.

Dairesel harmanlama yatağında malzeme aynı anda depolanabilir ve geri kazanılabilir. Burada, büyük dairesele harmanlama yatakları durumunda 2500 ton/saatlik yüksek istifleme kapasiteleri ve 1500 ton/saate kadar yüksek geri kazanım kapasiteleri elde edilebilmektedir. Sürekli istifleme sayesinde yüksek bir harmanlama ve homojenleştirme etkisi elde edilebilmektedir. Dairesel harmanlama yığınında stok değişikliği yoktur, bu nedenle geri kazanılan malzemenin kimyasal bileşiminde herhangi bir sıçrama olmadığı anlamına gelmektedir. Farin değirmenini, besleme silosu olmadan doğrudan dairesele harmanlama yatağından beslemek mümkündür. Bu özellikle kullanımı zor olan malzemeler için avantajlıdır. Dairesel konik yığın şekli ayrıca yağmur suyunu akıtarak yağmur olaylarının yığın nem içeriği üzerindeki etkisini azaltmaktadır.

Tüm bu iyileştirmelerin bir sonucu olarak kırıcı ızgara ve ekilerinde, değirmen valsileri ve plaka astarlarında, tuğla ömründe bir artış; fırın operasyonlarının daha kararlı bir hal olarak enerji ve yakıt maliyetlerinin düşmesi beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- Adiguzel, D., 2020. Optimisation of pre-blending process for raw materials in quarrying. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 34(7), 519-530.
- Bányász, C., Keviczky, L. and Vajk, I. (2003). A novel adaptive control system for raw material blending. *IEEE Control Systems Magazine*, 23(1), 87-96.
- Bavdaž, G. and Kocijan, J., 2007. Fuzzy controller for cement raw material blending. *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, 29(1), 17-34.
- Bedeschi, 2021. <https://www.bedeschi.com/2018/12/cementeria-costantinopoli-barile-pz-italy-and-a-new-bedeschi-storage-system/>, [Erişim Tarihi: 05 Ocak 2021]
- Bond, J. E., Coursaux, R. and Worthington, RL., 2000. Çimento hammaddeleri için harmanlama sistemleri ve kontrol teknolojileri. *IEEE Industry Applications Magazine*, 6 (6), 49-59.
- Bye, G.C., 1983. Portland Cement Composition, Production and Properties, *Pergamon Press*, 5 (2), 125-137.
- Duda, W.H., 1985. International process engineering in the cement Industry, *Cement-data-book*, 1.
- Ergin, H., Erçelebi, S. ve Kırmanlı, C., 1999. Çimento Hammadde Üretim Optimizasyonu İçin Yeni Teknolojiler. 3. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 87-96.
- Global Kawasaki, 2021. <https://global.kawasaki.com/en/stories/articles/vol60/>. Erişim Tarihi: 10 Şubat 2021.
- Kizilaslan, K., Ertugrul, S., Kural, A. and Ozsoy, C., 2003. A comparative study on modeling of a raw material blending process in cement industry using conventional and intelligent techniques, In *Proceedings of 2003 IEEE Conference on Control Applications, 2003. CCA 2003*. (Vol. 1, pp. 736-741). IEEE.
- Korkmaz, A., 2012. Klinker ana komponentlerin öğütme ve çimento dayanımları üzerindeki etkilerinin araştırılması, Yüksek lisans, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Korkmaz, A., 2017. Çimento Üretiminde Kil Ham Maddesine Alternatif Olarak Metaşistin Kullanılabilirliği, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Köck, B., 1997. Use of an on-line-analyzer for controlling raw-mix composition: the example Lafarge PAG plant Mannersdorf, In *Lecture on the occasion of Gesteinshüttenkoloquium*.
- Kural, A. and Özsoy, C., 2004. Identification and control of the raw material blending process in cement industry. *International Journal of Adaptive Control and Signal Processing*, 18(5), 427-442.
- Maas, U. and Kupper, D., 1993. Assessing the burnability of cement raw meal and its behaviour in the rotary kiln, *Zement-kalk-gips*, 12, 715- 720.
- Li, X., Yu, H. ve Yuan, M., 2012. Çimento hammaddeleri harmanlama sürecinin modellenmesi ve optimizasyonu. *Mühendislikte Matematiksel Problemler*.
- Schafer, H. U., 1989. Çimento endüstrisinde ham maddelerin seçimi, *TÇMB Bülteni*, 14-33.
- Wilcox, S., 1995. From the mists of time, *International Cement Review*, 73-75.
- Woodward, R. C., 1997. Transforming pre-blending strategy. *World cement*, 28(4), 48-54.
- Thyssenkrupp, 2021. <https://www.thyssenkrupp-industrial-solutions.com/en/products-and-services/materials-handling/stockyard-systems/bucket-wheel-reclaimers>, Erişim Tarihi 20 Şubat 2021.
- TS EN 196-2, 2013. Çimento deney yöntemleri - Bölüm 2: Çimentonun kimyasal analizi.