

Çimento Üretimi

SEKTÖREL UYGULAMA KILAVUZU
(TASLAK)

*Sanayiden Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Belirlenmesi ve Azaltılmasına Yönelik Uygulamaların
Kolaylaştırılmasının Sağlanması Projesi*

İçindekiler

1. GİRİŞ.....	1
2. ÇİMENTO ÜRETİM PROSESİ	2
2.1. Taş Ocağı.....	4
2.2. Ham Madde Hazırlama (Kırıcılar ve Ön Homojenizasyon)	5
2.3. Klinker Üretimi.....	7
2.4. Mineral Ekleme.....	10
2.5. Çimento Öğütme	11
2.6. Paketleme ve Sevkiyat.....	12
2.7. Yakıt Hazırlama	12
3. EMİSYON KAYNAKLARI	14
4. EMİSYON AZALTIM/KONTROL TEKNİKLERİ.....	15
5. ÖLÇÜM VE İZLEME.....	17
6. KAYNAKLAR.....	18

1. GİRİŞ

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı için hazırlanan ve T.C. Kalkınma Bakanlığı tarafından desteklenen “Sanayiden Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Belirlenmesi ve Azaltılmasına Yönelik Uygulamanın Kolaylaştırılmasının Sağlanması Projesi” kapsamında hazırlanan bu Sektörel Uygulama Kılavuzları dizisi, sanayi tesislerindeki emisyon kaynaklarının ve bu kaynaklardan atmosfere verilen emisyonların belirlenmesi, emisyonların ölçümü ve izlenmesi ile bu emisyonların önlenmesi/azaltılması amacıyla ilgili sanayi tesisi çalışanları ve Bakanlık çalışanlarına yol gösterici olması amacıyla hazırlanmıştır. Bu kılavuzlarla;

- Bakanlık merkez ve taşra teşkilatları tarafından yürütülen tesis inceleme, kontrol ve denetim işlemlerinin kolaylaştırılması ve ülke çapında eş uygulamanın sağlanması,
- Sektördeki tesisler ile bunlara ölçüm hizmeti veren kurum ve kuruluşların ölçüm/izleme çalışmalarında uygulama birliğinin sağlanması,
- Tesislerin izin ve denetim süreçlerinde Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’na yapacakları beyanlarda veri kalitesinin yükseltilmesi,
- Tesislere emisyon azaltma ve kontrol çalışmalarında yardımcı olunması hedeflenmektedir.

Çimento üretimini ele alan bu kılavuz kapsamında, öncelikle sektörde yaygın olarak kullanılan üretim süreçleri tanıtılmış, daha sonra bu süreçlerde emisyon oluşumuna neden olan kaynaklar belirlenmiş, emisyonların ölçümü ve izlenmesi ile emisyon azaltım teknikleri konusunda bilgiler verilmiştir.

2. ÇİMENTO ÜRETİM PROSESİ

Çimento, yapı malzemeleri içinde hidrolik bağlayıcı özelliklere sahip, metalik olmayan, inorganik bir maddedir. Doğal kalker taşları ve kil karışımının yüksek sıcaklıkta ısıtılması, öğütülmesi ve ardından bir veya daha fazla kalsiyum sülfat formunun eklenmesi ile üretilen genellikle gri renkte ince bir tozdur. Suyla karışınca mineral hidratlarının oluşması nedeniyle sertleşen bir macun oluşturur.

Çimento üretimi CaCO_3 'ün ön kalsinasyonu ile başlar. Bu işlem sırasında CaO oluşurken CO_2 açığa çıkar. Devamında CaO, yüksek sıcaklıkta (1400-1500 °C) silis, alüm ve demir oksitle reaksiyona girerek silikatları, aluminatları ve kalsiyum ferritleri içeren klinker oluşturur. Daha sonra klinker, alçı taşı ve diğer katkı maddeleri ile birlikte öğütülerek çimento elde edilir.

Çimento üretim aşamaları;

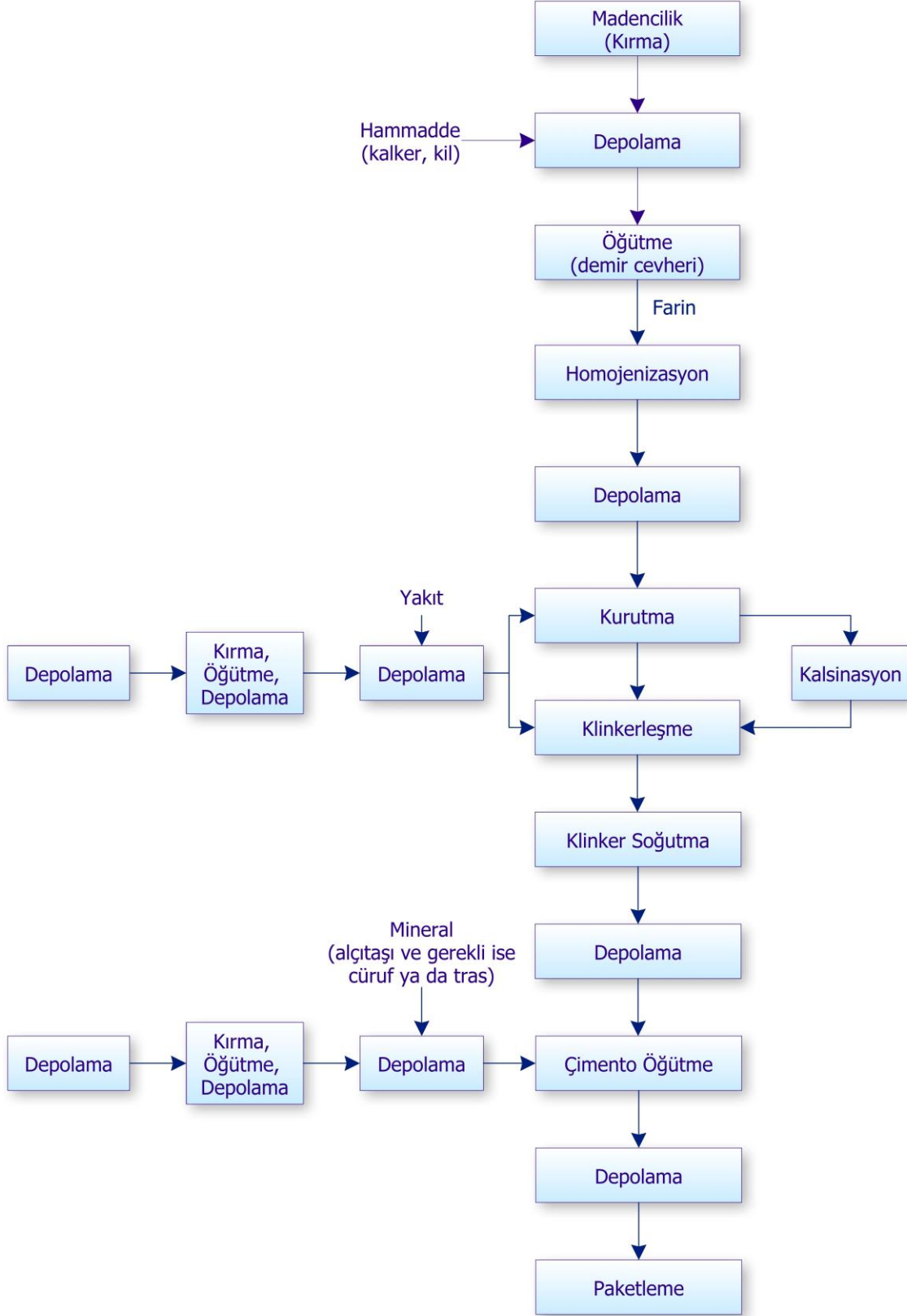
- taş ocağı,
- ham madde hazırlama,
- klinker üretimi,
- mineral ekleme,
- çimento öğütme,
- paketleme ve sevkiyat,
- yakıt hazırlama,

başlıkları altında gruplandırılabilir. Çimento üretim iş akım şeması Şekil 1'de gösterilmektedir.

Çimento üretim aşamalarından klinker üretimi en temel proses olup dört ayrı şekilde yapılabilmektedir. Aşağıda verilen bu yöntemler aynı zamanda çimento üretim yöntemi olarak da isimlendirilmektedir. Ülkemizdeki tesislerin tamamına yakını kuru işlem üretim prosesine sahiptir.

- Kuru-işlem üretim prosesi: Ham maddeler öğütülerek akışkan bir toz haline getirilip kurutulur. Kurutulan bu malzeme ön ısıtıcıya veya ön kalsinasyon fırınına veya doğrudan döner fırına beslenir.
- Yarı kuru-işlem üretim prosesi: Toz halindeki ham maddeler, suyla pelet haline getirilerek ızgaralı ön ısıtıcıya veya istavroz ile donatılmış döner fırına beslenir.
- Yarı yaş-işlem üretim prosesi: Çimento harcı filtre preste susuzlaştırıldıktan sonra filtre keki pelet haline getirilerek ızgaralı ön ısıtıcıya veya doğrudan bir kurutucuya beslenir.

Yaş-işlem üretim prosesi: Ham maddeler pompalanabilir bir harç oluşturmak için su ile öğütülerek doğrudan fırına veya önce bir kurutucuya beslenir.



Şekil 1. Çimento üretimi akış şeması

Çimento üretim tesisleri entegre yada klinker öğütme tesisi olarak sınıflandırılmaktadır. Entegre tesisler genellikle kalker, kil ve marn gibi minerallerce zengin olan bölgelere kurulmakta ve maden işletme ruhsatlarını alarak kurdukları ocaklardan ham maddelerini kendileri temin etmektedirler. Üretim süreci ham madde üretiminden çimento paketlemeye kadar tüm aşamaları içermektedir. Klinker öğütme tesisleri ise entegre tesislerde üretilmiş klinkeri alarak öğütme ve gerekli katkı malzemeleri ile harmanladıktan sonra çimentonun öğütüldüğü dökme veya paketlenmiş olarak satışa sunulduğu tesislerdir.

2.1. Taş Ocağı

Çimento üretiminin ilk aşaması çimento ham maddelerinin yer kabuğundan çıkarılmasıdır. Çimento üretiminde kullanılan en yaygın ham maddeler kireçtaşı ve kildir. Ham maddelerin ana bileşeni olan kalker ya da kireçtaşı genel olarak açık maden işletme yöntemi kullanılarak ocaklardan çıkarılır. Bu yöntemde cevheri elde etmek için kayalar parçalanır, araçlara yüklenir ve üretim noktalarına sevk edilir. Taş ocaklarında ham madde çıkarma delme, patlatma ve mekanik kazı yöntemleri ile yapılır. Taş ocağı işletmeciliği iş akım şeması Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Taş ocağı iş akım şeması

Açık maden işletmelerinde maden yatağının üzerinde bulunan örtü tabakası alındıktan sonra, maden yatağı basamaklar oluşturularak kazılıp yüklenerek taşınır. Örtü tabakası bitkisel toprak olması nedeniyle ham maddelerin yer kabuğundan alınmasından sonraki aşama olan arazi düzenlemelerinde üst katman olarak serilmek amacıyla depolanır. Örtü tabakasının ve maden yatağının kayaç özellikleri itibarıyla kazılması çok kolay ve ucuz olan bazı istisnai kayaçlar dışında kazılabilmesi için patlayıcı madde kullanılması bir zorunluluktur. Bu patlayıcı maddeler, oluşturulan basamaklar üzerinde belirli bir sistem içinde açılan deliklere yerleştirilerek

patlatılırlar ve ortaya çıkan gevşetilmiş malzeme kazıcı–yükleyici iş makineleri ve kamyonlar vasıtası ile taşınırlar.

Çimento üretiminde başlıcaları kireç taşı (kalker) ve kil olmak üzere otuzdan fazla ham madde kullanılmaktadır. Kireç taşı, gerekli kalsiyum oksiti ve diğer bazı oksitleri sağlarken; kil, şist ve diğer malzemeler, çimentonun imalatı için gerekli silis, alüminyum ve demir oksitleri sağlar. Silisyum oksit veya demir oksitlerin içeriğini yükseltmek için genellikle kuvars kumu ve demir cevheri gereklidir. Çimento üretiminde tercih edilen marn, silis, killi maddeler ve demir oksit içeren bir kalkerdir. Klinkerin bileşimine en yakın malzeme doğal kayaç olduğu için çimento üretiminde tercih edilmektedir. Tüm bu ham madde ve katkı maddeleri ocak madenciliği ile doğadan elde edilmekte ve çimento üretim tesislerine taşınmaktadır.

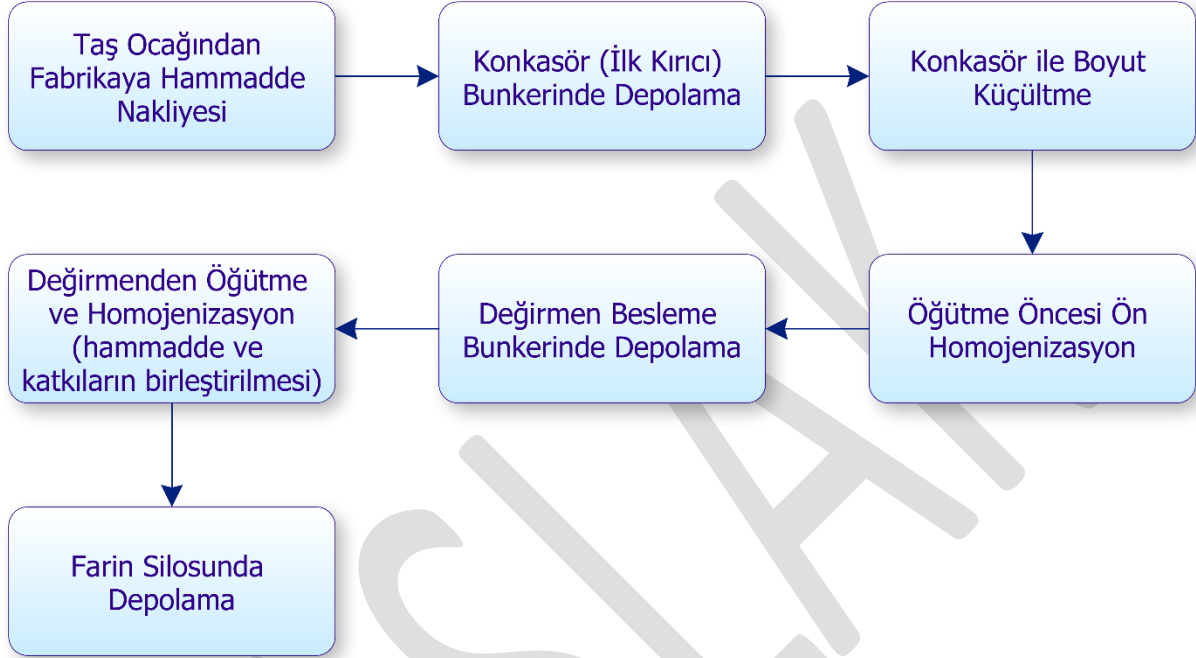
2.2. Ham Madde Hazırlama (Kırıcılar ve Ön Homojenizasyon)

Çimento üretiminde kullanılan temel ham maddeler kalker, kil ve marndır. Demir ihtiyacını karşılamak için demir cevheri, alüminyum ihtiyacı için ise boksit ham madde olarak kullanılabilir.

Ham maddeler ocak bölgesinde taşıyıcı araçlara yüklenir ve ham madde hazırlama ünitesine gelir. Ham madde hazırlama işlemi kapalı alanda yapılmaktadır. Taşınan malzemeler çeneli kırıcı (konkasör) bunkerine beslenir. Ocaktan getirilen ham maddeler konkasörde kırıldıktan sonra öğütme öncesi boyut küçültme amacıyla kırıcılardan geçirilerek ön homojenizasyonu tamamlanmış halde stoklanmak üzere değirmen besleme bunkerlerinde stoklanır. Ayrıca demir cevheri, boksit ve kum gibi katkıları konkasörlerde kırıldıktan sonra ilgili bunkerlere alınarak stoklanır. Kırıcıda belirli bir boyuta kadar küçültülen ve homojenize olan ham maddeler, konveyör sistemi ile bilyalı değirmen veya dik değirmene (farin değirmeni) aktarılmaktadır. Malzemeler dik değirmenlerde veya bilyalı değirmenlerde öğütülür. Değirmende dönerken aynı zamanda bilyalar yardımıyla ezilerek öğütülen malzeme, Fransızcada un anlamına gelen “farine” kelimesinden türemiş farin olarak bilinen forma gelmektedir. Değirmende kurutma ve öğütme için gerekli olan ısı çimento üretiminin bir sonraki aşaması olan döner fırın ünitesinden sağlanır. Çimento ham maddelerinin dikkatle orantılanmış bir karışımı olan farinin ana bileşenleri kalsiyum oksit ve silisyum dioksit kaynaklarıdır. Kalsiyum oksit temel olarak kalker veya marn gibi kalsiyum karbonat içeren kayaçlar sayesinde ortama girer. Silisyum dioksitin ana kaynağı ise kildir. Bunları diğer farin bileşenleri alüminyum ve demir oksit takip eder. Farin yapısında daha az miktarlarda ise magnezyum ve alkali oksitler gibi diğer maddeler de bulunur.

Öğütülmüş farin, seperatörden geçirilerek farin siklonlarına buradan da elevatör yardımıyla aktarma silolarına taşınır. Farin, istenilen “Kireç Doygunluk Faktörü” oranlarında

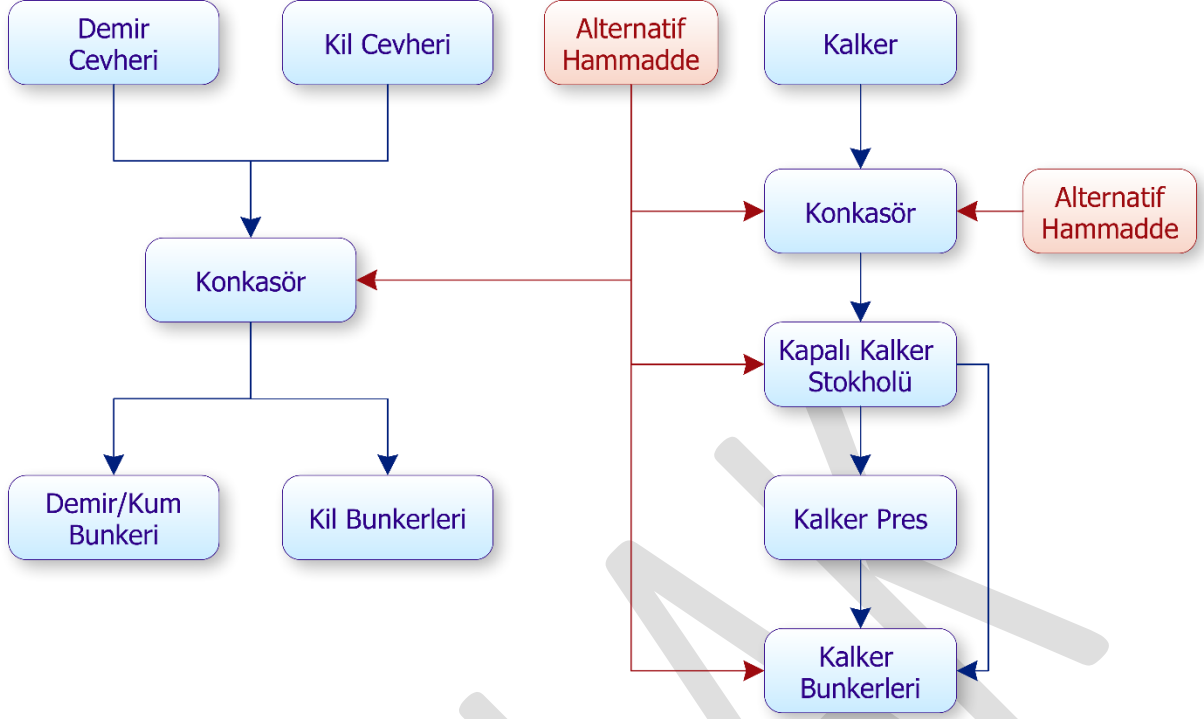
laboratuvardan gelen numune sonuçlarına göre aktarma silolarından homojenisasyon silolarına alınarak homojenleştirilir. Malzeme homojenize edildikten sonra kantarlar vasıtasıyla istenilen tonaja göre fuller pompalar yardımıyla veya elevatörlerle döner fırınların ön ısıtıcı kulelerine (siklonlar) beslenir. Ham madde hazırlama ünitesine ait akım şeması Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Ham madde hazırlama iş akım şeması

Islak ve yarı ıslak proseslerde farine gereken miktarda su eklenir. Yaş proses nem içeriği %20'den fazla olan ham maddeler için tercih edilir. Ham madde bileşenleri çimento harcını oluşturacak şekilde su ilave edilerek yıkama değirmenine beslenir ve döner tırmıkların oluşturduğu kesme ve çarpma kuvvetiyle öğütüldükten sonra depolanır. Yaş öğütme, sadece yaş veya yarı-yaş fırın sistemleri ile birlikte kullanılmaktadır.

Tehlikesiz atıklar, doğal kaynak kullanımını azaltmak için çimento fabrikalarında ham madde olarak kullanılabilir. Ham madde ile aynı kimyasal ve fiziksel özellikleri taşıyan bir takım tehlikesiz atıkların çimento fabrikalarında kullanımı doğal kaynak kullanımını da azaltmaktadır. Kalsiyum, silis, alüminyum ve demir gibi mineralleri içeren atık ve sanayi yan ürünlerinin (alternatif ham madde) çimento yapımı için maden sahalarından çıkarılan kireçtaşı, kil gibi ham maddeleri ikame etmesi, doğal kaynakların korunmasına büyük katkı sağlamaktadır. Alternatif hammadde (AHM) ile farin hazırlama işlemi akışı Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Alternatif ham madde ile farin hazırlama işlemi

2.3. Klinker Üretimi

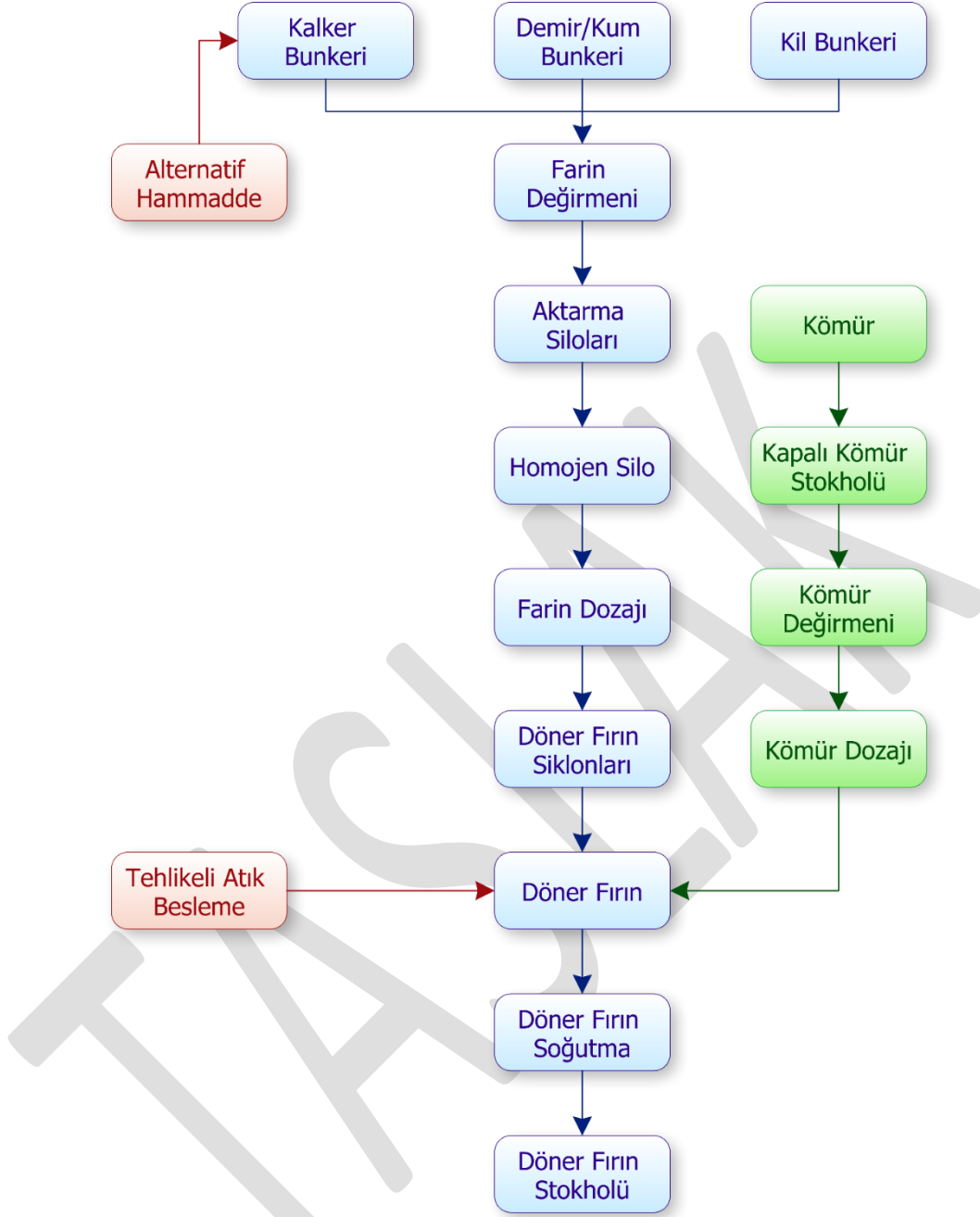
Ham madde hazırlama aşamasından sonraki bölüm ise farinin döner fırında yüksek sıcaklık altında kalsinasyonu ile klinker eldesidir. Farin, ilk olarak ön ısıtıcılarda (siklon) yaklaşık 1000 °C'ye kadar ısıtılmaktadır. Daha sonra kısmen kalsine olmuş olan farin döner fırınlara girmektedir. Döner fırın tipik olarak 3-6 m çapında ve 30-60 metre uzunluktadır. Dönüş hızı yaklaşık dakikada 3-5 kez olan döner fırında yoğun ısı, malzemeyi eriten kimyasal ve fiziksel reaksiyonlara neden olur. Döner fırına giren farin, burada yaklaşık 1300-1500 °C sıcaklıkta pişirilmekte ve tamamen klinkere (yarı mamül) dönüşmektedir. Döner fırının alt ucunda toz kömür, doğal gaz, fuel-oil gibi yakıtlardan ısı kaynağı sağlayan alev borusu bulunur. Bu yakıtlara ilave olarak arıtma çamuru ve/veya diğer atık maddeler destek yakıt olarak kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklığa sahip döner fırınlarda tehlikeli atıklar da hem destek yakıt olarak hem de bertaraf amacıyla yakılmaktadır. Döner fırınlardaki kalsinasyon işlemi, oksit bileşenleri elde etmek amacıyla sıcaklığın etkisiyle karbonat ve hidratların parçalanmasıdır. Kireçtaşında bulunan kalsit minerali serbest kireç mineraline dönüşür. Farin, fırında pişerken ham madde içindeki oksitler önce serbest hale gelirler. Sıcaklık yükseldikçe aralarında yeni kristaller oluştururlar. Döner fırınlar, klinker çıkış noktasına doğru %3,5 eğimlidir. Bu sayede pişirilen malzemenin, fırın içinde ek bir güce ihtiyaç duyulmadan gravitasyonel kuvvet doğrultusunda fırın çıkış noktasına ulaştırılması sağlanmaktadır. Bu sırada ön ısıtma sonunda kalan CO₂ nin

geri kalanı farinden uzaklaşır ve bir dizi kimyasal reaksiyon gerçekleşir. Döner fırın içinde oluşan sıcaklık basamakları ve bu sıcaklıklarda oluşan reaksiyonlar Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Klinker oluşum prosesi

Sıcaklık °C	Proses	Kimyasal Değişim
200	Serbest suyun buharlaşması	
100 – 400	Absorblaşmış suyun buharlaşması	
400 – 750	Kil minerallerinin bozunması, Metakaolinit oluşumu	$Al_4[(OH)_8Si_4O_{10}] \rightarrow 2(Al_2O_3 \cdot 2SiO_2) + 4H_2O$
600 – 900	Metakaolinit ve diğer bileşenlerin bozunması ve reaktif oksitlerin karışımının oluşması	$Al_2O_3 \cdot SiO_2 \rightarrow Al_2O_3 + 2SiO_2$
600 – 1000	Kireç taşının bozunması C ₂ S ve CA oluşumu	$CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$ $3CaO + 2SiO_2 + Al_2O_3 \rightarrow 2(CaO \cdot SiO_2) + CaO \cdot Al_2O_3$
800 – 1300	CS ve CA tarafından kireç absorpsiyonu C ₄ AF oluşumu	$CS + C \rightarrow C_2S$ $2C + S \rightarrow C_2S$ $CA + 2C \rightarrow C_3A$ $CA + 3C + F \rightarrow C_4AF$
1250 – 1450	C ₂ S tarafından daha fazla kireç absorpsiyonu	$C_2S + C \rightarrow C_3S$

Fırın içinde malzeme çıkışa doğru yaklaştıkça sivilaşmaya başlar. Döner fırından 1300 °C’de çıkan klinker çimentonun sertleşme özelliği için önemli bir bileşen olan alit (trikalsiyum silikat) oluşumunu sağlamak için ani olarak soğutularak sıcaklığı 100 °C’nin altına düşürülür. Hareketli ızgaralar üzerindeki sıcak klinker, ızgara altından kuvvetli fanlar tarafından üflenen hava ile soğutulur. Hareketli ızgaralar sayesinde klinker hem soğur, hem de soğutucu çıkışına doğru ilerler. Bu ısı aktarımı sonucu ısınan ve yüksek sıcaklığa erişen hava, sekonder yakma havası olarak fırınlara geri verilir. Soğutma ünitelerinden çıkan klinker, kovalı bantlar vasıtası ile kapalı klinker stokholüne taşınır. Klinker üretimi iş akış şeması Şekil 5’de verilmiştir. Döner fırında oluşan ve çimento için katkı olarak kullanılacak özelliklere sahip olmayan uçucu küller hammaddeye ikame olarak klinker üretimi aşamasında kullanılmaktadır.

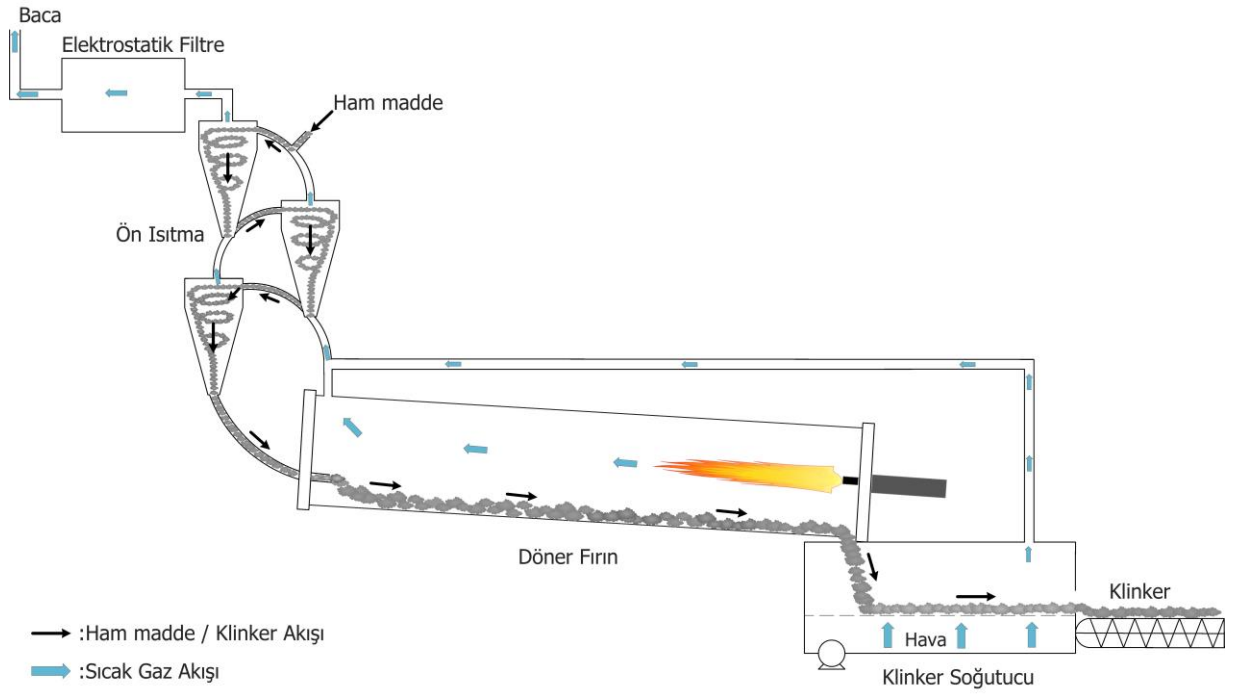


Şekil 5. Klinker üretimi iş akım şeması

Şekil 5'teki alternatif hammadde kutucuğunu kalker bunkerine verelim. Tehlikeli atık ve atık yağ besleme kutusundaki atık yağı çıkaralım. Atık yağ artık yeni yayınlanan yönetmelikten dolayı yakıt olarak kullanılamıyor.

Döner fırının iç yüzeyi ateşe dayanıklı refrakter tuğlalar ile örülmüştür. Pişirilecek ham madde, fırının yüksekte yer alan besleme ucundan verilmektedir. Ön ısıtıcıda, farin aşağıya doğru hareket ederken fırın içinden gelen sıcak gaz yukarıya doğru hareket eder. Birkaç kademe siklon

kombinasyonundan oluşan ön ısıtıcıda, farin ile sıcak gaz temas ederek ön kalsinasyon işlemi gerçekleşir. Ön ısıtma – klinker soğutma hava döngüsü Şekil 6’te gösterilmiştir.



Şekil 6. Ön ısıtma- klinker soğutma hava döngüsü

2.4. Mineral Ekleme

Çimento klinkerine katkı maddeleri ekleyerek farklı türlerde çimento üretmek mümkündür. Çimento üretimi sırasında klinker ile birlikte öğütülerek çimentoyu meydana getiren katkı maddeleri puzolanlar, uçucu küllerdir. Katkı maddelerinin türleri ve kullanım miktarları üretilen çimento çeşidine göre değişmektedir. Piyasada yaygın olarak kullanılan bazı çimento türleri aşağıda verilmiştir.

- Cürüflü çimentolar: Çimento klinkerine (%20-80) alçıtaşı ve granüle yüksek fırın cürufu (%80-20) eklenmesiyle elde edilir.
- Harç çimentosu: Çimento klinkerine (en az %40) alçıtaşı ve puzolanik madde (en çok %60) eklenmesiyle elde edilir.
- Traslı çimento: Çimento klinkerine (%80-60) alçıtaşı ve doğal puzolan (%20-40) eklenmesiyle elde edilir.
- Uçucu küllü çimento: Çimento klinkerine (%90-70) alçıtaşı ve yapay puzolan (%10-30) eklenmesiyle elde edilir.
- Süper sülfat çimentosu: Çimento klinkerine (en çok %5) kalsiyum sülfat ve granüle yüksek fırın cürufu (en az %65) eklenmesiyle elde edilir.

- Katkılı çimento: Çimento klinkerine (en az %81) alçıtaşı ve puzolanik madde (en çok %19) eklenmesiyle elde edilir.

Harmanlanmış çimentoya eklenmesi planlanan doğal veya endüstriyel kaynaklı minerallerin ayrı sistemler kullanılarak kurutulması, öğütülmesi ve depolanması gerekmektedir.

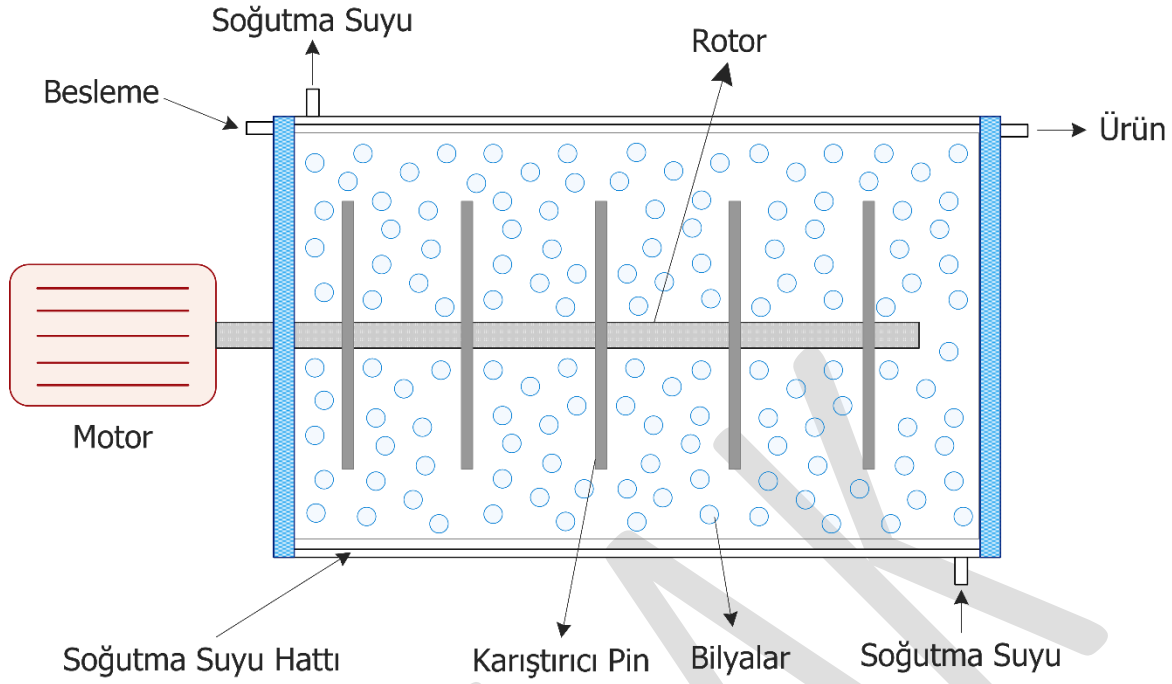
2.5. Çimento Öğütme

Soğutucudan çıkan klinker çimento üretiminde bir ara ürün sayılır ve çimento klinkerin bir miktar kalsiyum sülfat (ağırlıkça %3-5) ve katkı ile öğütülmesi sonucu elde edilir. Genellikle bilyalı olan çimento değirmenine gelen klinker granülleri burada alçıtaşı ile birlikte öğütülür. Alçıtaşı ilavesi, çimentonun su ile karıştırıldığında gerçekleşen reaksiyon sırasında çok hızlı katılaşmaması (priz süresinin uzatılması) için zorunludur.

Çimentonun üretilmesi için gerekli olan iki ana malzeme vardır. Bunlar, klinker ve alçıtaşıdır. Bu malzemelerin yanı sıra katkı olarak sınıflandırılan yüksek fırın cürufu, silis dumani, puzolan, uçucu kül, pişmiş şist, kalker ve benzeri malzemeler de üretilen çimento türüne bağlı olarak katılmaktadır. Belirli miktarda alçı taşı katılarak öğütülen klinkere “Portland Çimentosu” denir. İlave katkı katılarak öğütülen ve “katkılı çimento” olarak isimlendirilen çimentolar, katkı cinsi ve miktarına göre (portland kompoze çimento, puzolanik çimento, kompozit çimento, yüksek fırın cürufu çimento vb.) isimlendirilir.

Yaklaşık 3 m çapındaki çelik silindir şeklindeki değirmenlerde hacimlerinin üçte birine kadar çelik ezik bilyalarla doldurulmuş bölmeler bulunur. Silindir dönerken bilyalar klinker tanelerine çarparak onları ufalar. Malzeme bölmeler arasında ilerler ve son bölmede istenilen incelik elde edilmiş olur. Bilyalı değirmende çimento üretimi ile ilgili akım şeması Şekil 7’de verilmiştir.

Değirmenden çıkan çimento, seperatör içinde iri tanelerinden ayrılmaktadır. Yaklaşık 32 µ’dan küçük ince tanecikler çimento silosuna, %20 dolayındaki iri tanecikler ise değirmene geri beslenmektedir. Kaba partiküllerin sınıflandırılması, yüksek verimli seperatörlerle sağlanmaktadır. Bu şekilde öğütme için gerekli güç tüketimi azaltılmakta ve yüksek kaliteli ürünlerin optimum şekilde üretimi sağlanmaktadır. Çimento çıkış sıcaklığı 125 °C’yi geçmeyecek şekilde ayarlanmaktadır. Aksi takdirde çimento içindeki alçı, kristal suyunu kaybetmekte ve fospriz denilen olay gerçekleşmektedir. Bu nedenle çimento sıcaklığı otomatik olarak kontrol edilmekte ve sıcaklık 110 °C’ye ulaştığı takdirde soğutma sisteminin devreye girmesi ile sıcaklık düşürülmektedir. Elde edilen çimento fuller pompa, konveyör bant ve elevatörler ile çimento silolarına taşınmaktadır. Satılmak için silolardan alınacak çimentoyu silolardan boşaltma işlemini başlatmak ve sürdürmek için basınçlı hava kullanılmaktadır.



Şekil 7. Bilyalı değirmende çimento üretimi

2.6. Paketleme ve Sevkiyat

Silolarda bekletilen çimento iki farklı şekilde satılmaktadır. Torbalı çimento olarak satışta, özel üç katlı kraft kağıttan hazırlanan genel olarak 50 kg'lık torbalara veya yaklaşık bir tonluk "big bag" denilen çuvalara konur. Dökme çimento satışında, çimento silodan doğrudan bu iş için özel üretilmiş tankerlere (silobas) yüklenerek hazır beton tesislerindeki veya inşaat alanlarındaki beton santrallerine sevk edilmektedir. Sevkiyat metodu (karayolu, demiryolu, denizyolu gibi) yerel şartlara bağlıdır.

2.7. Yakıt Hazırlama

Çimento endüstrisi, üretim maliyetlerinin %30-40'ını enerjinin oluşturduğu enerji yoğun bir endüstridir (sermaye maliyetleri hariç). Yakıt olarak kömür kullanılması durumunda döner fırına beslenmesi amacıyla bir ön hazırlık yapılması gereklidir. Kömür kapalı stokholünde istenen kalori değerine göre homojene edilmiş kömür konveyör vasıtasıyla bilyalı veya dik kömür değirmenlerine beslenir. Değirmenden hava emişi vasıtasıyla yeterli inceliğe gelmiş olan kömür emilerek jet filtre yardımıyla tutulur. Helezonlar vasıtasıyla fuller pompalara sevk edilir ve oradan toz kömür silosuna aktarılır. Bunun yanı sıra kömür değirmeninde ön ısıtıcıdan ve fırından gelen atık gazlar, ısı kaynağı olarak kömür kurutmada kullanılmaktadır. Toz kömür silosu altında bulunan kantarlar sayesinde istenilen oranda kömür fuller pompalar vasıtasıyla

fırınların alev borularına ve ön ısıtıcılara sevk edilir. Sıvı yakıtlar kullanılması durumunda tanklar ve fırına taşıma ve besleme sistemleri gibi özel kurulumlar gereklidir.

Ana yakıt olarak ağırlıklı kömür kullanılmaktadır. Buna ek olarak alternatif yakıt olarak kontamine atık, ömrünü tamamlamış lastik vb. atıklar veya atıktan türetilmiş yakıtlar da kullanılabilir. Atıkların alternatif yakıt olarak kullanılması hem çevre kirliliğinin önlenmesine katkı sağlamakta hem de birincil yakıt olarak kullanılan yakıtta tasarruf sağlamaktadır.

TASLAK

3. EMİSYON KAYNAKLARI

Çimento üretiminde temel emisyon kaynağı üretimde kullanılan fırınlar ile ham madde, yakıt yarı ürün, ürün hazırlama-taşıma işlemleridir. Bunlardan en yüksek emisyonu sahip olan döner fırın bacaları, hem yanma kaynaklı kirleticileri hem de proses kaynaklı (hammadde ve katkı malzemeleri) kirleticileri içermektedir. Destek yakıt veya bertaraf amacıyla atıkların kullanılması durumunda atığın türüne göre de özel emisyonlar oluşmaktadır. Döner fırın emisyonları;

- Yanma kaynaklı emisyonlar; toz, azotoksitler (NO_x), karbonmonoksit (CO), kükürtdioksit (SO₂), organik bileşikler
- Proses kaynaklı emisyonlar; toz, hidrojenklorür (HCl), hidrojenflorür (HF), SO₂, ağır metaller ve elementler
- Atık/ek yakıt yakma kaynaklı emisyonlar; toz, NO_x, CO, SO₂, HCl, HF, polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH), poliklorlu dibenzo-p-dioksinler (PCDD), poliklorlu dibenzofuranlar (PCDF), organik bileşikler, ağır metaller ve elementler

Döner fırın ve yakma tesislerinin dışındaki emisyon kaynaklarının tamamı toz emisyon kaynağıdır. Ham madde hazırlama, kırma, öğütme ve kurutma üniteleri, konveyörler, fırınlar ve klinker soğutma prosesi, kömür homojenizasyonu ve kurutma, kireç hazırlama değirmenleri toz emisyon kaynağı olup bu ünitelere bağlı çok sayıda baca bulunur. Bu bacaların tamamında toz kontrol sistemi kullanılır. Ayrıca ham madde, katkı malzemeleri, yakıt ve ürünlerin taşınması sırasında da toz emisyonu oluşabilmektedir.

Klinker üretimi için gerçekleştirilen pişirme işlemi sonucu ham maddenin içindeki organik safsızlıklardan kaynaklanan CO emisyonu oluşabilmektedir. Bu safsızlıklar farin besleme ön ısıtması sırasında oluşabilmektedir. Bu proses sonucunda toplam organik karbonun emisyonları da oluşmaktadır. Ayrıca, ikincil ateşleme sırasında zayıf yanma ve uygun olmayan yanma koşulları altında da CO oluşumu mevcuttur.

4. EMİSYON AZALTIM/KONTROL TEKNİKLERİ

Çimento üretiminde en önemli kirlenici emisyon toz emisyonları olup ham madde hazırlamadan ürün paketlemeye kadar tüm işlemlerde (kıрма, öğütme, eleme, vb.) toz oluşmakta ve bacalar vasıtasıyla atmosfere verilmektedir. Toz emisyonlarının azaltılması için bu kaynaklarda en yaygın kullanılan toz emisyonu kontrol teknolojisi torba filtrelerdir.

Tozlu malzemelerin taşınması ve depolanması işlemlerinde de toz emisyonları oluşmaktadır. Bu emisyonların azaltılması için de kapalı ortamlarda taşıma ve depolama, toz bastırma veya tozlu gazların toplanıp filtre edilmesi teknikleri uygulanmaktadır.

Döner fırın gibi yüksek toz emisyonuna sahip yanma gazları içeren ve yüksek atık gaz debili bacalarda elektrostatik toz tutucular kullanılabilir. Ancak fırın atık gazı yeterince soğutulursa torbalı filtre kullanılması mümkündür. Döner fırınlarda yüksek sıcaklıkta termal NO_x oluşumu nedeniyle NO_x emisyonları arttığından bu emisyonlar için emisyon azaltıcı tedbirler (yanma kontrolü ve kademeli yakma) veya SCR (seçici katalitik indirgeme)/SNCR (seçici katalitik olmayan indirgeme) gibi uygun NO_x giderme yöntemi kullanılabilir.

Fabrikalarda tüm ham madde, yarı ürün ve yakıt kapalı stokhollerde, ürün olan çimento ise silolarda depolanmalıdır.

Çimento tesislerinde yüksek tonajlı araçların trafiği nedeniyle kaplamasız yollardan ciddi miktarda toz emisyonu oluştuğu için yollar bitümlü malzeme veya beton kaplı olmalıdır. Kaçak toz emisyonlarının yollarda birikmesi ve araç trafiği ile tekrar havaya karışmasını önlemek için yollar vakumlu süpürge ile süpürülmeli ve/veya arazöz ile düzenli olarak sulanmalıdır.

Her türlü ham madde, yardımcı madde, yakıt ve ürünün bir noktadan diğerine transferi toz emisyonuna engel olacak şekilde kapalı olarak yapılabilir, tüm bunkerlerin, bantların aktarma noktalarında toz toplama ve filtre sistemi kurulmalıdır.

Çimento üretim prosesinde toz biçimindeki emisyonları tutan filtreler kapalı sistemlerle boşaltılarak tutulan tozlar üretim hattına geri kazandırılabilir.

Tehlikeli atıkların bertaraf edildiği veya ek yakıt olarak kullanıldığı tesislerde bu atıklardan kaynaklanacak emisyonlar (PCDD/PCDF) için aktif karbon enjeksiyonu gibi uygun emisyon azaltıcı tedbirler uygulanmalıdır.

Çimento fabrikalarında kireç taşının kalsinasyonu sırasında oluşan karbondioksit emisyonu sera gazları açısından bu sektör için en büyük dezavantajdır. Çimento üretiminin temel kimyasal reaksiyonu sonucu oluşan bu emisyonların azaltılması ancak proste ikame maddelerin kullanımı ile mümkün olabilmektedir. Örneğin; çimento katkısı olarak tras (Doğal Puzolan) kullanımı ile yarı mamul olan klinker kullanımından tasarruf edilmekte ve daha az klinker

kullanarak, çimento üretimi sağlanmaktadır. Böylece, beher ton çimento tüketimine bağlı karbondioksit (CO₂) emisyonunun düşürülmesi de mümkün olmaktadır. Daha az klinker ile çimento üretimi ise daha fazla alternatif ham madde kullanımı ile mümkündür. Başka bir ifade ile, bugün çimento üretiminde katkı olarak kullanılan cüruf, termik santral uçucu külleri, tras, kalker vs gibi katkı maddeleri ile, çimento üretiminde ve beton mukavemetinde büyük fayda sağlayan kimyasal katkıların daha yaygın kullanılması ile beher ton çimento başına ve/veya beher metreküp beton başına gerçekleşecek CO₂ emisyon miktarının düşürülmesi mümkün olmaktadır.

TASLAK

5. ÖLÇÜM VE İZLEME

Emisyonların izleneceği noktalar ve ölçülecek kirleticiler aşağıda Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Çimento üretiminde emisyon kaynakları ve izlenecek kirleticiler

Emisyon kaynağı (Ölçüm noktası)	İzlenecek kirleticiler	İzleme periyodu	Sürekli izleme ¹
Kırma, eleme, öğütme, paketleme ünitelerinin bacaları	Toz	İzin + Periyodik	
Farin değirmeni	Toz	İzin + Periyodik	
Döner fırın	NO ₂ , SO ₂ , CO, toz, özel toz emisyonları (Cd, Tl, As, Sb, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V), TOK, HCl, HF	İzin + Periyodik	Toz, TOK
Döner fırın (yakıt olarak atık kullanılması durumunda)	NO ₂ , SO ₂ , CO, toz, özel toz emisyonları (Cd, Tl, As, Sb, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V), HCl, HF, TOK, PCB, PBDD/F	İzin + Periyodik	Toz, TOK
Kömür kurutma	NO ₂ , SO ₂ , CO, toz, TOK	İzin + Periyodik	

¹ Ek-4’teki hükümlere de bakılmalıdır.

6. KAYNAKLAR

- Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2009.
- TA LUFT, 2002. "Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit", Almanya Hava Kirliliği Kontrolü Teknik Talimatnamesi - TA Luft.
- IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control) Reference Document on Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Cement, Lime and Magnesium Oxide, 2013.
- Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik. Resmi Gazete Tarihi: 06.10.2010, Resmi Gazete Sayısı: 27721.
- Atıktan Türetilmiş Yakıt, Ek Yakıt ve Alternatif Hammadde Tebliği. Resmi Gazete Tarihi: 20.06.2014 Resmi Gazete Sayısı: 29036
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığının ÇED Alanında Kapasitesinin Güçlendirilmesi için Teknik Yardım Projesi, Çimento Üretim Sektörü, Aralık 2017.